제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 12.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 박 원 희 선임연구원
연 구 원 : 정 우 성 수석연구원
" : 이 덕 희 선임연구원
" : 조 영 민 선임연구원
" : 윤 수 환 선임연구원
" : 권 태 순 선임연구원

협동연구기관명 : (주) 에이치투케이솔루션
협동연구책임자 : 김 종 훈 이사
연 구 원 : 김 상 연 연구원
" : 정 우 익 연구원
" : 박 준 현 연구원
" : 유 병 진 연구원

협동연구기관명 : (주) 제이에스시솔루션
협동연구책임자 : 김 학 범 대표이사
연 구 원 : 이 창 현 연구원
" : 이 응 석 연구원
" : 김 봄 이 연구원

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>14PRTD
-C063971</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td colspan="2">2012.10.26. ~
2015.12.25.</td><td>연 차 구 분</td><td>3/3</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="6">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>연 구 과 제 명</td><td colspan="6">철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">박 원 희</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총: 15명
내부: 6명
외부: 9명</td><td>해당년도
연 구 비</td><td colspan="2">정부 : 334,000천원
기업 : 112,420천원
계 : 446,420천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총: 15명
내부: 6명
외부: 9명</td><td>총연구비</td><td colspan="2">정부 : 792,000천원
기업 : 265,520천원
계 : 1,057,520천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="3">한국철도기술연구원
철도안전연구실</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)에이치투케이솔루션
(주)제이에스시솔루션</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="5">요 약</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">- 철도터널 화재감지기기준(안) 작성
• 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석
• 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립
• 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성
- 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 기본설계
• 다양한 화재시나리오에 따른 Safety-Zone(안전구역) 구성요건 정립
• 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발
• Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계
- 실대형 시험을 통한 철도터널화재감지기 기준 검증
• 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정
• 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행
• 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료
- Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성
• 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성
• Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발
• Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화
- Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축
• Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증
• 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축
• Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축
• Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개
이상)</td><td>한 글</td><td colspan="5">철도터널, 화재감지기, 지하역사, 피난, 안전공간</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="5">railway tunnel, fire detector, underground station, egress safety-zone</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

철도터널 화재감지기 기준 및 지하역사 안전구역 구축기술 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

○ 연구개발 최종목표

- 철도터널 화재감지기 기준 개발 및 지하역사의 피난안전성 안전성 향상을 위한 Safety-Zone(안전구역) 구축기술 구현
  - 철도터널 화재감지기 기준 개발 및 실대형 시험을 통한 검증
  - 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 구축기술 개발 및 현장 시범구축

○ 연구 필요성

- 지하역사 및 터널에서 화재발생에 따른 위험성
  - 도시철도 지하역사에서 발생한 화재가 진압되지 않아 대형화재로 성장할 경우 막대한 인명손실과 재산피해가 발생
  - 도시철도가 도심의 대표적인 대중교통수단임을 감안할 때 도시철도에서의 화재사고는 시민들의 일상적인 안전에 매우 큰 위협요인으로 부각
- 철도터널 화재 열연기 전파 특성적 위험성
  - 철도터널 내에 화재가 발생하였을 경우 화재로부터 발생하는 열 및 연기는 철도 차량의 주행으로 인한 비정상 특성이 강한 열차풍과 터널의 자연풍에 영향을 받으며 철도터널 내에 전파되는 특성
  - 대부분의 화재감지기가 화재로부터 발생된 열 및 연기에 반응하여 화재를 인지하는 만큼 감지기의 성능을 평가하기 위해 터널의 화재열연기의 거동을 예측 및 시험적으로 평가하는 기술은 매우 중요

- 철도터널에서의 화재감지기
  - 철도터널에서의 감지기는 도로터널과는 달리 기관차가 열원으로 고려될 수 있으므로 비상정차 및 서행에 대한 비화재보 발생이 없어야하며 전동차에의 고전압공급에 대해서도 저항성을 지녀야하며 고속철도터널에서는 충격파에 대한 기계적인 내구성도 뛰어나야 함
  - 안전성 평가에 따라 국내 철도 터널에도 화재감지기가 설치될 수 있는데 이에 대한 구

체적인 규정이 부족. (철도시설 안전세부기준 개정 2012.10.15)

- 지하역사에서 피난시간의 증대
  - 『도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계지침』에 지하역사 대피시간 기준은 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부출입구로 벗어나도록 규정
  - 지하철 환승역사의 경우 공간구조도 복잡하고 환승인원이 많아 비상시 승객이 출구를 찾아 나가기가 매우 어렵고 승객들끼리 충돌로 극심한 체류를 발생시켜 화재시 피난시간이 길어질 우려가 있다.
  - 지하역사의 대심도와 및 피난거리 증가에 따른 일반인의 임시피난 공간의 필요성이 대두
  - 비상시에 휠체어 등을 사용하는 교통약자가 한정된 피난통로를 사용하여 일반인들과 같이 피난 시 피난 속도가 양호한 일반인들의 피난흐름을 방해하여 피난 속도가 급격히 줄어들 수 있다. 이러한 병목현상을 방지하며 교통약자의 안전 확보를 위하여 Safety-Zone(안전구역)의 도입이 절실
  - 초고층빌딩의 피난안전공간 개념을 지하역사에 적용하여 구조
  - 대기를 위한 안전공간으로 활용하면 지하역사의 피난안전성을 획기적으로 개량
- 대심도 역사 구조·대기 안전공간 필요성
  - 대구지하철 사고 이후 철도차량의 난연화 및 시설이 개량으로 화재안전도가 상승하였지만 2012년 8월 27일에 부산 대티역에서 발생한 화재에서 알 수 있듯이 화재가 발생하였을 경우 화재연기에 의한 피해를 최소화할 수 있는 대책이 필요
  - 부산의 만덕지하역사는 지하 9층으로 깊이 61~73m인 국내 가장 대심도 역사이며 지하 승강장에서의 피난은 터널을 통해서 이루어지도록 계획되었는데 Safety-Zone(안전구역)을 도입한다면 승강장에서 보다 안전한 안전구역으로 짧은 시간 내에 대피가 가능

○ 연구 기간 및 연구비

- 연구기간 : 2012년 10월 26일 ~ 2015년 12월 25일 (3년 2개월)
- 연구비 : 1,057,520천원(정부: 792,000천원, 기업 : 265,520천원)

○ 주요 연구내용

- 철도터널 화재감지기기준(안) 작성
  - 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석
  - 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석
  - 철도터널 화재 시나리오 설정
  - 철도터널 화재특성 데이터 구축
  - 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석 (본선 및 부속시설)

  - 화재감지기 요구성능 분석
  - 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립
  - 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성

- 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 기본설계
  - Safety-Zone(안전구역) 국내외 자료 조사 분석
  - 다양한 화재시나리오에 따른 Safety-Zone(안전구역) 구성요건 정립
  - 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발
  - 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 검토 및 수립
  - Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계
  - 주요동작 구조부 제작 테스트

- 실대형 시험을 통한 철도터널화재감지기 기준 검증
  - 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정
  - 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행
  - 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료
  - 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)

- Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성
  - 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성
  - 위치선정 프로그램 개발
  - Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발
  - Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화
  - 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행

- Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축
  - Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 성능설계 및 보완
  - Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증
  - 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축
  - Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종 안 작성
  - Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축
  - Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 수행(성능평가시험 포함)
  - Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작
  - 개발제품 성능인증 기준안 마련 및 제안

○ 연차별 연구내용

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	▪ 철도터널 화재 감지기 기준(안) 작성	▪ 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석 ▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석 ▪ 철도터널 화재 시나리오 설정 ▪ 철도터널 화재특성 데이터 구축 ▪ 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석(본선 및 부속시설) ▪ 화재감지기 요구성능 분석 ▪ 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립 ▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성
	▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 기본설계	▪ Safety-Zone(안전구역) 국내외 자료 조사 분석 ▪ 다양한 화재시나리오에 따른 Safety-Zone(안전구역) 구성요건 정립 ▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발 ▪ 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 검토 및 수립 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 - 지능형 급기 네트워크 시스템 ▪ 주요동작 구조부 제작 테스트
2차년도	▪ 실대형 시험을 통한 철도터널화재감지기 기준 검증	▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ▪ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ▪ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)
	▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성	▪ 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성 ▪ 위치선정 프로그램 개발 ▪ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 ▪ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행
3차년도	▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축	▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 성능설계 및 보완 - 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 - 방연 에어커튼 노즐 최적설계 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증 - 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 - Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 제작완료 ▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축 - Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발 - 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 고도화 및 프로그램 적용사례 구축 ▪ Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종 안 작성 ▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축

		- Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 수행(성능평가시험 포함) - 시험결과에 대한 문제점 보완 ▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작 ▪ 개발제품 성능인증 기준안 마련 및 제안

□ 지하역사 안전구역(Safe-Zone)시스템의 기술수준 및 우수성

▪ 지하역사 안전구역 시스템의 핵심기술로 공간형가압차연시스템과 지능형 급기시스템이 있음.
▪ 상기 2개의 시스템은 현재 국내외에 있어 제품화 되지 않은 것으로 현재까지 판명됨.
▪ 특히 본 연구의 공간형가압차연시스템은 3개의 국내 특허를 확보하고 있어, 그 독자성의 충분한 증거가 된다고 판단됨. 그러므로 선진국 대비 기술수준은 현재 선진국의 유사시스템을 찾기 어려우므로 비교할 수 없음.
▪ 구역을 보호하기 위한 기존 시스템은 주로 건물 구조적으로 전실공간을 만들고, 이에 가압시스템을 설치하거나, 공간 자체를 모두 가압하는 형태임.
▪ 공간형가압차연시스템은 대상 출입문에서 효과적인 방연풍 형성이 가능하며, 간이형 전실 구조를 형성하여, 기존 건축물에도 적용하여 화재 및 피난 안전성을 높일 수 있음.

□ 지하역사 안전구역(Safe-Zone)시스템의 경제성 분석

▪ 공간형가압차연시스템은 기존 역사의 전실구조가 없는 피난안전구역의 안전성능 확보를 목표로 개발되었음. 본 시스템의 경제성은 기존역사의 전실방연구조를 설치하는 경우를 가지고 비교해야함.
▪ 기존역사의 기존 전실구조를 만들려면, 내화구조로 된 전실공간을 새로 만들고, 가압식방연을 위한 시스템을 설치해야함. 현장 여건에 따라 다르나 급기시스템 설치를 위해 슬라브에 관통부를 만들고, 대형 급기 팬을 설치해야함. 하지만 전실공간을 만드는 것이 현장여건에 따라 불가능하거나, 기능적 불편함을 초래할 수 도 있음.
▪ 본 시스템은 간이형으로 설치되는 전실공간이 있어 별도의 공간 건축이 필요 없고, 계단실 내부를 급기공간으로 활용하거나 기존 관통부와 급기관을 연결할 경우 전용의 급기덕트 설치를 위한 슬라브 등의 관통 공사가 필요 없음.
▪ 구체적인 설치 비용은 각 역사의 상황에 따라 크게 차이가 발생하지만, 전실설치가 현실적으로 불가능한 장소에 있어 공간 내 연기유입방지를 위한 유일한 대안이 될 수 있음.

□ 지하역사 안전구역(Safe-Zone)시스템의 설치 전략

본 시스템은 건물의 기존 안전시설 중 자동화재탐지설비와의 연동을 통해 화재 시 방연풍을 생성을 위한 에어커튼 부의 동작을 자동화했으며,안전구역(피난계단 포함)으로의 피난유도 안내 문자표시 등의 동작을 동시에 수행함. (기존 피난유도시설과의 연계)

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

○ 1차년도

연구 내용	연구 결과
▪ 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석	▪ 국내외 터널 화재감지기 관련 기준 분석 완료 - 국외 철도터널 화재감지기 관련 기준분석 ·NFPA 130(Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems ·TSI-SRT(safety in railway tunnels) ·UIC779-9(safety in railway tunnels) ·UN (Recommendation of the multidisciplinary group of experts on safety in tunnels (rail)) ·Technical Regulatory Standards on Japanese Railways - 국외 도로터널 화재감지기 기준 ·Swiss ASTRA Guideline (도로터널 화재감지기 기준) ·Germam RABT (도로 터널의 장비 및 운영 지침) ·호주 (Fire Safety Guidelines for Road Tunnels) ·Austrian RVS - 국내 터널 화재감지기 관련 기준 ·철도시설 안전 세부기준 ·도로터널 방재시설 설치 및 관리 지침 ·도로터널의 화재안전기준 (NFSC 603) - 국내 감지기관련 기준 ·자동화재탐지설비의 화재안전 기준 (NFSC 203) ·감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 ·수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준
▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석	▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 및 방문 조사분석 ·일본 세이칸 터널, channel 터널, VGF METRO, 네델란드 로테르담 Betuwe Route 복합 터널,스페인 마드리드-세고비아, Quardarrama 터널 ▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 및 방문 조사분석
▪ 철도터널 화재 시나리오 설정	▪ 철도터널 화재 시나리오 설정 - 철도 화재발생 원인 분석 - 화원특성 분석- 발생위치, 화재규모, 터널주행 및 정차 여부에 따라 시나리오를 분석
▪ 철도터널 화재특성 데이터 구축	▪ 철도터널 화재특성 데이터 구축 - 규모별 철도터널 화재특성 시험 및 기존 결과 조사활용 ·소규모 화재 화재특성 시험 수행 (하부화재-Transformer oil fire, 천장 도막 화재) ·철도차량 종류별 대규모 화재 열방출률 곡선 분석 - 철도터널 화재특성 해석 · 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법정립 · 수치해석시 철도터널 경계조건에 따른 영향 분석 및 적절 조건 산출 (SCI 논문 1편 및 프로그램 등록 1편) · 터널풍을 고려한 차량 화재크기 수치해석
▪ 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석 (본선 및 부속시설)	▪ 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석 (본선 및 부속시설) - 철도터널 환경측정 시스템 개발 (TREMS, Tunnel Rough Environment Measuring System) 특허 출원

	- 다양한 철도터널에 철도터널 환경측정 시스템 설치 · 고속철도 터널(경부 금정터널), 일반철도터널(영동 솔안터널), 지하철터널(과천선 4호선) - 철도터널 측정 환경 분석 프로그램 개발 (프로그램 등록) - 철도터널 환경 및 비화재보 특성 데이터 수집 및 분석
▪ 화재감지기 요구성능 분석	▪ 화재감지기 요구성능 분석 - 철도 터널 화재 감지기 감지특성 조사 분석 - 국내외 터널에 설치된 감지기 종류 및 문헌조사
▪ 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립	▪ 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립 - 감지기 종류별로 화재특성에 따른 감지기 평가 - 터널 규모별 화재 특성 산출 - 감지기 종류별 감지시간 평가
▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성	▪ 철도터널 화재감지기 기준(초안) 작성 - 철도터널 화재 발생 종류(특성) - 철도터널 화재감지기 종류 - 철도터널 화재감지기 성능평가 ·해외터널 화재감지기 실화재 시험 사례 ·철도터널 화재감지기 성능평가를 위한 터널 섭외 (장항선 온동터널) ·화재감지기 성능평가 사전 시험 수행 - 화재감지기 설치기준 - 내외부 전문가 자문회의 2회 수행
▪ Safety-Zone(안전구역) 국내외 자료 조사 분석	▪ 국내외 피난안전구역 자료 조사 및 분석 - 국내 건축법, 소방법의 규정 비교분석 - 한국 중국 미국 싱가포르 홍콩 규정 조사 분석
▪ 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 검토 및 수립	▪ 터널 현장 방문 조사 - 현재의 방연문은 일차적 안전을 확보하므로, 부속실을 만들어 연기유입방지를 할 필요가 있음. - 수직구 계단은 특별피난계단에 준하는 보호가 필요. - 수직구 및 구난대피소 방연문에 공간형 차압방연 시스템 설치 가능
▪ Safety-Zone(피난안전구역) 구성요건 정립	▪ 기술기준 작성 제안 - 지하역사 피난안전구역 설치 기준 제안 - 위치, 구조, 면적, 필요시설 들을 포함
▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발	▪ 위치선정 모델 구성 제안 -위치 선정 모델 구성 결과는 차년도 프로그램 제작에서 사용 ▪ 고령자 분포에 따른 수직 이동경로 피난현상 분석 수행 및 결과 - Pathfinder를 이용한 시뮬레이션 수행분석 - 차년도 위치선정 모델에서 상부로의 이동 저감 부분에 사용될 예정
▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 - 지능형 급기 네트워크 시스템	▪ 공간형 차압방연 시스템의 설계 변경 - 제안 시 설계에서의 스크린을 제외하고 문으로 대체 - 팬을 사용하여 에어커튼을 형성 및 내부를 가압을 동시에 수행 ▪ 타 시스템과의 연결 동작 설계
▪ 주요동작 구조부 제작 테스트	▪ 공간형 차압방연 시스템 가동식 벽 공간에 대한 팬 설치 시험. - 시험결과 팬 기동 후 내부의 압력은 25~35Pa을 기록하였으며, 문입구에서의 풍속은 상부 5.5m/s-6.5m/s, 중간 부분은 2.01m/s-2.8m/s의 풍속을 기록하였다. 다만, 바닥면에서는 0.26-0.61m/s의 풍속을 기록 ▪ 내부압력은 소방기술기준의 최소기준은 12.5Pa의 차압보다 높았으며,

	방연풍속도 0.7m/s보다 중간부분까지는 높게 나옴

○ 2차년도

▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정	▪ 현장 실험 시나리오 설정을 위한 수치해석 ▪ 화재감지기 성능평가를 위한 1차 및 2차 예비시험 시나리오 설정 및 시험 수행 - 다양한 화원조건(화재 크기 및 위치)에서의 화원 - 터널 규모별(단선터널 및 고속철도터널 급 단면) 시험 수행 절차 수립 - 터널 벽 단면 위치별 온도 측정 위치 설정 ▪ 터널내 철도차량 화재규모 산정 수치해석 - 새마을호 차량 터널 화재치 화재규모 산출 - 지하철 차량 터널 화재치 화재규모 산출 ▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장시험 시나리오 설정 - 철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서 - 대표적인 터널용 화재감지기 2종(반도체식 감지기, 공기관식 감지기) 성능 평가 계획 수립
▪ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행	▪ 기류발생용 송풍기 현장설치 및 터널 기류 생성 ▪ 철도터널 화재특성 및 철도터널 감지기 성능평가를 위한 풍속/온도/화재크기(연료감소량) 측정 설비 및 터널 감지기 설치 ▪ 43회의 다양한 조건에서의 시험 수행 ▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장시험 시나리오 검증 ▪ 시범설치한 감지기 모두 성능평가 기준에 합격
▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ▪ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)	▪ 기준안 명 변경 (화재감지기 -> 자동화재탐지설비) ▪ 화재감지기의 구체적 성능제시 -「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것 - 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것. - 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것. - 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기. - 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것. ▪ 연동되어 설치되는 감지기의 기준 제시 ▪ 국토부와 문서/면담/통화 협의 3건 이상 ▪ 세계적인 방재 컨설팅회사인 ARUP (San Francisco)에 기준 자문 수행
▪ 역사 및 터널 Safety-Zone (안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성	▪ 역사 및 터널 안전구역 기준 안 작성 ▪ 임시/보호/장애인 피난안전구역으로 구분 ▪ 각 구축 세부사항에 대한 매뉴얼 작성
▪ 위치선정 프로그램 개발	▪ 이동경로, 구난경로, 지하철역사 환기팬용량, 여유공간, 승객수 반영, 최적함수 알고리즘 적용 개발 (마크로 이동알고리즘 (플로이드) 적용) ▪ 사용자 편의를 위한 버튼 삽입형 프로그램 개발

▪ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발	▪ Safety Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ▪ 설계용량(법 기준 및 연기속도 고려한 용량산정)
▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템	▪ 시스템 제작설계 도면화 ▪ 신규 시스템 도입 - 시스템 제작설계 도면화 -「측면 가이드가 구비된 방연용 에어커튼 시스템」 -「슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템」
▪ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행	▪ 에어커튼의 유속, 방사 각도, 거리의 조정에 의해 연기방호가 가능함을 확인 ▪ 측면가이드 활용시 더욱 효과가 증대되는 것을 확인

○ 3차년도

▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 성능설계 및 보완 - 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 - 방연 에어커튼 노즐 최적설계	▪ 연기유입 방지조건 설정을 위한 수치해석 - 유체 및 구조 연동 시뮬레이션 (Fluid and Structure Interface) ▪ 공간형 차연도어 노즐 최적설계 수치해석 - 송풍기 풍량에 따른 유속 균일도 검토 - 외부슬릿 두께/중간 타공판 영향 분석 - 최적 노즐 설계조건 도출 ▪ 공간형 차연도어 시스템 방연 노즐 시험 - 노즐 분사각도 및 위치별 풍향 측정 - 노즐 위치 및 분사 각도별 방연풍속 측정 확인
▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증 - 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 - Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 제작완료	▪ 축소모형을 이용한 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 - 만덕역사 지능형 급기 네트워크시스템 설계 및 분석 - 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 검증 - 지능형 급기 네트워크 운영방안 설계 - 승강장-대합실 지하 2층구조의 지하역사 안전구역 축소모형 제작 및 연기 차연 성능 재현 ▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 제작완료 - 단문전개식 시스템 제작 - 양문전개식 공간차연도어 · 양문전개식 공간차연도어 제작 및 작동성능 확인 · 연기농도 측정을 통한 차연성능 확인
▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축 - Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발 - 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 고도화 및 프로그램 적용사례 구축	▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축 - 만덕역사 대상으로 한 안전구역 위치선정 프로그램 적용 및 사례 작성 - 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 3D CAD 연계 설계도 및 제작도 자동작성 프로그램 개발 - NFPA 130 피난 분석 프로그램 개발
▪ Safety-Zone(안전구역) 설계기준(안) 및 매뉴얼 최종 안 작성	▪ Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종 안 작성 - 지하역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) - 지하역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) 매뉴얼
▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축 - Safety-Zone(안전구역) 시	▪ 부산교통공사 만덕역사 내 2개 위치에 차연도어시스템 설치 - 승강장-지하8층 비상계단 차연도어시스템(상부 부착형) 설치 - 지하8층-지하7층 비상계단 차연도어시스템(공간형차연도어+상부부착

스템 지하역사 현장 적용 시험 수행(성능평가시험 포함) - 시험결과에 대한 문제점 보완	형) 설치 ▪ 부산교통공사 만덕역사 성능평가 시험 수행 - 열부력 연기를 이용한 차연 성능평가 (영상 취득 및 연기농도 측정) - 실운전시 만덕역사 공조시스템과 연동 운전할 경우 성능 극대화 ▪ 양문전개식 공간차연도어 연기방호성능 검증
▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작	▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작
▪ 개발제품 성능인증 기준안 마련 및 제안	▪ 본 연구의 개발제품인 공간형 가압차연도어에 대한 기술기준을 작성. ▪ 제품의 목적과 설비 구성, 그리고 시험 성능기준에 관한 내용을 수록. ▪ 제품에 대한 시험기관은 차후 선정해야 할 사항으로 설정

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

○ 연구개발 핵심성과 리스트

연번	핵심성과명	핵심성과 설명
1	철도터널 화재감지기 성능평가 기준 및 실대형 시험을 통한 검증	▪ 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석 ▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석 ▪ 철도터널 화재 시나리오 설정 ▪ 철도터널 화재특성 데이터 구축 ▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ▪ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ▪ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)
2	안전구역 시스템 최종 시제품 및 기준	▪ 역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) 등 제시 ▪ 공간형 가압 차연도어 시스템 성능기준 제시 ▪ 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 개발 및 최종 설계 ▪ 양문전개식 공간형 차연도어 시스템 개발 및 최종 설계 · 양문전개식 공간차연도어 제작 및 작동성능 확인 · 연기농도 측정을 통한 차연성능 확인 ▪ 축소모형을 이용한 지능형급기네트워크 검증
3	Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험	▪ 부산교통공사 만덕역사 내 2개 위치에 차연도어시스템 설치 - 승강장-지하8층 비상계단 차연도어시스템(상부 부착형) 설치 - 지하8층-지하7층 비상계단 차연도어시스템(공간형차연도어+상부부착형) 설치 ▪ 부산교통공사 만덕역사 성능평가 시험 수행 - 열부력 연기를 이용한 차연 성능평가 (영상 취득 및 연기농도 측정) - 실운전시 만덕역사 공조시스템과 연동 운전 필요
4	지하역사 Safety-Zone (안전구역) 설계 프로그램	▪ 지하역사 Safe-Zone 적정위치 선정을 위하여 최적함수를 이용하여 적정위치 선정 및 구성시스템 프로그램 및 적용사례 작성 ▪ 개발 프로그램 등록 - 위치선정(프로그램명: 뉴에스에프디, C-2015-022876) - 안전구역 설계(프로그램명 : 세이프티존, C-2015-021963) - 피난시간분석(프로그램명 동일 , C-2015-024071)

○ 시제품 제작 및 현장적용

▪ 시제품 제작

- 단문전개식 공간형 차연도어 시스템
- 양문전개식 공간형 차연도어 시스템 제작 및

▪ 현장적용

- 만덕역사 (단문전개식 공간형) 차연도어 시스템 2식 현장적용

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

□ 연구개발 목표의 달성도

연구목표	주요 연구내용	달성도
▪ 철도터널 화재감지기기준(안) 작성	▪ 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석 ▪ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석 ▪ 철도터널 화재 시나리오 설정 ▪ 철도터널 화재특성 데이터 구축 ▪ 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석 (본선 및 부속시설) ▪ 화재감지기 요구성능 분석 ▪ 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립 ▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성	100%
▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 기본설계	▪ Safety-Zone(안전구역) 국내외 자료 조사 분석 ▪ 다양한 화재시나리오에 따른 Safety-Zone(안전구역) 구성요건 정립 ▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발 ▪ 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 검토 및 수립 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 - 지능형 급기 네트워크 시스템 ▪ 주요동작 구조부 제작 테스트	100%
▪ 실대형 시험을 통한 철도터널화재감지기 기준 검증	▪ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ▪ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ▪ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ▪ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)	100%
▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성	▪ 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성 ▪ 위치선정 프로그램 개발 ▪ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 ▪ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행 ▪ 축소모형을 이용한 지능형급기네트워크 검증	100%
▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축	▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 성능설계 및 보완 - 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 - 방연 에어커튼 노즐 최적설계 ▪ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증 - 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 - Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 제작완료 ▪ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용사례 구축	100%

	- Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발 - 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 고도화 및 프로그램 적용사례 구축 ▪ Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종 안 작성 ▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축 - Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 수행(성능평가시험 포함) - 시험결과에 대한 문제점 보완 ▪ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작 ▪ 개발제품 성능인증 기준안 마련 및 제안	

□ 기대효과

○ 기술적 측면

- 철도터널 조기 화재감지 성능 기술 구축
- 화재 위험도 정량적 평가 기법에서 객관적이고 구체적인 데이터 제공 가능하므로 철도터널 화재 평가 기술 향상
- 지하 역사 피난 시스템의 평가 기술 향상
- 국내 실정에 적합한 피난 Safety-Zone(안전구역) 시스템 설계 기본 자료 활용
- 국내 자체적인 기술개발로 방재 시스템의 선진화 기대
- 과학적인 지하 역사 방재 설계 가이드 제공

○ 사회·경제적 측면

- 철도터널 감기기에 대한 기준 및 Safety-Zone(안전구역) 시스템 기술 마련으로 철도의 피난 안전성 마련
- 철도안전의 신뢰성 향상으로 안전성 불안에 따른 간접 비용 발생 차단함
- 화재에 의한 인명/경제적 손실의 저감
- 지하역사 관련 방재시스템의 기술 수입억제 및 기술/지식 기반한 수출 기대됨
- Safety-Zone(안전구역) 시스템 관련 부품의 국산화 개발로 수입대체 및 신산업 창출 및 활성화에 기여함
- Safety-Zone(안전구역) 시스템 기술 확보로 다양한 수송 형태에 적용할 수 있는 유연성 마련
- 철도의 지하역사 및 터널에 대한 안전도 향상으로 철도의 지하 공간에 대한 효율적인 이용 마련
- 과학적이고 합리적인 피난 수단 개발로 화재 안전도에 대한 국제적 위상 높임

SUMMARY

○ Project title : Development of standard of fire detector in railway tunnel and Safety-Zone technology in underground station

○ Goal

- Development of standard of fire detector in railway tunnel and technology of safety-zone technology in underground station for evaluation of evacuation performance
  - Development of standard of fire detector in railway tunnel and on-the-spot inspection
  - Development of technology of safety-zone technology and its demonstration installation

○ Necessity of Research

- Danger of fire accidents in tunnels and underground stations
- Danger of smoke movement in tunnels and underground stations
- Necessity of fire detector in railway tunnel
- Increase of evacuation time in underground stations
- Necessity of room for rescue and waiting in very-deep-underground station

○ Research Period and Funds

- Period : 25 September 2012 ~ 25 December 2015 (3 Years 2 Months)
- Funds : Government grants 792 million Won

○ Main Research Contents

- Development of standard of fire detector in railway tunnel
  - Analysis of internal/overseas standard of fire detector in railway tunnel
  - Examples of Analysis of oversea standard of fire detector in railway tunnel in oversea
  - Setup of scenario of fire accident in railway tunnel
  - Analysis of false-alarm of fire detector in railway tunnel (running and auxiliary tunnel)
  - Analysis of requirement performance of fire detector in railway tunnel
  - Establishment of method of numerical analysis in railway tunnel
  - Development of draft of standard for fire detector in railway tunnel

- Validation of draft of standard for fire detector in railway tunnel by real-scale tests
  - Setup scenario for fire detector in railway tunnel by real-scale tests

• Performance of tests in real tunnel
• Draft of standard for fire detector in railway tunnel and its guide

- Design and manufacture of Safety-Zone system
• Manual draft of Safety-Zone establishment in tunnel and underground station
• Development of program for prediction of location of Safety-Zone
• Development of algorithm for subsystems of Safety-Zone
• Design and manufacture of main Safety-Zone systems and drawing
• Manufacture of moving parts of smoke-protecting-door system and tests for smoke protecting performance

- Manufacture of prototype of main systems of Safety-Zone system and its demonstration installation
• Supplementation of main systems of Safety-Zone
• Manufacture and validation of main systems of Safety-Zone
• Application of program for prediction of location of Safety-Zone
• Final draft of standard for fire detector in railway tunnel
• Demonstration installation of Safety-Zone system
• Field test of Safety-Zone system in underground staion
• Guide book for Safety-Zone system in underground station for commercialization
• Suggest verification of performance of developing system

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1
제1절 연구개발 최종목표 ····· 1
제2절 국내외 기술개발 현황 ····· 2
1. 국외 터널 화재감지기 설치 기준분석 ····· 2
가. NFPA 130 ····· 2
나. 일본철도 기술기준 ····· 3
다. TSI-SRT(유럽철도상호운용규정) ····· 5
라. UIC779-9 ····· 5
마. UN ····· 5
바. 스위스 도로터널 화재기준 ····· 5
사. 독일 도로터널방재 기준 ····· 6
아. 호주 도로터널 화재기준 ····· 7
자. 오스트리아 도로터널 방재기준 (Austrian RVS) ····· 9
차. 도로터널 화재감지기 설치 기준 요약 ····· 10
카. 화재감지기 도로터널 설치 기준 실례 ····· 10
2. 국내 터널 화재감지기 관련 기준분석 ····· 11
3. 국외 철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석 ····· 17
가. 국외 철도터널 화재감지기 설치 사례 방문조사 ····· 17
나. 국외 도로터널에서의 화재감지시스템 성능평가 ····· 22
4. 국내 화재감지기 관련기준 ····· 23
가. 자동화재탐지설비의 화재안전기준 (NFSC 203, 소방방재청) ····· 23
나. 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 (소방방재청) ····· 35

제2장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 73
제1절 철도터널 화재시나리오 설정 ····· 73
1. 철도터널 화재 사건 조사 및 시나리오 설정 ····· 73
2. 철도터널 화재 특성 데이터 구축 ····· 74

가. 소규모 화재 화재특성 시험 수행 ····· 75
나. 철도차량 대규모 화재 특성 분석 ····· 76
다. 터널 화재감지기 종류 ····· 78
제2절 철도터널 환경 현장 측정 및 비화재보 특성분석 ····· 80
1. 철도터널 환경측정 시스템 ····· 80
가. 시스템 구성 및 특성 ····· 80
나. 측정 센서 ····· 85
다. 분석프로그램 ····· 88
2. 경부선 고속철도 터널(금정터널) ····· 94
가. 환경측정시스템 설치 및 측정 ····· 94
나. 측정결과 ····· 97
3. 일반 영동선 터널(솔안터널) ····· 128
가. 환경측정시스템 설치 및 측정 ····· 128
나. 측정결과 ····· 131
4. 지하철 본선터널(과천선 금정-범계, 평촌-인덕원 간 본선터널) ····· 159
가. 환경측정시스템 설치 및 측정 ····· 159
나. 측정결과 ····· 160
5. 결과 ····· 172
가. 풍속 결과 ····· 172
나. 온도 결과 ····· 172
다. 먼지 결과 ····· 173
라. 습도 결과 ····· 174
제3절 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가 ····· 175
1. 철도터널 화재감지기 감지특성 조사 분석 ····· 175
가. 자동화 감지기 ····· 175
나. 연기감지기 ····· 183
다. 화염감지기 ····· 191
라. 국내외 터널에 설치된 감지기 종류 및 문헌조사 ····· 193
마. 국내 철도터널 형태 조사 분석 ····· 194
2. 감지기 종류별 화재특성 수치해석 ····· 196

가. 해석영역 및 격자설정 ····· 196
나. 화원설정 ····· 197
다. 감지기 위치설정 ····· 197
라. 해석결과 ····· 197
마. 열감지기 해석결과 ····· 222
바. 연기감지기 해석결과 ····· 225
사. 광전식 연기감지기 해석결과 ····· 228
아. 감지기별 감지성능 평가결과 ····· 231
3. 터널 규모별 감지시간 평가 ····· 232
가. 경계조건 설정 ····· 232
나. 해석결과 ····· 234
다. 터널 규모별 감지시간 평가 결론 ····· 236
제4절 철도터널 감지기 성능평가 예비시험 ····· 237
1. 시험전용 터널 ····· 237
2. 감지기 예비시험 시나리오 및 시험수행 ····· 238
가. 철도터널 감지기 성능평가를 위한 화원 설정 ····· 238
나. 철도터널 예비실험 결과 ····· 242
3. 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ····· 256
제5절 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ····· 306
1. 시험터널 및 설비설치 ····· 306
가. 시험터널 소개 ····· 306
나. 기류발생용 송풍기 설치 ····· 306
다. 시험 장치 설치 위치 ····· 311
라. 터널선형감지기 설치 ····· 314
2. 시험조건 ····· 316
3. 결과 ····· 317
가. 실험에 대한 풍속 결과 비교 ····· 320
나. 화원 기준 풍속별 온도 결과 비교 ····· 321
다. 화원 기준 풍속별 질량감소 결과 비교 ····· 325
4. 풍속에 따른 연료소모율 ····· 335

가. 시험 개략도 ····· 335
나. 연료소모율 ····· 336
다. 풍속 ····· 338
라. 풍속에 따른 연료소모율 ····· 340
마. 실험 및 이론에 대한 발열량 ····· 343
5. 1/20 축소 모형 실험과 비교 ····· 344
가. Critical Velocity ····· 345
나. 결과비교 그래프 ····· 346
제6절 철도터널 자동화재 탐지설비 기준(안) 및 해설서 ····· 348
1. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) 및 해설서 ····· 348
가. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) ····· 348
나. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) 해설서 ····· 349
다. 철도터널 자동화재 탐지설비(안) 평가 및 해외기술과의 수준비교 ····· 405
제7절 지하역사 및 터널 안전구역 구축 기준 및 매뉴얼 작성 ····· 411
1. 지하역사 및 터널 안전구역 구축기준 개발 배경 ····· 411
2. 지하역사 및 터널 안전구역 구축기준의 고려사항 ····· 412
가. 지하역사 및 터널화재의 일반적 화재 위험성과 고려사항 ····· 412
나. 지하역사 및 터널 피난안전구역 종류 구분 ····· 414
다. 안전구역의 제공기능과 필요조건 ····· 417
라. 지하역사 안전구역의 설치 및 적용을 위한 인간거동 영향 평가 ····· 418
3. 안전구역 구축의 목적 설정과 용어 정의 ····· 425
가. 안전구역의 구축 목적 설정 ····· 425
나. 관련 용어의 설정 ····· 425
4. 안전구역 설치 대상 및 위치 ····· 426
가. 안전구역 설치 대상 ····· 426
나. 피난안전구역의 설치 위치 ····· 426
5. 피난안전구역 시설 ····· 427
가. 안전구역과 겸용할 수 있는 용도 ····· 427
나. 피난안전구역의 구조 ····· 427
다. 피난안전구역의 면적 ····· 428

라. 피난안전구역 수용인원 결정 ····· 429
마. 필요시설 ····· 430
바. 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 수립 ····· 436
6. Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종(안) ····· 446
제8절 안전구역위치선정 프로그램 개발 ····· 473
1. 안전구역 위치선정 프로그램 개발 배경 ····· 473
가. 국내외 대심도 역사의 대피요소 현장조사 ····· 473
나. NFPA 대피시간 계산 내용 ····· 481
2. 안전구역 기술 자료 조사 ····· 484
가. 안전구역 관련법 조사 ····· 484
나. 안전구역 관련 기술자료 ····· 491
3. 안전구역 프로그램 개발 ····· 493
가. 개발 프로그램 모듈 및 UI 화면 ····· 493
나. 탐색 알고리즘 ····· 495
다. 콘트롤 박스 알고리즘 ····· 504
라. 안전구역 위치선정을 위한 최적함수 ····· 505
마. 숭실대 입구 역사 적용 ····· 507
바. 도면 변환 및 그래픽 분석 알고리즘 ····· 512
4. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ····· 555
가. Safety-Zone 구성시스템 설계 대상 ····· 555
나. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 모듈 ····· 560
다. 차연 팬 소요동력 산출 프로그램(프로그램명 : 디팬, DFan) 개발 ····· 561
라. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발 ····· 571
5. 위치선정 추가 데이터 확보를 위한 터널-차량간 피난시험 ····· 575
가. 실험 배경과 목적 ····· 575
나. 실험 개요와 이론 ····· 576
다. 실험 수행 및 결과분석 ····· 579
6. 지하역사 Safety- Zone (안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축 ····· 581
가. 안전구역 위치선정 프로그램 적용사례 : 만덕역사 ····· 581
나. 만덕역사 안전구역 위치 선정 검증을 위한 해석 ····· 587

다. 안전구역 위치선정 프로그램 정량적 정확도 비교 및 검토 결과 ····· 598
제9절 안전구역 주요 구성시스템 ····· 600
1. Safety-Zone 주요 구성 시스템 기본설계 ····· 600
가. 시스템의 개요 ····· 600
나. 전체 시스템 연동 ····· 603
다. 공간형 차연 방연 시스템 설계 ····· 604
라. 차압실험장치 설계 및 제작 ····· 614
2. 공간차연도어 시스템 구조 방연성능 검증실험 ····· 614
가. 공간차연도어 시스템의 구조 변경과 문제점 ····· 614
나. 에어커튼의 종류와 특성 ····· 617
다. 외부급기형 에어커튼의 연기방호 실험 ····· 621
3. 주요 시스템의 변화와 신규 시스템 도입 ····· 646
가. 피난안전구역 구현을 위한 시스템 변화 ····· 646
나. 신규 시스템의 도입과 지적재산권 확보 ····· 648
4. 공간형 차연도어 시스템 방연 모듈 시험 및 최적설계 수행 ····· 654
가. 연기유입 방지조건 설정을 위한 수치해석 ····· 654
나. 공간형 차연도어 시스템 방연 모듈 최적설계 ····· 661
다. 방연노즐 시험 ····· 698
5. 축소모형을 이용한 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 ····· 720
제10절 안전구역시스템 제작 및 현장 적용 시험 ····· 739
1. 안전구역 주요시스템 (공간형 차연도어 시스템) 설계 ····· 739
가. 단문전개식 공간형 차연도어 설계 ····· 739
나. 양문전개식 공간형 차연도어 설계 ····· 740
다. 각 시스템의 도면화 작업 ····· 746
라. 양문전개식 공간형 차연도어 차연 성능 시험 ····· 763
2. 부산 만덕역사 안전구역 시스템(차연도어시스템) 설치 ····· 778
3. 성능시험 수행 ····· 794
가. (공간형) 차연도어 방연풍속 측정 ····· 794
나. (공간형) 차연도어 연기 모의시험 ····· 820

제3장 최종연구성과 및 적용실적 ····· 840
제1절 핵심성과별 세부내용 ····· 840
1. 철도터널 화재감지기 성능평가 기준 및 실대형 시험을 통한 검증 ····· 840
2. Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 및 성능검증 ····· 843
3. Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 ····· 846
4. 지하역사 Safety- Zone (안전구역) 설계 프로그램 ····· 848
제2절 주요 연구성과 ····· 849
1. 논문 ····· 849
2. 특허 ····· 849
3. 소프트웨어 등록 ····· 850
4. 기술실시 ····· 850

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 851
제1절 연구목표 달성도 ····· 851
제2절 연구개발 성과의 효과 ····· 852
1. 기술적 측면 ····· 852
2. 경제·산업적 측면 ····· 852

제5장 연구 성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 853
제1절 연구성과 향후 활용 ····· 853
제2절 추가연구 필요성 ····· 855

참고문헌
부록 안전구역 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 ····· 858

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 최종목표

철도터널 화재감지기 기준 개발 및 지하역사의 피난안전성 안전성 향상을 위한 Safety-Zone (안전구역) 구축기술 구현

- 철도터널 화재감지기 기준 개발 및 실대형 시험을 통한 검증
- 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 구축기술 개발 및 현장 시범구축

연 차	연구목표	주요 연구내용
1차년도	■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성	■ 국내외 터널 화재감지기 설치 기준 분석 ■ 국외철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석 ■ 철도터널 화재 시나리오 설정 ■ 철도터널 화재특성 데이터 구축 ■ 철도터널 화재감지기 환경현장 측정 및 비화재보 특성 분석 (본선 및 부속시설) ■ 화재감지기 요구성능 분석 ■ 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가기법 정립 ■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 작성
	■ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 기본설계	■ Safety-Zone(안전구역) 국내외 자료 조사 분석 ■ 다양한 화재시나리오에 따른 Safety-Zone(안전구역) 구성요건 정립 ■ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 모델 개발 ■ 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 검토 및 수립 ■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 기본설계 – 공간 차연 도어 시스템 – 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 – 지능형 급기 네트워크 시스템 ■ 주요동작 구조부 제작 테스트
2차년도	■ 실대형 시험을 통한 철도터널화재감지기 기준 검증	■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ■ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ■ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)
	■ Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성	■ 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성 ■ 위치선정 프로그램 개발 ■ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 – 공간 차연 도어 시스템 – 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 ■ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행
3차년도	■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축	■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 성능설계 및 보완 – 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 – 방연 에어커튼 노즐 최적설계 ■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 검증 – 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증 – Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 제작완료 ■ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축 – Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발 – 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 고도화 및 프로그램 적용사례 구축 ■ Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종안 작성 ■ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 시범 구축 – Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험 수행(성능평가시험 포함) – 시험결과에 대한 문제점 보완 ■ Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작 ■ 개발제품 성능인증 기준안 마련 및 제안

제2절 국내외 기술개발 현황

1. 국외 터널 화재감지기 설치 기준분석

도로터널과 비교하여 철도터널은 화재감지기관련 기준이 미비한 상태이며, 내용을 살펴보면 철도터널의 화재감지기 설치 유무 등의 간단한 내용만 포함하고 있다. 아래의 그림은 국외 철도터널과 감지기와 관련된 기준이다.

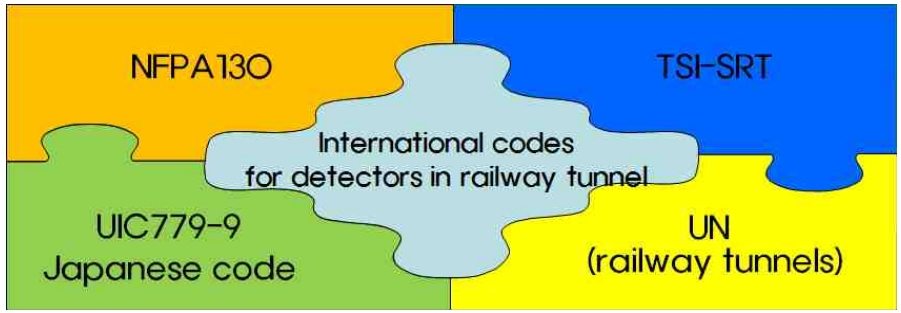


그림 1.2.1 국외 철도터널 화재감지기 관련 기준

가. NFPA 130

NFPA는 미국화재안전 기준이며, 지하철과 관련된 내용을 담고 있으며 감지기 관련한 절은 5.7.1절이며 아래의 표에서 원문을 토대로하여 철도터널에 적용가능한 규정의 형태로 정리하였다.

표 1.2.1 NFPA 5.7.1 Fire Alarm (Protective Signaling) Systems 주요내용

5.7.1.1 A fire alarm system using an approved emergency voice/alarm communication system shall be	철도터널 화재감지기는 철도터널 안전성 평가 결과에 따라 설치하며 소방법OO에 만족하는 감지기를 설치하여야 한다. 단

installed in all enclosed and underground stations with occupant loads of more than 300 in accordance with NFPA 101.	철도터널 부속실에는 설치가 되어야 한다.
5.7.1.2 Fire alarm systems shall be installed, tested, and maintained in accordance with the applicable requirements of NFPA 70, National Electrical Code, and NFPA 72, National Fire Alarm and Signaling Code except as modified in this section.	화재감지시스템(화재감지기)는 본 규정에서 수정한 부분을 제외하고는 국가 전기코드 NFPA 70과 국가 화재알람 및 신호 코드 NFPA72와 일치하도록 설치, 시험, 보수되어야 한다.
5.7.1.3 Manual fire alarm boxes or other approved initiating devices such as emergency telephones (ETEL) shall be located on passenger platforms in accordance with the following: (1) Throughout the stations such that the travel distance from any point in the public area shall not exceed 100 m (325ft) measured horizontally on the same floor unless otherwise approved. (2) Not less than 42 in. (1.07 m) and not more than 48 in. (1.22 m) above floor level. (3) Within 60 in. (1.52 m) of the exit doorway pening at each exit on each floor. (4) On both sides of grouped openings over 40 ft (12.2 m) in width, and within 60 in. (1.52 m) of each side of the opening.	수동 화재 알람 박스 및 비상전화등의 위치는 아래와 같다.
5.7.15 Automatic fire detection shall be provided in all ancillary spaces by the installation of listed combination fixed-temperature and rate-of-rise heat detectors or listed smoke detectors except where protected by automatic sprinklers.	자동 스프링클러로 보호되는 공간을 제외한 보조공간은 고정온도 및 온도상승감지 감지기 또는 연기감지기로 자동화재 감지가 제공되어야 한다.

나. 일본철도 기술기준

개정전 일본의 철도기술기준은 아래의 그림과 같이 812개의 법과 기술기준으로 나뉘어져 있었으나, 법과 기술기준 및 가이드라인으로 법체계를 개편하였는데 가이드라인은 강제규정은 아니다. 기술기준은 120개로 축약되어 공포되었다..

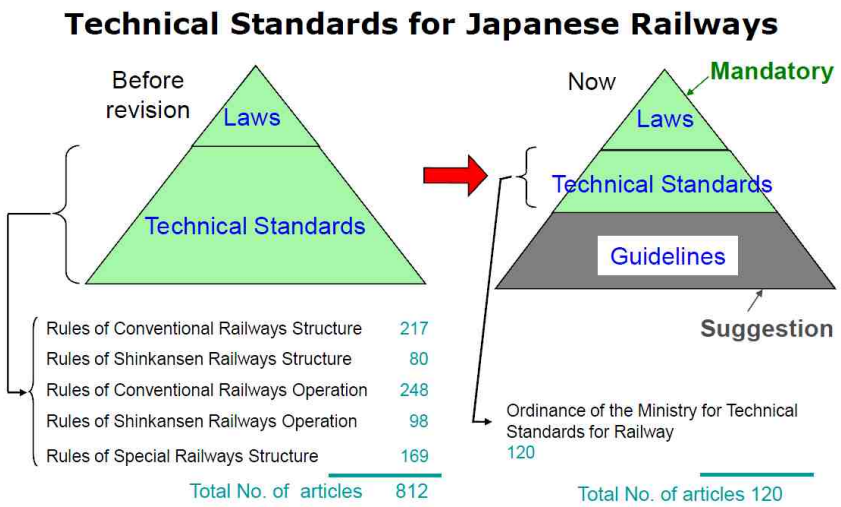


그림 1.2.2 일본 철도 기술기준의 개정

120개의 규정중 29 article이 방재관련 규정이며 이중 화재감지기 관련 부분을 발췌하였다.

표 1.2.2 일본 철도규정중 감지기기준 관련 발췌

Article 29. Underground railway stations that are built mainly with underground structure and tunnels leading to stations or long tunnels (hereinafter referred to as "underground stations, etc.") shall be equipped with ventilators of adequate ventilating capability. This does not apply, however, to those cases that are accessible to sufficient natural ventilation. 2. Underground stations, etc., shall be equipped with fire extinguishers, evacuation facilities and other necessary fire-prevention equipment, depending upon the structure and facility.	지하역사에 관련된 법
4. Provision of alarm facilities, notification facilities, evacuation guidance facilities, and the like (1) Alarm facilities 1) A railway station shall be provided with automatic fire alarm facilities, and the disaster prevention control center shall be provided with a receiver for the alarm	화재 자동감지를 위한 감지기는 거주공간, 가게, 서브스테이션, 디스트리부션 스테이션, 기계실 등에 설치된다. 화재감지기는 비상 파워 원을 구비하여야 한다.

facilities. 2) Detectors for the automatic fire alarm facilities shall be provided in habitable rooms, kiosks, substations, distribution stations, machine rooms, and other such locations. Automatic fire alarm facilities shall be provided with emergency power sources.	

다. TSI-SRT(유럽철도상호운용규정, safety in railway tunnels)

접근/피난을 위한 공간(기타공간)은 화재감지기를 설치

라. UIC779-9(safety in railway tunnels)

본선터널과 기능실로 구분

본선터널에서 감지기 설치는 의무적이지는 않으나 터널과 구분된 설비공간에는 감지기설치 추천

마. UN (Recommendation of the multidisciplinary group of experts on safety in tunnels (rail))

터널에서는 주행중의 차량화재를 감지할 수 없으나 기능실에 화재감지기설치 강력 추천

바. 스위스 도로터널 화재기준 (Swiss ASTRA Guideline)

표 1.2.3 스위스 도로터널 화재감지기 기준

The fire detection system hast to be designed for the following incidents: fire with rapid development and high heat dissipation.	터널의 화재감지시스템은 급격한 성장과 고온의 열발생을 동반하는 다음과 화재에 감지할 수 있어야 한다.
▪ High fire power and rapid fire development are expected especially in the case of incidents caused by accidents of trucks with fuel leakage or flammable goods. The development into a fire with 10 MW is possible within one minute. The source of the fire is local.	▪ 대형 및 급속성장 화재는 특히 연료 누출이나 가연제품의 트럭의 사고일 경우이다. 약 1분 이내에 10 MW 로 성장할 수 있다. 화재 위치는 고정이다.
▪ Smoke development without heat dissipation or fire with low heat dissipation(smoldering fire) and large smoke development or fire with slow heat development.	▪ 열발생없이 연기가 발생하거나 매우 적은 열발생(훈소, smoldering)와 많은 연기 발생하는 화재 또는 느린 속도로 성장하는 화재의 경우
▪ A burning car has a fire power of 2 to 5 MW and can develop into a full fire within 5 to 10 minutes. The fire generally is local.	▪ 화재가 발생한 자동차의 화재 크기는 2-5 MW 이고 이런 화재는 5에서 10분안에 최성기 화재로 성장할 수 있다. 화재 위치는 고정이다.

▪ In a truck fire due to overheated parts the fire can start on a small scale not necessarily forcing the vehicle to stop. If possible the truck driver will try to drive the vehicle out of the tunnel. The source of the fire is mobile.	▪ 부품 과열에 의한 발화는 작은 규모에서 성장하며 이러한 화재는 열차를 멈추게하지 않는다. 가능하다면 철도차량 운전자는 차량을 터널 밖으로 이동시켜야 한다. 이 때 화재 위치는 움직인다.
▪The target for the temporal fire detection is, to detect the fire situations described in paragraph 3.1.3 for each location of the incident in the tunnel within 1 minute after outbreak. This specification is related to a longitudinal air speed in the tunnel of 1.5 m/s. At an air velocity below 1.5 m/s the detection might take a longer time. The incident detection by image processing might support the fire detection.	▪ 시간에 따라 변하는 화재감지 위치인 경우 화재발생후 1분이내에 감지해야한다. 이 사양은 터널 종류환기 속도가 1.5 m/s 일 때이며 종류 환기속도가 1.5 m/s 보다 작은 경우는 오래걸릴 수 있다. 이미지 프로세싱에 의한 화재감지의 경우에는 화재감지기를 보조로 확인하여야 한다.
▪The spatial resolution of the line type heat detector must not exceed 10 m.	▪ 선형 열감지기의 경우 거리 민감도는 10 m를 넘지 않아야 한다.
▪The redundancy is given between LTHD and smoke detectors	▪ LTHD와 연기감지기를 중복하여 설치 가능하다

사. 독일 도로터널방재 기준(German RABT)

표 1.2.4 독일 터널방재기준 중 화재감지기부분 발췌

▪The automatic fire detector in the tunnel must ensure the detection of a fire with a load of 5 MW (corresponding to a fire of 20 l gasoline with an area of 4 m2) and an longitudinal air speed of 6 m/s within one minute after fire outbreak as well as the localization within 50 m.	터널의 화재감지기는 5 MW (4 m2 20리터 가솔린에 대응) 크기의 화재를 종방향 환기솔도 6m/s 일 때 화재발생후 1분전 및 50 m 구역으로 국한하여 감지를 해야함
▪Line type heat detectors have to be used, which react both to temperature rise as a function of the time and to an absolute temperature rise. (…) Line type heat detectors have to be divided into several sectors. With destruction of one sector, the other sectors must remain functional.	선형감지기를 활용할 경우 온도 값이나 온도의 상승속도를 이용하여 화재를 감지하여야 함. 선형감지기는 몇군데의 구역으로 나누어져야하며 한 구역이 손상을 입을 경우 다른 구역 들은 정상 작동 하여야 한다.
	자동 화재 경고시설은 터널길이가 400m 미만일 때 및 기계식 환기장치를 갖춘 터널에서 사용된다.
	시간에 따른 온도 상승 뿐만 아니라 절대 온도 상승에도 반응하는 선형 온도 감지기를 설치해야 한다. 온도 감지장치는 clearance 위 tunnel soffit에 고정된다. 선형 온도 감지장치는 여러 개의 구간으로 나뉜다. 한

	구간에 고장이 발생했을 때 나머지 구간의 기능은 유지되어야 한다.
	화재 경보장치가 온도에만 반응할 경우 화재 탐지(사전 경보)를 위해 시야 흐림도 측정장치를 사용한다(간격에 관한 사항은 2.3.6장 참조).
	동일한 수준의 요구사항을 충족한다면 화재 경고장치 대신 열 카메라 또는 적절한 비디오 장치의 사용이 허용된다. 화재가 발생한 위치를 판단하기 위해(디지털 비디오 분석) 이러한 시설들은 화상(picture) 탐지 기능을 갖추어야 한다.
	자동 화재 경보 시설은 보호 대상 시설(예: 전기 설비)이 설치된 구내 안에도 설치되어야 한다. 구내 입구 또는 다른 적절한 장소(예: 터널 입구)에 화재 경보 게시판을 설치, 화재 발생 장소로의 접근을 표시한다(3.1.2장 참조). 구내 바깥에는 소방서 주요 차고를 설치한다.

아. 호주 도로터널 화재기준 (Fire Safety Guidelines for Road Tunnels, 2001년판)

표 1.2.5 호주 터널방재기준 중 화재감지기부분 발췌

▪Fire Incident Detection Systems (정의) There is an absolute necessity to detect immediately any emergency incident in a tunnel that may affect the safety of the occupants. The fire detection system must be able to detect the fire very early in its development and also accurately locate the position of the fire. The degree of accuracy depends on the type of active fire safety systems that may be installed in the tunnel	▪화재발생 감지 시스템 터널 점유자의 안전에 영향을 미치는 긴급상황을 즉시 감지하는 필요성이 절대적이다. 화재감지시스템은 발생 초기에 화재를 감지하여야 하며 화재의 정확한 위치를 감지하여야 한다. 정확도는 터널에 설치될 수 있는 화재안전 시스템의 종류에 의존한다.
6. Fire incident detection system	
6.1 Background Statement	
There is an absolute necessity to detect, immediately any emergency incident in a tunnel that may affect the safety of the occupants and raise an alarm with the tunnel operator. There are two types of incidents that can easily become a danger to other tunnel occupants: ☐ fire or, ☐ any incident that causes vehicles or objects to become stationary within the tunnel.	터널 점유자의 안전에 영향을 미칠 수 있는 비상상황은 바로 감지 및 터널운영자에게 통보되어야 한다. 아래의 두가지 경우에 터널 점유자에 위험이 될 수 있다. ☐ 화재 ☐ 터널에 차량 및 물체가 정지하여 있는 경우
The fire detection system must be able to detect the fire very early in its	화재감지기는 화재 발생 초기에 그위치를 정확하게 감지하여야 한다. 정확도는 터널에

development and also accurately locate the position of the fire. The degree of accuracy depends on the type of active fire safety systems that may be installed in the tunnel.	설치되는 능동 화재안전 시스템에 따라 다르다.
Closed Circuit Television (CCTV) cameras (pan-zoom type) fitted with an incident detection system are considered to be vital, together with a fire detection system in providing early detection.	감지시스템과 연동되어 있는 CCTV(이동 및 줌)는 초기의 화재감지를 위하여 필수적이다.
Vehicles or objects can become stationary in a tunnel due to either mechanical failure, an accident or due to falling debris from a moving vehicle. All stationary objects are considered a hazard to tunnel occupants and their presence must be signalled to the tunnel operator as soon as possible.	차량 및 물체의 터널 내 정차는 기계적인 고장 및 이동 차량에서 떨어진 물체 때문이다. 이러한 물체는 터널 점유자에 위험으로 고려되며 이는 터널 운영자에게 최대한 빨리 보고되어야 한다.
The incident detection system can be installed in the tunnel's carriageway pavement or by CCTV cameras incorporating incident detection software. Incident detection systems should incorporate the following features: ☐ Automatic Incident Detection System connected to CCTV. Thus allowing view locking to an area where a vehicle has stopped or slowed down and bring the location onto the operators visual screen. An audible alarm should also be automatically raised at the control room. ☐ Due to glare problems, cameras should be placed viewing in the direction of traffic flow. ☐ Heat Detection and Tracking System providing capabilities to track the growth of the fire when cameras do not have visibility. ☐ Fire detection system must be permanently connected with a direct data link to fire station or fire station dispatch centre. ☐ The detection system must be accurate enough to activate the correct deluge zone and smoke hazard management systems. ☐ The CCTV system should have sufficient cameras with pan, tilt and zoom facilities: - To enable operator to examine any	화재감지기는 터널 carriageway pavement 내에 설치되어야 하며 사건 감지 소프트웨어가 포함된 CCTV 카메라에 의해 설치되어야 한다. 사건 감지기는 아래 요소들이 포함되어야 한다. ☐ 자동 사건 감지 장치는 CCTV에 연경괴어야 한다. 그러므로 차량이 정치했거나, 속도를 줄이거나한 위치의 영역으로 관리자의 스크린에 표시되어야 한다. 제어실에 음경보가 자동으로 발생되어야 한다. ☐ 눈부심 문제로 인해 카메라는 운전방향으로 향하도록 해야한다. ☐ 카메라로 확인이 불가능할 경우는 화재의 성장을 추적할 수 있는 열감지 및 추적 시스템 ☐ 화재감지시스템은 영구적으로 소방서와 파견소방소에 직접적인 통신 방법으로 연결되어야 한다. ☐ 화재감지기는 적절한 폭우 존과 연기 위험 관리시스템을 운전할 정도로 충분히 정확해야 한다. ☐ CCTV 시스템은 pan, tilt, zoom 기능을 가진 충분히 많은 카메라로 이뤄져야 한다. - 도로표면에 어던 부분이든지 확인할 수 있어야 함

part of the road surface – For detailed views of vehicles, camera spacings will depend on camera capabilities, however not more than 150m intervals is recommended.	– 차량의 정밀한 시야확보를 위해 카메라의 간격은 성능에 의존하지만 150 m 이하의 간격이 추천된다.
In the event of a fire, smoke conditions may reduce the effectiveness and visibility through the CCTV cameras. As a result thermal imaging capabilities incorporated within the cameras should be considered as an option or locating the cameras at a height which would reduce the effect on visibility due to the smoke layer. It should be noted however that a linear heat detection system may provide an accurate location of the fire and the extent to which it has spread throughout the tunnel system. As learned from the CityLink Hot smoke tests20, CCTV cameras were fitted with pan, tilt and zoom facilities and additional cameras were fitted such that the system had full coverage of the tunnel.	화재가 발생했을 경우에 연기로 인하여 CCTV 카메라를 통한 가시도 및 효율이 낮아질 수 있다. 열영상 기능이 포함된 카메라가 선택으로 고려될 수 있으며 연기층으로 인한 가시도에 영향을 줄이기 위한 높이에 설치될 수 있다. 선형 감지시스템은 화재의 정확한 위치와 터널 전체에 퍼진 연기의 양에 대한 정보를 제공할 수 있다. CityLink Hot smoke tests20의 경험에서 카메라는 터널에 모든 영역을 커버할 수있도록 기능을 갖추었으며 추가의 카메라 설치
6.2 Performance Statement	
Suitable detection systems must be installed to the accuracy necessary in a tunnel to detect fire, stationary vehicles and objects on the vehicle carriageway appropriate to: 1. Alerting the tunnel operator; and 2. Alerting the tunnel occupants; and 3. Activate any active fire safety systems 4. Provide the location of the incident within the tunnel ie signage, identification etc. 5. Alerting the fire services	화재감지기는 터널 화재를 감지하기 위하 필요하 피요한 정확성을 가지고 설치되야 하며 다음과 같이 적절 1. 터널 운영자 경보 2. 터널 점유자 정보 3. 화재안전 시스템 활성화 4. 터널 내 사고 위치, 즉 사인이나 인식 5. 소방서에 경보

자. 오스트리아 도로터널 방재기준 (Austrian RVS)

표 1.2.6 오스트리아 터널방재기준 중 화재감지기부분 발췌

▪The automatic fire detection system in the tunnel has to ensure a fire detection according to the longitudinal air velocity and fire load given in table 8 (i.e. detection of a 1.5 MW fire in 90 sec @ 3 m/s wind speed).	▪터널 자동화재감지시스템은 테이블 8에 주어진 공기 종류식 속도와 화재강도에 대해 감지가 보장되어야 한다. (1.5MW, 3 m/s)
▪ Automatic fire detectors must use maximum value and rate of rise detection or use a technically adequate system.	자동 화재감지기는 최대값이나 상승률을 이용하거나 기술적으로 적당한 시스템을 이용하여야 한다.

▪ For maximum value and rate of rise detection systems the maximum distance of two measuring points must be 10 m (in longitudinal direction of the tunnel).	측점정의 최대거리는 10 m 이다.
▪The system has to be set up in a way, that in appearance of a single defect (e.g. cable interrupt, failure of a control unit) maximum 1.000 m of the monitoring length can fail.	센서의 일부분이 고장날 경우 모니터닝이 불가한 구간은 최대 1000m 이다.

차. 도로터널 화재감지기 설치 기준 요약

표 1.2.7 국가별 화재감지기 설치기준 요약

Country	Application criteria	comment
NFSC	≥ 1000 m	
GIST	≥ 500 m ≥ class 3) a)	양방향 도로터널에만 적용, 다른 경우에는 ≥ 1000 m or Class 2. 터널이 2000m 이상인 경우에는 화염과 연기를 감지하기 위해 CCTV 설치. 500 ≤ 터널 길이 ≥ 1000 m 인 경우 자동화재감지기는 자동 사고 감지기로 대체될 수 있다.
오스트리아	≥ 1500 m	운전실에 화지감지기 설치. 기계환기시설이 있는 터널에 일반적으로 설치
프랑스	≥ 300 m b)	b) 위험 수송물이 허락된 터널 – 도시 단방향 또는 비도시 과운행 단일방향 터널 : ≥ 300 m – 비도시 과운행 양방향 터널 : 500–1000 m b) 사람이 통제하지 않는 터널 – 도시 양방향 터널 : 300–1000 m (≥1000 m, 가능) – 비도시 낮은운행 밀도 양방향 터널 ≥ 1000 m – 비도시 과운행 양방향 터널 ≥800 m
독일	> 400 m c)	c) 기계 환기시설이 있는 터널의 경우
일본	≥ class A	기계 환기시설이 설치되어 있지 않은 터널의 경우에는 해당 안됨 자동감지시스템은 통행흐름이 많은 경우 300 m 보다 긴 터널에 적용하여야 한다.
스웨덴	≥ class TB	
영국	≥ class D ≥ 100 m	모든 빌딩과 보조적 구조물은 구획화되어야 하며 자동화재 감지기가 설치되어야 한다. 무인 시설의 경우에는 화재감지기는 원격 모니터링되어야 한다.
미국	≥ 240 m	24시간 상시감시가 지원되지 않는 터널은 화재 위치에서 15m 이내를 감지할 수 있는 자동 화재감지기사 설치되어야한다.
EU	> 500 m	제어센터를 포함한 화재감지기 또는 사건감지기 두 개 중 한 개의 시스템이 설치되어야 한다.
PIARC		화재감지시스템은 길거나 복잡한 터널에 유용하며 특히 위험물 반입이 허락되어 정확한 화재 위치를 알고자 할 때 필요하다. 감지기는 횡류 또는 반횡류 환기 시스템이 설치된 무인 터널에 유용하다.

Comparison of Road Tunnel Design Guidelines (Hak Kuen Kim, A. Lonnermark, H. Ingason, Comparison and review of safety design guidelines for road tunnels, SP report 2007:08)

카. 화재감지기 도로터널 설치 기준 실례

표 1.2.8 화재감지기 도로터널 설치 기준 실례

Nation	Criterion for installation of automatic detectors	Type of fire detector used	Other fire detection method
Australia	?	Linear heat detectors1	Manual alarm Boxes1
Austria	Tunnel length >1500m	Linear heat detectors	–
Belgium	Tunnels admitting dangerous cargo	Point heat detectors	–
Canada	?	Linear heat detectors3	–
China	?	Linear heat detectors3	–
Denmark	Only in one tunnel	Point heat detectors at 10m spacing	Emphasis is on emergency maunual alarm panels.
France	None	–	CCTV and emergency telephones
Germany	Tunnel length >350m	?	–
Israel	?	Linear heat detectors3	–
Italy	Long two-way tunnels and short two-way tunnels with heavy traffic	Linear heat detectors	–
Japan	Class a tunnels; i.e. if they are either longer than 3km, or in the range 300m to 3km with minimum traffic volumes that depend on tunnel length2	Flame detectors	–
Norway	None in 1999, but at least two detection system installed since then.	Linear heat detectors3	–
Spain	?	Linear heat detectors3	–
Switzerland	Unspecified tunnel length	Linear heat detectors	–
Turkey	?	Linear heat detectors3	–
United Kingdom	None	–	CCTV, visibility monitors, and traffic detectors.
United States	NFPA 502 statement; tunnels longer than 240m without 24-hr monitoring.	Linear heat detectors	CCTV monitoring

* Based primarily on survey responses reported in PIARC, 1999.
1. Webb, K., "Hot smoke tests in south east transit busway tunnel section 1B," BCE Doc. 00/351, CSIRO (2000)
2. As of 1983, 26 Japanese road tunnels were equipped with automatic fire alarms (Unoki and Kimura, 1983)
3. From a list of detector tunnel installations provided by Eppich (2001).

2. 국내 터널 화재감지기 관련 기준분석

(1) 철도시설 안전세부기준 (국토부)

철도시설 안전세부기준 제28조 2에 화재감지기에 관련된 기준이 있는데, 설치기준, 성능평가, 오작동방지등과 같이 감지기에 중요한 기준이 포함되어 있지는 않다.

제28조의2(화재감지기) 철도시설관리자는 안전성 분석 결과에 따라 화재감지기가 필요한 경우 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다.

1. 화재감지기는 화재발생 초기에 열이나 연기, 불꽃 또는 연소생성물 등을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖출 것
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의하여 오동작하지 않을 것
3. 화재감지기와 연동되어 있는 방연셔터에는 오동작 여부를 확인할 수 있는 영상감시장치를 설치할 것
4. 화재감지기의 종류와 설치방법 등에 대하여 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용하되 터널의 현장여건 등을 고려하여야 하고 감지범위 및 감지능력이 적합할 것

(2) 도로터널의 화재안전기준 (NFSC 603, 소방방재청)

(가) [제7조.①] 터널에 설치할 수 있는 감지기의 종류

표 1.2.9 터널에 설치할 수 있는 감지기의 종류

①차동식 분포형 감지기 : 주위 온도가 일정 상승률 이상이 되는 경우 작동	 **그림 1.2.3** 차동식분포형
②정온식 선형 감지기 : 일국소의 주위온도가 일정한 온도 이상이 되는 경우 작동	 **그림 1.2.4** 정온식감지선형
③중앙기술심의위원회의 심의 거쳐 터널화재에 적응성 있다고 인정된 감지기	

(나) 감지기의 설치 기준

①[제7조.②]하나의 경계 구역의 길이는 100m 이하로 하여야 한다

②[제7조.③.1]감지기의 감열부와 감열부 사이의 이격거리는 10m이하로, 감지기와 터널 좌우측 벽면과의 이격거리는 6.5m 이하로 설치

③[제7조.③.2]터널 천장의 구조가 아치형의 터널에 감지기를 터널 진행방향으로 설치하고자 하는 경우에는 감열부와 감열부 사이의 이격거리를 10m이하로 하여 아치형 천장의 중앙 최상부에 1열로 감지기를 설치

④[제7조.③.2]2열 이상으로 설치하고자 하는 경우에는 감열부와 감열부 사이의 이격거리는 10m 이하로 감지기 간의 이격 거리는 6.5m 이하로 설치

⑤[제7조.③.3]감지기를 천장면에 설치하는 경우에는 감지기가 천장면에 밀착되지 않도록 고정금구 등을 사용하여 설치

(3) 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토부)

도로터널 방재시설 설치 및 관리지침에 대한 설명은 아래 그림과 같이 총칙, 도로터널 방재시설, 경보설비로 요약하여 나누어 설명하였다. 그리고 국가법령정보센터에 있는 원본에서의 설명 위치도 각 제목에 적어놓았다.

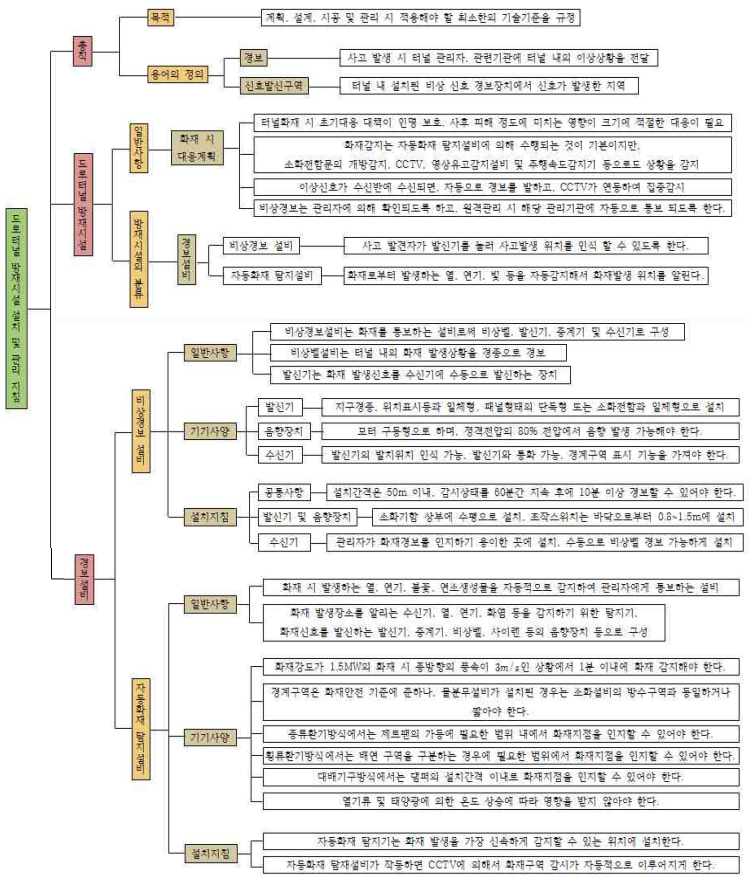


그림 1.2.5 도로터널 방재시설 설치 및 관리 지침 요약표

(가)「제 1장 총칙」

①「1.1 목적」

본 지침은 도로터널 방재시설의 계획, 설계, 시공 및 관리 시 적용해야 할 최소한의 기술기준을 규정함을 목적으로 한다.

②「1.3 용어의 정의」

㉮ 경보

사고 발생 시 터널관리자나 관련기관에 터널 내의 이상 상황을 전달하고, 터널 내 사용자들이 적절한 행동을 취하도록 통보하는 행위를 말한다.

㉯ 신호발신구역

터널 내 설치된 비상 신호(자동화재 탐지설비, 비상경보, 긴급전화, 소화기, 소화전) 경보장치에서 신호가 발생한 지역을 말한다.

(나)「제 2장 도로터널 방재시설」

①「2.1 일반사항」

㉮「2.1.6 화재 시 대응계획」

- 터널화재 시 초기대응 대책이 인명의 보호 및 사후 피해 정도에 미치는 영향이 가장 크기 때문에 본 지침에서 화재 시 적정한 대응을 위해서 다음과 같은 기본사항을 제시한다.

화재감지는 자동화재 탐지설비에 의해서 수행되는 것을 기본으로 하지만, 초기감시능력의 강화를 위해 소화전함문의 개방감지, CCTV, 영상유고감지설비 및 주행속도감지기 등에 의해서도 이상 상황을 감지할 수 있도록 한다.

- 자동화재 탐지설비 등의 이상신호가 수신반에 수신되면, 비상경보설비에 의해서 자동으로 경보를 발하고, 신호발신구역의 CCTV가 연동하여 집중감시가 될 수 있도록 구성한다.

- 비상경보는 관리자가 상주하는 터널에서는 관리자에 의해서 확인할 수 있도록 하며, 원격관리를 수행하는 경우에는 해당 관리기관에 자동으로 통보될 수 있도록 한다.

②「2.2 방재시설의 분류」

㉮「2.2.2 경보설비」

경보설비는 화재나 사고 등의 긴급 상황을 도로 관리자 및 소방대 또는 경찰에게 전달하는 동시에 도로 이용자 등에게 사고의 발생을 통보하기 위한 설비이다. 사고 발생을 관리자에게 알려주는 비상경보설비(발신기), 긴급전화 및 자동화재 탐지설비와 관리자가 상황을 접수 후에 이를 터널 이용자에게 알려주는 비상경보설비(비상경종), 비상방송설비, 정보표시판, 라디오 재방송설비가 있다.

- 비상경보 설비

사고 당사자 또는 발견자가 수동 조작하여 사고를 통보하여 사고발생 위치를 인식할 수 있도록 하며, 터널 내에 경보를 발하여 터널 부근 및 터널 내의 도로 이용자에게 사고발생을 신속하게 통보하기 위한 설비로 발신기(누름 버튼)와 비상벨로 구성된다.

- 자동화재 탐지설비

화재로부터 발생하는 열, 연기, 빛 등을 자동 감지하여 화재 발생 위치를 수신반을 통해 관리소나 통합관리센터의 관리자에게 알리기 위한 설비이다.

(가)「제 4장 경보설비」

①「4.1 비상경보설비」

㉮「4.1.1 일반사항」

- 비상경보설비는 화재 발생 시 화재장소 또는 중앙 감시실에 경보를 발령하여 화재를 통보할 수 있는 설비로써 비상벨, 발신기, 중계기 및 수신기 등으로 구성된다.

- '비상벨설비'라 함은 터널 내의 화재 발생상황을 경종으로 경보하는 설비를 말한다.

- '발신기'는 화재 발생신호를 수신기에 수동으로 발신하는 장치를 말한다.

- '수신기'는 발신기에서 발하는 화재신호를 직접 수신하는 장치를 말한다.

- 본 지침에 언급되지 않은 사항은 비상경보설비의 화재안전기준(NFSC 201) 및 도로터널화재안전기준(NFSC 603)을 준용한다.

㉯「4.1.2 기기사양」

○ 발신기

- 발신기는 일반적으로 지구경종, 위치표시등과 일체형으로 하며, 패널형태의 단독형 또는 소화전함과 일체형으로 설치한다.
- 발신기의 위치를 표시하는 표시등은 부착면으로 부터 15° 이상의 범위 안에서 부착지점으로부터 10m 이내의 지점에서 식별이 가능해야 한다.

○ 음향장치

- 지구음향장치는 모터 구동형으로 하며, 음향장치의 음량은 음향장치의 중심으로부터 1m 떨어진 위치에서 90dB 이상이 돼야 한다.
- 음향장치는 정격전압의 80% 전압에서 음향을 발생할 수 있어야 한다.

○ 수신기

- 발신기의 발신위치를 인식할 수 있는 것으로 한다.
- 발신기와 통화가 가능한 구조로 한다.
- 수신기는 감지기, 중계기 또는 발신기가 작동하는 경계구역을 표시할 수 있는 기능을 갖도록 한다.

㉰「4.1.3 설치지침」

○ 공통사항

- 연장기준등급이 3등급 이상인 터널에 설치한다.
- 통행방식에 관계없이 터널 내 차로수가 3차로 이하의 터널은 한쪽 측벽에 설치하되, 일방통행터널은 주행차로 우측 측벽에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 단, 터널 구조상 우측 측벽 설치가 곤란한 경우에는 좌측 측벽에 설치할 수 있다.
- 통행방식에 관계없이 터널 내 차로수가 4차로 이상인 터널은 양쪽 측벽에 지그재그로 설치함을 원칙으로 한다.
- 설치간격은 50m 이내로 한다.
- 비상경보설비에는 감시상태를 60분간 지속한 후 유효하게 10분 이상 경보할 수 있도록 비상전원설비를 갖추어야 한다.
- 전원회로의 배선은 옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)에 준하여 내화배선으로 한다.

○ 발신기 및 음향장치

- 발신기는 소화기함이나 소화전함 상부에 수평으로 설치하며, 발신기, 음향장치(경종), 음향공(158mm Bell), 위치표시등과 병설하여 설치한다.
- 발신기의 조작스위치는 점검로 바닥으로부터 0.8m 이상 1.5m 이하의 높이에 설치한다.

○ 수신기

- 수신기는 관리자가 화재경보를 인지하기에 용이한 장소에 설치하여야 한다.
- 긴급전화에 의해서 비상상황이나 화재상황이 통보되는 경우 관리자가 수동으로 비상벨을 경보할 수 있도록 한다.
- 2개소 이상에서 수신기를 운영하는 경우에는 반드시 상호통신이 가능한 시설을 갖춘다.
- 수신기를 옥외에 설치할 경우에는 온도 및 습도에 대한 보호대책을 강구해야 한다.

②「4.2 자동화재 탐지설비」

㉮「4.2.1 일반사항」

- 화재 시 발생하는 열, 연기, 불꽃 또는 연소생성물을 화재 발생 초기에 자동적으로 감지하여 화재사실을 관리자에게 자동 통보하는 설비이다.

- 화재 발생장소를 알리는 수신기, 열 또는 연기, 화염 등을 감지하기 위한 탐지기, 화재신호를 발신하는 발신기, 중계기, 비상벨, 사이렌 등의 음향장치 등으로 구성한다.

- 자동화재 탐지설비의 수신기, 발신기, 음향장치 등은 '(3).(가)「4.1 비상경보설비」' 항목을 준용한다.

- 본 설치지침에 언급되지 않은 사항은 자동화재 탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203) 및 도로터널화재안전기준(NFSC 603)을 준용한다.

㉯「4.2.2 기기사양」

○ 자동화재 탐지기는 감지하는 대상이나 작동원리에 따라서 많은 종류의 탐지기가 사용되고 있으나, 터널에 설치되는 탐지기는 화재안전기준(NFSC 203)에 제시되어 있는 자동화재 탐지기 중 감지범위 및 감지능력은 다음 조건을 만족하여야 한다.

- 자동화재 탐지기 성능은 화재강도가 1.5MW의 화재 시 종방향의 풍속이 3m/s인 상황에서 화재 발생 후 1분 이내에 화재를 탐지할 수 있는 능력의 것을 표준으로 한다.
- 자동화재 탐지기의 경계구역은 자동화재 탐지설비의 화재안전 기준(NFSC 203)에 준하나 물분무설비가 설치되는 경우는 당해 소화설비의 방수구역과 동일하거나 짧아야 한다.
- 화재지점에 대한 인지능력은 환기방식에 따라서 고려한다. 즉, 종류환기방식에서는 화재부근의 제트팬의 가동은 연기의 성층화를 교란하여 대피에 악영향을 주게 되므로 제트팬의 가동에 필요한 범위 내에서 화재지점을 인지할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.
- 또한 횡류환기방식을 적용하는 터널에서 배연을 위한 구역을 구분하는 경우에는 구역 제어를 위해서 필요한 범위에서 화재지점을 인지할 수 있도록 한다.
- 대배기구방식을 적용하는 경우에는 화재지점의 원격제어 댐퍼의 개폐 조작을 위해서 댐퍼의 설치간격 이내로 화재지점을 인지할 수 있는 감지능력이 있어야 한다.
- 자동화재 탐지설비는 자동차의 배기가스에 의한 열기류 및 입출구부의 태양광에 의한 온

도상승에 따라 영향을 받지 않아야 한다.

㉮「4.2.3 설치지침」

○ 자동화재 탐지설비의 설치대상 터널 및 설치는 다음과 같다.

- 연장기준등급이 2등급 이상의 터널에 설치함을 원칙으로 한다.
- 터널 내 자동화재 탐지기는 화재 발생을 가장 신속하게 감지할 수 있는 위치에 설치한다.
- 터널 위험도 및 터널폐쇄로 인한 경제적인 손실 등을 고려하여 2,000m 이상의 터널에서는 사전경보 및 관리자의 상황 판단을 위해서 가시도 측정 장치와 병용하거나 CCTV 및 영상유고감지설비를 화재감시시스템으로 병용하는 것을 권장한다.
- 자동화재 탐지설비가 작동하면 CCTV와 연동하여 CCTV에 의해서 화재구역에 대한 감시가 자동적으로 이루어질 수 있도록 한다.

○ 연장기준등급이 3등급인 터널이 위험도지수기준등급에 의해서 제연설비가 설치되는 경우에는 자동화재 탐지설비를 CCTV나 영상유고감지기로 대체할 수 있다.

○ 연장기준등급이 2등급이지만 위험도지수기준등급이 3등급인 터널은 소방 관련법 규정에 의해서 자동화재 탐지설비의 설치가 의무적이나, 이 경우 관할소방서와 협의하여 CCTV 또는 영상유고감지설비로 자동화재 탐지설비를 대체할 수 있다.

3. 국외 철도터널 화재감지기 설치 사례 조사 분석

가. 국외 철도터널 화재감지기 설치 사례 방문조사

(1) VGF METRO(독일, 프랑크프르트)

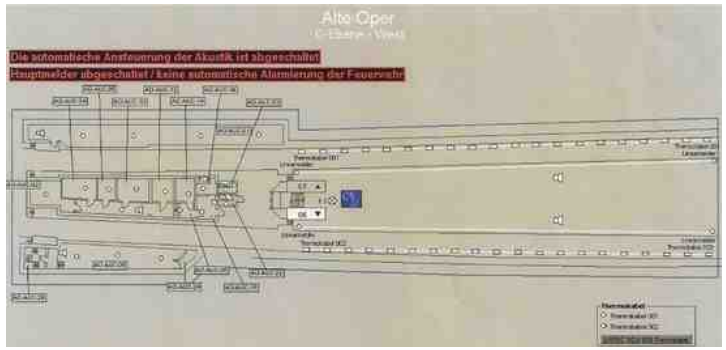


그림 1.2.6 VGF 방재시스템 관리 프로그램



그림 1.2.7 Alte Oper 지하역사 출입구

- 독일 프랑크프르트의 메트로를 운영하고 있는 VGF를 방문하여 지하철 역사 및 터널의 안전관리 시스템에 관한 설명을 들었다. VGF사의 지하역사 방재시스템은 역내 구간의 방화 및 제연구역 설정을 배경으로 승강장에는 반도체식 선형감지기를 기타 지역에슨 스폿형 감지기를 병행 설치하였으며 카메라 및 피난경보 스피커와 스프링클러(승강장에는 스프링클러 설치하지 않음) 장치를 구역별로 컨트롤 할 수 있는 전용 통합제어 프로그램으로 운영되고 있었다. 필요한 경우 구역별로 피난안내 장치를 개별 컨트롤 할 수 있도록 관제프로그램이 작성되어 있었다. 선형감지기를 사용하는 이유를 질문하였는데, 유지관리의 편의성이 가장 큰 이유라는 답변을 얻을 수 있었다.



그림 1.2.8 지하승강장 선형감지기 설치 사례(Alte Oper)



그림 1.2.9 반도체 선형감지기의 꺽임부 굴절처리 상태

(2) 스페인 고속철도터널 (Guadarrama tunnel)



그림 1.2.10 Guardarrama 터널 관제실



그림 1.2.11 횡갱과 연결된 서비스 터널

- 마드리드- 세고비아 : 연장 28.4km
- 단선 병렬, 사갱, 수직갱 없음(샤카르트환기방식 채택)
- 고속철도 여객전용 터널

- 터널 통과속도 250km/h
- 연결통로(250m), 카메라(1300개), 선형감지, 샤카르도노즐 축류 환기, 건식송수관, 궤도주행소방차량 진입구간 설치
- 선형감지기 종류 : 반도체케이블
- 배연시스템 : 강제환기(종류식), 팬내화성능시험, 터널완공후 제연성능 시험 수행(스페인)
- 121개 연결통로
- 50m 간격소화구
- 영상카메라 약 250m 간격 전구간



그림 1.2.12 Guardarrama 터널 감시 모니터

(3) 네델란드 복합 터널 (Barendrecht 터널)



그림 1.2.13 Barendrecht 터널 감시 모니터

- 로테르담 Betuwe Route 복합 터널 : 연장 1.6km
- 방파제형 박스터널 : 한쪽벽은 노면 노출
- 5개 복합선로 : 고속선 1, 화물선 2, 일반선 2 통행
- 복선이지만 격벽 분리한 복합 튜브
- 피난통로,카메라,선형감지,강제환기,스프링쿨러(화물선로)
- 선형감지기 설치(광섬유)

- 화재진압 : 송수관, 스프링클러 (Betuwe 터널 위험화물 선로 전구간 설치)

※ 네델란드 : 2006-2011년 에는 250m 이상의 철도터널의 경우에 감지기를 설치하도록 되어 있음. 2012년에는 국내와 같이 안전성평가에 따라 감지기 설치, 1년에 한번 250명이 참여하는 대대적인 시험 수행, 포인트감지기는 일년에 한번 시험 수행

화재감지기의 경우 단락 및 고장이 발생하였을 경우에도 안정적으로 화재감지를 하기 위하여 아래 그림과 같이 터널 양끝벽에 2중으로 터널 단면에 4개의 감지선이 지나가도록 설계되어 있다.

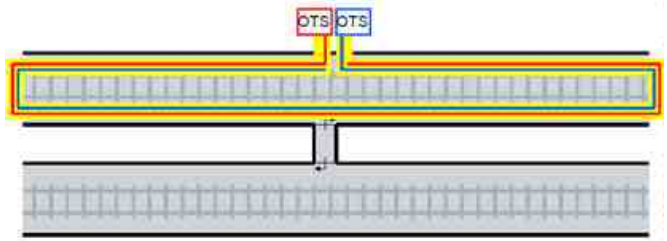


그림 1.2.14 2중감지중계기 및 다중 감지기 설치

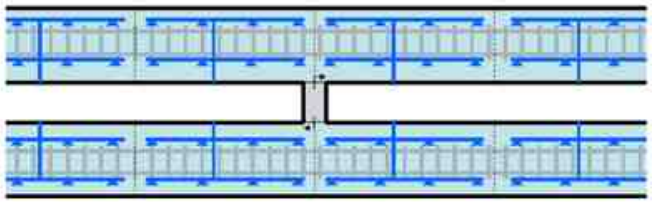


그림 1.2.15 30m section으로 구분되어 설치된 스프링클러 시스템

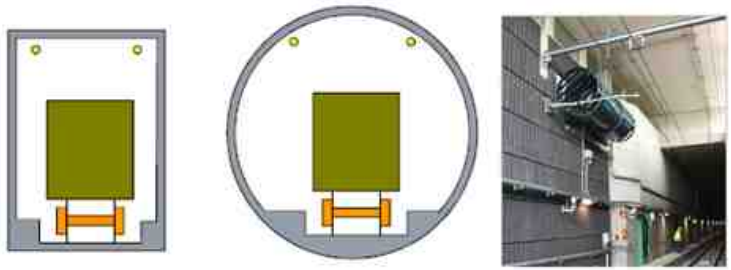


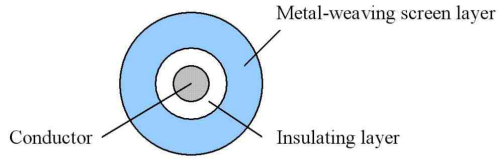
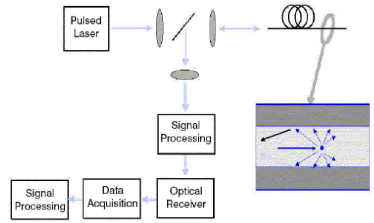
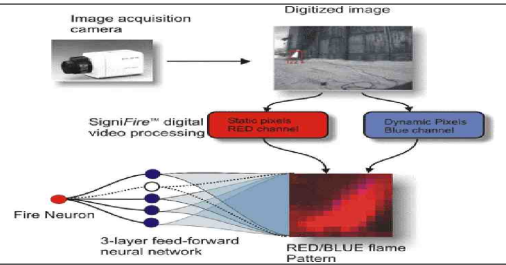
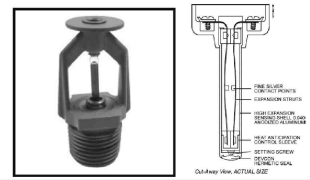
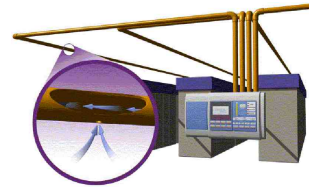
그림 1.2.16 감지기 철도터널 기본 설치 위치, 감지기와 연동된 축류팬

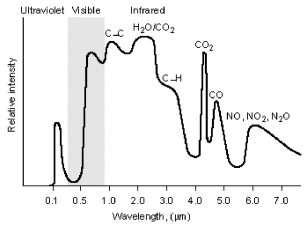
나. 국외 도로터널에서의 화재감지시스템 성능평가

○ 연구수행기관 : Fire Protection Research Foundation (FPRF, 미국),
National Research Council (NRC, 캐나다)

○ 연구기간 : 2006-2007 (2년)

표 1.2.10 성능평가 감지기(6종)

선형열감지 linear heat detection	
광섬유감지 optical flame detection	
영상감지 video detection	
스포트 열감지 spot heat detection	
연기감지 air smoke detection	

불꽃감지 flame	

○ 주요연구내용

- 도로터널의 화재감지기 성능평가를 위하여 5종의 감지기를 선택하여 실험실 수준 및 실제 도로터널에서 실험을 수행함

· THE LABORATORY TUNNEL FACILITY

· THE MONTREAL VIGER TUNNEL

· THE NEW-YORK LINCOLN TUNNEL

- 제연풍량, 연료종류, 화재 크기/위치/성장률 등 다양한 조건에서 시험 수행

○ 주요결과

- 일반적으로 감지시스템의 성능은 화재의 특성(제연풍량, 연료종류, 화재 크기/위치/성장률)에 따라 의존
- 일반적으로 연기감지기의 성능이 가장 좋음, 제연이 고려한 모든 시나리오의 경우의 화재를 감지할 수 있음
- 선형열감지기도 모든 시나리오에서 화재를 감지함
- 영상감지기는 연기 및 화염 화재를 모두 감지하나 비화재보가 많음
- 스포트열감지기는 작은 크기의 화재(<1,500kW)는 감지를 못함

4. 국내 화재감지기 관련기준

가. 자동화재탐지설비의 화재안전기준 (NFSC 203, 소방방재청)

(1) 본문 요약

(가) NFSC 203 전체 내용에 대한 요약

「자동화재탐지설비의 화재안전기준」에서는 목적과 적용범위 그리고 각각의 주요 용어에 대한 정의와 함께 세부 기준을 다루고 있다.

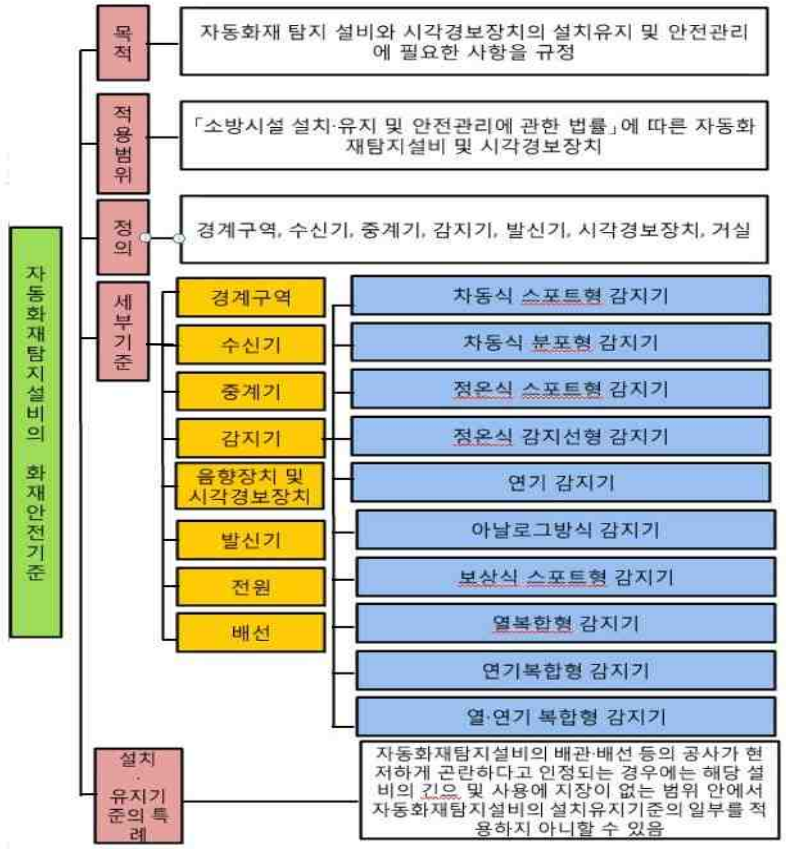


그림 1.2.17 NFSC 203 전체 내용에 대한 요약 도표

(나) 기준 내 감지기관련 내용 요약

본 기준에서 감지기 종류 및 설치기준관련하여 아래의 그림과 같이 정리될 수 있는데 파란색으로 표시한 차동식분포형감지기 및 정온식감지선형감지기가 터널(도로터널)에 적용될 수 있으며 이에 대해 중점적으로 내용을 정리하였다. 높이별 설치 가능한 감지기를 살펴보면 8m미만까지는 차동식분포형감지기와 정온식감지선형감지기 모두 설치가 가능하고 8m이상 15m미만의 높이에는 차동식분포형감지기만 설치가 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

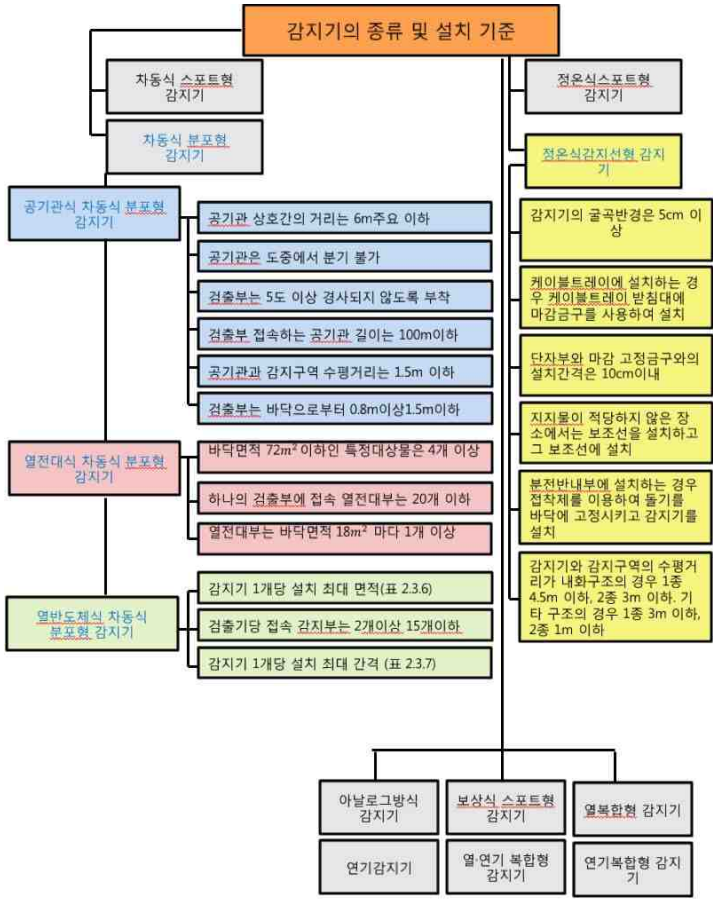


그림 1.2.18 감지기종류 및 설치기준 요약 도표

(2) 본문 내용

(가) [제1조] 목적

자동화재탐지설비 및 시각경보장치의 설치 유지 및 안전관리에 필요한 사항 규정

(나) [제2조] 적용범위

소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 제 9조제 1항 및 같은 법 시행령 별표 5 제2호 라목 및 사목에 따른 자동화재탐지설비 및 시각경보장치

(다) [제3조] 정의

표 1.2.11 용어별 정의

경계구역	화재신호를 발신, 수신 및 유효하게 제어 할 수 있는 구역
수신기	감지기, 발신기에서 발하는 화재신호를 직접 수신하거나 중계를 통하여 수신하여 화재의 발생을 표시 및 경보 하는 장치
중계기	감지기,발신기의 작동에 따른 신호를 받아 수신기의 제어반에 전송하는 장치
감지기	화재시 발생하는 열,연기,불꽃 또는 연소생성물을 자동적으로 감지하여 수신기에 발신하는 장치
발신기	화재발생 신호를 수신기에 수동으로 발신하는 장치
시각경보장치	자동화재탐지설비에서 발하는 화재신호를 시각경보기에 전달하여 청각장애인에게 점멸형태의 시각경보를 하는 것
거실	거주,집무,작업,집회,오락 그 밖 이와 유사한 목적을 위해 사용하는 방

(라) [제4조] 경계구역

①경계구역의 설정 기준

㉮[제4조.①.1] 하나의 경계구역이 2개 이상 건축물에 미치면 안됨

㉯[제4조.①.3] 경계구역의 면적은 600m^2이하, 한 변의 길이는 50m이하로 할 것. 다만, 주된 출입구에서 그 내부 전체가 보이는 것에 있어서는 한 변의 길이가 50m의 범위 내에서 1000 m 2 이하로 가능

㉰[제4조.①.4] 지하구의 경우 경계구역의 길이는 700m 이하로 할 것

②[제4조.②] 계단 ·경사로(에스컬레이터 포함) ·엘리베이터권 상기실 ·파이프 피트 및 덕트 기타 이와 유사한 부분에 대하여는 별도로 경계구역 설정하되, 하나의 경계구역은 높이 45m 이하로 하고 지하층의 계단 및 경사로는 별도로 하나의 경계 구역으로 지정

③[제4조.③] 외기에 면하여 상시 개방된 부분이 곳의 경우 외기에 면하는 각으로부터 5m 미만 범위 안에 있는 부분은 제외

④[제4조.④] 스프링클러설비 ·물 분무 등 소화설비 또는 제연 설비의 화재감지장치로서 화재감지기를 설치한 경우의 경계구역은 해당 소화설비의 방사구역 또는 제연 구역과 동일하게 설정 가능

(마) [제5조] 수신기

①적합한 수신기의 기준

㉮[제5조.①.1]경계 구역을 각각 표시 할 수 있는 회선수 이상의 수신기 설치 필요

㉯[제5조.①.3]가스누설탐지설비가 설치된 경우에는 가스누설신호를 수신하여 가스누설경보를 할 수 있는 수신기 설치

②[제5조.②]환기가 잘 되지 아니하거나 실내면적이 40 m^2 미만인 장소, 감지기의 부착면과 실내바닥과의 거리가 2.3m 이하인 장소로 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 감지기가 화재신호를 발신할 우려가 있을 때에는 축적기능 등이 있는 것으로 설치

③수신기의 설치 기준

㉮[제5조.③.2]수신기 설치 장소에는 경계구역 일람도 비치할 것

㉯[제5조.③.3]수신기의 음향기구는 그 음량 및 음색이 다른 기기의 소음 등과 명확히 구별될 수 있는 것으로 할 것

㉰[제5조.③.6]나의 경계구역은 하나의 표시등 또는 하나의 문자로 표시되도록 할 것

㉱[제5조.③.7]수신기의 조작 스위치는 바닥으로부터의 높이가 0.8m 이상 1.5m 이하인 장소에 설치할 것

(바) [제6조] 중계기

①[제6조.1]수신기에서 직접 감지기회로의 도통시험을 행하지 아니하는 것에 있어서는 수신기와 감지기 사이에 설치할 것

②[제6조.3]수신기에 따라 감시되지 아니하는 배선을 통하여 전력을 공급받는 것에 있어서는 전원입력측의 배선에 과전류 차단기를 설치하고 해당 전원의 정전이 즉시 수신기에 표시되는 것으로 하며, 상용전원 및 예비전원의 시험을 할 수 있도록 할 것

(사) [제7조] 감지기

①[제7조.①]지하층·무창층 등으로서 환기가 잘 되지 아니하거나 실내면적이 40m^2 미만인 장소, 감지기의 부착면과 실내바닥과의 거리가 2.3m 이하인 장소로서 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 감지기가 화재신호를 발신할 우려가 있는 장소에는 적응성 있는 감지기를 설치

②부착높이에 따른 감지기 설치 기준

표 1.2.12 높이에 따른 감지기 설치 기준

부착높이	감지기의 종류
4m 미만	차동식(스포트형,분포형) 보상식 스포트형 정온식 (스포트형,감지선형) 이온화식 또는 광전식(스포트형,분리형,공기흡입형) 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
4m이상 8m미만	차동식(스포트형,분포형) 보상식스포트형 정온식(스포트형,감지선형) 특종 또는 1종 이온화식 1종 또는 2종 광전식(스포트형,분리형,공기흡입형) 1종 또는 2종 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
8m이상 15m미만	차동식분포형 이온화식1종또는2종 광전식(스포트형,분리형,공기흡입형)1종또는2종 연기복합형 불꽃감지기
15m이상 20m미만	이온화식1종 광전식(스포트형,분리형,공기흡입형)1종 연기복합형

	불꽃감지기
20m 이상	불꽃감지기 광전식(분리형,공기흡입형)중아나로그방식
비고)감지기별 부착높이 등에 대하여 별도로 형식승인 받은 경우에는 그 성능 인정범위 내에서 사용할 수 있다	

③[제7조.②]연기 감지기 설치를 필요로 하는 장소

○[제7조.②.1]천장 또는 반자의 높이가 15m 이상 20m 미만의 장소

○[제7조.②.2]복도(30m 미만은 제외)

○[제7조.②.3]계단·경사로 및 에스컬레이터 경사로(15m 미만은 제외)

④[제7조.③]감지기별 설치 기준

㉮[제7조.③.1]급속한 연소 확대가 우려되는 장소에 사용되는 감지기 및 축적기능이 있는 수신기에 연결하여 사용하는 감지기는 축적기능이 없는 것으로 설치

㉯[제7조.③.1]감지기(차동식분포형의 것을 제외)는 실내로의 공기유입구로부터 1.5m 이상 떨어진 위치에 설치할 것

㉰[제7조.③.3]보상식 스포트형 :

정온점이 감지기 주위의 평상시 최고 온도보다 20도 이상 높은 것으로 설치

㉱[제7조.③.4]정온식 :

다량의 화기를 취급하는 장소에 설치하되 공칭 작동온도가 최고주위온도 보다 20도 이상 높은 것으로 설치

㉲[제7조.③.5]차동식 스포트형, 보상식 스포트형 및 정온식 스포트형 :

다음 표에 따라 바닥 면적마다 1개 이상을 설치

표 1.2.13 감지기의 종류별 높이에 따른 1개당 설치 최대 면적

부착높이및 특정 소방대상물의 구분		감지기의 종류						
		차동식 스포트형		보상식 스포트형		정온식 스포트형		
		1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종
4m 미만	주요구조부를내화구조로한특정소방대상물또는구부분	90	70	90	70	70	60	20
	기타구조의특정소방대상물 또는 그 부분	50	40	50	40	40	30	15
4m이상 8m미만	주요구조부를내화구조로한특정소방대상물또는구부분	45	35	45	35	35	30	
	기타구조의특정소방대상물 또는 그 부분	30	25	30	25	25	15	

㉳[제7조.③.6]스포트형 감지기는 45°이상 경사되지 아니하도록 부착할 것

㉴차동식 분포형 감지기의 종류

○공기관식 : 화재 발생시 천정면에 설치되어 있는 공기관 내의 공기가 팽창하면 검출 부내의 다이아프램도 팽창되어 평상시 떨어져 있던 접점이 붙어 감지하는 방식

○열전대식 : 화재 발생시 열이 발생하여 천장에 설치되어 있는 열전대를 급격히 가열하면 다

른 종류 금속판의 상호간에 열전효과에 의해 열기전력이 발생되어 미터릴레이를 구동하여 평상시 떨어져 있던 접점을 붙여 감지하는 원리

○열반도체식 : 수열판에서 열을 받으면 온도가 상승하여 열반도체소자가 제어백 효과에 의해 열기전력이 발생하여 미터릴레이를 구동시켜 감지하는 원리

㉵[제7조.③.7]공기관식 차동식 분포형 감지기

○[제7조.③.7.가]공기관의 노출 부분은 감지구역마다 20m이상이 되도록 할 것

○[제7조.③.7.나]공기관과 감지구역의 각 변과의 수평거리는 1.5m 이하가 되도록 하고 공기관 상호간의 거리는 6m(주요 구조부를 내화구조로 한 특정소방대상물 또는 그 부분에 있어서는 9m) 이하가 되도록 할 것

○[제7조.③.7.다]공기관은 도중에서 분기하지 아니하도록 할것

○[제7조.③.7.라]하나의 검출부분에 접속하는 공기관의 길이는 100m이하로 할 것

○[제7조.③.7.마]검출부는 5도 이상 경사되지 아니하도록 부착할 것

○[제7조.③.7.바]검출부는 바닥으로부터 0.8m 이상 1.5m 이하의 위치에 설치할 것

㉶[제7조.③.8]열전대식 차동식 분포형

○[제7조.③.8.가]감지기열전대부는 감지구역의 바닥면적 18 m^2 마다 1개 이상으로 할 것. 다만 바닥면적이 72 m 2 이하인 특정소방대상물에 있어서는 4개 이상으로 할 것

표 1.2.14 터널 너비에 따른 열전대식 차동식 분포형 감지기1개당 설치 최대 간격(m)

열전대식 차동식분포형 감지기	
터널 너비(m)	감지기 1개당 설치 최대 간격(m)
4	4.50
5	3.60
6	3.00
7	2.57
8	2.25
9	2.00
10	1.80

○[제7조.③.8.나]하나의 검출부에 접속하는 열전대부는 20개 이하로 할 것. 다만, 각각의 열전대부에 대한 작동여부를 검출부에 서 표시할 수 있는 것은 형식승인 받은 성능인정범위내의 수량으로 설치할 수 있다.

㉷[제7조.③.9]열반도체식 차동식 분포형 감지기

○[제7조.③.9.가]감지부는 그 부착높이 및 특정소방대상물에 따라 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상으로 할 것. 다만 바닥면적이 다음 표에 따른 면적의 2배 이하인 경우에는 2개(부착높이가 8m 미만이고, 바닥면적이 다음 표에 따른 면적 이하인 경우에는 1개) 이상으로 한다.

표 1.2.15 감지기의 종류별 높이에 따른 1개당 설치 최대 면적

부착 높이 및 소방대상물의 구분		감지기의 종류	
		1종	2종
8m 미만	주요구조부가내화구조로된 소방대상물또는그부분	65	36
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	40	23
8m 이상 15m 미만	주요구조부가내화구조로된 소방대상물또는그부분	50	36
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	30	23

○열반도체식 차동식 분포형 감지기 1개당 설치 최대 간격

표 1.2.16터널 너비·높이에 따른 열반도체식 차동식분포형 감지기1개당 설치 최대 간격

열반도체식 차동식분포형 감지기				감지기 1개당 설치 최대 간격(m)	
			터널 너비(m)	1종	2종
높이	8m	주요구조부가 내화구조로된 소방대상물 또는그부분	4	16.25	9.00
			5	13.00	7.20
			6	10.83	6.00
			7	9.29	5.14
			8	8.13	4.50
			9	7.22	4.00
			10	6.50	3.60
		기타구조의 소방대상물 또는그부분	4	10.00	5.75
			5	8.00	4.60
			6	6.67	3.83
			7	5.71	3.29
			8	5.00	2.88
			9	4.44	2.56
			10	4.00	2.30
	8m이상 15m미만	주요구조부가 내화구조로된 소방대상물 또는그부분	4	12.50	9.00
			5	10.00	7.20
			6	8.33	6.00
			7	7.14	5.14
			8	6.25	4.50
			10	3.00	2.30

○[제7조.③.9.나]하나의 검출기에 접속하는 감지부는 2개 이상 15개 이하가 되도록 할 것. 다만, 각각의 감지부에 대한 작동여부를 검출기에서 표시할 수 있는 것은 형식승인 받은 성능인정범위내의 수량으로 설치할 수 있다.

㉮[제7조.③.10]연기감지기

○[제7조.③.10.가]감지기의 부착 높이에 따라 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상으로 할것

표 1.2.17 연기 감지기의 부착 높이에 따른 1개당 설치 최대 면적

부착 높이	감지기의 종류	
	1종 및 2종	3종
4m미만	150	50
4m 이상 20m 미만	75	

○연기감지기 1개당 설치 최대 길이

표 1.2.18 터널 너비·높이에 따른 연기감지기 1개당 설치 최대 간격

연기 감지기			감지기 1개당 설치 최대 간격(m)	
		터널 너비(m)	1종 및 2종	3종
높이	4m미만	4	37.50	12.50
		5	30.00	10.00
		6	25.00	8.33
		7	21.43	7.14
		8	18.75	6.25
		9	16.67	5.56
		10	15.00	5.00
	4m이상 20m 미만	4	18.75	
		5	15.00	
		6	12.50	
		7	10.71	
		8	9.38	
		9	8.33	
		10	7.50	

○[제7조.③.10.나]감기지는 복도 및 통로에 있어서는 보행거리 30m(3종에 있어서는 20m)마다, 계단 및 경사로에 있어서는 수직거리15m(3종에 있어서는 10m)마다 1개 이상으로 할 것

○[제7조.③.10.다]천장 또는 반자가 낮은 실내 또는 좁은 실내에 있어서는 출입구의 가까운 부분에 설치할 것

○[제7조.③.10.라]천장 또는 반자부근에 배기구가 있는 경우에는 그 부근에 설치할 것

○[제7조.③.10.마]감지기는 벽 또는 보로부터 0.6m 이상 떨어진 곳에 설치할 것

㉯[제7조.③.11]열복합형 감지기의 설치에 관하여는 제3호 및 제9호를, 연기복합형 감지기의 설치에 관하여는 제10호를, 열연기복합형 감지기의 설치에 관하여는 제5호 및 제10호 나목 또는 마목을 준용하여 설치할 것

㉰[제7조.③.12]정온식감지선형감지기

○[제7조.③.12.나]단자부와 마감 고정금구와의 설치간격은 10cm이내로 할 것

○[제7조.③.12.다]감지선형 감지기의 굴곡반경은 5cm 이상으로 할 것

○[제7조.③.12.라]감지기와 감지구역의 각 부분과의 수평거리가 내화구조의 경우 1종 4.5m 이하, 2종 3m 이하로 할 것. 기타 구조의 경우 1종 3m 이하, 2종 1m 이하로 할 것

○[제7조.③.12.마]케이블트레이에 감기지를 설치하는 경우에는 케이블트레이 받침대에 마감금

구를 사용하여 설치할 것
○[제7조.③.12.바]지하구나 창고의 천장 등에 지지물이 적당하지 않는 장소에서는 보조선을 설치하고 그 보조선에 설치할 것
○[제7조.③.12.사]분전반 내부에 설치하는 경우 접착제를 이용하여 돌기를 바닥에 고정시키고 그 곳에 감지기를 설치할 것
○[제7조.③.12.아]그 밖의 설치 방법은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치할 것
㉮[제7조.③.13]불꽃 감지기
○[제7조.③.13.가]공칭감시거리 및 공칭 시야각은 형식승인 내용에 따를 것
○[제7조.③.13.나]감지기는 공칭감시거리와 공칭시야각을 기준으로 감시구역이 모두 포용될 수 있도록 설치할 것
○[제7조.③.13.다]감지기는 화재감지를 유효하게 감지할 수 있는 모서리 또는 벽 등에 설치할 것
○[제7조.③.13.라]감지기를 천장에 설치하는 경우에는 감지기는 바닥을 향하여 설치할 것
○[제7조.③.13.마]수분이 많이 발생할 우려가 있는 장소에는 방수형으로 설치할 것
○[제7조.③.13.바]그 밖의 설치기준은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치할 것
ⓐ[제7조.③.14]아날로그방식 감지기
○공칭감지온도범위 및 공칭감지농도범위에 적합한 장소에, 다신호방식의 감지기 화재신호를 발신하는 감도에 적합한 장소에 설치할 것.
○다만 이 기준에서 정하지 않는 설치방법에 대하여는 형식승인 사항이나 제조사의 시방에 따라 설치할 수 있다.
ⓑ[제7조.③.15]광전식분리형감지기
○[제7조.③.15.가]감지기의 수광면은 햇빛을 직접 받지 않도록 설치할 것
○[제7조.③.15.나]광축(송광면과 수광면의 중심을 연결한 선)은 나란한 벽으로부터 0.6m 이상 이격하여 설치할 것
○[제7조.③.15.다]감지기의 송광부와 수광부는 설치된 뒷벽으로부터 1m 이내에 설치할 것
○[제7조.③.15.라]광축의 높이는 천장 등(천장의 실내에 면한 부분 또는 상층의 바닥하부면을 말한다) 높이의 80% 이상 일 것
○[제7조.③.15.마]감지기의 광축의 길이는 공칭감시거리 범위이내 일 것
○[제7조.③.15.바]그 밖의 설치기준은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치할 것
ⓒ[제7조.⑤]감지기 설치 금지 장소
○[제7조.⑤.1]천장 또는 반자의 높이가 20m 이상인 장소. 다만, 제 1항 단서 각호의 감지기로서 부착높이에 따라 적응성이 있는 장소는 제외
○[제7조.⑤.2]헛간 등 외부와 기류가 통하는 장소로서 감지기에 따라 화재발생을 유효하게 감지할 수 없는 장소
○[제7조.⑤.3]부식성 가스가 체류하고 있는 장소

○[제7조.⑤.4]고온도 및 저온도로서 감지기의 기능이 정지되기 쉽거나 감지기의 유지관리가 어려운 장소
○[제7조.⑤.6]파이프덕트 등 그 밖의 이와 비슷한 것으로서 2개층 마다 방화구획된 것이나 수평단면적이 5 m^2 이하인 것
○[제7조.⑤.7]먼지 가루 또는 수증기가 다량으로 체류하는 장소 또는 주방 등 평시에 연기가 발생하는 장소(연기감지기에 한한다)
○[제7조.⑤.8]실내의 용적이 20 m^3 이하인 장소

(아) [제8조] 음향장치 및 시각경보장치
①[①.1]주음향장치는 수신기의 내부 또는 그 직근에 설치할 것
②[①.2.나,다]1층 및 지하층에서 발화한 때에는 발화층 그 직상층 및 지하층에 경보를 발할 것
③[①.3]지구음향장치는 해당 특정소방대상물의 각 부분으로부터 하나의 음향장치까지의 수평거리가 25m 이하가 되도록 함
④[①.4.가,나]정격전압의 80% 전압에서 음향을 발할 수 있는 것으로 음향장치의 중심으로부터 1m 떨어진 위치에서 90dB 이상이 되는 것으로 설치.
⑤[②.3]청각 장애인용 시각경보장치의 경우 바닥으로부터 2m 이상 2.5m 이하의 장소에 설치하며 시선이 집중되는 부분 등에 설치할 것

(자) [제9조] 발신기
①[제9조.①.1]조작이 쉬운 장소에 설치, 스위치는 바닥으로부터 0.8m 이상 1.5m 이하의 높이에 설치
②[제9조.①.2]해당 특정소방대상물의 각 부분으로부터 하나의 발신기까지의 수평거리가 25m이하가 되도록 할 것. 복도 또는 별도로 구획된 실로서 보행거리가 40m이상일 경우에는 추가로 설치
③[제9조.②]발신기의 위치를 표시하는 표시등은 함의 상부에 설치하고 그 불빛은 부착면으로부터 15°이상의 범위 안에서 부착지점으로부터 10m이내의 어느 곳에서도 쉽게 식별 할 수 있는 적색 등으로 설치

(차) [제10조] 전원
①[제10조.①.1]전원은 전기가 정상적으로 공급되는 축전지 또는 교류전압의 옥내 간선으로 하고, 전원까지의 배선은 전용으로 할 것
②[제10조.②]자동화재탐지설비에는 그 설비에 대한 감시상태를 60분간 지속한 후 유효하게 10분 이상 경보할 수 있는 축전지설비(수신기를 내장하는 경우를 포함한다)를 설치하여야 한다. 다만, 상용전원이 축전지 설비인 경우에는 그러하지 아니하다.

(카) [제11조] 배선
①[제11조.1]「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」 별표1에 따른 내화배선 또는 내열

배선에 따라 설치

②[제11조.2]감지기 상호간 또는 감지기로부터 수신기에 이르는 감지기 회로의 배선 설치 기준

○아날로그식, 다신호식 감지기나 R형수신기용으로 사용되는 것은 전자파 방해를 방지하기 위하여 쉴드선등을 사용할 것

○가목 외의 일반배선을 사용할 때는 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」별표 1에 따른 내화배선 또는 내열배선으로 사용

③[제11조.3]감지기 회로의 도통시험을 위한 종단 저항의 기준

○점검 및 관리가 쉬운 장소에 설치할 것

○전용함을 설치하는 경우 바닥으로부터 1.5m 이내로 할 것

○감지기 회로의 끝부분에 설치하며, 종단감지기에 설치할 경우에는 구별이 쉽도록 해당 감지기의 기판 및 감지기 위부 등에 별도의 표시를 할 것

④[제11조.4]감지기 사이의 회로의 배선은 송배전식으로 할 것

⑤[제11조.6]자동화재탐지설비의 배선은 다른 전선과 별도의 관, 덕트, 몰드 또는 풀박스 등에 설치할 것

⑥[제11조.7]피(P)형 수신기 및 지피(G.P.)형 수신기이 감지기 회로의 배선에 있어서 하나의 공통선에 접속할 수 있는 경계구역은 7개 이하로 할 것

⑦[제11조.8]자동화재탐지설비의 감지기회로의 전로저항은 50Ù이하가 되도록 하여야 하며, 수신기의 각 회로별 종단에 설치되는 감지기에 접속되는 배선의 전압은 감지기 정격전압의 80% 이상이어야 할 것

(타) [제12조] 설치, 유지 기준의 특례

소방본부장 또는 소방서장은 기존건축물이 증축·개축·대수선 되거나 용도 변경 되는 경우에 있어서 이 기준이 정하는 기준에 따라 해당 건축물에 설치하여야 할 자동화재탐지설비의 배관·배선 등의 공사가 현저하게 곤란하다고 인정되는 경우에는 해당 설비의 기능 및 사용에 지장이 없는 범위 안에서 설치·유지 기준의 일부를 적용하지 아니할 수 있다.

나. 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 (소방방재청)

도로터널의 화재안전기준 (NFSC 603, 소방방재청)에서 도로터널에 설치될 수 있는 감지기로는 아래 그림과 같이 차동식분포형 감지기와 정온식감지선형 감지기 및 기타 승인 제품으로 한정하였다. 그래서 본 절에서는 차동식분포형 감지기와 정온식감지선형 감지기를 중점적으로 기술하기로 한다. 차동식분포형 감지기와 정온식 선형 감지기에 공통으로 중복되는 사항은 따로 구별하여 고려하였다. 그리고 공통사항 설명부분에서 차동식분포형 감지기와 정온식감지선형 감지기가 설명되어있는 곳 혹은 그 설명이 원래 들어갈 곳은 위치를 글자색을 빨간색과 밑줄을 그어 놓았다.

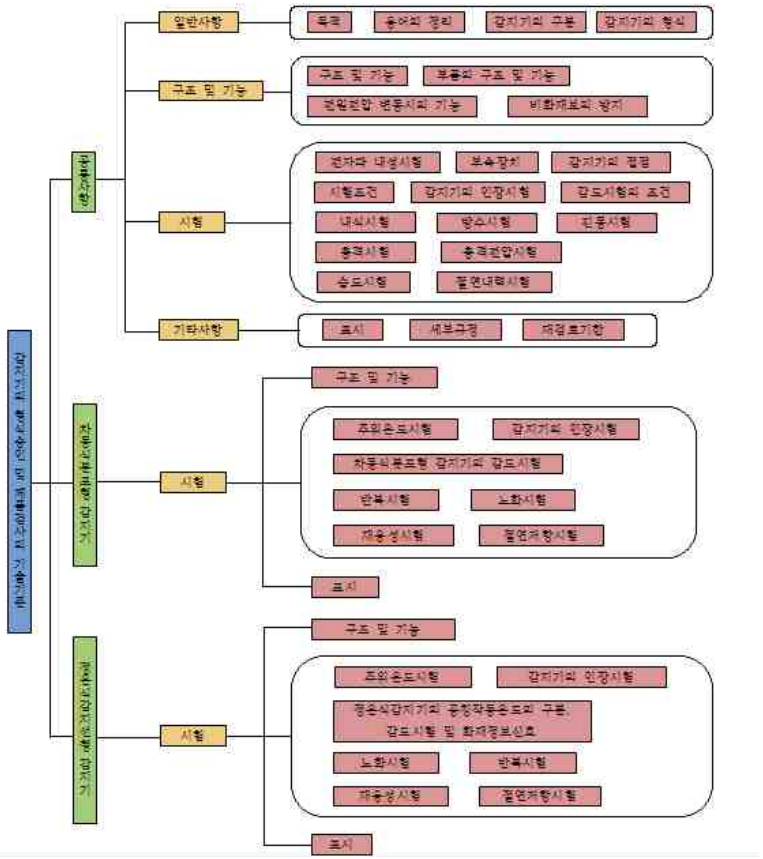


그림 1.2.19 도로터널 설치기준과 관련된 감지기 형식승인 및 제품검사의 기술기준

(1) 공통사항

(가) 제 1조(목적)

이 기준은 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제36조제5항 및 같은 법 시행령 제37조에 따른 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」에 대하여 규정함을 목적으로 한다.

(나) 제 2조(용어의 정리)

① 경보기구

자동화재탐지설비, 비상경보설비의 축전지, 화재속보설비, 누전경보기, 가스누설경보기 등 화재의 발생 또는 화재의 발생이 예상되는 상황에 대하여 경보를 발하여 주는 설비를 말한다.

② 자동화재탐지설비

화재발생을 자동적으로 감지하여 당해 소방대상물의 화재발생을 소방대상물의 관계자에게 통보할 수 있는 설비로서 감지기, 발신기(M형 발신기를 제외), 수신기(M형수신기를 제외), 경종 또는 중계기 등으로 구성된 것을 말한다.

③ 감지기

화재 시에 발생하는 열, 불꽃 또는 연소생성물(이하 "연기"라 한다)로 인하여 화재발생을 자동적으로 감지하여 그 자체에 부착된 음향장치로 경보를 발하거나 이를 수신기에 발신하는 것을 말한다. 이 경우 감지기를 부착할 때에 전용기판을 필요로 하는 것에 있어서는 그 기판을 포함한다.

(다) 제 3조(감지기의 구분)

① 차동식분포형

주위온도가 일정 상승률 이상이 되는 경우에 작동하는 것으로서 넓은 범위 내에서의 열 효과의 누적에 의하여 작동되는 것을 말한다.

② 정온식감지선형

일국소의 주위온도가 일정한 온도 이상이 되는 경우에 작동하는 것으로서 외관이 전선으로 되어 있는 것을 말한다.

(라) 제 4조(감지기의 형식)

① 감지기의 형식은 방수형 유무에 따라 방수형 및 비방수형으로, 내식성 유무에 따라 내산형, 내알칼리형 및 보통형으로, 재용성 유무에 따라 재용형 및 비재용형으로, 연기의 축적에 따라 축적형 및 비축적형으로, 방폭구조 여부에 따라 방폭형 및 비방폭형으로, 화재신호의 발신방법에 따라 단신호식, 다신호식 또는 아날로그식 등으로 구분한다.

② 제 ①항에 의한 감지기의 형식별 특성은 다음 각 호와 같다.

㉮ 다신호식

1개의 감지기내에 서로 다른 종별 또는 감도 등의 기능을 갖춘 것으로서 일정시간 간격을 두고 각각 다른 2개 이상의 화재신호를 발하는 감지기를 말한다.

㉯ 방폭형

폭발성가스가 용기내부에서 폭발하였을 때 용기가 그 압력에 견디거나 또는 외부의 폭발성가스에 인화될 우려가 없도록 만들어진 형태의 감지기를 말한다.

㉰ 방수형

그 구조가 방수구조로 되어 있는 감지기를 말한다.

㉱ 재용형

다시 사용할 수 있는 성능을 가진 감지기를 말한다.

㉲ 축적형

일정농도 이상의 연기가 일정시간(공칭축적시간) 연속하는 것을 전기적으로 검출함으로서 작동하는 감지기(다만, 단순히 작동시간만을 지연시키는 것은 제외)를 말한다.

㉳ 아날로그식

주위의 온도 또는 연기의 량의 변화에 따라 각각 다른 전류치 또는 전압치 등의 출력을 발하는 방식의 감지기를 말한다.

(마) 제 5조(구조 및 기능)

① 작동이 확실하고, 취급·점검이 쉬워야 하며, 현저한 잡음이나 장해전파를 발하지 않아야 한다. 또한, 먼지·습기·곤충 등에 의하여 기능에 영향을 받지 않아야 한다.

② 보수 및 부속품의 교체가 쉬워 I한다. 다만, 방수형 및 방폭형은 그렇지 않다.

③ 부시에 의하여 기계적 기능에 영향을 초래할 우려가 있는 부분은 칠, 도금 등으로 유효하게 내식가공을 하거나 방청가공을 해야 하며, 전기적 기능에 영향이 있는 단자, 나사 및 와셔 등은 동합금이나 이와 동등이상의 내식성이 있는 재질을 사용해야 한다.

④ 외함은 불연성 또는 난연성 재질로 만들어져야 한다.

㉮ 「(2).(가).①」

㉯ 감지기의 노출된 부분(설치상태에서 손에 접촉되는 부분. 다만, 확인 등의 창, 발광다이오드, 각종 표시명판 등은 제외한다)에 합성수지를 사용하는 경우에는 (90±2)℃의 온도에 7일간 방치하는 경우 열로 인한 변형이 생기지 않아야 하며, 자기소화성이 있는 재료이어야 한다.

⑤ 기기내의 배선은 충분한 전류용량을 갖는 것으로 하여야 하며, 배선의 접속이 정확하고 확실해야 한다.

⑥ 극성이 있는 경우에는 오접속을 방지하기 위하여 필요한 조치를 취해야 한다.

⑦ 부품의 부착은 기능에 이상을 일으키지 아니하고 쉽게 풀리지 않도록 해야 한다.

⑧ 전선 이외의 전류가 흐르는 부분과 가동축 부분의 접촉력이 충분하지 아니한 곳에는 저촉부의 접촉 불량을 방지하기 위해 적당한 조치를 취해야 한다.

⑨ 외부에서 쉽게 사람이 접촉할 우려가 있는 충전부는 충분히 보호 돼야 한다.

⑩ 내부의 부품 등에서 발산되는 열에 의하여 기능에 이상이 생길 우려가 있는 것은 방열판 또는 방열공 등에 의하여 보호조치를 취해야 한다. 다만, 방폭형 및 방수형은 방열공을 설치하지 않을 수 있다.

⑪ 감지기가 받는 기류의 방향에 따라 그 기능에 현저한 변동이 생기지 않아야 한다.

⑫ 사람에게 위해를 줄 염려가 없어야 한다.

⑬ 건물의 천정에 접하는 기판으로부터 새어 들어가는 물에 의하여 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

⑭ 접점간격 및 그 외의 조정부는 조정 후 변동되지 않도록 해야 한다.

⑮ 「(2).(나)」, 「(3).(가)」

⑯ 「(2).(다)」

⑰ 「(2).(라)」

⑱ 「(2).(마)」, 「(3).(나)」

⑲ 「(2).(바)」, 「(3).(다)」

⑳ 부착용 기판이 있는 경우 부착기판과 감지기는 견고하게 결합되도록 설계되어야 하고 기능에 이상이 없어야 한다.

㉑ 방폭형감지기는 다음 각목의 1에서 정하는 방폭 구조에 적합해야 한다.

㉮ 한국산업규격

㉯ 가스 관계법령(고압가스 안전관리법, 액화석유가스의 안전 및 사업 관리법, 도시가스사

업법)에 의하여 정하는 규격

㈏ 산업안전보건법령에 의하여 정하는 규격

㉒ 다신호식감지기는 감도시험 시에 적용하는 각 해당 감도별 온도 및 연기농도에서 규정시간 내에 각 신호를 발할 수 있어야 한다.

㉓ 제 19호의 규정에 의한 작동표시장치는 자동 후 수동으로 복귀시키지 않는 한 지속되어야 한다.

(바) 제 6조(부품의 구조 및 기능)

① 스위치

㈎ 조작이 쉽고 작동이 확실해야 하며, 정지점이 명확하고 적정해야 한다.

㈏ 각 접점의 최대사용전압으로 최대사용전류의 200%인 전류를 저항부하를 통하여 흘리는 작동을 1만회(전원스위치의 경우에는 5천회) 반복하는 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

㈐ 접점은 최대사용전류에 용량에 적합하여야 하고 부식 될 우려가 없는 것이어야 한다.

② 표시등

㈎ 전구는 사용전아브이 130%인 교류전압을 20시간 연속하여 가하는 경우 단선, 현저한 광속변화, 흑화, 전류 전하 등이 발생하지 않아야 한다.

㈏ 소켓은 접촉이 확실해야 하며 쉽게 전구를 교체할 수 있도록 부착해야 한다.

㈐ 전구는 2개 이상을 병렬로 접속해야 한다.

㈑ 전구에는 적당한 보호커버를 설치해야 한다.

㈒ 주위의 밝기가 300lx인 장소에서 측정하여 앞면으로부터 3m 떨어진 곳에서 켜진등이 확실히 식별돼야 한다.

③ 퓨즈

㈎ 퓨즈 등 과전류보호장치는 산업표준화법에 의한 KS규격 표시품, 전기용품 안전관리법에 의한 안전 인증품 또는 공인기관의 인증품을 사용해야 한다.

㈏ 점검 및 교체가 쉬워야 한다.

㈐ 쉽게 흔들리지 않도록 부착해야 한다.

④ 감지기에 내장하는 음향(음성 제외)장치

㈎ 사용전압의 80%인 전압에서 소리를 내야 한다.

㈏ 사용전압에서의 음압은 무향실내에서 정위치에 부착된 음향장치의 중심으로부터 1m 떨어진 지점에서 70dB이상이어야 한다.

㈐ 사용전압으로 8시간 연속하여 울리게 하는 시험 또는 정격전압에서 3분20초 동안 울리고 6분40초 동안 정지하는 작동을 반복하여 통산한 울림시간이 20시간이 되도록 시험하는 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

⑤ 변압기

㈎ 변압기는 KS C 6308(전자기기용 소형전원변압기) 또는 이와 동등 이상의 성능이 있는 것이어야 한다.

㈏ 정격 1차전압은 300V이하로 한다.

㈐ 변압기의 외함에는 접지단자를 설치해야 한다.

㈑ 용량은 최대사용전류에 연속하여 견딜 수 있는 크기이상이어야 한다.

(사) 제 7조(전원전압변동시의 기능)

① 외부로부터 전원을 공급받는 방식의 감지기는 공급되는 전원전압이 정격전압의 ±20% 범위에서 변동하는 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

② 감지기에 내장된 건전지를 전원으로 하는 감지기는 건전지의 전압이 건전지 교체전압 범위(제조사 설계값)의 하한값으로 저하된 경우에도 기능에 이상이 없어야 한다.

(아) 제 8조(비화재보의 방지)

감지기는 다음 각 호의 경우에 작동되지 않아야 한다.

① 이온화식 기능을 가진 감지기에 기류를 가하는 경우

② 진동, 충격 등의 기계적 작용이나 스위치의 개폐, 그 밖의 전기회로의 전압변동 등의 전기적 작용으로 인한 경우

③ 감지기에 그 사용 장소에 따라 예측되는 조명기구의 빛, 외광, 전자파 또는 전계를 가한 경우

④ 감지기를 주위온도 (23±2)℃인 조건을 유지하며 상대습도 (20±5)%에서 (90±5)%인 상태로 급격하게 3회 투입을 반복하는 경우

⑤ 분당 6회의 비율로 순간적인 감지기 공급전원의 차단을 반복하는 경우

(자) 제8조의2(전자파내성시험)

감지기는 다음 각 호의 시험을 하는 경우에 잘못 작동되거나 구조 및 기능에 이상이 생기지 않아야 한다. 다만, 전기적 작동회로가 없는 구조의 감지기는 제외한다.

① 전자파방사 내성시험

㈎ 주파수범위 : 80MHz ~ 1000MHz

㈏ 진폭변도 : 80% AM(1KHz)

㈐ 전계강도 : 10V/m

㈑ 시험방법은 IEC 61000-4-3의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

② 전자파전도 내성시험

㈎ 주파수범위 : 150kHz ~ 100MHz

㈏ 진폭변도 : 80% AM(1kHz)

㈐ 전계강도 : $140dB\mu V(10V)$

㈑ 시험방법은 IEC 61000-4-3의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

③ 정전기방사 내성시험

㈎ 인가전압

- 접촉방전 : 2, 4, 6 kV
- 기중방전 : 2, 4, 8 kV

㈏ 인가부위

- 접촉방전 : 방전 전극을 외함에 접촉한 상태로 방전
- 기중방전 : 방전 전극을 외함에 근접시킨 공기 중에서 방전

㈏ 극성 : +, -

㈐ 전압인가 회수 및 간격

1초 이상의 간격으로 각 10회 인가

㈑ 시험방법은 IEC 61000-4-2의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

④ 전기적 빠른 과도현상 내성시험

㈎ 시험전압

- AC 주전원선 : 0.1, 1, 2 kV
- 기타 전원선/신호선 : 0.25, 0.5, 1 kV

㈏ 극성 : +, -

㈐ 각 전압 및 극성의 적용횟수 : 1

㈑ 시험지속시간 : 1분

㈒ 시험방법은 IEC 61000-4-4의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

⑤ 서어지 내성시험

㈎ 인가전압

AC 주전원선	전원선간	0.5, 1 kV
	전원선과 접지 간	0.5, 1, 2 kV
기타 전원선/신호선	전원선 또는 신호선과 접지 간	0.5, 1 kV

㈏ 극성 : +, -

㈐ 전압인가 회수

- AC 주전원선 : 20회
- 기타 전원선/신호선 : 5회
- 시험방법은 IEC 61000-4-5의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

(차) 제 9조(부속장치)

감지기의 기능에 유해한 영향을 미치는 부속장치를 설치하지 않아야 한다.

(카) 제 10조(시험조건)

감지기의 시험은 특별히 규정된 경우를 제외하고는 실온이 5℃이상 35℃이하이고, 상대습도가 45%이상 85%이하의 상태에서 실시한다.

(타) 제 11조(주위온도시험)

「(2).(사)」, 「(3).(라)」

(파) 제 12조(감지기의 접점)

① 감지기의 접점은 KS C 2507(통신기기용 접점재료)에 의한 P.G.S합금 또는 이와 동등 이상의 효력이 있는 것으로 접촉면을 연마하여 사용해야 한다.

② 감지기의 접점은 불활성가스 중에 밀봉한 것을 제외하고는 접점을 접촉시키는데 필요한 힘의 2배의 힘을 자하는 경우에 접촉압력이 5g이상이어야 한다.

③ 감지기의 접점 및 조정부는 노출되지 않아야 하는 구조여야 한다.

(하) 제 13조(감지기의 인장시험 등)

① 차동식분포형감지기의 선으로 된 감열부 및 정온식감지선형감지기는 다음 각 호에 적

합하여야 한다.

㈎ 시료의 한쪽 끝을 고정하고 감지기로부터 25cm 떨어진 곳에 10kg의 인장하중을 가하는 경우 끊어지지 않아야하며 또한 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

㈏ 선으로 된 부분의 접속부품은 이를 사용한 경우 접속으로 인하여 그 부분의 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

② 감지기는 다음 각 호에 적합하여야 한다.

㈎ 단자는 1극에 대하여 2개이어야 한다.

㈏ 「(2).(아)」, 「(3).(마)」

(거) 제 15조(차동식분포형감지기의 감도시험)

「(2).(자)」

(너) 제 16조(정온식감지기의 공칭작동온도의 구분, 감도시험 및 화재정보신호)

「(3).(바)」

(더) 제 24조 감도시험의 조건

(1).(거). ~ (2).(너). 의 감도시험은 감지기를 (1).(카). 의 규정에 의한 시험조건에서 30분간 강제 통풍한 후에 실시한다.

(러) 제 25조(노화시험)

「(2).(차)」, 「(3).(사)」

(머) 제 26조(방수시험)

방수형의 감지기는 (23±2)℃, 상대습도 (50±2)%의 상태에서 24시간 방치한 후 (23±2)℃의 맑은 물에 48시간 침지시키는 경우 내부에 물이 고이지 않아야 하며, 기능 및 절연저항시험에 이상이 생기지 않아야 한다.

(버) 제 27조(내식시험)

감지기는 보통형의 것은 제①호의 시험을, 내산형은 제②호 및 제③호의 시험을, 내알칼리형은 제②호 및 제④호의 시험을 실시한 다음, 감지기 외부의 물방울을 닦고 상온상습에서 4일간 놓아둔 후 감도시험 및 절연저항시험을 실시하는 경우 이상이 생기지 아니하여야 한다. 이 경우 제①호, 제②호, 제③호 및 제④호의 시험은 (45±2)℃인 상태에서 실시하며, 공기관식의 공기관은 직격 10mm의 원형막대에, 열전대식의 열전대부 또는 감지선형의 선상감열부는 직경 100mm의 원형막대에 밀착시켜 10회 감아서 실시한다.

① 5L의 시험기기중에 농도 40g/L 되는 티오황산나트륨수용액 500mL를 넣고 1규정 농도의 황산 156mL를 물 1L에 용해한 용액을 1일 2회 10mL씩 가하여 발생하는 아황산가스 중에 4일간 놓아두는 시험

② 5L의 시험기기중에 농도 40g/L되는 티오황산나트륨수용액 500mL를 넣고 1규정 농도의 황산 156mL를 물 1L에 용해한 용액을 1일 2회 10mL씩 가하여 발생하는 아황산가스 중에 16일간 놓아두는 시험

③ 농도가 1mg/L되는 염화수소가스 중에 16일간 놓아두는 시험

④ 농도가 10mg/L되는 암모니아가스 중에 16일간 놓아두는 시험

(서) 제 28조(반복시험)

「(2).(카)」, 「(3).(아)」

(어) 제 29조(진동시험)

① 감지기는 전원이 인가된 상태에서 IEC 60068-2-6의 시험방법에 따라 다음 각 호에 따른 시험을 실시하는 경우 시험 중 잘못 작동되거나 시험 후 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

㉮ 주파수 범위 : (10~150)Hz

㉯ 가속도 진폭 : $5m/s^2$

㉰ 축수 : 3

㉱ 스위프 속도 : 1 옥타브/min

㉲ 스위프 사이클 수 : 축 당 1

① 감지기는 전원을 인가하지 않은 상태에서 IEC 60068-2-6의 시험방법에 따라 다음 각 호의 규정에 의한 시험을 실시하는 경우 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

㉮ 주파수 범위 : (10~150)Hz

㉯ 가속도 진폭 : $10m/s^2$

㉰ 축수 : 3

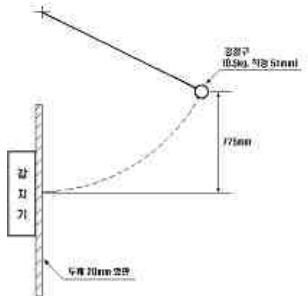
㉱ 스위프 속도 : 1 옥타브/min

㉲ 스위프 사이클 수 : 축 당 20

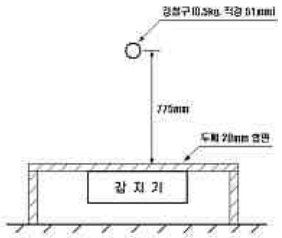
(저) 제 30조(충격시험)

감지기의 전원을 인가한 상태에서 두께 20mm, 폭 300mm, 길이 500mm의 나무판 중앙에 부착하여 이를 뒤집은 후 나무판의 양끝으로부터 50mm의 부분을 받침대로 지지하여 고정시키고, 감지기가 부착된 나무판의 반대면 중앙에 무게 0.5kg 직격 51mm의 강철구를 775mm의 높이에서 그림1과 같이 진자운동에 의하여 충격을 가하는 시험 또는 글ㅁ2와 같이 자유낙하에 의하여 충격을 가하는 시험을 1회 실시하는 경우 잘못 작동하거나 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

[그림 1]



[그림 2]



(처) 제 31조(분진시험)

감지기는 전류를 통한 상태에서 내부용적이 $0.09m^3$가 되는 밀폐된 상자 내에 정상위치로 부착하고 KS A 0090(시험용 분체 및 시험용 입자)의 5종 플라이애쉬 60g을 상자 속에 넣고 풍

속이 0.25m/s로 압축된 공기 또는 통풍기로 15분간 교반한 후 (1).(거). ~ (1).(너). 의 감도시험을 하는 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(커) 제 32조(충격전압시험)

감지기는 다음 각 호의 1의 시험을 실시하는 경우 잘못 작동하거나 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

① 전류를 통한 상태에서 다음 시험을 각각 500회 실시하는 시험

㉮ 용량이 2kVA인 절연변압기(2차측은 개방한 상태)의 1차측을 감지기의 전원공급회로와 동일회선에 병렬로 연결하고 절연변압기의 입력전압을 1분당 6회 비율로 매회 1초간 개방하여 발생하는 충격전압을 가하는 시험

㉯ 전원장치로부터 감지기에 공급되는 상용전원을 1분당 6회의 비율로 매회 1초간 개방하여 단속 시에 발생하는 충격전압을 가하는 시험

(주) 시험용 절연변압기의 전기적 특성

항목 / 권선	전압(V)	주파수(Hz)	인덕턴스(mH)	Q	직류저항(Ω)(23℃에서)
1차권선	120	1,000	21.2	11.5	0.244
2차권선	240	1,000	109.3	4.65	0.371

② 전류를 통한 상태에서 다음 시험을 각각 15초간 실시하는 시험

㉮ 내부저항 50Ω인 전원에서 500V의 전압을 펄스폭 $1\mu s$, 반복주기 100Hz로 가하는 시험

㉯ 내부저항 50Ω인 전원에서 500V의 전압을 펄스폭 $0.1\mu s$, 반복주기 100Hz로 가하는 시험

(터) 제 33조(습도시험)

① 감지기는 전원을 인가한 상태에서 (40±2)℃, 상대습도 (93±3)%인 공기 중에 4일간 방치하는 경우 잘못 작동하지 않아야 하며 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

② 감지기는 전원을 인가하지 않은 상태에서 (40±2)℃, 상대습도 (93±3)%인 공기 중에 21일간 방치하는 경우 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

(퍼) 제 34조(재용성시험)

「(2).(타)」, 「(3).(자)」

(허) 제 35조(절연저항시험)

「(2).(파)」, 「(3).(차)」

(고) 제 36조(절연내력시험)

감지기의 단자와 외함 간의 절연내력은 60Hz의 정현파에 가까운 실효전압 500V(전격전압이 60V를 초과하고 150V이하인 것은 1,000V, 정격전압이 150V를 초과하는 것은 그 정격전압에 2를 곱하여 1,000V를 더한 값)의 교류전압을 가하는 시험에서 1분간 견디는 것이어야 한다.

(노) 제 37조(표시)

감지기에는 다음 각 호의 사항을 보기 쉬운 부분에 쉽게 지워지지 않도록 표시해야 한다. 다만, 제12호와 제13호는 포장 또는 사용설명서에 표시할 수 있다.

① 종별 및 형식

② 형식승인번호

③ 제조년월 및 제조번호

④ 제조업체명 또는 상호

⑤ 특수하게 취급하여야 할 것 혹은 그 주의사항

⑥ 극성이 있는 단자에는 극성을 표시하는 기호

⑦ 공칭축적시간(축적형에 한하여 “지연형(축적형)수신기에는 설치할 수 없음”표시 별도)

⑧ 「(2).(너)」

⑨ 「(3).(카)」

⑩ 방수형인 것은 “방수형”이라는 문자 별도표시

⑪ 다신호식 기능을 가진 감지기는 당해 감지기가 발하는 화재신호의 수 및 작동원리 구분방법

⑫ 설치방법, 취급상의 주의 사항

⑬ 품질보증에 관한 사항(보증기간, 보증내용, A/S방법, 자체검사필증 등)

⑭ 공칭감시거리 및 시야각(해당되는 경우에 한함)

⑮ 화재정보신호값 범위(해당되는 경우에 한함)

⑯ 공칭감지온도의 범위(해당되는 경우에 한함)

⑰ 공칭감지농도의 범위(해당되는 경우에 한함)

⑱ 방폭형인 것은 “방폭형”이라는 문자 별도표시 및 방폭등급

(도) 제 38조(세부규정)

이 기준의 시행에 관하여 필요한 세부사항은 소방방재처장이 이를 정한다.

(로) 제 39조(재검토기한)

「훈련·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령훈령 제248호)에 따라 이 고시 발령 후의 법령이나 현실여건의 변화 등을 검토하여 이 고시의 폐지, 개정 등의 조치를 해야 하는 기한은 2015년 2월 8일까지로 한다.

(2) 차동식분포형감지기

(가) 「(1).(마).④.㉮」 제 5조(구조 및 기능)

외함은 불연성 또는 난연성 재질로 만들어져야 하며 다음과 같아야 한다.

① 차동식분포형감지기의 검출기 외함에 강판을 사용하는 경우에는 다음에 기재된 두께 이상의 강판을 사용하여야 한다. 다만, 합성수지를 사용하는 경우에는 강판의 2.5배 이상의 두께이어야 한다.

㉮ 차동식분포형감지기의 검출기는 1.0mm이상

㉯ 직접 벽면에 접하여 벽속에 매립되는 외함의 부분은 1.6mm이상

(나) 「(1).(마).⑮」 제 5조(구조 및 기능)

감열부, 다이어프램 등에 사용되는 금속 박판 또는 가는 선 등은 그 기능에 유해한 영향을 미칠 우려가 있는 홈, 부식, 변형 등이 생기지 않아야 한다. 다이어프램에 접점을 부착할 수 있다.

(다) 「(1).(마).⑯」 제 5조(구조 및 기능)

차동식분포형감지기로서 공기관식 또는 이와 유사한 것은 다음에 적합하여야 한다.

① 리크저항 및 접점수고를 쉽게 시험할 수 있어야 한다.

② 공기관의 누출 및 폐쇄여부를 쉽게 시험할 수 있고, 시험 후 시험 장치를 정위치에 쉽게 복귀할 수 있는 적당한 방법이 강구돼야 한다.

③ 공기관은 하나의 길이(이음매가 없는 것)가 20m이상의 것으로 안지름 및 관의 두께가 일정하고 홈, 갈라짐 및 변형이 없어야하며 부식되지 않아야 한다.

④ 공기관의 두께는 0.3mm이상, 바깥지름은 1.9mm이상이어야 한다.

(라) 「(1).(마).(17)」 제 5조(구조 및 기능)

차동식분포형감지기로서 열전대식의 것 또는 열반도체식의 것은 다음에 적합해야 한다.

① 검출기의 작동전압을 쉽게 시험할 수 있어야 한다.

② 열전대부의 단선여부 및 도체저항을 쉽게 시험할 수 있고, 시험 후 시험 장치를 정위치로 쉽게 복귀할 수 있는 적당한 방법이 강구되어야 한다.

(마) 「(1).(마).(18)」 제 5조(구조 및 기능)

감지기는 그 기판면을 부착한 정 위치로부터 5° 를 각각 경사 시킨 경우 그 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(바) 「(1).(마).(19)」 제 5조(구조 및 기능)

보통 감지기에는 작동표시장치를 설치해야 한다. 다만, 방폭구조인 감지기, 감지기가 작동한 경우 수신기에 그 감지기가 작동한 내용이 표시되는 감지기, 차동식분포형감지기 및 정온식감지선형감지기는 작동표시장치를 설치하지 않을 수 있다.

(사) 「(1).(타)」 제 11조(주위온도시험)

감지기의 주위온도시험은 다음 가 호 1의 규정에 의하여 시험할 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

① $-(10\pm2)$℃에서 (50 ± 2)℃까지의 주위온도시험.

(아) 「(1).(하).②.㉡」 제 13조(감지기의 인장시험 등)

단자 대신에 전선을 사용하는 감지기(감지선형인 것을 제외한다)에 있어서 전선은 그 수를 1극에 대하여 2개로 하고 1개당 2kg의 인장하중을 가한 경우 끊어지지 않아야 하며 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(자) 「(1).(거)」 제 15조(차동식분포형감지기의 감도시험)

① 분포형감지기로서 공기관식의 감도는 그 종별로 다음표의 공기관 자체의 온도상승률 t_1 및 t_2의 값에 따라 다음 각 호의 시험에 적합하여야 한다.

종별	t_1	t_2
1종	7.5	1
2종	15	2
3종	30	4

㉮ 작동시험

공기관중 검출부로부터 가장 먼 거리에 있는 20m의 부분이 t_1℃/min의 직선적인 비율로 상승하는 경우 1분 이내에 작동하여야 한다.

㉯ 부작동시험

공기관 전체가 t_2℃/min의 직선적인 비율로 상승하는 경우 15분 이내에 작동하지 아니하여야 한다.

② 제 (2).(자).① 항의 규정은 차동식분포형감지기중 공기관식 외의 것에 대한 감도시험시에도 이를 준용한다.

(차)「(1).(러)」제 25조(노화시험)

(50±2)℃의 공기 중에서 통전상태로 30일간 방치하는 경우 그 구조나 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(카)「(1).(서)」제 28조(반복시험)

감지기(비재용형인 것은 제외)는 감지기가 작동하는 경우에 단자접점에 저항부하를 연결하고 정격전압전류를 가한 상태에서 다음 각 호에 해당하는 감지기의 구분에 의하여 조작을 1,000회 반복할 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

① 차동식감지기의 성능을 가진 감지기(보상식스포트형감지기는 제외)는 실온보다 다음의 구분에 따른 온도만큼 높은 기류에서 작동할 때까지 놓아둔 다음 다시 실온과 동일한 온도의 강제통풍 중에서 원상태가 되도록 냉각을 반복하는 시험.

㉮ 1종 감지기는 (30±2)℃

㉯ 2종 감지기는 (40±2)℃

㉰ 3종 감지기는 (60±2)℃

(타)「(1).(퍼)」제 34조(재용성시험)

재용성 감지기는 (150±2)℃, 풍속 1m/s인 기류 중에 30초간 투입하는 시험을 실시한 후 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(파)「(1).(허)」제 35조(절연저항시험)

감지기의 절연된 단지간의 절연저항 및 단자와 외함 간의 절연저항은 직류 500V의 절연저항계로 측정한 값이 50$M\Omega$이상이어야 한다.

(하)「(1).(노).⑧」제 37조(표시)

차동식분포형감지기에는 제(1).(노).① ~ (1).(노).⑦ 호에 규정한 사항 외에 공기관식은 최대공기관의 길이와 사용공기관의 반지름 및 바깥지름, 열전대식 및 열반도체식은 감열부의 최대수량 또는 길이.

(3) 정온식감지선형감지기

(가)「(1).(마).⑮」제 5조(구조 및 기능)

감열부, 다이어프램 등에 사용되는 금속 박판 또는 가는 선 등은 그 기능에 유해한 영향을 미칠 우려가 있는 흠, 부식, 변형 등이 생기지 않아야 하며, 조정부, 다이어프램, 바이메탈을 직접접점으로 사용하거나 이 부분에 직접 접점을 부착해서는 안 된다.

(나)「(1).(마).⑱」제 5조(구조 및 기능)

감지기는 그 기판면을 부착한 정 위치로부터 45°를 각각 경사 시킨 경우 그 기능에 이상이 생

기지 않아야 한다.

(다)「(1).(마).⑲」제 5조(구조 및 기능)

보통 감지기에는 작동표시장치를 설치해야 한다. 다만, 방폭구조인 감지기, 감지기가 작동한 경우 수신기에 그 감지기가 작동한 내용이 표시되는 감지기, 차동식분포형감지기 및 정온식감지선형감지기는 작동표시장치를 설치하지 않을 수 있다.

(라)「(1).(타)」제 11조(주위온도시험)

감지기의 주위온도시험은 다음 가 호 1의 규정에 의하여 시험할 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

① 정온식 성능이 있는 감지기는 −(10±2)℃에서 공칭작동온도(2이상 공칭작동온도를 갖는 것에 있어서는 가장 낮은 공칭작동온도, 이하 제25조에서 같다)보다 (20±2)℃ 낮은 온도까지의 주위온도시험.

② 아날로그식으로 정온식감지기는 −(10±2)℃에서 공칭감지온도 범위의 상한값보다 (20±2)℃ 낮은 온도까지의 주위온도시험.

(마)「(1).(하).②.㉯」제 13조(감지기의 인장시험 등)

단자 대신에 전선을 사용하는 감지기(감지선형인 것을 제외한다)에 있어서 전선은 그 수를 1극에 대하여 2개로 하고 1개당 2kg의 인장하중을 가한 경우 끊어지지 않아야 하며 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(바)「(1).(너)」제 16조(정온식감지기의 공칭작동온도의 구분, 감도시험 및 화재정보신호)

① 정온식감지기(아날로그식 제외)의 공칭작동온도는 60℃에서 150℃까지의 범위로 하되, 60℃에서 80℃인 것은 5℃ 간격으로, 80℃ 이상인 것은 10℃ 간격으로 하여야 하며 다음 각 호의 시험에 적합하여야 한다.

㉮ 작동시험

공칭작동온도의 125%가 되는 온도이고 풍속이 1m/s 인 수직기류에 투입하는 경우 그 종별에 따라 다음 표에 정하는 시간 이내에 작동하여야 한다.

종별	실온	
	0℃	0℃ 이외
특종	40초 이하	실온 θ_r(℃)일 때의 작동시간 t(초)는 다음 식에 의하여 산출한다. $t=\frac{t_0\log_{10}(1+\frac{\theta-\theta_r}{\delta})}{\log_{10}(1+\frac{\theta}{\delta})}$ 수식 1.2.1
1종	40초 초과 120초 이하	
2종	120초 초과 300초 이하	
(주) t_0 : 실온이 0℃인 경우의 작동시간(초) θ : 공칭작동온도(℃) δ : 공칭작동온도와 적동시험온도와의 차		

㉯ 부작동시험

공칭작동온도 보다 10℃ 낮은 온도이고 풍속이 1m/s인 수직기류에 투입하는 경우 10분 이내에 작동하지 아니하여야 한다.

② 아날로그식 정온식감지기는 공칭감지온도범위(설계치)의 각 온도에서 다음 각 호의 시

험에 적합하여야 한다.

㉮ 2℃/min이하로 일정하게 직선적으로 상승하는 풍속 1m/s의 수평기류를 공칭감지온도의 최저온도에서 최고온도까지 가하는 경우 온도에 대응하는 화재정보신호를 발신하여야 한다.

㉯ 공칭감지온도범위의 임의의 온도에서 3.바.1).가) 호의 규정에 의한 특종의 작동시험에 적합하여야 한다.

(사)「(1).(러)」제 25조(노화시험)

정온식 성능이 있는 감지기는 공칭작동온도 또는 공칭작동온도보다 (20±2)℃ 낮은 온도의 공기 중에서, 아날로그식의 정온식감지기 성능을 가진 것은 공칭감지온도 범위의 상한값보다 (20±2)℃ 낮은 온도의 공기 중에서 통전상태로 30일간 방치하는 경우 그 구조나 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(아)「(1).(서)」제 28조(반복시험)

감지기(비재용형인 것은 제외)는 감지기가 작동하는 경우에 단자접점에 저항부하를 연결하고 정격전압전류를 가한 상태에서 다음 각 호에 해당하는 감지기의 구분에 의하여 조작을 1,000회 반복할 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

① 정온식감지기의 성능을 가진 감지기(보상식스포트형감지기는 제외)의 경우는 공칭작동온도(2이상의 공칭작동온도를 가진 것은 가장 높은 공칭작동온도)보다 다음의 구분에 따른 온도만큼 높은 기류 중에서 작동할 때까지 놓아둔 다음 실온과 동일한 온도의 강제통풍 중에서 원 상태가 되도록 냉각을 반복하는 시험(2이상의 성능 또는 종별을 가진 것은 가장 높은 시험온도로 시험)

㉮ 특종과 1종 감지기는 (30±2)℃

㉯ 2종 감지기는 (40±2)℃

㉰ 3종 감지기는 (60±2)℃

② 아날로그식의 정온시감지기 성능을 가진 것은 공칭감지온도 범위 중 상한값보다 (30±2)℃ 높은 시험온도의 기류 중에서 작동상태가 될 때까지 방치한 다음 다시 실온과 동일한 온도의 강제통풍 중에서 원상태가 되도록 냉각을 반복하는 시험.

(자)「(1).(퍼)」제 34조(재용성시험)

재용성 감지기는 (150±2)℃, 풍속 1m/s인 기류 중에 정온식감지기 또는 아날로그식인 정온식감지기의 성능을 가진 것은 2분간 투입하는 시험을 실시한 후 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(차)「(1).(허)」제 35조(절연저항시험)

감지기의 절연된 단지간의 절연저항 및 단자와 외함 간의 절연저항은 직류 500V의 절연저항계로 측정한 값이 선간에서 1m 당 1,000$M\Omega$이상이어야 한다.

(카)「(1).(노).⑨」제 37조(표시)

정온식감지선형감지기에는 외피에 다음의 구분에 의한 공칭작동온도의 색상을 표시한다.

① 공칭작동온도가 80℃ 이하인 것은 백색

② 공칭작동온도가 80℃ 이상 120℃ 이하인 것은 청색

③ 공칭작동온도가 120℃ 이상인 것은 적색

다. 수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준 (소방방재청)

도로터널의 화재안전기준 (NFSC 603, 소방방재청)에서 도로터널에 설치될 수 있는 수신기로는 아래 그림과 같이 총칙, 수신기, 간이형수신기, 보칙으로 나누어 설명해 놓았다. 그리고 공통된 사항을 제외하고 각 종류별로 따로 설명되어있는 곳은 위치를 글자색을 빨간색과 밑줄을 그어 놓았다.

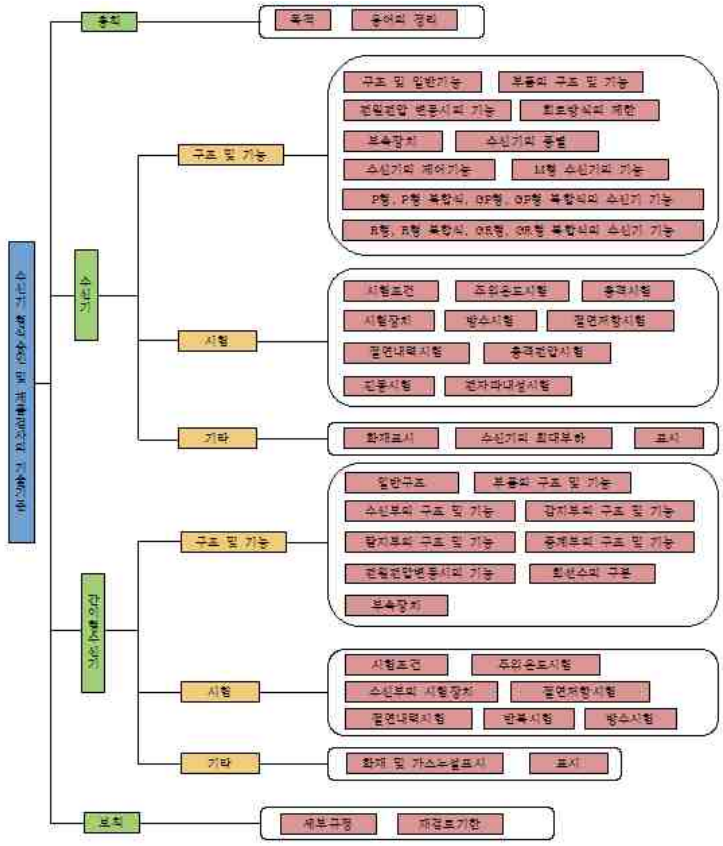


그림 1.2.20 도로터널 설치기준과 관련된 수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준

(1) 총칙

(가) 제 1조(목적)

이 기준은 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제36조제5항에서 소방방재청장에게 위임한 「수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준」에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다. <개정 2013. 7. 25>

(나) 제 2조(용어의 정리)

이 기준에서 사용하는 용어의 정리는 다음과 같다. <개정 2012. 6. 27>

① P형 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(가).㉒/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).①/ (2).(타)/ (2).(더).①

감지기 또는 발신기(M형 발신기를 제외)로부터 발하여지는 신호를 직접 또는 중계기를 통하여 공통신호로서 수신하여 화재의 발생을 당해 소방대방물의 관계자에게 경보하여 주는 것을 말한다.

② R형 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(카).②/ (2).(파)/ (2).(더).①

감지기 또는 발신기(M형 발신기를 제외)로부터 발하여지는 신호를 직접 또는 중계기를 통하여 고유 신호로서 수신하여 화재의 발생을 당해 소방대상물의 관계자에게 경보하여 주는 것을 말한다.

③ M형 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑯/ (2).(가).⑲/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).③/ (2).(하)/ (2).(더).①

M형 발신기로부터 발하여지는 신호를 수신하여 화재의 발생을 소방관서에 통보하는 것을 말한다.

④ GP형 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(가).㉒/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).④/ (2).(타)/ (2).(더).①

P형 수신기의 기능과 가스누설경보기의 수신부 기능을 겸한 것을 말한다. 다만, 가스누설경보기의 수신부의 기능 중 가스농도 감시 장치는 설치하지 않을 수 있다.

⑤ GR형 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).⑤/ (2).(파)/ (2).(더).①

R형 수신기의 기능과 가스누설경보기의 수신부 기능을 겸한 것을 말한다. 다만, 가스누설경보기의 수신부의 기능 중 가스농도 감시 장치는 설치하지 않을 수 있다.

⑥ 방폭형 - (2).(가).②/ (2).(가).⑫/ (2).(가).⑬/ (2).(처).⑦/ (3).(가).⑫/ (3).(가).⑬/ (3).(러).①.㉯

폭발성가스가 용기내부에서 폭발했을 때 용기가 그 압력에 견디거나 또는 외부의 폭발성가스에 인화될 우려가 없도록 만들어진 형태의 제품을 말한다.

⑦ 방수형 - (2).(가).②/ (2).(가).⑫/ (2).(너)/ (2).(처).⑦/ (3).(가).⑫/ (3).(러)/ (3).(러).①.㉰

그 구조가 방수구조로 되어 있는 것을 말한다.

⑧ P형 복합식 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(가).㉒/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).①/ (2).(타)/ (2).(더).①

감지기 또는 발신기(M형 발신기를 제외) 등으로부터 발하여지는 신호를 직접 또는 중계기를 통하여 공통신호로서 수신하여 화재의 발생을 당해 소방대상물의 관계자에게 경보하여 주고, 자동 또는 수동으로 옥내·외소화전설비, 배연설비 등의 가압송수장치 또는 기동장치 등을 제어하는(이하 "제어기능"이라 한다)는 것을 말한다.

⑨ R형 복합식 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(카).②/ (2).(파)/ (2).(더).①

감지기 또는 발신기(M형 발신기를 제외) 등으로부터 발하여지는 신호를 직접 또는 중계기를 통하여 고유 신호로서 수신하여 화재의 발생을 당해 소방대상물의 관계자에게 경보하여 주고 제어기능을 수행하는 것을 말한다.

⑩ GP형 복합식 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(가).㉒/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).④/ (2).(타)/ (2).(더).①

P형 복합식 수신기와 가스누설경보기의 수신부 기능을 겸한 것을 말한다.

⑪ GR형 복합식 수신기 - (2).(가).⑭/ (2).(가).⑮/ (2).(가).⑯/ (2).(나).⑦.㉮/ (2).(사)/ (2).(차)/ (2).(카).⑤/ (2).(파)/ (2).(더).①

R형 복합식 수신기와 가스누설경보기의 수신부 기능을 겸한 것을 말한다.

⑫ 간이형수신기 - (3).(가)~

「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령」 제 37조 별표 2의2에서 규정하고 있는 수신기 및 가스누설경보기의 기능을 각각 또는 함께 가지고 있는 제품으로 수신기 및 가스누설경보기의 형식승인기준에서 규정한 수신기 또는 가스누설경보기의 구조 및 기능을 단순화시켜 "수신부·감지부", "수신부·탐지부", "수신부·감지부·탐지부" 등으로 각각 구성되거나 여기에 중계부가 함께 구성되어 화재발생 또는 가연성가스가 누설되는 것을 자동적으로 탐지하여 관계자 등에게 경보하여 주는 기능 또는 도난경보, 원격제어기능 등이 복합적으로 구성된 제품을 말한다.

㉮ 화재수신용

수신부 및 감지부로 구성된 것 또는 여기에 중계부 등이 함께 구성된 것으로서 도난경보, 원격제어 기능이 복합적으로 구성된 간이형수신기를 말한다.

㉯ 가스누설수신용

수신부 및 탐지부로 구성된 것 또는 여기에 중계부 등이 함께 구성된 것으로서 도난경보, 원격제어 기능 등이 복합적으로 구성된 제품을 말한다.

㉰ 화재수신용 및 가스누설수신용

수신부·감지부 및 탐지부로 구성된 것 또는 여기에 중계부 등이 함께 구성된 것으로서 도난경보, 원격제어 기능 등이 복합적으로 구성된 제품을 말한다.

㉱ 수신부 - (3).(사)/ (3).(러).③

감지기에서 발하는 화재신호나 탐지부에서 발하는 가스누설신호를 직접 또는 중계부를 통하여 수신하고 이를 관계자나 이용자에게 음향경보 또는 음성경보를 발하여 주는 부분을 말한다.

㉲ 감지부 - (3).(사).⑧/ (3).(사).⑩/ (3).(아)

감지기의 형식승인기준에 의한 감지기를 말한다.

㉳ 탐지부 - (3).(사).⑧/ (3).(사).⑩/ (3).(자)/ (3).(러).①.㉱

가스누설경보기의 형식승인 기준 제2조제2호에 의한 가스누설경보기 중 단독형가스누설경보기를 탐지부로 사용하는 것을 말한다.

㉴ 중계부 - (3).(차)/ (3).(러).①.㉲/ (3).(러).②

감지기에서 발하는 화재신호나 탐지부에서 발하는 가스누설신호를 받아 그 신호를 수신부로

중계하여 주는 것을 말한다.

㉰ 부속장치

화재경보기능 및 가스누설경보기능 외에 부수적 기능을 가지는 부분으로서 간이형수신기에 추가적으로 설치하거나 분리된 상태로 연결하여 사용하는 도난경보, 인터폰, 전화기 및 기타 각종 가전제품 등의 원격제어, 지구경보부 또는 가스를 환기시키기 위한 환풍기 등의 장치를 말한다.

㉱ 화재표시등(이하 “화재등”) - (2).(라).②.㉯/ (3).(카)

수신부가 화재신호를 수신하는 경우 화재의 발생을 자동적으로 표시하여 주는 표시등을 말한다.

㉲ 화재지구표시등(이하 “화재지구등”) - (2).(나).②.㉯/ (3).(카).①

수신부가 화재신호를 수신하는 경우 화재가 발생한 경계구역의 위치를 자동적으로 표시하여 주는 표시등을 말한다.

㉳ 가스누설표시등(이하 “누설등”) - (3).(카)

수신부가 가스누설신호를 수신하는 경우 가스누설의 발생을 자동적으로 표시하여 주는 표시등을 말한다.

㉴ 가스누설지구표시등(이하 “누설지구등”) - (3).(카).①

수신부가 가스누설신호를 수신하는 경우 가스누설이 발생한 경계구역의 위치를 자동적으로 표시하여 주는 표시등을 말한다.

㉵ 복귀스위치 - (3).(사).⑤

화재발생 및 가스누설을 경보하고 있는 수신부 및 작동상태 지속되고 있는 감지기를 화재발생 및 가스누설을 감시하는 정상 상태로 전환시키기 위하여 수신부에 설치되는 스위치를 말한다.

㉶ 지구경보부 - (3).(사).⑦

수신부에 추가로 연결하여 사용하는 음향장치로서 화재발생 또는 가스누설 발생 시 수신부에서 발하는 경보신호를 받아 음향경보 또는 음성경보를 발하여 주는 것을 말한다.

(2) 수신기

(가) 제 3조(구조 및 일반기능)

수신기의 구조 및 일반기능은 다음 각 호에 적합해야 한다.

① 작동이 확실하고, 취급•점검이 쉬워야 하며, 현저한 잡음이 나 장해전파를 발하지 않아야 한다. 또한 먼지, 습기, 곤충 등에 의하여 기능에 영향을 받지 않아야 한다.

② 보수 및 부속품의 교체가 쉬워야 한다. 다만, 방수형 및 방폭형은 그렇지 않다.

③ 부식에 의하여 기계적 기능에 영향을 초래할 우려가 있는 부분을 칠, 도금 등으로 유효하게 내식가공을 하거나 방청가공을 해야 하며, 전기적 기능에 영향이 있는 단자, 나사 및 와셔 등은 동합금이나 이와 동등이상의 내식성능이 있는 재질을 사용해야 한다.

④ 외함은 불연성 또는 난연성 재질로 만들어져야 하며 다음과 같아야 한다.

㉮ 외함에 강판을 사용하는 경우에는 강판의 2.5배 이상의 두께여야 한다.

- 1회선용은 1.0mm이상
- 1회선을 초과하는 것은 1.2mm이상

- 직접 벽면에 접하며 벽속에 매립되는 외함의 부분은 1.6mm이상

㉯ 외함(화재표시창, 지구창, 지도판, 전화기, 조작부 수납용 뚜껑, 스위치의 손잡이, 발광다이오드, 지시전기계기, 각종 표시명판 등은 제외)에 합성수지를 사용하는 경우에는 (80±2)℃의 온도에서 열로 인한 변형이 생기지 않아야 하며 UL 94규정에 의한 V-2이상의 난연성능이 있는 재료여야 한다.

⑤ 기기내의 배선은 충분한 전류용량을 갖는 것으로 해야 하며, 배선의 접속이 정확하고 확실해야 한다.

⑥ 극성이 있는 경우에는 오접속을 방지하기 위해 필요한 조치를 취해야 한다.

⑦ 부품의 부착은 기능에 이상을 일으키지 않고 쉽게 풀리지 않도록 해야 한다.

⑧ 전선 이외의 전류가 흐르는 부분과 가동축 부분의 접촉력이 충분하지 않은 곳에는 접촉부의 접촉 불량을 방지하기 위한 적당한 조치를 취해야 한다.

⑨ 외부에서 쉽게 사람이 접촉할 우려가 잇는 충전부는 충분히 보호돼야 한다.

⑩ 정경전압이 60V를 넘는 기구의 금속제 외함에는 접지단자를 설치해야 한다.

⑪ 예비전원회로에는 단락사고 등으로부터 보호하기 위한 퓨즈 등 과전류 보호 장치를 설치해야 한다.

⑫ 내부의 부품 등에서 발생되는 열에 의해 구조 및 기능에 이상이 생길 우려가 있는 것은 방열판 또는 방열공 등에 의하여 보호조치를 취해야 한다. 다만, 방수형 또는 방폭형의 것은 방열공을 설치하지 않을 수 있다.

⑬ 방폭형수신기의 방폭구조는 산업안전보건법령에 의해 정해지는 규격에 적합해야 한다.

⑭ P형1급, P형1급 복합식, GP형1급 및 GP형1급 복합식(접속되는 회선수가 1회선인 것은 제외), R형 및 R형 복합식, GR형, GR형 복합식의 수신기 또는 M형의 수신기는 발신기가 작동하는 경우 그 표시를 할 수 있어야 한다.

⑮ 수신기(1회선용은 제외)는 2회선이 동시에 작동하여도 화재표시가 돼야 하며, 감지기의 감지 또는 P형 발신기나 T형 발신기의 발신개시로부터 P형, P형 복합식, GP형, GP형 복합식, R형, R형 복합식, GR형 또는 GR형 복합식 수신기의 수신완료까지의 소요시간은 5초(축적형의 경우에는 60초)이내여야 한다.

⑯ 화재신호를 수신하는 경우 P형, P형 복합식, GP형, GP형 복합식, R형, R형 복합식, GR형 또는 GR형 복합식의 수신기에 있어서는 2이상의 지구표시장치에 의해, M형수신기에 있어서는 3이상의 지구표시장치에 의해 각각 화재를 표시할 수 있어야 한다.

⑰ P형2급 및 P형2급 복합식, P형1급 및 P형1급 복합식(접속가능한 회선수가 1인 것에 한한다.), GP형1급 및 GP형1급 복합식(접속가능한 회선수가 1인 것에 한한다.), GP형2급 및 GP형2급 복합식의 수신기를 제외한 발신기와 수신기는 화재신호의 전달에 지장이 없이 상호 전화연락이 될 수 있어야 한다.

⑱ T형 발신기와 접속되는 수신기는 2회선 이상의 T형 발신기가 동시에 발신하여도 통화하고자 하는 발신기를 임의로 선택할 수 있어야 하며, 차단된 회선의 T형 발신기에 통화중에 소리가 흘러 들어가야 한다.

⑲ M형수신기는 화재수신 완료까지의 소요시간(기록식의 M형수신기를 사용하는 것은 동

일 신호를 2회 기록할 때까지의 소요시간)이 20초 이내여야 하고 3개의 M형 발신기가 동시에 작동하는 경우에는 무간섭이며 순차적으로 화재표시가 돼야 한다.

⑳ 내부에 주전원의 양극을 동시에 개폐할 수 있는 전원스위치를 설치해야 한다.

㉑ 전원입력 측의 양선(1회선용은 1선 이상) 및 외부부하에 직접 전원을 송출하도록 구성된 회로에는 퓨즈 또는 브레이커 등을 설치해야 한다.

㉒ 내부에는 예비전원을 설치해야 한다. 다만, P형2급, P형2급 복합식, GP형2급, GP형2급 복합식의 수신기로서 접속할 수 있는 회선수가 1인 것과 방화상 유효한 조치를 강구한 것은 그렇지 않다.

㉓ 전면에는 예비전원의 상태를 감시할 수 있는 감시 장치가 있어야 한다.

㉔ 전면에는 주전원을 감시하는 장치를 설치해야한다.

㉕ 복귀스위치의 작동 또는 음향장치의 울림을 정지시키는 스위치를 설치하는 경우에는 그 목적에만 사용되는 것이어야 한다.

㉖ 자동적으로 정위치에 복귀하지 않는 스위치를 설치하는 경우에는 음신호장치 또는 점멸하는 주의등을 설치해야 한다.

㉗ 수신기의 외부배선 연결용 단자에 있어서 공통신호선용 단자는 7개회로마다 1개 이상 설치해야 한다.

㉘ 제어기능 수동조작 스위치는 부주의로 인한 작동을 방지할 수 있는 구조여야 한다.

(나) 제 4조(부품의 구조 및 기능)

수신기에 다음 각 호의 부품을 사용하는 경우 해당 각호의 규정에 적합하거나 이와 동등이상의 성능이 있는 것이어야 한다.

① 스위치

㉮ 조작이 쉽고 작동이 확실해야 하며, 정지점이 명확하고 적정해야 한다.

㉯ 각 접점의 최대사용전압으로 최대사용전류의 200%인 전류를 저항부하를 통하여 흘리는 작동을 1만회(전원스위치의 경우에는 5천회) 반복하는 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

㉰ 접점은 최대사용전류 용량에 적합해야 하고 부식될 우려가 없는 것이어야 한다.

㉱ 눕혀서 끊어지는 형의 스위치(수은스위치 등)을 사용할 경우에는 정위치에 복귀시키는 것을 잊지 않도록 알려주는 적당한 장치를 해야 한다.

② 표시등

㉮ 전구는 사용전압의 130%인 교류전압을 20시간 연속하여 가하는 경우 단선, 현저한 광속변화, 흑화, 전류의 저하 등이 발생하지 않아야 한다.

㉯ 소켓은 접촉이 확실해야 하며 쉽게 전구를 교체할 수 있도록 부착해야 한다.

㉰ 전구는 2개 이상을 병렬로 접속해야 한다. 다만, 방전등 또는 발광다이오드의 경우에는 그렇지 않다.

㉱ 전구에는 적당한 보호커버를 설치해야 한다. 다만, 발광다이오드의 경우에는 그렇지 않다.

㉲ 화재등은 등이 켜질 때 적색으로 표시돼야 하며, 화재지구등과 기타의 표시등은 다음

과 같아야 한다.

- 지구등은 적색으로 표시돼야 한다. 이 경위 화재등이 설치된 수신기의 지구등은 적색외의 색으로도 표시할 수 있다.
- 기타의 표시등은 적색외의 색으로 표시돼야 한다. 다만, 화재등 및 지구등과 쉽게 구별할 수 있도록 부착된 기타의 표시등은 적색으로도 표시할 수 있다.

㉳ 주위의 밝기가 300lx인 장소에서 측정하여 앞면으로부터 3m 떨어진 곳에서 켜진등이 확실히 식별돼야 한다.

③ 전자계전기

㉮ 접점은 G•S합금 또는 이와 동등이상이어야 한다.

㉯ 자체하중에 의해 영향을 받지 않도록 부착하고, 접점 밀봉형 외의 것은 접점이나 가동부에 먼지가 들어가지 않도록 적당한 방진커버를 설치해야 한다.

㉰ 최대사용전압에서 최대사용전류를 저항부하를 통해 흘려도 그 구조 또는 기능에 현저한 변화가 생기지 않아야 한다.

㉱ 접점의 사용은 다음과 같이 해야 한다.

- 지구음향장치용 접점 또는 지구표시장치용 접점은 보조계전기에 접속하여 사용하는 경우를 제외하고는 다른 용도로 사용할 수 없도록 해야 한다.
- 동일접점에서 동시에 내부부하와 외부부하에 직접 전력을 공급하지 않도록 해야 한다.

④ 전압 지시전기계기의 최대눈금은 사용하는 회로의 정격전압의 140% 이상 200% 이하여야 한다.

⑤ 퓨즈 등

㉮ 퓨즈 등 과전류 보호 장치는 산업표준화법에 의한 KS규격 표시품, 전기용품 안전관리법에 의한 안전 인증품 또는 국제적 공인기관으로부터 인증을 받은 제품을 사용해야 한다. 다만, 과전류 보호 장치로 자체 복원력에 의한 재용성이 있는 폴리스위치 등을 사용하는 경우에는 그렇지 않다.

㉯ 점검 및 교체가 쉬워야 한다.

㉰ 쉽게 흔들리지 않도록 부착해야 한다.

⑥ 수신기에 내장하는 음향장치

㉮ 사용전압의 80%인 전압에서 소리를 내야 한다.

㉯ 사용전압에서의 음압은 무향실내에서 정위치에 부착된 음향장치의 중심으로부터 1m 떨어진 지점에서 주음향 장치용의 것은 90dB 이상이어야 한다. 다만, 전화용 부저 및 고장표시장치용 등의 음압은 60dB 이상이어야 한다.

㉰ 사용전압으로 8시간 연속하여 울리게 하는 시험, 또는 정격전압에서 3분20초 동안 울리고 6분40초 동안 정지하는 작동을 반복하여 통산한 울림시간이 20시간이 되도록 시험하는 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

⑦ 예비전원

㉮ 수신기의 주전원으로 사용해서는 안 된다.

㉯ 인출선은 적당한 색깔에 의해서 쉽게 구분할 수 있어야 한다.

㉡ 수신기의 예비전원은 원통밀폐형 니켈카드뮴축전지 또는 무보수밀폐형 연축전지로서 그 용량은 감시상태를 60분간 계속한 후 다음에서 규정하는 부하에 견딜 수 있는 크기 이상이어야 한다. 이 경우 지구음향장치의 작동을 위한 예비전원의 소비전류는 P형, P형 복합식, GP형 및 GP형 복합식의 수신기에 있어서는 접속가능한 회선수(R형, R형 복합식, GR형 및 GR형 복합식의 수신기에 있어서는 접속가능한 중계기의 회선수)에 2를 곱하여 얻은 수의 지구음향장치가 울리는데 소비되는 전류로 하고 직상층발화식인 수신기로서 경종 또는 중계기의 회선수가 20을 넘는 경우에는 부하로 하는 전류를 소비전류로 한다.

- P형 및 P형 복합식의 수신기용은 2회선이 작동하는 데의 소비전류(감시상태의 소비전류보다 적은 경우에는 감시상태의 소비전류)로 10분 이상 계속하여 흘릴 수 있는 용량
- R형 및 R형 복합식의 수신기용은 2개의 중계기가 작동하는 때의 소비전류(감시상태의 소비전류보다 적은 경우에는 감시상태로 소비전류)로 10분간 계속하여 흘릴 수 있는 용량
- M형 수신기용은 2개의 M형 발신기가 작동하는 때의 소비전류(감시상태의 소비전류보다 적은 경우에는 감시상태의 소비전류)로 10분간 계속하여 흘릴 수 있는 용량
- GP형 및 GP형 복합식의 수신기용은 P형 및 P형 복합식의 용량과 가스누설경보기의 관련 용량은 합한 용량, 다만, 가스누설경보기의 부분에 예비전원이 필요 없는 구조인 것은 P형 및 P형 복합식의 용량
- GR형 및 GR형 복합식의 수신기용은 R형 및 R형 복합식의 용량과 가스누설경보기의 관련 용량을 합한 용량, 다만, 가스누설경보기의 부분에 예비전원이 필요 없는 구조인 것은 R형 및 R형 복합식의 용량

㉢ 자동충전장치 및 전기적 기구에 의한 자동 과충전 방지장치를 설치해야 한다. 다만, 과충전 상태가 되어도 성능 또는 구조에 이상이 생기지 않는 축전지를 설치하는 경우에는 자동 과충전 방지장치를 설치하지 않을 수 있다.

㉣ 전기적 기구에 의한 자동 과방전 방지장치를 설치해야 한다. 다만, 과방전의 우려가 없는 경우 또는 과방전의 상태가 되어도 성능이나 구조에 이상이 생기지 않는 축전지를 설치하는 경우에는 그렇지 않다.

㉤ 예비전원을 병렬로 접속하는 경우는 역충전 방지 등의 조치를 강구해야 한다.

㉥ 축전지를 직렬 또는 병렬로 사용하는 경우에는 용량(전압, 전류)이 균일한 축전지를 사용해야 한다.

㉦ 축전지의 충전시험 및 방전시험은 방전종지전압을 기준하여 시작한다. 이 경우 방전종지전압이라 함은 원통형 니켈카드뮴 축전지는 셀 당 1.0V의 상태를, 무보수밀폐형 연축전지는 단전지당 1.75V의 상태를 말한다.

㉧ 원통형 니켈카드뮴 축전지의 상온 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 상온에서 1/20 C의 전류로 48시간 충전하고, 무보수밀폐형 연축전지의 상온 충·방전시험은 방전종지전압까지 방전시킨 다음 0.1 C로 48시간 충전하여, 1 C의 전류로 방전시킬 때 니켈카드뮴축전지는 48분 이상, 연축전지는 45분 이상 지속 방전돼야 한다.

㉨ 원통형 니켈카드뮴 축전지의 주위온도 충·방전시험은 방전종치전압 상태의 축전지를 주위온도 −(10±2)℃ 및 (50±2)℃의 조건에서 1/20 C의 전류로 48시간 충전한 다음 1 C로

방전하는 충·방전을 3회 반복하는 경우 방전종지전압이 되는 시간이 25분 이상이어야 하며, 외관이 부풀어 오르거나 누액 등이 생기지 않아야 한다.

㉩ 무보수밀폐형 연축전지의 주위온도 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 −(10±2)℃ 및 (50±2)℃의 조건에서 0.1 C로 48시간 충전한 다음 1시간 방치하여 0.05 C로 방전시킬 때 정격용량의 95% 용량이 되는 시간이 30분 이상이어야 한다.

㉪ 예비전원의 안전장치시험은 1/5 C 이상 1 C 이하의 전류로 역충전 하는 경우 5시간 이내에 안전장치가 작동해야 하며, 외관이 부풀어 오르거나 누액 등이 생기지 않아야 한다.

㉫ <삭제>

㉬ 송수화기는 확실히 작동할 수 있어야 하며, 내구성이 있는 것이어야 한다.

(다) 제 5조(전원전압 변동시의 기능)

수신기는 전원저압이 정격전압의 ±20% 범위에서 변동하는 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(라) 제 6조(회로방식의 제한)

수신기는 다음 각 호의 회로방식을 사용하지 않아야 한다.

① 접지전극에 직류전류를 통하는 회로방식

② 수신기에 접속되는 외부배선과 다른 설비(화재신호의 전달에 영향을 미치지 않는 것은 제외)의 외부배선을 공용으로 하는 회로방식

(마) 제 7조(부속장치)

수신기의 기능에 유해한 영향을 미치는 부속장치는 설치하지 않아야 한다.

(바) 제 8조(시험조건)

수신기의 시험은 특별히 규정된 경우를 제외하고는 실온이 5℃ 이상 35℃ 이하이고, 상대습도가 45% 이상 85% 이하의 상태에서 실시한다.

(사) 제 9조(수신기의 종별)

수신기는 P형, P형 복합식, R형, R형 복합식, M형, GP형, GP형 복합식, GR형, GR형 복합식으로 분류하며, P형, P형 복합식, GP형 그리고 GP형 복합식은 그 성능에 따라 1급과 2급으로 구분된다.

(아) 제 10조(주위온도시험)

수신기는 주위온도가 −(10±2)℃에서 (50±2)℃까지의 범위에서 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

(자) 제 11조(수신기의 제어기능)

① 제어기능은 각 설비의 전용으로 해야 한다. 다만, 다른 설비의 사고 등에 의한 영향을 받지 않도록 되어있는 경우에는 그렇지 않다.

② 옥내·외소화전설비, 물 분무 소화설비 및 포소화설비의 제어기능은 다음에 적합해야 한다.

㉮ 각 펌프의 작동여부를 확인할 수 있는 표시등 및 음향경보기능이 있어야 한다.

㉯ 각 펌프를 자동 및 수동으로 작동시키거나 작동을 중단시킬 수 있어야 한다.

㉰ 수조 또는 물올림탱크가 저수위로 될 때 표시등 및 음향으로 경보돼야 한다.

③ 스프링클러설비의 제어기능은 다음에 적합해야 한다.

㉮ 각 유수검지장치, 일제개방밸브 및 펌프의 작동여부를 확인할 수 있는 표시기능이 있어야 한다.

㉯ 수원 또는 물올림탱크의 저수위 감시 표시기능이 있어야 한다.

㉰ 일제개방밸브를 개방시킬 수 있는 스위치를 설치해야 한다.

㉱ 각 펌프를 수동으로 작동 또는 중단시킬 수 있는 스위치를 설치해야 한다.

㉲ 일제개방밸브를 사용하는 설비의 화재감지를 화재감지기에 의하는 경우에는 경계회로별로 화재표시를 할 수 있어야 한다.

④ 이상화탄소 소화설비, 할로겐 화합물 소화설비 및 분말 소화설비의 제어기능은 다음에 적합해야 한다. <개정 2013. 7. 25>

㉮ 수동기동장치 또는 감지기에서의 신호를 수신하여 음향경보장치를 작동, 소화약제의 방출 또는 지연 등의 제어기능을 가져야 한다. 다만, 약제방출 지연시간은 경보음을 발한 후 30초 이내로 하며, 지연시간을 조정할 수 있는 장치는 조정된 시간의 표시가 쉽게 판별될 수 있어야 한다.

㉯ 각 방호구역 마다 음향경보장치의 조작 및 감지기의 작동을 명시하는 표시등과 이와 연동하여 작동하는 벨, 부저 등의 경보장치를 부착해야 한다. 이 경우 음향장치의 조작 및 감지기의 작동을 명시하는 표시등을 겸용할 수 있다.

㉰ 수동식 기동장치에 있어서는 그 방출용 스위치와 작동을 명시하는 표시등을 설치해야 한다.

⑤ 기동식의 벽, 배연 경계벽, 댐퍼 및 배출기의 작동은 감지기와 연동돼야 하며, 수동으로 기동이 가능해야 한다.

⑥ 기타 이 조에서 정하지 않은 사항은 법 제9조제1항의 규정에 따라 소방방재청장이 정하여 고시하는 화재안전기준의 각 소화설비별 제어반의 기준을 준용한다.

(차) 제 12조(화재표시)

① 수신기는 화재신호를 수신하는 경우 적색의 화재표시등에 의하여 화재의 발생을 자동적으로 표시함과 동시에, 지구표시장치에 의해 화재가 발생한 당해 경계구역을 자동적으로 표시하고 주음향장치 및 지구음향장치가 울리도록 돼야 하며, 주음향장치는 스위치에 의해 주음향장치의 울림이 정지된 상태에서도 새로운 경계구역의 화재신호를 수신하는 경우에는 자동적으로 주음향장치의 울림정지 기능을 해제하고 주음향 장치가 울려야 한다. 다만, 다음 각 호에 정하는 것은 설치하지 않을 수 있다.

㉮ P형1급 및 P형1급 복합식의 수신기로서 접속되는 회선수가 1인 것은 화재표시등 및 지구표시장치

㉯ P형2급 및 P형2급 복합식의 수신기로서 접속되는 회선수가 1인 것은 화재표시등 및 지구표시장치

㉰ 그 밖의 P형2급 수신기는 화재표시등

㉱ M형 수신기는 지구음향장치

② 제 ①항의 화재표시는 수동으로 복귀시키지 않는 한 그 화재의 표시를 계속 유지하는

것이어야 한다. 다만, 축적형, 다신호식 및 아날로그식인 수신기의 예비표시신호(화재표시를 할 때까지의 사이에 보조적으로 표시되는 지구표시등 및 주음향장치 등을 말한다)는 그렇지 않다.

③ 표시장치로서 기록 장치를 설치한 것은 작동한 감지기, 중계기, 및 P형 발신기 등을 포함한 경계구역 또는 작동한 개개의 M형 발신기를 자동적으로 쉽게 식별할 수 있는 것이어야 한다.

④ GP형, GP형 복합식, GR형 및 GR형 복합식의 수신기는 가스누설신호를 수신하는 경우 황색의 가스누설등 및 주음향장치에 의해 가스누설의 발생을 자동적으로 표시해야 하며, 지구표시장치에 의해 가스누설이 발생한 당해 경계구역을 자동적으로 표시해야 한다.

⑤ GP형, GP형 복합식, GR형 및 GR형 복합식의 수신기의 지구표시장치는 화재가 발생한 경계구역과 가스누설이 발생한 경계구역을 명확히 구분하여 식별할 수 있도록 표시해야 한다.

⑥ 다신호식 수신기는 다음 각 호에 적합해야 한다.

㉮ 감지기로부터 최초의 화재신호를 수신하는 경우 주음향장치 또는 부음향장치의 명동 및 지구표시장치에 의한 경계구역을 각각 자동적으로 표시해야 한다.

㉯ 제 ㉮호의 표시 중에 동일 경계구역의 감지기로부터 두 번째 화재신호 이상을 수신하는 경우 제 ㉮호의 상태를 계속함과 동시에 화재등 및 지구음향장치가 자동적으로 작동돼야 한다.

⑦ 축적형인 수신기는 축적시간 동안 지구표시장치의 점등 및 주음향장치를 명동시킬 수 있으며 화재신호 축적시간은 5초 이상 60초 이내여야 하고, 공칭축적시간은 10초 이상 60초 이내에서 10초 간격으로 한다.

⑧ 아날로그식인 수신기는 아날로그식감지기로부터 출력된 신호를 수신한 경우 예비표시 및 화재표시를 표시함과 동시에 입력신호량을 표시할 수 있어야 하며 또한 작동레벨을 설정할 수 있는 조정장치가 있어야 한다.

(카) 제 13조(수신기의 최대부하)

수신기는 다음 각 호의 1에 규정하는 최대부하에 계속하여 견딜 수 있는 용량 이상이어야 한다. 이 경우 지구음향장치의 소비전류를 P형, P형 복합식, GP형 및 GP형 복합식의 수신기에 있어서는 접속가능한 회선수(R형, R형 복합식, GR형 및 GR형 복합식의 수신기에 있어서는 접속가능한 중계기의 회선수)에 2를 곱하여 얻은 수의 지구음향장치가 울리는데 소비되는 전류로 한다. 이 경우 직상층발화식인 수신기로서 경종 또는 중계기의 회선수가 20을 넘는 경우에는 20을 부하로 하는 전류를 소비전류로 한다.

① P형 및 P형 복합식의 수신기 중 접속되는 회선수가 5 미만인 것은 전회선, 5 이상인 것은 5회선이 작동하는 경우의 부하 또는 상시부하 중 어느 쪽이든 큰 것

② R형 및 R형 복합식의 수신기는 접속한 5개의 중계기가 작동하는 경우의 부하 또는 상시부하 중 큰 것

③ M형 수신기는 접속한 M형 발신기가 작동하는 경우의 부하 또는 상시부하 중 큰 것

④ GP형 및 GP형 복합식의 수신기는 제 (가)호의 부하 및 가스누설경보기의 형식승인기

준 제12조의 부하를 합한 것 <개정 2012. 2. 9>

⑤ GR형 및 GR형 복합식의 수신기는 제 (나)호의 부하 및 가스누설경보기의 형식승인기준 제12조의 부하를 합한 것 <개정 2012. 2. 9>

(타) 제 14조(P형, P형 복합식, GP형 및 GP형 복합식의 수신기 기능)

P형, P형 복합식, GP형 및 GP형 복합식의 수신기 기능은 다음 각 호에 적합해야 하며, GP형 및 GP형 복합식수신기의 가스누설경보기에 관한 기능부분은 가스누설경보기의 형식승인기준 제 6조, 제 16조 및 제 19조의 규정을 준용하고, 복합식수신기의 제어기능에 관한 부분은 제11조에 적합해야 한다. <개정 2012. 2. 9>

① 1급수신기

㉮ 화재표시 작동시험을 할 수 있는 장치 및 접속되는 회선수가 1인 것을 제외하고는 감지기 등을 통하여 종단저항기로 가는 외부배선의 도통상태를 알 수 있는 장치가 있는 것이어야 하며, 이 장치의 조작 중에 다른 회선으로부터 화재신호를 수신하는 경우 화재표시가 될 수 있어야 한다.

㉯ 주전원이 정지한 경우에는 자동적으로 예비전원으로 전환되고, 주전원이 정상상태로 복귀한 경우에는 자동적으로 예비전원으로부터 주전원으로 전환되는 장치를 가져야 한다.

㉰ 중계기의 형식승인기준 제3조제14호가목, 제15호가목의 규정에 의한 신호를 수신하는 경우 자동적으로 음신호 또는 표시등에 의해 지시되는 고장신호 표시장치가 있어야 한다. <개정 2012. 2. 9>

② 2급수신기

㉮ 접속되는 회선수가 5회선 이하여야 한다.

㉯ 화재표시 작동시험을 할 수 있는 장치가 있어야 하며, 이 장치의 조장 중에 다른 회선으로부터 화재신호를 수신하는 경우 화재표시가 돼야 한다.

㉰ 주전원이 정지한 경우에는 자동적으로 예비전원으로 전환되고, 주전원이 정상상태로 복귀한 경우는 자동적으로 예비전원으로부터 주전원으로 전환되는 장치가 있어야 한다.

㉱ 중계기의 형식승인기준 제3조제14호가목, 제15호가목의 규정에 의한 신호를 수신하는 경우 자동적으로 음신호 또는 표시등으로 지시되는 고장신호 표시장치가 있어야 한다. <개정 2012. 2. 9>

(파) 제 15조(R형, R형 복합식, GR형 및 GR형 복합식의 수신기 기능)

R형, R형 복합식, GR형, GR형 복합식의 수신기 기능은 다음 각 호에 적합해야 하며, GR형 및 GR형 복합식 수신기의 가스누설경보기에 관한 기능부분은 가스누설경보기의 형식승인기준 제6조, 제16조 및 제19조의 규정을 준용하고, 복합식수신기의 제어기능에 관한 부분은 제11조에 적합해야 한다. <개정 2012. 2. 9>

① 화재표시 작동시험을 할 수 있는 장치와 종단저항기에 연결되는 외부배선의 단선 및 수신기에서부터 각 중계기까지의 단락을 검출하는 장치가 있어야 하며, 이들 장치의 조장 중에 다른 회선으로부터 화재신호를 수신하는 경우 화재표시가 될 수 있어야 한다.

② 주전원이 정지한 경우에는 자동적으로 예비전원으로 전환되고, 주전원이 정상상태로 복귀한 경우에는 자동적으로 예비전원으로부터 주전원으로 전환되는 장치를 가져야 한다.

③ 중계기의 형식승인기준 제3조14호가목, 제15호가목의 규정에 의한 신호를 수신하는 경우 자동적으로 음신호 또는 표시등에 의해 지시되는 고장신호 표시장치가 있어야 한다.<개정 2012. 2. 9>

(하) 제 16조(M형 수신기의 기능)

M형 수신기의 기능은 다음 각 호에 적합해야 한다.

① 화재표시 작동시험을 할 수 있는 장치 및 각 발신기까지의 외부배선의 회로저항 및 절연장치의 측정이 가능한 장치가 있어야 하며, 이 장치의 조작 중에 다른 회선으로부터 화재신호를 수신하는 경우 화재표시가 될 수 있어야 한다.

② 주전원이 정지한 경우에는 자동적으로 예비전원으로 전환되고, 주전원이 장상상태로 복귀한 경우에는 자동적으로 예비전원으로부터 주전원으로 전환되는 장치를 가져야 한다.

③ 태엽을 사용하는 것은 태엽이 풀리기 전에 경보를 발할 수 있어야 한다.

④ 정상적인 발신동작을 불가능 하게 할 우려가 있는 주전원의 전압강하 또는 외부배선의 단선내지 지락이 발생하는 경우 자동적으로 고장음신호 및 표시등으로 지시되는 고장신호 표시장치가 있어야 한다.

(거) 제 17조(시험장치)

제14조 내지 제16조의 규정에 의한 수신기의 기능시험장치는 다음 각 호에 적합해야 한다.

① 수신기의 앞면에서 쉽게 시험을 할 수 있어야 한다.

② 외부배선(지구음향장치용의 배선, 확인 장치용의 배선 및 전화장치용의 배선을 제외)의 도통시험 및 회로저항 등의 측정은 지시전기계기에 의하는 등 적합한 방법에 의해 회로마다 할 수 있어야 한다.

③ 화재등 및 주음향장치의 시험을 제외하고는 회선의 단락 및 단선사고 중에도 다른 회선의 시험을 할 수 있어야 한다.

④ 예비전원의 양부시험을 할 수 있는 장치가 있어야 한다. 이 경우 양부시험은 정류기의 직류 측에 자동복귀형 스위치를 설치하고 그 스위치의 조작에 의해 예비전원에 제4조제7호 다목에서 규정한 전류가 흐르도록 부하를 가하는 경우 그 단자전압을 측정할 수 있어야 한다.

(너) 제 18조(방수시험)

방수형 수신기는 이를 사용상태로 부착하고 맑은 물에 $34.5kPa$의 압력으로 3개의 분무헤드를 이용해 전면 상방에 $(45\pm2)^\circ$ 각도의 방향에서 시료를 향하여 일률적으로 24시간 이상 물을 분사하는 경우에 내부에 물이 고이지 않아야 하며, 기능 및 절연저항시험에 이상이 생기지 않아야 한다.

(더) 제 19조(절연저항시험)

① 수신기의 절연된 충전부와 외함 간의 절연저항은 직류 500V의 절연저항계로 측정한 값이 $5M\Omega$(교류입력 측과 외함 간에는 $20M\Omega$)이상이어야 한다. 다만, P형, P형 복합식, GP형 및 GP형 복합식의 수신기로서 접속되는 회선수가 10 이상인 것. R형, R형 복합식, GR형, GR형 복합식의 수신기로서 접속되는 중계기가 10이상인 것, 또는 M형 수신기에 있어서는 교류입력 측과 외함 간을 제외하고 1회선 당 $50M\Omega$ 이상이어야 한다.

② 절연된 선로 간의 절연저항은 직류 500V의 절연저항계로 측정한 값이 $20M\Omega$ 이상이어야 한다.

(러) 제 20조(절연내력시험)

제 19조의 규정에 의한 시험부위의 절연내력은 60Hz의 정현파에 가까운 실효전압 500V(정격전압이 60V를 초과하고 150V이하인 것은 1000V, 정격전압이 150V를 초과하는 것은 그 정격전압에 2를 곱하여 1천을 더한 값)의 교류전압을 가하는 시험에서 1분간 견디는 것이어야 한다.

(머) 제 21조(충격전압시험)

수신기는 전류를 통한 상태에서 다음 각 호의 시험을 15초간 실시하는 경우 잘못 작동하거나 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

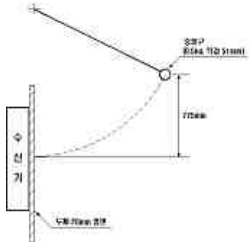
① 내부저항 50Ω인 전원에서 500V의 전압을 펄스폭 $1\mu s$, 반복주기 100Hz 가하는 시험.

② 내부저항 50Ω인 전원에서 500V의 전압을 펄스폭 $0.1\mu s$, 반복주기 100Hz 가하는 시험.

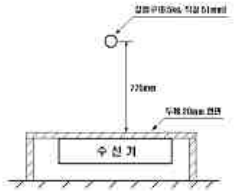
(버) 제 21조의2(충격시험)

수신기는 두께 20mm의 합판에 부착된 상태에서 수신기가 부착된 합판의 반대면에 무게 0.54kg 직경 51mm의 강철구로 그림1과 같이 진자운동에 의해 가하는 충격 또는 동일한 무게 및 크기의 강철구를 그림2와 같이 775mm의 높이에서 수신기가 부착된 합판의 반대면에 자유낙하시켜 가하는 충격을 1회 가하는 경우 잘못 작동하지 않아야 하며 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

[그림1]



[그림2]



(서) 제 21조의3(진동시험)

① 수신기는 전원이 이가된 상태에서 IEC 60068-2-6의 시험방법에 따라 다음 각 호의 규정에 의한 진동을 가하는 경우 진동 중 잘못 작동되거나 시험 후 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

㉮ 주파수 범위 : $10 \sim 150Hz$

㉯ 가속도 진폭 : $0.981m/s^2$

㉰ 축수 : 3

㉱ 스위프 속도 : 1옥타브/min

㉲ 스위프 사이클 수 : 축 당 1

② 수신기는 전원을 인가하지 않은 상태에서 IEC 60068-2-6의 시험방법에 따라 다음 각 호의 규정에 의한 진동을 가하는 경우 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

㉮ 주파수 범위 : $10 \sim 150Hz$

㉯ 가속도 진폭 : $4.905m/s^2$

㉰ 축수 : 3

㉱ 스위프 속도 : 1옥타브/min

㉲ 스위프 사이클 수 : 축 당 20

(어) 제 21조의4(습도시험)

① 수신기는 주위온도 $(40\pm2)℃$, 상대습도 93%인 조건에서 전원을 인가한 상태로 4일간 방치하는 경우 잘못 작동하지 않아야 하며 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

② 수신기는 주위온도 $(40\pm2)℃$, 상대습도 93%인 조건에서 전원을 인가하지 않은 상태로 21일간 방치하는 경우 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

(저) 제 21조의5(전자파내성시험)

수신기는 다음 각 호의 시험을 하는 경우에 잘못 작동되거나 구조 및 기능에 이사이 생기지 않아야 한다.

① 전자파방사 내성시험

㉮ 주파수범위 : $80MHz \sim 1000MHz$

㉯ 진폭변조 : 80% AM(1kHz)

㉰ 전계강도 : 10V/m

㉱ 시험방법은 IEC 61000-4-3의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

② 전자파전도 내성시험

㉮ 주파수범위 : $150kHz \sim 100MHz$

㉯ 진폭변조 : 80% AM(1kHz)

㉰ 전계강도 : $140dB\mu V(10V)$

㉱ 시험방법은 IEC 61000-4-6의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

③ 정전기방사 내성시험

㉮ 인가전압

- 접촉방전 : 2, 4, 6 kV
- 기중방전 : 2, 4, 8 kV

㉯ 인가부위

- 접촉방전 : 방전 전극을 외함에 접촉한 상태로 방전
- 기중방전 : 방전 전극을 외함에 근접시킨 공기 중에서 방전

㉰ 극성 : +, -

㉱ 전압인가 회수 및 간격

1초 이상의 간격으로 각 10회 인가

㉲ 시험방법은 IEC 61000-4-2의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

④ 전기적 빠른 과도현상 내성시험

㉮ 시험전압

- AC 주전원선 : 0.1, 1, 2 kV

- 기타 전원선/ 신호선 : 0.25, 0.5, 1 kV

㉮ 극성 : +, -

㉯ 각 전압 및 극성의 적용횟수 : 1

㉰ 시험 지속시간 : 1분

㉱ 시험방법은 IEC 61000-4-4의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

⑤ 서어지 내성시험

㉮ 인가전압

AC 주전원선	전원선간	0.5, 1 kV
	전원선과 접지 간	0.5, 1, 2 kV
기타 전원선/ 신호선	전원선 또는 신호선과 접지 간	0.5, 1 kV

㉯ 극성 : +, -

㉰ 전압인가 회수

- AC 주전원선 : 20회

- 기타 전원선/ 신호선 : 5회

㉱ 시험방법은 IEC 61000-4-5의 기준에 따르며 시험레벨은 3을 적용한다.

(처) 제 22조(표시)

수신기에는 다음 각 호의 사항을 보기 쉬운 부분에 쉽게 지워지지 않도록 표시해야 한다. 다만, 제 15호는 취급설명서에 표시할 수 있다.

① 종별 및 형식

② 형식승인번호

③ 제조년월 및 제조번호

④ 제조업체명 및 상호

⑤ 취급방법의 개요 및 주의사항(본 내용을 기재 하여 수신기 부근에 매어 달아 두는 방식도 가능)

⑥ 극성이 있는 단자에는 극성을 표시하는 기호

⑦ 방수형 또는 방폭형인 것은 “방수형” 또는 “방폭형”이라는 문자별도 표시

⑧ 접속가능한 회선수, 감지기, 탐지부의 수, 접속가능한 중계기의 형식번호 및 탐지부의 고유번호(다만, 가스누설경보기를 사용하는 경우에는 당해 형식승인번호)

⑨ 주전원의 정격전압

⑩ 예비전원으로 사용하는 축전지의 종류, 정격용량, 정격전압 및 접속하는 경우의 주의사항

⑪ 퓨즈 및 퓨즈홀더 부근에는 정격전류

⑫ 스위치등 조작부 또는 조정부 부근에는 “개” 및 “폐” 등의 표시

⑬ 출력용량(경종 및 시각경보장치를 접속하는 경우, 각각의 소비전류 및 수량)

⑭ <삭제>

⑮ 품질보증에 관한 사항(보증기간, 보증내용, A/S방법, 자체검사필증 등)

(3) 간이형수신기

(가) 제 23조(일반구조)

간이형수신기의 일반구조는 다음 각 호에 적합해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 작동이 확실해야 하며 취급 및 점검이 쉽고 내구성이 있어야 한다.

② 먼지, 습기 등에 의해 기능에 영향이 없어야 한다.

③ 부식에 의해 기계적 기능에 영향을 줄 수 있는 부분은 칠, 도금 등으로 내식가공을 하거나 방청가공을 해야 한다.

④ 간이형수신기에 사용하는 배선은 충분한 전류용량을 갖는 것으로 해야 하며, 배선의 접속이 확실해야 한다.

⑤ 극성이 있는 경우에는 오접속을 방지하기 위한 필요한 조치를 취해야 한다.

⑥ 부품의 부착은 기능에 이상을 일으키지 않고 쉽게 풀리지 않아야 한다.

⑦ 스위치를 개폐하는 경우 화재 또는 가스누설시와 동일한 경보를 발하지 않아야 한다.

⑧ 정격전압이 60V를 넘는 기기의 금속제 외함에는 접지단자를 설치해야 한다.

⑨ 예비전원을 설치할 수 있다.

⑩ 예비전원을 설치하는 경우 단락사고 등으로부터 보호하기 위한 퓨즈 또는 브레이커 등을 설치해야 하며, 정전 시 예비전원으로 공급되고 있다는 것을 표시할 수 있는 장치를 설치해야 한다.

⑪ 외부에서 사람이 쉽게 접촉할 우려가 있는 충전부는 보호돼야 한다.

⑫ 내부의 부품 등에서 발생되는 열에 의해 기능에 이상이 생길 우려가 있는 것은 방열판 또는 방열공 등에 의해 보호조치를 취해야 한다. 다만, 방폭형 및 방수형으로 제작하는 경우에는 방열공을 설치하지 않을 수 있다.

⑬ 방폭형수신기의 방폭구조는 산업안전보건법령에 의해 정하는 규격에 적합해야 한다.

(나) 제 24조(부품의 구조 및 기능)

간이형수신기에 다음 각 호의 부품을 사용하는 경우 해당 각 호에서 정하는 구조 및 기능을 가져야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 스위치

㉮ 조작이 쉽고 작동이 확실해야 한다.

㉯ 접점은 최대사용전류 용량에 견뎌야 한다.

② 표시등

㉮ 전구는 사용전압의 130%인 교류전압을 20시간 연속하여 가하는 경우 단선 또는 흑화 등이 생기지 않아야 한다. 다만, 발광다이오드의 경우에는 시험을 생략할 수 있다.

㉯ 전구는 2개 이상을 병렬로 접속해야 한다. 다만, 발광다이오드 또는 방전등의 경우에는 그렇지 않다.

㉰ 전구에는 적당한 보호커버를 설치해야 한다. 다만, 발광다이오드의 경우에는 그렇지 않다.

㉱ 주위의 밝기가 300lx인 장소에서 측정했을 때 3m 떨어진 곳에서 켜진 등이 쉽게 식별될 수 있어야 한다.

③ 전자계전기

㉮ 자체하중에 의해 영향을 받지 않도록 부착해야 하며, 접점이나 가동부에 먼지가 들어

가지 않도록 적당한 방진커버를 설치해야 한다.

㈏ 동일접점에서 내부부하와 외부부하에 동시에 직접 전력을 공급하지 않아야 한다. 다만, 부속장치용으로 사용하는 것은 그렇지 않다.

④ 전압 지시전기계기의 최대 눈금은 사용하는 회로의 정격전압의 140% 이상 200% 이하여야 한다.

⑤ 퓨즈 등

㈎ 퓨즈 및 브레이커 등은 산업표준화법에 의한 KS규격표시품, 전기용품안전관리법에 의한 안전인증품 또는 국제적 공인기관으로부터 인증을 받은 제품을 사용해야 한다.

㈏ 점검 및 교체가 쉬워야 하며(드라이버 등의 공구를 사용하는 것을 포함) 쉽게 흔들리지 않도록 부착되어야 한다. 다만, 과전류 보호 장치로 자체 복원력에 의한 재용성이 있는 폴리스위치 등을 사용하는 경우에는 그렇지 않다.

⑥ 내장하는 음향장치(음성장치를 포함)

㈎ 정격전압의 80%인 전압에서 소리를 내야 한다.

㈏ 정격전압에서의 음압은 무향실내 정위치에 부착된 음향장치의 중심으로부터 1m 떨어진 지점에서 주음향장치용(화재경보 또는 가스누설경비용)인 것은 70dB 이상이어야 한다.

㈐ 화재의 발생을 경보하여 주는 주음향장치와 가스누설의 발생을 경보하여 주는 주음향장치는 1개로 겸용할 수 있으며 그 경보음은 각각 쉽게 구별돼야 한다.

㈑ 정격전압으로 8시간 연속하여 울리게 하는 시험 또는 정격전압에서 3분20초 동안 울리고 6분40초 동안 정지하는 작동을 반복하여 통산한 울림시간이 20시간이 되도록 시험한 경우 그 구조 또는 기능에 이상이 생기지 않아야 한다.

⑦ 변압기

㈎ 전압편차 및 전압불평형도에 관한 시험은 KS C 6308(전자기기용 소형전원변압기)의 해당시험 항목을 준용한다.

㈏ 정격 동작상태로 연속 작동시켜 변아기의 온도가 거의 일정한 상태가 되었을 때 변압기의 온도상승은 실온보다 50℃ 이하여야 한다.

㈐ 1차 측의 정격전압은 300V 이하여야 한다.

㈑ 용량은 최대사용전류에 연속하여 견딜 수 있어야 한다.

⑧ 예비전원

㈎ 간이형수신기의 주전원으로 사용하지 않아야 한다.

㈏ 간이형수신기의 예비전원은 알칼리계 2차 축전지, 리튬계 2차 축전지이거나 이와 동등 이상의 밀폐형 축전지여야 한다.

㈐ 인출선은 적당한 색깔 등에 의해 쉽게 구분할 수 있어야 한다.

㈑ 자동충전장치 및 전기적 기구에 의한 자동 과충전 방지장치를 설치해야 한다. 다만, 과충전 상태가 되어도 성능이나 구조에 이상이 생기지 않는 축전지를 설치하는 경우에는 자동 과충전 방지장치를 설치하지 않을 수 있다.

㈒ 전기적 기구에 의한 자동 과방전 방지장치를 설치해야 한다. 다만, 과방전의 우려가 없는 경우 또는 과방전의 상태가 되어도 성능이나 구조에 이상이 생기지 않는 축전지를 설

치하는 경우에는 그렇지 않다.

㈓ 예비전원의 용량은 경보기를 감시상태에서 60분간 지속시킨 후 경보기의 2회선이 작동하는 때(중계부가 설치된 것은 2개의 중계부가 작동하는 때)의 최대소비전류로 10분 이상 계속하여 흘릴 수 있는 용량이어야 한다.

㈔ 예비전원을 병렬로 접속하는 경우는 역충전 방지 등의 조치를 강구해야 한다.

㈕ 축전지를 직렬 또는 병렬로 사용하는 경우에는 용량(전압, 전류)이 균일한 축전지를 사용해야 한다.

㈖ 축전지의 충전시험 및 방전시험은 방전종지전압을 기준하여 시작한다. 이 경우 방전종지전압이라 함은 알칼리계 2차 축전지는 셀 당 1.0V, 리튬계 2차 축전지는 셀 당 2.75V 무보수밀폐형 연축전지는 단전지당 1.75V의 상태를 말한다.

㈗ 알칼리계 2차 축전지의 상온 충·방전시험은 방전종지전방 상태의 축전지를 상온에서 정격충전전압 및 1/20 C의 전류로 48시간 충전한 후 1 C의 전류로 방전하는 시험을 실시하는 경우 48분 이상 지속 방전돼야 하며, 리튬계 2차 축전지의 상온 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 상온에서 정격충전전압 및 1/5 C의 전류로 6시간 충전한 후 1 C의 전류로 방전하는 경우 55분 이상 지속적으로 방전돼야 하고, 무보수밀폐형 연축전지의 상온 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 정격충전전압 및 0.1 C의 전류로 48시간 충전한 후 1 C의 전류로 방전시키는 경우 45분 이상 지속방전 돼야 한다. 이 경우 축전지에 이상이 생기지 않아야 한다.

㈘ 알칼리계 2차 축전지의 중위온도 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 주위온도 (−10±2)℃ 및 (50±2)℃의 조건에서 정격충전전압 및 1/20 C의 전류로 48시간 충전한 다음 1 C의 전류로 방전하는 충·방전을 3회 반복하는 경우 방전종지전압이 되는 시간이 25분 이상이어야 하며, 리튬계 2차 축전지의 주위온도 충·방전시험은 방전종지전압의 축전지를 주위온도 −(10±2)℃ 및 (50±2)℃의 조건에서 정격충전전압 및 1/5 C의 전류로 6시간 충전한 다음 1 C로 방전하는 충·방전을 3회 반복하는 경우 방전종지전압이 되는 시간이 40분 이상이어야 한다. 이 경우 축전지는 외관이 부풀어 오르거나 누액 발생 등 이상이 생기지 않아야 한다.

㈙ 무보수밀폐형 연축전지의 주위온도 충·방전시험은 방전종지전압 상태의 축전지를 주위온도 (−10±2)℃ 및 (50±2)℃의 조건에서 정격충전전압 및 0.1 C의 전류로 48시간 충전한 다음 1시간 방치하여 0.05 C의 전류로 방전시킬 경우 정격용량의 95% 용량이 되는 시간이 30분 이상이어야 한다. 이 경우 축전지는 외관이 부풀어 오르거나 누액 발생 등 이상이 생기지 않아야 한다.

㈚ 예비전원의 안전장치시험은 1/5 C 이상 1 C 이하의 전류로 역충전 하는 경우 5시간 이내에 안전장치가 작동해야 하며, 외관이 부풀어 오르거나 누액 등이 없어야 한다.

(다) 제 25조(시험조건)

간이형수신기의 시험조건은 특별히 규정된 경우를 제외하고는 다음 각 호에서 정하는 조건에서 시험해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 실온 5℃ 이상 35℃ 이하

② 상대습도 45% 이상 85% 이하

(라) 제 26조(주위온도시험)

간이형수신기는 (−10±2)℃와 (50±2)℃의 주위온도에서 각각 12시간 이상 방치한 후 즉시 기능시험을 실시하는 경우 기능에 이상이 생기지 않아야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(마) 제 27조(전원전압변동시의 기능)

간이형수신기는 정격전압(예비전원이 설치된 것은 예비전원의 정격전압을 포함한다)의 80%와 120%의 전압에서 기능에 이상이 생기지 않아야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(바) 제 28조(부속장치)

간이형수신기에 설치되는 부속장치는 간이형수신기의 기능에 유해한 영향을 미치지 않는 것이어야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(사) 제 29조(수신부의 구조 및 기능 등)

수신부의 구조 및 기능 등은 다음 각 호에 적합해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 주전원을 개폐할 수 있는 전원스위치를 설치해야 한다.

② 주전원이 입력회로, 예비전원의 공급회로(예비전원이 설치된 것에 한한다) 및 외부부하에 직접 전원을 송출하도록 구성된 회로에는 퓨즈 또는 브레이커 등을 설치해야 한다.

③ 앞면에서 주전원 및 예비전원(예비전원이 설치된 것에 한한다)이 공급되고 있다는 것을 표시하여 주는 장치를 설치해야 한다.

④ 예비전원을 설치하는 수신부는 예비전원에 이상이 발생되었을 때 이를 알려주는 예비전원 감시 장치를 설치해야 하며, 주전원이 정지한 경우에는 자동적으로 예비전원으로 전환되고 주전원이 정상상태로 복귀한 경우에는 자동적으로 예비전원으로부터 주전원으로 전환되는 장치가 있어야 한다.

⑤ 복귀스위치 및 음향장치의 울림을 정지시킬 수 있는 스위치를 설치해야 한다. 이 경우 복귀스위치는 자동적으로 정위치에 되돌아 올 수 있는 것이어야 한다.

⑥ 자동적으로 정위치에 되돌아오지 않는 스위치를 설치하는 경우에는 음신호장치 또는 점멸하는 주의등을 설치해야 한다. 다만, 전원스위치, 상용전원 선택용 전환스위치 및 자동적으로 스위치가 정위치에 되돌아오지 않아도 기능에 영향을 주지 않는 로터리 스위치 등은 그렇지 않다.

⑦ 지구경보부를 설치할 수 있으며 수신부의 외부배선의 연결을 위한 공통신호선용 단자는 7개회로마다 1개 이상 설치해야 한다.

⑧ 감지기 또는 탐지부로부터 발하는 화재신호 또는 가스누설신호의 수신완료 소요시간은 5초 이내여야 한다. 다만, 축적형(또는 지연형 이라고도 한다)인 경우에는 5초 이상 60초 이내여야 한다.

⑨ 수신부는 최대부하에 연속해서 견딜 수 있어야 한다.

⑩ 감지기 또는 탐지부에 공급되는 전원을 안정시키기 위해 정전아회로 또는 정전류회로를 설치해야 한다.

⑪ 제32조제1호에 의한 신호를 수신하는 경우 자동적으로 음신호 또는 표시등에 의한 고장신호 표시장치가 있어야 한다. <개정 2013. 7. 25>

(아) 제 30조(감지부의 구조 및 기능 등)

간이형수신기에 사용되는 감지부는 감지기의 형식승인기준에 따라 제품검사에 합격된 것이어야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(자) 제 31조(탐지부의 구조 및 기능 등)

간이형수신기에 사용되는 탐지부는 가스누설경보기의 형식승인기준에 따라 제품검사에 합격된 것이어야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(차) 제 32조(중계부의 구조 및 기능 등)

중계부의 구조 및 기능 등은 다음 각 호에 적합해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 중계부의 주전원 및 예비전원(예비전원이 설치된 것에 한한다)에 이상이 발생하는 경우 그 신호를 수신부에 자동적으로 보낼 수 있어야 한다.

② 간이형수신기의 기능에 이상을 주지 않아야 하며 화재신호 및 가스누설신호 전달에 영향을 미칠 우려가 있는 조작기구는 중계부에 설치하지 않아야 한다.

③ 최대부하에 연속하여 견딜 수 있어야 한다.

④ 예비전원을 설치한 중계부는 제1호 내지 제3호에서 정한 사항 외에 제9조제4호의 규정을 준용한다.

⑤ 수신부•탐지부 또는 다른 중계부 등으로부터 전력을 공급받지 않는 방식인 중계부는 제1호부터 제4호에서 정한 사항 외에 제29조제1호부터 제4호, 제6호, 제7호, 제10호의 규정을 준용한다.

(카) 제 33조(화재 및 가스누설표시)

① 간이형수신기의 화재표시 및 가스누설표시는 다음 각 호에 적합해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

㉮ 2013년 8월 23일2013년 8월 23일 화재신호를 수신하는 경우에는 화재등 및 화재기구등이 자동적으로 점등돼야 하며 동시에 주음향장치에 의해 자동적으로 경보를 발해야 한다.

㉯ 가스누설신호를 수신하는 경우에는 누설등 및 누설지구등이 자동적으로 점등돼야 하며 동시에 주음향장치에 의해 자동적으로 경보를 발해야 한다.

㉰ 화재등 및 화재지구등은 적색으로 점등 표시돼야 하며, 누설등 및 누설지구등은 황색으로 점등돼야 한다. 다만, 화재등이 설치된 수신부의 화재지구등과 누설등이 설치된 수신부의 누설지구등은 기타의 색으로도 표시할 수 있다.

㉱ 화재등과 누설등은 각각 쉽게 구별될 수 있어야 한다.

㉲ 화재지구등과 누설지구등은 각각 쉽게 구별될 수 있어야 한다. 다만, 화재등 및 누설등이 모두 설치된 경우에는 그렇지 않다.

㉳ 화재신호 및 가스누설신호는 상호 무간섭인 상태에서 화재표시 및 가스누설표시가 돼야 하며 2회선이 동시에 작동해도 상호 무간섭인 상태에서 화재표시 및 가스누설표시가 돼야 한다.

② 화재등 및 누설등은 설치하지 않을 수 있다.

(타) 제 34조(회선수의 구분)

간이형수신기의 회선수(또는 “회로수”라고도 한다)에 관한 구분은 다음 각 호와 같다.

① 화재수신용 간이형수신기의 경우에는 화재지구등의 수를 회전수로 한다.

② 가스누설수신용 간이형수신기의 경우에는 누설지구등의 수를 회선수로 한다.

③ 화재수신용 및 가스누설수신용 간이형수신기의 경우에는 화재지구등의 수와 누설지구등의 수를 각 회선수로 한다.

(파) 제 35조(수신부의 시험장치)

수신부의 시험장치는 다음 각 호에 적합해야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 각 회선의 작동시험 및 도통시험을 쉽게 할 수 있어야 하며 이 장치에 의해 시험하는 도중에 다른 회선으로부터 화재신호 또는 가스누설신호를 수신하는 겨우 그 표시가 가능해야 한다. 다만, 다음 각목에서 규정하는 간이형수신기는 도통시험사항에 관하여 적용 받지 않는다.

㉮ 화재수신용 간이형수신기로서 회선수가 5 이하인 것

㉯ 가스누설수신용 간이형수신기로서 회선수가 5 이하인 것

㉰ 화재수신용 및 가스누설수신용 간이형수신기로서 각 회선수가 5 이하인 것

② 주음향장치의 시험을 제외하고는 시험 중인 회선의 단락 및 단선사고 중에도 다른 회선의 작동시험을 할 수 있어야 한다. 다만, 다음 각목에서 규정하는 경보기는 그렇지 않다.

㉮ 가스누설수신용 간이형수신기로서 회선수가 1인 것

㉯ 화재수신용 간이형수신기로서 회선수가 1인 것

③ 예비전원이 설치된 것은 주전원이 정지하는 경우 예비전원으로 작동이 가능한지를 시험할 수 있는 스위치를 설치해야 한다. 이 경우 예비전원 시험스위치는 자동적으로 정위치에 되돌아 올 수 있는 것이어야 한다.

(하) 제 36조(반복시험)

간이형수신기는 다음 각 호에 해당하는 시험을 정격전압으로 1만회 반복하는 경우, 구조 및 기능에 이상이 생기지 않아야 한다. <개정 2012. 6. 27>

① 화재수신용 간이형수신기의 경우에는 화재표시동작

② 가스누설수신용 간이용수신기의 경우에는 가스누설표시동작

③ 화재수신 및 가스누설수신이 모두 가능한 간이형수신기의 경우에는 화재표시동작 및 가스누설표시동작

(거) 제 37조(절연저항시험)

① 간이형수신기의 절연된 충전부와 외함 간의 절연저항은 DC 500V의 절연저항계로 측정한 값이 $5M\Omega$(교류입력 측과 외함 간에는 $20M\Omega$)이상이어야 한다. 다만, 수신부 또는 중계부에서 접속되는 회선수가 10이상인 것에 있어서는 교류입력 측과 외함 간을 제외하고 1회선 당 $50M\Omega$ 이상이어야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(너) 제 38조(절연내력시험)

제 21조에 따른 시험부위의 절연내력은 60Hz의 정현파에 가까운 실효전압 500V(정격전압이 60V를 초과하고 150V 이하인 것은 1kV, 정격전압이 150V를 초과하는 것은 그 정격전압에 2를 곱하여 1kV를 더한 값)의 교류전압을 가하는 시험에서 1분간 견디는 것이어야 한다. <개전 2012. 6. 27>

(더) 제 39조(방수시험)

방수형 간이형수신기는 이를 사용상태로 부착하고 맑은 물을 $34.5kPa$의 압력으로 3개의 분무헤드를 이용해 전면 상방에 $(45\pm2)^\circ$ 각도의 방향에서 시료를 향하여 일률적으로 24시간 이상 물을 살수하는 경우에 내부에 물이 고이지 않아야 하며, 기능 및 절연저항시험에 이상이 생기지 않아야 한다. <개정 2012. 6. 27>

(러) 제 40조(표시)

간이형수신기에는 다음 각 호의 사항을 쉽게 지워지지 않는 방법으로 표시해야 한다. 다만, ⑭목의 경우는 그 관계내용을 기재하여 수신부의 부근에 매달아 두는 방식으로 표시할 수 있으며 제4호부터 제6호는 포장지 또는 사용설명서에 표시할 수 있다. <개정 2012. 6. 27>

① 수신부에는 다음에서 정하는 사항

㉮ 품명

㉯ 형식 및 형식승인번호

㉰ 정격입력전압 및 정격출력전압

㉱ 접속 가능한 회선수, 접속 가능한 탐지부 및 중계부와 고유번호

㉲ 회선수당 최대 접속수량

㉳ 사용온도 범위

㉴ 지연형인 표준 지연시간

㉵ 방폭형인 것은 “방폭형”이라는 문자별도 표시

㉶ 방수형인 것은 “방수형”이라는 문자별도 표시

㉷ 제조업체명, 제조년월 및 제조번호

㉸ 예비전원이 설치된 것은 축전지의 종류, 정격전압, 정격용량

㉹ 퓨즈 및 퓨즈홀더 부근에는 정격전류

㉺ “본제품은 법정 소방시설로는 인정받을 수 없음”이라는 문자 별도표시

㉻ 취급방법의 개요, 주의사항 및 결선방법

② 중계부에는 제 ①호 ㉰목부터 ㉮목의 규정 외에 다음에서 정하는 사항

㉮ “간이형수신기의 중계부”라는 문자

㉯ 제 ①호 ㉯목의 형식승인번호 및 중계부의 고유번호

③ 간이형수신기의 수신부에는 품질보증에 관한사항(보증기간, 보증내용, A/S방법, 자체검사필증 등)을 보기 쉬운 부위에 쉽게 지워지지 않도록 표시하거나 포장 또는 취급설명서에 표시해야 한다.

(4) 보칙

(가) 제 41조(세부규정)

이 기준의 시행에 관하여 필요한 세부사항은 소방방재청장이 이를 정한다.

(나) 제 42조(재검토기한)

이 고시는 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」(대통령훈령 제248호)에 따라 이 고시 발령 후의 법령이나 현실여건의 변화 등을 검토하여 이 고시의 폐지, 개정 등의 조치를 해야 하는 기한은 2016년 7월 24일까지로 한다. <개정 2013. 7. 25>

제2장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 철도터널 화재시나리오 설정

1. 철도터널 화재 사건 조사 및 시나리오 설정

철도터널에서 발생하는 화원은 철도터널을 운행하는 철도차량과 시설이 될 수 있다. 국내에서 철도터널에서 발생한 화재는 매우 국한되어 있기 때문에 의미 있는 데이터를 구축하기 위하여 철도차량 및 시설에서 발생한 화재를 분석하여 철도터널에서 발생가능한 시나리오를 추정할 수 있다. 이를 위하여 기존 자료(이관섭, 이덕희, 국내 철도차량 화재사고에 대한 조사분석 연구, 한국철도학회 2004년도 추계학술대회 논문집, 2007년-2011년 년도별 사고유형(원인) 현황, 철도안전정보 종합관리시스템 (www.railsafety.or.kr))를 이용하였다.

표 2.1.1 철도 화재발생 원인분석

사고 원인	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	계	비율(%)
○ 열차/차량 고장 결함	21	23	13	14	18	1	0	1	2	0	0	0	1	94	85.6
-브레이크	(3)	(3)	(4)	(3)	(2)								(1)	(15)	
-객실 내장품	(1)		(1)	(1)										(3)	
-대차					(3)									(3)	
-차축/베어링	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)									(9)	
-차륜	(2)													(2)	
-기관차		(4)	(5)	(3)	(4)	(1)		(1)	(2)					(26)	
-고전압장치	(6)	(4)		(2)										(6)	
-추진제어장치	(2)	(7)	(1)	(3)	(5)									(18)	
-보조전원장치	(1)	(1)												(2)	
-종합제어장치	(1)													(1)	
-기타 전기장치	(3)	(2)			(3)									(9)	
○ 위반/실수/부주의	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	4.5
○ 고의적 행위	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2.7
○ 기타(환경/기후 등)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2.7
○ 시설	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	5	4.5
계	23	24	14	15	20	2	0	2	4	1	2	2	1	110	100

철도터널에서 발생하는 화재를 화재 위치에 따라 차량과 시설화재로 구분할 수 있으며 차량화재는 상부화재, 내부화재, 하부화재. 기관차(모터카)로 구분할 수 있다. 또한 차량 하부화재로는 브레이크, 대차, 차축/베어링, 차륜, 보조전원장치로 구분할 수 있으며, 내부화재는 객실내장품, 추진제어장치, 종합제어장치, 기타전기장치, 방화 등으로 나뉜다. 상부화재는 고전압장치와 관련된 화재로 구분할 수 있다. 시설화재는 신호기계실, 시설보수작업 및 기타 상황으로 구분지을 수 있다. 터널 운행과 관련하여 터널주행 및 터널 정차상황으로 구분지을 수 있다. 이러한 초기 발생 화재는 진화가 안되거나 급격하게 연소가 확대되는 경우에는 대규모의 화재로 발전할 수 있다. 철도터널 화재시나리오의 요소는 다음과 같은 그림으로 요약될 수 있다.

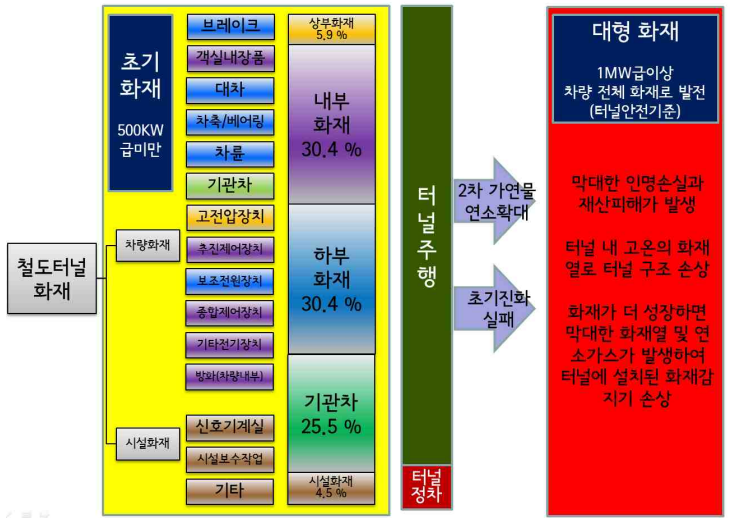


그림 2.1.1 철도터널 화재시나리오

철도터널의 화재는 화재규모에 따라 초기화재(소규모화재) 및 대규모(대형) 화재로 나눌 수 있으며 화원이 되는 차량의 터널 주행 및 정차에 대한 경우로 나누어 생각할 수 있으며. 본선 터널에 설치되는 감지기에 따라 화재의 감지여부가 결정될 수 있다. 그러므로 아래와 같은 철도터널 화재시나리오에 따른 감지기 성능을 검토 분석하여야 한다.

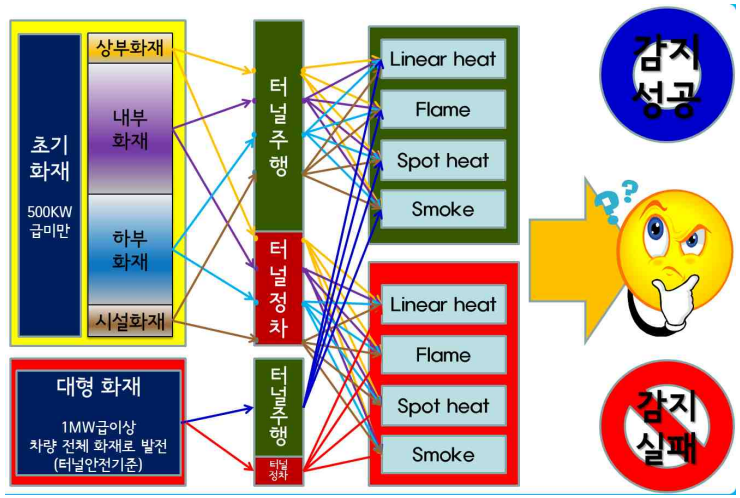


그림 2.1.2 철도터널 화재시나리오에 따른 감지기 성능 예측

2. 철도터널 화재 특성 데이터 구축

전 절에서 분석한 철도터널의 화재 시나리오에 따른 화재 특성을 분석하기 위하여 아래와 같

이 구분하였다.

- 소규모 화재
  · 하부화재-Transformer oil fire
  · 천장도막 화재
- 대규모화재 (차량별)

가. 소규모 화재 화재특성 시험 수행 (하부화재-Transformer oil fire, 천장도막 화재)

철도차량 외부 (하부 및 상부)에서 발생된 화재로 초기 화재시 열차는 운행 중일 수 있음, 또한 차량 내부화재는 화재가 성장하여 차량 문 및 유리파괴로 인한 차량외부로 전파되어 대규모 화재로 성장할 수 있다.

(1) 철도차량 하부 화재

철도차량 하부의 화재 中 구동 및 전달 부분의 대표적 화원으로 Transformer oil 선정

- 화재전파속도, 열방출율 CO2/CO 발생량 측정

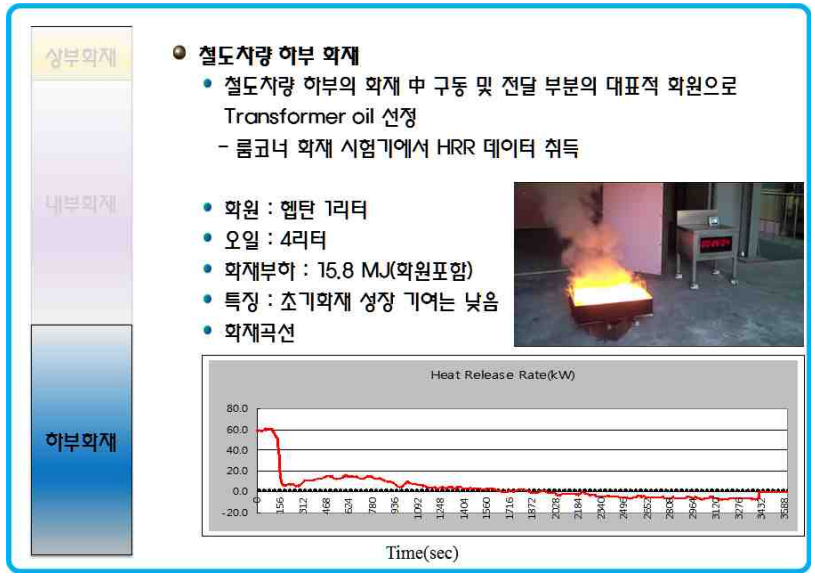


그림 2.1.3 철도차량 하부화재 시험

(2) 철도차량 상부 화재

차량 상부에서 발생하는 아크 등에 의하여 화재가 차량 지붕 도막에 화재 발생 (부산지하철 대티역 화재 2012년 8월)



그림 2.1.4 철도차량 상부화재 예 (부산 대티역 화재)

- 룸코너 화재 시험기에서 HRR 데이터 취득
- 화재전파속도, 열방출율 CO2/CO 발생량 측정

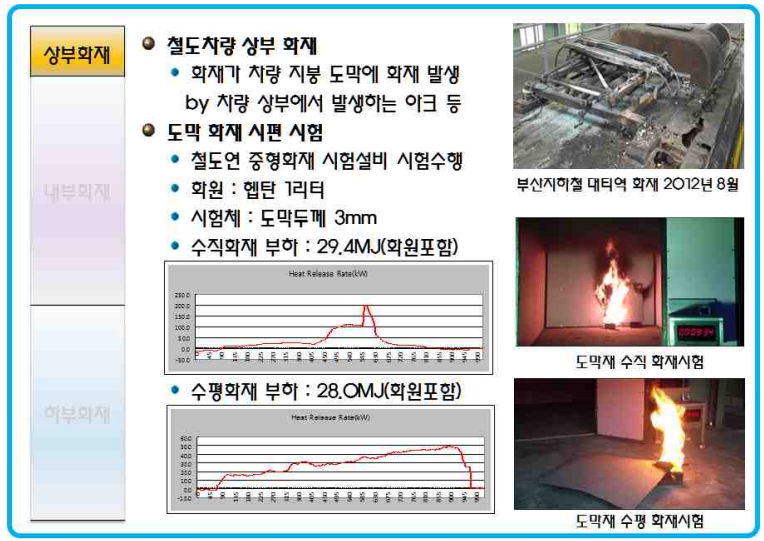


그림 2.1.5 철도차량 상부화재 시험

나. 철도차량 대규모 화재 특성 분석

철도차량의 대규모 화재로의 성장시의 열방출율은 기존에 철안사 사업에서 연구가 수행되었다. 이러한 결과는 철도터널 화재안전성 평가 매뉴얼에 철도차량 종류별로 수록되어 있다. 제

안된 곡선은 철도차량 전량의 화재시험 및 수치해석 결과를 통하여 아래의 그림과 표와 같이 정리될 수 있다.

표 2.1.2 철도차량별 대규모화재 특성 결정값

차량	① 1MW 도달 시간(sec)	②Max HRR 시작 시간(sec)	③Max HRR 시간 (sec)	④Max. HRR (MW)	⑤종료시간 (sec)	착화 시간 (sec)
고속 철도	673	860	1620	15	1820	660
신형 전동차	785	900	1120	20	1240	780
구형 전동차	173	270	470	40	1020	170
새마을	192	567	1482	18.1	3322	170
무궁화	219	937	2950	15.8	3550	170

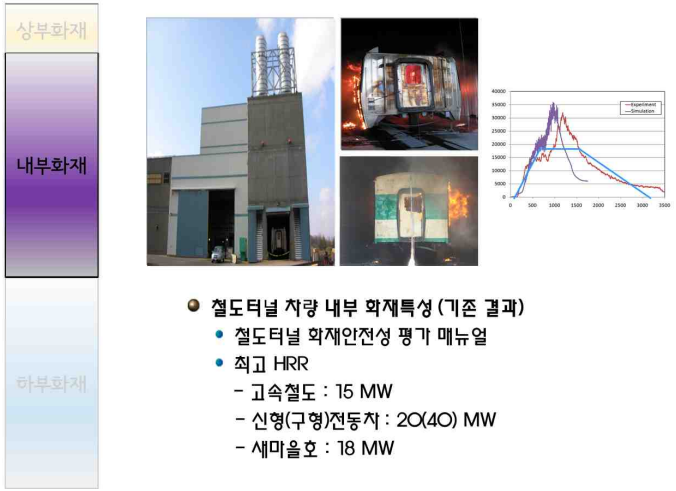


그림 2.1.6 철도차량 대규모 화재특성

다. 터널 화재감지기 종류

터널에 사용되는 감지기는 대체로 선형감지기이며 아래 그림과 같이 여러 종류의 선형 감지기가 있다.

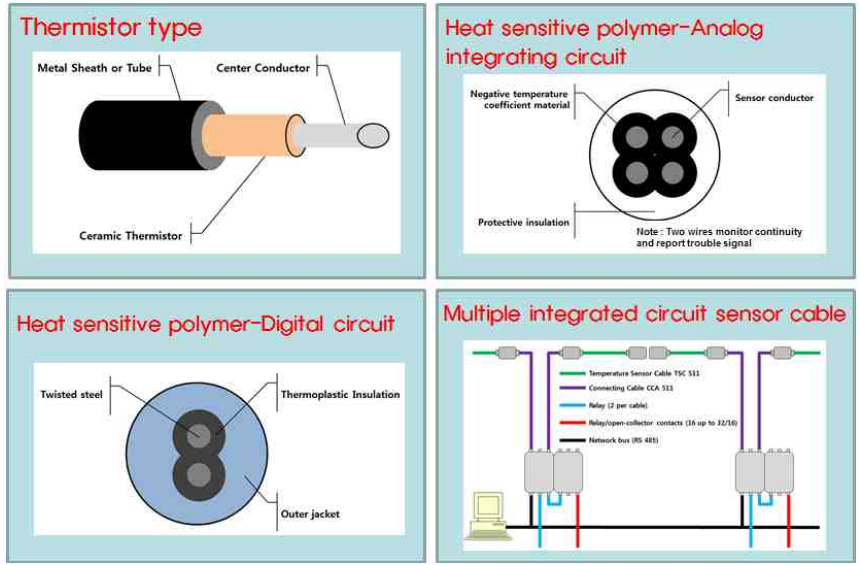


그림 2.1.7 선형감지기 종류

이뿐만 아니라 비교적 정확한 화재발생위치를 판별할 수 있는 감지기인 광섬유감지기는 열로 인한 빛의 투과 상태의 변화로 화재 감지 (케이블 변형에 따른 빛 투과 및 후방산란 변화) 하며 선형열전대 감지기는 단열물질의 저항의 급격한 감소로 인해 한점이 아니라 센서선 전체에서 가장 높은 온도를 측정하는데 개략도는 다음 그림과 같다.

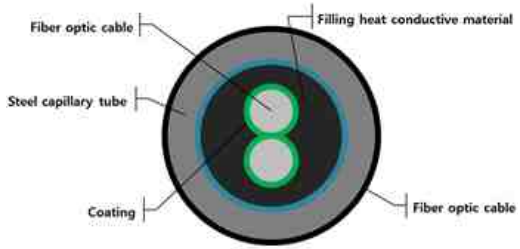


그림 2.1.8 Linear heat detectors : Fiber optic cable

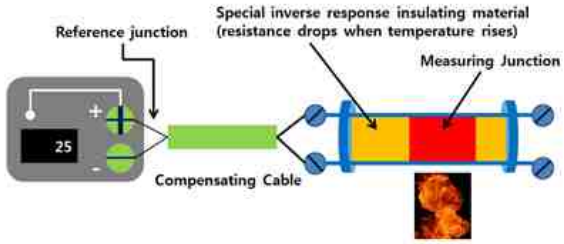


그림 2.1.9 Linear thermocouple

공기감식 감지기는 Diaphragm-monitoring 장치와 밀폐된 구리 튜브 내에서 가스 팽창의 원리로 작동하는데, 온도가 증가하면 튜브내 압력이 증가하며 한계 온도에 도달하였을 때 전기적 접촉을 하여 경보를 울리게 된다.
아래와 같은 감지기도 활용될 수 있다.

○ Multi-wavelength flame detectors
자외선(0.1~0.35㎛), 가시광선(0.36~0.75㎛), 적외선(0.76~220㎛)의 파장대를 감지

○ CCTV imaging processing
비디오 이미지를 디지털화하여 화염 또는 연기 감지

○ Roadway smoke detectors
터널 벽에 발광부, 수신부의 센서 사이의 경로의 연기로 인한 에너지 감쇠로 화재감지

○ CO2 and CO sensing fire detectors
CO 센서의 경우 환기를 위해 도로터널에서 사용
CO2 센서의 경우 배기가스와 연소가스를 구별할 수 있는 방안 마련 필요
아래 표는 감지기별 화재감지 조건의 예를 보여주고 있다.

표 2.1.3 터널 화재 감지기 감지 조건 예

Technology	System information	Alarm threshold
Linear heat	Fiber optic linear heat detection	Level 1: 50℃, 10℃/min; Level 2: 100℃, 15℃/min;
	Analogue (co-axial cable) linear heat detection system	Fixed Temp: 70℃, Rate of rise: 7℃/min;
Flame	IR3 flame detector	Sensitivity: medium (0.3 m x 0.3 m n-heptane fire at 30.5 m on-axis).
VID	Visual flame and smoke detector	Flame: low (25%); Offsite: 50% Smoke: normal Pre-alarm period: 30 s
	Visual flame and smoke detector	Intensity: 60, Mean crossing: 4 Inten. standard deviation: 16 Flicker mask counter: 16
	Visual flame detector	Sensitivity: 10 kW fire at 30m
Spot heat	Heat detector with a fixed temperature	79.5℃fast response bulbs
	Rate-anticipation heat detector	Fixed Temp: 57.2℃
Smoke	Air sampling system	Fire threshold: 0.203%/m

제2절 철도터널 환경 현장 측정 및 비화재보 특성분석

1. 철도터널 환경측정 시스템(TREMS, Tunnel Rough Environment Measuring System)

가. 시스템 구성 및 특성

철도터널 환경측정 시스템은 환경이 열악한 철도터널에서 환경을 측정하는 설비이다. 본 연구에서 개발한 철도터널 환경측정 시스템은 철도터널의 환경을 24시간 측정하여 핸드폰 3G망을 통하여 송출하여 서버에 저장하는 시스템이다.



그림 2.2.1 데이터를 서버로 전송하는 과정

핸드폰을 이용하여 구축중인 데이터를 실시간으로 아래와 같이 확인가능하다.

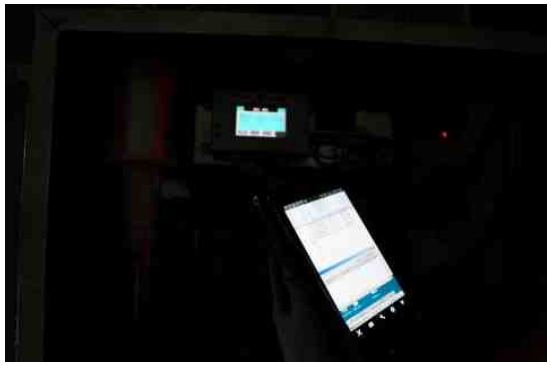


그림 2.2.2 핸드폰으로 실시간 데이터를 확인

아래에 그림은 TREMS의 내부 사진이다.



그림 2.2.3 TREMS 내부 사진

온도 습도, 풍속, 풍향, CO2 및 먼지센서와 감지기의 경년시험 결과들을 전송하여 서버에 저장하는 데 위의 개략도와 같다.

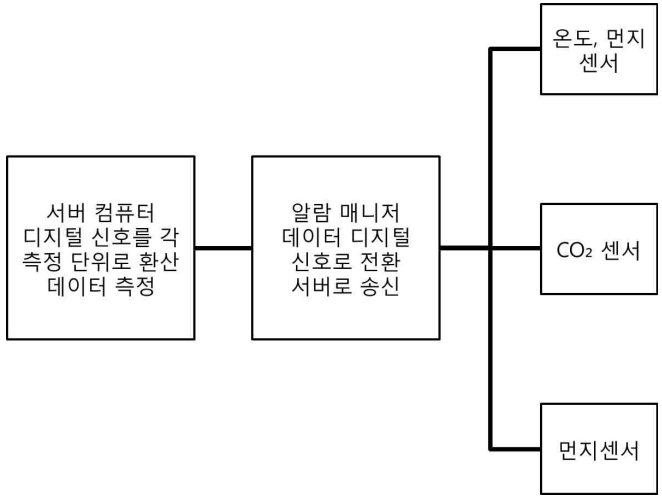


그림 2.2.4 기본장치의 개략도

위 그림은 기본장치의 개략도이다. 기본장치에서는 온도, 습도, CO_2 , 먼지 센서가 설치되어 있다.

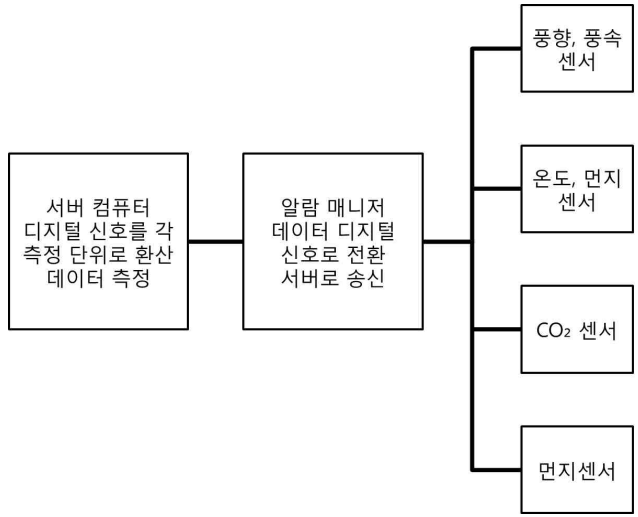


그림 2.2.5 기본장치 + 풍향풍속계의 개략도

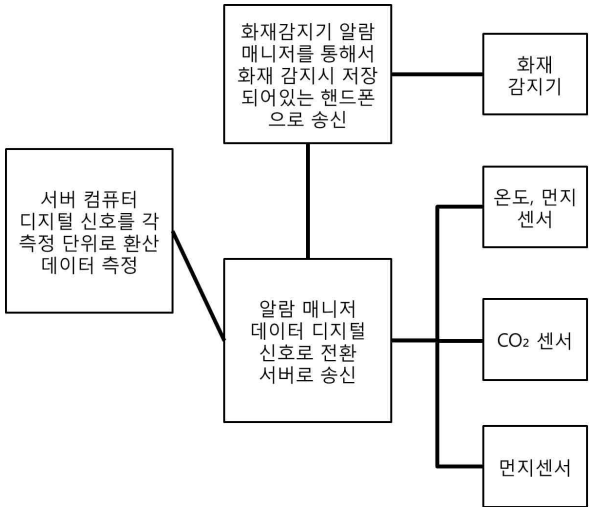


그림 2.2.6 기본장치 + 화재감지기의 개략도

위 그림은 기본장치 + 풍향풍속계의 개략도이다. 이 장치에는 온도, 습도, CO_2 , 먼지 센서 및 풍향풍속계가 설치되어있다.

위 그림은 기본장치 + 화재감지기의 개략도이다. 이 장치에는 온도, 습도, CO_2 , 먼지 센서 및 화재감지기가 설치되어있다. 터널의 위치에 따라 아래와 같이 3가지의 다른 구성을 하여 시스템을 제작하였다.

-기본장치

-기본장치 + 풍향풍속계

-기본장치 + 화재감지기

(1) 기본장치 + 풍향풍속계(설치장소 : 금정터널 본선, 수직갱2, 솔안터널 본선, 신호장)

기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 와 풍향계의 풍속, 방향각, 고도각의 데이터를 측정하는 장치이다. 금정터널, 솔안터널에 설치되어있으며 장소는 금정터널은 금정터널 본선 및 금정터널 수직구2에 설치되어있다. 그리고 솔안터널은 솔안터널 본선 및 솔안터널 신호장에 설치되어있다. 또한 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다. 아래에 그림 7는 기본장치 + 풍속계가 설치된 모델이다.



그림 2.2.7 금정터널 본선, 수직구2 솔안터널 본선, 신호장에 설치된 장치

(2) 기본장치 + 화재감지기(설치장소 : 금정터널 사갱2, 솔안터널 사갱)

기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 측정하는 장치 및 화재감지기가 설치되어있다. 금정터널, 솔안터널에 설치되어있으며 장소는 금정터널은 금정터널 사갱2에 설치되어있다. 그리고 솔안터널은 솔안터널 사갱에 설치되어있다. 또한 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송을 하며 화재감지를 하면 똑같이 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다. 그림 8는 기본장치 + 화재감지기가 설치된 모델이다.



그림 2.2.8 금정터널 사갱2 솔안터널 사갱에 설치된 장치

(3) 기본장치 (설치장소 : 금정-범계, 평촌-인덕원)

기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 측정하는 장치이다. 설치된 장소는 지하철 4호선이며 설치된 구간은 금정-범계, 평촌-인덕원 사이 구간에 설치되어있다. 또한 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다. 그림 9은 기본장치가 설치된 모델이다.



그림 2.2.9 지하철에 설치된 장치

나. 측정 센서

측정 센서들은 총 5가지의 센서들이 들어가고 그 센서들은 삼차원 풍향 풍속계, 온도센서, 습도센서, CO_2 센서, 먼지센서가 들어간다.

(1) 삼차원 풍향 풍속계

삼차원 풍향 풍속계는 총 유형이 2가지가 있는데 유형 1,2는 풍속, 방향각, 고도각을 측정할 수 있다. 측정한 데이터는 3G 망을 통하여 서버 컴퓨터로 전송된다.

① 유형 1

삼차원 풍향 풍속계는 풍속 0~60m/s의 풍속을 측정할 수 있고 방향각은 0~540°의 각도 까지 확인할 수 있고 고도각은 -60~60°의 각도 까지 확인할 수 있다. 그리고 사용 V는 24V이고 측정되는 V는 5V이다. 이렇게 측정되는 V를 알람 매니저에서 디지털 신호로 바꾸어주어 환산하여 풍속, 방향각, 고도각을 각각에 단위로 환산하여 서버컴퓨터로 전송한다.

② 유형 2

삼차원 풍향 풍속계는 풍속 0~60m/s의 풍속을 측정할 수 있고 방향각은 0~360°의 각도 까지 확인할 수 있고 고도각은 -90~90°의 각도 까지 확인할 수 있다. 그리고 사용 V는 24V이고 측정되는 V는 0~5V이다. 이렇게 측정되는 V를 알람 매니저에서 디지털 신호로 바꾸어주어 환산하여 풍속, 방향각, 고도각을 각각에 단위로 환산하여 서버컴퓨터로 전송한다.

(2) 온도센서

온도센서는 습도를 같이 측정할 수 있는 장치이고 -20~90℃의 온도를 측정할 수 있고 사용 V는 3V이고 측정되는 V는 0~3V이다. 이렇게 측정되는 V를 알람 매니저에서 디지털 신호로 바꾸어주어 환산하여 온도의 단위인 ℃로 환산하여 서버컴퓨터로 전송한다.

(3) 습도센서

습도센서는 온도를 같이 측정할 수 있는 장치이고 10~95%의 습도를 측정할 수 있고 사용 V는 3V이고 측정되는 V는 0~3V이다. 이렇게 측정되는 V를 알람 매니저에서 디지털 신호로 바꾸어주어 환산하여 습도를 %로 환산하여 서버컴퓨터로 전송한다.

(4) CO_2 센서

CO_2 센서는 0~3000ppm의 CO_2 를 측정할 수 있고 사용 V는 5V이고 측정되는 V는 0~5V이다. 이렇게 측정되는 V를 알람 매니저에서 디지털 신호로 바꾸어 주어 환산하여 CO_2 의 단위 ppm으로 환산하여 서버컴퓨터로 전송한다.

(5) 먼지센서

먼지센서는 0~9.999mg/m^3의 먼지를 측정할 수 있고 먼지센서의 작동원리는 공기를 가열하여 미세먼지와 같이 상승하는 기류를 측정하여 먼지의 농도를 측정할수 있는 장치이다. 먼지센서는 사용하는 V는 5V이고 측정되는 값을 알람 매니저에서 서버컴퓨터로 전송한다.

(6) 연기감지기

연기 감지기는 적외선 LED를 이용한 산란광 감지방식으로 작동하는 감지기로서 화재발생시 암상자 내에 연기가 유입되면 발광 소자에서 발한 빛이 산란현상을 일으키고 수광 소자는 이를 감지하여 신호를 증폭시킨 뒤, 화재발생 신호를 송출한다. 환경변화에 따른 자동 감도조정 기능을 내장한 인공지능형이며, 연기 유입구에 스테인레스 방충망을 부착하여 해충이나 먼지로 인한 비화재보를 방지



그림 2.2.10 연기감지기

표 2.2.1 연기 감지기

형식승인번호	감 00-25-2, 축적 : 감 02-35-2
형식	제2종, 재용형, 비방수형
사용전압	DC 24V ± 20%
소모전류	감시 80㎂, 작동 50㎃ 이하
환경조건	-10℃ ~ 50℃
상대습도	85%
크기	109ø × 46D (베이스에 본체를 삽입했을 경우)
무게	110g (베이스 무게 포함)
재질	POLY CARBONATE
동작확인등	백색 발광 다이오드
회로당 접속수량	15개 이하 (40℃기준)
감지방식	적외선 LED를 이용한 산란광 감지방식
특징	환경의 변화에 따른 자동감도 조절 기능

(7) 정온식감지기

정온식감지기는 고성능 반도체 감지센서를 내장하여 미리 입력된 온도(정온점)에 도달했을 때 이를 화재로 인식하는 감지기로서 공칭작동온도가 70℃ 와 110℃로 되어있다. 감지기를 선택할 경우에는 공칭작동온도가 최고 주의온도보다 20℃ 이상 높은 것을 선정해야한다.



그림 2.2.11 정온식감지기

표 2.2.2 정온식감지기

형식승인번호	70℃ : 감 97-12-4/110℃ : 감 94-44-4
형식	특종, 보통형, 재용형, 비방수형
사용전압	DC 24V ± 20%
소모전류	감시 25㎂, 작동 50㎃ 이하
환경조건	-10℃ ~ 50℃
상대습도	85%
크기	109ø × 46D (베이스에 본체를 삽입했을 경우)
무게	84g (베이스 무게 포함)
재질	POLY CARBONATE
동작확인등	백색 발광 다이오드
회로당 접속수량	25개 이하 (40℃기준)
감지방식	고성능 반도체 센서에 의한 정온점 감지방식
특징	주위 온도가 정해진 온도까지 도달했을 때 작동

(8) 차동식감지기

차동식감지기는 고성능 반도체 감지 센서를 내장하여 급격한 온도변화율을 감지하는 방식으로 작동하며, 화재발생의 경우 감지센서와 보상센서 간의 급격한 온도변화 폭을 감지하여 프로그램된 레벨을 초과하면 화재로 인식하게 된다. 완만한 온도의 상승에 대해서는 감시센서와 보상센서가 서로 균형을 유지하게 되어 비화재보의 발생화를 최소화 하였다.



그림 2.2.12 차동식감지기

표 2.2.3 차동식감지기

형식승인번호	감 08-23-2
형식	제2종, 보통형, 재용형, 비방수형
사용전압	DC 24V ± 20%
소모전류	감시 25㎂, 작동 50㎃ 이하
환경조건	-10℃ ~ 50℃
상대습도	85%
크기	109ø × 46D (베이스에 본체를 삽입했을 경우)
무게	84g (베이스 무게 포함)
재질	POLY CARBONATE
동작확인등	백색 발광 다이오드
회로당 접속수량	25개 이하 (40℃기준)
감지방식	고성능 반도체 센서에 의한 급격한온도 변화율 감지방식

다. 분석프로그램

프로그램 제작을 위한 개발내용 및 알고리즘

철도터널에 설치되는 화재감지기의 오작동환경 측정과 감지기(연기)의 경년변화를 체크하여 적절 점검 주기기간 파악 및 다양한 철도터널 환경 측정가능성을 분석하기 위하여 철도터널에 환경측정 감지기를 설치하였다. 철도터널 환경측정 시스템 상세내역은 다음과 같다.

○ 설치 터널 및 설치 개수

- 경부고속철 금정터널 3개소
- 영동선 솔안터널 3개소
- 서울 지하철 2개소

○ 측정 및 운영 기간 : 설치후 1년

○ 운용방식 및 특징

- 데이터를 취합하여 3G 통신망을 이용하여 철도연 서버로 실시간 송출
- 측정시 데이터백업을 위해 터널에 출입 불필요
- 한계값 도달 및 기계 이상시 관리자 문자로 통보

○ 측정물리량

- 온도, 습도, 먼지, CO2, 풍속, 풍향, 화재감지기 작동여부
- 기타 여러 센서로부터의 신호 취득 가능

이와같이 시스템에서 측정된 데이터는 통신을 통하여 다음 파일 형태(*.csv)로 저장된다.

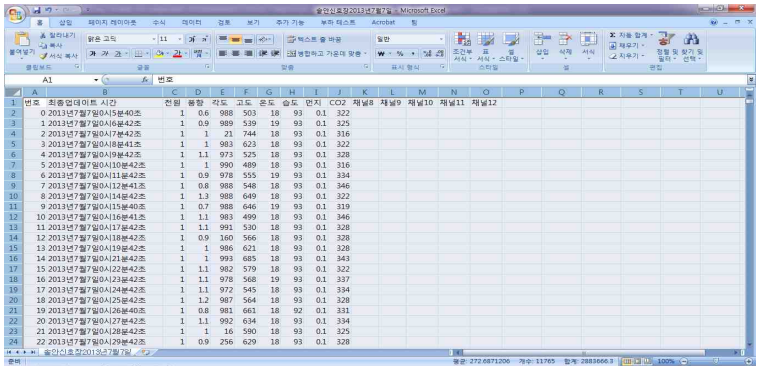


그림 2.2.13 터널 환경 계측 데이터

따라서 본 연구에서는 상기의 그림과 같이 시간별로 측정되는 대량의 데이터를 자동으로 검색하여 분석하고자 하는 대상의 데이터를 추출하여 터널환경을 파악할 수 있도록 그래프로 출력하는 프로그램을 개발하고 이를 이용하여 측정된 데이터를 분석하는데 목적이 있다. 이를 수행하기 위하여 프로그램의 메인 화면(초안) 아래와 같이 고안되었다. 그리고 이러한 메인화면을 사용하기 위하여 각 센서가 위치하고 있는 터널을 선택하여 분석할 수 있도록 시작화면을 별도로 두기로 하였다.

메인 화면의 기능은 각 터널의 지도와 감지기의 위치를 표시 위치를 나타내는 프레임, 데이터 분석결과를 출력하는 그래프가 있는 프레임, 각 측정된 파일에 대한 정보를 나타내는 리스트 뷰 프레임, 분석요약정보를 화면에 출력하는 프레임이 있다. 각 프레임별 버튼은 종료 및 저장 등을 삽입하는 것으로 하였다.

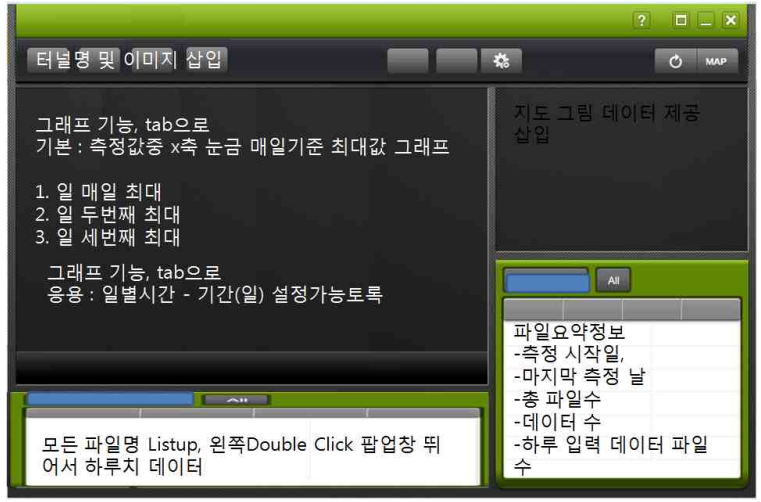


그림 2.2.14 메인화면 개발 (초)안

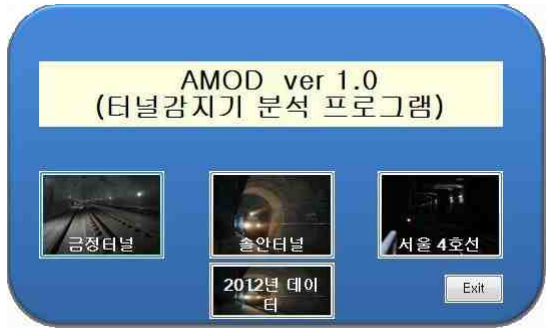


그림 2.2.15 개발 프로그램 시작화면

그래프 출력을 위한 분석 물리값은 다음과 같다.

■ 풍속, 풍향(방향), 고도, 온도, 습기, 먼지, CO2 이다.

각각에 대한 측정범위는 아래표와 같다. 지하철4호선은 풍속풍향계가 설치되어 있지 않았다.

표 2.2.4 각 물리값의 측정범위 및 단위

측정값	설치터널	범위 (단위)
풍속	금정	0~60 m/s
	솔안	0~60 m/s
풍향(방향)	금정	0~540°
	솔안	0~360°
풍향(고도)	금정	−60°~60°
	솔안	−90°~90°
온도	All	−20~90℃
습도	All	10~95%
CO2	All	0~3000ppm
먼지	금정, 솔안	0 ~ 9.999 (mg/m3)
	지하철 4호선	0 ~ 9.999 (mg/m3)

상기의 내용을 구현하기 위하여 아래 그림과 같이 프로그램 개발되는 구성 모듈과 모듈간 Flow Chart를 작성하였다. 또한 개발언어는 C#을 사용하였다.

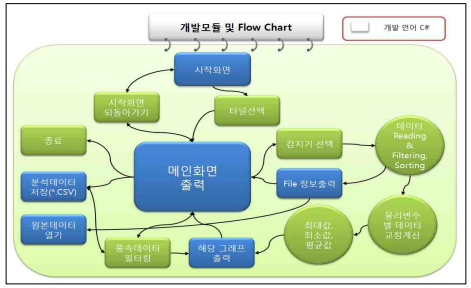


그림 2.2.16 개발 모듈 및 Flow Chart

각 측정된 파일중에 통신 이상으로 인하여 데이터 정보가 누락되거나 에러가 난 파일은 다음과 같이 Filtering을 하였다.

각 파일에 대한 정렬 알고리즘은 다음과 같다.

```
버블 정렬 알고리즘
for (int i = 0; i < files.Length; i++)  // 파일의 개수(files.Length)
{
                    for (int j = 0; j < files.Length - 1; j++)
                    {
                        if (files[j].LastWriteTime > files[j + 1].LastWriteTime)
                        {
                            FileInfo f = files[j];
                            files[j] = files[j + 1];
                            files[j + 1] = f;
                        }
                    }
}
```

파일 중에 값이 저장되지 않거나 파일형식에서 어긋난 파일은 선택에서 제외하였다.

먼지에 대한 교정식은 다음과 같다.

$$Y = 0.1182\left(\frac{-0.0086+\sqrt{0.0086^2-4\times0.026(-0.0171-X)}}{2\times0.026}\right)-0.0765\left(\frac{-0.086+\sqrt{0.0086^2-4\times0.026(-0.0171-X)}}{2\times0.026}\right)$$ 수식 2.2.1

풍속의 방향에 대한 교정식은 다음과 같다.

$$Y = A\times\frac{X}{1023}$$ 수식 2.2.2

여기서, A는 금정 540이고, 솔안은 360이고 X는 측정값이다.

각 데이터의 최대값은 다음과 같은 알고리즘으로 구성되었다.

```
if (MaxTemp1 < temp[해당열]) 일 최대값 비교
                {
                    MaxTemp1 = temp[해당열]; //일최대값 저장
                    if (MaxofMax1 < MaxTemp1) // 날짜별 최대값비교
                    {
                        MaxofMax1 = MaxTemp1;  //날짜별최대값
                    MaxDate = temp[해당열]; // 해당라인정보저장
                    }
                }
```

각 데이터의 최소값은 최대값 알고리즘에서 비교를 반대로 하면 된다.

풍속의 데이터 필터링은 일 데이터중에 크기조건에 해당 하는 데이터를 필터링하여 출력하는 것이며 크기는 최대값에 대한 %를 기준으로 하지 않고 일 데이터 측정된 전체 개수중 해당데이터의 크기 순서를 %로 나타낸 것이다.

알고리즘은 다음과 같이 구성되었다.

```
FileStream fs = new FileStream(filename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
StreamReader sr = new StreamReader(fs, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
//해당파일 스트림 변수 초기화
      int ii=0;
      float [] ttemp= new float[5000];  //최대 5000개의 데이터 할당
      while (!sr.EndOfStream)   // 측정 데이터 배열로 저장, 데이터 마지막줄까지 읽고 빠져나옴
      {
          string s = sr.ReadLine();
          string[] temp = s.Split(','); // 열 구별하여 저장
          if(ii!=0)
          {
            ttemp[ii-1]=temp[해당열];
          }
           ii=ii+1;
      }



      Dailycount[totalday] = Convert.ToSingle(ii-1);

       for (int i = 0; i < ii - 1; i++)  // 각 데이터의 순서를 매겨 순위정보를 저장함
        {
          sorting = 1;
          for (int j = 0; j < ii - 1; j++)
           {
           if (i != j)
```

```
            {
              if (ttemp[i] > ttemp[j])
               {
                    sorting++;
                    sort_temp[totalday, i] = Convert.ToSingle(sorting);
                }
             }
            }
        }


float MaxTemp = 0.0f, MaxfiltVel=0.0f;
int CountCSV = 0;
filename = Path.GetFileName(filename);
filename = currPath + "\\" + filename;
FileStream fs1 = new FileStream(filename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
StreamReader sr1 = new StreamReader(fs1, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
while (!sr1.EndOfStream)   //파일내부 마지막 데이터까지 읽음
{
string s = sr1.ReadLine();
string[] temp = s.Split(',');  // 열 구별하여 저장
 if (CountCSV != 0)
 {
  if ((Dailycount[totalday] * SetMax / 100) >= sort_temp[totalday, CountCSV-1])
      // %에 해당하는 순서번호를 비교하여 해당값 출력
  {
    if (sort_temp[totalday, CountCSV - 1] >= MaxTemp)
     {
          MaxTemp = sort_temp[totalday, CountCSV - 1];
          MaxfiltVel = temp[해당열];
          filtDate[totalday] = temp[해당열];
      }
   }
 }
```

일 데이터의 평균값에 대한 수식은 Westphal 과 Mehta(1984)[참고문헌 15]가 추천한 진행평균 기법(running averaging method)를 사용하였다. 본 측정데이터와 같이 하루에 측정된 값의 수가 매일 틀리고, 일정하지 않을 때 배열의 메모리수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 다만 데이터를 읽음과 동시에 평균값을 계산하므로 CPU의 계산 부하량은 증가된다.

$$U_i = U_{i-1} + (u_i - U_{i-1}) \times \frac{1}{i} \qquad \text{수식 2.2.3}$$

여기서 i = 1, 2, 3, ... n Ui는 물리량의 평균값, Ui-1는 이전평균값, u는 입력값(측정값)

2. 경부선 고속철도 터널(금정터널)

지난 2002년 7월부터 3개 구간으로 나눠 공사를 시작해 2개 구간은 2008년에 관통됐고 2009년에 마지막 구간까지 관통되어 총 길이 20.3km의 국내의 도로나 철도에 있는 터널 가운데 가장 긴 터널이다. 부산역과 울산역 사이에 있으며, 부산진역 인근에서 진입한다. 부전역과 관계된 시설이 마련되어 있으나 영업용으로 사용하지 않고 있다.

가. 환경측정시스템 설치 및 측정

(1) 측정 기간

금정터널의 측정 기간은 2013년 3월 25일 설치를 하였지만 초기 단계에서 정확한 데이터 측정이 불가능하여 2013년 6월에 점검을 하여 현재까지 측정을 진행 중에 있다.

(2) 설치 위치 및 위치별 센서 구성



그림 2.2.17 금정터널 TREMS 설치구간

터널환경측정장치의 설치위치는 위의 그림에 표시된 붉은 점들이다. 각각의 붉은 점들의 위치는 사갱2(시점 407.426), 본선(408.489), 수직구(409.683)의 위치에 설치되어있다.

① 금정사갱2에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 407.426에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 화재감지기이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 측정하는 장치 및 화재감지기가 설치되어있다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송을 하며 화재감지를 하면 똑같이 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.18 금정터널 사갱2에 설치된 터널환경측정장치

② 금정본선에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 408.489에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 풍향풍속계이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 와 풍향계의 풍속, 방향각, 고도각의 데이터를 측정하는 장치이다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.19 금정터널 본선에 설치된 터널환경측정장치

③ 금정수직구2에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 409.683에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 풍향풍속계이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 와 풍향계의 풍속, 방향각, 고도각의 데이터를 측정하는 장치이다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.20 금정터널 수직구2에 설치된 터널환경측정장치

(3) 감지기 경년시험 설치

기존 감지기 설치는 모두 정온식 감지기로 사용을 하였지만 감지기의 경년시험을 위해 정온식 감지기1개, 연기감지기4개, 차동식 감지기1개로 변환하여 설치하였다. 설치 기간은 2013년 11월 22일에 설치를 하였고 지금까지 특별한 이상 징후 없이 작동되고 있다. 밑의 사진에서 붉은색 선 내부에 있는 감지기가 연기감지기이고 파랑색 선 내부에 있는 감지기가 차동식 감지기이고 나머지 부분이 정온식 감지기이다.

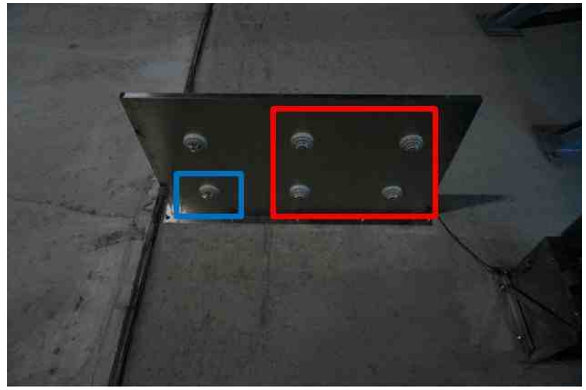


그림 2.2.21 감지기 경년시험 설치

나. 측정결과

(1) 금정본선

(가) 풍속

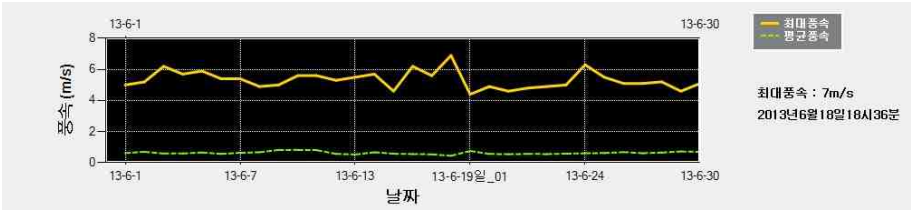


그림 2.2.22 금정본선 2013년 6월 풍속

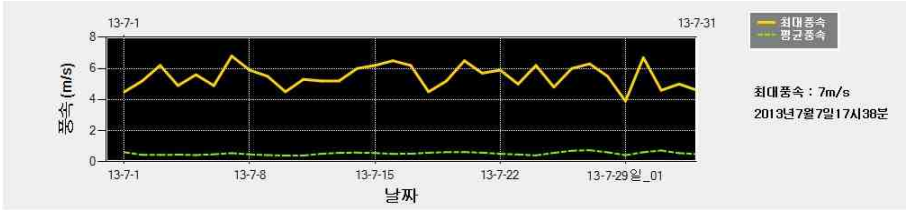


그림 2.2.23 금정본선 2013년 7월 풍속

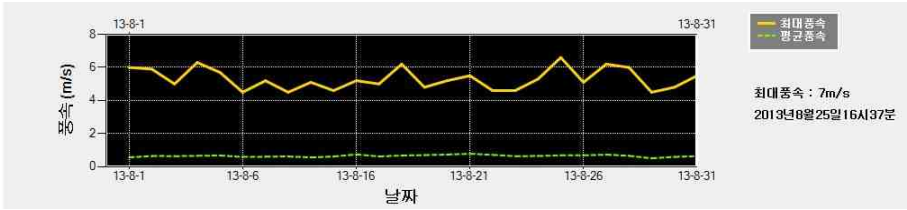


그림 2.2.24 금정본선 2013년 8월 풍속

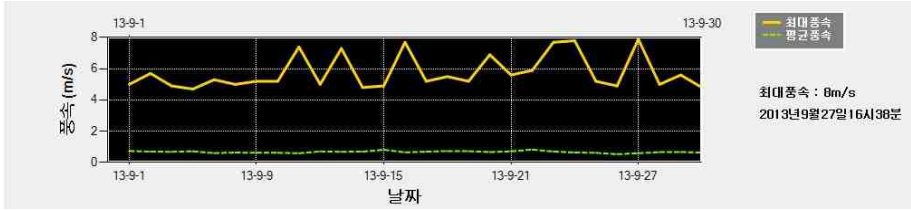


그림 2.2.25 금정본선 2013년 9월 풍속

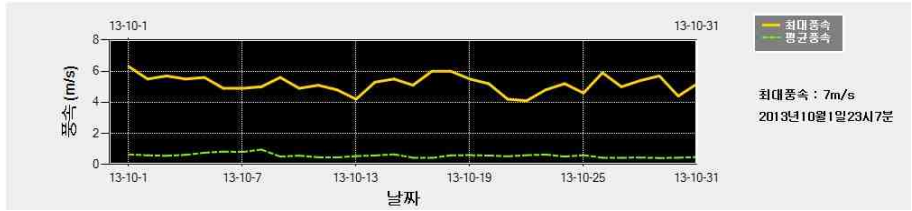


그림 2.2.26 금정본선 2013년 10월 풍속

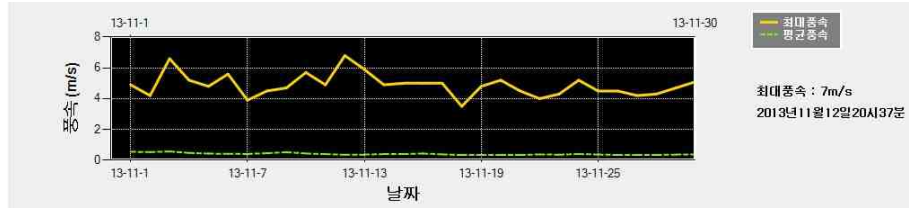


그림 2.2.27 금정본선 2013년 11월 풍속

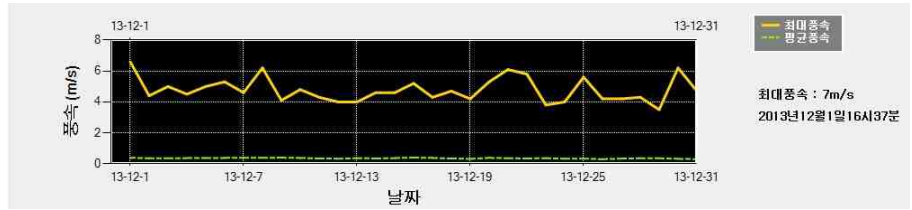


그림 2.2.28 금정본선 2013년 12월 풍속

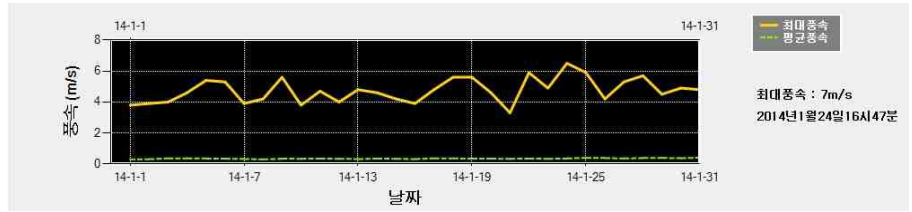


그림 2.2.29 금정본선 2014년 1월 풍속

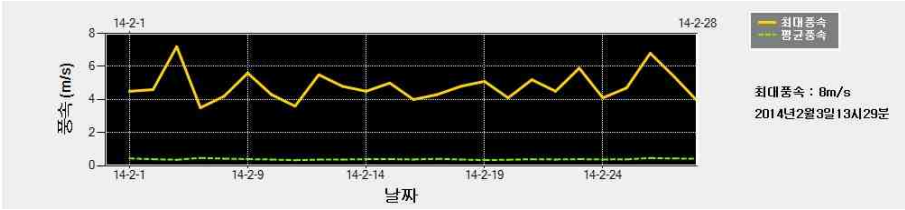


그림 2.2.30 금정본선 2014년 2월 풍속

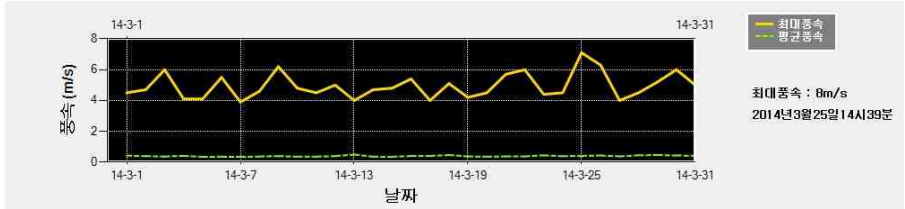


그림 2.2.31 금정본선 2014년 3월 풍속

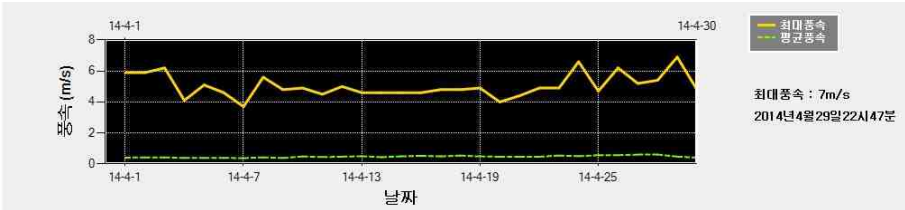


그림 2.2.32 금정본선 2014년 4월 풍속

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 풍속의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 풍속은 8m/s 정도의 속도이며 최소 풍속은 0m/s에 가깝다. 그 이유는 금정터널의 풍속은 열차가 지나갈 때 생기는 풍속이고 터널환경측정장치를 설치한 곳은 특별한 환기 기구가 없어 이렇게 열차가 지나가지 않는다면 풍속이 거의 없는 경우로 확인되었다.

(나) 온도

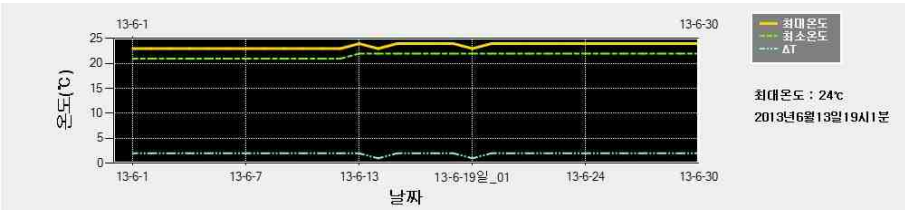


그림 2.2.33 금정본선 2013년 6월 온도

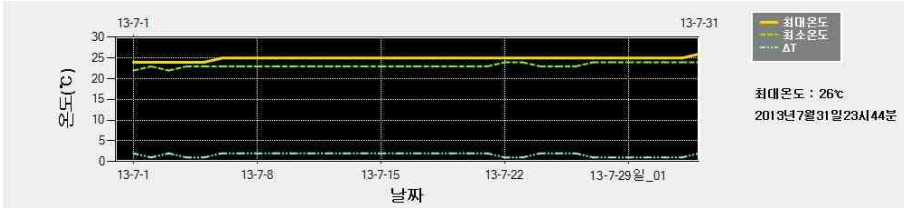


그림 2.2.34 금정본선 2013년 7월 온도

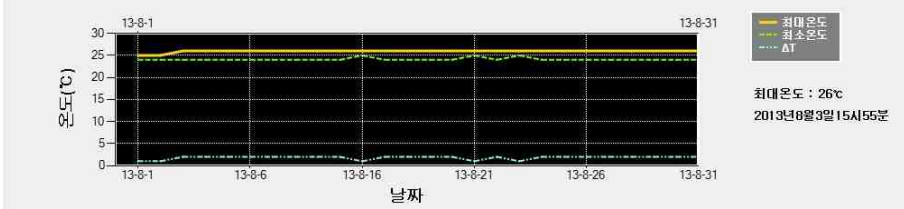


그림 2.2.35 금정본선 2013년 8월 온도

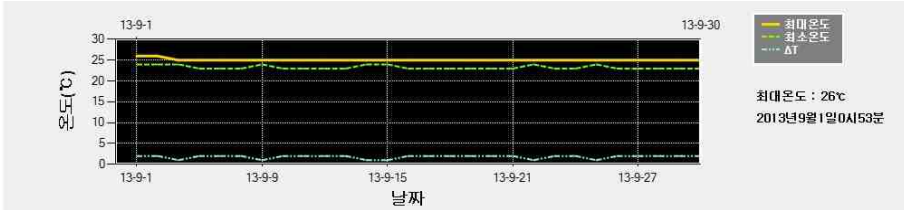


그림 2.2.36 금정본선 2013년 9월 온도

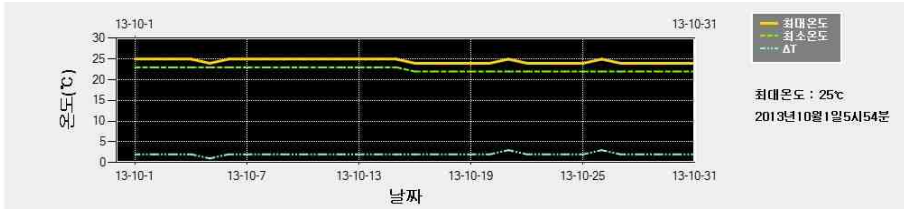


그림 2.2.37 금정본선 2013년 10월 온도

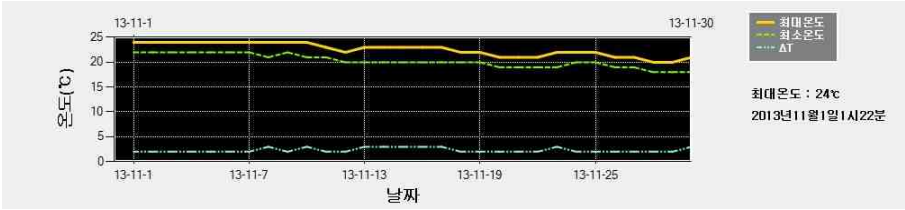


그림 2.2.38 금정본선 2013년 11월 온도

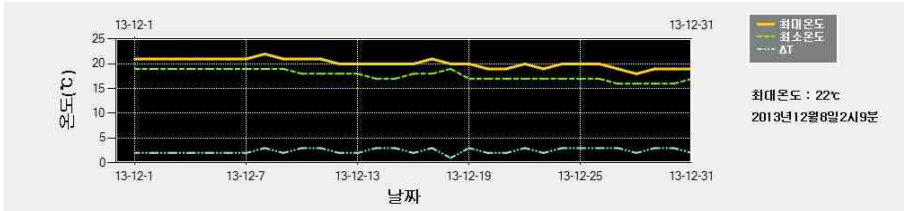


그림 2.2.39 금정본선 2013년 12월 온도

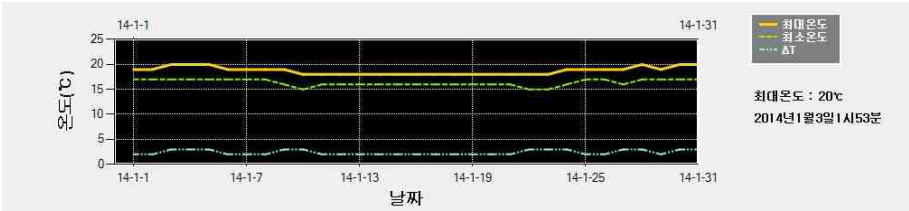


그림 2.2.40 금정본선 2014년 1월 온도

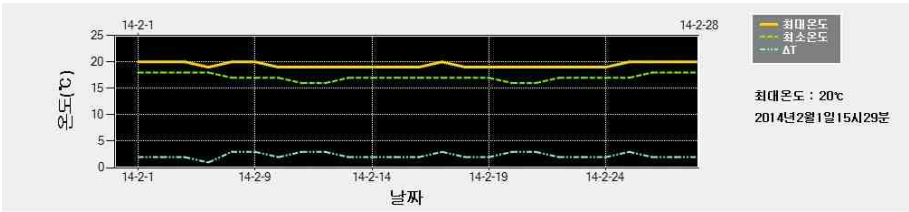


그림 2.2.41 금정본선 2014년 2월 온도

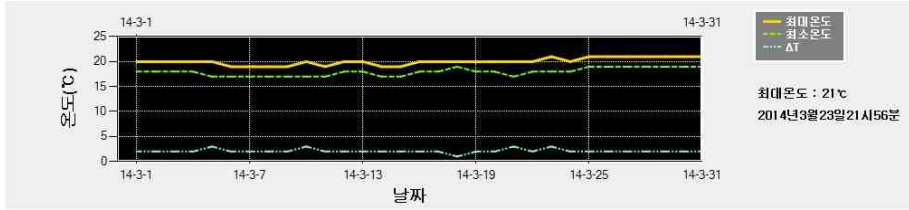


그림 2.2.42 금정본선 2014년 3월 온도

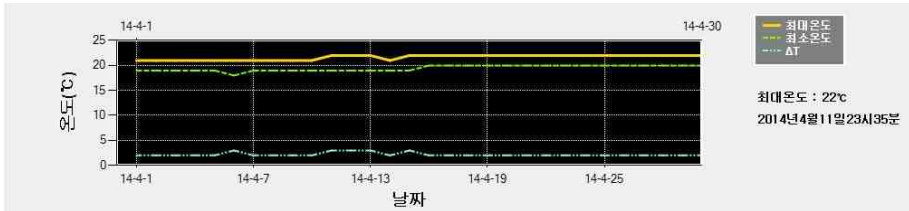


그림 2.2.43 금정본선 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 7,8,9월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 10℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(다) 먼지

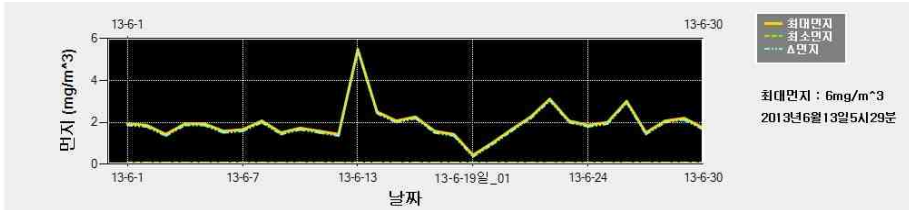


그림 2.2.44 금정본선 2013년 6월 먼지

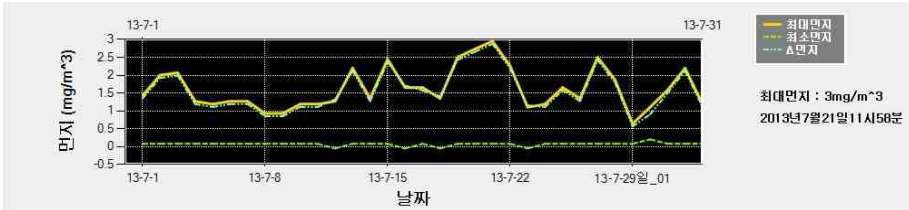


그림 2.2.45 금정본선 2013년 7월 먼지

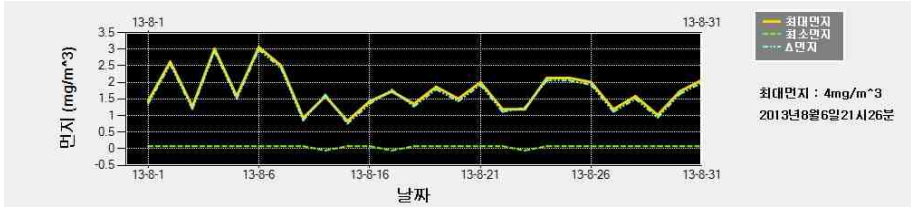


그림 2.2.46 금정본선 2013년 8월 먼지

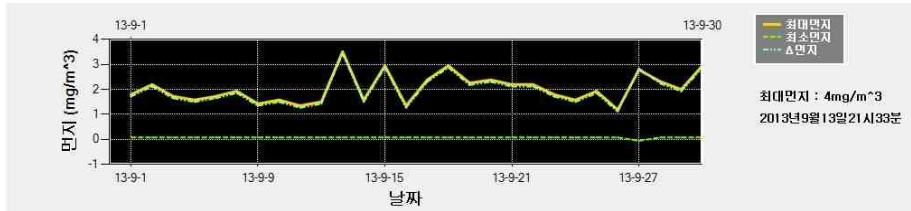


그림 2.2.47 금정본선 2013년 9월 먼지

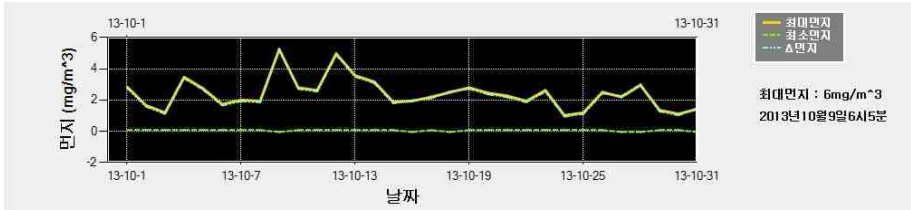


그림 2.2.48 금정본선 2013년 10월 먼지

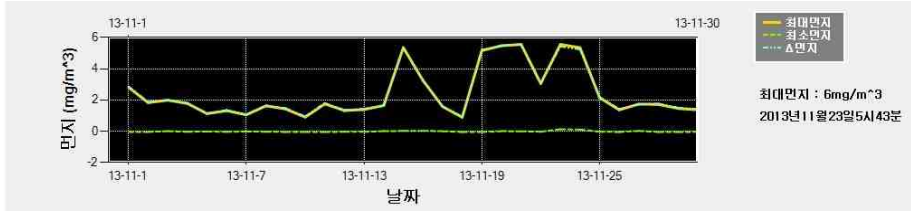


그림 2.2.49 금정본선 2013년 11월 먼지

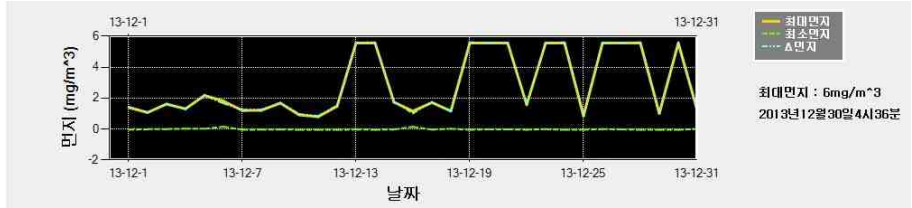


그림 2.2.50 금정본선 2013년 12월 먼지

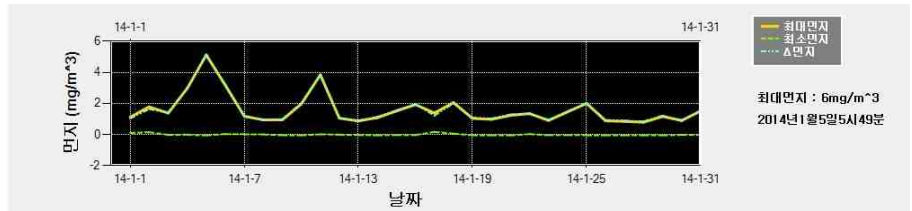


그림 2.2.51 금정본선 2014년 1월 먼지

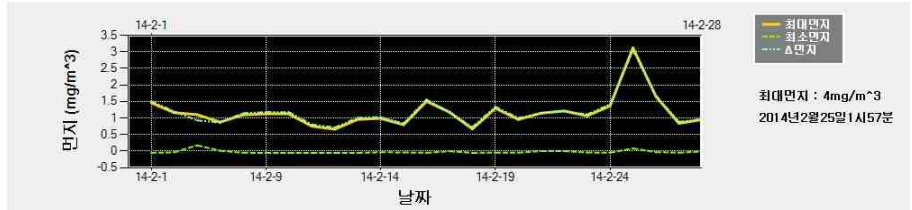


그림 2.2.52 금정본선 2014년 2월 먼지

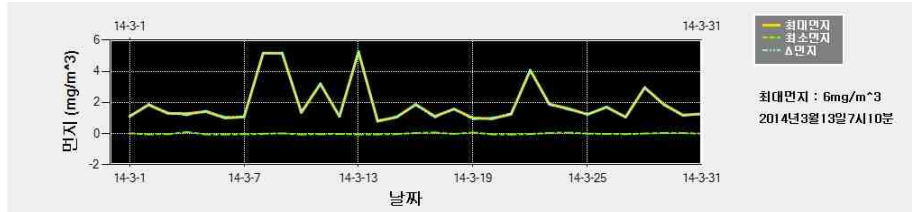


그림 2.2.53 금정본선 2014년 3월 먼지

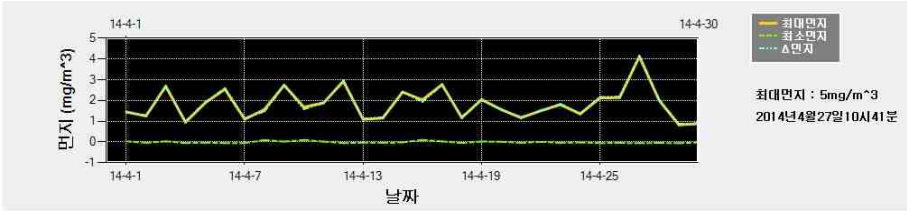


그림 2.2.54 금정본선 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 6mg/m³ 정도이며 최소 농도는 0mg/m³으로 나타났다. 먼지의 농도는 습도가 낮은 가을철 및 겨울철에 여름철보다 많이 발생한 것으로 나타났다.

(라) 습도

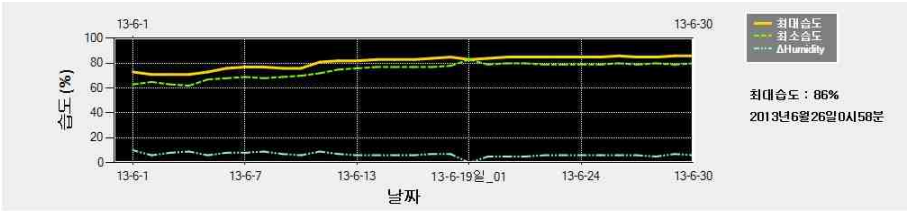


그림 2.2.55 금정본선 2013년 6월 습도

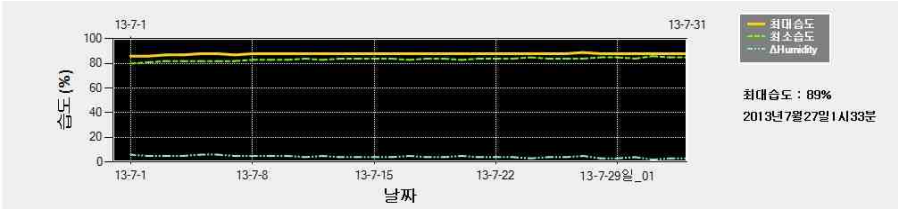


그림 2.2.56 금정본선 2013년 7월 습도

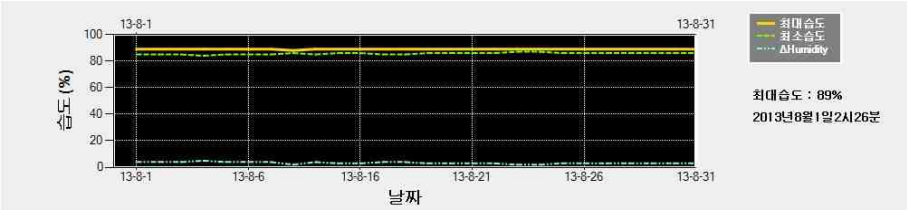


그림 2.2.57 금정본선 2013년 8월 습도

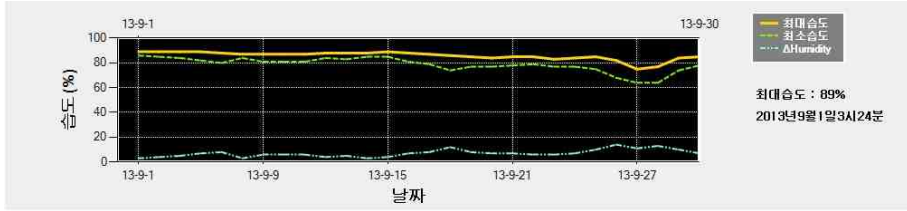


그림 2.2.58 금정본선 2013년 9월 습도

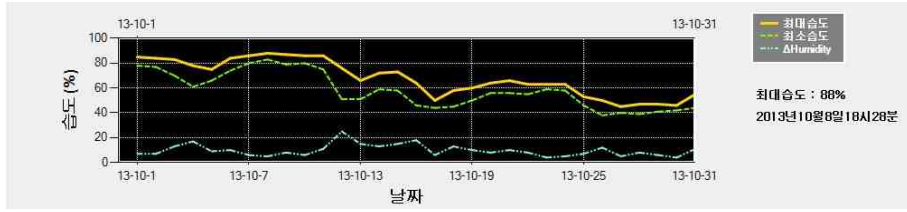


그림 2.2.59 금정본선 2013년 10월 습도

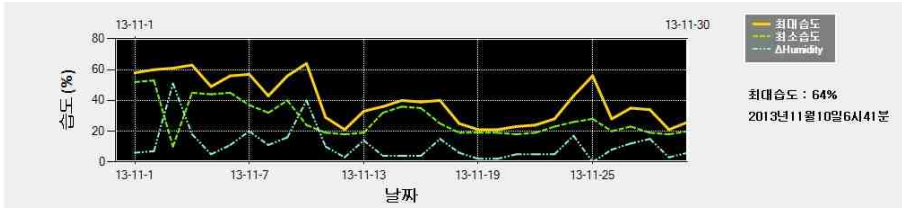


그림 2.2.60 금정본선 2013년 11월 습도

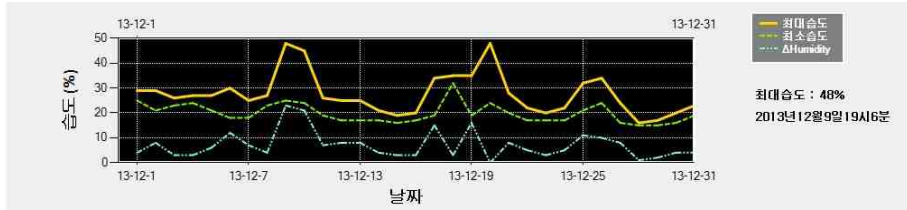


그림 2.2.61 금정본선 2013년 12월 습도

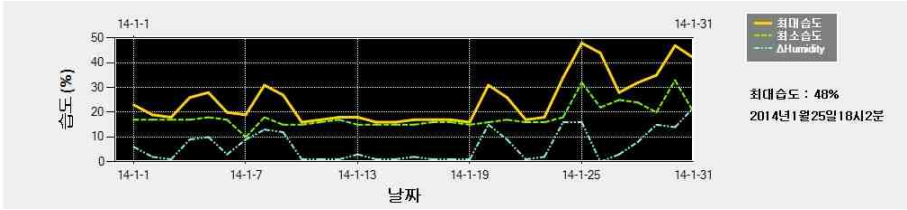


그림 2.2.62 금정본선 2014년 1월 습도

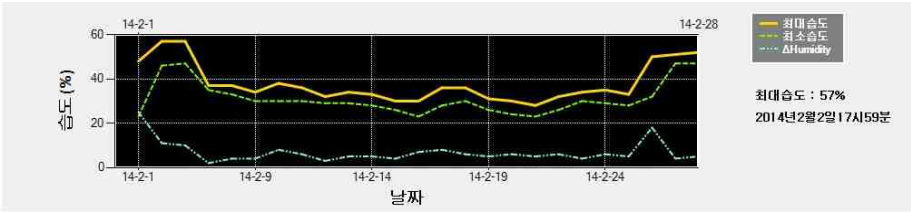


그림 2.2.63 금정본선 2014년 2월 습도

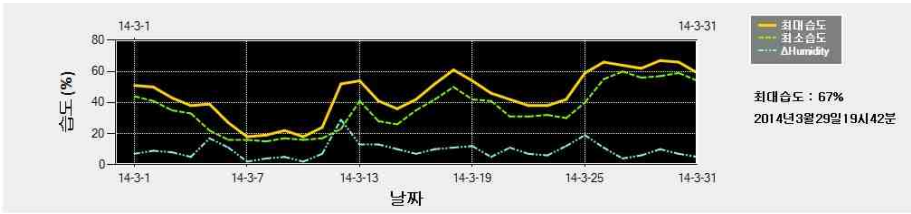


그림 2.2.64 금정본선 2014년 3월 습도

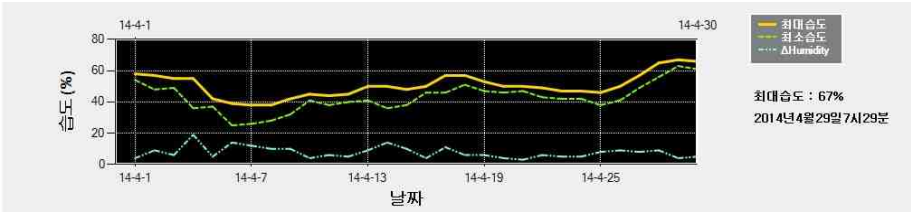


그림 2.2.65 금정본선 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 2월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 89%이며 여름인 기간인 7,8,9월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 12,1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

(2) 금정수직구

(가) 풍속

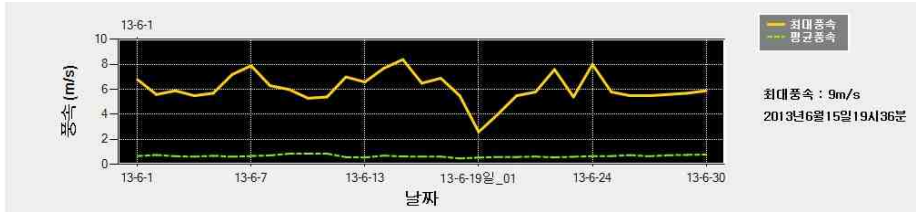


그림 2.2.66 금정수직구 2013년 6월 풍속

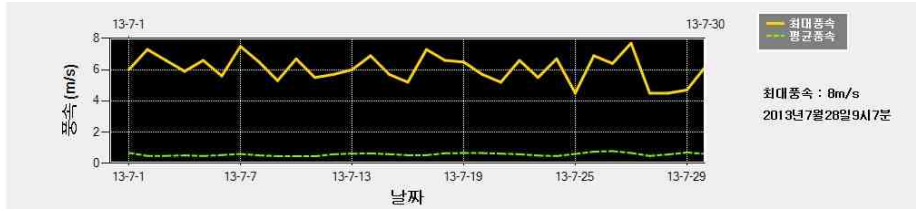


그림 2.2.67 금정수직구 2013년 7월 풍속

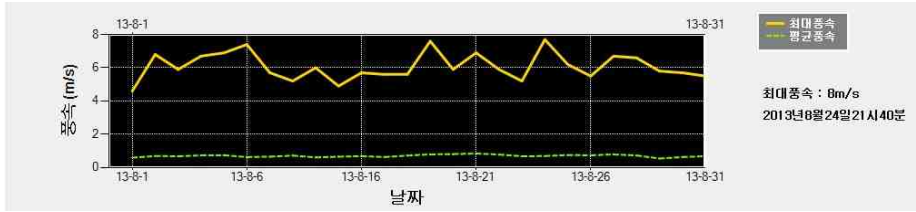


그림 2.2.68 금정수직구 2013년 8월 풍속

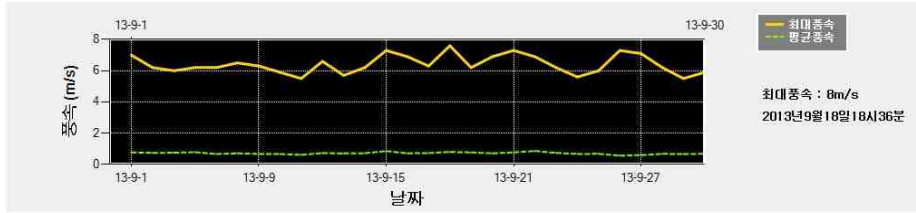


그림 2.2.69 금정수직구 2013년 9월 풍속

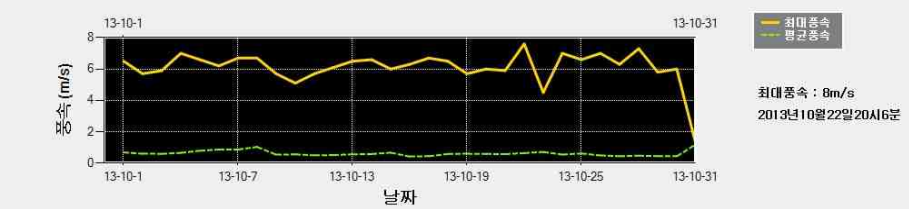


그림 2.2.70 금정수직구 2013년 10월 풍속

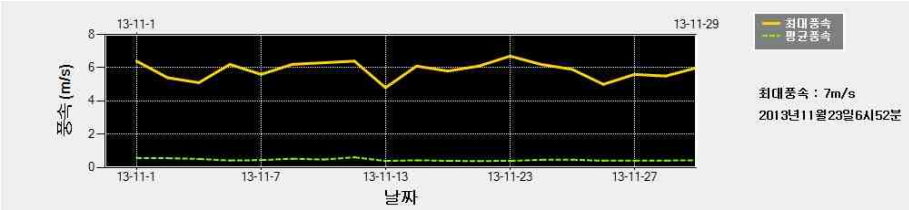


그림 2.2.71 금정수직구 2013년 11월 풍속



그림 2.2.72 금정수직구 2013년 12월 풍속

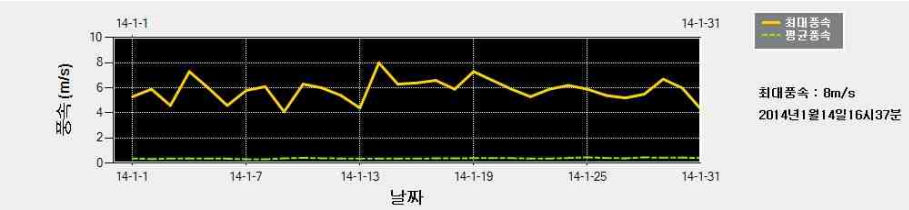


그림 2.2.73 금정수직구 2014년 1월 풍속

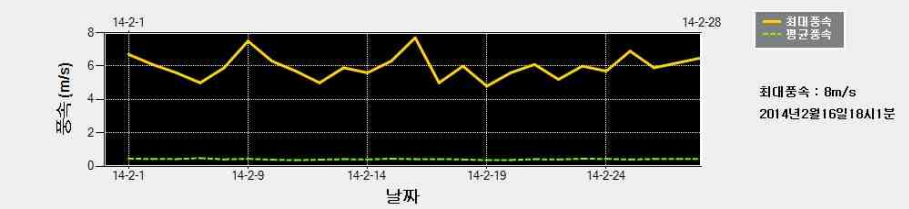


그림 2.2.74 금정수직구 2014년 2월 풍속

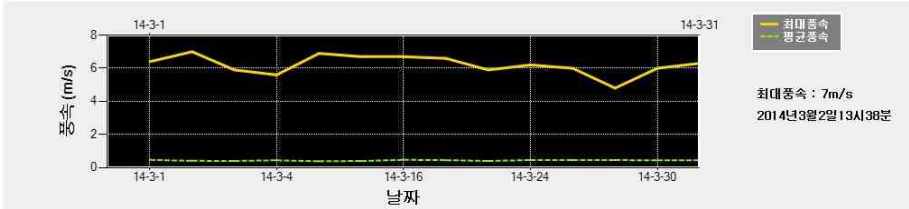


그림 2.2.75 금정수직구 2014년 3월 풍속

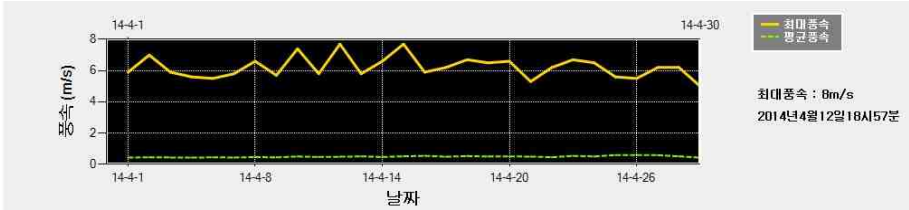


그림 2.2.76 금정수직구 2014년 4월 풍속

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 풍속의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 풍속은 9m/s 정도의 속도이며 최소 풍속은 0m/s에 가깝다. 그 이유는 금정터널의 풍속은 열차가 지나갈 때 생기는 풍속이고 터널환경측정장치를 설치한 곳은 특별한 환기 기구가 없어 이렇게 열차가 지나가지 않는다면 풍속이 거의 없는 경우로 확인되었다. 또한 각 월별 최대 풍속은 6 ~ 8m/s의 풍속으로 거의 일정하게 나왔다.

(나) 온도

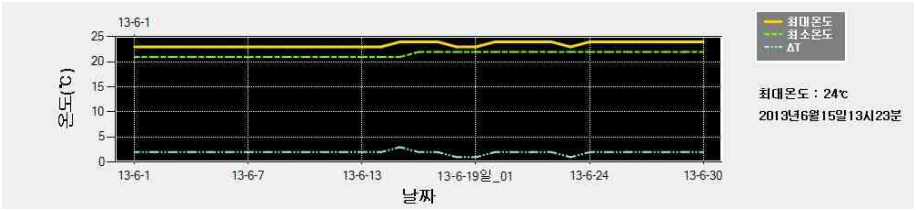


그림 2.2.77 금정수직구 2013년 6월 온도

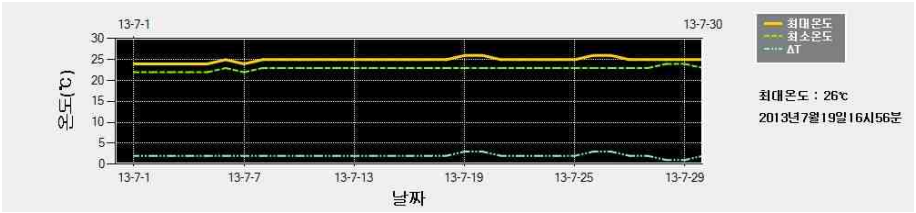


그림 2.2.78 금정수직구 2013년 7월 온도

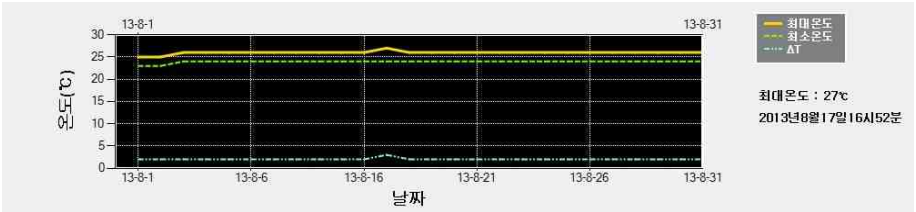


그림 2.2.79 금정수직구 2013년 8월 온도

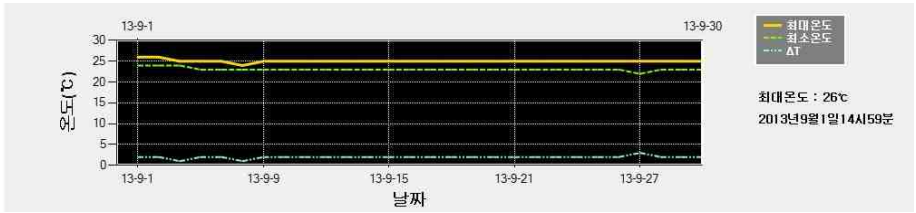


그림 2.2.80 금정수직구 2013년 9월 온도

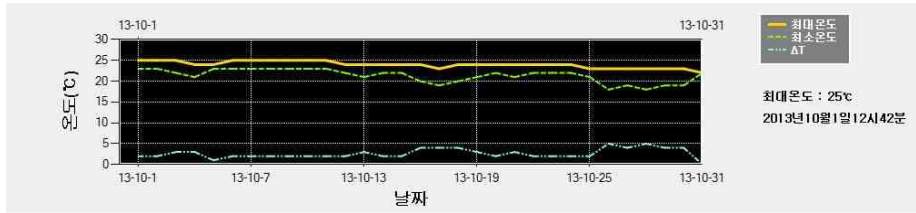


그림 2.2.81 금정수직구 2013년 10월 온도

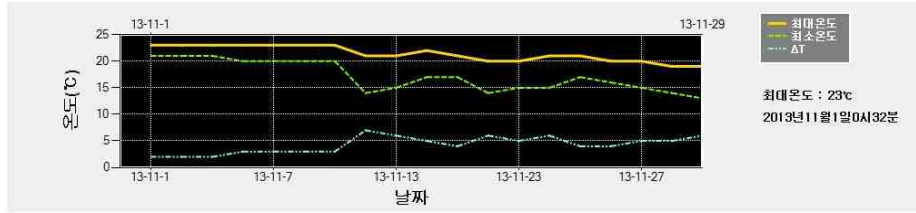


그림 2.2.82 금정수직구 2013년 11월 온도

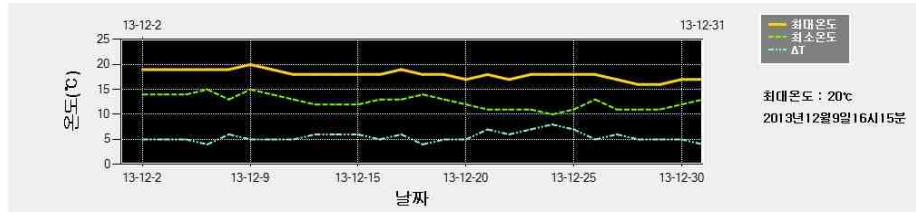


그림 2.2.83 금정수직구 2013년 12월 온도

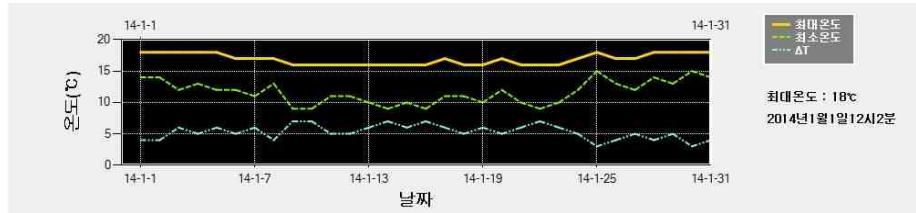


그림 2.2.84 금정수직구 2014년 1월 온도

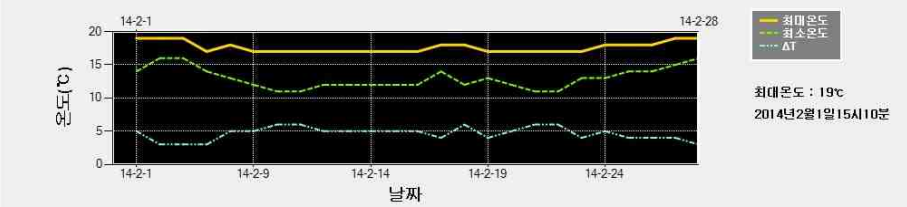


그림 2.2.85 금정수직구 2014년 2월 온도

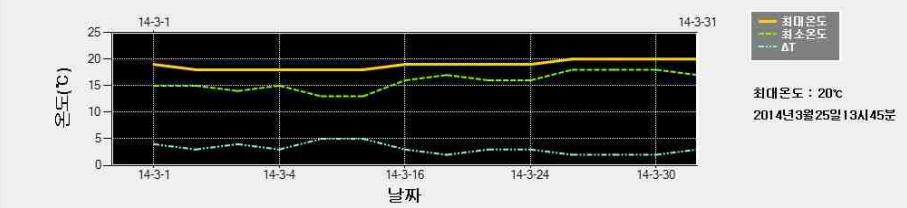


그림 2.2.86 금정수직구 2014년 3월 온도

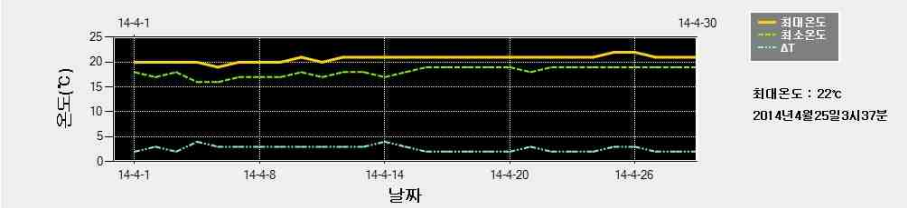


그림 2.2.87 금정수직구 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 8월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 5℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(다) 먼지



그림 2.2.88 금정수직구 2013년 6월 먼지

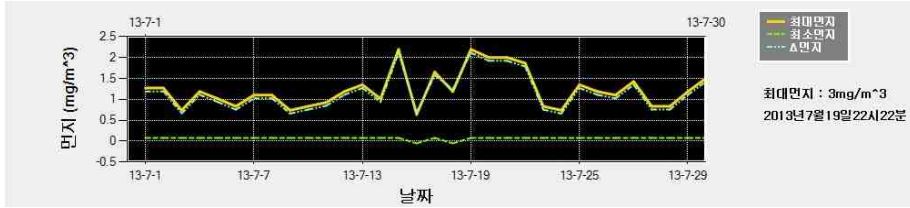


그림 2.2.89 금정수직구 2013년 7월 먼지

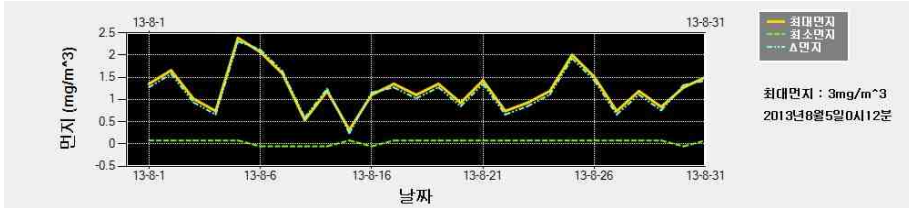


그림 2.2.90 금정수직구 2013년 8월 먼지

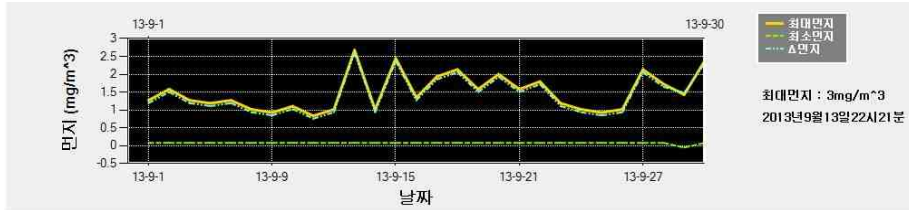


그림 2.2.91 금정수직구 2013년 9월 먼지

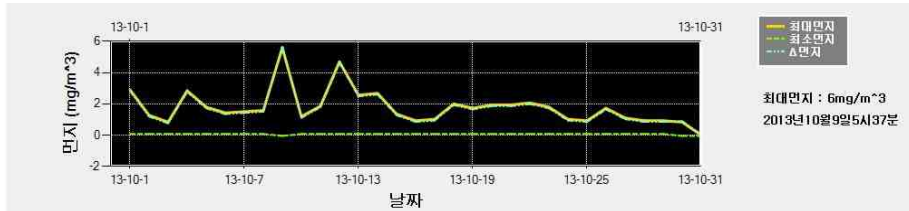


그림 2.2.92 금정수직구 2013년 10월 먼지

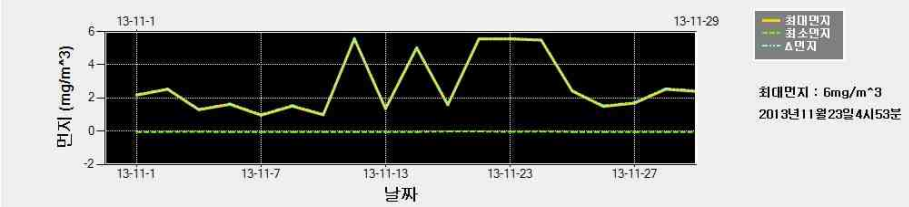


그림 2.2.93 금정수직구 2013년 11월 먼지

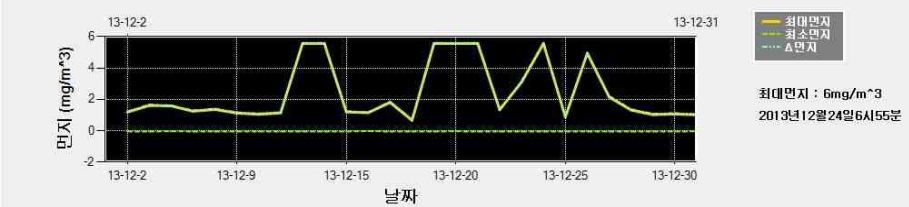


그림 2.2.94 금정수직구 2013년 12월 먼지

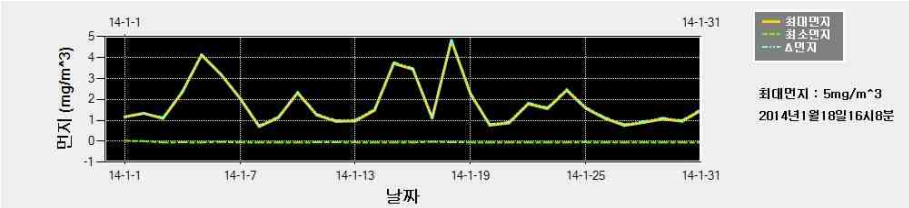


그림 2.2.95 금정수직구 2014년 1월 먼지

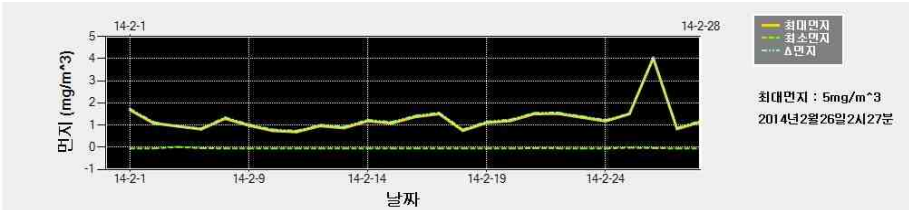


그림 2.2.96 금정수직구 2014년 2월 먼지

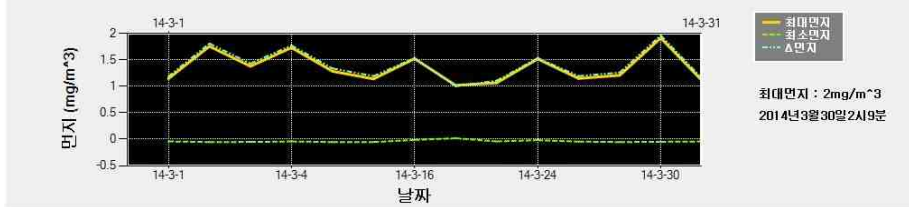


그림 2.2.97 금정수직구 2014년 3월 먼지

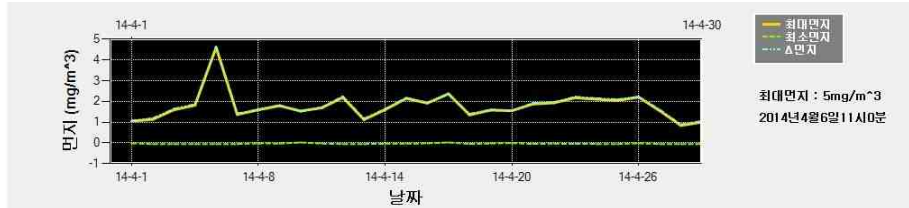


그림 2.2.98 금정수직구 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 6mg/m^3 정도이며 최소 농도는 0mg/m^{3}으로 나타났다. 먼지의 농도는 습도가 낮은 가을철 및 겨울철에 여름철보다 많이 발생한 것으로 나타났다.

(라) 습도

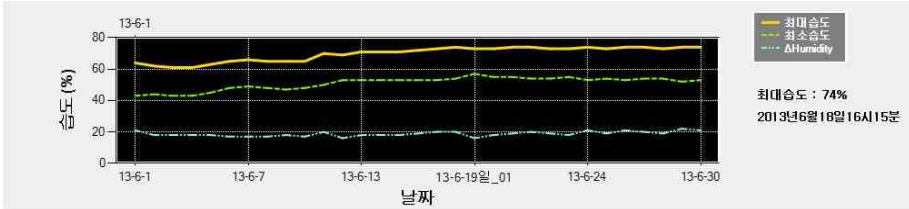


그림 2.2.99 금정수직구 2013년 6월 습도

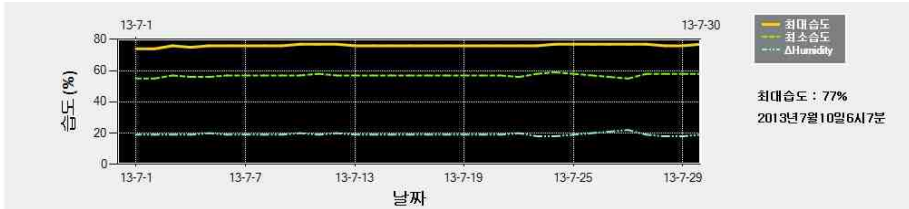


그림 2.2.100 금정수직구 2013년 7월 습도

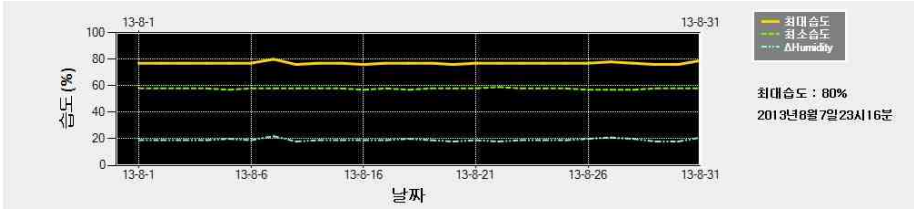


그림 2.2.101 금정수직구 2013년 8월 습도

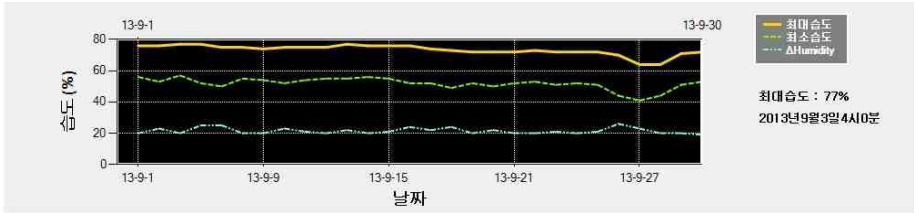


그림 2.2.102 금정수직구 2013년 9월 습도

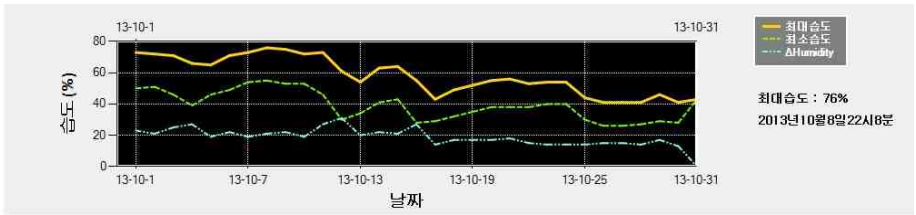


그림 2.2.103 금정수직구 2013년 10월 습도

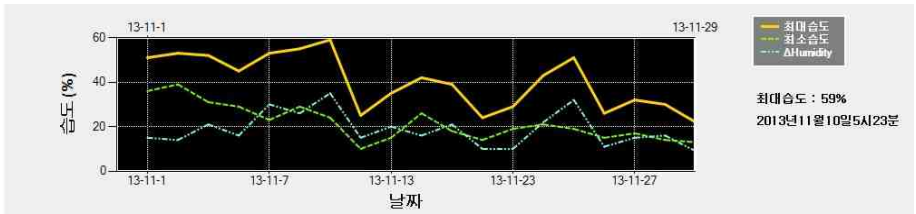


그림 2.2.104 금정수직구 2013년 11월 습도

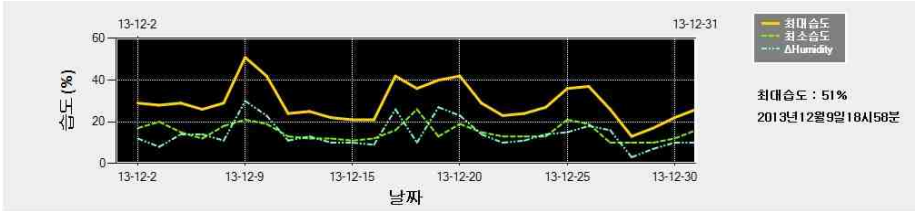


그림 2.2.105 금정수직구 2013년 12월 습도

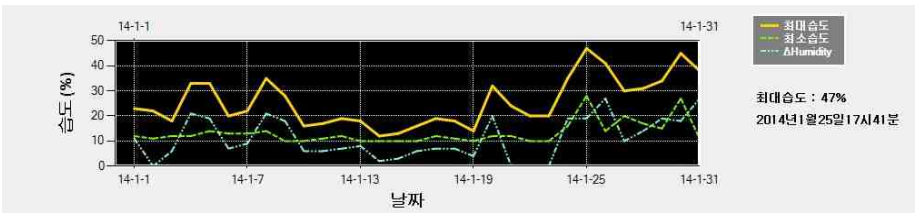


그림 2.2.106 금정수직구 2014년 1월 습도

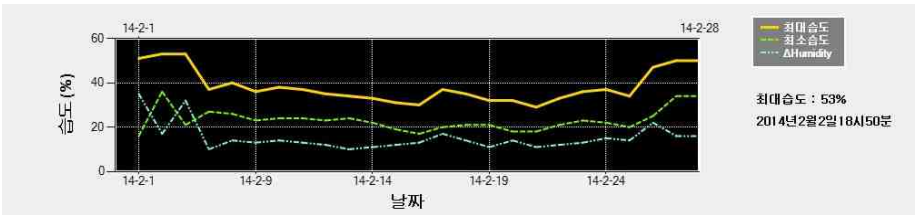


그림 2.2.107 금정수직구 2014년 2월 습도

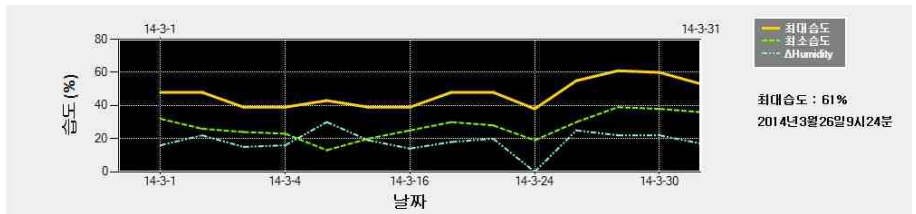


그림 2.2.108 금정수직구 2014년 3월 습도

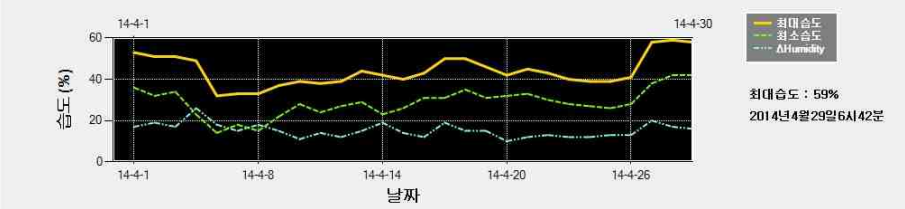


그림 2.2.109 금정수직구 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 80%이며 여름인 기간인 8월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

(3) 금정사갱

(가) 온도

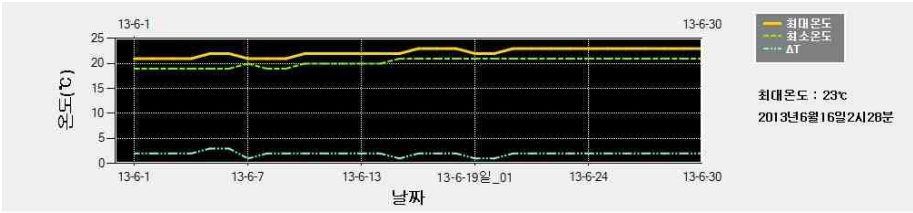


그림 2.2.110 금정사갱 2013년 6월 온도

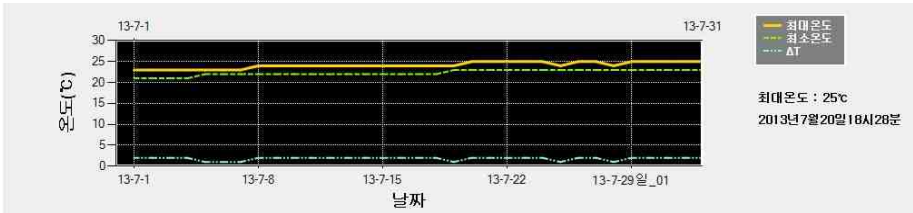


그림 2.2.111 금정사갱 2013년 7월 온도

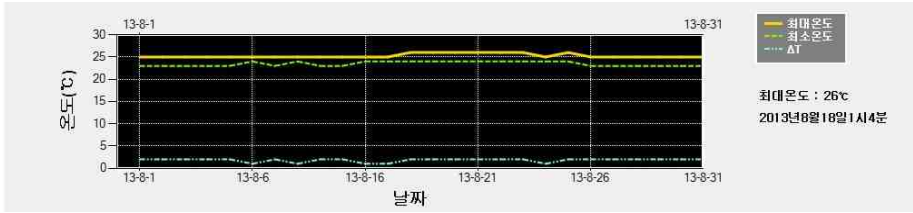


그림 2.2.112 금정사갱 2013년 8월 온도

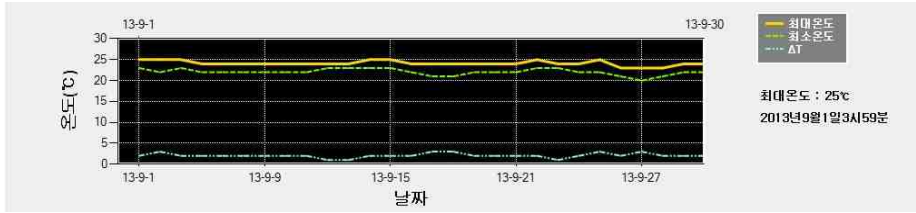


그림 2.2.113 금정사갱 2013년 9월 온도

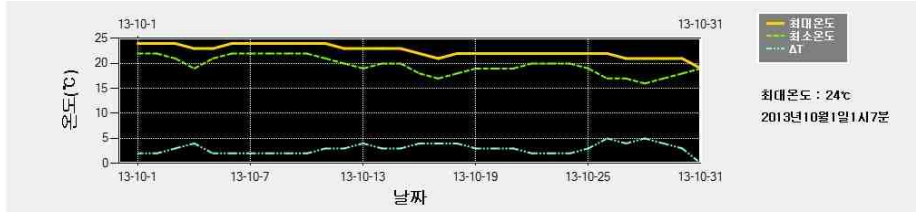


그림 2.2.114 금정사갱 2013년 10월 온도

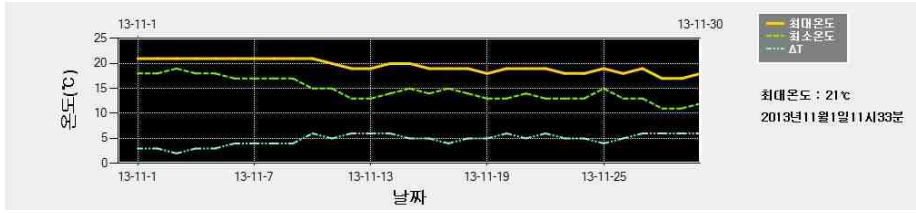


그림 2.2.115 금정사갱 2013년 11월 온도

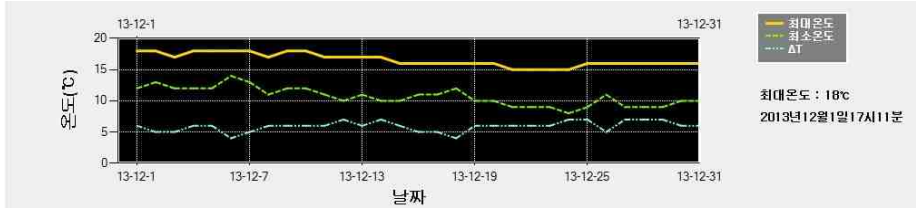


그림 2.2.116 금정사갱 2013년 12월 온도

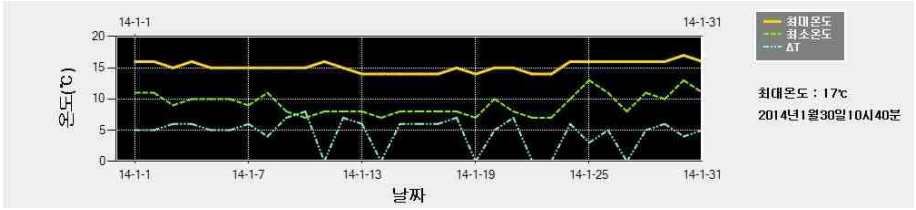


그림 2.2.117 금정사갱 2014년 1월 온도

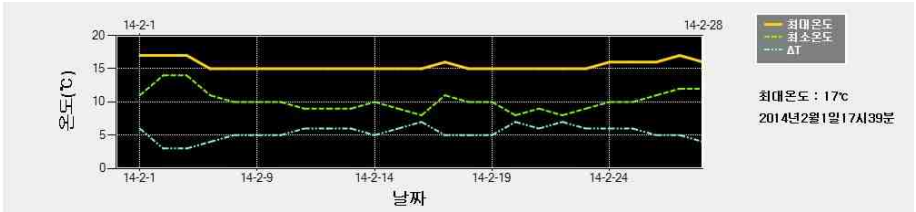


그림 2.2.118 금정사갱 2014년 2월 온도

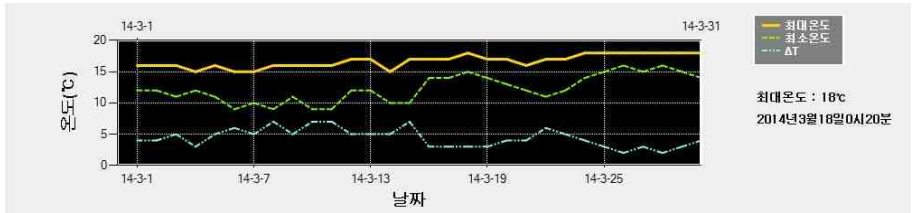


그림 2.2.119 금정사갱 2014년 3월 온도

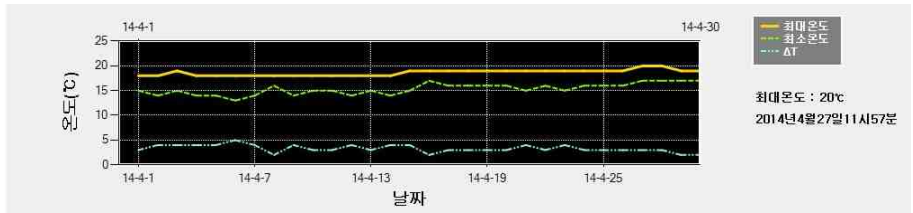


그림 2.2.120 금정사갱 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 8월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 5℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(나) 먼지

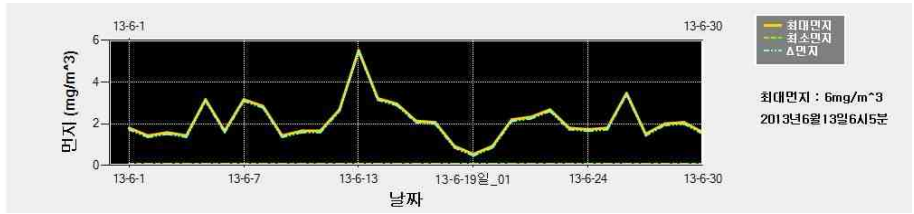


그림 2.2.121 금정사갱 2013년 6월 먼지

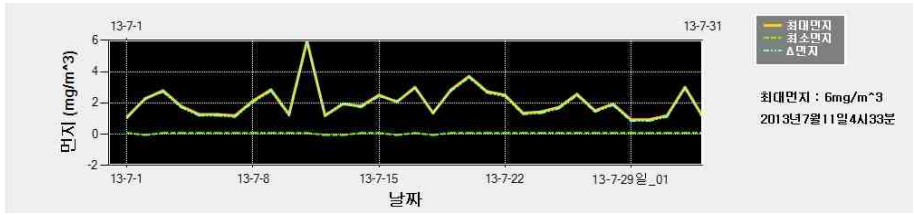


그림 2.2.122 금정사갱 2013년 7월 먼지

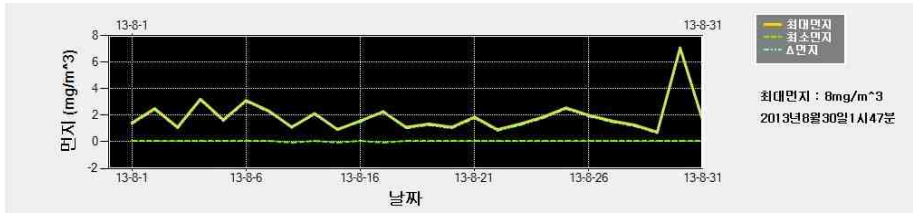


그림 2.2.123 금정사갱 2013년 8월 먼지

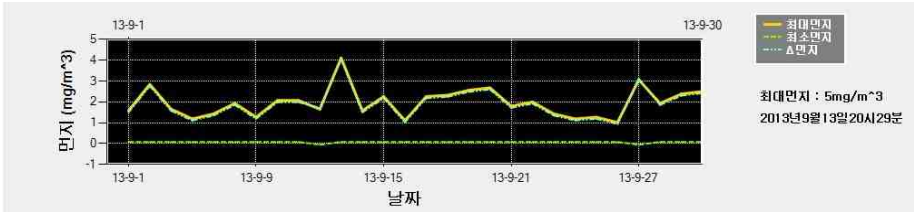


그림 2.2.124 금정사갱 2013년 9월 먼지

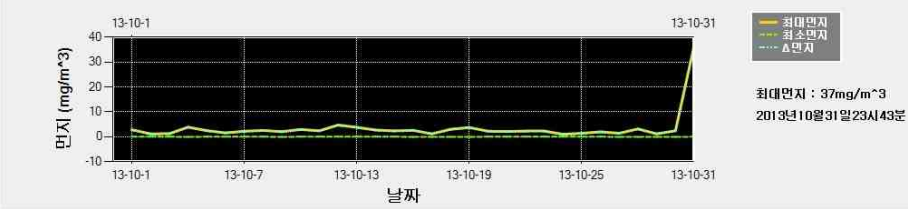


그림 2.2.125 금정사갱 2013년 10월 먼지

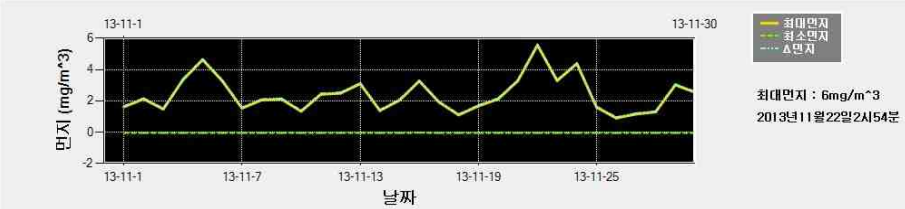


그림 2.2.126 금정사갱 2013년 11월 먼지

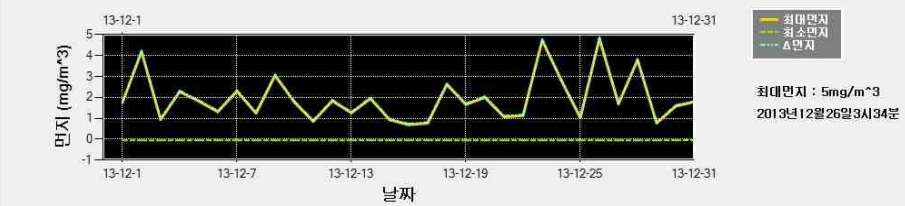


그림 2.2.127 금정사갱 2013년 12월 먼지

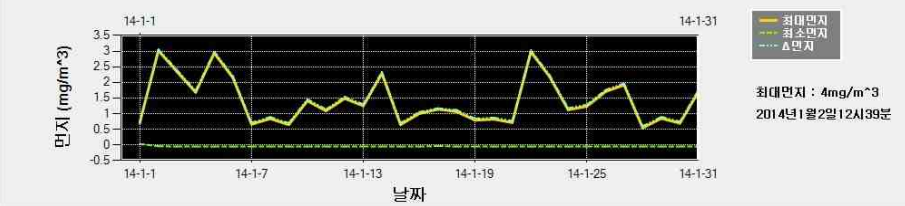


그림 2.2.128 금정사갱 2014년 1월 먼지

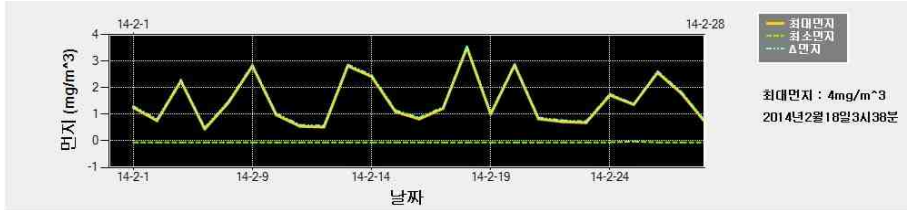


그림 2.2.129 금정사갱 2014년 2월 먼지

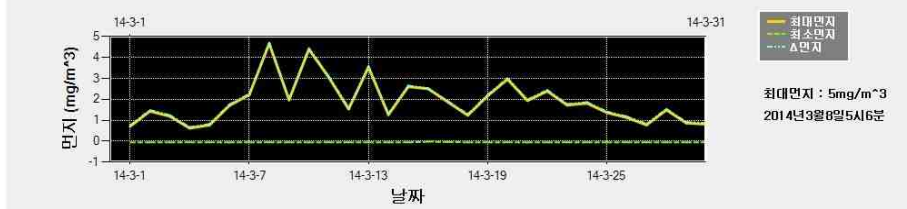


그림 2.2.130 금정사갱 2014년 3월 먼지

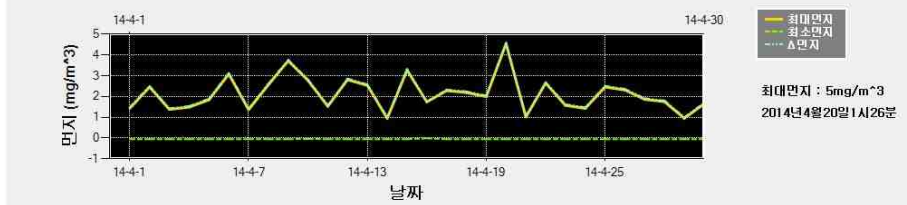


그림 2.2.131 금정사갱 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 8mg/m³ 정도이며 최소 농도는 0mg/m³으로 나타났다. 먼지의 농도는 습도가 낮은 가을철 및 겨울철에 여름철보다 많이 발생한 것으로 나타났다. 그리고 10월의 최대 먼지 농도는 데이터 에러가 생기면서 생긴 수치이다.

(다) 습도

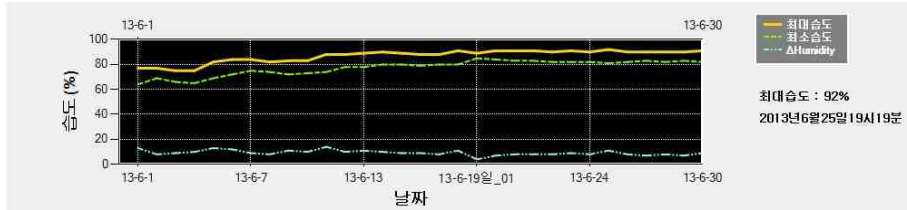


그림 2.2.132 금정사갱 2013년 6월 습도

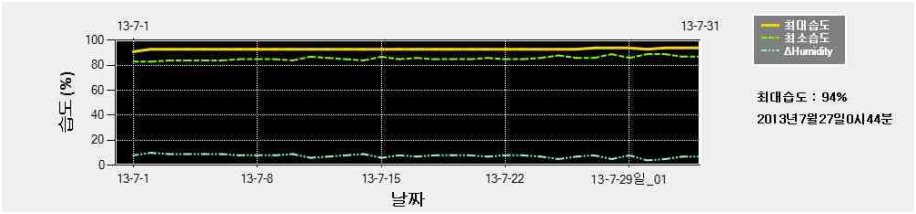


그림 2.2.133 금정사갱 2013년 7월 습도

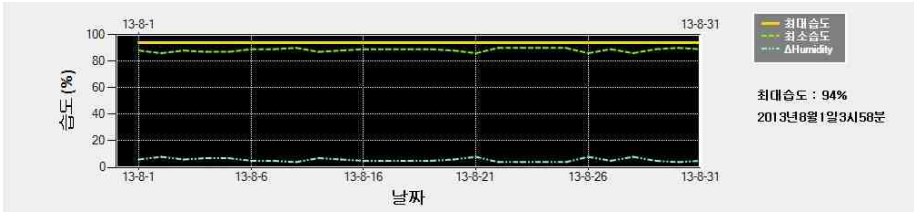


그림 2.2.134 금정사갱 2013년 8월 습도

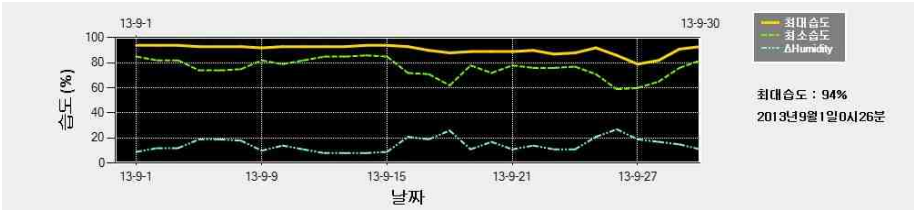


그림 2.2.135 금정사갱 2013년 9월 습도

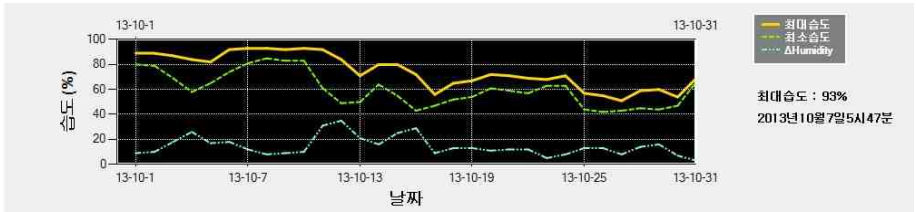


그림 2.2.136 금정사갱 2013년 10월 습도

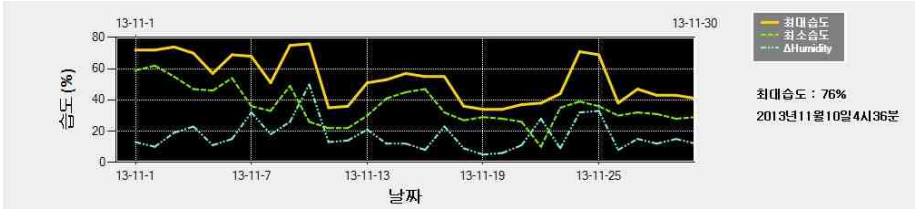


그림 2.2.137 금정사갱 2013년 11월 습도

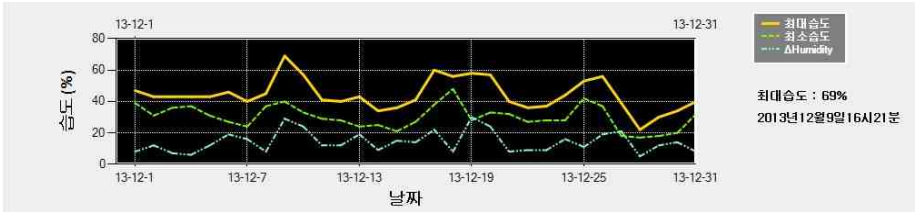


그림 2.2.138 금정사갱 2013년 12월 습도

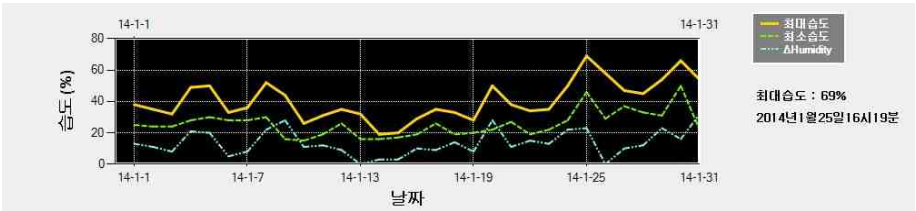


그림 2.2.139 금정사갱 2014년 1월 습도

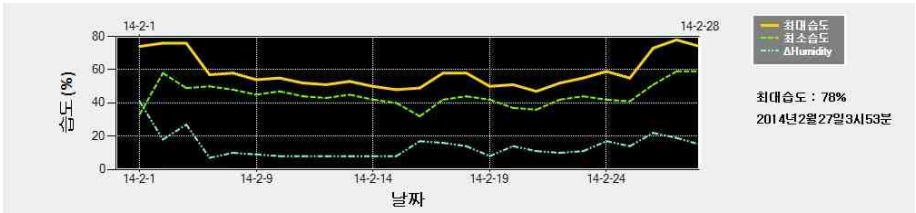


그림 2.2.140 금정사갱 2014년 2월 습도

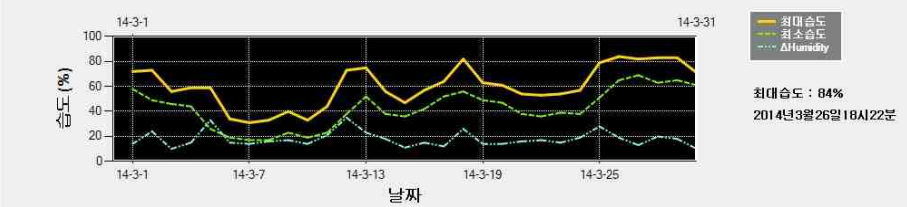


그림 2.2.141 금정사갱 2014년 3월 습도

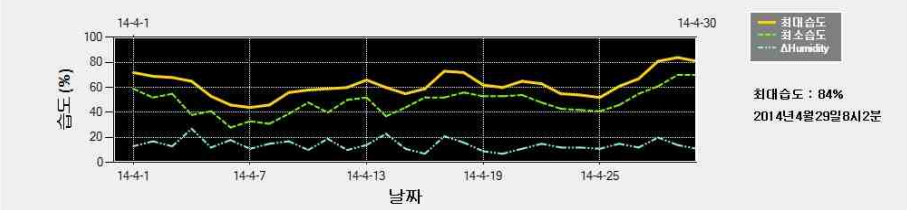


그림 2.2.142 금정사갱 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 6월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 94%이며 여름인 기간인 8월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 12월과 1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

3. 일반 영동선 터널(솔안터널)

기존의 심포리역 ~ 홍천역 ~ 나한정역 구간을 대신할 루프식 터널로써 백두대간을 관통하는 16.7km의 구내에서 두 번째로 긴 최장거리 터널이다. 난공사로 인해 첨단기술과 전문일력이 투입되었으며 장기적으로 복선전철에 대비한 예비시설도 갖추게 된다. 솔안터널의 개통으로 영동선 열차는 5회가 더 증편되었고 30퍼밀 이상 급구배 역시 24.5퍼밀로 크게 낮아져 노반 안정성을 확보하게 되었다. 또한 동백산역 ~ 도계역 구간 터널 16곳이 하나로 합쳐지게 되는 효과를 가져오게 된다.

가. 환경측정시스템 설치 및 측정

(1) 측정 기간

솔안터널의 측정 기간은 2013년 6월 19일 설치를 하였지만 초기 단계에서 정확한 데이터 측정이 불가능하여 2013년 7월에 다시 점검을 하여 현재까지 측정을 진행중에 있다.

(2) 설치 위치 및 위치별 센서 구성



그림 2.2.143 솔안터널 TREMS 설치구간

터널환경측정장치의 설치위치는 위의 그림에 표시된 붉은 점들이다. 각각의 붉은 점들의 위치는 사갱(시점 106.240), 본선(104.575), 수직구(102.395)의 위치에 설치되어있다.

(가) 솔안사갱에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 106.240에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 화재감지기이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 측정하는 장치 및 화재감지기가 설치되어있다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송을 하며 화재감지를 하면 똑같이 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.144 솔안터널 사갱에 설치된 터널환경측정장치

(나) 솔안본선에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 104.575에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 풍향풍속계이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 와 풍향계의 풍속, 방향각, 고도각의 데이터를 측정하는 장치이다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.145 솔안터널 본선에 설치된 터널환경측정장치

③ 솔안신호장에 설치되어있는 터널환경측정장치는 시점으로부터 102.395에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치 + 풍향풍속계이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 와 풍향계의 풍속, 방향각, 고도각의 데이터를 측정하는 장치이다. 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드

폰으로 설정된 메시지를 전송한다. 그리고 24시간 마다 장치를 클린해주는 시스템도 함께 설치되어있다.



그림 2.2.146 솔안터널 신호장에 설치된 터널환경측정장치

(다) 감지기 경년시험 설치

기존 감지기 설치는 모두 정온식 감지기로 사용을 하였지만 감지기의 경년시험을 위해 정온식 감지기1개, 연기감지기4개, 차동식 감지기1개로 변환하여 설치하였다. 설치 기간은 2013년 12월 28일에 설치를 하였고 지금까지 특별한 이상 징후 없이 작동되고 있다. 밑의 사진에서 붉은색 선 내부에 있는 감지기가 연기감지기이고 파랑색 선 내부에 있는 감지기가 차동식 감지기이고 나머지 부분이 정온식 감지기이다.



그림 2.2.147 감지기 경년시험 설치

나. 측정결과

(1) 솔안본선

(가) 풍속

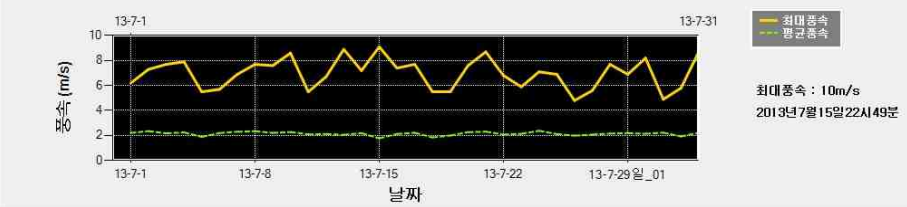


그림 2.2.148 솔안본선 2013년 7월 풍속

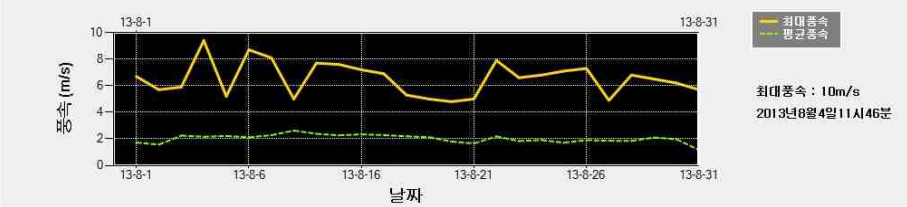


그림 2.2.149 솔안본선 2013년 8월 풍속

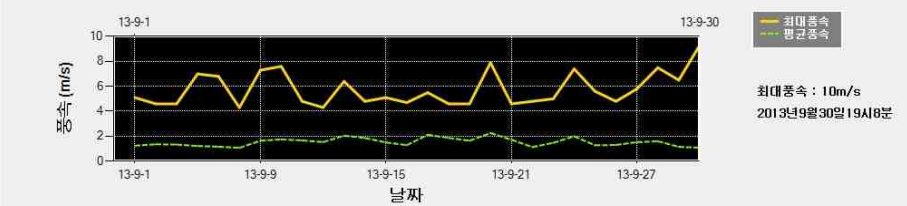


그림 2.2.150 솔안본선 2013년 9월 풍속

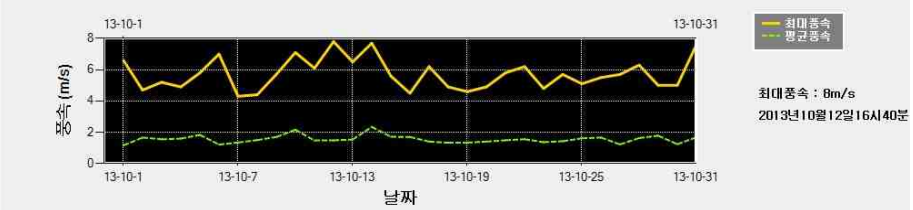


그림 2.2.151 솔안본선 2013년 10월 풍속

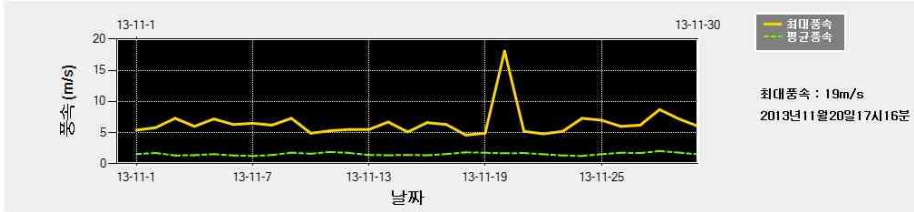


그림 2.2.152 솔안본선 2013년 11월 풍속

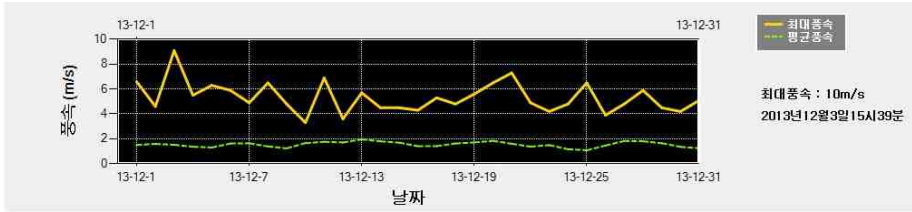


그림 2.2.153 솔안본선 2013년 12월 풍속

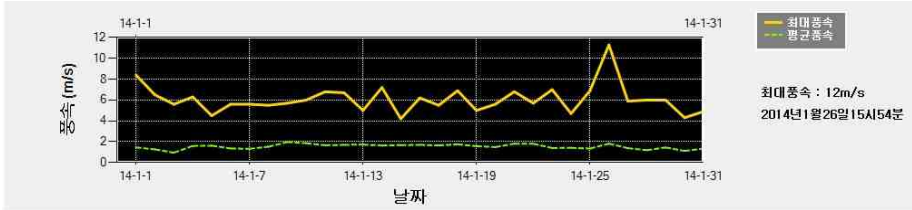


그림 2.2.154 솔안본선 2014년 1월 풍속

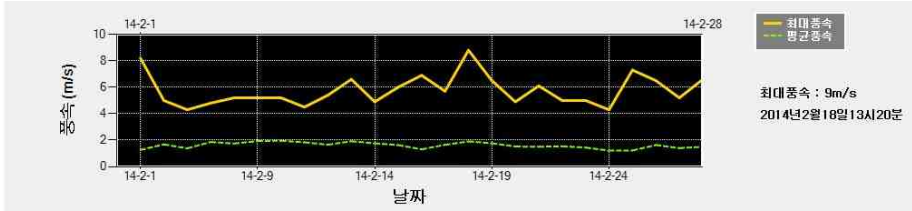


그림 2.2.155 솔안본선 2014년 2월 풍속

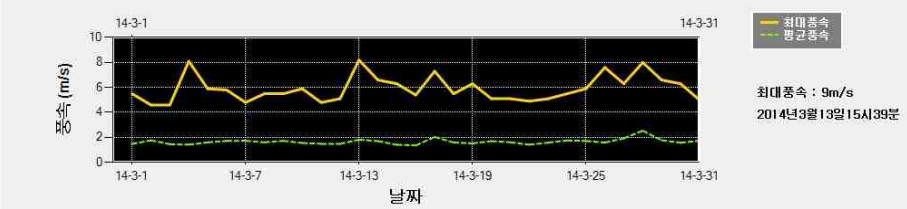


그림 2.2.156 솔안본선 2014년 3월 풍속

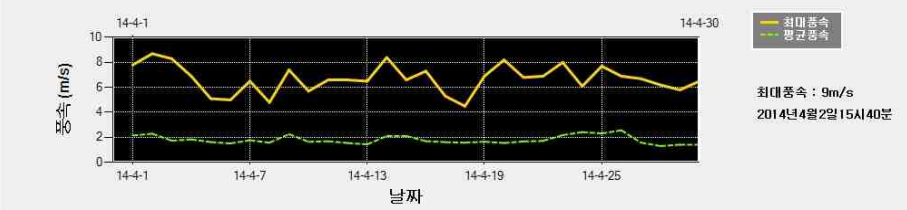


그림 2.2.157 솔안본선 2014년 4월 풍속

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 풍속의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 풍속은 19m/s 정도의 속도이며 최소 풍속은 1m/s ~ 2m/s로 나왔다. 그 이유는 솔안터널의 풍속은 열차가 지나갈 때 생기는 풍속과 환기 기구의 풍속이 있기 때문에 열차가 다니지 않는 시간에도 1m/s ~ 2m/s의 풍속을 확인할 수 있다.

(나) 온도

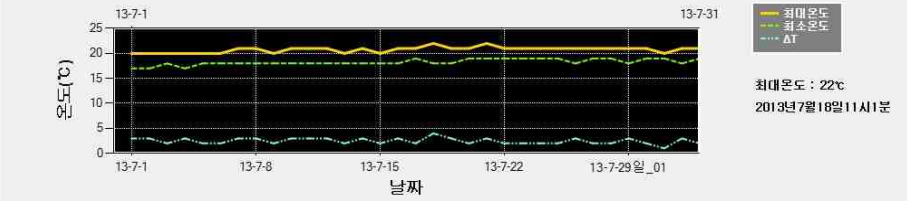


그림 2.2.158 솔안본선 2013년 7월 온도

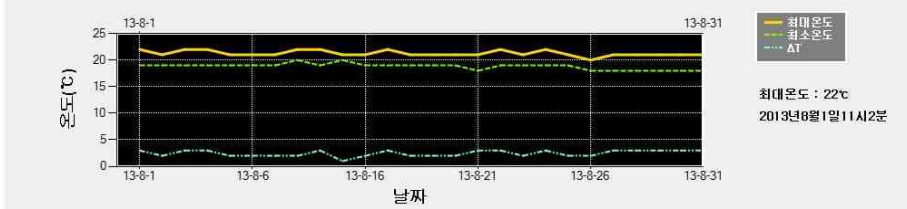


그림 2.2.159 솔안본선 2013년 8월 온도

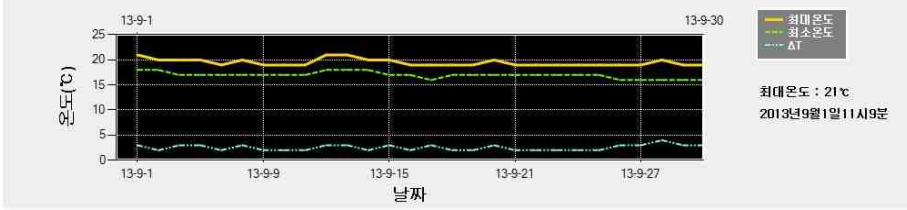


그림 2.2.160 솔안본선 2013년 9월 온도

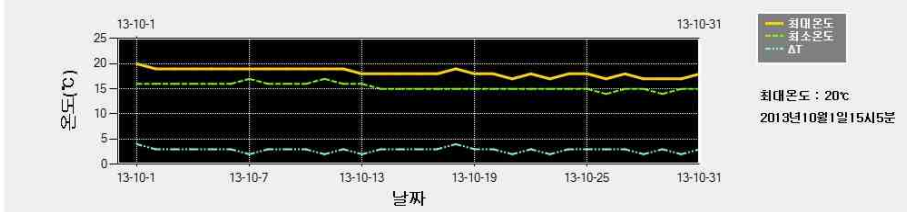


그림 2.2.161 솔안본선 2013년 10월 온도

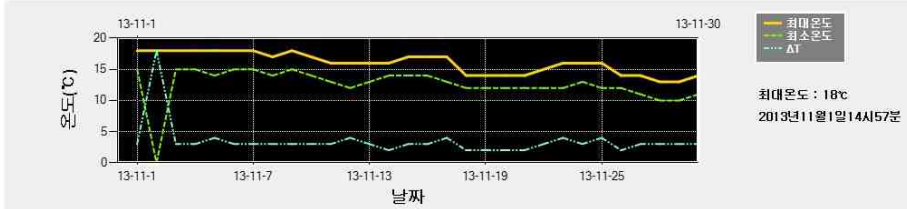


그림 2.2.162 솔안본선 2013년 11월 온도

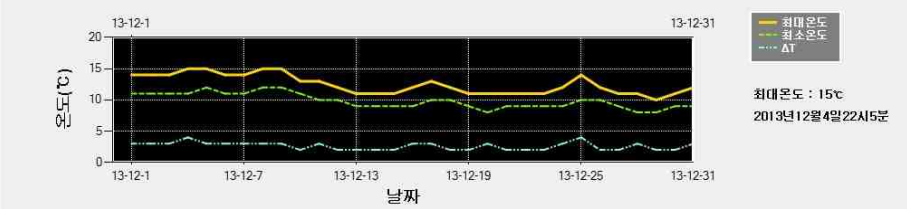


그림 2.2.163 솔안본선 2013년 12월 온도

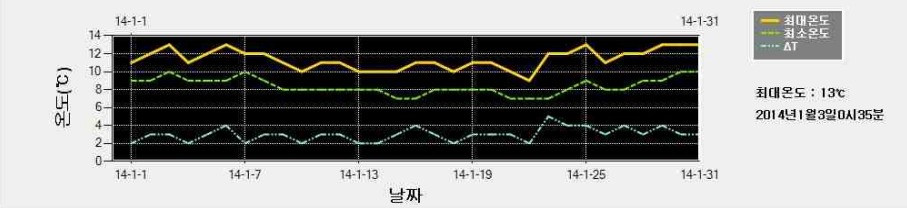


그림 2.2.164 솔안본선 2014년 1월 온도

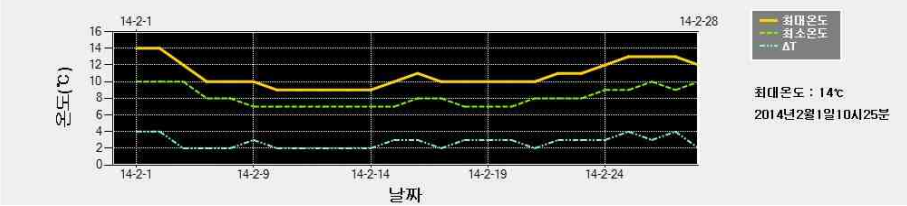


그림 2.2.165 솔안본선 2014년 2월 온도

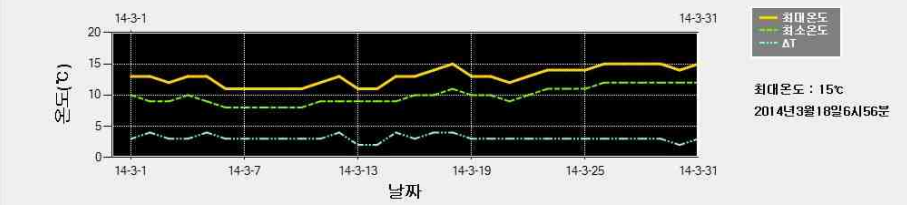


그림 2.2.166 솔안본선 2014년 3월 온도

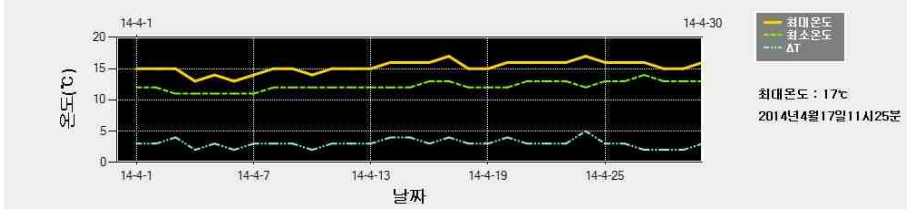


그림 2.2.167 솔안본선 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 7, 8월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 6℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(다) 먼지

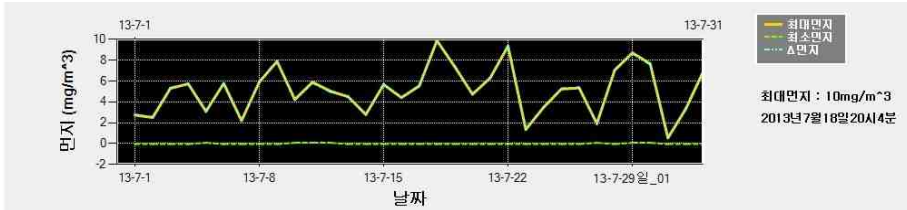


그림 2.2.168 솔안본선 2013년 7월 먼지

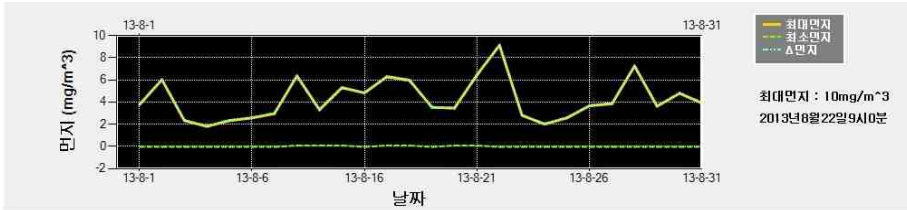


그림 2.2.169 솔안본선 2013년 8월 먼지

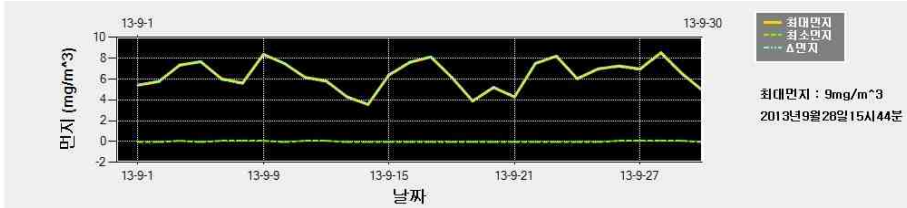


그림 2.2.170 솔안본선 2013년 9월 먼지



그림 2.2.171 솔안본선 2013년 10월 먼지

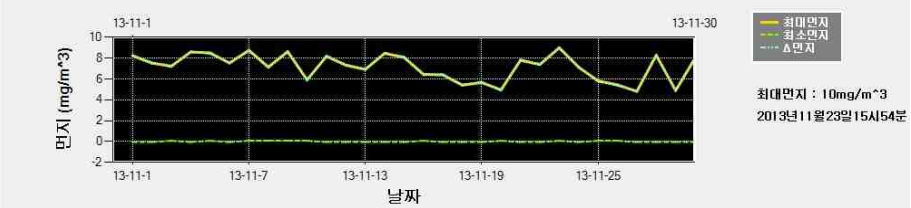


그림 2.2.172 솔안본선 2013년 11월 먼지

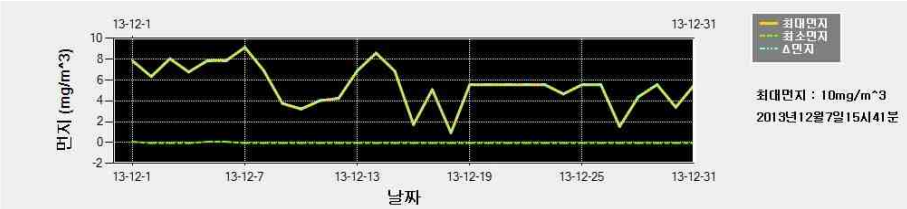


그림 2.2.173 솔안본선 2013년 12월 먼지

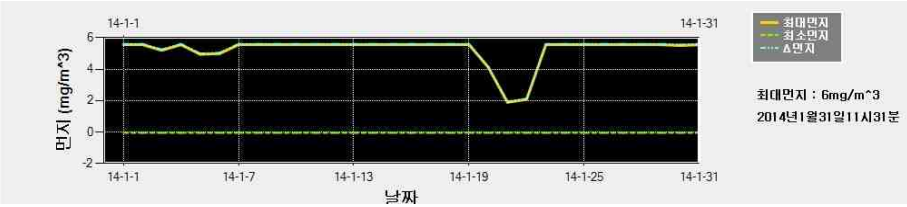


그림 2.2.174 솔안본선 2014년 1월 먼지

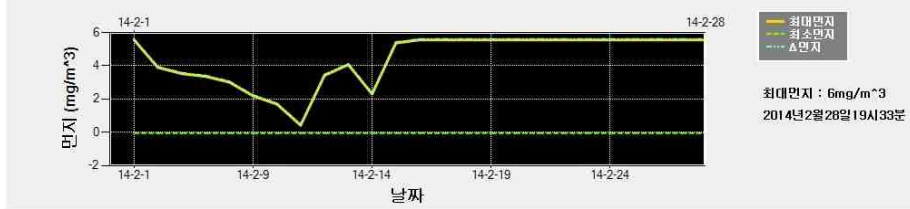


그림 2.2.175 솔안본선 2014년 2월 먼지

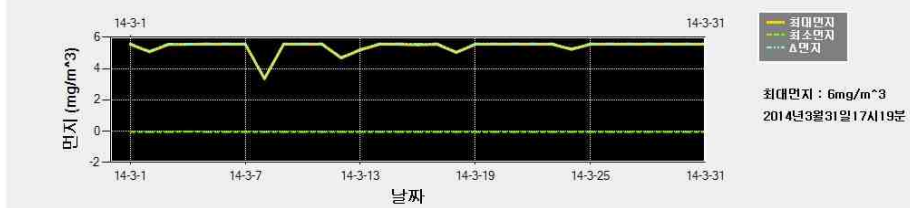


그림 2.2.176 솔안본선 2014년 3월 먼지

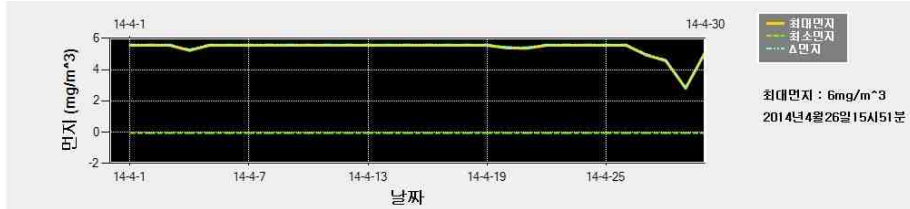


그림 2.2.177 솔안본선 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 10mg/m³ 정도이며 최소 농도는 0mg/m³으로 나타났다. 솔안터널의 경우 터널내 환경이 좋지 않기 때문에 먼지의 농도 그래프가 높게 나타났다.

(라) 습도

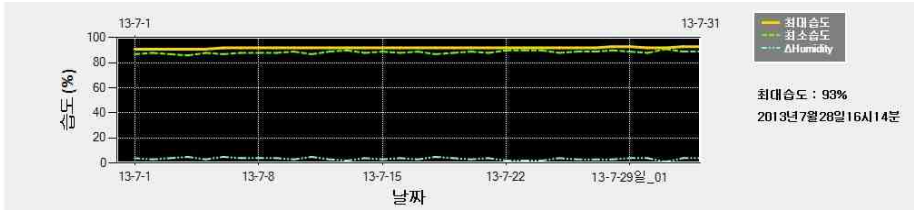


그림 2.2.178 솔안본선 2013년 7월 습도

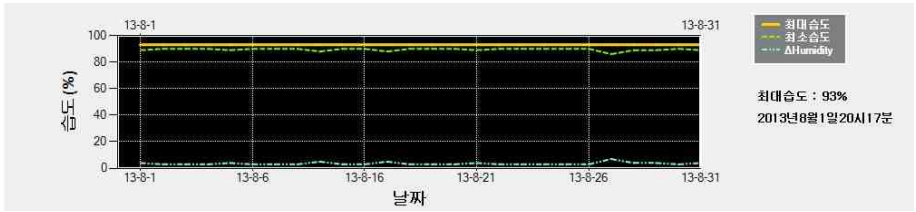


그림 2.2.179 솔안본선 2013년 8월 습도

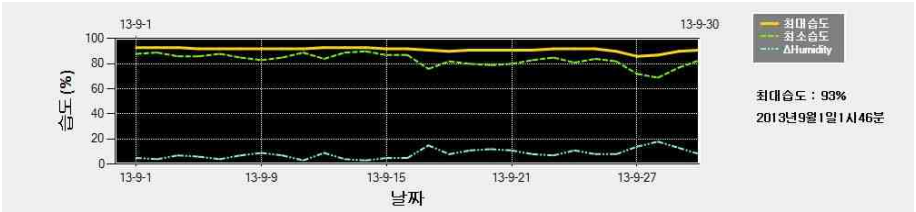


그림 2.2.180 솔안본선 2013년 9월 습도

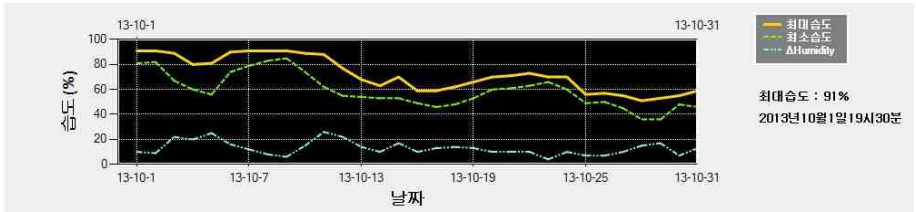


그림 2.2.181 솔안본선 2013년 10월 습도

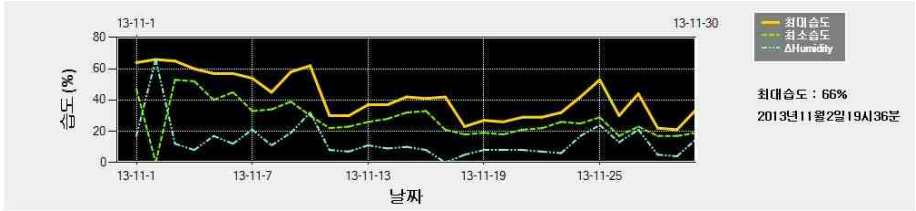


그림 2.2.182 솔안본선 2013년 11월 습도

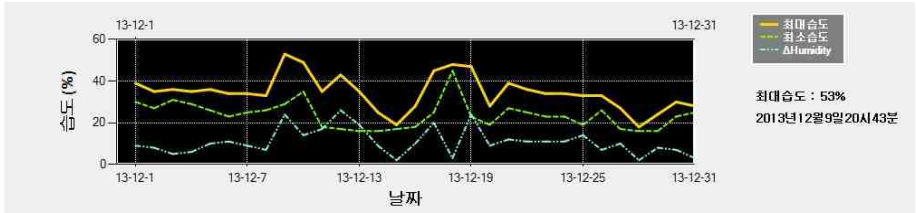


그림 2.2.183 솔안본선 2013년 12월 습도

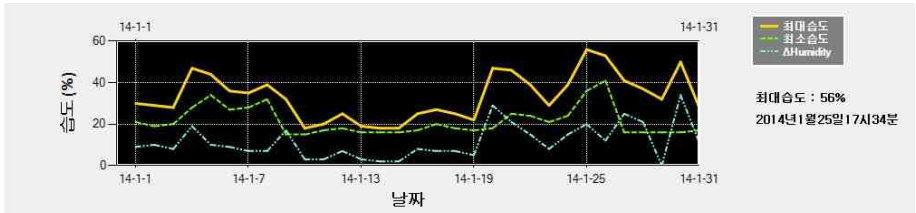


그림 2.2.184 솔안본선 2014년 1월 습도

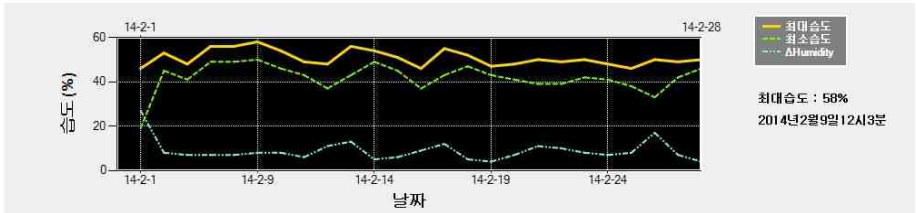


그림 2.2.185 솔안본선 2014년 2월 습도

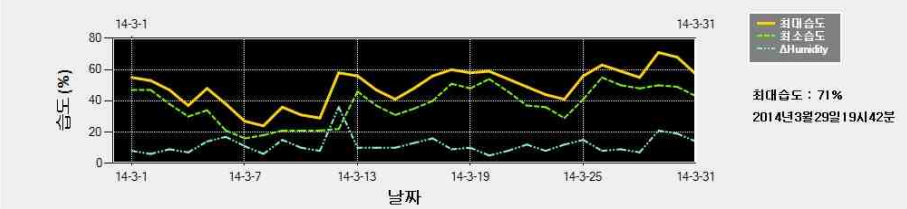


그림 2.2.186 솔안본선 2014년 3월 습도

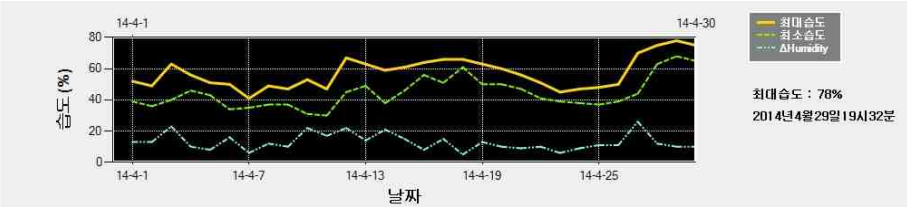


그림 2.2.187 솔안본선 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 93%이며 여름인 기간인 7, 8, 9월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 12월과 1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

(2) 솔안신호장

(가) 풍속



그림 2.2.188 솔안신호장 2013년 7월 풍속

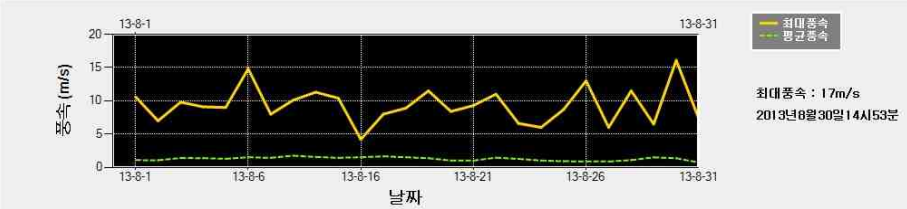


그림 2.2.189 솔안신호장 2013년 8월 풍속

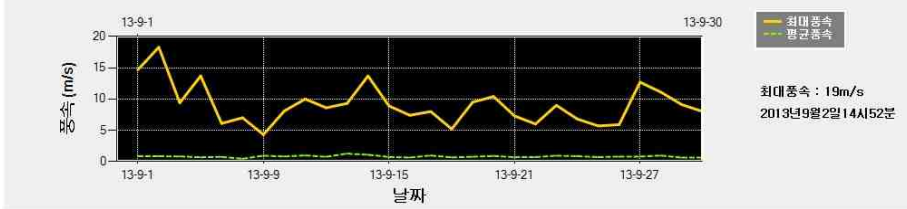


그림 2.2.190 솔안신호장 2013년 9월 풍속

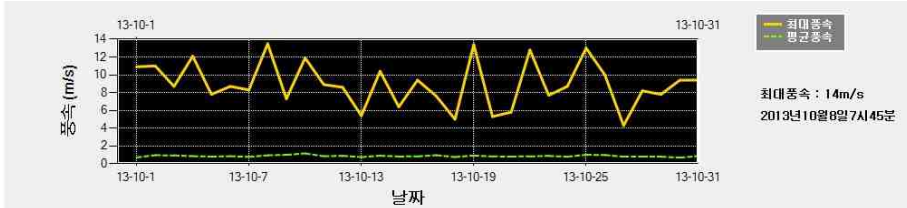


그림 2.2.191 솔안신호장 2013년 10월 풍속

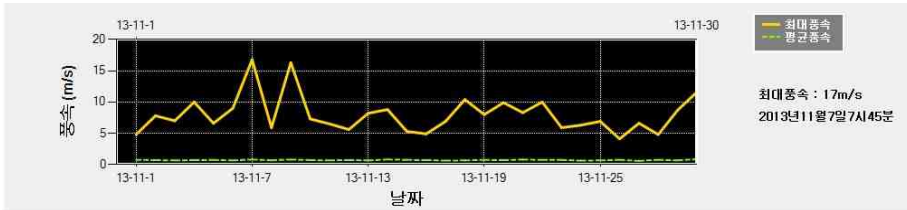


그림 2.2.192 솔안신호장 2013년 11월 풍속

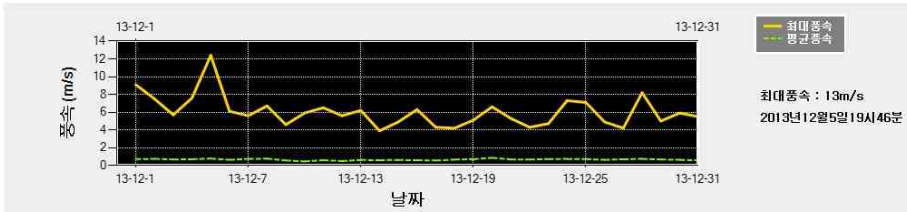


그림 2.2.193 솔안신호장 2013년 12월 풍속



그림 2.2.194 솔안신호장 2014년 1월 풍속

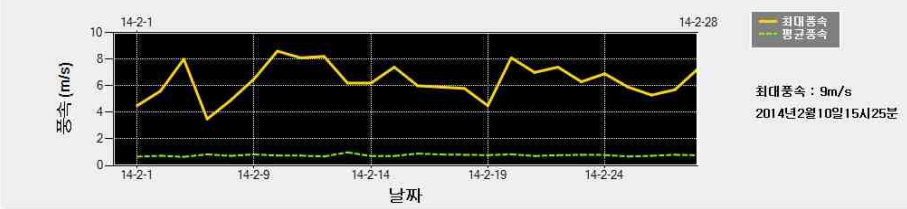


그림 2.2.195 솔안신호장 2014년 2월 풍속

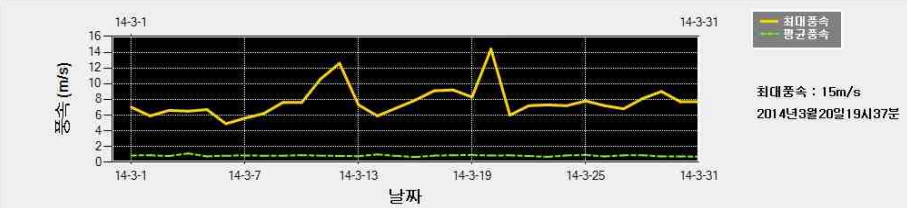


그림 2.2.196 솔안신호장 2014년 3월 풍속

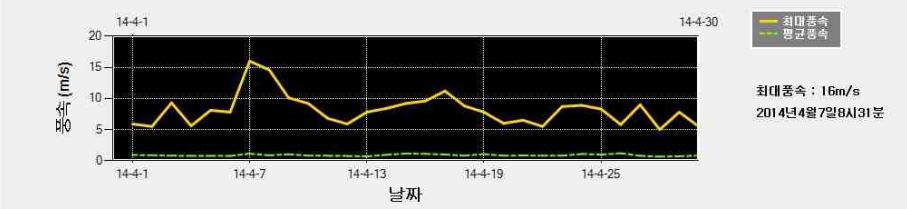


그림 2.2.197 솔안신호장 2014년 4월 풍속

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 풍속의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 풍속은 19m/s 정도의 속도이며 최소 풍속은 0.5m/s ~ 1m/s로 나왔다. 그 이유는 솔안터널의 풍속은 열차가 지나갈 때 생기는 풍속과 환기 기구의 풍속이 있기 때문에 열차가 다니지 않는 시간에도 1m/s ~ 2m/s의 풍속을 확인할 수 있다.

(나) 온도

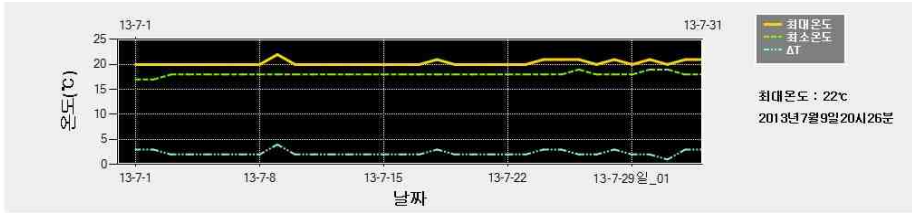


그림 2.2.198 솔안신호장 2013년 7월 온도

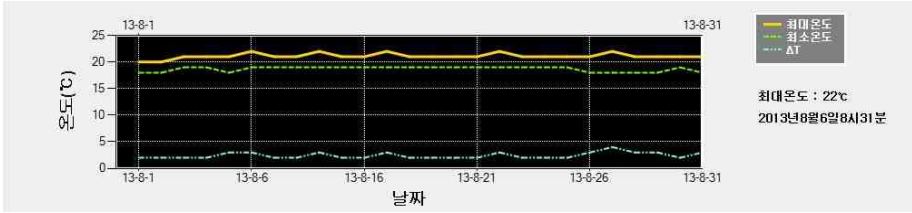


그림 2.2.199 솔안신호장 2013년 8월 온도

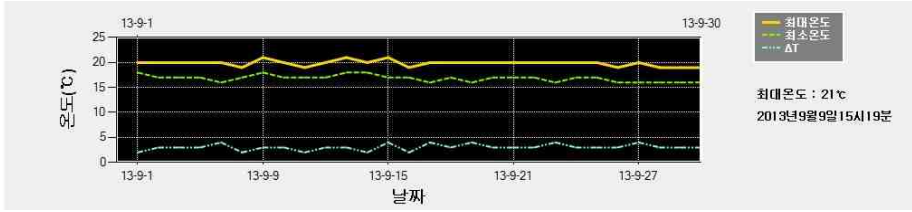


그림 2.2.200 솔안신호장 2013년 9월 온도

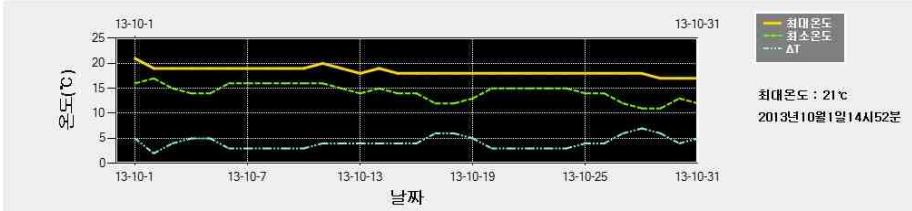


그림 2.2.201 솔안신호장 2013년 10월 온도

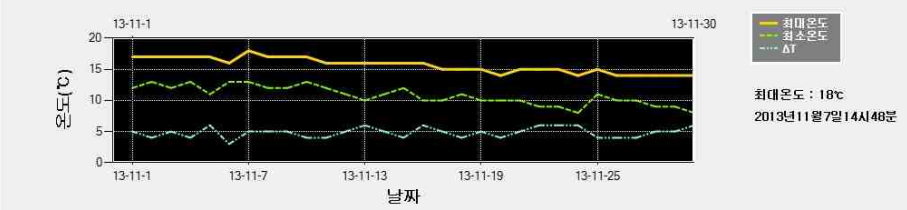


그림 2.2.202 솔안신호장 2013년 11월 온도

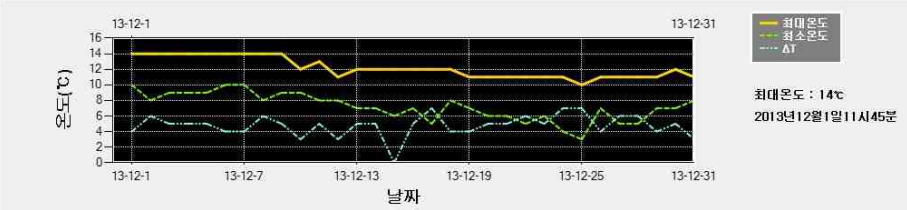


그림 2.2.203 솔안신호장 2013년 12월 온도

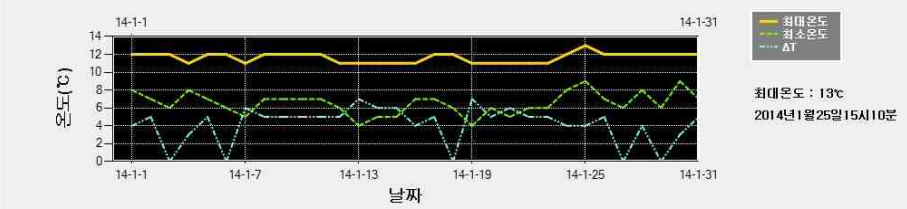


그림 2.2.204 솔안신호장 2014년 1월 온도

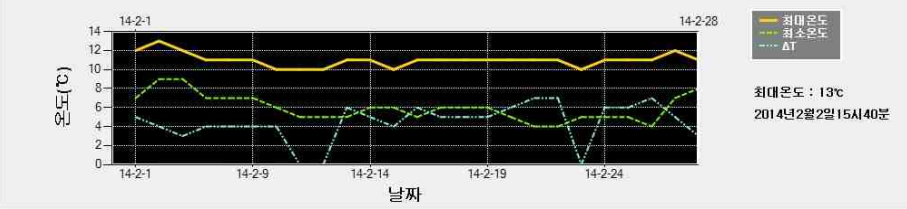


그림 2.2.205 솔안신호장 2014년 2월 온도

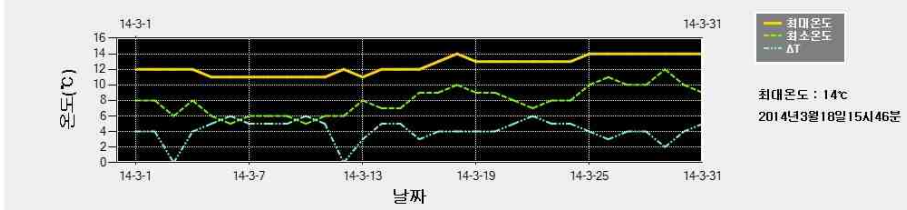


그림 2.2.206 솔안신호장 2014년 3월 온도

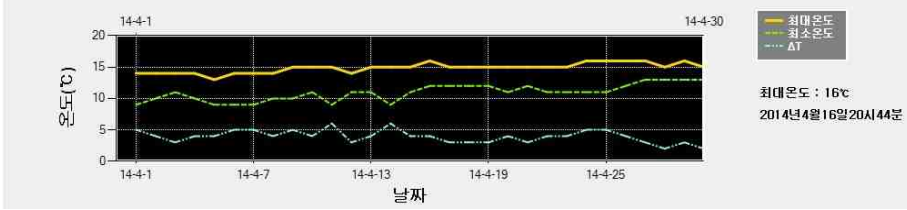


그림 2.2.207 솔안신호장 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 7, 8월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 4℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(다) 먼지

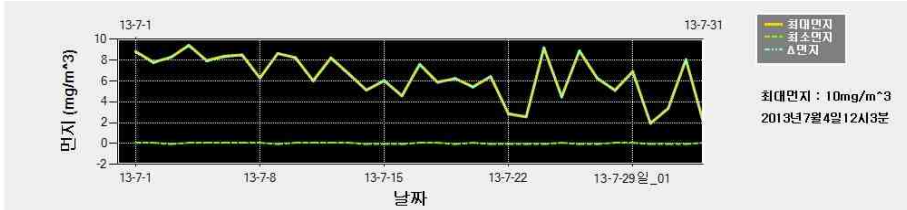


그림 2.2.208 솔안신호장 2013년 7월 먼지

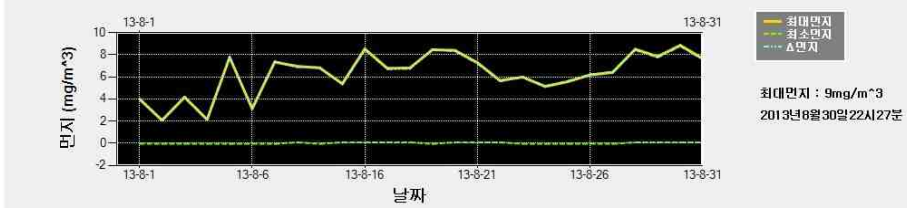


그림 2.2.209 솔안신호장 2013년 8월 먼지

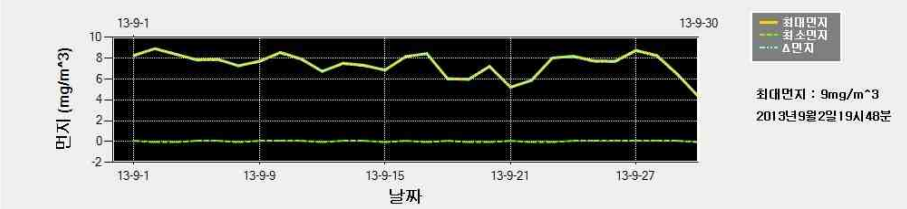


그림 2.2.210 솔안신호장 2013년 9월 먼지



그림 2.2.211 솔안신호장 2013년 10월 먼지

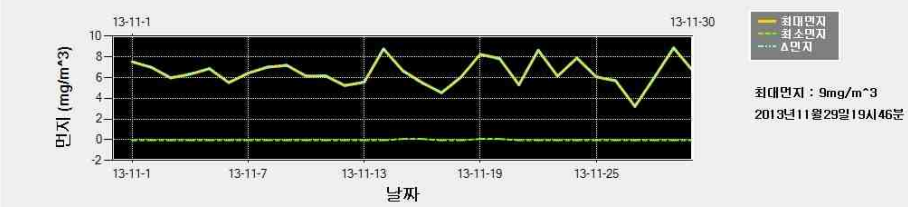


그림 2.2.212 솔안신호장 2013년 11월 먼지

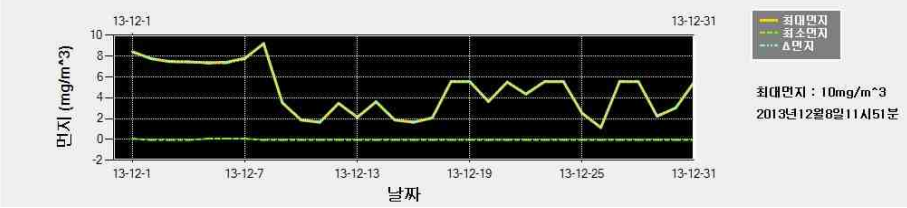


그림 2.2.213 솔안신호장 2013년 12월 먼지

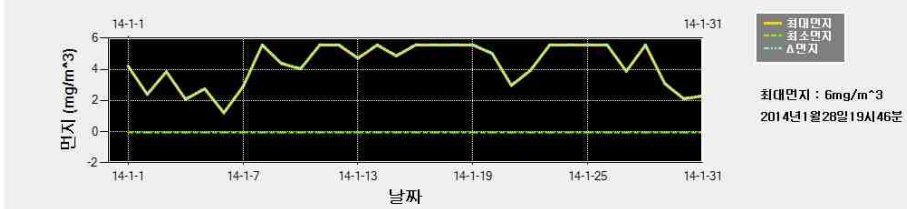


그림 2.2.214 솔안신호장 2014년 1월 먼지

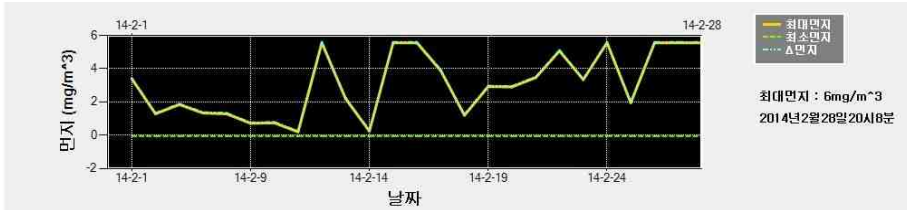


그림 2.2.215 솔안신호장 2014년 2월 먼지

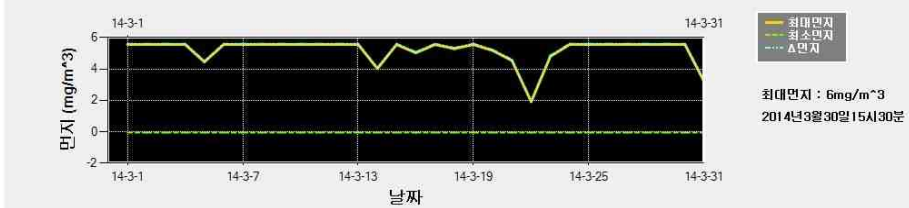


그림 2.2.216 솔안신호장 2014년 3월 먼지

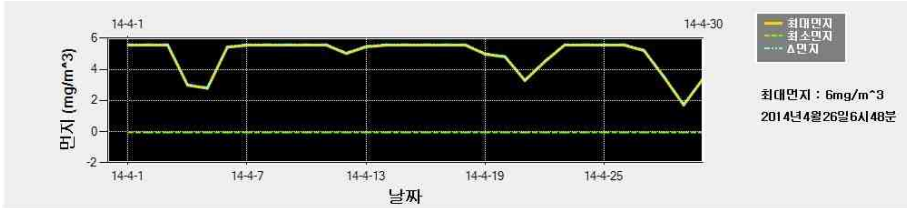


그림 2.2.217 솔안신호장 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 10mg/m^3 정도이며 최소 농도는 0mg/m^{3}으로 나타났다. 솔안터널의 경우 터널내 환경이 좋지 않기 때문에 먼지의 농도 그래프가 높게 나타났다.

(라) 습도

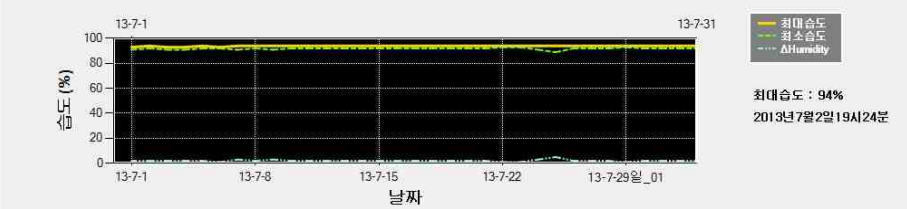


그림 2.2.218 솔안신호장 2013년 7월 습도

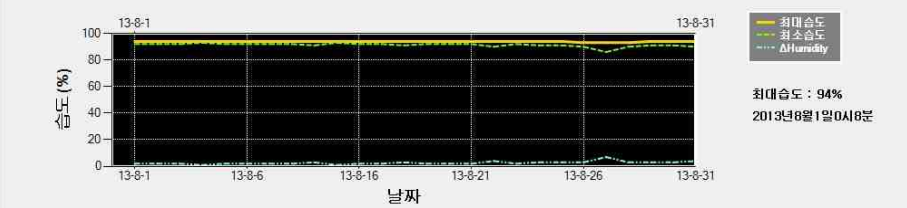


그림 2.2.219 솔안신호장 2013년 8월 습도

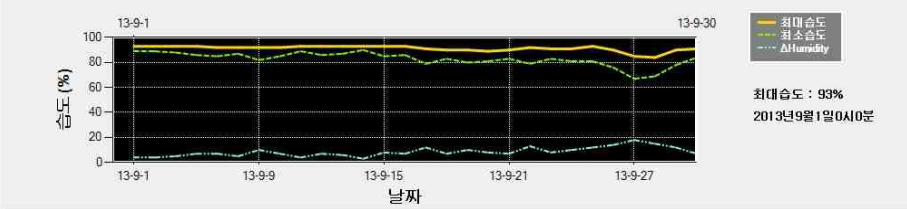


그림 2.2.220 솔안신호장 2013년 9월 습도

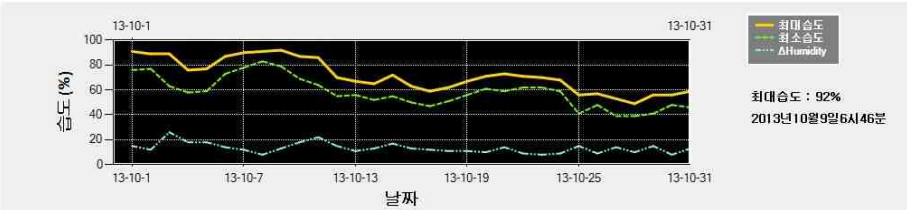


그림 2.2.221 솔안신호장 2013년 10월 습도



그림 2.2.222 솔안신호장 2013년 11월 습도

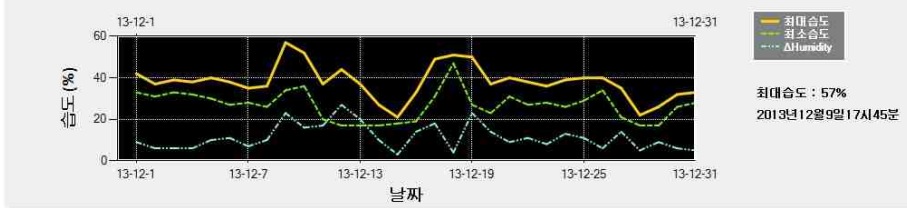


그림 2.2.223 솔안신호장 2013년 12월 습도

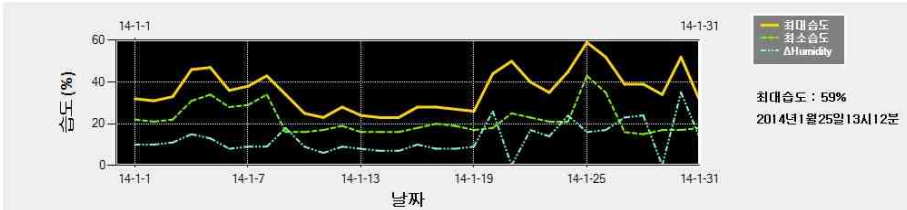


그림 2.2.224 솔안신호장 2014년 1월 습도

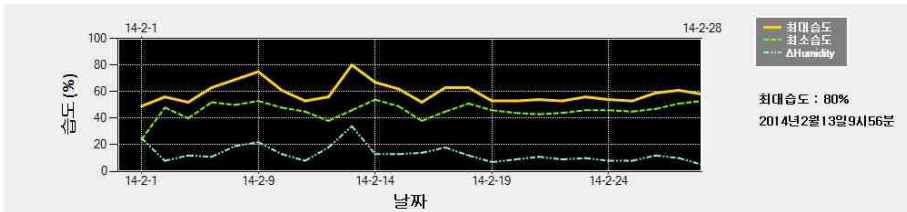


그림 2.2.225 솔안신호장 2014년 2월 습도

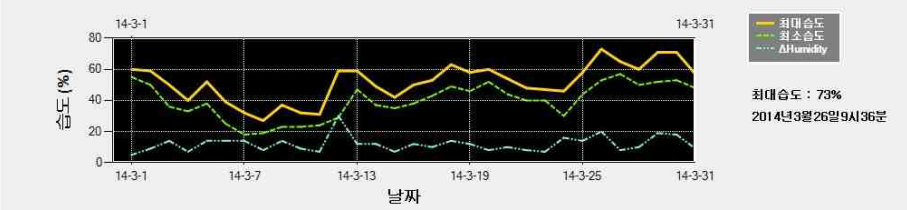


그림 2.2.226 솔안신호장 2014년 3월 습도

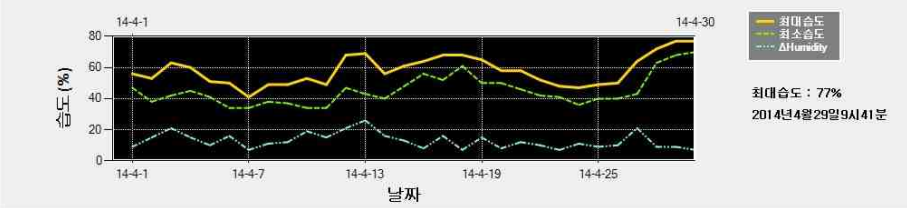


그림 2.2.227 솔안신호장 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 94%이며 여름인 기간인 7, 8월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 12월과 1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

(3) 솔안사갱

(가) 온도

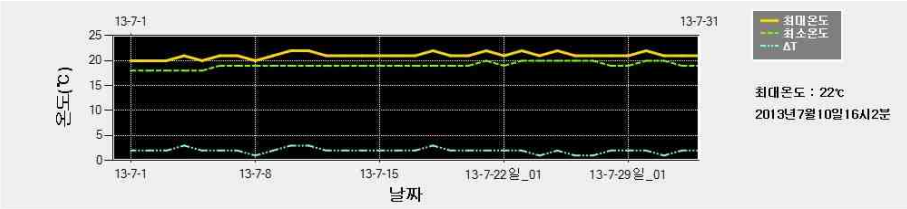


그림 2.2.228 솔안사갱 2013년 7월 온도

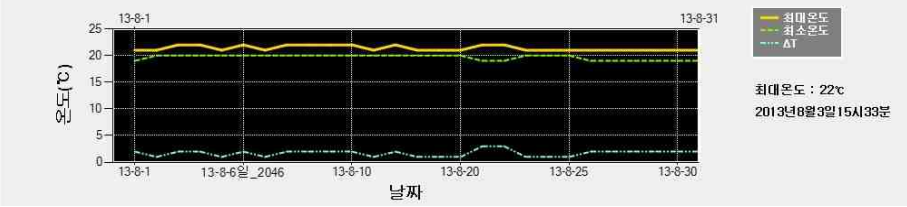


그림 2.2.229 솔안사갱 2013년 8월 온도

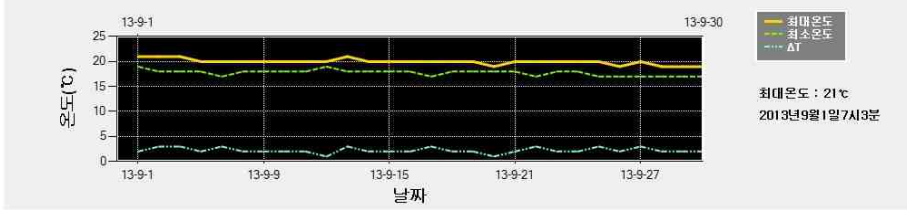


그림 2.2.230 솔안사갱 2013년 9월 온도

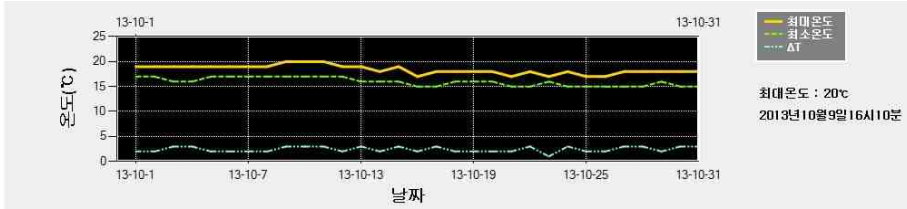


그림 2.2.231 솔안사갱 2013년 10월 온도

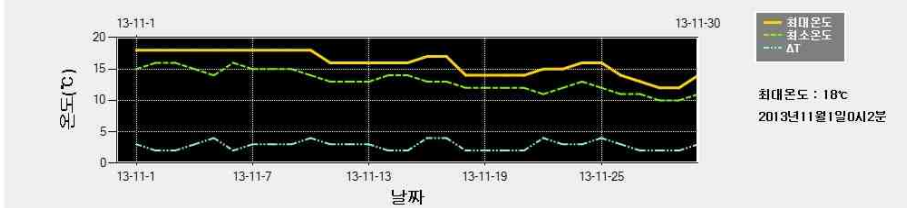


그림 2.2.232 솔안사갱 2013년 11월 온도

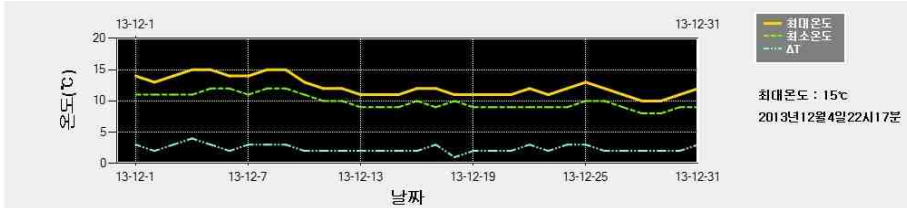


그림 2.2.233 솔안사갱 2013년 12월 온도

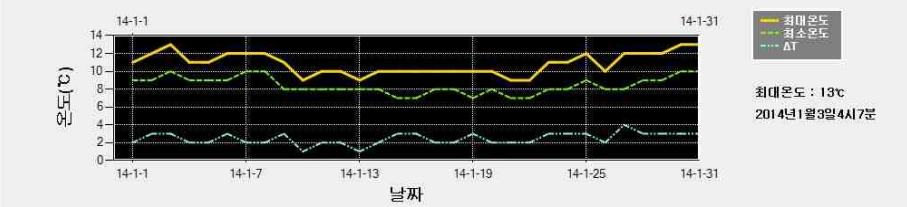


그림 2.2.234 솔안사갱 2014년 1월 온도

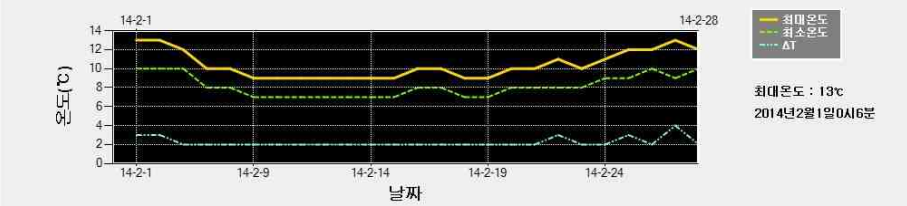


그림 2.2.235 솔안사갱 2014년 2월 온도

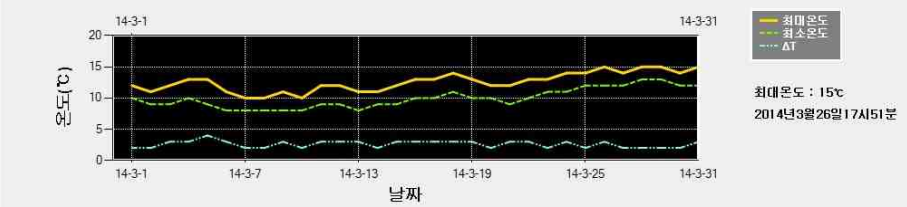


그림 2.2.236 솔안사갱 2014년 3월 온도

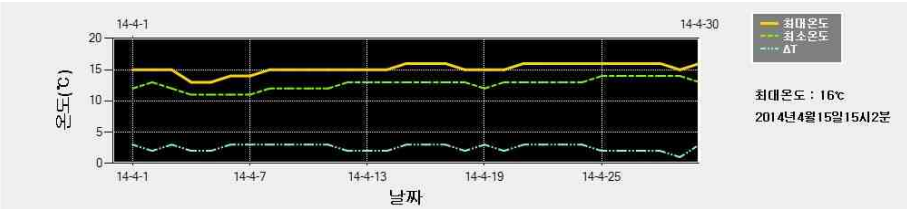


그림 2.2.237 솔안사갱 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 7, 8월의 온도가 가장 높았고 한겨울에도 6℃ 이하로는 온도가 내려가지 않고 최고온도와 최저온도차가 크지 않고 영하로는 내려가지 않는 특징을 볼 수 있다.

(나) 먼지

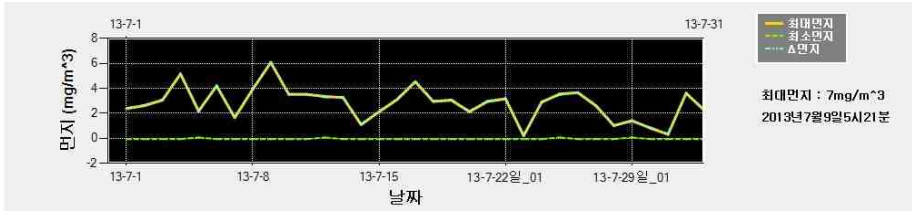


그림 2.2.238 솔안사갱 2013년 7월 먼지

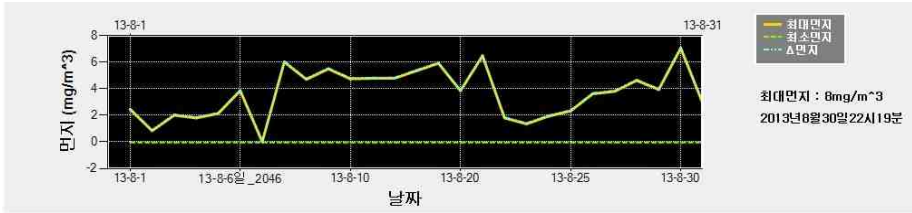


그림 2.2.239 솔안사갱 2013년 8월 먼지

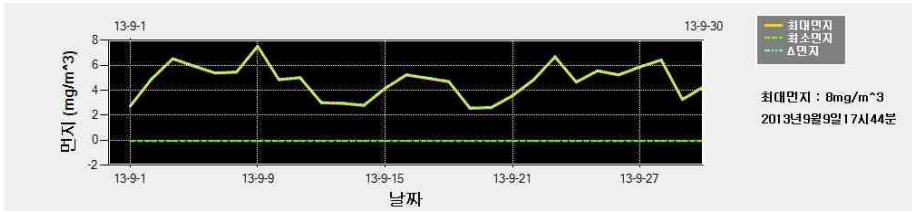


그림 2.2.240 솔안사갱 2013년 9월 먼지

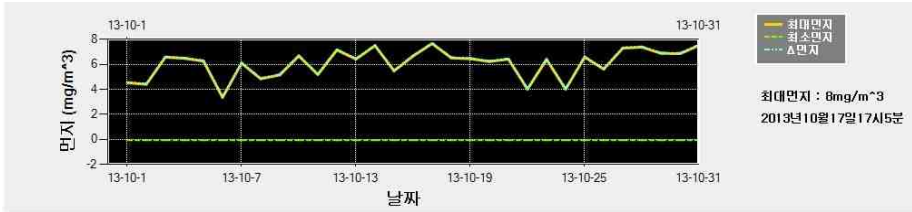


그림 2.2.241 솔안사갱 2013년 10월 먼지

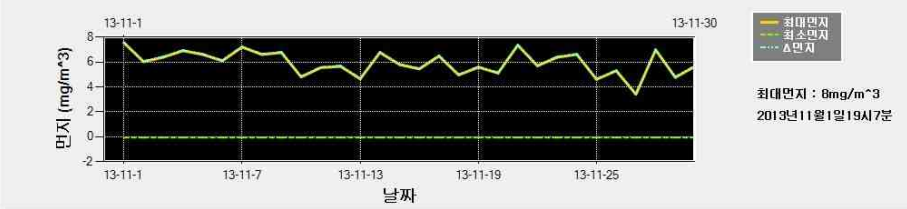


그림 2.2.242 솔안사갱 2013년 11월 먼지

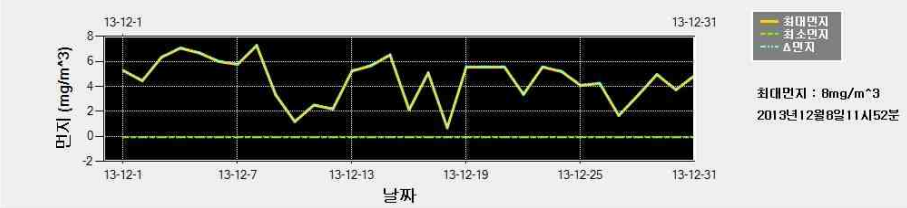


그림 2.2.243 솔안사갱 2013년 12월 먼지

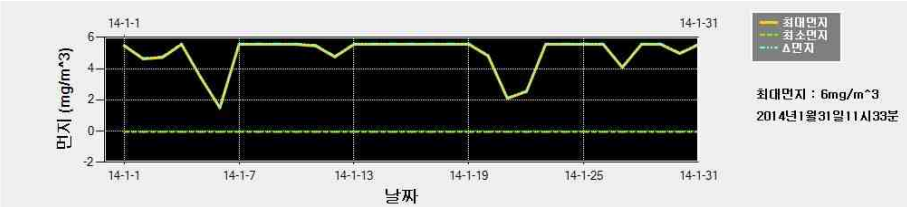


그림 2.2.244 솔안사갱 2014년 1월 먼지

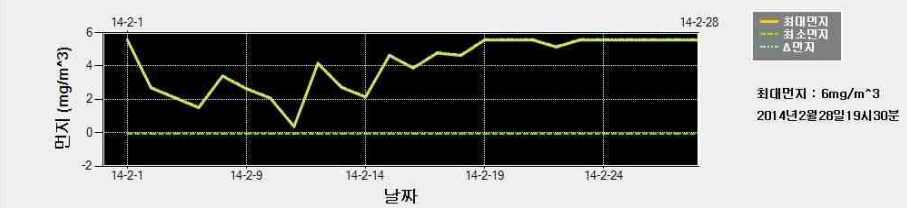


그림 2.2.245 솔안사갱 2014년 2월 먼지

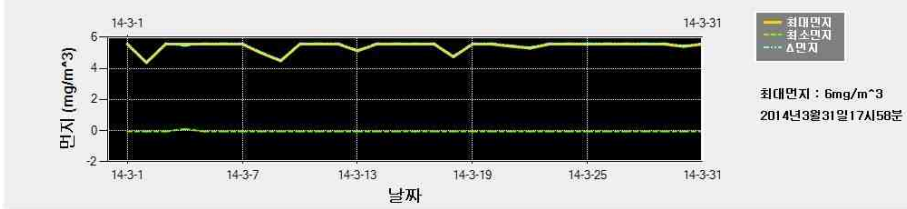


그림 2.2.246 솔안사갱 2014년 3월 먼지

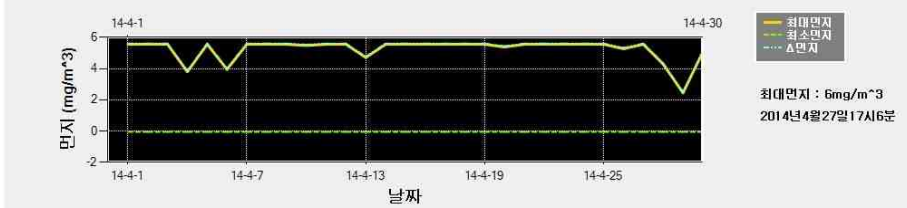


그림 2.2.247 솔안사갱 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 8mg/m^3 정도이며 최소 농도는 0mg/m^{3}으로 나타났다. 솔안터널의 경우 터널내 환경이 좋지 않기 때문에 먼지의 농도 그래프가 높게 나타났다.

(다) 습도

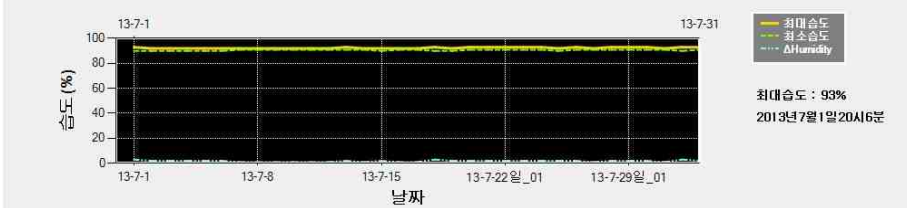


그림 2.2.248 솔안사갱 2013년 7월 습도

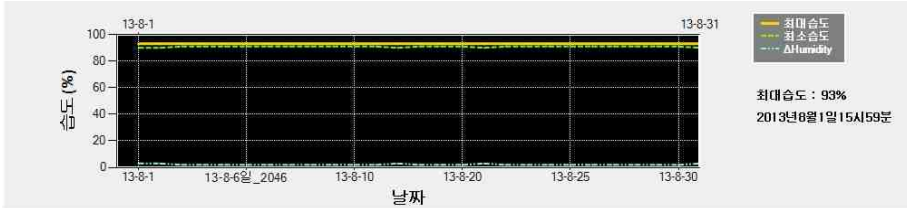


그림 2.2.249 솔안사갱 2013년 8월 습도

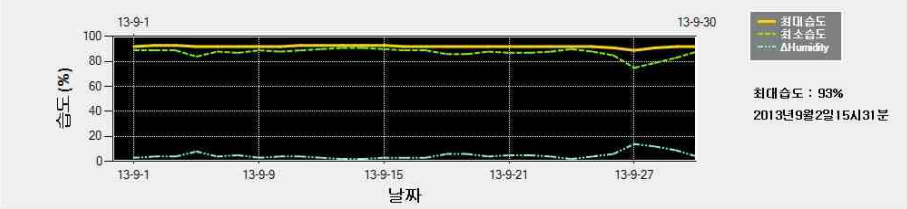


그림 2.2.250 솔안사갱 2013년 9월 습도

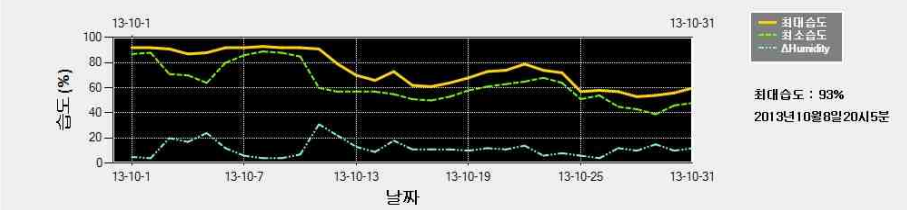


그림 2.2.251 솔안사갱 2013년 10월 습도

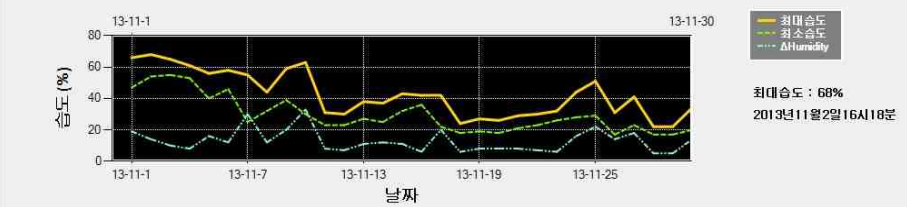


그림 2.2.252 솔안사갱 2013년 11월 습도

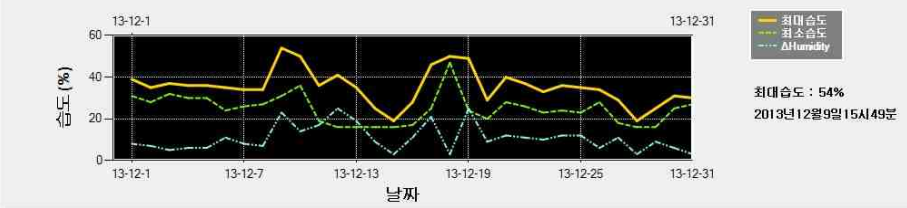


그림 2.2.253 솔안사갱 2013년 12월 습도

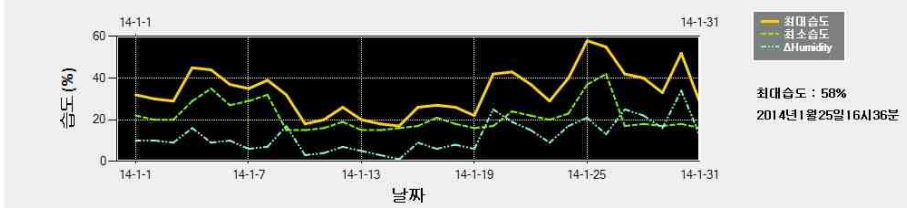


그림 2.2.254 솔안사갱 2014년 1월 습도

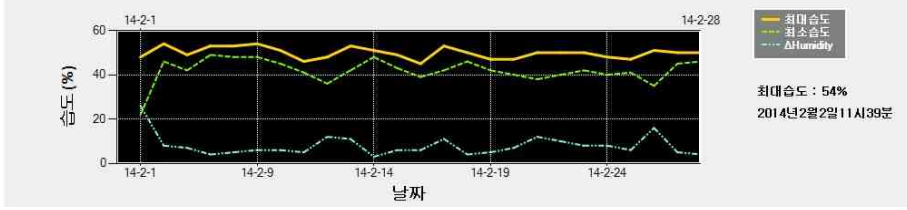


그림 2.2.255 솔안사갱 2014년 2월 습도

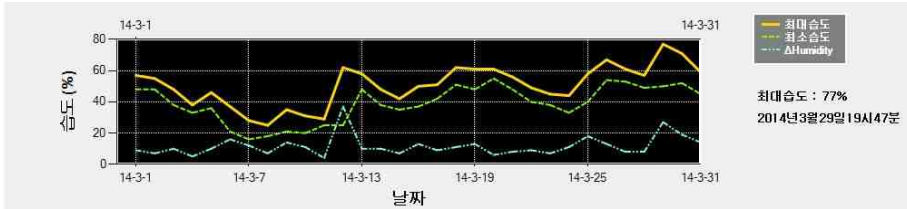


그림 2.2.256 솔안사갱 2014년 3월 습도

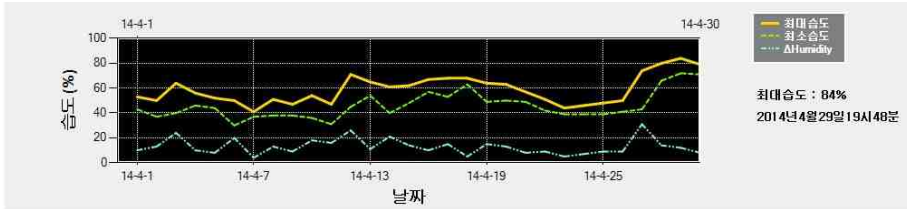


그림 2.2.257 솔안사갱 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 7월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 93%이며 여름인 기간인 7, 8, 9, 10월에 가장습도가 높았으며 반면 겨울 기간인 12월과 1월에 가장 낮은 최대습도가 측정되었다.

4. 지하철 본선터널(과천선 금정-범계, 평촌-인덕원 간 본선터널)

과천선은 1990년대 초 수도권 5대 신도시(산본, 평촌, 분당, 일산, 중동)건설과 함께 추진된 노선으로, 이 중 평촌신도시와 과천시, 서울특별시를 이을 목적으로 대한민국 철도청의 주도로 건설된 노선이다. 안산선 금정역에서 평촌신도시, 정부제2종합청사(정부과천청사)를 거쳐 서울지하철 2호선 및 4호선의 환승역인 사당역까지를 연결한다. 1993년 1월 15일부터 1994년 3월 31일까지는 안산선과 같이 수도권 전철 1호선이 운행하였고, 1994년 4월 1일부터 전구간 개통과 동시에 수도권 전철 4호선이 운행하게 되었다.

가. 환경측정시스템 설치 및 측정

(1) 측정 기간

지하철터널의 측정 기간은 2013년 8월 30일 설치를 하였하였고 측정 데이터는 9월 1일부터 측정하였다.

(2) 설치 위치 및 위치별 센서 구성

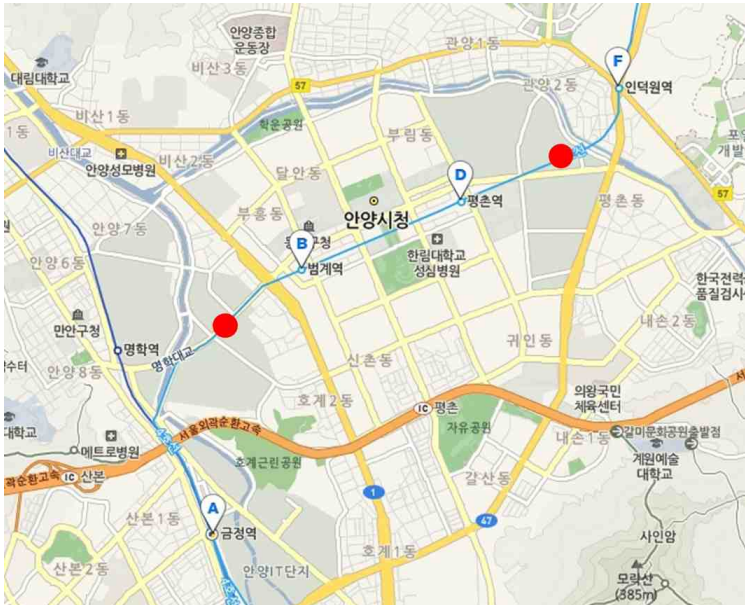


그림 2.2.258 과천선 TREMS 설치구간

지하철에 설치되어있는 터널환경측정장치는 금정-범계, 평촌-인덕원에 설치 되어있고 설치된 장치들은 기본장치이다. 기본으로 장착 되어있는 온도, 습도, 먼지, CO_2 측정하는 장치이다. 설된 장소는 지하철 4호선이며 설치된 구간은 금정-범계, 평촌-인덕원 사이 구간에 설치되어있다. 또한 데이터는 1분마다 취득하여 핸드폰 3G망을 이용하여 서버에 전송한다. 그리고 전원공급이 원활하지 않을 경우 등록된 핸드폰으로 설정된 메시지를 전송한다.

나. 측정결과

(1) 금정범계

(가) 온도

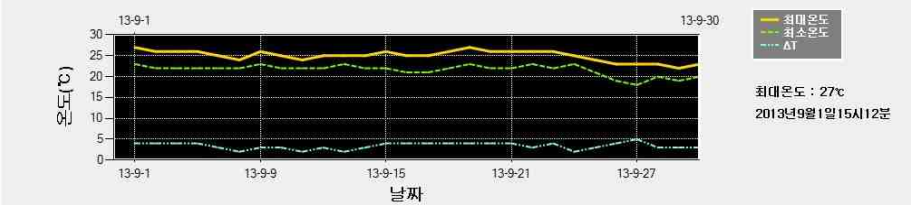


그림 2.2.259 금정범계 2013년 9월 온도

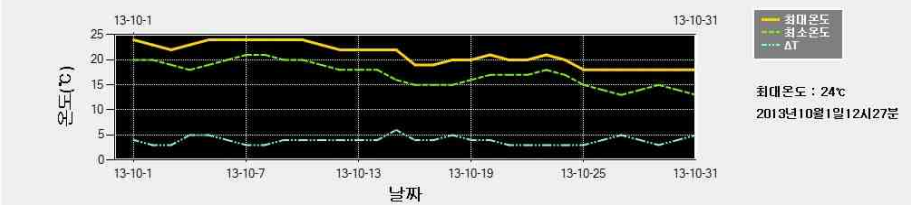


그림 2.2.260 금정범계 2013년 10월 온도

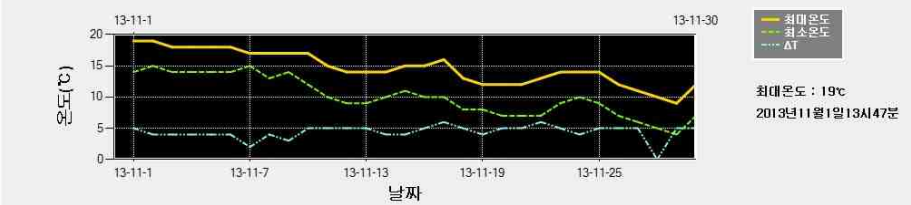


그림 2.2.261 금정범계 2013년 11월 온도

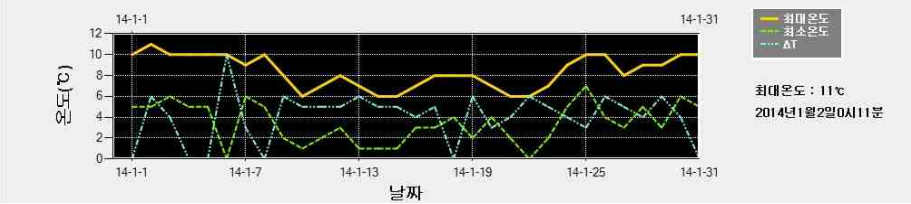


그림 2.2.262 금정범계 2014년 1월 온도

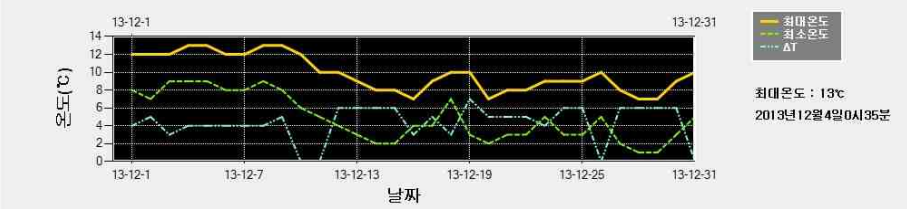


그림 2.2.263 금정범계 2013년 12월 온도

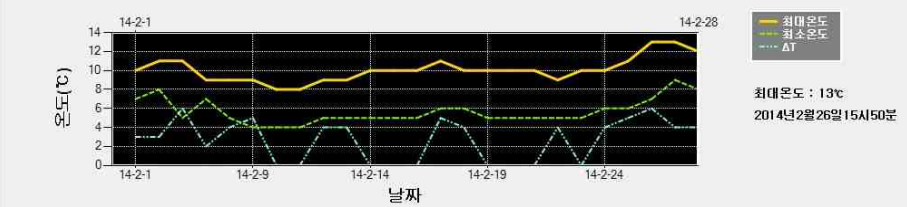


그림 2.2.264 금정범계 2014년 2월 온도

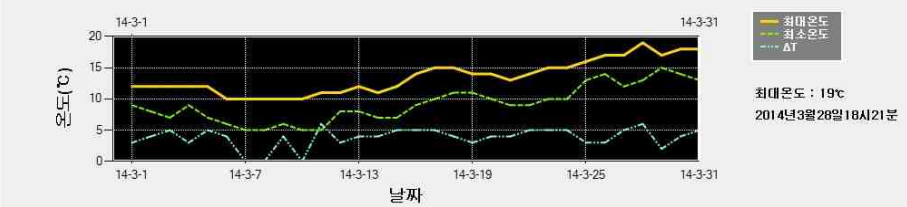


그림 2.2.265 금정범계 2014년 3월 온도

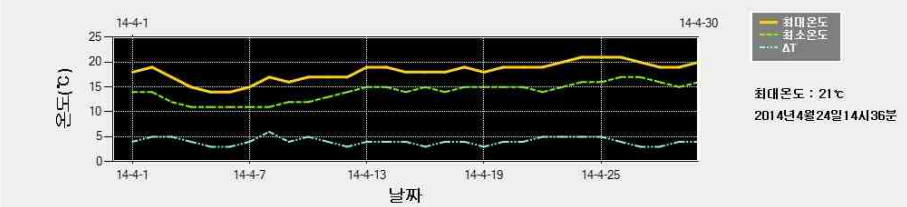


그림 2.2.266 금정범계 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 온도는 9월의 온도가 가장 높았고 다른 터널들과 달리 여름철 온도와 겨울의 최고온도가 차이가 나는 것은 터널의 입구와 터널환경측정장치 설치 위치가 500m정도의 거리로 입구와 매우 가깝기 때문이라고 분석된다.

(나) 먼지

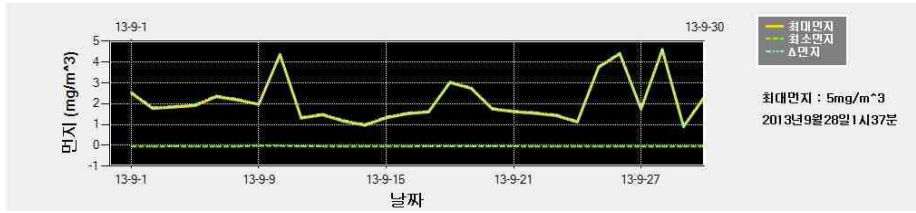


그림 2.2.267 금정범계 2013년 9월 먼지

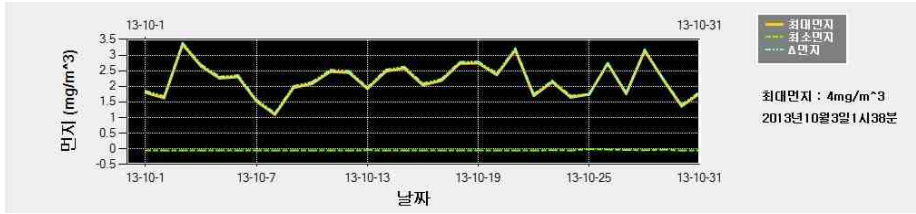


그림 2.2.268 금정범계 2013년 10월 먼지

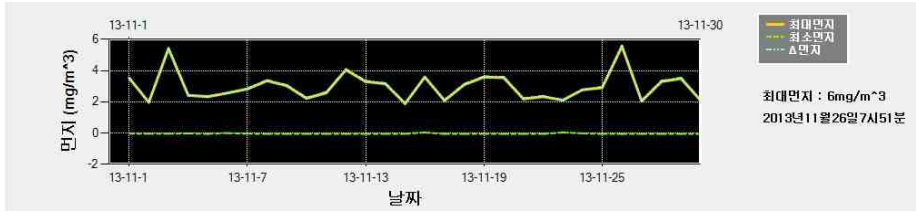


그림 2.2.269 금정범계 2013년 11월 먼지

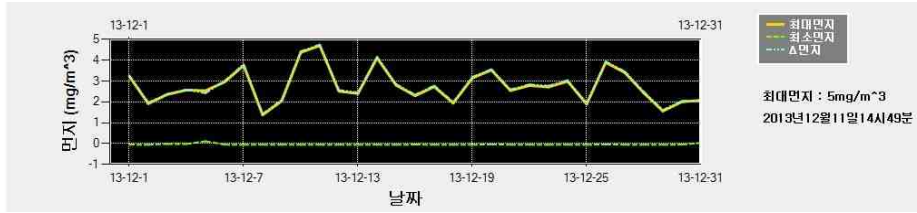


그림 2.2.270 금정범계 2013년 12월 먼지

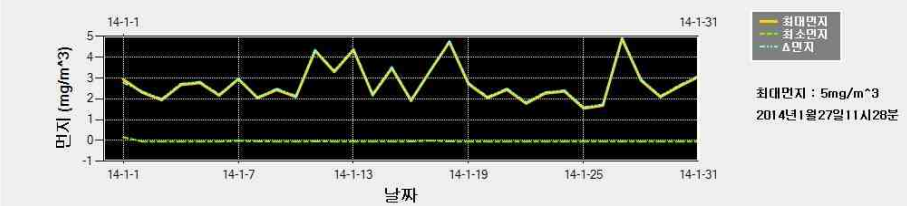


그림 2.2.271 금정범계 2014년 1월 먼지

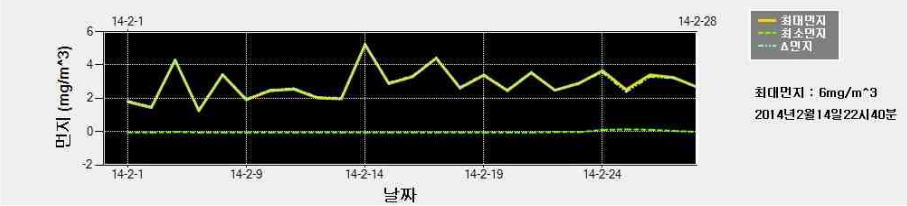


그림 2.2.272 금정범계 2014년 2월 먼지

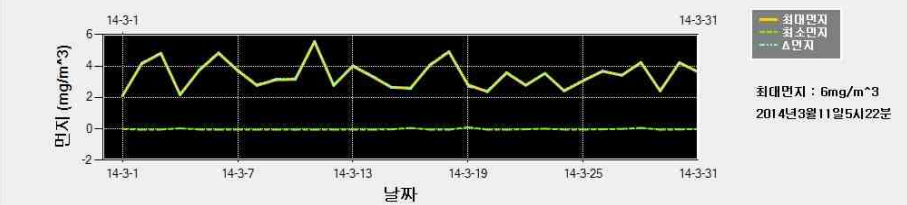


그림 2.2.273 금정범계 2014년 3월 먼지

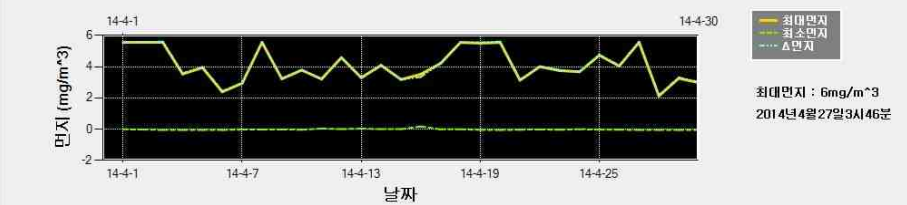


그림 2.2.274 금정범계 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 6mg/m^3 정도이며 최소 농도는 0mg/m^{3}으로 나타났다. 지하철 터널의 경우 솔안터널 보다는 먼지농도가 낮은 것으로 나왔다.

(다) 습도

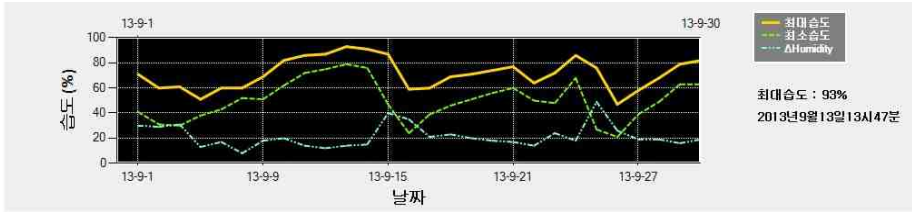


그림 2.2.275 금정범계 2013년 9월 습도

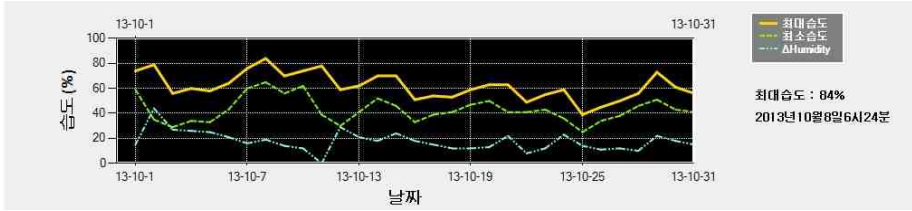


그림 2.2.276 금정범계 2013년 10월 습도

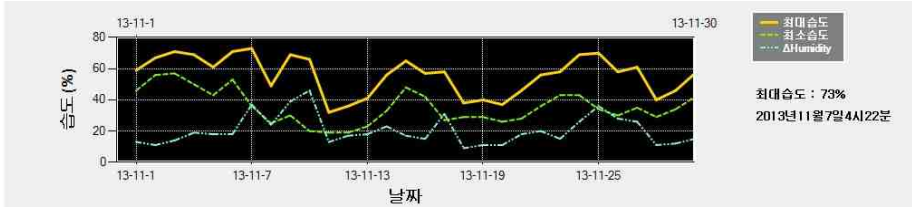


그림 2.2.277 금정범계 2013년 11월 습도

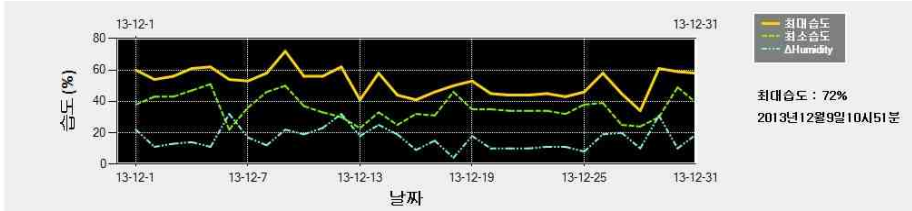


그림 2.2.278 금정범계 2013년 12월 습도

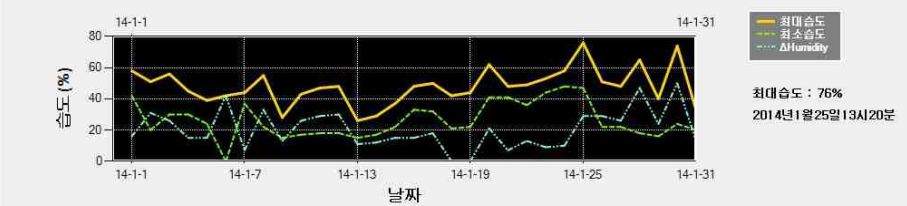


그림 2.2.279 금정범계 2014년 1월 습도

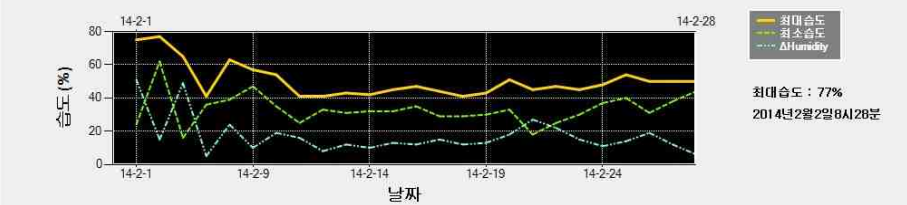


그림 2.2.280 금정범계 2014년 2월 습도

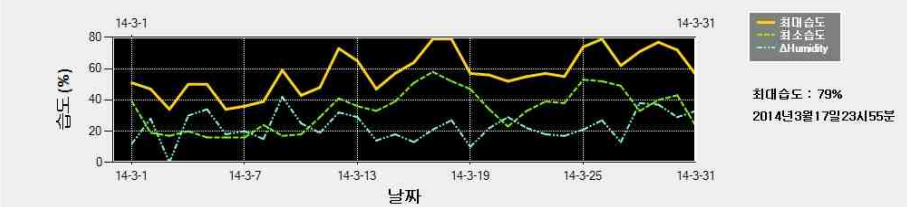


그림 2.2.281 금정범계 2014년 3월 습도

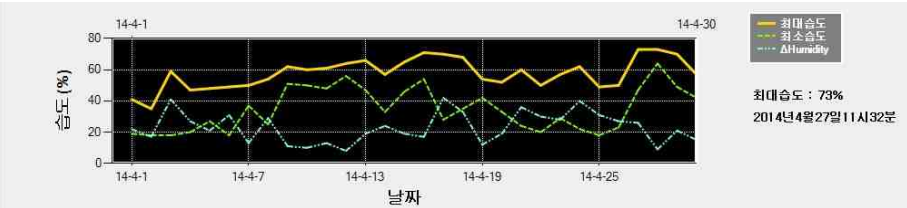


그림 2.2.282 금정범계 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 84%이며 여름인 기간인 7, 8월에 습도를 측정을 못하였기 때문에 9월에 가장 높은 습도가 나타났다. 그리고 겨울철인 12월에 가장 낮은 습도가 측정되었으며 다른 터널들과 다르게 습도가 높은 이유는 터널 입구와 가까기 때문이라고 생각된다.

(2) 평촌인덕원

(가) 온도

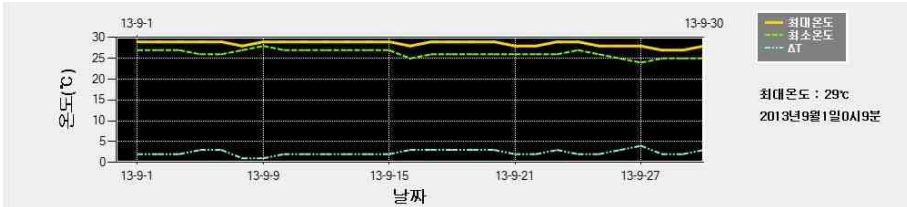


그림 2.2.283 평촌인덕원 2013년 9월 온도

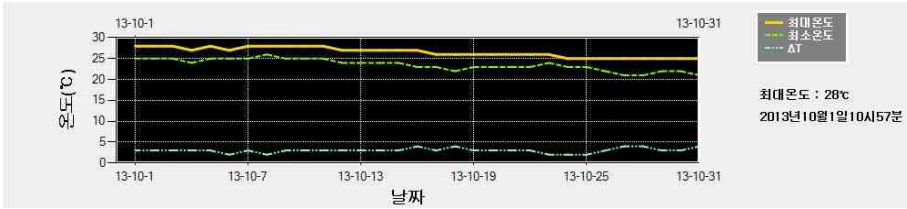


그림 2.2.284 평촌인덕원 2013년 10월 온도

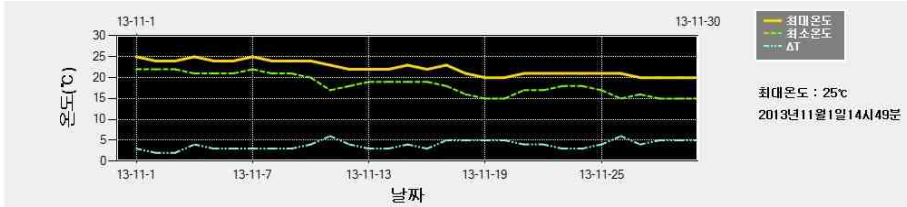


그림 2.2.285 평촌인덕원 2013년 11월 온도

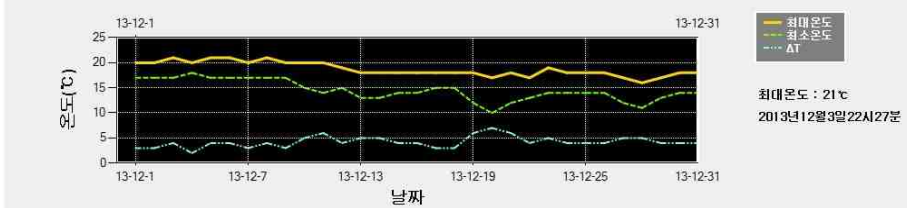


그림 2.2.286 평촌인덕원 2013년 12월 온도

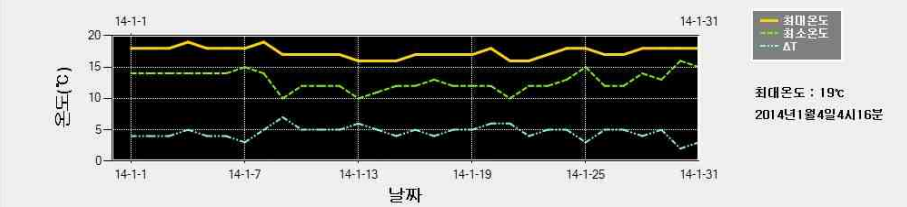


그림 2.2.287 평촌인덕원 2014년 1월 온도

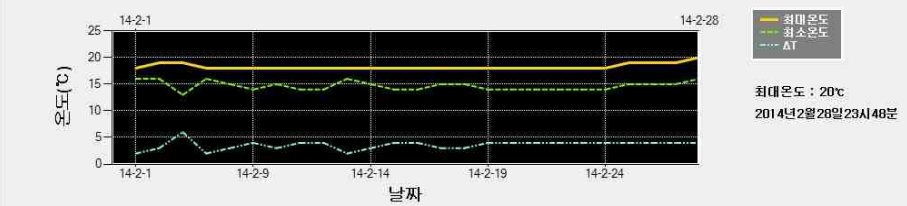


그림 2.2.288 평촌인덕원 2014년 2월 온도

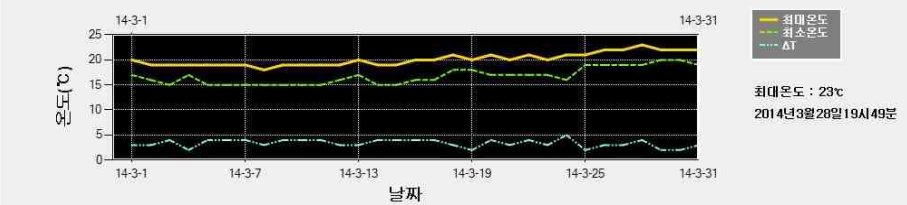


그림 2.2.289 평촌인덕원 2014년 3월 온도

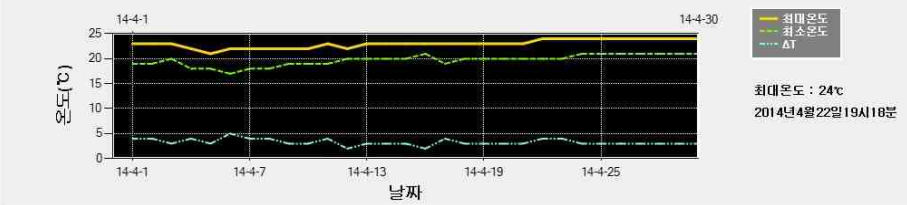


그림 2.2.290 평촌인덕원 2014년 4월 온도

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 온도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고온도는 9월의 온도가 가장 높았고 최저온도와 최고온도의 편차는 약 5~6℃정도 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다.

(나) 먼지

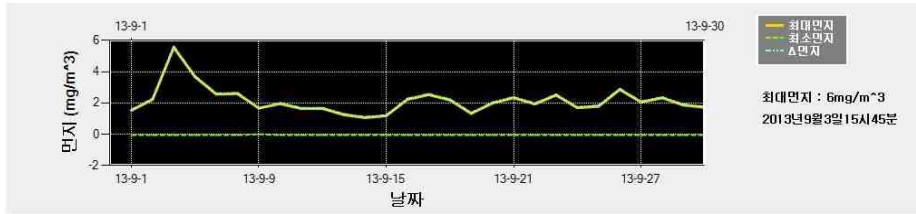


그림 2.2.291 평촌인덕원 2013년 9월 먼지

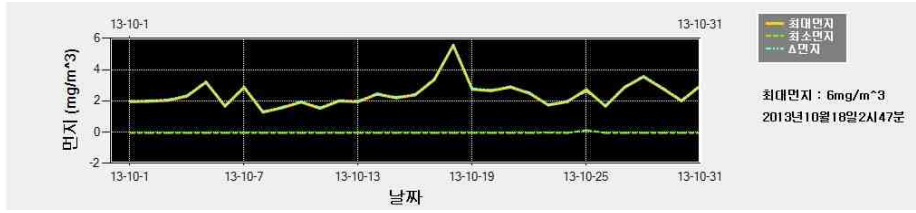


그림 2.2.292 평촌인덕원 2013년 10월 먼지

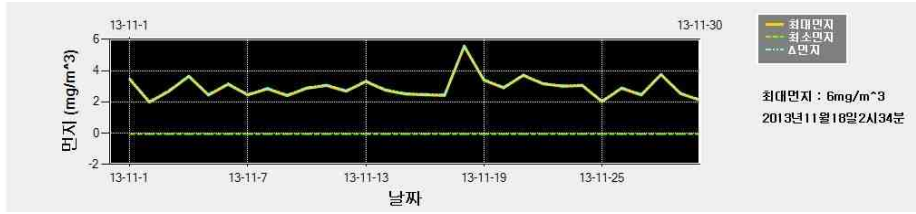


그림 2.2.293 평촌인덕원 2013년 11월 먼지

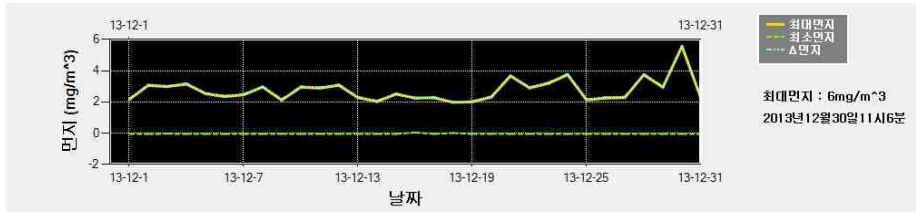


그림 2.2.294 평촌인덕원 2013년 12월 먼지

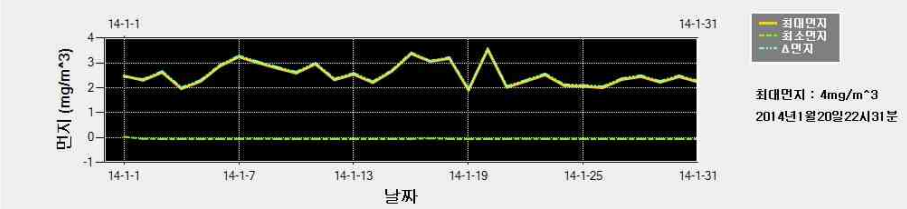


그림 2.2.295 평촌인덕원 2014년 1월 먼지

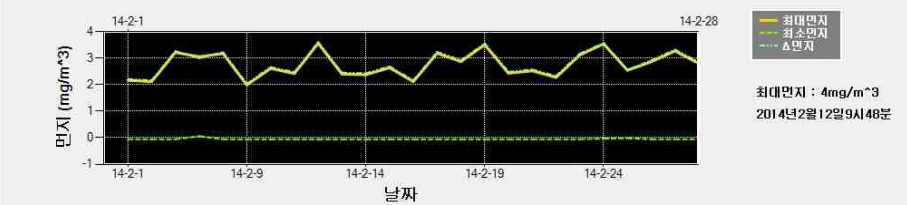


그림 2.2.296 평촌인덕원 2014년 2월 먼지

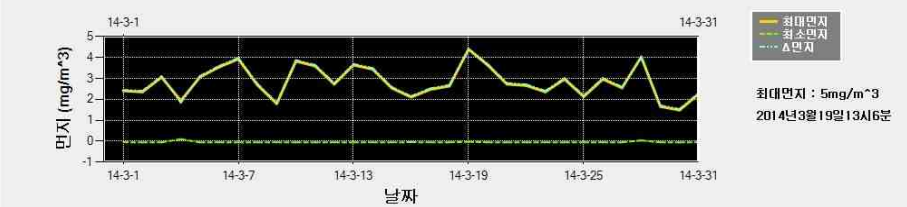


그림 2.2.297 평촌인덕원 2014년 3월 먼지

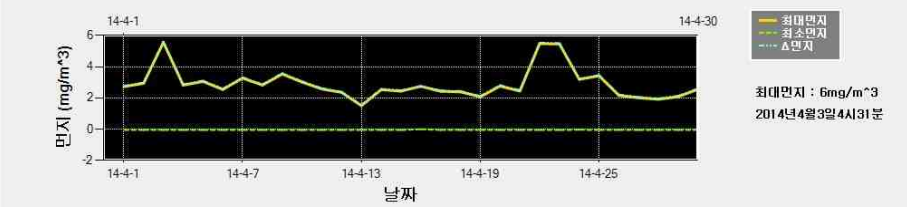


그림 2.2.298 평촌인덕원 2014년 4월 먼지

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 먼지 농도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 먼지 농도는 6mg/m^3 정도이며 최소 농도는 0mg/m^{3}으로 나타났다. 지하철 터널의 경우 솔안터널 보다는 먼지농도가 낮은 것으로 나왔다.

(다) 습도

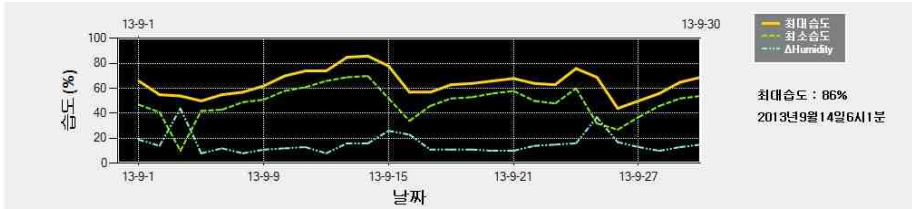


그림 2.2.299 평촌인덕원 2013년 9월 습도

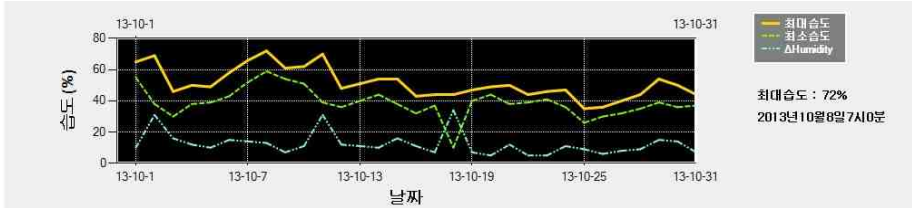


그림 2.2.300 평촌인덕원 2013년 10월 습도

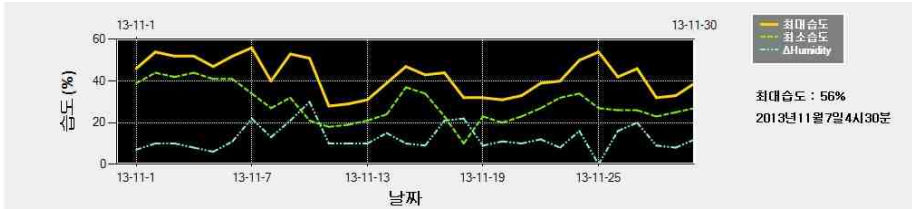


그림 2.2.301 평촌인덕원 2013년 11월 습도

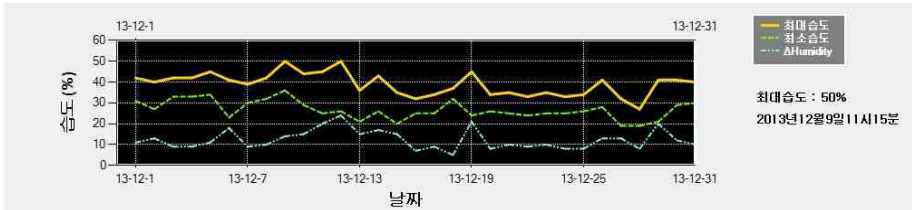


그림 2.2.302 평촌인덕원 2013년 12월 습도

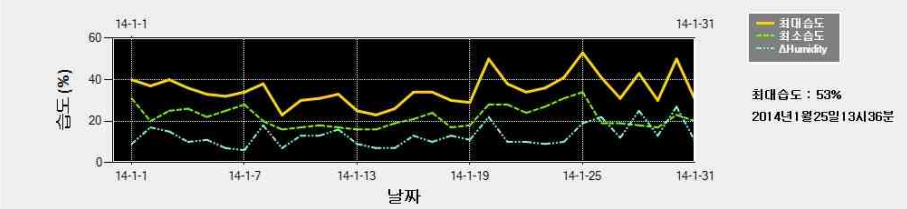


그림 2.2.303 평촌인덕원 2014년 1월 습도

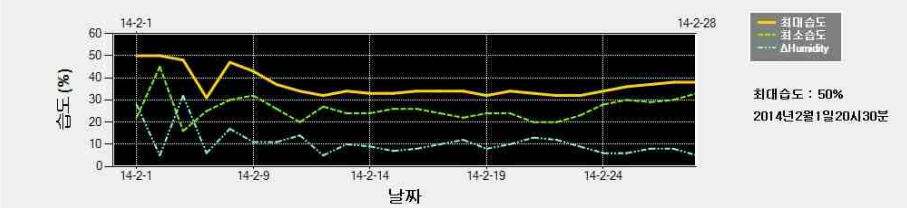


그림 2.2.304 평촌인덕원 2014년 2월 습도

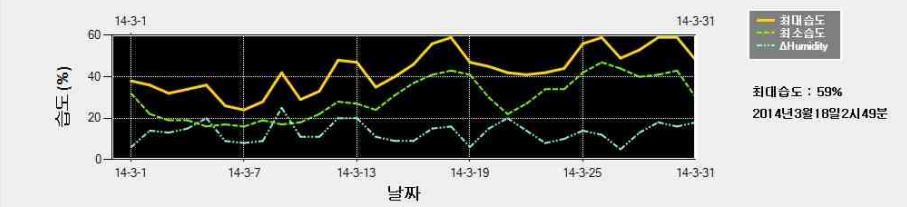


그림 2.2.305 평촌인덕원 2014년 3월 습도

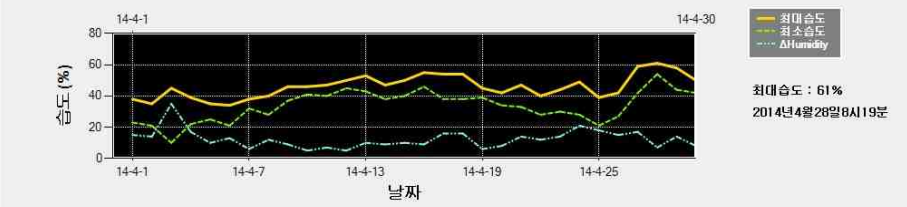


그림 2.2.306 평촌인덕원 2014년 4월 습도

위의 그림은 2013년 9월부터 2014년 4월까지의 습도의 그래프이다. 위의 그래프를 보면 최고 습도는 84%이며 여름인 기간인 7, 8월에 습도를 측정을 못하였기 때문에 9월에 가장 높은 습도가 나타났다. 그리고 겨울철인 12, 1, 2월에 가장 낮은 습도가 측정되었다.

5. 결과

가. 풍속 결과

표 2.2.5 터널별 풍속 최대값

	금정터널		솔안터널	
	본선	수직구	본선	신호장
2013.06	6.9	8.4		
2013.07	6.8	7.7	13.8	16.0
2013.08	6.6	7.7	9.4	16.1
2013.09	7.9	7.6	7.9	18.3
2013.10	6.3	7.6	9.3	13.5
2103.11	6.8	6.7	18.1	16.8
2013.12	6.6	8.4	9.1	12.4
2014.01	6.5	8.0	11.3	14.0
2014.02	7.2	7.7	8.8	8.6
2014.03	7.1	7.0	8.2	14.4
2014.04	6.9	7.7	8.7	16.0
최대값	7.9	8.4	18.1	18.3

위의 표는 풍향풍속계를 설치한 구간의 최대 풍속 값이다. 위의 표를 보면 금정터널의 풍속보다 솔안터널의 풍속이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 풍속이 금정터널보다 높은 이유는 첫째로 솔안터널의 경우 터널내 환경이 좋지 않아 환풍시설이 곳곳에 되어있어 실시간으로 환풍을 하는데 그 유속이 빠르기 때문이고 둘째는 솔안터널에 설치되어있는 터널환경측정장치가 열차가 다니는 레일에 가까워 풍속의 영향을 더욱더 받을 수 있고 생각할 수 있다. 금정터널의 경우 터널환경측정장치가 설치되어있는 장소는 특별한 환기기구나 풍속에 영향을 주는 요소가 없어 측정된 데이터는 열차풍속이라고 생각할 수 있다. 또한 솔안터널의 신호장이 다른 구간보다 풍속이 높은 이유는 복선에서 단선으로 변경되는 구간이기 때문에 터널 내부 공간이 좁아져 유속이 빨라진 케이스인 것 같다.

나. 온도 결과

표 2.2.6 터널별 온도 최대값

	금정터널			솔안터널			지하철	
	사갱	본선	수직구	사갱	본선	신호장	금정 – 범계	평촌 – 인덕원
2013.06	24	23	24					
2013.07	26	25	26	22	22	22		
2013.08	26	26	27	22	22	22		
2013.09	26	25	26	21	21	21	27	29
2013.10	25	24	25	20	20	21	24	28
2103.11	24	21	23	18	18	18	19	25
2013.12	22	18	20	15	15	14	13	21
2014.01	20	17	18	13	13	13	11	19
2014.02	20	17	19	14	13	13	13	19
2014.03	18	21	20	15	15	14	19	23
2014.04	20	22	22	16	17	16	21	24
최대값	30	30	29	22	22	22	27	29

앞의 표는 터널별 최대 온도 값이다. 각각의 터널들을 보면 금정터널이 다른 터널들보다 온도가 높은 것을 볼 수 있다. 온도가 높은 이유는 금정터널의 경우 부산에 터널이 자리를 잡고 있기 때문에 기온이 다른 지방보다 높아 다른 터널들 보다 온도가 높고 또한 최장의 터널이기 때문에 온도 변화도 큰 변화가 없다. 그리고 솔안터널이 다른 터널보다 기온이 낮은 이유도 같은 이유이다. 강원도 태백에 터널이 자리를 잡고 있어 추운 지방이기 때문에 온도가 다른 지방보다 낮은걸 볼 수 있다. 그리고 지하철의 경우 금정 - 범계역이 온도 편차가 심한 편인데 그 이유는 터널환경측정장치가 설치되어 있는 공간이 터널 입구 쪽과 매우 가깝기 때문에 밖의 기온변화가 터널내의 온도변화의 큰 영향을 준 것으로 볼 수 있다.

다. 먼지 결과

표 2.2.7 터널별 먼지 최대값

	금정터널			솔안터널			지하철	
	사갱	본선	수직구	사갱	본선	신호장	금정 – 범계	평촌 – 인덕원
2013.06	5.526	5.490	4.934					
2013.07	5.975	2.956	2.198	6.075	9.886	9.449		
2013.08	7.074	3.062	2.384	7.044	9.117	8.848		
2013.09	4.114	3.517	2.679	7.534	8.548	8.922	4.593	5.561
2013.10	4.738	5.236	5.597	7.674	9.473	9.117	3.344	5.561
2103.11	5.561	5.561	5.561	7.562	9.020	8.873	5.561	5.561
2013.12	4.816	5.561	5.561	7.278	9.141	9.213	4.706	5.561
2014.01	3.016	5.117	4.818	5.561	5.561	5.561	4.891	3.543
2014.02	3.506	3.126	4.017	5.561	5.561	5.561	5.216	3.553
2014.03	4.666	5.250	1.911	5.561	5.561	5.561	5.561	4.396
2014.04	4.541	4.121	4.609	5.561	5.561	5.561	5.561	5.561
최대값	7.074	5.561	5.597	7.674	9.886	9.449	5.561	5.561

위의 표는 터널별 최대 먼지 값이다. 각각의 터널들을 보면 평균적으로 보면 솔안터널의 터널내의 먼지농도가 다른 터널에 비해 높게 나타났고 그다음으로는 지하철 터널 마지막으로 터널 먼지 농도가 가장 낮은 곳은 금정터널로 나타났다. 솔안터널이 가장 높은 이유는 디젤 차량이 운행중이며 화물 운송도 많고 또한 내리막길에서 차량에서 모래를 뿌리기 때문에 솔안터널이 다른 터널보다 환경이 더욱 좋지 않은 것으로 나타났다.

라. 습도 결과

표 2.2.8 터널별 습도 최대값

	금정터널			솔안터널			지하철	
	사갱	본선	수직구	사갱	본선	신호장	금정 – 범계	평촌 – 인덕원
2013.06	86	92	74					
2013.07	89	94	77	93	93	94		
2013.08	89	94	80	93	93	94		
2013.09	89	94	77	93	93	93	93	86
2013.10	88	93	76	91	93	92	84	72
2103.11	64	76	59	66	68	70	73	56
2013.12	48	69	51	53	54	57	72	50
2014.01	48	69	47	56	58	59	76	53
2014.02	57	78	53	58	54	80	77	50
2014.03	84	67	61	77	71	73	79	59
2014.04	84	67	59	84	78	77	73	61
최대값	89	94	80	93	93	94	93	86

위의 표는 터널별 최대 습도 값이다. 각각의 터널들을 보면 평균적으로 보면 7, 8, 9월의 습도가 가장 높게 나왔고 가장 낮은 습도는 12, 1, 2월에 나타났다. 이러한 데이터를 보면 터널내의 습도도 밖의 기후에 따라 큰 변화가 있는 것을 알 수 있다. 또한 금정 - 범계의 경우 다른 터널들에 비해 습도 편차가 크게 나타나지 않았다. 다른 터널에서는 여름과 겨울에 습도 편차가 40%정도 나왔지만 금정 - 범계는 최대 편차가 21%가 나왔다. 또한 다른 터널들에 비해 겨울철 습도가 높은 것으로 나왔다. 이러한 이유는 터널 입구 쪽에 터널환경측정장치가 설치되어있어 밖의 환경에 많은 영향을 받아 이러한 데이터가 측정 되었다.

제3절 수치해석을 이용한 철도터널 화재 감지성능 평가

1. 철도터널 화재감지기 감지특성 조사 분석

화재경보 신호는 화재가 발생한 상황을 필요한 사람이나 기기에 알리기 위한 것으로 여러 가지 장치(수동, 자동) 또는 경보신호와 소화설비의 기능을 혼합하여 내보낼 수 있다. 신호발생장치 즉 발신장치는 기기, 설비 또는 열, 연기, 에너지방출, 또는 기타 화재로 발생하는 감지 가능한 생성물에 의해서 동작된다. 자동 발신장치(예;화재감지기)는 비화재 상태, 예비화재 상태 또는 조건의 변경과 같은 주위조건의 변화를 구분할 수 있어야 한다. 어떤 예정된 조건(보통 온도, 가스, 빛, 에너지와 연관됨)에 도달하거나 그 조건을 초과할 때 신호를 내보낸다. 화재경보설비에서 가장 대표적인 신호발생 장치는 수동발신기와 각종 감지기이며 그 외에 방화댐퍼 개폐확인, 배연창 개폐확인 등 주로 드라이 접점(dry contact)인 경우가 있다.

신호발생 장치는 소화설비와 연동시켜 사용할 수 있다. 소화설비의 배관의 길이,관경 및 방호면적 등은 방호지역과 예상 감지속도에 따라 결정된다. 경보설비에 연결된 소화설비는 비정상적 수압, 물 탱크의 수온 및 수위 변화를 감지하는 감시장치(수퍼바이조리)가 필요하다. 수퍼바이조리는 우리나라에서는 스프링클러설비(준비작동식)에서 자주 쓰이는 용어인데 여기서 수퍼바이조리는 모든 소화설비의 상태를 전기적신호로 감시하는 넓은 의미로 사용된다. 이와 유사한 수퍼바이즈드 회로라는 용어는소화설비는 물론 모든 전기적 감시회로의 단락, 개방 등의 상황을 감시하는 의미로가장 일반적인 것이 종단저항이나 트러블 릴레이를 회로종단에 설치하여 회로를 감시하고 있다.

가. 자동화 감지기

화재감지기는 인간만큼 영리하지 못하다. 여러 가지기계적, 전기적, 전자적으로 인간의 냄새, 시력, 청각, 입맛, 및 감촉을 모방하여 화재로 바뀐 환경을 감지한다. 감지할 수 있는 가장 일반적인 요소에는 열, 연기(에어러졸 입자)및 빛의 발산 등이 있다. 그러나 모든 화재가 이와 같은 요소를 발생하지 않아 비화재보가 발생할 수 있다. 화재경보 신호발생설비의 설계자는 화재로 예상되는 이들 요소 사이의 차이가 있다는 것을 알아야 한다. 설계자는 비화재보가 생길 수 있는 유사한 주위 조건을 알아야 한다.



그림 2.3.1 파손유리 발신기

열, 연기 및 빛의 화재 요소 모두가 어떤 화재에서 발생되더라도, 각각의 요소의 세기는 화재 진행 중에 어떤 이론상의 기본 레벨 이상이어야 한다. 이 경우, 하나의 요소가 먼저 나타날 것이다. 이러한 점은 이 설비가 인명안전에 대한 것일 때에는 특히 중요하다. 자동화재감지기는 NFPA 72E에서 열, 연기, 불꽃, 화재-가스 및 기타의 화재감지기로 구분된다.

열감지기는 비정상적인 고온이나 차동온도를 감지하는 장치이다. 연기감지기는 연소로 생기는 가시 또는 비가시입자를 감지하는 장치이다. 불꽃감지기는 화재 시 생기는 적외선, 자외선 또는 가시광선을 감지하는 장치이다. 화재-가스감지기는 화재 시 발생하는 가스를 감지하는 장치이다. 그 외의 화재감지기에는 화재로 발생하는 열. 연기불꽃 또는 가스 이외의 현상을 감지하는 장치가 있다.

감지기는 더 나아가 선형, 스포트형, 공기샘플링형의 3 가지 형태로 구분한다. 선형감지기는 감지통로를 따라 감지를 계속한다. 가장 많이 쓰이는 선형감지기에는 차동식 공기관식 감지기 돌출형 빔 연기 감지기, 및 감열형 케이블감지기 등이 있다.

스포트형 감지기에서 감지부분은 특별한 위치에 집중되어 있다. 스포트형 감지기의 전형적인 예는 바이메탈식 감지기, 용융합금 감지기, 공기형 차동식감지기, 연감지기 및 열전기식 감지기 등이다.

공기 샘플링형 감지기는 파이프, 튜브식의 분포형으로 감지기에서 방호지역에 펼쳐놓는다. 공기펌프는 방호지역에서 공기를 빨아들여 공기샘플링 포트와 배관 또는 튜브를 통해 감지기로 보낸다. 감지기가 흡입한 공기 중의 화재생성물을 분석한다.

자동화재감지기는 두 가지 동작 모-드인 비복구 및 복구기능이 있다. 비복구 기능의 감지기의 감지소자는 화재감지 후 파괴되도록 한 것이다. 이에 반하여 복구형 감지기의 감지소자는 화재감기 과정에서는 파괴되지 않는다. 이 소자의 복구는 자동 또는수동으로 할 수 있다.

더욱이 화재조건에서 한가지 방법 이외의 반응하는 감지기는 복합형감지기라고 한다. 복합형감지기는 (가) 하나 이상의 화재현상(열, 연기, 불꽃 등)에 반응하고 (나) 이들 현상중 하나를 감지하는 하나 이상외 작동원리를 채용한다. 복합형 감지기의 전형적 예 는 (가) 열,연기복합형 감지기, 또는 (나) 차동식, 정온식 복합형감지기 이다.

(1)열감지기

열감지기는 자동화재 감지기외 가장 오래된 형태로 1860년대 자동 스프링클러 개발 이래 계속되어오고 여러 가지 형태의 감지기가 현재에도 건재한다. 스플링클러설비는 화재경보설비에 유수검지장치가 연결되어 있는 형태로 열작동 감지기와 소화장치를 혼합한 것으로 생각할 수 있다. 유수검지장치는 배관내의 물의 흐름이나 이에 따른 수압의 변화를 감지하여 설비를 동작시킨다.

경보는 발하지만 소화기능이 없는 정온식 열감지가 아직도 제한적으로 쓰인다. 이 감지기의 값은 싸지만 모든 자동화재 감지장치 중에서 비화재보발생 확률이 가장 낮은 반만 화재감지시간이 늦다. 화재 시 신속주위 조건으로 인하여 다른 화재감지기의 사용이 부적합하거나, 이 감지기는 감지속도가 중요한 고려사항이 아닌 장소에 적합하다. 열감지기는 보통 천정 및 그 근처에 설치되며 화재의 대류 에너지에 반응 한다. 온도 변화속도 또는 감지 소자가 예정된 온도에 이르면 반응한다. 일반적으로 열감지기는 열이 물질이나 가스의 물리적, 전기적 특성의 예정조건에 도달하여 작동하는 구조이다.

(2) 정온식 감지기의 작동원리

정온식감지기는 온도소자의 온도가 예정온도에 이르면 경보를 내도록 만든 것이다. 공기의 온도를 온도작동소자의 설정점으로 가열하는데 걸리는 시간이 길기 때문에 공기의 온도는 정격온도 보다 일반적으로 높다. 이 현상을 열지체(thermal lag)라 한다. 정온식 감지기는 38℃ 이상의 온도에서 광범위하게 작동할 수 있다. 더 높은 온도에서 작동하는 정온식 감지기는 고온장소나 불을 다루는 곳에서만 사용한다.

표 2.3.1 정온식 감지기 작동온도 범위(NFPA)

온도분류	정격온도(℃)	천정최고온도(℃)	칼라코드
저온	37.7-56.6	-6.6 이차	없음
보통	57.2-78.8	37.7	없음
중간	79.4-120.5	65.5	백
고온	121.1-162.2	107.2	청
특고온	162.7-203.8	148.8	적
초특고온	204.4-259.4	190.5	녹
초초특고온	259.9-301.6	246.1	주황

(3) 비복구 용융소자형 감지기

비스머스(bismuth), 납(lead), 주석(tin), 카드뮴(cadmium)과 같은 저온용융 금속합금의 용융금속은 열감지 작동소자로 사용될 수 있다. 이 금속을 가장 많이 쓰이는 것이자동스프링클러이다. 이 소자는 비복구형인데, 소자가 녹아 스프링클러 오리피스 뚜껑을 떨어지게 하여 설비에 물이 흘러 경보를 발한다.

용융금속은 전기식 온도감지기를 동작하는데 쓰이기도 하는데 인장상태의 스프링을잡기위한 땜용으로 자주 쓰인다. 이 소자가 녹으면 스프링독작으로 접점을 이루어 경보를 발한다. 용융금속을 사용하는 장치는 복구될 수 없다.

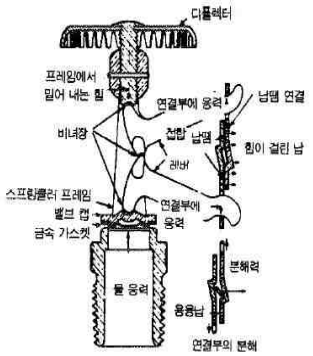


그림 2.3.2 납땜 링크와 레버식 스프링클러 구조

(4) 복구 가능한 바이메탈(bimetallic)형 감지기

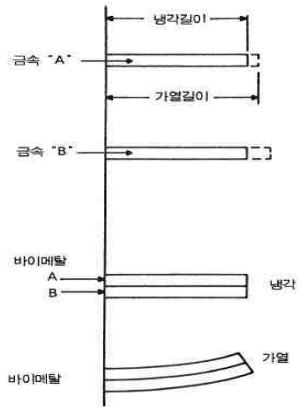


그림 2.3.3 두 금속의 휨 작용

복구 가능한 바이메탈형 감지기에서 열팽창계수가 다른 두 가지 금속을 붙인 다음 가열한다. 열팽창의 차이는 다 낮은 열팽창 계수의 금속쪽으로 굽혀진다. 이 동작이 평시 개방회로를 닫히게 하여 경보를 발한다. 저 팽창 금속은 보통 인바르(invar)라고 하는데 36%의 니켈과 64%의 철 합금을 사용한다. 망간-구리-니켈합금, 니켈-크롬-철 합금, 또는 스텐레스 스틸 등 몇몇 재료가 바이메탈 소자의 고 팽창 부분으로 쓰인다. 바이메탈은 정온식 감지기용 띠나 스냅 디스크(snap disc)와 같은 형태의 작동소자로 쓰인다. 바이메탈 띠에서 금속 A는 가열되면 그 길이가 변한다. 반면에 금속 B 는 높은 팽창계수를 지니고 있어 온도가 상승하면 금속A 보다 더 팽창한다. 이들 두 개의 금속을 접합한 상태에서 온도가 저온에서 고온으로 변하면, 금속 B 는 금속 A 보다 더 팽창하여 소대 전체가 윗 쪽으로 휜다. 이러한 바이메탈의 동작이 전기의 폐회로를 구성하고 일반 가정에서 열풍로를 제어하는데 이용하는 바이메탈 더머스타트와 유사한 작동을 한다. 바이메탈의 줄은 가열되면 접점 방향이 변형한다. 바이메탈에 따라 접점 간격이 동작온도를결정하는데, 간격이 클수록 고온에서 작동한다. 디스크형 바이메탈 소자도 경보설비에서 아주 멀리 사용된다. 원형판은 바이메탈 재료로 만들고 활모양으로 프리스트레스된 상태이다. 바이메탈의 온도가 예정 값에 이르면, 금속의 팽창으로 원판(디스크)이 볼록형에서 오목형으로 똑딱이 동작을 한다. 똑딱이 작용으로 접점에 힘이 가해져 띠 형태 바이메탈에서 보다 더 큰 힘으로 접점을 만든다.

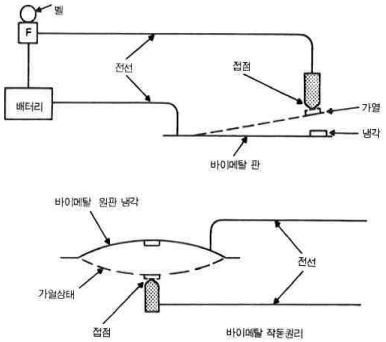


그림 2.3.4 (위) 바이메탈 판 감지기의 휨 작용
(아래) 바이메탈 원판감지기의 휨 작용

바이메탈 감지기는 온도가 내려가면 원상태로 복원되는 것이 보통이다. 보통, 열감지기는 바이메탈로 실내공기가 더욱 빨리 전달되도록 감지기 몸체에 부착된다, 바이메탈 소자로 된 열감지기는 작동 후 지정온도 이하로 낮아지면 자동으로 복원된다. 바이메탈 줄형(strip)의 감지기는그 소자가 소정 온도이하가 될 때 복원되도록 만든다. 그러나 그 소자가 똑딱이형 인 경우는 감지기 주위온도가 소자를 복원시키는데 더 낮은 온도가 필요하다. 이러한 이유로 57.5℃의 일반 정온식 감지기에서 오차를 8.3℃ 주며 이러한 정격을 가지는 감지기는 천정온도가 37.8℃를 초과하는 곳에는 설치할 수 없다.

(5) 선형 열감지기

선형감지기는 스포트형 정온식 감지기의 다른 형태로서 분포형 감열선 감지기를 비롯하여 여러 가지가 있다. 개방회로를 이루는 한 쌍의 철 케이블을 사용한 감지기에서 이 도체는 감열절연체에 의하여 케이블의 간격을 유지한다.

인장 상태에서 이 전선은 싱글 케이블 모양으로 편개장(braided sheath)된 속에 넣는다. 소정온도에 이르면 절연체가 녹아 두 전선이 접촉하여 경보를 발한다. 이 케이블의 용융 부분은 경보를 낸 다음 복원시키기 위해 교체해주어야 한다.

이와 유사한 경보장치로 반도체물질과 스텐레스 스틸 모세관 튜브를 사용한 것을 열감지의 기계적 안정도가 필요한 장소에 사용한다. 이 모세관 튜브는 감열 반도체에 의하여 튜브벽과 분리된 동축 중심도체로 되어있다. 보통 때에는 작은 전류가 회로를 흐른다. 온도상승에 따라 반도체 더미스터의 저항이 감소하여 더 많은 전류가 흐르며 이것으로 경보를 발한다.

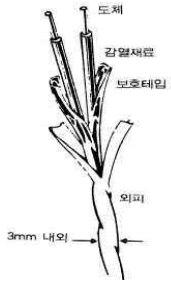


그림 2.3.5 선형 열감지기

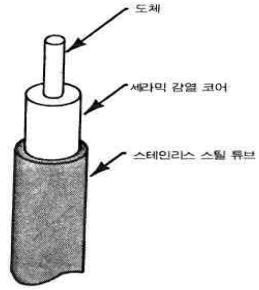


그림 2.3.6 연속 열 센서

(6) 차동식 보상형 감지기(rate copensation type detector)

차동식 보상형 감지기는 차동식으로 작동하는 한편 주위 공기온도가 예정 값에 이르면 차동식 온도 상승에 관계없이 반응하는 장치이다. 보상형감지기는 보통 스포트형 감지기 형태이다. 이 감지기는 가열되면 길이가 늘어나는 금속의 튜블라 케이싱을 갖추고 늘어난 상태의 어떤 점에서 폐쇄하는 접점기구를 갖춘다. 튜브 안에 제 2 의 금속소자는 접점에서 개방하려는 반작용의 힘을 발휘한다. 이러한 힘의 작용으로 내부 소자는 들어온 장기간의 열이 느린 차동 효과를 이루도록 균형을 잡는다. 이것은 전체의 장치가 그 차동 온도 수준까지 가열될 때까지 접점의 폐쇄를 막는다. 그러나 신속한 차동온도에서 내부 소자로 들어온 열 반응 시간은 많이 걸리지 않으며 이 내부 소자는 억제작용에 적극적으로 개입하지 않는다. 이러한 접점의 효과는 이 장치가 낮은 레벨에서 가열되어 열 지연을 보상할 수 있다.

차동식 보상형 감지기는 주위의 온도가 동작온도 이하로 낮아질 때 작동 후 자동 복원되기도 한다.

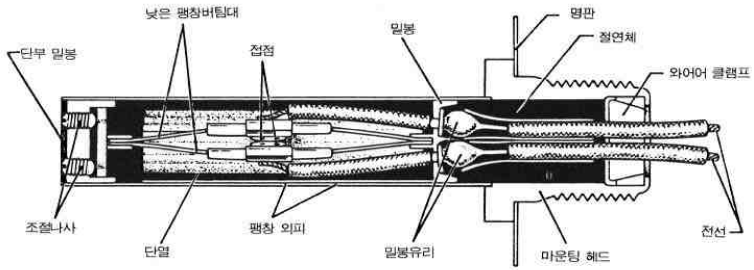


그림 2.3.7 스포트형 자동보상형 감지기 단면

(7) 차동식감지기

화염이 발생하는 화재에서 화상 상부공간의 공기온도를 급격히 상승시킨다. 정온식 감지기는 천정 근처의 온도가 설계작동온도를 초과할 때까지 경보를 보내지 않는다. 그러나 차동식 감지기는 온도상승속도가 예상 상승 속도인 분당 7 - 8℃로 상승하면 동작한다. 차동식감지기는 비화재상태로 예상되는 주위온도의 정상변화(분당6.7℃)에서는 보상하므로 동작하지 않도록 만든다.

차동 공기관식 감지기에서 튜브나 공기실의 가열공기는 공기압력의 증가로 팽창한다. 이 힘이 경보접점을 닫는 다이아프램에 기계적 힘을 가한다. 이 튜브나 공기실이 밀봉된다면 주위 온도의 완만한 상승, 대기압의 하강 또는 이 모두가 온도 변화속도에 관계없이 경보를 발하게 될 것이다. 이를 극복하기 위하여 공기식 감지기에는 작은 오리피스를 두어 온도의 완만한 증가나 대기압의 하강으로 생긴 더 높아진 압력을 배출한다. 이 배출은 온도변화가 심하여 팽창속도가 배출속도 및 압력상승을 초과한다는 조건에 대응하도록 하고 있다. 온도 상승이 분당 7 내지 8℃를 넘으면 유연한 다이아프램이 기계적작용으로 압력을 바꾼다. 공기식 감지기는 분포형과 스포트형으로 할 수 있다.

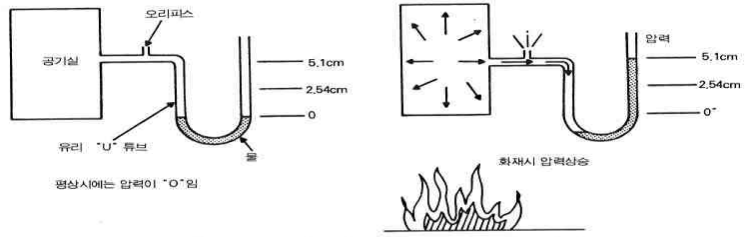


그림 2.3.8 공기관식 화재감지기의 작동원리

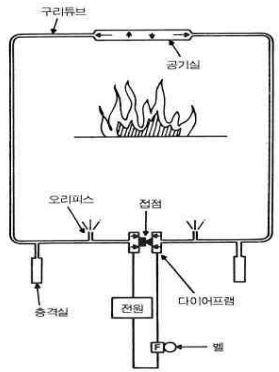


그림 2.3.9 공기관식 차동식 열감지기 작동원리

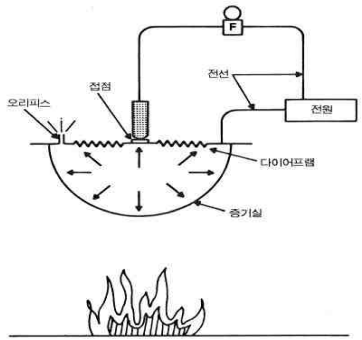


그림 2.3.10 스포트형 차동식 열감지기 작동원리

대다수의 스포트형 차동식감지기는 정온식 보상형태를 갖추어 온도상승 속도가 분당 8℃ 이하이면 정상상태로 복귀하지만 감지소자가 예상 온도에 이르게 되면 작동한다.

스포트형 차동식감지가는 정온식감지기와 같은 방법으로 설치한다. 선형공기식 열감지기는 방호장소의 천정이나 천정 근처 벽에 설치하는 루프를 이룬 금속튜브로 구성된다. 튜브의 선은 9.1m미만의 이격거리와 벽으로부터4.5m미만, 보통 각 회로의 튜브의 길이는 305m미만을 유지한다. 또한 튜브의 5% 또는 튜브의 7.6m중 더 큰 길이를 방호지역 안에 설치하여야 한다. 화대에 노출된 튜브의 최소길이를 유지하지 않는다면 불충분한 공기압력에서도 정상작동 할 유려가 있다. 충격식(shockchamber)은 오븐 문을 여는 등의 일시적 온도상승에 따른 압력증가를 보상하여 비화재보의 가능성을 줄인다.

작은 방에서 선형감지기의 경보접점을 단기에 충분한 압력을 발생하도록 튜브길이를 노출시킬 수 없는 경우, 공기챔버(air chamber)나 튜브 로제트(rosette)가 자주 사용된다. 이러한 장치는5%나 7.6m 기준에 적합하도록 필요한 공기량을 공급하여 스포트형 감지기처럼 동작한다. 선형 차동식감지기는 하나의 일체형(인테그레이트형)감지기이므로 공기관이 있는 장소에서 급격한 온도상승이 있거나 약간 완만한 온도상승이 동일한 공기관 루프가 노출된 몇 개의 장소에서 일어날 때에도 작동한다.

원리는 스포트형 감지기의 접점을 닫는데도 사용될 수 있다. 선형과 스포트형 감지기는 스포트형이 공기를 하나의 용기에 담는데 대하여 선형을 검출부 장치로부터 방호장소에 분포된 공기관에 담는 것이 차이가 있다.

(8) 밀폐형 공기관식 감지기

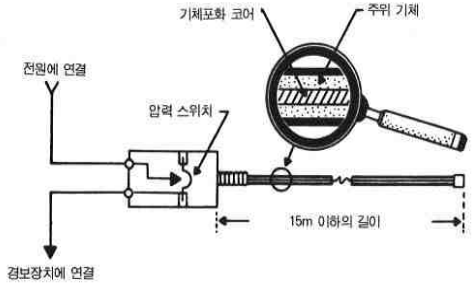


그림 2.3.11 밀폐선형 정온식 열감지기

밀폐형 공기관식 열감지기는 특수한 곳에 적용되는 정온식감지기 이다. 이것은 공기를 배출하지 않고 수소가스로 충전된 특수염이 있는 모세관으로 구성된다. 정상온도에서 대부분의 수소는 다공염에 머문 상태이며 튜브의 압력은 낮은 상태이다. 온도가 튜브를 따라 어느 점 이상으로 상승하면 수소는 내부압력이 상승한 염에서 나와 다이아프햄 스위치를 트립시킨다. 모세관 장치는 평상온도에서 저압상태를 감시하는 제 2 의 압력스위치에 의하여 감시한다.

(9) 열전대식 감지기(thermoelectric effect detector)

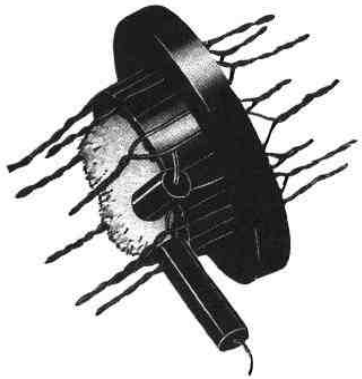


그림 2.3.12 열전대식 열감지기

열전대식 감지기는 온도가 증가하면 전압이 증가하는 더머커플(thermocouple) 이나 더미파일(thermopile)로 만든 감지소자를 갖춘 감지기이다. 이 기능은 관련 제어장치로 감시하여 비정상 속도로 전압이 올라가면 경보를 발한다. 더미파일장치는 접압발생 모-드를 동작하는 두 세트의 더미커플을 사용한다. 한 세트는 대기온도 변화에 반응하기 위해 노출된다. 화재 시 온도가 급속히 변할 때, 노출된 세트의 온도는 비노출 세트의 온도보다 더 빨리 증가하여 순전압이 발생한다. 이러한 기능과 관련된 전압의 증가로 경보회로를 동작시킨다. 더머파일 장치는 직렬회로이므로 이 전압은 한 개의 감지기에는 필요치 않다. 즉, 한 회로 상에 각 장치에서 발생되는 적은 전압이 누적되어 경보를 발생시킬 수 있다. 더머파일 감지기의 감도는 그 장치들 안에 연결된 더머커플의 수와 직접 관계가 있는데, 감도는 연결된 장치 수가 많을 수록 증가한다. 노출된 연결장치의 복사에너지에 초점을 맞추게 만들면 감도를 더욱 증가 시킬 수 있다.

(10) 복합형 감지기(combination detectors)

복합형감지기는 화재에 감응하는 둘 이상의 감지소자를 가지는 장치이다. 이 감지기는 둘 중 하나의 소자에 감응하거나 두 개의 소자로 된 복합형 부분의 완전감응으로 대응하도록 만든다. 이 감지소자의 예로는 차동식과 정온식에 감응 하도록 된 열감지기가 있다. 이러한 형태인 감지기의 장점은 급속한 화재는 차동식이 대응하고 느린 화재는 정온식이 대응한다. 대다두의 일반적 복합형감지기는 차동기능의 배출장치와 유연한 다이아프램 있는 공기실이 사용하는 한편, 정온감지소자는 용융금속으로 지지하는 스프링을 사용한다. 정온소자가 동작온도에 이르면 용융금속이 녹아 스프링으로 접점을 닫는다.

나. 연기감지기

연기감지기는 열감지기 보다 더 빨리 화재에 반응한다. 연기감지기는 그 동작원리에 따라 분류하고 있으며 가장 일반적인 것은 이온식과 광전식이다. 이온식 연기감지기는 고 에너지(개방화염)에 더 빨리 반응하는데 이것은 이화재가 상대적으로 다량의 보다 작은 입자를 발생하기 때문이다. 광전식 연감지기는 저 에너지(작열화재)에 더 민감한데 이 화재는 보다 큰 입자를 발생하기 때문이다. 그러나 이러한 감지기들은 검정기준에 맞는 시험에 합격하여야 한다.

(1) 이온식 감지기

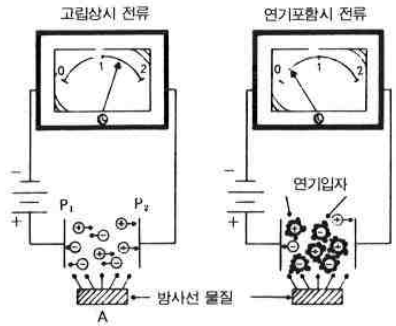


그림 2.3.13 이온식 감지기의 작동원리

이온식 감지기(보통 스포트형임)의 감지실에는 소량의 방사능물질이 있다. 이물질이 공기를 이온화하여 공기를 도체화하고 두 개의 충전전극 사이에 공기를 통과시켜 전류가 흐로도록 한다. 이것은 감지실에 유효전류를 준다. 연기입자가 이온화지역에 들어오면 그것이 이온화 된 공기에 붙어 공기의 도전성을 저하시켜 이온의 활동에 지장을 준다. 이러한 감지기는 그 도전성이 예정수준 미만일 때 반응한다.

(2) 이온식 감지기의 작동원리

알파입자는 이온화 된 공기의 성질이다. 이 입자들은 공기 분자를 +이온과 -이온으로 쪼갠다. 이들 이온화 된 공기가 전기장으로 들어오면 이온들이 충전되어 전자가 그들을 이동시켜 전류가 발생한다. 배터리를 두 개의 전극판에 연결한다. 이 판사이의 공기는 알파 에미터(alpha emitter) 전극판에 의하여 이온화 되며 충전된 입자들이한 방향으로 이동한다. 검류계는 이 전류를 측정하는데, 전류치는 알파 에미터의 세기와 베터리의 전압의 범위로 결정된다. 이온화실의 전류는 전극사이의 가스함량에 따라 다르다. 더 많거나 더 적은 이온들은 가스분자의 수와 크기에 따라 발생될 것이다.

이온흐름 속도는 그 크기, 덩치와 깊이 관계되지만, 가스사이에는 큰 차이가 없다. 연기 입자가 이온화실로 들어오면 상황은 전혀 달라진다. 이 입자들은 이온에 부착된다. 이로 인해, 그 실의 저항이 크게 증가하여 전류치가 급격히 떨어진다. 이것이 다른 전기회로를 통해 경보를 내보낸다.

(3) 광전식 연기 감지기

연소과정 중 발생하여 떠돌아다니는 연기 입자는 공기 속을 통과하는 광선의 확산에 영향을 준다. 이 효과를 두 가지로 이용하여 화대를 감지하는데 적용할 수 있다. 즉, (a) 광로의 빛의 세기에 따른 장애 (b) 광선의 산란(scattering)이 그것이다.

(4) 광선 장애의 원리

광선장애 원리로 작동되는 연기감지기는 광원, 광조준 설비, 및 광감지 장치로 구성된다. 짙은 연기가 광선부분을 가리면 감광장치에 도달하는 빛의 양이 감소되어 이를 경보로 전환한다. 광원은 통상 LED(light emitting diode)를 사용하는데 이는 저 전력을 소모하면서 장시간 안정된 광원이 될 수 있다. 펄스화 된 LED 는 감지기기용으로 저 전력형이면서도 충분한 광도를 낼 수 있다.

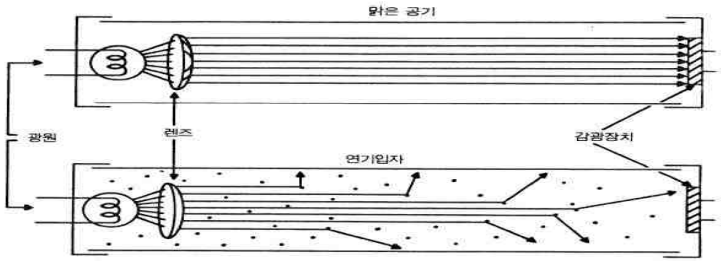


그림 2.3.14 광전식 연기 감지기의 작동원리

표 2.3.2 거울을 사용하는 투사 빔의 투사거리

거울의 수	허용광선의 최대 길이	
0	정격길이 L	□----------□ L
1	2/3L=a+b	/----------□ b, □a
2	4/9L=c+d+e	/----------\ d, □c, e□
예-2개의 거울을 사용한 90m 정격 광선의 최대 허용길이는 4/9×90=40m		

대다주의 광선 장애형 연기감지기는 빔타입이며 대규모 개방공간 방호용으로 쓰인다. 이것은 방호지역 단부 광장치를 설치한다. 어떤 것은 거울로 광선을 원하는 경로를 만들어 포용장소를

정한다. 그러나 이 경우, 장치의 정격 광선길이는 크게 감소시켜야 한다. 투사형 빔감지기는 보통 천정에 평행으로 51cm 이 내 위치에 설치한다.

(5) 광선 산란 원리

빛의 산란은 연기입자가 빛통로에 들어올 때 일어난다. 이러한 광전원리를 이용하는 연기감지기는 보통 스포트형으로 광원과 감광장치에서 광선이 감광장치로 향하지 않도록 배치한다. 연기입자가 광선경로로 들어오면 빛이 그 입자들을 때리어 산란된 것을 감광장치로 감지하여 감지기를 동작하게 한다. 일반적으로, 포토다이어드 또는 포토트랜지스터가 산란감지기의 감광장치로 쓰인다.

(6) 구름실 연기 감지기(cloud chamber smoke detector)

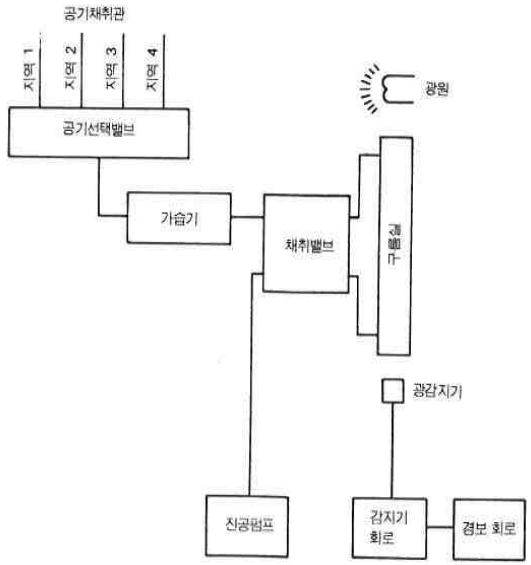


그림 2.3.15 구름실 연기감지기 구조

연기감지기는 구름실연기감지원리를 사용할 수 있다. 구름실형 연기감지기에서 미립자의 농도는 감소(attenuation)방법으로 입자 하나하나 단위로 측정된다. 미립자의 연기입자를 포함하는 공기시료채취는 100%의 상대습도를 유지할 수 있는 가습장치로 들어온다. 그 다음이 시료는 진공펌프로 감압시켜 입자의 수분을 응축하게 하는 팽창실로 통과시킨다. 이 물방울은 급격히 가시범위의 크기로 성장한다. 물방울 구름을 형성한곳을 통과하는 빛은 형성된 물방울의 농도를 측정하는데 쓰인다. 광선수신부의 출력전압은 물방울(응축 핵의 수)의 수와 직접 비례한다. 구름실 설비는 기계식 밸브와 스위칭을 배치하여 각 경계구역 당 10 개의 시료채취헤드로 4개

의 경계구역 까지 시료채취를 인정한다. 각 경계구역은 15초 동안 1회 시료를 채취하므로 1 분간 4개 경계구역에서 채취된다.

(7) 공기덕트 연기감지기(air duct smoke detector)

연기의 확산을 제어하기 위하여 연기감지기를 이용한 4 가지 방법이 가능한데, (가) 건물내 위험한 연기량의 재순환 예방, (나) 건물에서 연기를 배출하기 위한 기기의 선택적 작용, (다) 방연구획을 가압하기 위한 기기의 선택적 작동, 빛 (라) 방연구획내의 개구부 폐쇄를 위한 문의 작동 등이다.

공기덕트 연기감지기는 공기조화설비와 배기설비에 의한 공기 이동을 제어하기 위하여 연기를 감지하는 기능을 가지고 있다. 공기덕트설비 안에 설치되는 감지기는 공기 조화 설비나 환기설비가 정기 할 때에는 개방된 장소의 연기가 들어오지 않기 때문에 개방장소의 감지기를 대신할 수 없다. 또한 연기층을 이룬 공기가 건물의 다른 부분이나 외부공기 유입에 의하여 깨끗한 공기로 희석되면 연기감지기가 부착된 공기덕트에는 연기가 없지만 실내에는 많은 연기가 있을 수 있다.

아마 이것이 덕트연기감지기의 사용을 제한하는 중요한 이유가 될 것이다. 덕트 연기감지기는 그 사용이 한정적인데 - 일반 장소용 연기감지기나 초기 경보용 감지로 대용할 수 없고 건물의 정규 화재 경보설비의 대체설비로 사용 수 없다. 덕트 연기감지기는 보통 대규모 공간에서 많은 양의 공기를 시료로 채취하며 장소감지기의 감지 능력에 대등하다고는 예상할 수 는 없다. 오염된 공기필터는 공기의 흐름은 방해하여 덕트연기감지기의 동작효과를 저하시키는 결과가 되는 것이 주의하여야한다. 덕트연기감지기는 덕트 안에 연기가 포함된 공기가 순환할 때에만 연기를 감지하기 때문에 장소연기감지기가 연기확산을 제어하는데 더울 바람직한 수단이다. 예컨대 보수 중이거나 일시적 정전 시에는 팬이 돌지 않을 수도 있기 때문이다.

(8) 공기덕트설비의 감지기의 위치와 설치

공기덕트감지기는 그 용도에 따라 검정을 받아야 한다. 공기 덕트감지기는 공기흐름을 대표하는 시료를 얻도록 적정하게 설치되어야 한다. 적정한 설치방법은 다음과 같다.

(가) 덕트 안에 튼튼하게 고정
(나) 덕트 안을 관통하는 감지소자를 덕트벽에 고정
(다) 덕트 안을 관통하는 샘플링 튜브는 닥트 외부에 고정 또는
(라) 투사광선이 덕트를 경유하는 빔감지기를 닥트 외부에 고정

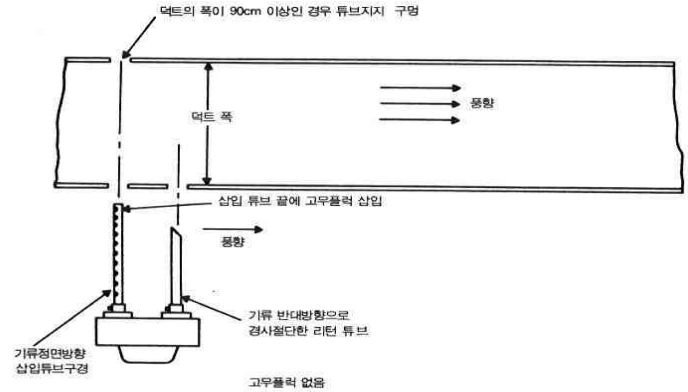


그림 2.3.16 샘플링튜브 달린 덕트 감지기 설치방법

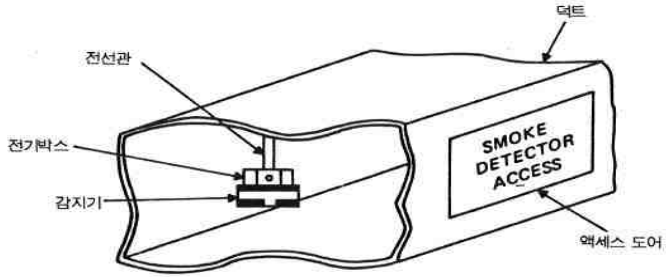


그림 2.3.17 덕트 내부에 설치하는 덕트감지기

공기 덕트 연기감지기는 이온식, 광전식 또는 구름실 작동 원리 중 어느 하나를 채택할 수 있다.

(9) 가스화재감지기

화재 시 가스의 농도에는 많은변화가 생긴다. 가장 많은 변화는 보통 때에는 없던 가스의 농도가 증가하는 것 이다. 예를 들면, 화재 시 H2O, CO, CO2, HCN, H2S, NH3가스가 많고, 여러 가지 산화질소가 발생한다. 물, 일산화탄소 및 이산화탄소를 제외한 대부분의 화재로 발생하는 가스는 연소특성이 있고 일반적 화재감지 목적으로 사용될 충분한 양의 연료보다 소량이다. 일산화탄소와 탄산가스 측정을 하는 실제의 화재실험에서 이러한 가시의 감지 가능한 수준은 감지 가능한 입자와 열 레벨을 이용한다. 가스화재감지기는 반도체나 촉매소자 중 하나로 동작하게 할 수 있다. 반도체소자의 가스화재감지기는 반도체의 전기적 변화에 따라 산화물이나 가스의 감소량을 감지한다. 이러한 반도체의 전도성 변화를 감지기 동작용으로 이용한다.
촉매소자의 감지기에서 감지기는 가연성가스의 산화를 촉진하는 물질이 들어있다. 이소자의 온도상승 결과로 그 소자의 저항이 변하여 경보를 발한다. 금속 산화 반도체 형태의 소자는 가스화재감지기의 하나로 개발된 작동소자이다.

이 소자는 N-타입 반도체인 크리스탈인데 그 속에 두 개의 히터코일이 나선형으로 감겨 서로 반대쪽에 붙어있다. 이 크리스탈은 금속(보통 산화주석)으로 코팅되어 금속인화방지망(flame-arresting mesh) 안에서 히터와이어가 지지하고 있다. 두 개의 히터와이어 중 하나는 전원이 없이 싱글 전극의 역할을 한다. 또 하나의 히터와이어는 350℃ 정도의 온도에서 크리스탈을 유지하기 위하여 5v(DC)의 전압이 걸린 상태이다. 이 크리스탈은 자유 반송파를 많이 내보내고 크리스탈과 접촉하는 오염된 가스를 태워버리는 두가지 역할을 하기위해 이 온도를 유지하여야 한다.

평상시에는 산소가 크리스탈 표면에서 흡수되고 그에 따른 어떤 전도성을 나타낸다. 어떤 산화기능 가스가 이 크리스탈에 닿으면 산소부자는 크리스탈 표면에서 제거되고 전도성이 증가한다. 이러한 증가상태는 가스농도에 비례하여 경보를 내보낸다.

금속산화 소자 단점 중 하나는 비특성(nonspecifity)이다. 이것은 이 소자가 어떠한 산화성 가스와도 반응한다는 것이다.(이 반응은 부가특성이다.)이러한 이유 때문에 산화성 가스가 소량 존재해도 비화재보를 일으키기 쉽다. 그러나 금속산화물로 된 반도체는 포함된 가연성물질에 산화가능 가스가 포함되어 열생성 물질을 발생하는 경우에는 잘 적응한다.

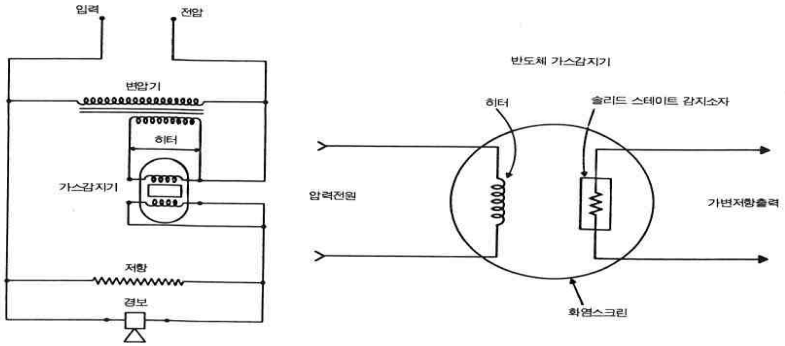


그림 2.3.18 반도체 가스감지 화재감지기

촉매형 고온 와이어 가스감지기는 백금선으로 만든 코일에 알루미나 비드(bead)를 부착한 단자 포스트 구조로 되어있다. 깨끗한 공기조건에서 전원을 감지소자에 가하면 낮은 저항치를 보인다, 이 센서를 가스혼합물에 접촉시키면 혼합물의 분자는 감지소자에서 산화되어 소자의 온도가 올라가 전기저항이 상승한다.

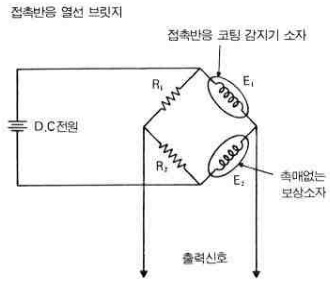


그림 2.3.19 접촉반응소자가 있는 가스감지 화재감지기

장시간의 안정성을 확보하기 위하여 두 개의 소자가 휘스톤 브리지(wheatstone bridge) 모양을 이루어 사용한다. 한 소자는 감지기이며 촉매로 코팅된다. 촉매가 없는 보상용 소자는 가스 존재에 적절히 반응하지 않는다. 이러한 형태에서 전원이 이 두 소자에 가해지면 그것들을 동작온도에 이르도록 가열시킨다. 저항들이 다른 쪽 균형 브리지와 균을 이루며 출력 신호를 발생한다. 가스혼합물이 이 감지기 본체로 들어오면 혼합물은 촉배가 코팅된 소자에서 산화하여 온도와 저하잉 증가하여 브릿지가 불균형을 이루며 출력신호를 내보낸다. 고온의 와이어 브리지 형태는 온도, 노화, 습도 및 전원의 파동으로 생기는 감지기의 변화를 보상한다. 고온의 와이어 센서는 가스에 반응하여 직선적인 추력을 하고 반도체 센서보다 더 큰 상대적 신호범위를 갖는다.

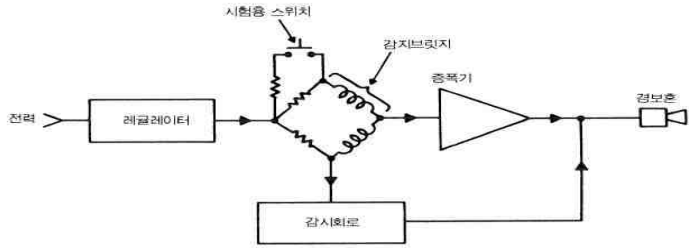


그림 2.3.20 열접촉반응 가스감지기

촉매 고온 와이어 가스 감지기는 레귤레이터로 공급되는 입력 전원을 받아 센서 브릿지로 보낸다. 이 브릿지의 출력 신호는 증폭되고 경보 경적을 작동하고 가스가 존재하는 한 경보가 지속된다. 감시회로는 센싱 소자를 모니터 한다. 소자에 고장이 생기면 이 브리지는 균형이 깨지고 고장신호음을 내보낸다. 전기적 시험회로도이 브리지에 연결한다 시험 스위치의 동작은 이 브리지의 한 부분의 저항을 변화시켜 가스가 있을 때 불균형을 이루는 것과 같은 ㅂ아법으로 그 회로를 불균형 상태로 만든다.

다. 화염감지기

화염감지기는 가시광선(4,000 내지 7,700 옹그스트롬)또는 비가시광선 중 복사 에너지에 반응한다. 이 감지기는 작열화염, 충분한 세기와 경보를 발할 수 있는 분광량을 복사하는 석탄화염을 감지 한다. 이들의 신속한 감지능력으로 화염감지기는 연료하역장, 공정부분, 고압실, 천정고가 높은 장소 와 폭발성이 있거나 대단히 빨리 화재가 퍼질 수 있는 환경과 같이화재 위험이 큰 장소에만 사용한다. 화염감지기는 보통 3 가지가 있는데 - ① 적외선(infrared-IR), ② 자외선(ultraviolet-UV) 및 ③ 복합형인 IR/UV 가 그것이다. 화염감지기는 불을 보고 동작하므로 감지기 앞에 차단물이 없어야 한다(적외선 감지기는 벽에 반사된 화염도 감지할 수 있다.).

(1) 적외선감지기(infrared flame derector)

적외선감지기는 기본적으로 필터와 렌즈로 구성되어 불필요한 파장을 걸러내고 들어온 에너지에 초점을 맞추어 관전이 또는 다른 형태의 전지로 적외선을 감지한다. 적회선감지기는 화염의 총 적외선과 5 - 30HZ 주파수 범위의 화염이 점멸할 때 반응할 수 있다.

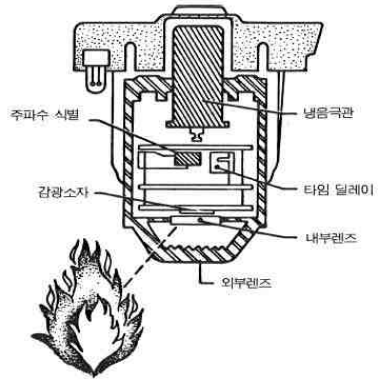


그림 2.3.21 적외선 화염감지기

총 적외선량을 받는 적외선감지기는 태양에너지강도가 작은 불보다 큰 경우에는 태양에너지에 양향을 받을 수 있다. 이 문제는 필터를 사용하여 2.5내지 2.8마이크로미터 또는 4.2 내지 4.5 마이크로미터 범위를 벗어난 모든 적외선을 배제시킬 수 있따. 이들 범위는 대기중에 CO2나 물이 태양광선의 적외선을 흡수하는 최대값 이다. 이 감지기가 태양광을 가진 장소에 설치될 때에는 이러한 걸름 장치는 필요치 않다. 태양광 간섭문제에 접근하는 다른 방법은 두 개의 감지 회로인 two color 계통을 적용하는 방법이다. 한 회로는 0.6 내지 1.0마이크로미터 사이의 파장을 감지한다. 태양광 반응센서 회로에서 나온 신호는 화재감응전지의 출력을막아 태로 인한 비화재보를 막는 장치를 감지기에 부여할 수 있다.

대부분의 화염감지기 작용에서 화염 점멸센서회로를 채용하는데 이것은 화염이 발생하면서 생기는 점멸 또는 변조특성(flicker or modulation characteristics) 이 태양광이나 인공적인 간섭으로는 생기지 않기 때문이다. 화염 점멸회로는 양호한 신호-대-잡음 비(signal-to-noise ratio)를 얻을 수 있게 한다. 이러한 감지기는 화염의 점멸범위를 변하는 전류신호에 대응하도록 입력을 조절하는 주파수 감지용 증폭기를 쓴다.

화염감지기는 고정 또는 주사(scanning)모-드 중 하나의 방법으로 공간을 감지하도록 만든다. 이 고정장치는 계속해서 렌즈의 비치는 각도에 의하여 제한된 원뿔형의 공간을 감시하여 경보를 한다. 감지각도는 일반적으로 10° - 170° 범위이다. 주사장치는 122m 범위에서 거울이 1 분에 6 회전하면서 투시각 100° 수평으로 360°로 주사하며 감시한다. 이 거울은 신호를 받으면 멈춘다. 순간적 파동을 거르기 위해 신초가 15 초간 지속될 때에 만 경보를 발한다.

섬유공장에서 사용되는 감지기로 닥트에 생기는 스파크나 일상적인 화염을 구별하는것도 있다. 이 감지기는 화염점멸감지회로가 없고 닥트의 필터 이전 부분에서 화재가 될 수 있는 메리야스섬유(lint fiber)의 작열화대만 주사한다. 이 감지기는 작열중인섬유가 필터에 이르기 전에 소화할 수 있도록 물분무설비와 연동시킨다.

(2) 자외선감지기(ultraviolet type flame detector)

이 감지기는화염에 포함된 자외선을 화재 감지원으로 사용한다.이 감지기의 감지장치부분은 실리콘 카바이드(silicon carbide)나 알루미늄 니트라이드(aluminum nitride),또는 튜브내의 가스가 자외선으로 이온화 되어 전류가 흐리게 하여 경보를 발하는 가스충전 튜브 들 솔리드-스테이트(solid state)형이다.양광으이 감지기는 0.17 - 0.30마이크로미터 범위의 파장에서 동작하는데 이것은 태양광과 인공조명에서는 동작하지 않는 범위이다. 이 자외선감지기는 투사각 90° - 180°의 공간을 감시한다.

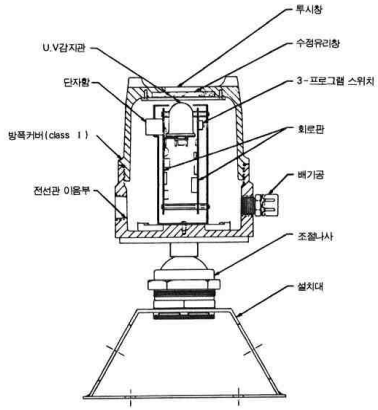


그림 2.3.22 자외선 화염감지기

(3) 복합형 화염감지기

적회선/자외선(UV/IR)을 동시에 감지하는 방법은 항공기와 고압실 방화용으로 적용된다. 이러한 복합형 화염 감지기는 분포형 열감지기의 신호와 연동시켜 이 감지기간의 감지 시간차를 예상하여 경보를 발한다. 이러한 차이의 분석은 설비에 장착된 마이크로 컴퓨터가 처리한다.

라. 국내외 터널에 설치된 감지기 종류 및 문헌조사

터널에서의 화재감지시스템은 초기 화재 단계에서 화재경보를 알려 터널에서 비상설비가 가동하거나 초기단계에서 화재로 인한 재난에 대처할 수 있도록 하는 시스템이다. 최근의 연구에서는 도로터널에서의 경우 화재감지시스템이 매우 제한적임을 드러냈다. [참고문헌 5]. 선형 열감지기, 불꽃감지기등의 성능을 발전시키려는 연구가 진행되었다[참고문헌 5-16]. 이러한 실험적인 연구는 대개 pool fire를 이용하여 진행되었으며 흥미로운 점은 CCTV(Closed Circuit Television)을 화재 감지기로 이용하는 방안을 연구하였는데 이 또한 매우 제한적인 정보를 제공하는 것으로 드러났다. 이러한 이유로 건물에 적용되는 일반적인 감지기 기술로는 터널에 적용하기가 난이하다.

현재 국내외에의 터널에 적용되는 감지기종류 또는 감지시스템은 아래 표에서 나타내고 있다.

표 2.3.3 Current available tunnel fire detection technologies

	Linear Heat detection system	Flame detector	CCTV detector	Smoke detection system	Spot detector
Detecting Principle	Heat	Radiation	Image	Smoke	Heat, smoke, gas, etc.
Detecting capability	Response to be determined; Location and monitoring fires	Fast response; Locating fires	Fast response; Locating & monitoring fires	Fast response; Locating fires	Moderate response; Locating fires
Reliability	Hiah	To bo determined	To be determined	Low	Moderate to high
Avilability	High	To bo determined	To bo determined	Moderate	Moderate to high
Applications	Europe	Japan	None	None	Sprinker head

표에 의하면 터널에 적용되는 감지기 종류로서 선형 열감지기, 불꽃감지기, 일부 Spot 감지기가 적용되고 있으며 유럽 및 일본에서 적용하는 것으로 나와 있다. CCTV는 유고시스템으로 널게 적용하고 있는데 최근에는 감지기로서 적용하는데 많은 관심을 두고 있는 실정이다.

마. 국내 철도터널 형태 조사 분석

국내철도터널은 아래그림과 같이 철도시스템에 따라 고속철도터널, 일반철도터널, 도시철도터널, 대심도 및 저심도터널로 나뉘어진다.

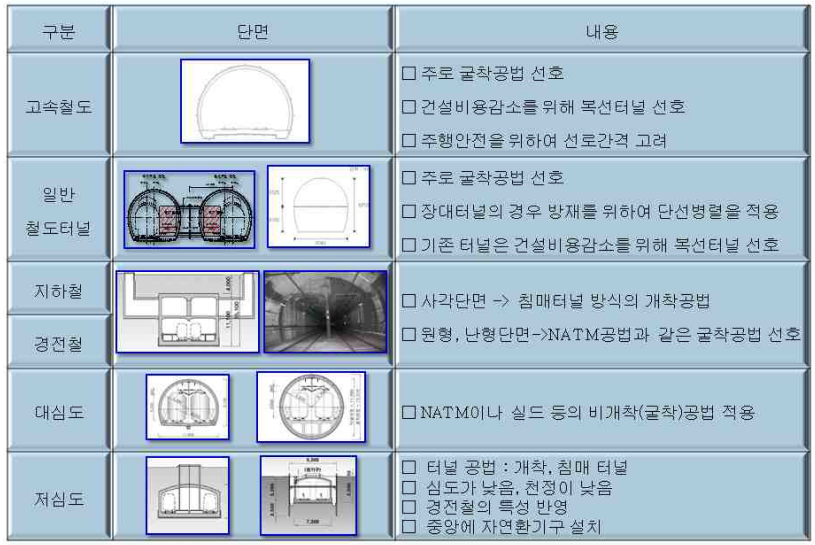


그림.3.3.23 철도시스템에 따른 국내철도터널 종류

터널의 형상에 따라서는 아래표와 같이 크게 세가지 형태로 나타낼 수 있는데 난형, 원형, 마제형이다. 철도터널 형상은 용도에 따라 효율성, 경제성을 고려하여 여러 가지 형태로 시공되나 터널 형상 설계시 가장 중요한 요소는 터널의 안정성이다. 일반적으로 구형 형태의 터널 형상이 구조적으로 매우 안정적인데 이론적으로 정수압 응력장이 1인 상태이다. 하지만, 지형적인 요소와 기술적, 경제성 등의 이유로 타원형 터널 형상도 건설된다. 일반적으로 정수압 응력장 ≠1인 상태에서는 주응력비와 같은 장단축비를 갖는 계란형 형상도 역학적으로도 안정하다.

표 2.3.4 터널 단면 형상에 따른 장점 및 단점

구분	단면	장점	단점
난형		□구조적으로 안정 □양수압에 안정 □원형보다 굴착량이 적어 경제적	□마제형보다 굴착량이 크므로 다소 비경제적
원형		□구조적으로 가장 안정 □양수압에 안정	□굴착시공이 공법에 따라 난이 □굴착면적이 크므로 비경제적
마제형		□굴착단면이 작고 시공성이 양호 □여굴량이 적어 경제적	□원형보다 구조적으로 다소 불안정 □양수압에 불안정

○ 대표터널 형태 선정

본 연구에서는 철도터널 감지기기준을 잡기 위하여 여러 가지 철도시스템중에 대표적인 세가지 형태로 고속철도, 일반철도(솔안터널), 지하철철도터널을 선택하였다. 이는 국내에서 가장 사용빈도가 높기 때문이며, 현재 건설중인 대심도나, 이용이 적은 경전철터널, 연구단계인 저심도등은 배제하였다. 각각의 터널은 철도터널 모델링 및 철도터널 화재 시뮬레이션에서 다시 기술하도록 하고자 한다.

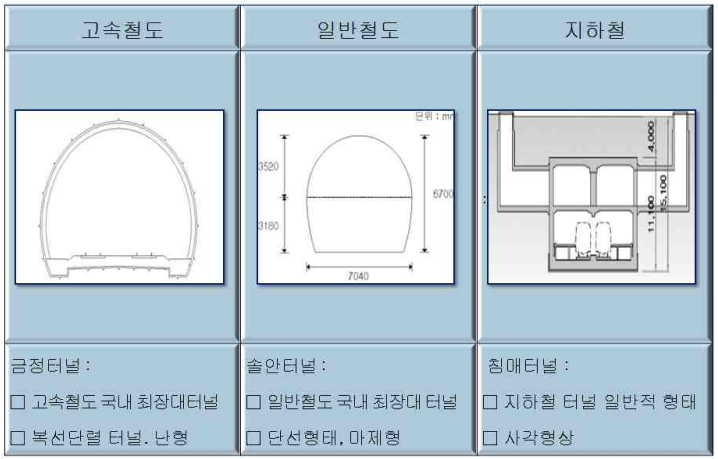


그림.3.3.24 선정된 대표 철도터널

2. 감지기 종류별 화재특성 수치해석

가. 해석영역 및 격자설정

감지기 성능평가를 위해 터널화재 수치해석을 수행하였다. 대상터널은 충남 서천군에 있는 온동 터널이며, 터널의 길이는 214m, 높이는 5.2m, 폭은 3.9m이다.



그림 2.3.25 온동터널 위치 및 규모

해석영역은 본 영역에서 사용된 화재해석 프로그램인 FDS의 경우 빠른 계산결과를 위해 FFT 방법을 사용하므로 아래그림과 같이 실제 터널보다는 약간 큰 사이즈로 모델링 되었다. 터널의 길이는 214m, 높이는 5.4m, 폭은 4.0m이다. 격자수는 약 777,600 개가 사용되었으며, 격자크기는 (0.2x0.2x0.2m)로 하였다.

터널벽은 0.2m 콘크리트로 설정하였으며, 터널외부벽 경계는 20m의 대지로 설정하였으며, 이는 다음표에 나타내었다.

표 2.3.5 20℃ 에서의 재질 물성치

구 별	비열(kj/kg/K)	밀도(kg/m^3)	열전도도(W/m/K)
콘크리트	1.84	2050	0.519
대 지	0.87	2300	1.4

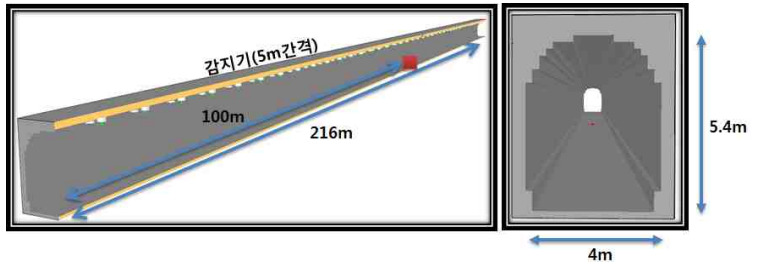


그림 2.3.26 FDS 모델링

해석 격자의 설정은 화재모델링의 경우 정확한 결과를 얻기 위하여 적정 격자를 구성하는 것이 중요하다. 모델링시 격자의 크기는 화원의 거동이 잘 표현될 수 있는 적절한 크기이어야 한다. 따라서 화원의 특성직경보다 작아야 화원으로부터 비롯된 열/연기의 거동이 정확하게 예측된다. 식.1 의 D* (화원특성직경)를 구하기 위하여 아래표의 물성치를 식에 대입하여 격자의

크기를 구하였다. 계산결과 D* 는 2.4m 이며 이를 토대로 격자크기를 1/10 이하로 설정하여 0.2m의 크기로 격자를 설정하였다.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_0 T_0 C_{p0} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}}$$ 수식 2.3.1

표. 2.3.6 적정격자를 산출하기 위한 입력 변수

항목	단위	값
온도	K	293.15
밀도	kg/m³	1.1934
비열	kJ/kg·K	1.007
중력가속도	m/s²	9.81
HRR	kW	10,000

나. 화원설정

화원의 경우 터널입구에서 100m 부근에 설치되었으며, 화원의 연료는 햅탄으로 설정하였으며, 연료트레이의 크기는 0.130m X 0.841m X 0.594m(H X L X W)이고 면적은 0.5m2 이다. 이때 화재규모는 연료트레이 1개일 때 1MW 규모의 화재가 발생한다. 본 연구에서는 아래그림과 같이 1MW 화재와 2MW 급 화재로 설정하여 연구를 진행하였다.

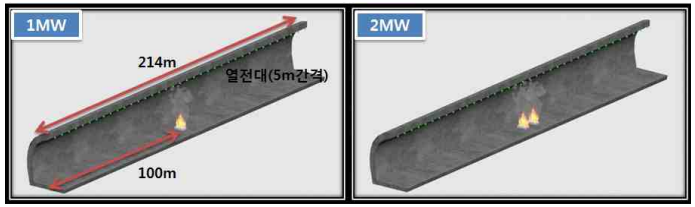


그림 2.3.27 터널실험 개략도

다. 감지기 위치설정

터널내부의 화재특성을 분석하기 위해 열전대를 설치하였다. 열전대 설치위치는 터널센터 천정에 5m 간격으로 설치하였으며, 터널 센터에서 1m 좌측 지점에도 5m 간격으로 설치하였다. CO, CO2, Soot, 온도를 측정하여 분석하였다.

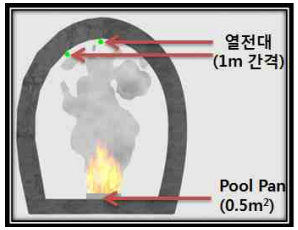


그림 2.3.28 열전대 설치위치

라. 해석결과

본 연구에서 해석결과는 온도, CO2, CO, Soot_Density, Soot_visibility 의 분포를 터널센터를 기준으로 나타내었으며, 열전대와 각 감지기의 데이터를 위치별 시간데이터로 분석하였다. 데이터 샘플링은 10sec 간격으로 하였으며, 터널내부의 속도분포를 통해 화재발생시 기류분포를 분석하였다.

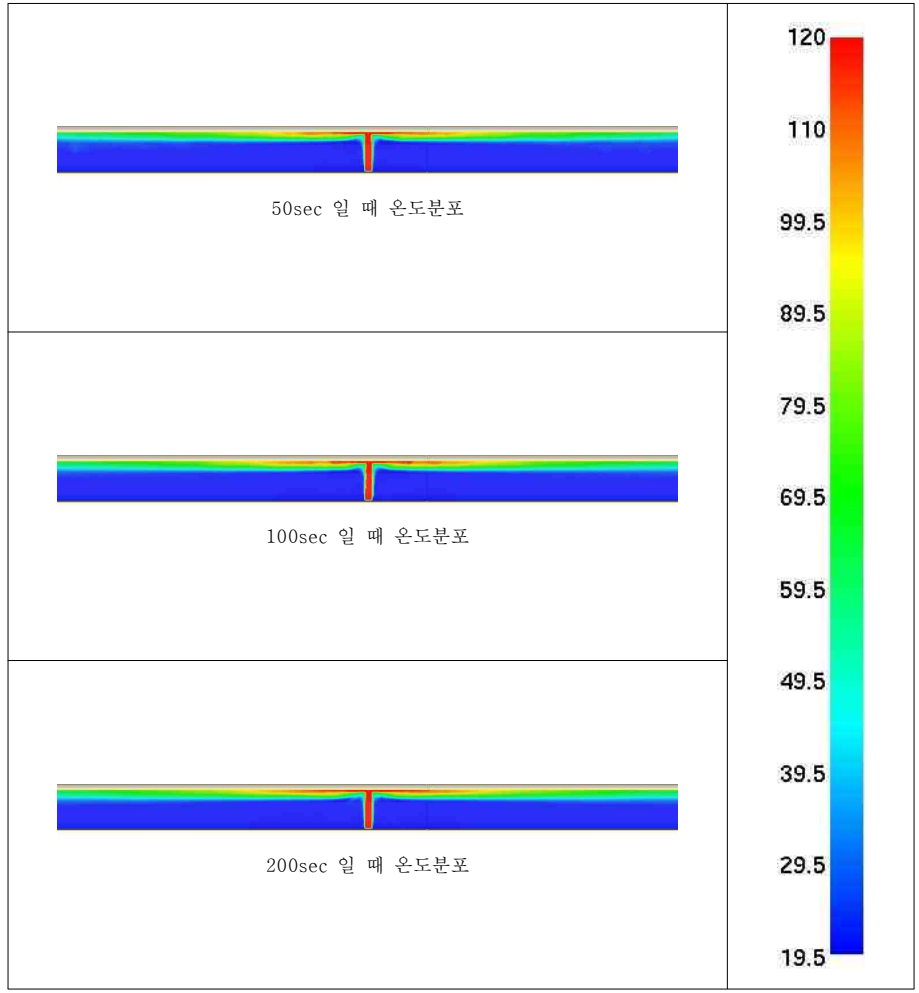


그림 2.3.29 1MW 터널화재 온도분포(℃)

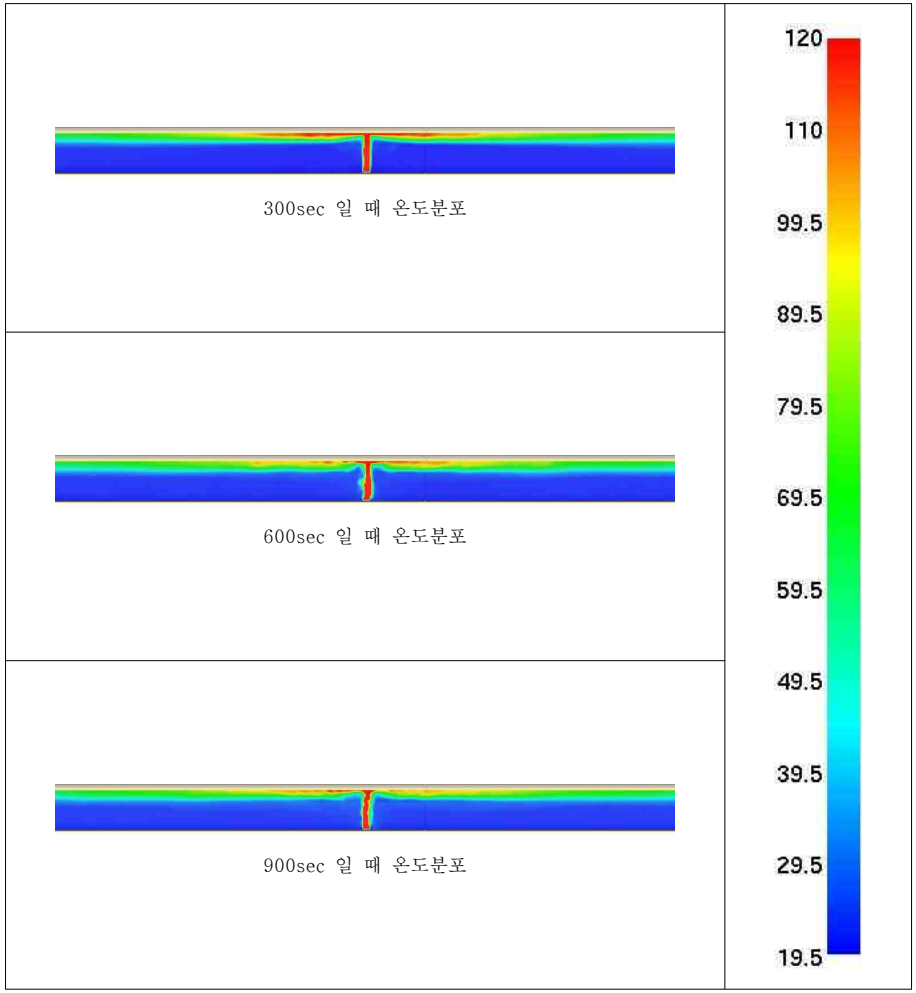


그림 2.3.30 1MW 터널화재 온도분포(℃)

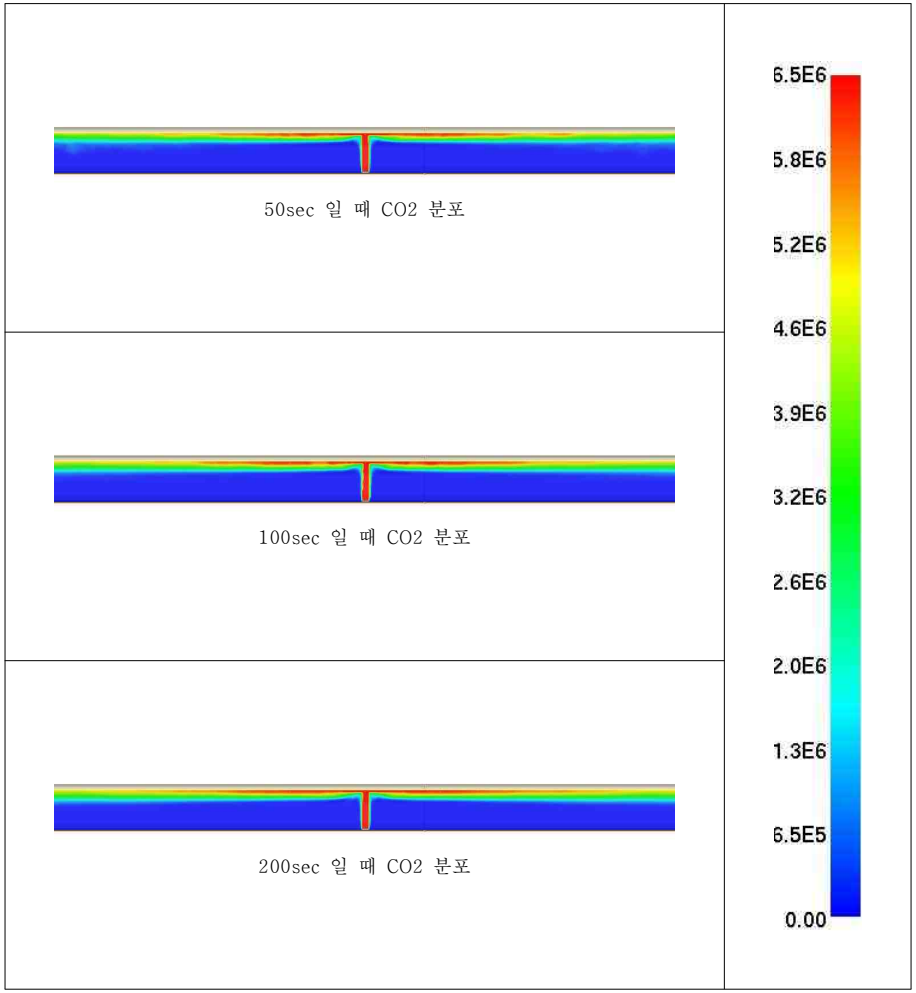


그림 2.3.31 1MW 터널화재 CO2 분포(10-3 ppm)

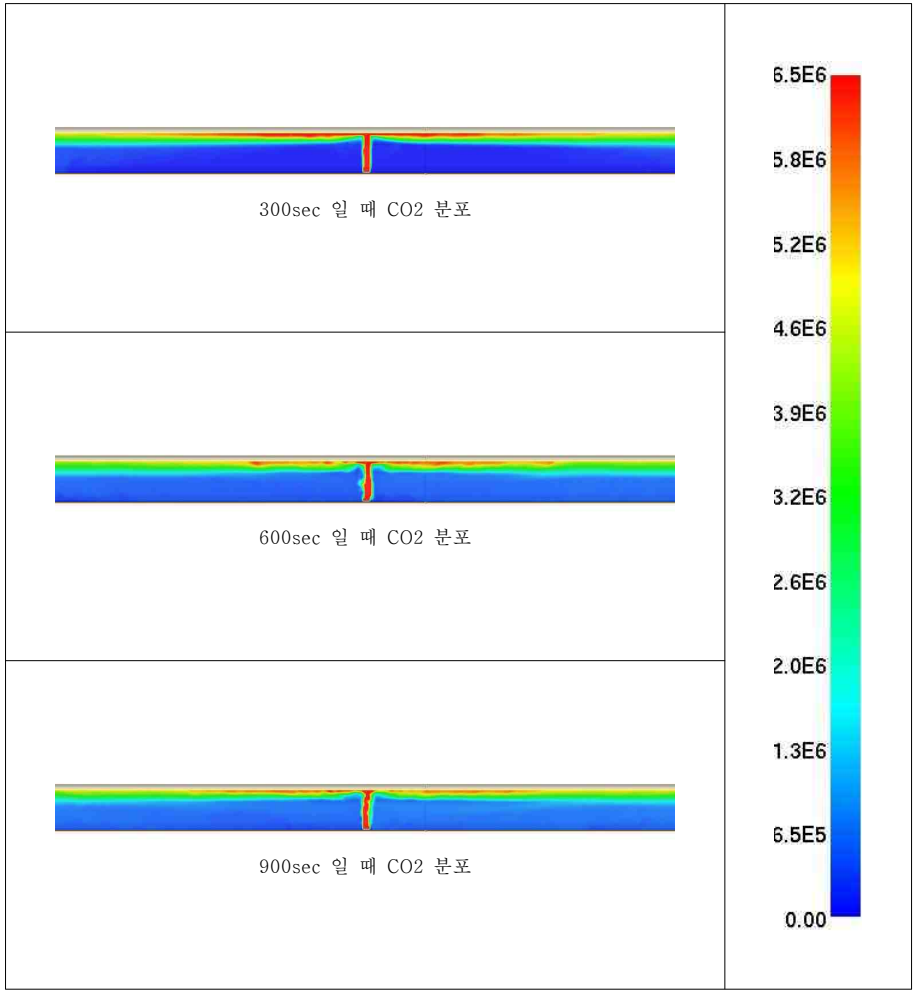


그림 2.3.32 1MW 터널화재 CO2 분포(10-3 ppm)

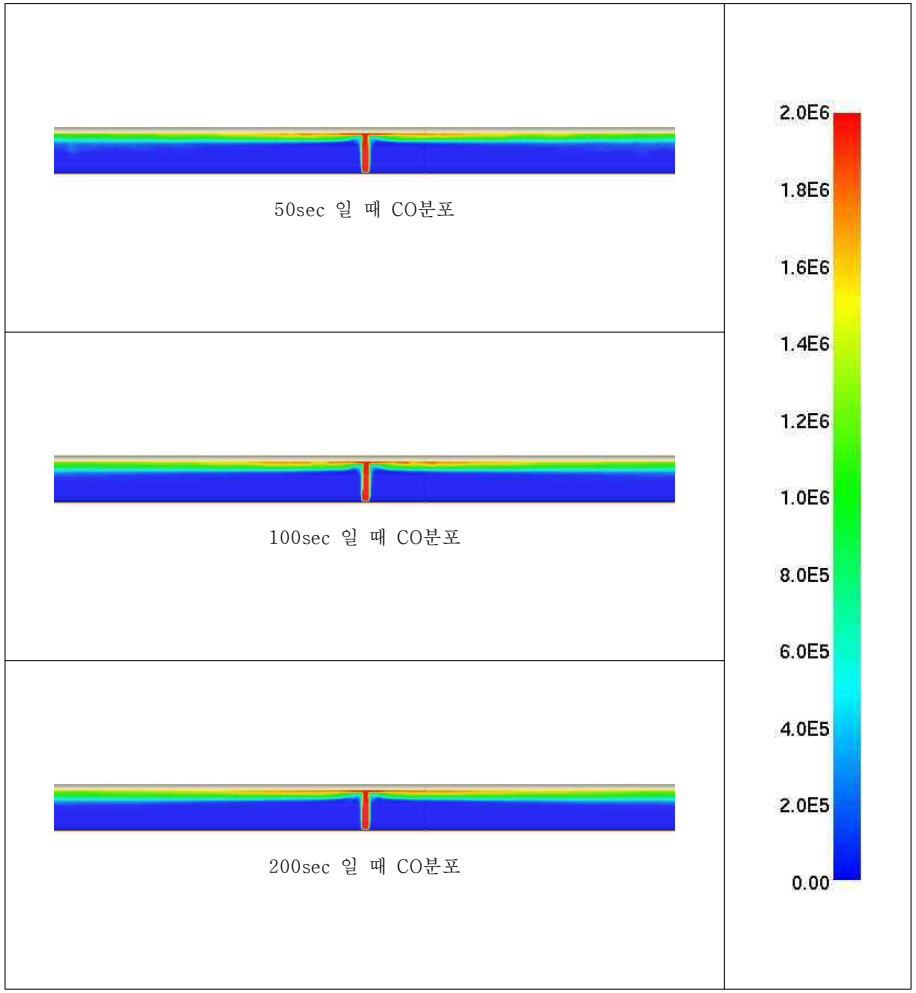


그림 2.3.33 1MW 터널화재 CO 분포(10-4 ppm)

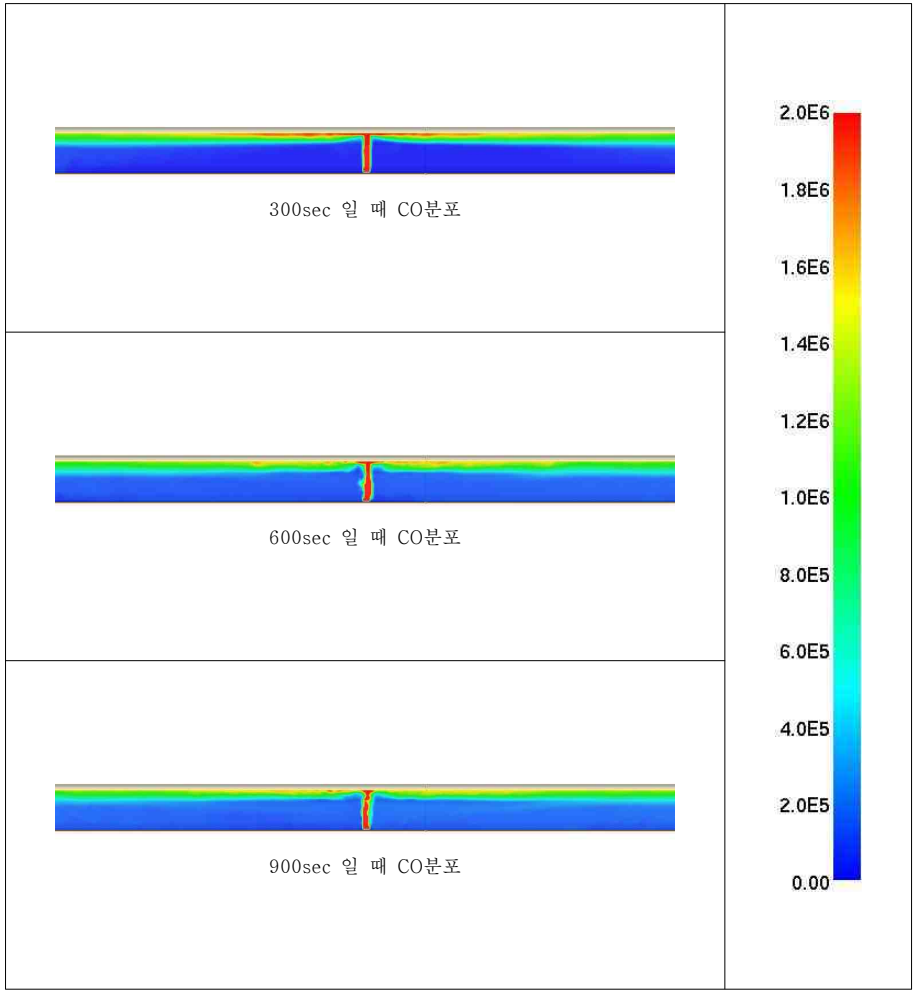


그림 2.3.34 1MW 터널화재 CO 분포(10-4 ppm)

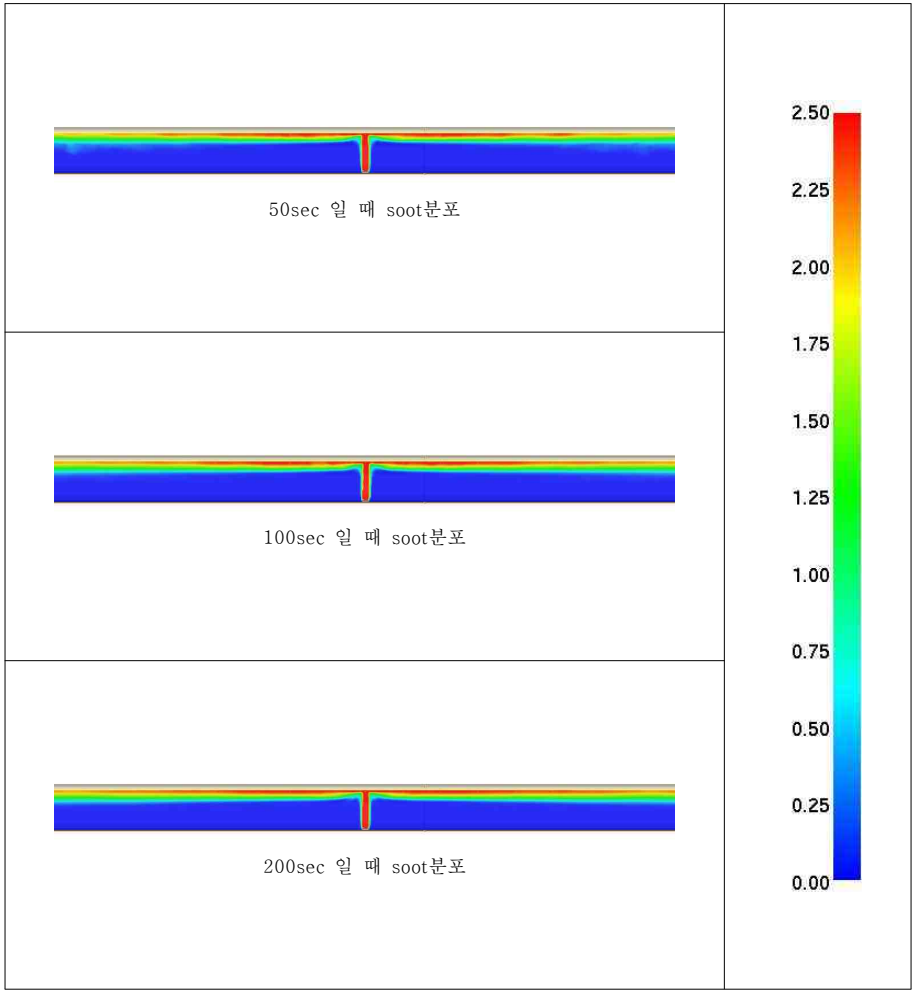


그림 2.3.35 1MW 터널화재 Soot_Volume_Fraction 분포(10-7)

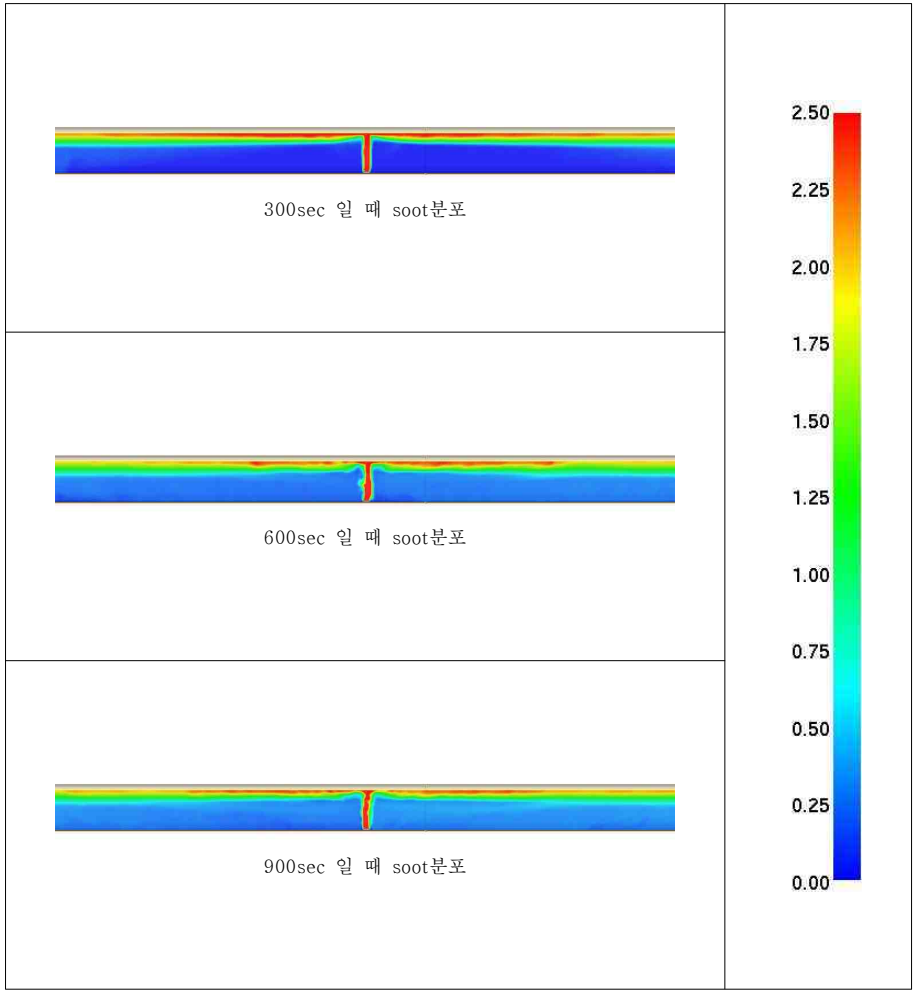


그림 2.3.36 1MW 터널화재 Soot_Volume_Fraction 분포(10-7)

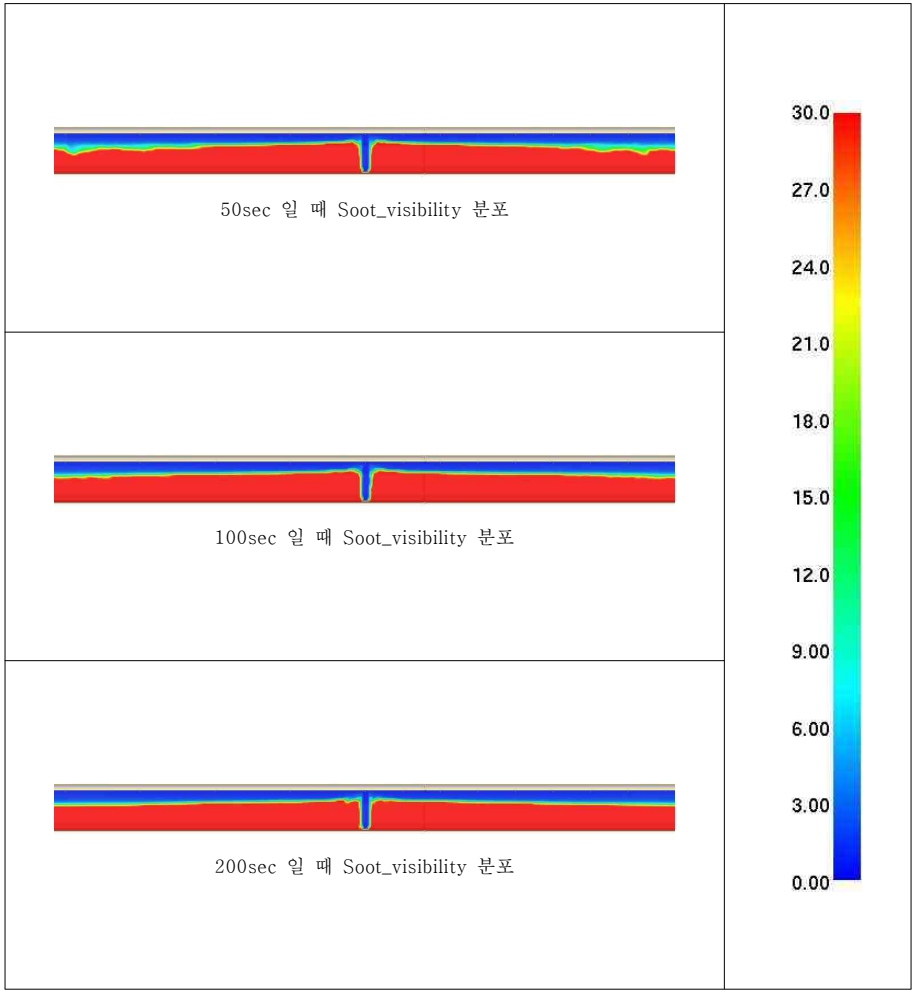


그림 2.3.37 1MW 터널화재 Soot_Visibility 분포(m)

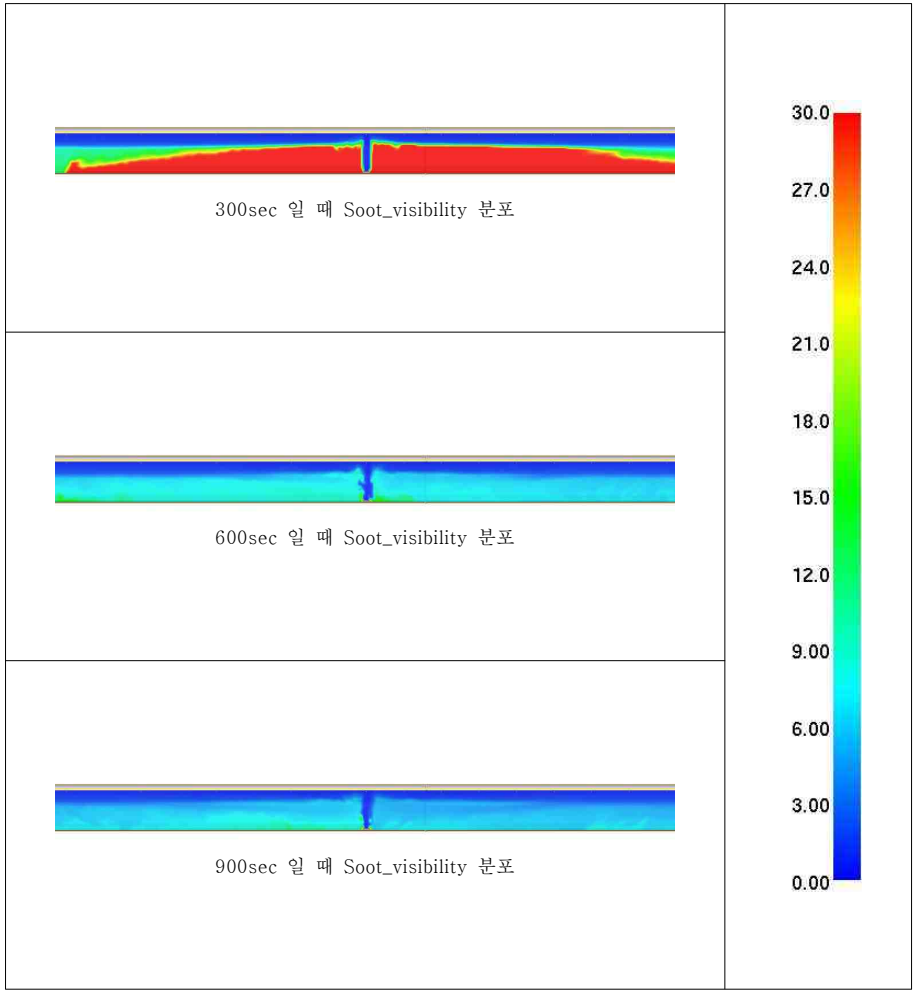


그림 2.3.38 1MW 터널화재 Soot_Visibility 분포(m)

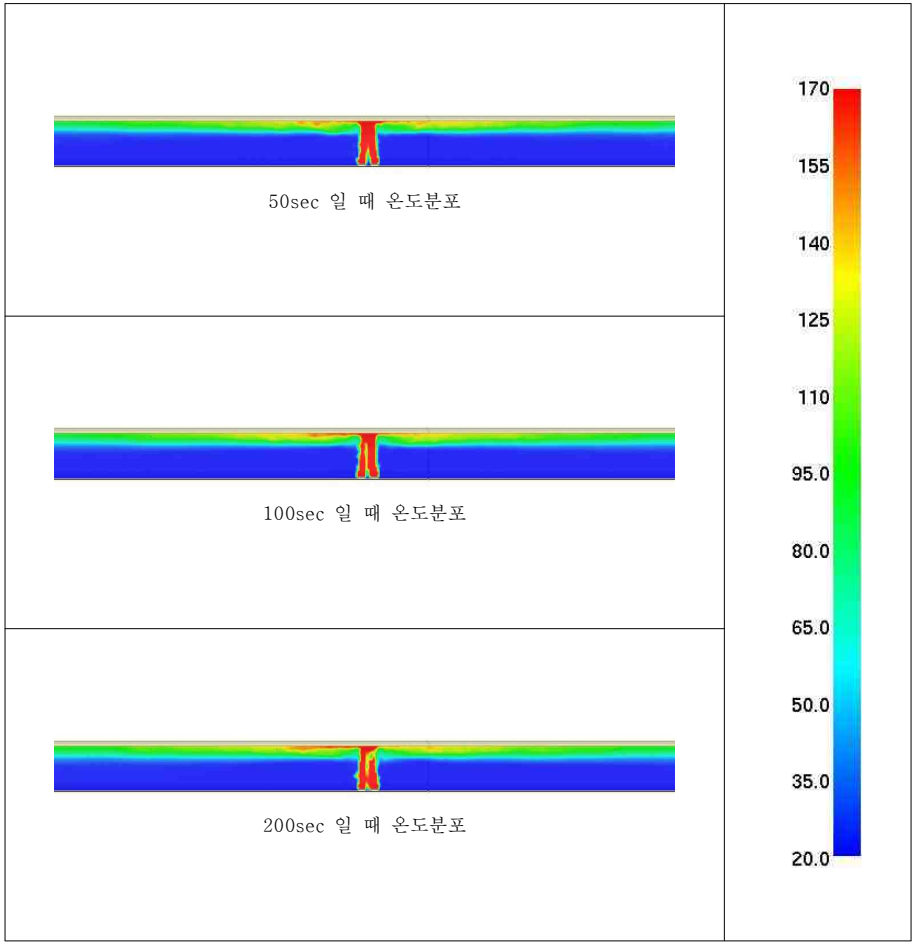


그림 2.3.39 2MW 터널화재 온도분포(℃)

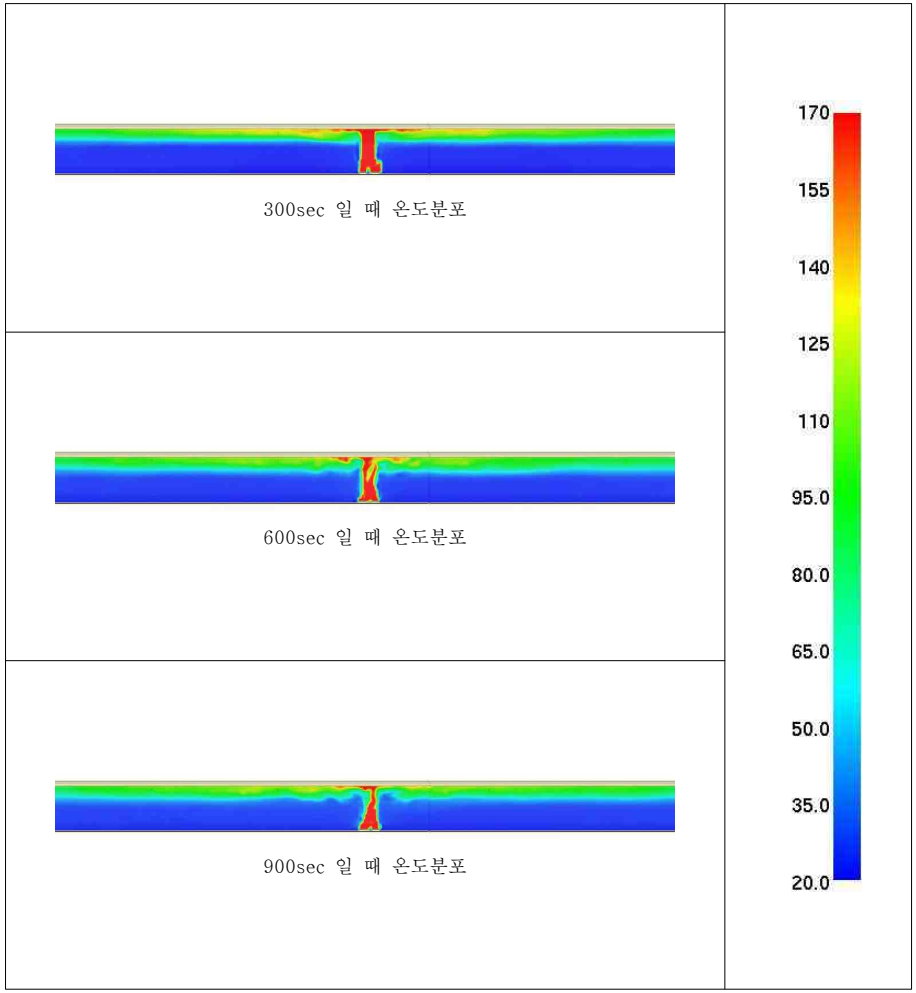


그림 2.3.40 2MW 터널화재 온도분포(℃)

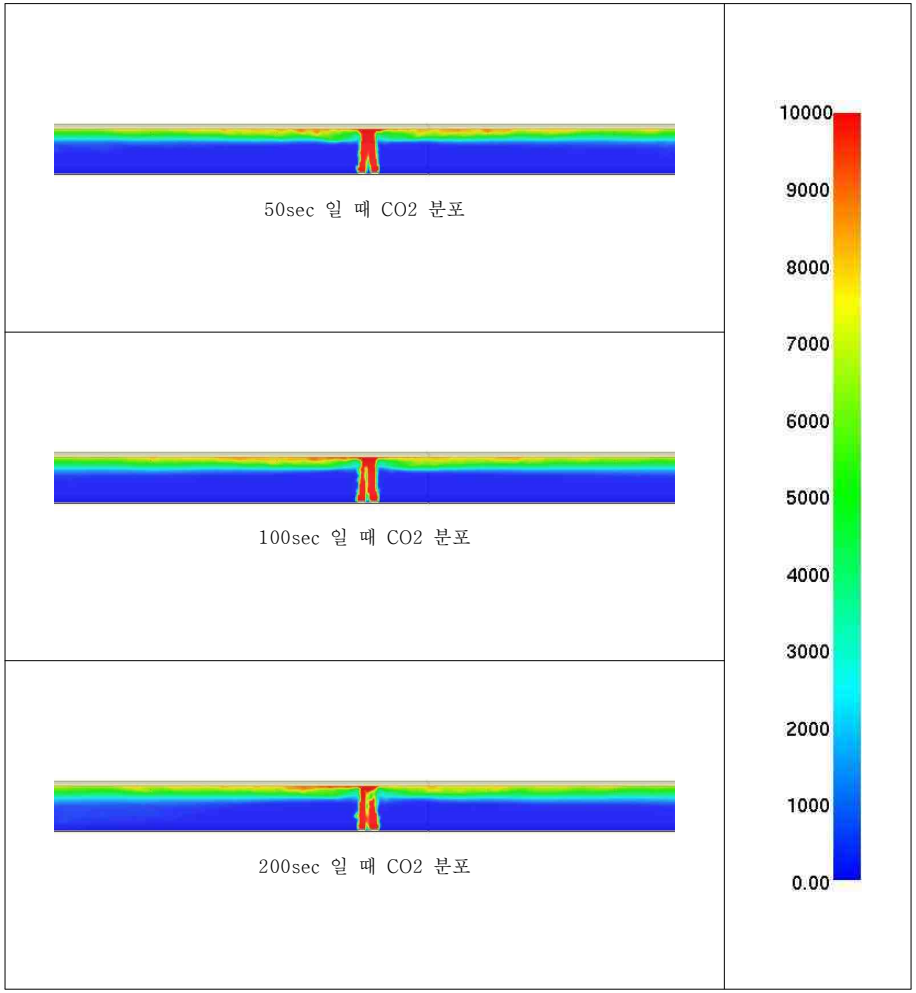


그림 2.3.41 2MW 터널화재 CO2 분포(ppm)

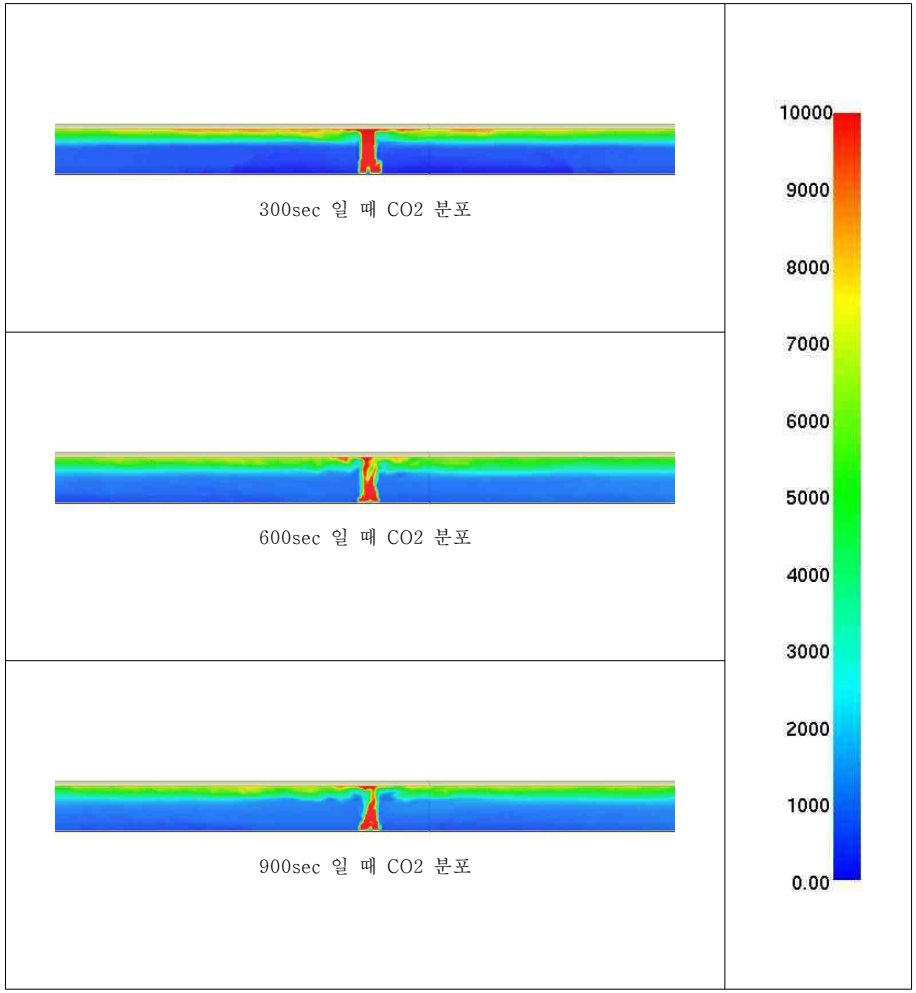


그림 2.3.42 2MW 터널화재 CO2 분포(ppm)

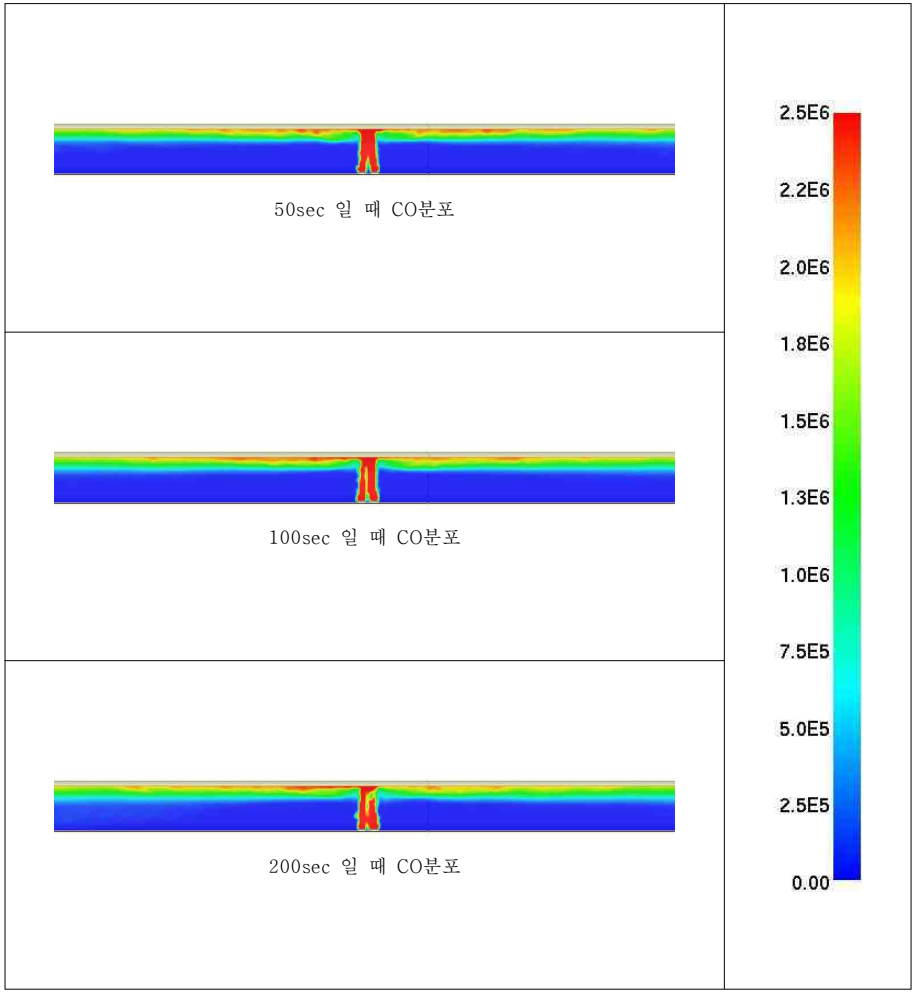


그림 2.3.43 2MW 터널화재 CO 분포(10-4 ppm)

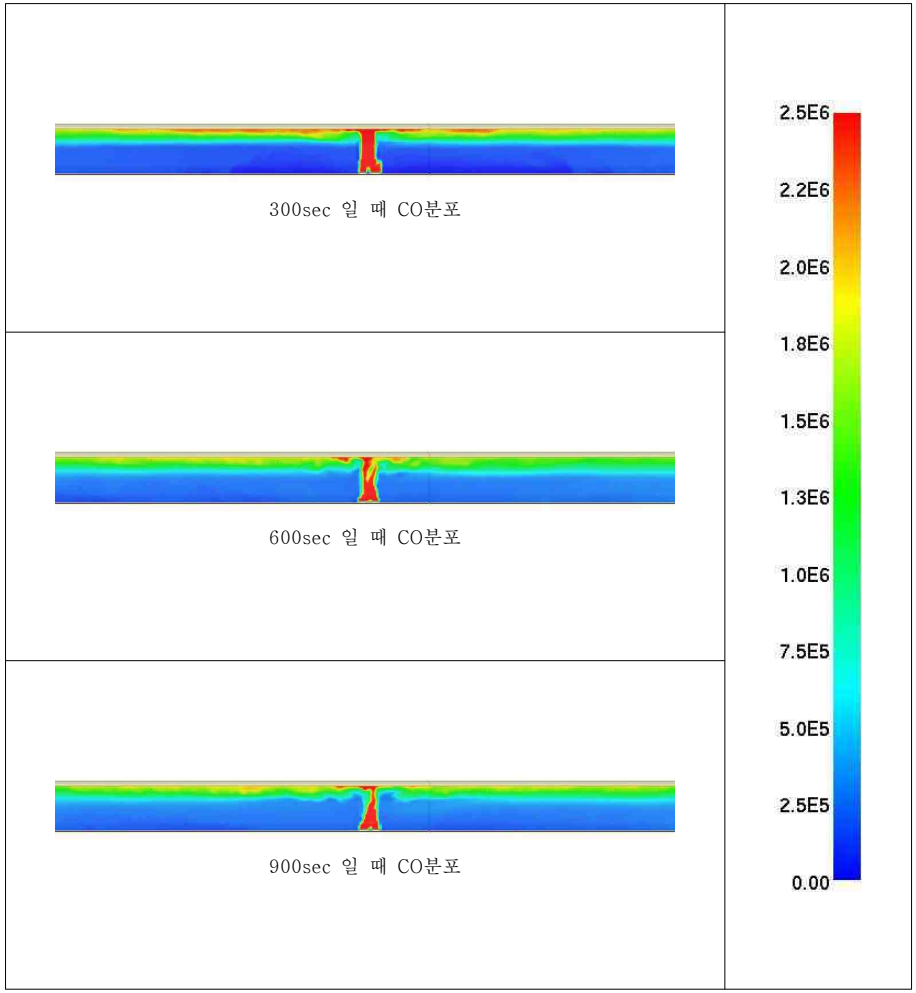


그림 2.3.44 2MW 터널화재 CO 분포(ppm)

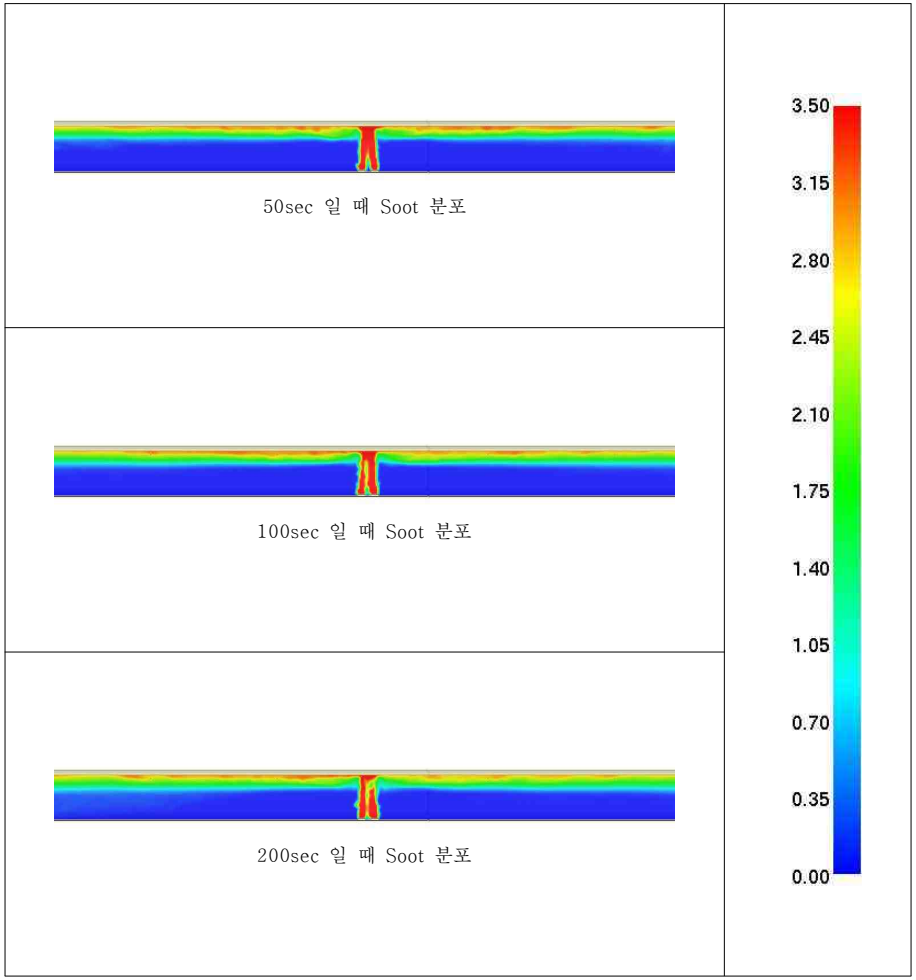


그림 2.3.45 2MW 터널화재 Soot_Volume_Fraction 분포(10-7)

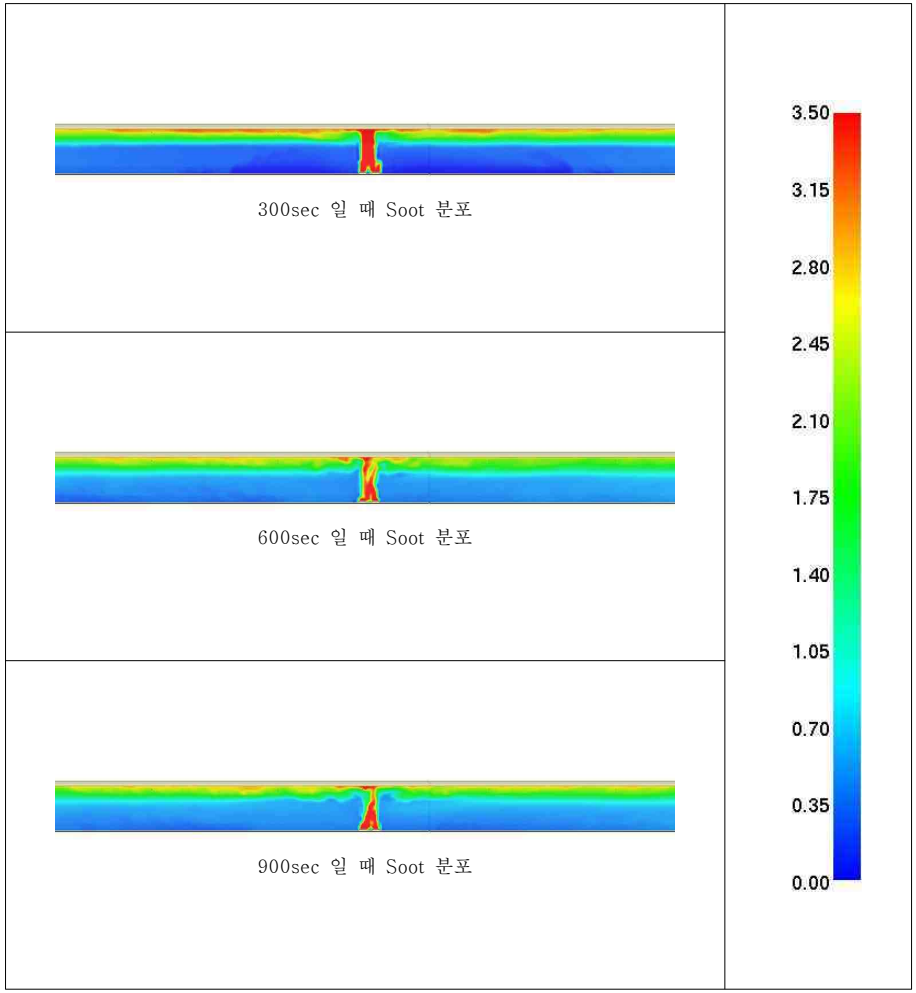


그림 2.3.46 2MW 터널화재 Soot_Volume_Fraction 분포(10-7)

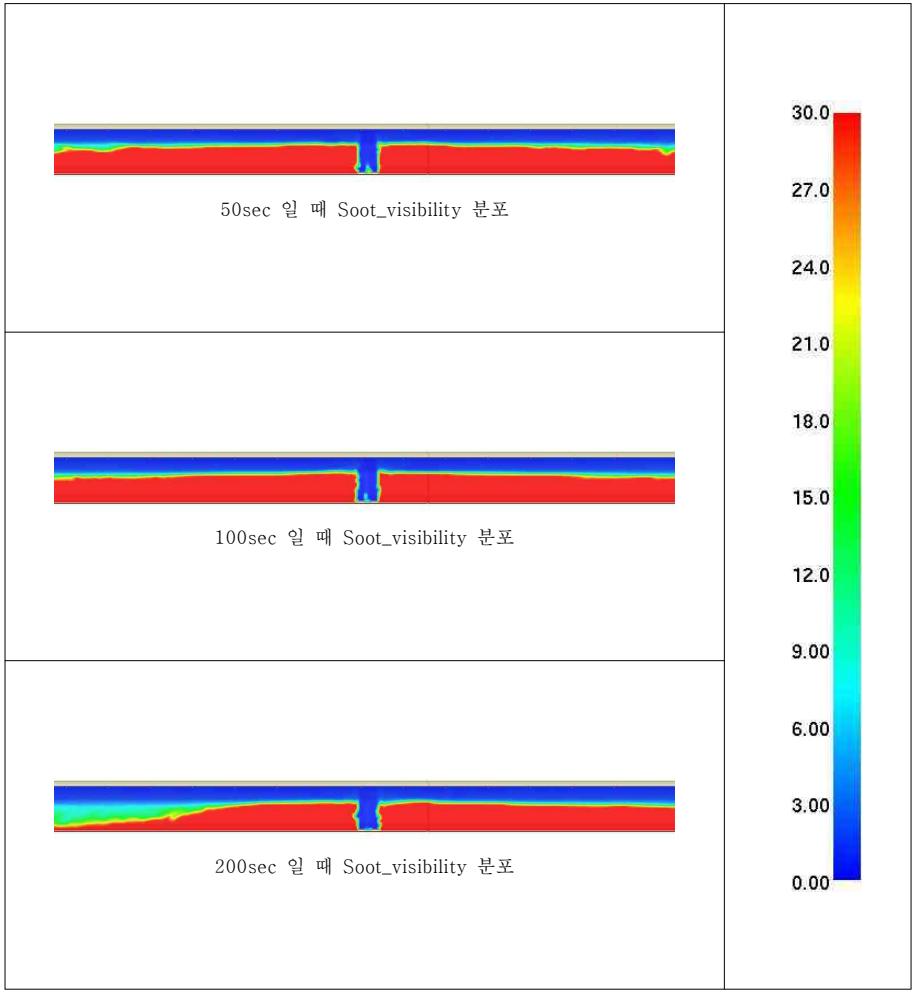


그림 2.3.47 2MW 터널화재 Soot_Visibility 분포(m)

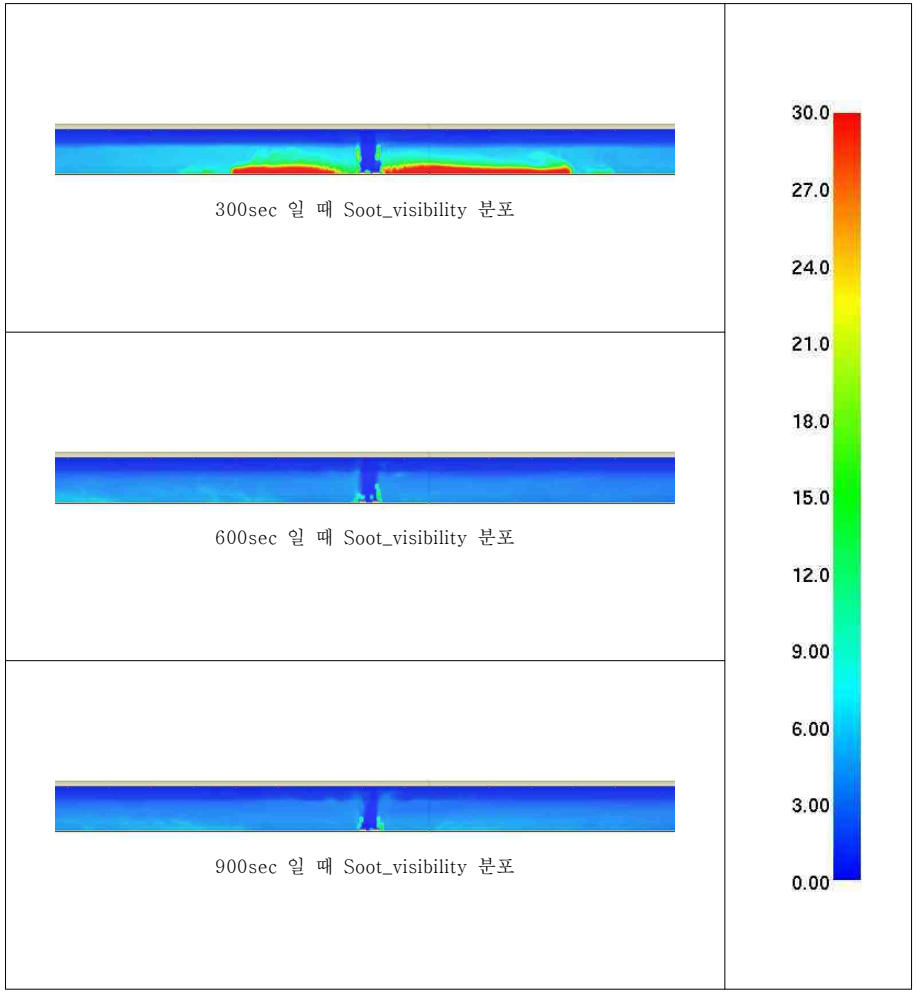


그림 2.3.48 2MW 터널화재 Soot_Visibility 분포(m)

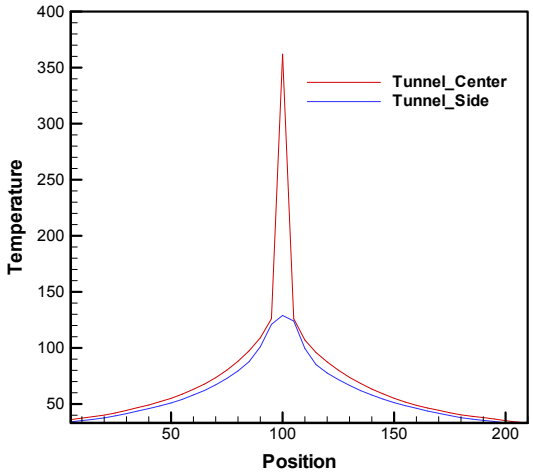


그림 2.3.49 300sec 일 때 열전대 온도분포(1MW)

해석결과 화재발생지역을 중심으로 상층부의 온도가 상승하며, 터널 천정을 따라 터널의 입출구 방향으로 유동이 발생한다. 화재발생 지역을 중심으로 온도가 급상승 하며 터널 벽을 따라 점차 기류가 하강 한다. 화재지역에서 50m 지점까지 약 50℃ 의 온도가 측정되었다.

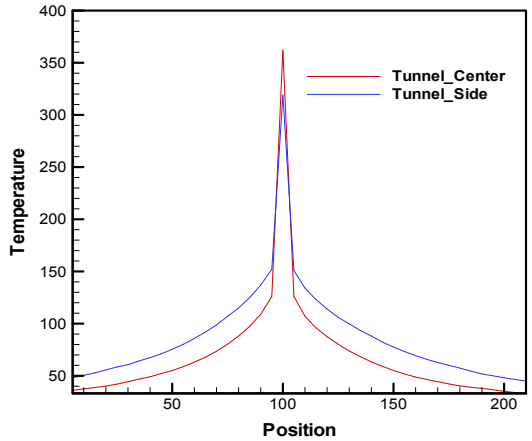


그림 2.3.50 300sec 일 때 열전대 온도분포(2MW)

해석결과 1MW 화재보다 터널 중앙부와 사이드 부분의 온도차가 많이 발생하였으며, 이는 화재규모가 커짐에 따라 터널내부로 온도가 쌓이는 속도보다 터널천정을 따라 외부로 기류가 빠르게 나가기 때문으로 생각된다.

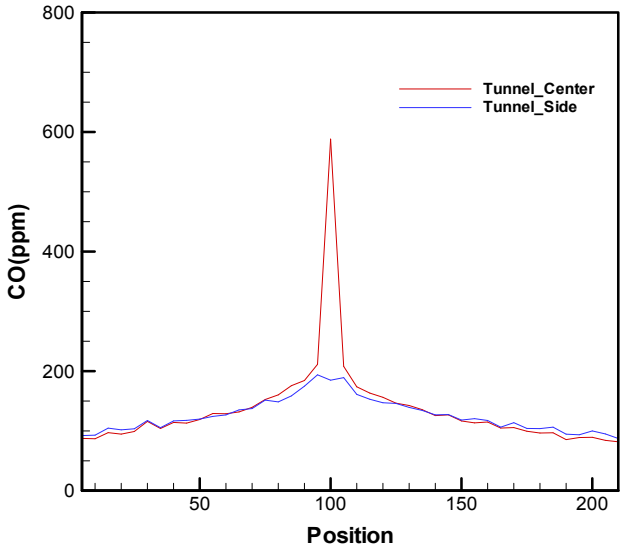


그림 2.3.51 300sec 일 때 CO 분포(1MW)

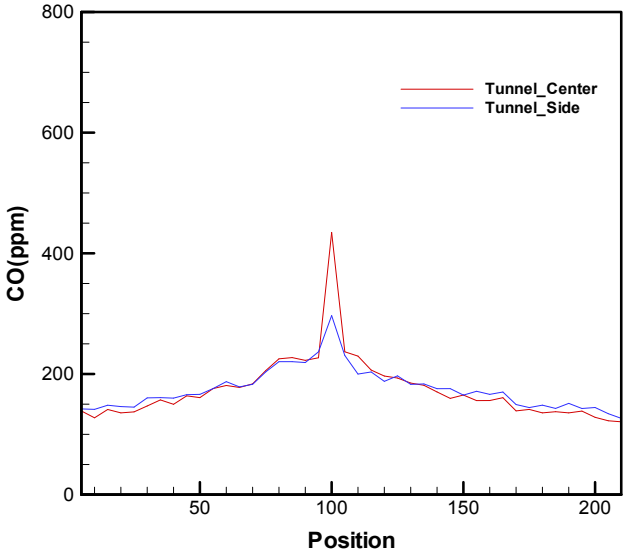


그림 2.3.52 300sec 일 때 CO 분포(2MW)

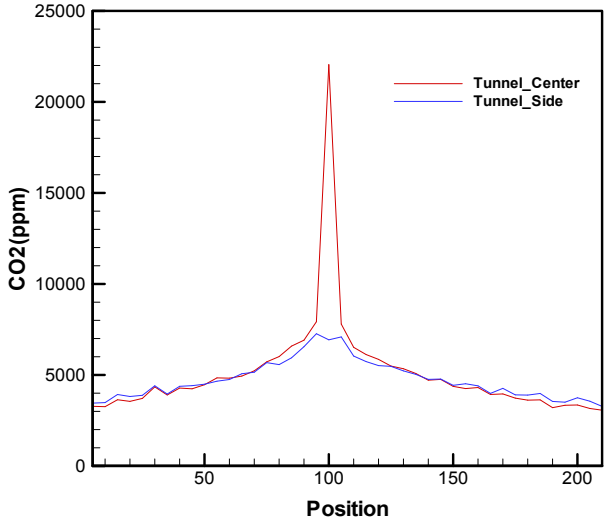


그림 2.3.53 300sec 일 때 CO2 분포(1MW)

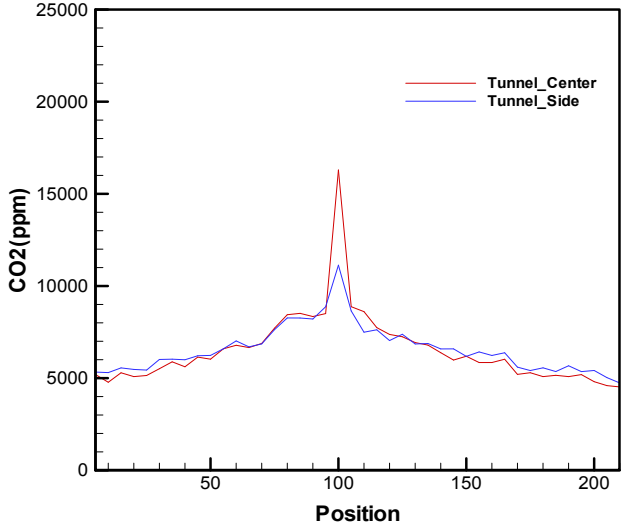


그림 2.3.54 300sec 일 때 CO2 분포(2MW)

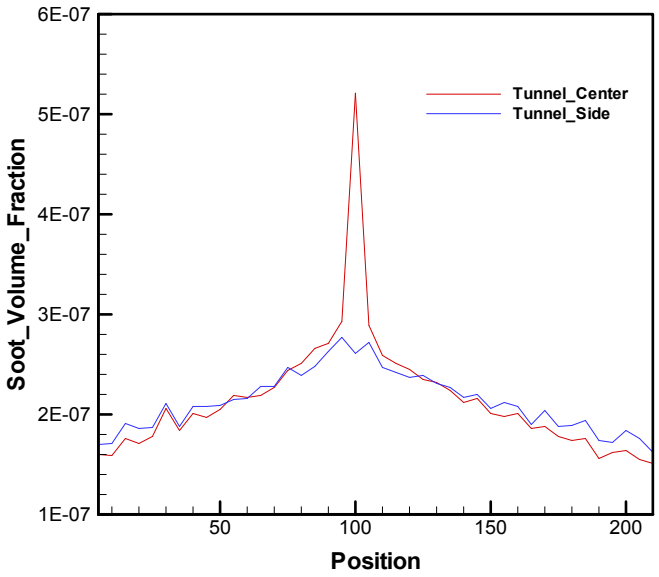


그림 2.3.55 300sec 일 때 Soot 분포(2MW)

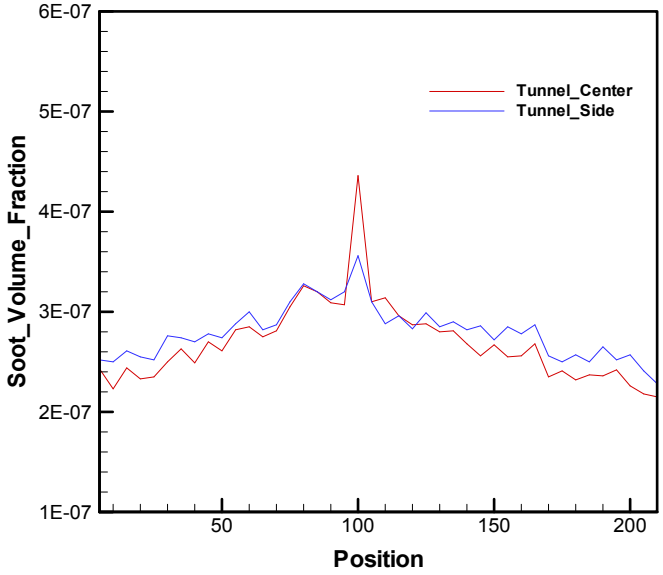


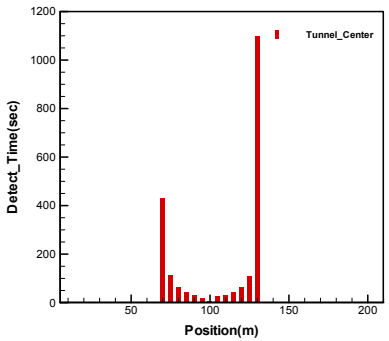
그림 2.3.56 300sec 일 때 Soot 분포(2MW)

마. 열감지기 해석결과

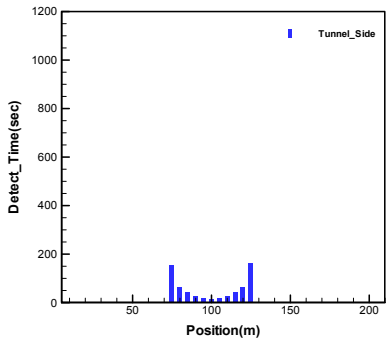
터널내부의 온도를 감지하기 위해서 열 감지기를 설치하였다. 열감지기 위치는 열전대 위치와 같게 하였다. 화재알람 설정은 국내에 시판되는 감지기를 참조하여 70℃ 로 설정하였다. 감지기 사양은 바이메탈 온도감지 방식으로 -10℃~50℃에서 사용가능하며 70℃이상의 온도에서 화재알람이 울리도록 되어있다. 감지기 RTI 값은 "열감지기 응답시간 지수와 작동시간"[1] 논문을 참조 하여 27로 설정하였다. 해석결과는 기준온도이상이 감지되는 시간으로 그래프로 나타내었다.



그림 2.3.57 정온식 열감지기



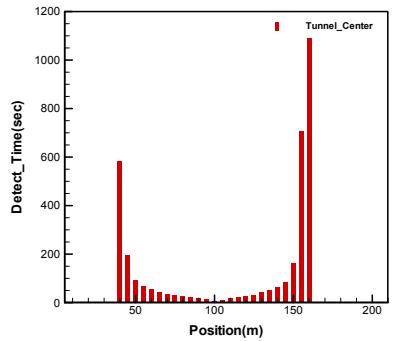
a. 1MW 화재에서 열감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)



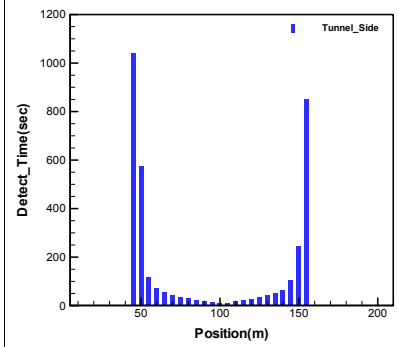
b. 1MW 화재에서 열감지기 감지시간 (터널측면 감지기)

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간
5	감지 못함	5	감지 못함
...	...	...	...
70	430	70	감지 못함
75	113	75	155
80	62	80	63
85	44	85	42
90	33	90	27
95	17	95	19
100(화재위치)	5	100(화재위치)	13
105	26	105	20
110	33	110	28
115	44	115	42
120	62	120	63
125	109	125	163
130	1100	130	감지 못함
135	감지 못함	135	감지 못함
...	...	...	...
210	감지 못함	210	감지 못함

그림 2.3.58 위치별 열감지기 감지시간(1MW)



a. 2MW 화재에서 열감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)



b. 2MW 화재에서 열감지기 감지시간 (터널측면 감지기)

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간
5	감지 못함	5	감지 못함
...	...	...	...
40	583	40	감지 못함
45	196	45	1040
50	94	50	574
55	68	55	116
60	54	60	71
65	43	65	54
70	37	70	44
75	31	75	36
80	26	80	30
85	22	85	24
90	18	90	18
95	14	95	13
100(화재위치)	5	100(화재위치)	9
105	12	105	12
110	18	110	17
115	21	115	23
120	25	120	28
125	29	125	35
130	43	130	42
135	53	135	53
140	64	140	66
145	85	145	106
150	161	150	247
155	707	155	850
160	1090	160	감지못함
...	...	...	...
210	감지 못함	210	감지 못함

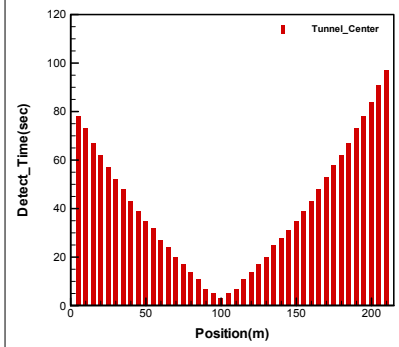
그림 2.3.59 위치별 열감지기 감지시간(2MW)

바. 연기감지기 해석결과

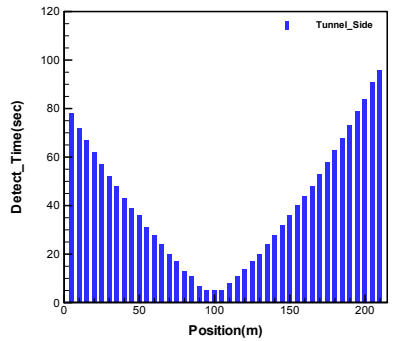
터널내부의 연기농도를 감지하기 위해 연기감지기를 설치하였다. 연기감지기 위치는 열전대위치와 같다. 연기감지기 사양은 30cm 당 0.61~1.91% 연기농도에서 5단계 알람이 설정되며, 시간패턴이나 화재패턴을이 프로그램 되어있어 화재에 따른 알람설정이 가능하다. 본 연구에서는 30cm 당 0.61% 이상되는 연기 농도에서 화재 신호를 주도록 설정되었다. 해석결과는 기준연기농도 이상 감지되는 시간으로 그래프로 나타내었다.



그림 2.3.60 연기감지기



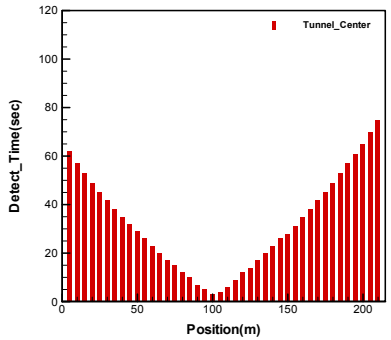
a. 1MW 화재에서 연기감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)



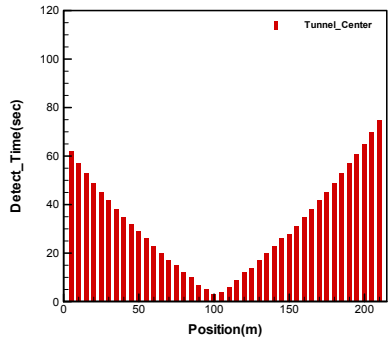
a. 1MW 화재에서 연기감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간(초)
5	78	5	78
...	...	...	...
40	43	40	43
45	39	45	39
50	35	50	36
55	32	55	31
60	27	60	28
65	24	65	24
70	20	70	20
75	17	75	17
80	14	80	13
85	11	85	11
90	7	90	7
95	5	95	5
100(화재위치)	3	100(화재위치)	5
105	5	105	5
110	7	110	8
115	11	115	11
120	14	120	14
125	17	125	17
130	20	130	20
135	25	135	24
140	28	140	28
145	31	145	32
150	35	150	36
155	39	155	40
160	43	160	44
...	...	...	...
210	97	210	96

그림 2.3.61 위치별 연기감지기 감지시간(1MW)



a. 2MW 화재에서 연기감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)



a. 2MW 화재에서 연기감지기 감지시간 (터널중앙 감지기)

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간
5	62	5	62
...	...	...	...
40	35	40	35
45	32	45	32
50	29	50	30
55	26	55	26
60	23	60	23
65	20	65	20
70	17	70	18
75	15	75	15
80	12	80	13
85	10	85	10
90	7	90	7
95	5	95	5
100(화재위치)	3	100(화재위치)	4
105	4	105	5
110	6	110	7
115	9	115	10
120	12	120	12
125	14	125	15
130	17	130	17
135	20	135	20
140	23	140	23
145	26	145	26
150	28	150	29
155	31	155	32
160	38	160	35
...	...	...	...
210	75	210	75

그림 2.3.62 위치별 연기감지기 감지시간(2MW)

사. 광전식 연기감지기 해석결과

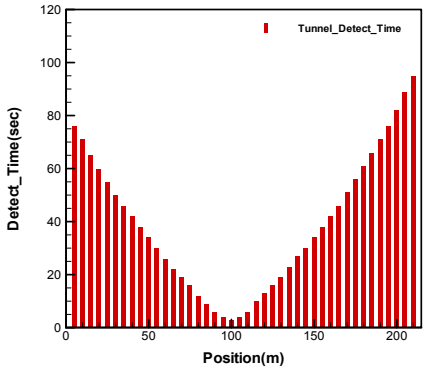
터널내부의 연기농도를 감지하기 위해 연기감지기를 설치하였다. 연기감지기 위치는 발광부는 열전대 위치와 동일하게 설정하였으며, 수광부의 위치는 발광부 위치와 대칭되는 위치에 설정하였다. 감지기 사양은 25%, 35%, 50% 에서 3단계 알람이 설정되며, 작동온도는 -10℃~50℃에서 작동한다. 본 연구에서는 25% 이상 되는 연기농도에서 화재신호가 발생하도록 설정하였다. 해석결과는 기준연기농도 이상 감지되는 시간으로 그래프로 나타내었다.



그림 2.3.63 광전식 분리형 감지기



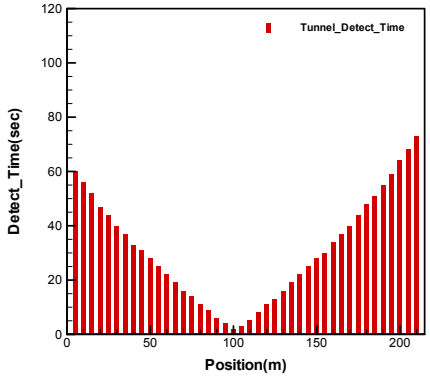
그림 2.3.64 광전식 분리형 감지기 원리



1MW 화재에서 연기감지기 감지시간

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간
5	감지 못함	5	감지 못함
...	...	...	...
40	583	40	감지 못함
45	196	45	1040
50	94	50	574
55	68	55	116
60	54	60	71
65	43	65	54
70	37	70	44
75	31	75	36
80	26	80	30
85	22	85	24
90	18	90	18
95	14	95	13
100(화재위치)	5	100(화재위치)	9
105	12	105	12
110	18	110	17
115	21	115	23
120	25	120	28
125	29	125	35
130	43	130	42
135	53	135	53
140	64	140	66
145	85	145	106
150	161	150	247
155	707	155	850
160	1090	160	감지못함
...	...	...	...
210	감지 못함	210	감지 못함

그림 2.3.65 위치별 연기감지기 감지시간(2MW)



2MW 화재에서 연기감지기 감지시간

위치(m)	감지시간(초)	위치	감지시간
5	76	5	60
...	...	...	...
40	42	40	33
45	38	45	31
50	34	50	28
55	30	55	25
60	26	60	22
65	22	65	19
70	19	70	16
75	16	75	14
80	12	80	11
85	9	85	9
90	6	90	6
95	4	95	4
100(화재위치)	3	100(화재위치)	2
105	4	105	3
110	6	110	5
115	10	115	8
120	13	120	11
125	16	125	13
130	19	130	16
135	23	135	19
140	27	140	22
145	30	145	25
150	34	150	28
155	38	155	30
160	42	160	34
...	...	...	...
210	95	210	73

그림 2.3.66 위치별 연기감지기 감지시간(2MW)

아. 감지기별 감지성능 평가결과

본 연구에서는 철도터널에서의 화재발생시 터널내부의 온도분포, CO, Soot 분포를 나타내었다. 또한 현재 국내에서 유통되는 감지기를 적용하여 각 감지기 마다 터널화재시 감지성능을 감지시간을 기준으로 하여 나타내었다. 해석대상은 온동터널로 하여 향후 실험데이터와 비교할 예정이다. 화재사이즈는 1MW와 2MW 화재로 연료는 헵탄으로 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

감지기의 간격은 5m 간격으로 감지시간에 대한 데이터를 이용하여 비교 분석하였다.

-온도감지기 해석결과 온도감지기는 약 70m 지역까지 감지되었으며 화재지역을 제외하고 감지하는 시간이 긴 것으로 나타났다.

-온도감지기의 경우 1MW 화재보다 2MW 화재에서 감지시간이 고른 분포를 보였다.
연기감지기는 약 200m 지역까지 감지가 되었으며, 온도 감지기보다 빠르게 감지가 되었다.

-해석결과 온도감지기의 경우 연기감지기보다 감지범위가 좁기 때문에 연기감지기보다 설치간격이 좁아야 할 것으로 분석되었으며, 화재 감지 효과 외에 화재시 터널내부의 상태를 판단시 참고해야 할 것으로 생각된다.

-연기감지기의 경우 온도감지기보다 넓은 지역에 대한 감지가 가능하고 감지시간도 빠르게 해석되었다. 하지만, 터널내부의 공기가 청정하지 않다면 그만큼 오작동에 대한 대책이 필요할 것으로 분석된다.

3. 터널 규모별 감지시간 평가

가. 경계조건 설정

터널규모별 감지기 성능 평가를 위해 수치해석을 수행하였다. 총 3가지 터널에 대해서 해석을 수행하였다. 첫 번째 터널의 길이는 2.5km 이며 높이는 9m, 폭은 12m 이다. 두 번째 터널은 첫 번째 터널과 길이와 폭은 같으며 높이가 1m 낮은 8m 로 하였다.

화원은 한국철도기술연구원에서 제시한 “철도터널 화재안전성 평가 매뉴얼”의 표준 설계화재 선도를 참고하여 아래 표와 같이 설정하였다. 화재 위치는 10량의 철도차량에서 6번째 차량에서 화재가 발생한 상황을 가정하여 해석을 수행하였다.

고속철도 화재의 CO 발생량은 CO의 발생수율을 한국철도기술연구소에서 수행한 고속철도 화재실험 결과를 참고하여 식 2.3.2 ~ 식 2.3.6을 이용하여 0.043 로 설정하였으며, Soot 발생수율은 0.132 로 설정하였다.

$$ppm = \frac{v_{spec}}{V} \qquad \text{수식 2.3.2}$$

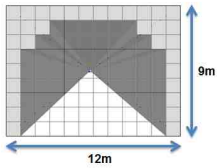
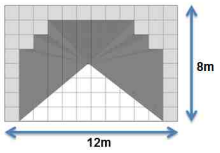
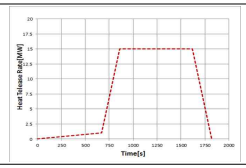
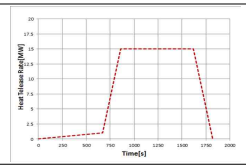
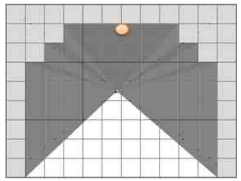
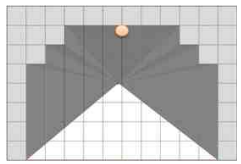
$$CO_{volume}[m^3/s] = ppm \times A \cdot V \qquad \text{수식 2.3.3}$$

$$CO_{mol} = \frac{CO_{volume}[m^3/s]}{(22.4l[10^{-3}m^3/s] \times \frac{T(k)}{300})} \qquad \text{수식 2.3.4}$$

$$CO_{\text{질량}} = \int_0^{time} CO_{mol\text{수}} \times \text{분자량} \qquad \text{수식 2.3.5}$$

$$C_3H_{8\text{의 환산연료질량}} = \frac{\text{총 화재크기}}{1kg\text{당 } C_3H_8\text{의 열량}} \qquad \text{수식 2.3.6}$$

감지기 설치위치는 아래표와 같이 터널 천정 중앙부에 설치하였으며 감지기 설치간격은 50m 간격으로 하였고 각 감지기는 CO, CO2, soot, 온도를 측정하여 분석하였다.

대상터널		
형상		
길이(m)	25000m	25000m
폭(m)	12	12
높이(m)	9	8
격자수	2백7십만개	2백만개
화원(MW)		
화재위치		
감지기 위치		

나. 해석결과

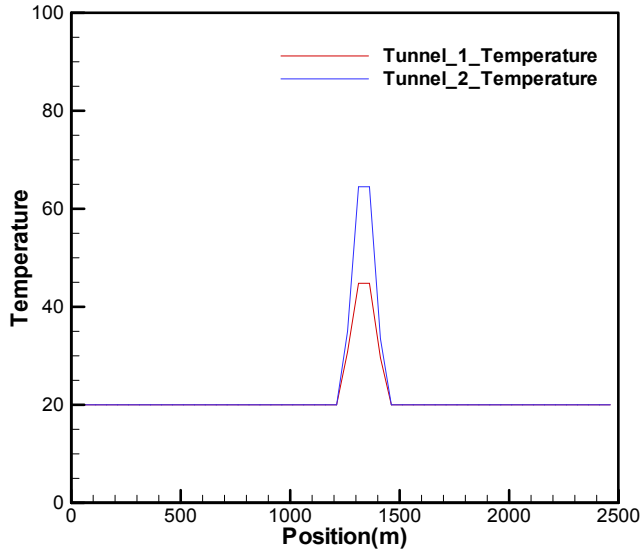


그림 2.3.67 900초 일 때 터널 온도분포

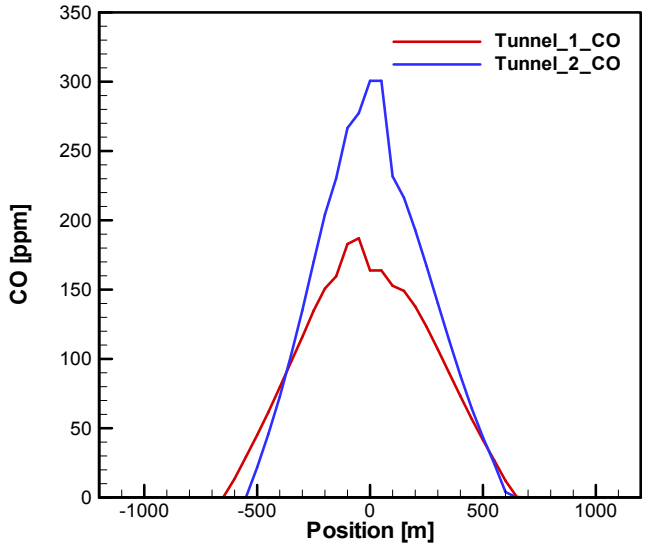


그림 2.3.68 900초 일 때 터널 CO 분포

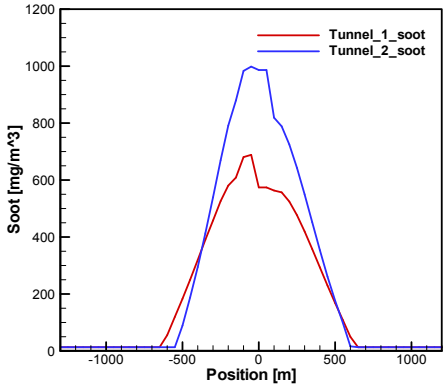
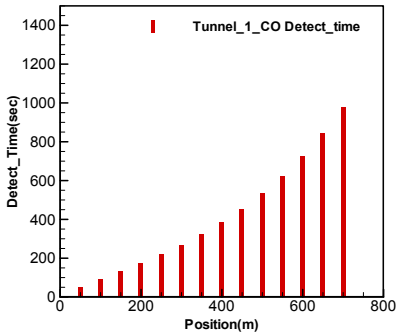
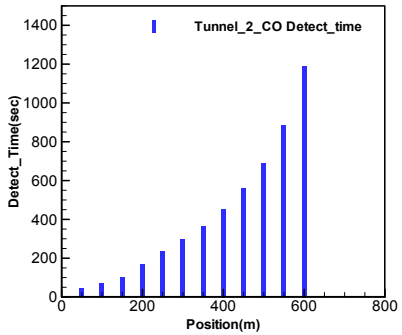


그림 2.3.69 900초 일 때 터널 Soot 분포



a. Tunnel_1의 CO감지기 감지시간

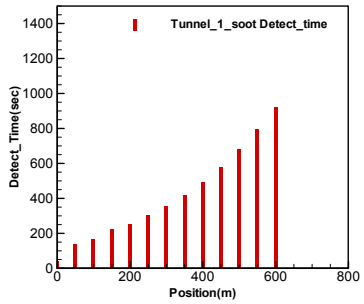
위치(m)	감지시간(초)
0(화재위치)	감지 못함
50	1.68
100	51
150	133
200	175
250	220
300	269
350	324
400	385
450	454
500	535
550	623
600	727
650	844
700	976



b. Tunnel_2의 CO감지기 감지시간

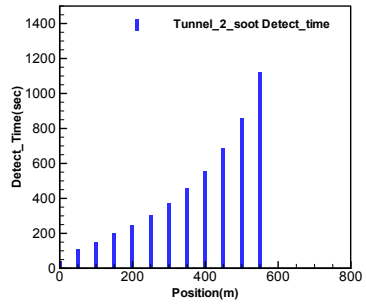
위치(m)	감지시간
0(화재위치)	감지 못함
50	1.68
100	43
150	69
200	103
250	169
300	238
350	296
400	364
450	451
500	559
550	688
600	883
650	1190
700	감지못함

그림 2.3.70 위치별 열감지기 감지시간(1500ppm 이상)



a. Tunnel_1의 연기감지기 감지시간

위치(m)	감지시간(초)
0(화재위치)	감지 못함
50	41
100	139
150	168
200	221
250	254
300	300
350	354
400	418
450	493
500	580
550	679
600	793
650	923



b. Tunnel_2의 연기감지기 감지시간

위치(m)	감지시간
0(화재위치)	감지 못함
50	41
100	110
150	149
200	201
250	248
300	305
350	372
400	455
450	557
500	688
550	856
600	1120
650	감지못함

그림 2.3.71 위치별 열감지기 감지시간(65mg/m3 이상)

다. 터널 규모별 감지시간 평가 결론

본 연구에서는 터널의 규모에 따른 감지시간을 수치해석을 통해 분석하였다. 터널의 길이는 2.5km로 동일하게 설정하였으며, 각각의 단면적을 60.9m2, 58.3m2 으로 하여 해석을 수행하였다. 화재는 10량의 철도차량중에서 6번째 차량, 터널중앙에서 화재가 발생한 것으로 하여 해석을 수행하였다. 해석결과는 각 감지기에서 감지한 온도, CO, soot 량을 위치별로 그래프로 나타내었으며, 화재지역에서부터 각 감지기에서 감지한 시간을 중심으로 분석하였다.

- 화재발생후 900초를 기준으로 단면적 60.9m2 터널의 경우 650m 지역까지 CO 감지기에 의해 감지되었으며, 단면적 58.3m2 터널의 경우 600m 지역까지 감지되었다.
- 연기감지보다 CO 감지가 더 약 50 m 정도 더 넓게 감지되었다.
- 단면적 60.9m2 의 경우 화재초기에서 단면적 58.3m2 보다 더 늦게 확산되었지만, 화재가 성장함에 따라서 연기가 더 빨리 확산되었다.
- 해석결과 단면적이 58.3m2 터널의 경우 화재지역 근처에서는 감지시간이 단면적 60.9m2 경우보다 빨랐지만, 화재지역에서 멀어질수록 감지시간이 늦게 측정되었다.

제4절 철도터널 감지기 성능평가 예비시험

1. 시험전용 터널

철도터널 감지기의 성능평가(오작동 성능평가)를 수행하기 위하여서는 측정설비 및 감지기를 상시적으로 설치하여 시험할 수 있는 시험전용터널의 확보가 필요하다. 이를 위하여 충남 서천군 판교면에 위치한 온동터널을 섭외하여 활용하기로 하였다. 해당터널은 시설공단에서 서천군청으로 양도되어 있는 상태인데, 본 연구를 위하여 1년간 서천군청에게 사용권을 인가 받았다.

○ 해당 터널 - 충남 서천군 판교읍 부근 장항선 온동터널
[입구부분] 충청남도 서천군 판교면 상좌리 227-4 또는 217-4
[출구부분] 충남 서천군 판교면 수성리 347-3



그림 2.4.1 온동터널 위치

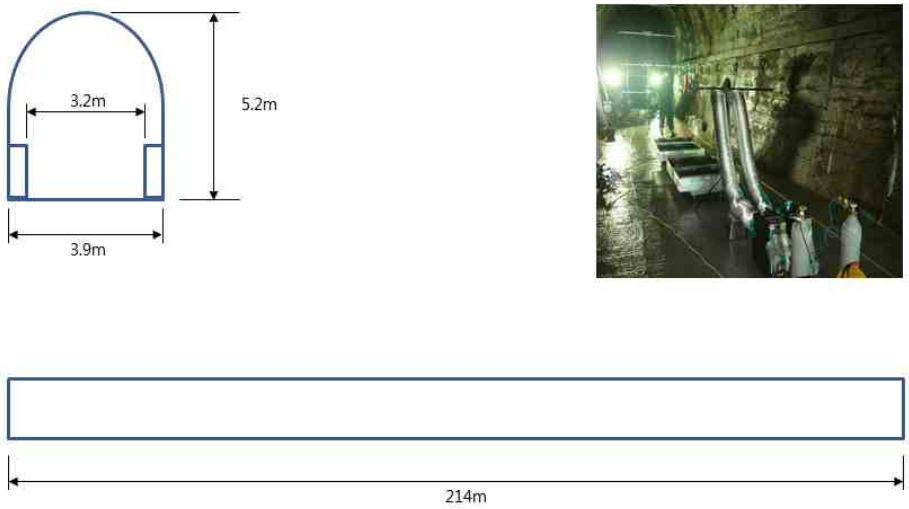


그림 2.4.2 온동터널 개략도

2. 감지기 예비시험 시나리오 및 시험수행

가. 철도터널 감지기 성능평가를 위한 화원 설정

철도터널에서 발생철도 터널 화재감지기 성능평가 화원설정을 위하여 기 설정한 화원을 요약하면 아래와 같다.

○ 초기(소규모) 화재, 대규모화재
○ 발생위치: 차량하부, 차량상부, 차량내부

터널 화재시험에서 화재크기를 제어하기 용이한 화원으로는 트레이에 액체연료를 채워 발화시키는 방법인데 해외 터널 시험시에도 주로 활용되는 방법이다. 철도터널 화재감지기 시험을 위하여 초기화재와 대규모화재로 나누어서 화원크기를 설정하였는데 화재별 화원 크기는 아래와 같이 설정하였다.

○ 초기(소규모)화재 설정 (100-300kW 정도 설정)
○ 대규모화재 (700-2.0MW 정도)
· 대규모 화재로 성장을 대표할 수 있는 화원 크기

화재발생 위치 선정은 아래와 같이 설정하였다.

○ 하부 - 차폐막설치
○ 상부 - 화원을 상승시키고 화원설치 (차량높이 3.7 m)
○ 대규모(내부)화재 - 차량 문 및 창문 위치 (노출)

화원은 아래와 같이 설정하여 활용할 수 있다.

화원1 - 0.24 m^2 (0.6 × 0.4) 1개 - 약 0.3 MW
화원2 - 0.5 m^2 (0.841 × 0.594, 1개) - 약 0.75 MW
화원3 - 0.24 m^2 1개 + 0.5 m^2 1개 - 약 1 MW
화원4 - 1.0 m^2 (0.841 × 0.594, 2개) - 약 1.7 MW

예비시험에서는 아래의 표와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건별로 화원 테스트를 실행하고자 한다.

표 2.4.1 터널화재 화원 시나리오

화원위치	화원종류			
	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
하부(차폐막)	case 1			
상부(리프팅)	case 2			
내부(노출)	case 3	case 4	case 5	case 6

시험에서는 아래의 표와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건별로 화원 테스트를 실행하고자 한다. 예비시험을 위하여 아래와 같이 터널 중앙에 화원을 위치하였다.

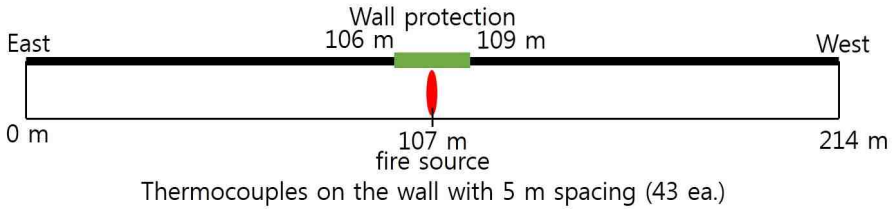


그림 2.4.3 예비시험 터널 내 화원위치

각 화원에 대한 실험수행 시 연료 트레이에 들어갈 연료(헵탄) 양은 아래와 같다.
· 0.24 m^2 (0.6 × 0.4) 1개 - 2.5리터
· 0.5 m^2 (0.841 × 0.594, 1개) - 5리터
· 0.24 m^2 1개 + 0.5 m^2 1개 - 7.5 리터
· 1.0 m^2 (0.841 × 0.594, 2개) - 약 1.7 MW 10리터

화원 2를 이론적으로 계산한 열방출율은 아래의 프로그램을 이용하여 계산하면 925 kW이다. 모든 화원의 경우 지속적인 연소 조건을 구현하기 위하여 물트레이에 연료트레이를 담는 중탕

법을 활용하였으며 연료트레이에도 물을 먼저 채우고 위에 연료를 채웠다. 현장시험시 화원의 연료소모율 측정을 할 수 있다.

- 화원소화 확인용 열전대 4개(트레이당 2개) 설치



그림 2.4.4 터널 높이별 연기온도 및 화원 크기 계산 프로그램

○ 룸코너 화원 테스트 수행
- 저울 이용하지 않음. 연료열분해율 일정하다고 가정
- 연료 5 리터 3.42 kg 사용 팬 1개 또는 2개 이용
- 물: 물트레이 약 60리터, 연료트레이 20리터
- 트레이를 가로로 배치하고 2개 트레이 설치시 두 트레이의 간격은 0.7m임

그림 2.4.5 0.5 m^2 pool pan 1개 및 2개일 경우의 열방출율 측정



그림 2.4.6 화원 2

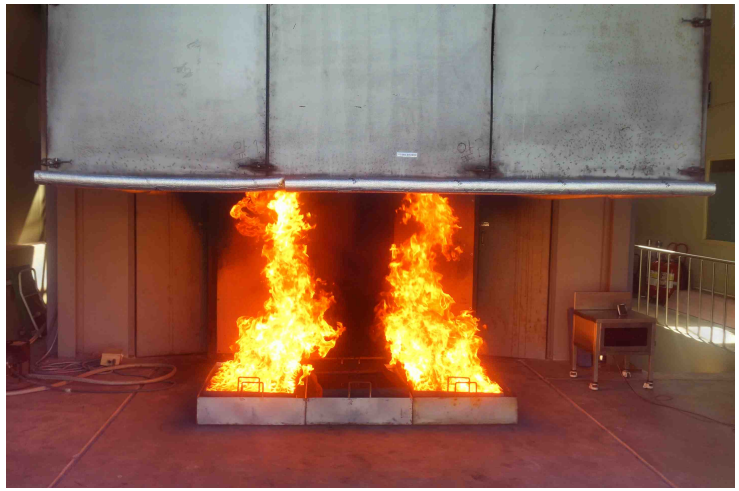


그림 2.4.7 화원 3

헵탄 트레이 0.5m^2 1개의 열방출량은 최대값은 0.89 MW (지속시간 4분 40초, 평균 750 kW)이며, 헵탄 트레이 0.5m^2 2개의 열방출량은 최대값은 2.11 MW(지속시간 약 4분 20초, 평균 1.7MW)이다.

○ 열전대 설치(총 43개)

- 터널 천장 아치부 최상단위치에 중심의 화원을 중심으로 5m 간격 열전대 설치 (두께 - 0.6 mm)
- DAQ
  · 무선모듈 4*11개 (TC 43개)

나. 철도터널 예비실험 결과

(1) 화원의 위치에 따른 철도터널 천장의 온도분포

표 2.4.1에 표시한 바와 같이 화원1(약 0.3 MW)에 대하여 화원의 위치에 따른 철도터널 천장의 온도를 측정하였다. 다음의 그림은 각 화원의 위치에 대한 발화 후 영상과 각각의 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포를 나타내고 있다. 모든 그래프의 화염발생 위치는 0 m 이며, -100 m 와 100 m 는 각각 동쪽 출구와 서쪽 출구를 나타낸다. 하부(차폐막, Case 1)을 가정한 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 3~4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 11 K 미만으로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 상부(리프팅, Case 2)을 가정한 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 5~6분의 화

염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 각각 77.0 K 및 115.5 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 2차 실험의 경우 천장의 온도분포가 가장 높게 나타났으며 양쪽 출구 방향으로 온도 편차가 나타나는 것으로 보아 자연풍의 풍속이 1차 실험의 경우와 비교하여 상대적으로 느린 것을 판단할 수 있다. 내부(노출, Case 3)을 가정한 경우에 대하여 1회의 실험을 수행하였으며, 실험 동안 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 11.3 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 상부(리프팅, Case 2)의 경우 화염의 지속시간이 가장 길었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차가 가장 크게 나타났다.



그림 2.4.8 Case 1-1의 화원

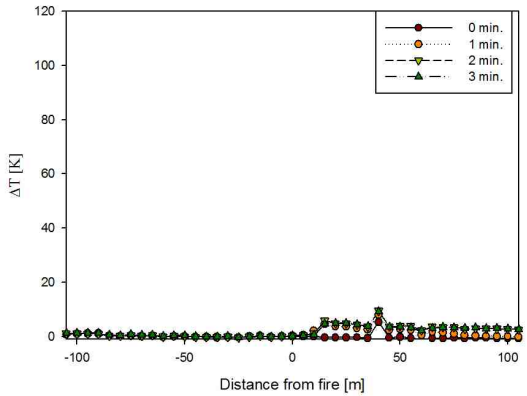


그림 2.4.9 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 1-1)



그림 2.4.10 Case 1-2의 화원

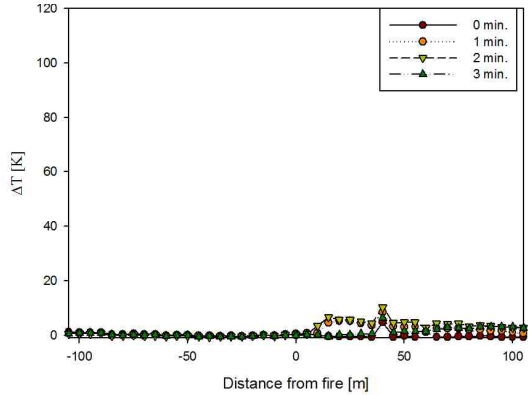


그림 2.4.11 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 1-2)



그림 2.4.12 Case 2-1의 화원

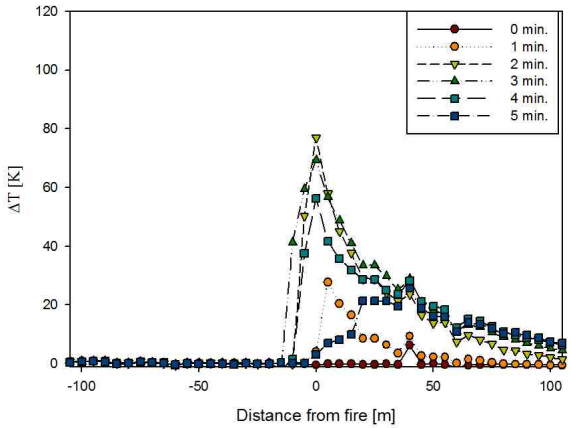


그림 2.4.13 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 2-1)



그림 2.4.14 Case 2-2의 화원

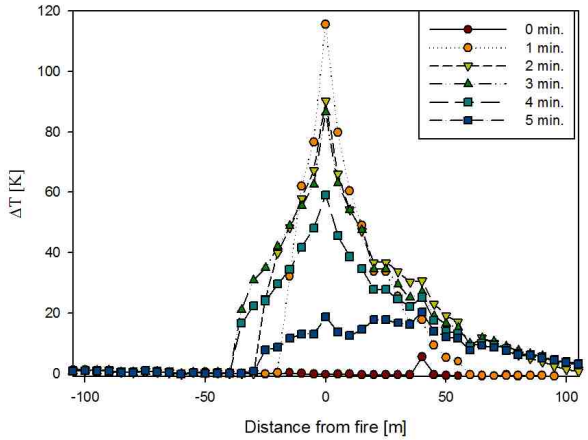


그림 2.4.15 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 2-2)



그림 2.4.16 Case 3의 화원

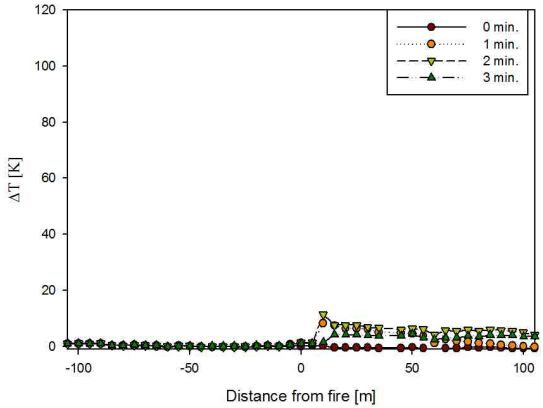


그림 2.4.17 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 3)

(2) 화원의 종류에 따른 철도터널 천장의 온도분포

화원 위치가 내부(노출)인 경우에 대하여 화원의 종류에 따른 철도터널 천장의 온도를 측정하였다. 다음의 그림은 각 화원의 위치에 대한 발화 후 영상과 각각의 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포를 나타내고 있다. 모든 그래프의 화염발생 위치는 0 m 이며, -100 m와 100 m 는 각각 동쪽 출구와 서쪽 출구를 나타낸다. 화염 1(Case 3)을 가정한 경우에 대하여 1회의 실험을 수행하였으며, 실험 동안 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 11.3 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 화염 2(Case 4)을 가정한 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 각각 8분 및 5분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 각각 26.5 K 및 18.6 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 1차 실험의 경우 양쪽 출구 방향으로 온도 편차가 나타나는 것으로 보아 자연풍의 풍속이 2차 실험의 경우와 비교하여 상대적으로 느린 것을 판단할 수 있다. 화염 3(Case 5)을 가정한 경우에 대하여 1회의 실험을 수행하였으며, 실험 동안 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 42.7 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 화염 4(Case 6)을 가정한 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 각각 8분 및 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 각각 89.5 K 및 71.2 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 1차 실험의 경우 양쪽 출구 방향으로 온도 편차가 나타나는 것으로 보아 자연풍의 풍속이 2차 실험의 경우와 비교하여 상대적으로 느린 것을 판단할 수 있다. 화원의 크기가 커질수록 점화 전 평균온도와의 최대 편차가 가장 크게 나타났다.



그림 2.4.18 Case 3의 화원

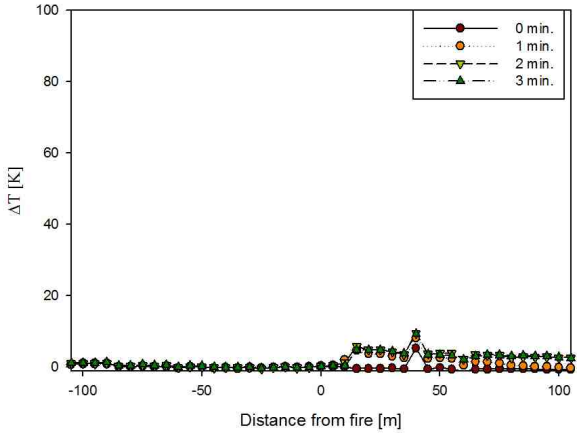


그림 2.4.19 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 3)



그림 2.4.20 Case 4-1의 화원

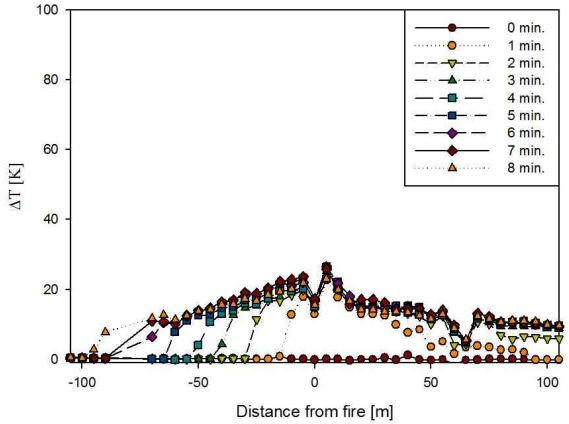


그림 2.4.21 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 4-1)



그림 2.4.22 Case 4-2의 화원

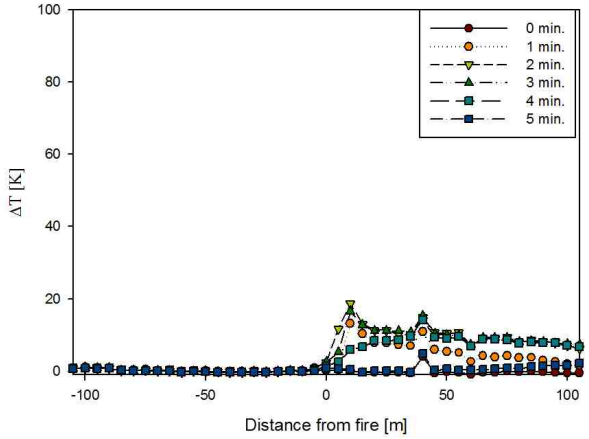


그림 2.4.23 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 4-2)



그림 2.4.24 Case 5의 화원

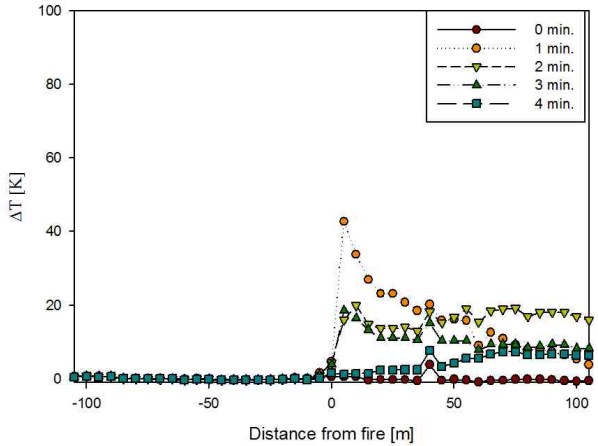


그림 2.4.25 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 5)



그림 2.4.26 Case 6-1의 화원

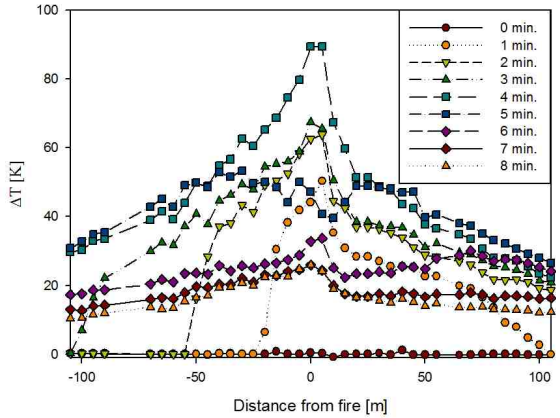


그림 2.4.27 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 6-1)



그림 2.4.28 Case 6-2의 화원

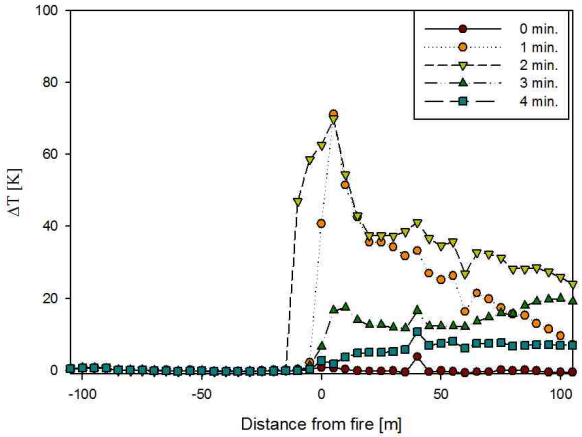


그림 2.4.29 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차분포(Case 6-2)

(3) 차년도 철도터널 실험의 개선방안

○ 터널 입출구의 유속 측정

- 터널 양끝단에 터널 유속 측정용 센서를 설치

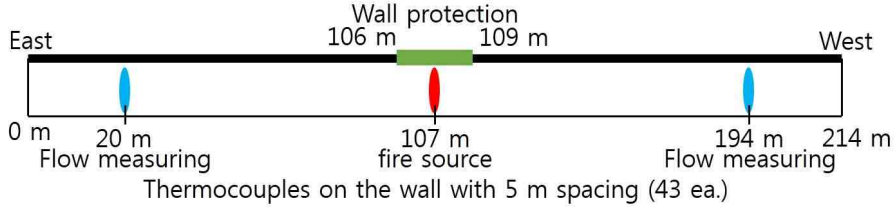


그림 2.4.30 예비시험 터널 내 유속 측정용 센서위치

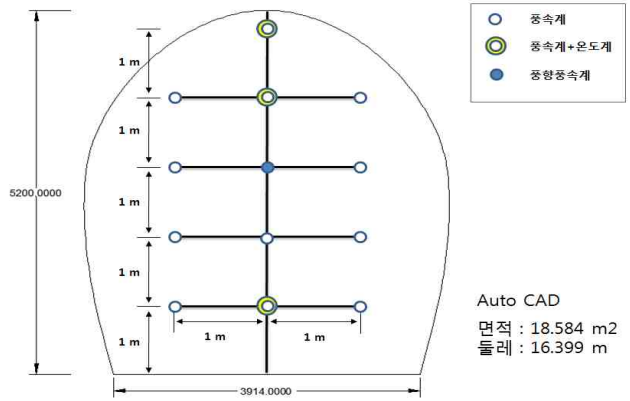


그림 2.4.31 단면 유속측정용 센서 배치도(상류, 하류)

○ 열전대 수 확대(총 101개)

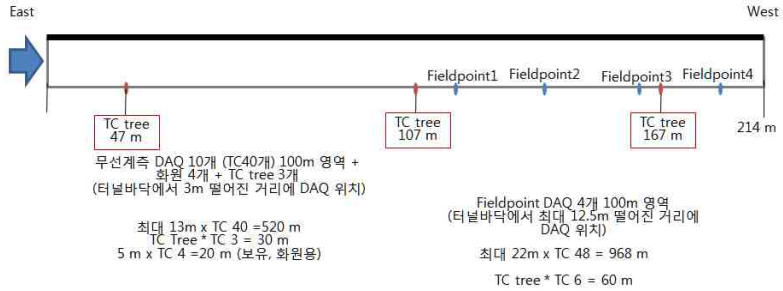


그림 2.4.32 열전대 산출 및 DAQ 필요양 계산

- 터널 천장 및 아치부 측벽에 5m 간격으로 열전대 설치 (두께 - 0.6 mm)
- 화원소화 확인용 열전대 4개(트레이당 2개) 설치
- 트리 3개 * 3개 = 9개

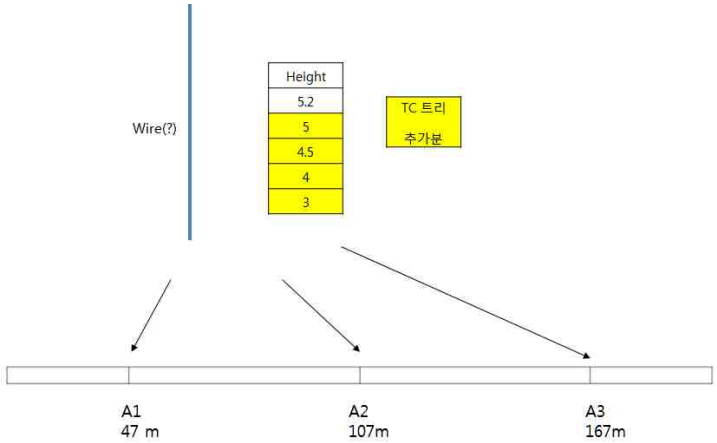


그림 2.4.33 열전대 트리 설치 위치

○ 철도터널 화재감지기 검증기간 확대 (30일 -> 60일 이상)

3. 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정

가. 화재감지기 성능평가를 위한 1차 및 2차 예비시험 시나리오 설정

(1) 현장 실험 시나리오 설정을 위한 수치해석

(가) 수치해석 대상 터널 및 시험조건

해석에 사용될 모델의 기하학적 구조는 아래의 그림과 같다.

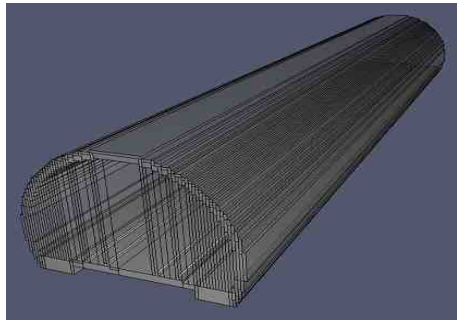


그림 2.4.34 Geometry of FDS model

터널은 총 길이 70m로, 해석을 빠르게 진행하게 위하여 격자를 8부분으로 나누어 병렬계산을 수행하였다. 첫 번째 격자부터 네 번째 격자까지는 0.1m의 격자크기를 가지고, 각각 7.5m의 길이로 총 30m 길이이다. 다섯 번째 격자부터 마지막 여덟 번째 격자까지는 앞부분 격자크기의 두 배, 0.2m의 격자크기를 가지고 각각 10m씩, 총 40m 길이이다. 하류 부분 4개의 격자는 화원과 멀리 떨어져 있기 때문에 유동의 복잡함이 상대적으로 적을 것이라 생각하여 화원부분의 격자보다 더 성기게 정의하였다. 또한 천장의 온도분포를 측정하기 위해 총 105개의 열전대가 모델에 사용되었다. 터널 중앙에서 1 m 간격으로 70개, 터널의 오른쪽 천장에서 2 m 간격으로 35개의 열전대가 설치되어 터널 천장에서의 온도를 측정하였다. 아래의 그림에서 터널 천장에 설치된 열전대를 확인할 수 있다.

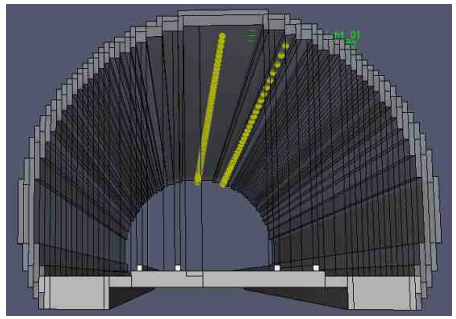


그림 2.4.35 Thermocouples setup

○ 해석 조건

총 아홉 가지 유형의 계산을 수행하였다. 화원 크기와 풍속에 따른 실험 case가 아래 표에 나타나 있다. 화원은 입구에서 10m 떨어진 바닥에 위치해 있으며, 일반적으로 사용하는 헵탄 트레이 화재를 모사하기 위해 면적당 발생하는 열량(HRRPUA) 값을 주고, 해석모델 내 화원의 면적을 바꿔가며 계산을 수행하였다.

표 2.4.2 Condition of the simulation

화원(MW) / 풍속(m/s)	0.5	1	2
1	Case 1	Case 2	Case 3
2.5	Case 4	Case 5	Case 6
5	Case 7	Case 8	Case 9

(나) 해석 결과

○ 격자민감도 연구

신뢰성 있는 해석을 위해 격자민감도 연구를 수행하였다. 아래 2개의 그림은 각각의 격자크기에 따른 특정 시간에서의 온도분포를 나타낸 그래프이고, 그 하단의 그림은 화원에서 후류방향으로 10m 위치에서의 시간별 온도분포를 각각의 격자수에 따라 나타낸 그래프이다. 특별한 경향성을 보이고 있지는 않지만, 계산의 정확성과 신속성을 모두 고려하여 격자크기 0.1m로 계산을 수행하였다.

그림 2.4.36 ceiling temperature of various mesh size at 60s

그림 2.4.37 ceiling temperature of various mesh size at 120s

그림 2.4.38 ceiling temperature of various mesh size at x=20m

○ 화원크기에 따른 철도터널 천장의 온도분포

화원크기에 따른 천장의 온도분포를 확인해보기 위해서 풍속을 고정시킨 상태에서비교를 수행하였다. 아래 3개의 그림은 풍속을 1m/s로 고정시킨 상태에서 화원크기를 변경시켜 가면서 시간에 따른 각 열전대의 온도를 나타낸 그래프이다. 아래 그림에서 화원은 10m 위치에 설치되어 있으며 터널의 총 길이는 70m이다.

그림 2.4.39 ceiling temperature at various time for case 1

그림 2.4.40 ceiling temperature at various time for case 2

그림 2.4.41 ceiling temperature at various time for case 3

화원의 크기 증가에 따라 터널 천장에서의 온도는 증가한다. case 1의 경우 열전대에서 측정한 최대 온도는 49.45℃인데, case 3의 경우는 95.3℃로 굉장히 큰 차이를 보인다. 최대 온도 측정 시간은 화재규모가 커짐에 따라 같이 증가하며, case 1 은 64초, case 2는 74초, case 3은 86초에 각각 최대온도가 측정되었다. 이유로는 화재규모가 클수록 소산되는 열량보다 발생하는 열이 크고, 이렇게 남은 잔열이 터널 내부의 온도를 계속 증가시키기 때문이라고 생각된다. 아래 3개의 그림은 특정 시간에서 case별 온도분포를 한꺼번에 나타낸 그래프이며, 화재규모가 클수록 터널의모든 위치에서 온도가 높아지는 것을 확인해 볼 수 있다. 그래프 하단의 그림은 터널 단면의 온도를 나타낸 컨투어이며, 화재규모가 클수록 컨투어의 밝은 부분이 더 넓은 것으로 보아 터널의 내부온도가 더 높다는 것을 알 수 있다.

그림 2.4.42 ceiling temperature at 40s for each case

그림 2.4.43 ceiling temperature at 80s for each case

그림 2.4.44 ceiling temperature at 120s for each case

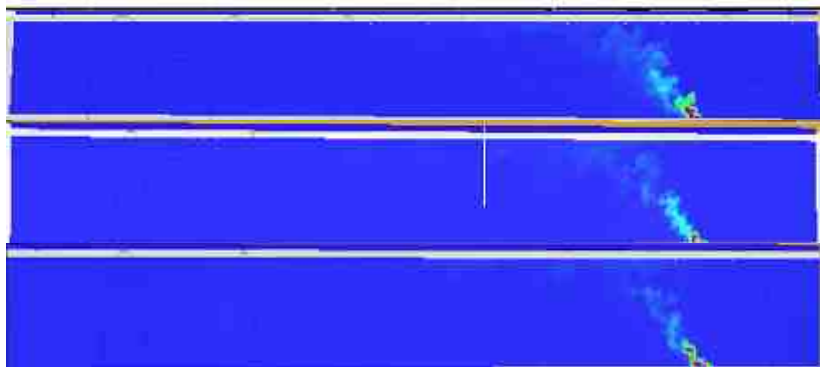


그림 2.4.45 Temperature contour at 40s, from top case 1, 2, 3

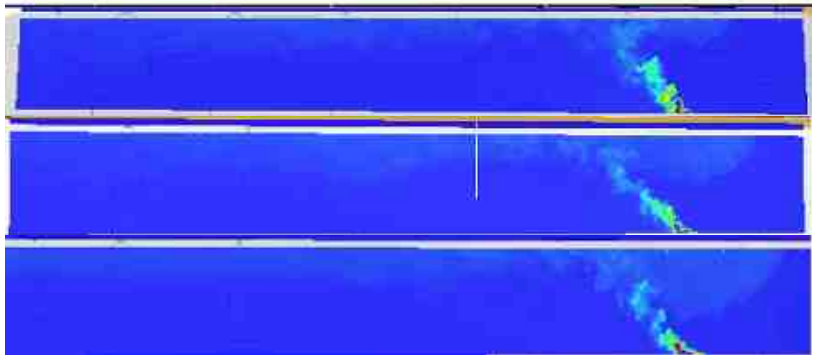


그림 2.4.46 Temperature contour at 80s, from top case 1, 2, 3

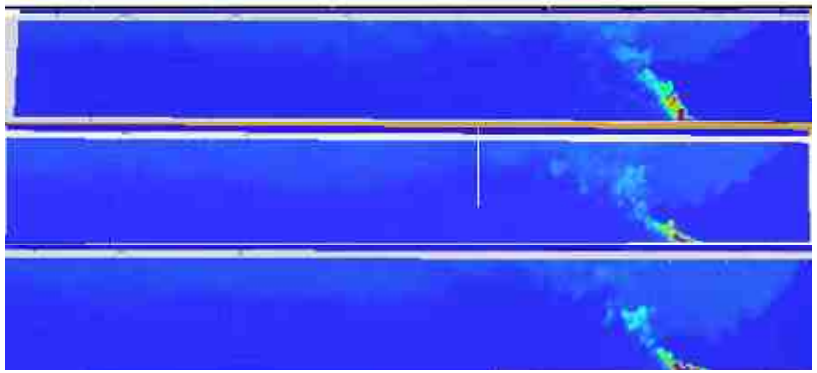


그림 2.4.47 Temperature contour at 120s, from top case 1, 2, 3

○ 풍속조건에 따른 철도터널 천장의 온도분포

풍속에 따른 터널 천장의 온도분포를 확인하기 위해서, 특정 화원크기에서의 각 풍속별 온도분포를 비교해 보았다. 아래 3개의 그림은 화원크기 1MW, 각각 풍속 1m/s, 2.5m/s, 5m/s를 가지는 세 가지 수치해석 모델의 온도분포 결과값을 나타낸 그래프이다.

그림 2.4.48 ceiling temperature at various time for case 2

그림 2.4.49 ceiling temperature at various time for case 5

그림 2.4.50 ceiling temperature at various time for case 8

풍속의 변화에 따라서 온도분포를 매우 큰 차이를 보인다. 첫 번째로 풍속이 1m/s에서 5m/s로 증가함에 따라, 최대온도는 매우 크게 감소하였다. 풍속이 1m/s인 case 2의 경우는 56.39℃, case 5는 50.46℃, case 8은 37.41℃로 감소된 최대온도를 보였으며 이런 경향성은 아래 그래프를 통해서도 확인할 수 있다. 두 번째로 풍속이 증가함에 따라서 온도가 상승하는 구간이 터널 후류쪽으로 이동함을 보인다. 이는 바람의 영향으로 화원에서 발생한 열이 천장에 도달할 때까지 후류쪽으로 이동하기 때문이며, 풍속이 클수록 천장에 도달하기까지 더 멀리 이동하게 된다. case 2의 경우 화원으로부터 9m 떨어진 위치에서 최대온도가 측정되었는데, 5m/s의 풍속을 가지는 case 8의 경우 화원으로부터 29m 떨어진 위치에서 최대온도가 측정되었다. 아래의 3개 그림은 위에서 비교한 case들을 특정 시간에서 한 평면에 나타낸 그래프이며, 보다 확실하게 풍속의 증가에 대한 최대온도와 측정위치의 경향성을 확인할 수 있다. 그래프 하단의 컨투어를 통해서 보다 확실하게 풍속이 최대온도와 감지위치에 미치는 영향을 확인할 수 있다.

그림 2.4.51 ceiling temperature at 40s for each case

그림 2.4.52 ceiling temperature at 80s for each case

그림 2.4.53 ceiling temperature at 120s for each case

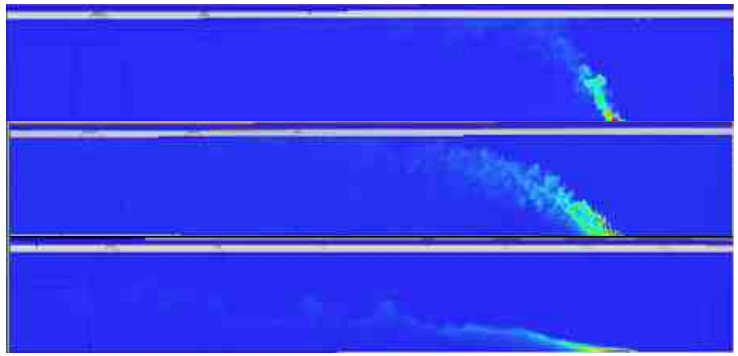


그림 2.4.54 Temperature contour at 40s, from top case 2, 5, 8

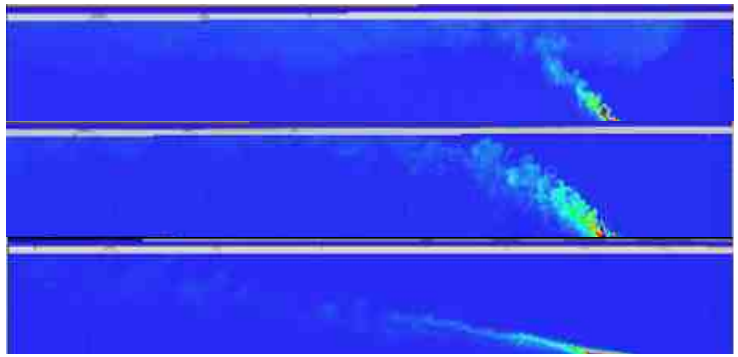


그림 2.4.55 Temperature contour at 80s, from top case 2, 5, 8

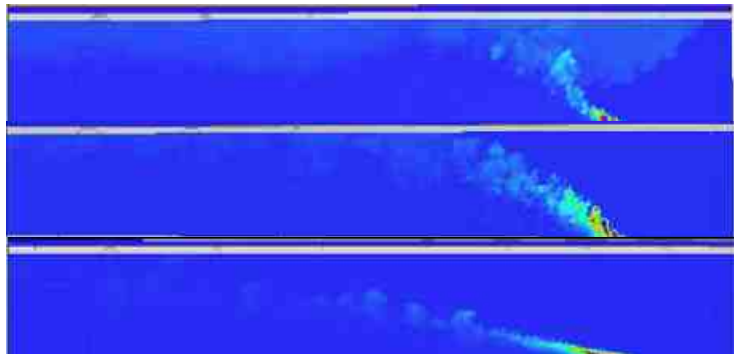


그림 2.4.56 Temperature contour at 120s, from top case 2, 5, 8

고려한 각 조건별 최고 온도 및 최고 온도가 발생한 위치를 표로 정리하면 아래의 표와 같다.

표 2.4.3 Maximum Temperature, position and time at maximum temperature for all cases

풍속	1 m/s			2.5 m/s			5 m/s		
화원	0.5	1	2	0.5	1	2	0.5	1	2
최대 온도 위치(m)	16	19	16	26	21	18	60	39	43
최대 온도(℃)	49.45	56.39	95.30	40.05	50.46	84.83	26.90	37.41	33.35
최대 온도 시간(s)	64.08	74	85.92	108	54.85	61.33	85.09	96.96	66.12

같은 풍속에서, 화원의 크기가 증가함에 따라서 터널 천장에서 측정되는 최대온도는 증가한다. 당연하게도 화재규모가 클수록 터널 내 생기는 열이 크기 때문이며, 큰 규모의 화재는 감지가 쉽다는 것을 상기할 수 있다. 화원의 크기가 일정할 경우, 풍속이 증가함에 따라서 터널 천장의 최대온도는 감소한다. 이는 풍속이 증가함에 따라서 터널 내 바람에 의한 대류열전달이 증가하고, 이 것이 터널 내의 온도 상승을 막는 것이라 생각된다. 최대온도의 감소 뿐만 아니라 최대온도가 측정되는 위치 또한 터널 후류쪽으로 이동하게 되는데, 풍속이 증가함에 따라 감지위치 또한 더 멀어진다.

(2) 예비시험 시나리오 설정 및 시험 수행

(가) 다양한 화원조건(화재 크기 및 위치)에서의 화원

철도터널에서 발생철도 터널 화재감지기 성능평가 예비시험을 위한 화원설정을 요약하면 아래와 같다.

○ 초기(소규모) 화재, 대규모화재
○ 발생위치: 차량하부, 차량상부, 차량내부

터널 화재시험에서 화재크기를 제어하기 용이한 화원으로는 트레이에 액체연료를 채워 발화시키는 방법인데 해외 터널 시험시에도 주로 활용되는 방법이다. 철도터널 화재감지기 시험을 위하여 초기화재와 대규모화재로 나누어서 화원크기를 설정하였는데 화재별 화원 크기는 아래와 같이 설정하였다.

○ 초기(소규모)화재 설정 (100-300kW 정도 설정)
○ 대규모화재 (700-2.0MW 정도)
· 대규모 화재로 성장을 대표할 수 있는 화원 크기

화재발생 위치 선정은 아래와 같이 설정하였다.

○ 하부 - 차폐막설치
○ 상부 - 화원을 상승시키고 화원설치 (차량높이 3.7 m)
○ 대규모(내부)화재 - 차량 문 및 창문 위치 (노출)

화원은 아래와 같이 설정하여 활용할 수 있다.

화원1 - 0.24 m^2 (0.6 × 0.4) 1개 - 약 0.5 MW
화원2 - 0.5 m^2 (0.841 × 0.594, 1개) - 약 1.0 MW
화원3 - 0.24 m^2 1개 + 0.5 m^2 1개 - 약 1.5 MW
화원4 - 1.0 m^2 (0.841 × 0.594, 2개) - 약 2.0 MW

예비시험에서는 아래의 표와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건별로 화원 테스트를 실행하고자 한다.

표 2.4.4 터널화재 화원 시나리오

화원위치	화원종류			
	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
하부(차폐막)	case 1			
상부(리프팅)	case 2			
내부(노출)	case 3	case 4	case 5	case 6

(나) 터널 규모별(단선터널 및 고속철도터널 급 단면) 시험 수행절차 수립 및 시험 수행

① 단선터널 규모 시험(온동터널)

○ 시험 터널

시험을 수행한 터널은 충남 서천군 판교면에 위치한 장항선의 폐선 철도터널 중 하나이다. 본 실험대상 터널은 2008년에 폐선되었으며, 아래 좌측의 그림은 터널의 위치 및 입구 사진이다. 터널의 길이는 214 m 이며 기울기는 6.7‰이고 동쪽보다 서쪽의 고도가 더 높다. 터널은 아래 우측의 그림과 같이 터널 중간에 일정 부분에 다른 용도의 연구로 인하여 사용된 추가의 구조물이 존치하여 있다.



그림 2.4.57 Location and portal of test tunnel

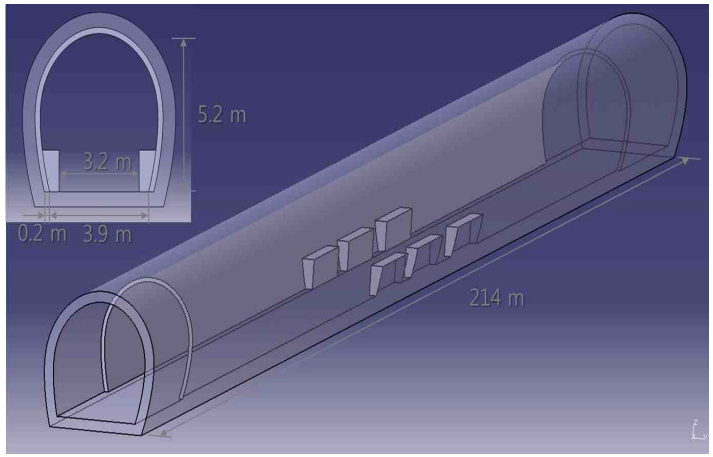


그림 2.4.58 Schematic draw of test tunnel

온도를 측정하기 위하여 석면 및 테프론 피복의 0.6 mm 두께의 K형 열전대를 사용하였는데 터널 출입구 부분약 30m 구간은 낮은 연기온도가 예측되어 테프론 피복의 열전대를 설치하였고, 이외의 다른 부분은 석면 피복의 열전대를 설치하였다. 화재로 인한 터널 기류온도를 측정하기 위해 열전대는 터널 중앙부에 약 5 cm 떨어지게끔 하여 고정하였으며, 천장 열전대의 간격은 5 m 이다. 또한 터널 중앙에 열전대를 3, 4, 5 m의 높이로 설치하였으며, 화원의 발화 및 소화 여부를 판단하기 위하여 화원에 열전대를 설치하였다. 열전대는 NI사의 이더넷게이트웨이(NI WSN-9791)를 활용하였으며 열전대는 측정노드인 NI WSN-3212와 연결되어 열전대를 최대한 짧게 하였다. 측정노드와 이더넷게이트웨이는 무선으로 연결된다.

○ 화원

화재실험에서 화재크기를 제어하기 용이한 화원으로는 트레이에 액체연료를 채워 발화시키는

방법인데 해외 터널 시험시에도 주로 활용되는 방법이다. 화원으로는 액체연료인 헵탄을 이용하였으며, 연소 진행에 따라 균일한 온도를 확보하기 위하여 연료 용기를 물 용기 안에 넣는 중탕방법을 활용하였다. 화재크기는 연료 트레이의 면적에 따라 정해지는데 본 연구에서는 트레이 1 (0.24 m2 , 0.6 m × 0.4 m), 트레이 2 (0.5 m2 , 0.841 m × 0.594 m , 1개), 두 개의 연료 트레이를 조합하여 4개의 화원크기를 실험에 적용하였다. 즉 화원 1은 트레이 1 한 개, 화원 2는 트레이 2 1개, 화원 3은 트레이1과 트레이 2 연료의 종류와 트레이의 단면적 및 수력지름으로 화원의 크기를 이론적으로 구할 수 있는데, 계산된 각 화원의 크기는 및 각 화원에 대한 실험수행 시 연료 트레이에 들어갈 연료(헵탄) 양은 아래의 표와 같다.

표 2.4.5 Condition of the tests

	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
Fire size (MW)	0.5	1.0	1.5	2.0
Heptane 양 (liter)	2.5	5	7.5	10

화원크기에 대해서는 위의 표와 같이 4가지 서로 다른 화재크기의 화원을 고려하였으며 발생위치에 따라서는 아래와 같이 바닥에 놓인 화원, 바닥에 놓였지만 화원 상부를 막는 차폐막을 설치한 화원(철도차량 하부 화재를 모사한 화원), 화원을 3.7 m 상부에 위치한 화원(철도차량 상부에서 발생한 화원)의 3가지를 고려하였다. 본 실험에서는 Table 2와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건별로 화원 테스트를 실행하였으며, 터널 중앙에 화원을 위치하였다.

표 2.4.6 Condition of the tests

화원위치	화원종류			
	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
터널바닥 (차폐막)	case 1			
상부 (리프팅)	case 2-1 case 2-2			
터널바닥 (노출)	case 3	case 4	case 5	case 6

○ 실험결과

- 화원의 위치에 따른 철도터널 천장의 온도분포

아래 4개의 그림은 각 화원의 위치에 대한 발화 후 시간에 따른 점화 전 평균온도와의 온도편차를 나타내고 있다. 모든 그래프의 화염발생 위치를 0 m 으로 설정하였으며 -105 m 와 105 m 는 각각 동쪽 출구와 서쪽 출구에 인접한 열전대에서 위치이다. case 1의 경우 (차폐막, 하부) 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 3~4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 14 K 미만으로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구(음의 방향)에서 서쪽 출구(양의 방향)로 부는 것을 알 수 있다. 차폐막 설치로 인하여 최대온도가 화원과 가까이에 형성되는 것이 아니라 화원으로부터

훨씬 후류인 40 m 지점에서 발생되었다. 실제 터널에서 철도차량 및 차량의 하부에서 화재가 발생한 경우에는 case 1과 같이 화재 발생위치보다 훨씬 후류의 천장에서 온도의 최대값이 예상되며 터널 상부에 설치되어 있는 화재감지기가 화재 발생 위치를 부정확하게 알릴 확률이 높다. case 2(상부 리프팅)의 가정한 경우에 대하여 2회의 실험을 수행하였으며, 2회의 실험 동안 5~6분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 각각 108.0 K 및 151.1 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. case 2-2의 경우 천장의 온도분포가 가장 높게 나타났으며 화원 중심으로 상류 방향인 동쪽의 온도가 case 2-1보다 높으므로 자연풍의 풍속이 case 2-1 실험의 경우와 비교하여 상대적으로 느린 것을 판단할 수 있다. case 3 (터널바닥, 노출)의 경우 실험 동안 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 19.2 K로 나타났다. 최대 편차를 보이는 온도분포가 동쪽에서 나타나 자연풍이 동쪽 출구에서 서쪽 출구로 부는 것을 알 수 있다. 상부(리프팅, case 2)의 경우 화염의 지속시간이 가장 길었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차가 가장 크게 나타났다. 아래 그림은 case 2의 화재 시험의 사진을 보여주고 있다.

그림 2.4.59 Difference of ceiling temperature at various times for case 1

그림 2.4.60 Difference of ceiling temperature at various times for case 2-1

그림 2.4.61 Difference of ceiling temperature at various times for case 2-2

그림 2.4.62 Difference of ceiling temperature at various times for case 3



그림 2.4.63 Photography for case 2-1

- 화원크기에 따른 철도터널 천장의 온도분포

case 4의 경우 5분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 25.1 K로 나타났다. case 5의 경우 실험 동안 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 59.9 K로 나타났다. case 6의 경우 4분의 화염이 지속되었고 점화 전 평균온도와의 최대 편차는 93.3 K로 나타났다. 화원의 크기가 커질수록 점화 전 평균온도와의 최대 편차가 가장 크게 나타났다. 모든 경우에 자연풍이 서쪽에서 동쪽으로 부는 것을 알 수 있다. 모든 경우에 화재발생 후 약 1분 후에 터널 천장의 온도가 최고에 이르고 이후에 온도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 case 5의 경우에 화재발생 후 2분 뒤의 천장의 최대 온도와 1분 후의 천장의 최대 온도가 같으며, 2분 후에 상류의 온도가 더 증가하여 다른 시간대의 온도 그래프보다 뭉뚝하게 표현이 되는데 이는 자연풍의 속도의 크기가 작아져서 터널 천장의 온도는 상승하고 상류까지 온도가 상승하는 것으로 판단된다.

그림 2.4.64 Difference of ceiling temperature at various times for case 4

그림 2.4.65 Difference of ceiling temperature at various times for case 5

그림 2.4.66 Difference of ceiling temperature at various times for case 6

- 결언

고려한 각 case 별 최고 온도 및 최고 온도가 발생한 위치를 표로 정리하면 아래의 표와 같다.

표 2.4.7 Maximum difference, position and time at maximum difference temperature for all cases

시험	1	2-1	2-2	3	4	5	6
최대값 (K)	14.0	108.0	151.1	19.2	25.1	59.9	93.3
위치 (m)	40	0	0	10	10	5	5
시간 (sec.)	107	127	60	71	85	72	86

표 2.4.8 화재크기별 화재감지 특성

	1	2-1	2-2	3
정온식 (60도)	X	70초	30초	X
차동식 (10K/min)	30초	10초 미만	10초 미만	30초
(dT/dmin)_max	21.8 (50초)	148.9 (110초)	253.1 (50초)	35.5 (40초)

같은 화재크기라 할지라도 화재발생 위치(철도차량 하부, 철도차량 상부화재, 터널 바닥 화재)

에 따라 터널 천장에서 온도가 매우 틀린 것을 확인할 수 있다. 화원이 바닥에 설치된 경우(case 1, 3)는 차폐막의 설치 유무에 따라 5 K정도 밖에 차이가 나지 않는다. 반면 차량하부와 같이 차폐되어 있는 화재(case 1)는 차폐되어 있지 않은 화재(case3)에 비하여 멀리 떨어진 위치에서 보다 늦게 최대온도가 측정되는 것을 Table 3에서 볼 수 있다. 이는 차량하부 등 차폐된 화재의 경우 화재감지기 보다 늦게 될 수 있으며 또한 화재 발생 위치를 보다 하류로 통보될 수 있는 가능성을 보여준다. 반면 터널 화원의 위치가 높은 경우 최대 약 135도까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 또한 case 2-1과 2-2를 비교하였을 경우 같은 위치, 같은 크기의 화원일지라도 최대값 온도차이가 약 43도로 매우 크게 발생한다. 즉 터널 기류 속도가 빠를수록 감지기가 설치되는 터널천장벽에서의 온도는 급속하게 감소한다. 터널 바닥에 설치된 화원의 크기가 클 수록 터널 상부의 최고 온도가 커지는 것을 확인할 수 있다(case 3-5 비교). 화원의 크기와 터널 천장 온도의 최대값의 도달 시간은 71- 86초로 화원크기 최고온도 도달 시간의 상관관계는 발견할 수 없었다.

② 고속철도터널 급 단면 규모 시험 수행

○ 시험개요
- 터널 중앙(위치변경 가능)에 화원을 설치하고 발화시킨 후 천장에 설치된 열전대를 이용하여 온도 및 온도상승 속도 측정
- 측정값
· 터널 온도 (열전대)
· 터널 유속 (풍속계)
- 연기 배기를 위한 중앙 송풍기 작동

○ 측정
- 온도측정
터널 직상부 및 중심에서 2.0m(변경가능) 떨어진 위치의 천장 (3m 간격 12개씩 2줄 총 24개)
- 터널기류 속도 측정
· 터널 단면에 풍속계 및 풍향풍속계 설치

○ 화원
화원크기에 대해서는 위의 표와 같이 4가지 서로 다른 화재크기의 화원을 고려하였으며 발생위치에 따라서는 아래 표와 같이 바닥에 놓인 화원, 바닥에 놓였지만 화원 상부를 막는 차폐막을 설치한 화원(철도차량 하부 화재를 모사한 화원), 화원을 3.7 m 상부에 위치한 화원(철도차량 상부에서 발생한 화원), 바닥에 놓였지만 중앙에서 3m 치우쳐 위치한 화원의 4가지를 고려하였다. 본 실험에서는 아래의 표와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건별로 화원 테스트를 실행하였으며, 터널 중앙, 20m 부분에 화원을 설치하였다. 개략적인 실험단면도가 아래 그림에 나타나 있다.

표 2.4.9 Condition of the tests

화원위치	화원크기		
	0.5 MW	1.0 MW	2.0 MW
A	case 1	case 2	case 3
B	case 4	case 5	
C	case 6	case 8	
D	case 7	case 9	

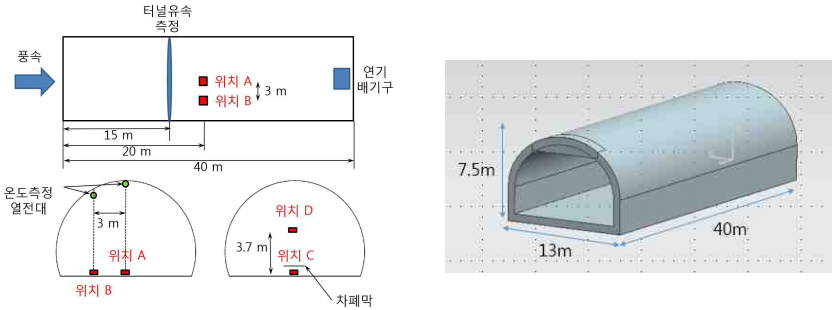


그림 2.4.67 Schematic diagram of tests

○ 풍속조건

풍속의 증가에 따른 온도분포의 변화를 관찰하기 위해서 대형 팬을 사용하여 터널 내를 강제 대류시켜 시험을 수행하였다. 각각의 Case별로 최소 2번, 최대 6번의 서로 다른 풍속으로 시험을 수행하였으며, 팬의 속도를 제어하는 변수가 풍속이 아닌 Hz 였기 때문에, 터널 상류로부터 15m에 위치한 부분에 풍속계를 설치하여 단면의 평균풍속을 측정하였다. 모든 데이터 비교는 Hz 단위가 아닌 단면의 평균풍속을 기준으로 수행되었으며, 다음의 표에 각 Case에 대한 Hz와 풍속이 나타나 있다.

표 2.4.10 Condition of the Tests

실험번호	화원위치	화원크기(MW)	풍속(Hz)	실험간 특이사항
1-1	A	0.5 ($0.24m^2$)	10 (0.76m/s)	
1-2	A	0.5 ($0.24m^2$)	20 (1.36m/s)	
1-3	A	0.5 ($0.24m^2$)	15 (1.13m/s)	
2-1	A	1.0 ($0.5m^2$)	10 (0.86m/s)	
2-2	A	1.0 ($0.5m^2$)	15 (1.12m/s)	
2-3	A	1.0 ($0.5m^2$)	17 (1.26m/s)	
2-4	A	1.0 ($0.5m^2$)	8 (1.00m/s)	
3-1	A	2.0 ($1.0m^2$)	8 (0.85m/s)	풍속데이터 없음 온도데이터 이상
3-2	A	2.0 ($1.0m^2$)	8 (0.75m/s)	온도데이터 없음
3-3	A	2.0 ($1.0m^2$)	10 (0.80m/s)	
3-4	A	2.0 ($1.0m^2$)	15 (1.00m/s)	
3-5	A	2.0 ($1.0m^2$)	17 (1.10m/s)	
3-6	A	2.0 ($1.0m^2$)	8 (0.57m/s)	
4-1	B	0.5MW ($0.24m^2$)	10 (0.93m/s)	온도데이터 없음
4-2	B	0.5MW ($0.24m^2$)	10 (0.96m/s)	
5-1	B	1.0 ($0.5m^2$)	10 (0.99m/s)	
6-1	C	0.5 ($0.24m^2$)	10 (0.89m/s)	
7-1	D	0.5 ($0.24m^2$)	5 (0.59m/s)	
7-2	D	0.5 ($0.24m^2$)	10	
8-1	C	1.0 ($0.5m^2$)	10	
9-1	D	1.0 ($0.5m^2$)	-	풍속조건 없이 실험
9-2	D	1.0 ($0.5m^2$)	10	
9-3	D	1.0 ($0.5m^2$)	15 (1.06m/s)	터널 앞 후드 닫고 실험
9-4	D	1.0 ($0.5m^2$)	35 (2.55m/s)	
9-5	D	1.0 ($0.5m^2$)	25 (1.81m/s)	

○ 실험결과

- 화원 위치별 철도터널 천장의 온도분포

화원 위치에 따른 온도분포의 차이를 확인하기 위해서, 네 가지의 데이터 비교가 수행되었다. 각각의 비교는 터널바닥에 놓인 일반화재에 대해서, 일반화재와 일치하는 화원규모, 풍속을 가진 터널 상부, 치우쳐진 화원, 차폐막을 비교하게 된다.

· case 1-1 : 7-2, 일반 : 상부 비교

아래의 그림은 case 1-1과 case 7-2의 온도상승률을 나타낸 그래프이다. 열차 상부에서 화재발생시, 선로 바닥에서 화재가 발생했을 때보다 온도와 온도상승률의 최대값이 높고 화재감지시간도 짧다. 이는 천장에 가까이 있는 화원이 열전대 부근에 더 빠르고 큰 열을 전달할 수 있기 때문으로 생각된다. 아래 2개의 그림은 같은 조건별로 화원위치가 일반, 상부인 case의 온도상승률 분포를 그린 그래프이고, 하단 2개의 그림은 시간당 천장 온도분포를 나타낸 그래프이다.

그림 2.4.68 ceiling temperature rise rate at various time for case 1-1

그림 2.4.69 ceiling temperature rise rate at various time for case 7-2

그림 2.4.70 ceiling temperature at various time for case 1-1

그림 2.4.71 ceiling temperature at various time for case 7-2

· case 2-4 : 5-1, 일반 : side 비교

선로의 중앙에서 발생한 화재는 벽에 치우쳐 발생한 화재보다 빠르게 감지된다. 온도상승률의 최대값 또한 중앙에서 발생한 화재가 더 높다. 벽에 치우친 화재는 중앙에서 발생한 화재에 비해 화원에 더 가까운 열전대에서 최대값이 측정되는데, 이는 화원 중앙에서 벽 근처로 갈수록 벽마찰에 의해 속도가 감소하기 때문임을 추측할 수 있다. 다음 2개의 그림은 같은 조건별로 화원위치가 일반, side인 case의 온도상승률 분포를 그린 그래프이고, 그 하단 2개의 그림은 각 시간별 천장에서의 온도분포를 나타낸 그래프이다.

그림 2.4.72 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-4

그림 2.4.73 ceiling temperature rise rate at various time for case 5-1

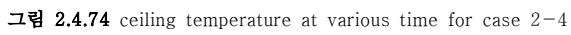


그림 2.4.74 ceiling temperature at various time for case 2-4

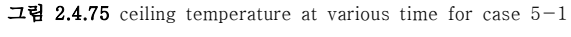


그림 2.4.75 ceiling temperature at various time for case 5-1

· case 2-4 : 8-1, 일반 : 차폐막 비교

차폐막 하부에서의 화재는 감지되는 최대온도와 최대 온도상승률이 일반적인 화재보다 낮을 뿐 아니라, 최대값이 측정되는 시간도 오래 걸려 감지하기에 상당히 어려운 화재라 할 수 있다. 온도상승률이 10K/min에 도달하기까지 일반화재는 18초가 걸렸지만 차폐막 하부에서의 화재는 44초가 소요되었다. 아래 2개의 그림은 같은 조건별로 화원위치가 일반, 차폐막인 case의 온도상승률 분포를 그린 그래프이고, 그 하단 2개의 그림은 화재시간별 천장에서의 온도분포를 나타낸 그래프이다. 온도분포 그래프를 확인함으로써 최대온도차이를 더 확실히 볼 수 있다.

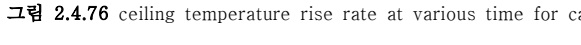


그림 2.4.76 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-4

그림 2.4.77 ceiling temperature rise rate at various time for case 8-1

그림 2.4.78 ceiling temperature at various time for case 2-4

그림 2.4.79 ceiling temperature at various time for case 8-1

- 화재규모별 철도터널 천장의 온도분포

화재규모에 따른 온도분포의 변화를 확인하기 위해서 동일한 화원 위치, 풍속조건을 만족한 상태에서 화재규모를 변화시켜 가며 데이터를 비교해 보았다. 아래 3개의 그림은 각각 case 1-3, case 2-2, case 3-5에서의 온도상승률분포 그래프이며, 측정된 평균단면유속의 오차가 적은 case들이다. 또한 그 아래 3개의 그림을 통해 천장에서의 온도분포를 확인할 수 있다.

화원의 크기가 증가함에 따라서 측정된 최대온도가 증가한다. 화재규모가 0.5MW인 case 1-3의 최대온도는 8.62℃지만, 화재규모가 2MW인 case 3-5의 경우 58.25℃가 측정되었다. 최대온도뿐 아니라 온도상승률의 최대값도 증가한다. 이와 함께 최대온도가 측정된 천장의 위치도 후류쪽으로 이동하게 되는데, 풍속의 증가에 따른 이동에 비하면 굉장히 미세하다고 본다.

온도상승률 분포 그래프 하단 3개의 그림은 각 위치별 온도분포를 나타낸 그래프이다. 화원의 크기가 증가할수록 온도가 상승하는 것을 알 수 있으며, 특히 화염이 가장 크게 발달했던 60초 부근에서 온도가 가장 높은 것을 확인할 수 있다.

그림 2.4.80 ceiling temperature rise rate at various time for case 1-3

그림 2.4.81 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-2

그림 2.4.82 ceiling temperature rise rate at various time for case 3-5

그림 2.4.83 ceiling temperature at various time for case 1-3

그림 2.4.84 ceiling temperature at various time for case 2-2

그림 2.4.85 ceiling temperature at various time for case 3-5

- 풍속별 철도터널 천장의 온도분포

풍속이 증가함에 따라서 온도분포의 변화를 확인하기 위해서 화원크기, 화원위치를 고정시킨 상태에서 풍속만 변화시켜 가며 데이터를 비교하였다. 아래 3개의 그림은 각각 case 2-1, case 2-4, case 2-2의 시간별 온도상승률을 나타낸 그래프이다.

풍속이 증가함에 따라 온도의 최대값이 감소한다. 풍속 0.86m/s인 case 2-1은 최대온도가 33.74℃로 측정되었지만, 풍속이 1.12m/s인 case 2-2의 경우는 확연히 감소한 21.71℃의 최대온도가 측정되었다. 또한 최대온도가 측정된 감지 위치가 앞쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 화원에서의 열이 천장까지 도달하기 전에 빠른 풍속에 의해서 후류쪽으로 이동하기 때문이다. 온도상승률 그래프 하단 3개의 그림은 온도분포를 나타낸 그래프이며, 풍속이 증가함에 따른 최대온도 위치의 후류쪽 이동과 최대온도의 감소를 확인할 수 있다.

그림 2.4.86 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-1

그림 2.4.87 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-4

그림 2.4.88 ceiling temperature rise rate at various time for case 2-2

그림 2.4.89 ceiling temperature at various time for case 2-1

그림 2.4.90 ceiling temperature at various time for case 2-4

그림 2.4.91 ceiling temperature at various time for case 2-2

- 결언

고려한 각 case 별 최고 온도 및 최고 온도가 발생한 위치를 표로 정리하면 아래의 표와 같다.

표 2.4.11 건기연 터널 시험결과

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
풍속(m/s)	0.8	1.3	0.8	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	0.7
측정온도 최대값 (△K)	16.7	28.9	71.6	22.3	36.2	10.55	61.4	20.2	94.4
해당시간 (초)	135	105	90	126	84	66	70	85	118
위치(m)	8 (중앙)	8 (중앙)	6 (중앙)	10 (편위)	6 (편위)	10 (편위)	6 (편위)	10 (중앙)	6 (중앙)
정온식 화재감지조건 (60℃) 만족여부	X	X	70초	X	X	X	70	X	48초
차동식 화재감지조건 (10K/min) 만족여부	44초	45초	39초	40초	28초	19초	14초	44초	27초
최대값 (dT/dmin)	76.8 (60초)	207.4 (99초)	249.0 (54초)	66.2 (68초)	116.1 (56초)	47.9 (34초)	110.0 (19초)	75.2 (81초)	306.8 (117초)

같은 화재크기라 할지라도 화재발생 위치(철도차량 하부, 철도차량 상부화재, 터널 바닥 화재,

오른쪽으로 치우쳐진 화재)에 따라 터널 천장에서 온도가 매우 다른 것을 확인할 수 있다. 편위된 화재와 중앙에 놓인 화재를 비교해 봤을 때, 감지되는 온도의 최대값과 시간이 차이나는 것처럼 보이지만 편위된 화재를 감지한 위치는 같이 편위된 위치임을 감안했을 때 거의 차이가 없을 것으로 보인다. 바닥에 놓인 화재와 차폐막 하부의 화재의 경우, 차폐막 하부 화재가 온도와 온도상승률의 최대값이 낮을 뿐 아니라 감지시간 또한 현저히 느리다. 이는 열차 하부에서 발생한 화재를 감지하는 것이 어렵다는 것을 상기시킨다. 열차 상부에서의 화재의 경우, 화원의 크기가 작음에도 불구하고 두 경우 다 높은 온도와 온도상승률의 최대값을 보였으며 정온식, 차동식 감지기 둘 다 감지가 가능하였다.

화원의 크기가 증가함에 따라서 측정된 최대온도가 증가한다. 화재규모가 0.5MW인 case 1-3의 최대온도는 8.62℃지만, 화재규모가 2MW인 case 3-5의 경우 58.25℃가 측정되었다. 최대온도뿐 아니라 온도상승률의 최대값도 증가한다. 이와 함께 최대온도가 측정된 천장의 위치도 후류쪽으로 이동하게 되는데, 풍속의 증가에 따른 이동에 비하면 굉장히 미세하다고 본다.

풍속이 증가함에 따라서 측정되는 온도의 최대값과 온도상승률의 최대값이 동시에 감소한다. 또한 감지되는 위치는 보다 하류쪽으로 이동하게 된다. 즉 터널 기류 속도가 빠를수록 감지기가 설치되는 터널 천장에서의 온도는 급속하게 감소한다.

(3) 터널내 철도차량 화재규모 산정 수치해석

(가) 새마을호 차량 터널 화재치 화재규모 산출

○ 고려된 터널 및 철도차량

단선터널이 고려되었으며 새마을 차량의 개략도는 아래와 같다.

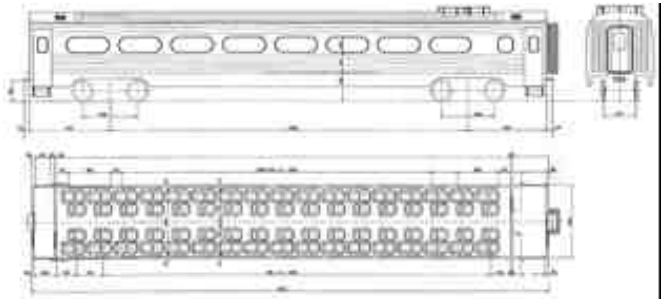


그림 2.4.92 Schematic draw of intercity railcar

내장재의 재료는 아래 표와 같다.

표 2.4.12 Interior materials of the intercity car

Interiors	Material
Wall panel	FRP
	PE foam
Ceiling panel	MPAL
Coving and Lack	MPAL
Floor Center	PVC
	adhesive
	plywood
	PE foam
Floor side	PVC
	adhesive
	plywood
	PE foam
Partition	MPAL
Seat base	PE moquette
	PU foam
Seat back	PE moquette
	PU foam
Foot rest	ABS plastic
Seat arm	Integral skin foam
Seat back panel	ABS plastic
Seat side cover	ABS plastic
Seat leg rest	PE moquette
	PU foam

○ 수치해석과 실험데이터 비교 검증

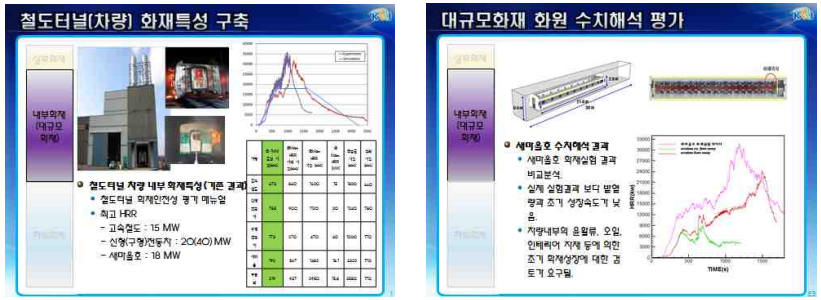


그림 2.4.93 화재실험 및 시뮬레이션 결과 비교 검증 (HRRPUA:좌, Pyrosis :우)

상기 그림에서 보는 바와 같이 실화재 실험데이터를 근거로 하여 화재수치전산해석 결과를 비교 검증하였다. 하나는 HRRPUA 방법에 의한 수치해석 방법이고, 다른 하나는 Pyrosis법에 의한 전산 수치해석을 수행하였다. 두 경우 차량화재실험과 동일한 패턴으로 화재가 성장하고 있음을 볼 수 있다. 다만 수치해석 결과 모두 실제 실험결과 보다 발열량이 낮게 형성되고 있는데 시뮬레이션에 반영이 어려고 불확실한 량이 차량내부의 잔류 윤활류, 오일, 인테리어 자재 먼지 등의 반영이 불충분 한 것으로 판단된다. 따라서 향후 이러한 불확실한 초기조건에

대하여 좀 더 면밀한 검토 및 고려가 되어야 할 것으로 판단된다. 화재성장은 HRRPUA법은 초기성장이 커지는 단점이 있으며, Pyrosis법은 초기성장이 낮게 나타나는 특징이 있다.

○ 수치해석

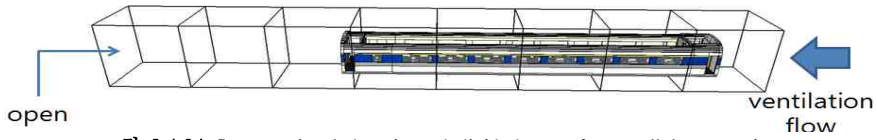


그림 2.4.94 Computational domain and divided zone for parallel processing

해석을 위하여 FDS 5를 이용하였으며, 위의 그림은 병렬계산을 위해 멀티존을 형성한 격자계를 보여주고 있으며 터널 경계의 조건들을 보여 주고 있다.
아래의 그림은 화원에 대한 열방출율 그래프이다.

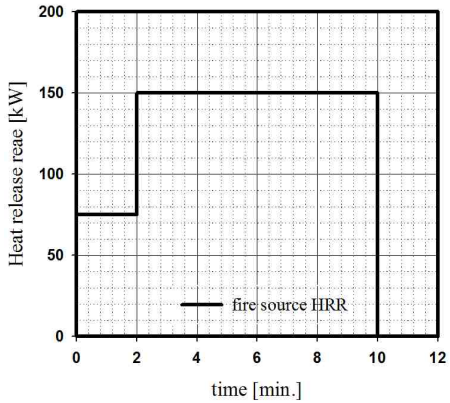


그림 2.4.95 Heat release rate of fire source

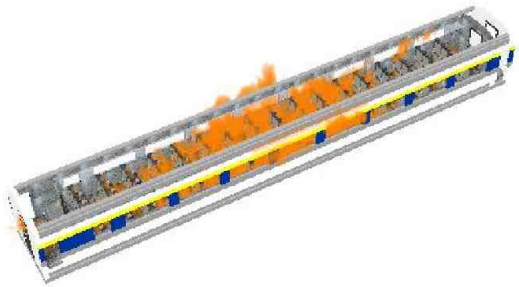


그림 2.4.96 Fire propagation at maximum fire size (no ventilation)

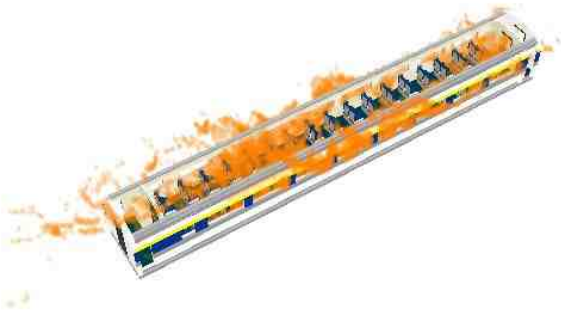


그림 2.4.97 Fire propagation at maximum fire size
(1 m/s ventilation speed)

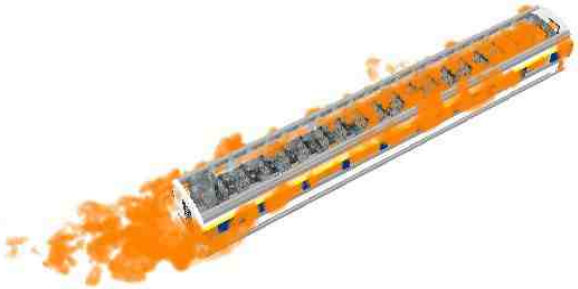


그림 2.4.98 Fire propagation at maximum fire size
(2.5 m/s ventilation speed)

앞의 3개의 그림은 고려된 터널 유속 (0, 1, 2.5 m/s)의 경우에 대하여 최대 열방출율을 갖는 시간대에서의 화재 전파 사항을 보여주고 있다.

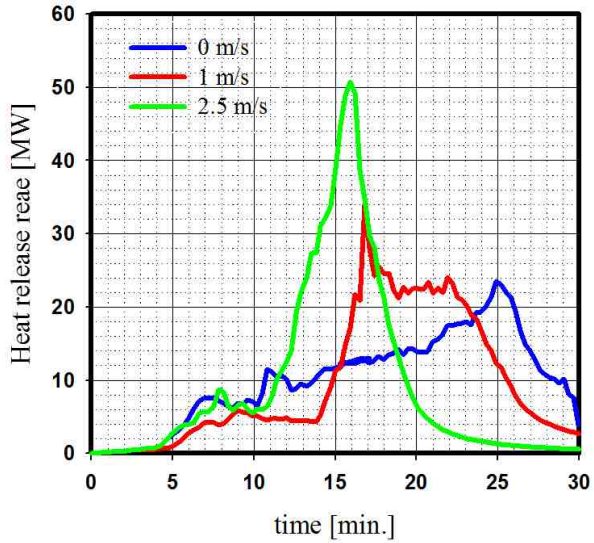


그림 2.4.99 Heat release rates for different tunnel ventilation speeds

위의 그림에서는 각 터널유속 별 열방출율을 보여주고 있다. 터널 유속이 빠를수록 최대의 열방출율 값을 보였으며, 최고 열방출율 도달 시간이 짧게 소요되었다.

⑵ 지하철 차량 터널 화재치 화재규모 산출

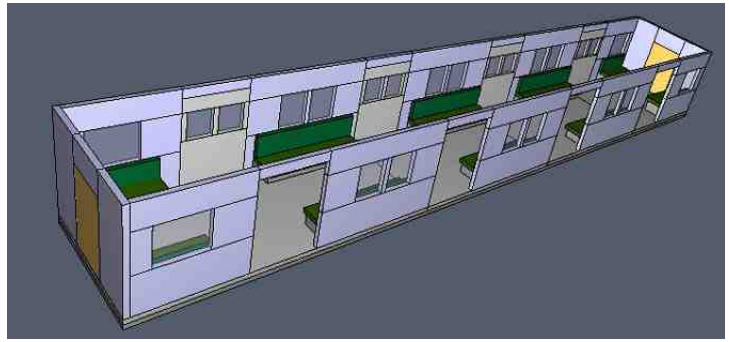


그림 2.4.100 지하철 개략도

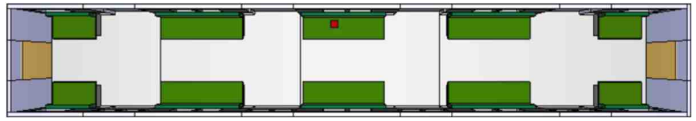


그림 2.4.101 화재발생위치

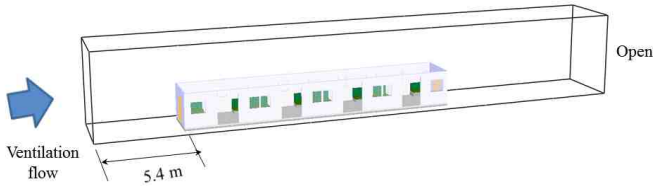


그림 2.4.102 기류방향 및 지하철 정차 위치

위의 3개의 그림들은 지하철의 개략도와 화재발생 위치 및 기류방향 및 지하철 정차위치를 보여주고 있다. 지하철과 새마을호의 대표적인 차이는 지하철의 경우 한방향에 위치한 4개의 철도차량 문이 모두 개방되어 있으므로 공기 부족현상이 일어날 비율이 낮으며 환기지배형 화재가 아닐 수 있다. 아래 그림은 0.5 m/s 터널기류시 160초 후의 화재 전파양상을 보여주고 있다.

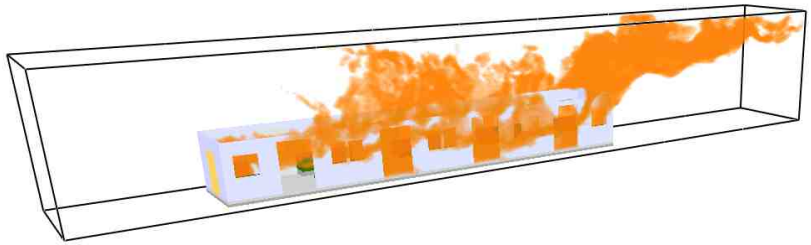


그림 2.4.103 Simulated flame from a subway car after 160 s with ventilation flow of 0.5 m/s

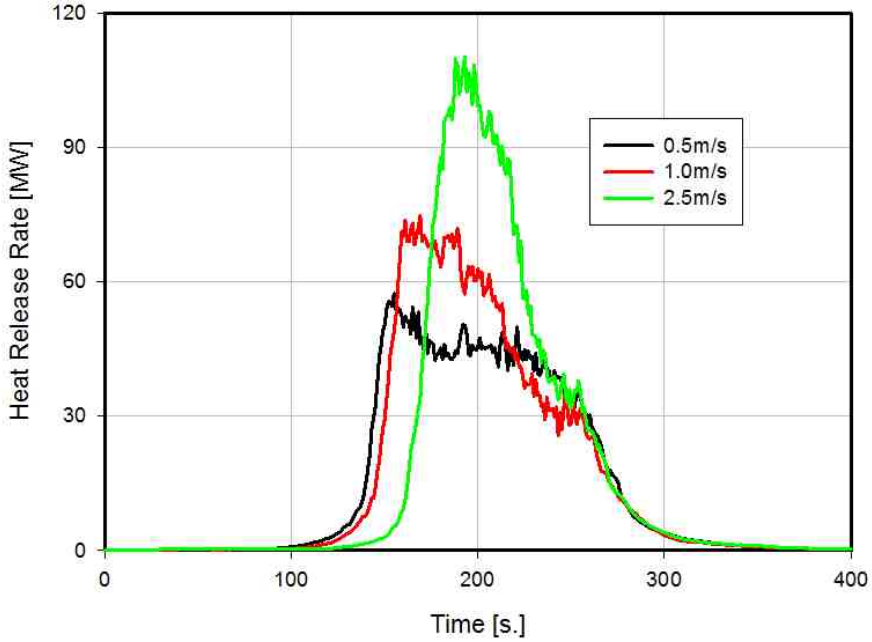


그림 2.4.104 Subway car heat release rates for various ventilation flow speeds

위의 그림은 지하철 화재시 열방추율을 보여주고 있는데, 새마을호 결과와 달리 기류가 강할수 록 화재 성장이 늦지만, 새마을호 결과와 같이 기류가 빠를수록 최대 열방추율은 높았으며, 개구부가 넓기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서

1. 적용범위

철도 본선터널에 설치되는 자동화재탐지설비의 성능시험에 대하여 정한다.

2. 시험설비 배치

시험설비는 그림 1과 같이 화원부, 터널기류 발생부, 터널기류 측정부 및 성능시험을 위한 철도터널 화재감지기로 구성된다.

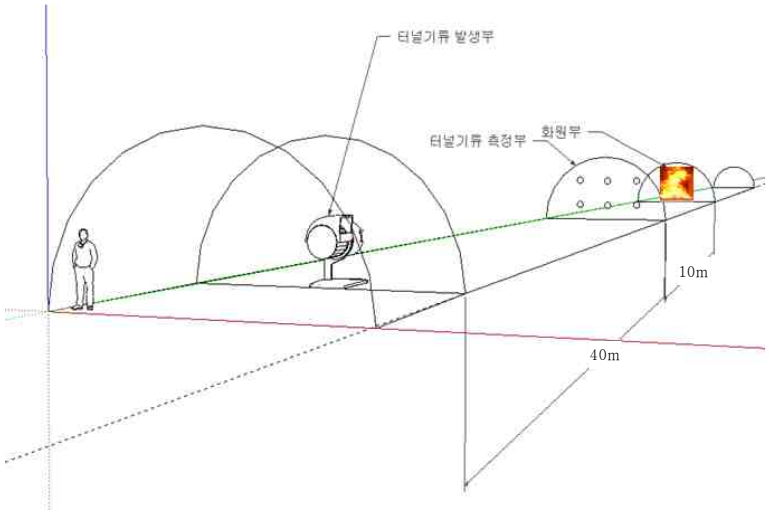


그림 1 시험설비 배치도

2.1 화원부

화원은 화원 트레이를 물트레이 안에 넣는 물중탕법을 활용하며, 설치시에는 물중탕 트레이는 불연보드 위에 설치한다. 전차선 등의 시설 보호를 위하여 널에 단열재를 설치할 수 있다.

○ 화재트레이

화재트레이의 크기는 내부기준으로 너비 595 mm, 길이 841 mm, 높이 130 mm 이며, 1.6 mm 두께 이상의 철을 사용하여 연료가 누설되지 않도록 잘 용접하여야 한다. 그림 2와 같이 양 끝단에는 손잡이를 트레이 외부로 설치하며 하단부에는 화재열에 의하여 변형을 최소화하도록 지지대를 부착한다. 연료로는 헵탄 5리터를 사용한다. 화원으로 화재트레이를 1개를 사용하며 이에 해당하는 화재 크기는 약 1 MW이다. 화재의 점화/소화 여부를 판단하기 위한 열전대를 화재트레이에 설치한다.

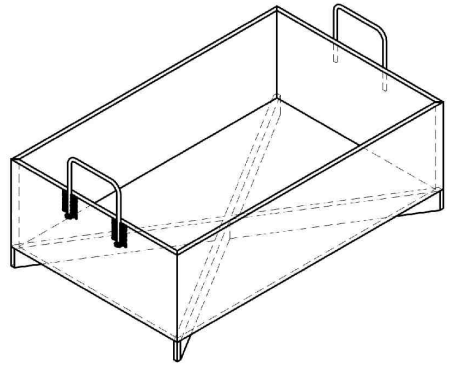


그림 2 화재트레이

○ 물트레이

물트레이의 크기는 내부기준으로 너비 990 mm, 길이 700 mm 높이 180 mm 이며, 1.6 mm 두께 이상의 아연도금철을 사용하여 물이 누설되지 않도록 잘 용접하여야 한다. 그림 2와 같이 양 끝단에는 손잡이를 트레이 내부로 설치한다.

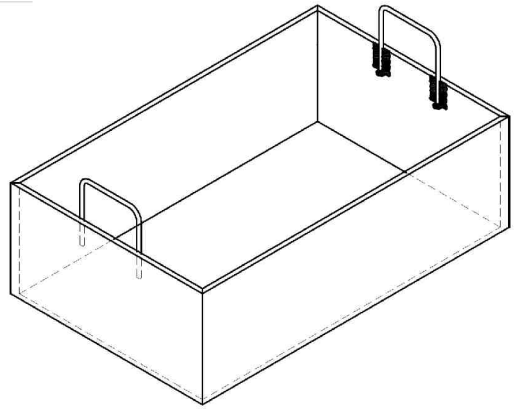


그림 3 물 트레이

2.2 터널기류 발생부

터널기류 발생부는 시험터널에 송풍기를 설치하여 활용하거나 및 철도터널에 기설치되어 있는 송풍기를 활용하여 구성할 수 있다.

2.3 터널기류 측정부

터널 단면에 6개 이상의 유속측정센서를 설치하여 유속을 측정한다. 터널기류 측정부 유속센서 설치 예는 그림 3과 같다. 시험실 설정 터널기류의 속도는 모든 유속측정센서에서 측정한 값의 평균으로 구한다. 터널기류 발생부와 터널기류 측정부와 터널은 거리 및 터널기류 측정부와 화원부와의 거리를 50 m 이상으로 하는 것을 추천한다.

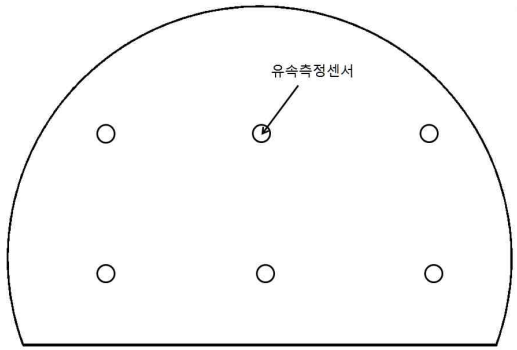


그림 4 터널기류 측정부 유속센서 설치 예

2.4 철도터널 화재감지기

실제 철도터널에 설치될 화재감지기의 위치에 화재감지기를 설치하며, 터널에 시설보호를 위하여 단열재가 설치될 경우, 단열재로 인하여 화재감지성능의 변화가 최소화되도록 설치한다.

3. 시험절차

3.1 시험준비

- 성능평가를 위한 철도터널 자동화재소화탐지설비를 설치한다.
- 선정한 터널기류 발생장치부, 터널기류 측정장치부, 화원부에 해당 장비들을 설치한다.
- 화원부의 물 트레이 안에 화재 트레이를 위치하고 헵탄을 5 리터 붓는다. 실험에 사용되는 물의 양은 화원 트레이이 물위에서 약 10mm정도 뜰 때까지 물을 부어서 사용한다.

3.2 환경측정

- 터널기류 발생장치 작동전 터널 내 자연풍 및 온습도 등을 측정한다.

3.3 터널기류 발생장치 작동

- 터널기류 발생장치를 이용하여 터널에 기류를 형성하고 측정장치를 이용하여 터널기류를 측정하여 평균 기류속도가 2.5 m/s ± 0.2 m/s 에 만족하도록 터널기류 발생장치를 조절한다. 시험 현장터널에 송풍장치가 설치되어 있는 경우는 비상시에 작동되는 송풍기를 작동하여 평균 기류속도를 측정한다.

3.4 시험수행 (화재 발생 및 측정)

- 화원에 점화를 하고 시간을 측정한다.
- 화재를 발생 후 철도터널 자동화재소화탐지설비의 화재감지 시각 및 감지 위치를 기록한다.

4. 철도터널 자동화재소화탐지설비 성능평가 및 보고서 작성

4.1 철도터널 자동화재소화탐지설비가 1분이내 및 화원 위치를 50 m 이내에 화재를 감지하는지를 평가한다.

4.2 보고서에는 상기 시험 지침서에 따른 세부 측정 및 분석내용을 구체적으로 명기하여 분석 결과를 도시하여야 한다.

4.3 인용된 모든 데이터는 수록되어야 한다.

5. 안전 조치

5.1 연료는 실험하기 직전에 부어야 하며, 연료를 다루는 자와 점화자가 구별되어야 하며, 점화자는 방화복을 착용하여야 한다. 점화시에는 모든 작업자가 안전선 밖에 있는지를 확인하고 시행하여야 한다. 이는 연료의 유증기에 의한 화상으로부터 보호하기 위한 조치이다.

5.2 연료는 연소를 통하여 완전 소모토록 하고, 실험이 정상적으로 마쳤을 때는 충분히 냉각된 것을 확인하고 정리하며, 실험중에 불가피한 상황으로 중단할 때는 소화기를 사용하여 소화시킨다. 또한, 물을 연료에 부어 연료 트레이를 충분히 식혀 유증기 발생을 최대한 억제시킨다. 이 후 모든 작업자는 안전지대로 대피하고, 폐연료는 안전조치후 연소나 폐기토록 한다.

○ 터널용 화재감지기 2종(반도체식 감지기, 공기관식 감지기) 성능 평가 계획 수립

실대형 터널 현장시험을 위하여 국내의 터널 화재감지기 관련한 대표적인 2개의 업체에서 터널 현장에 화재감지기 설치 계획을 수립하였다.

- A사 분포형 감지기 설치 계획

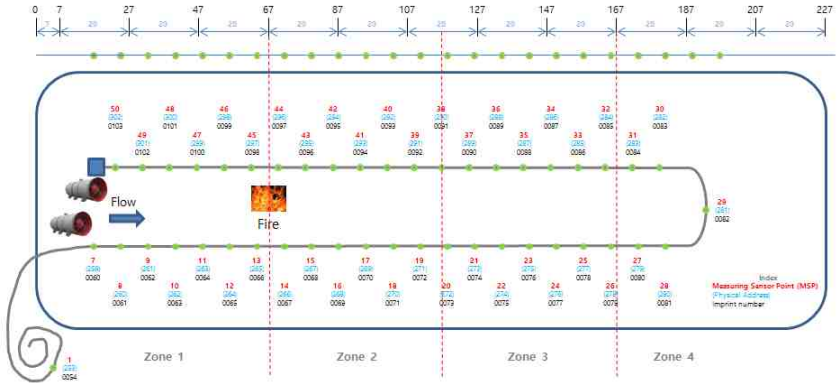


그림 2.4.105 실규모 터널 감지기 성능평가용 분포형 화재 감지기 설치 개략도 (A사)

A 사의 분포형 감지기는 위 그림과 같이 각 포인트에서 온도를 측정하며 분포형감지기 말단에 연결된 분석기를 통하여 화재발생 여부를 판단하게 된다.

- B사 분포형 감지기 설치 계획

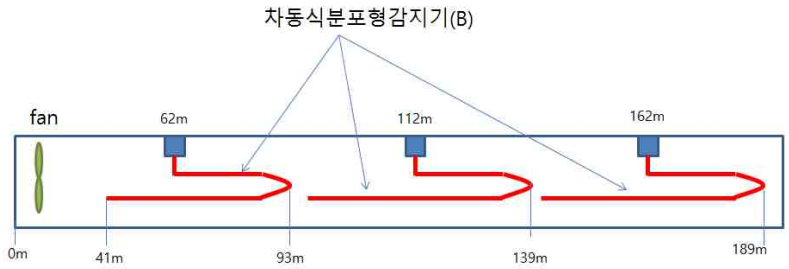


그림 2.4.106 실규모 터널 감지기 성능평가용 분포형 화재 감지기 설치 개략도 (ㅠ사)

B 사의 분포형 감지기는 3개의 약 50 m 구간으로 나뉘어져 있으며 각 구간의 온도변화에 따른 값을 연결된 분석기에서 평가하여 화재 발생여부를 판단하며 이를 통보하게 된다.

제5절 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행

1. 시험터널 및 설비설치

가. 시험터널 소개

시험을 수행한 터널은 충남 서천군 판교면에 위치한 장항선의 폐선 철도터널 중 하나이다. 본 실험대상 터널은 2008년에 폐선되었으며, 아래 좌측의 그림은 터널의 위치 및 입구 사진이다. 터널의 길이는 214 m 이며 기울기는 6.7‰이고 동쪽보다 서쪽의 고도가 더 높다. 터널은 아래 우측의 그림과 같이 터널 중간에 일정 부분에 다른 용도의 연구로 인하여 사용된 추가의 구조물이 존치하여 있다. 예비시험에서 활용했던 철도터널로 본 실대형 시험터널에서의 성능평가를 위하여 활용되었다.

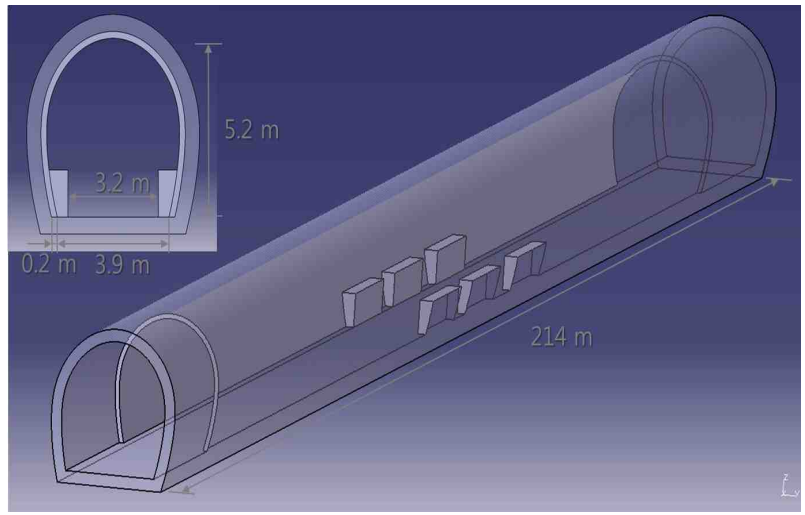


그림 2.5.1 Schematic draw of test tunnel

나. 기류발생용 송풍기 설치

철도터널의 화재감지기 성능평가를 위한 현장시험시 기류형성용 터널 제트팬을 설치하였는데, 효율적인 연구비 활용을 위하여 화성에 위치한 한국건설기술연구원 화재시험연구센터의 터널 방재실험실물동 내 송풍시스템 설비를 활용하였다.

○ 해당 송풍기 시스템

- 송풍기 2기
- 인버터 제어반 2기 등



그림 2.5.2 건기연에 설치되어 있는 송풍시스템

2개의 제트팬의 규격은 아래와 같다.

· 제트팬 규격 (VVVF 형)

형 식 : 스트럭쳐 고정 및 이동형, 횡형 제트팬, 정역회전 가능형
구 경 : 내경 Φ1,250, 외경 Φ1,450
풍 량 : 36.8㎥/sec 이상 (at 20℃ 1기압, 상대습도 65%)
토 출 풍 속 : 30m/sec 이상
전 원 : 37kw (4P) x 3Φ x 380V x 60Hz
정 격 : 연속운전
절 연 계 급 : H종 절연
기동 방식 : VVVF 기동
중 량 : 2,380kg/대 이하(팬 및 설치 브라켓류 포함 중량)
설 치 수량 : 1대
회전수제어범위 : VVVF 방식 (30~100%RPM) (530rpm~1750rpm)
내열 조건 : 250℃ x 60분 이상 운전가능 구조

· 제트팬 규격 (정속 운전형)

형 식 : 스트럭쳐 고정 및 이동형. 횡형 제트팬, 정역회전 가능형
구 경 : 내경 Φ1,250, 외경 Φ1,450
풍 량 : 36.8㎥/sec 이상 (at 20℃ 1기압, 상대습도 65%)
토 출 풍 속 : 30m/sec 이상
전 원 : 3 7kw (4P) x 3Φ x 380V x 60Hz
정 격 : 연속운전
절 연 계 급 : H종 절연

기동 방식 : Y-Δ 기동방식
중 량 : 2,380kg/대 이하(팬 및 설치 브라켓류 포함 중량)
설 치 수량 : 1 대
회전수제어범위 : 100% 정속운전 및 역회전만 가능
내열 조건 : 250℃ x 60분 이상 운전가능 구조

○ 제트팬 설치와 관련하여서는 아래와 같이 작업이 수행되었다.

- 건기원 제트팬 철거 및 상차
- 온동터널 반입 및 하차, 설치
  · 인버터 제어반 및 제트팬, 발전기 전기공사 및 설치
  · 시운전 (온동터널)
  · 제트팬 운전용 발전기 임대
- 운동터널 송풍기 시스템 철거 및 상차
- 건기원 반입 및 재 설치(시운전, 건기연)

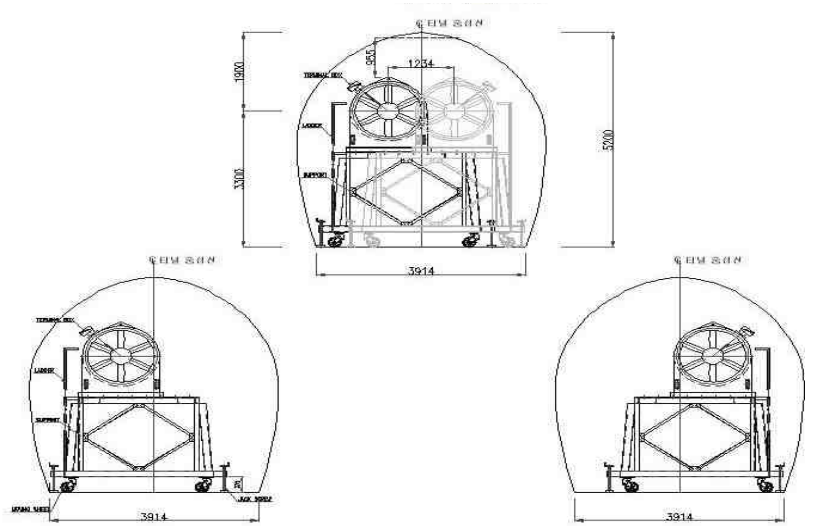


그림 2.5.3 온동터널에 설치된 송풍기 단면도

제트팬은 터널의 입구에서 약 20m 떨어진 부분에 위치시켰으며, 제트팬의 설치단면도는 위와 같다.

온동터널에 설치되어 있는 송풍기의 사진은 아래와 같다.



그림 2.5.4 온동터널에 설치된 송풍기 - 1



그림 2.5.5 온동터널에 설치된 송풍기 - 2

송풍기의 풍량을 조절할 수 있도록 송풍기는 아래와 같은 인버터 제어반과 연결되어 있으며, 전원은 발전기를 이용하였다.



그림 2.5.6 인버터 제어반



그림 2.5.7 발전기

다. 시험 장치 설치 위치

철도터널 화재감지기 성능평가를 위한 레이아웃은 아래와 같다. 송풍기를 터널입구로부터 약 20m 떨어지게 설치하였으며, 화원 기준으로 상류의 풍속은 터널입구로부터 67 m 떨어진 지점에 설치하였다. 화원은 입구로부터 77 m 떨어진 부분에 위치하였으며, 화원으로부터 하류부분의 풍속측정 지그는 터널 입구로부터 102 m 떨어진 위치에 설치하였다.

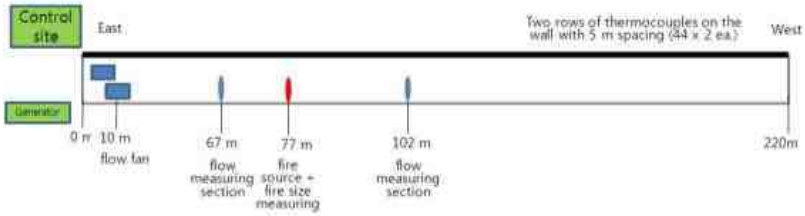


그림 2.5.8 시험 개략도

(1) 터널 기류 및 온도 측정

철도터널 화재감지기 성능평가시 터널의 기류의 속도가 평균 2.5m/s를 유지하여야 한다. 터널의 기류를 측정하기 위하여 설치된 센서의 개수는 상류단면 13개, 하류단면 13개로 총 26개이다. 터널 입구로부터 67m 떨어진 위치에 아래와 같이 터널 기류속도를 조절하기 위하여 아래와 같이 풍속 및 풍속/온도 센서 지그를 설치하였다.

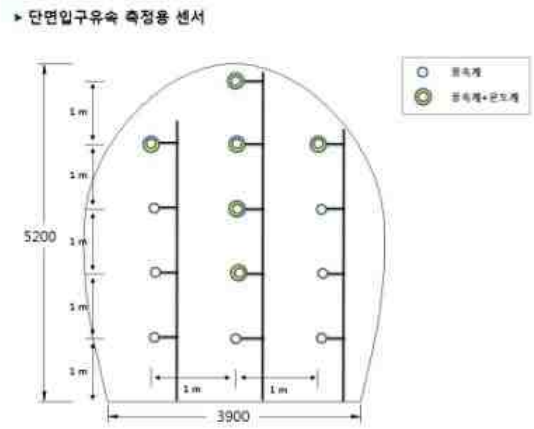


그림 2.5.9 상·하류 단면입구유속 측정용 센서 개략도



그림 2.5.10 상류 풍속/온도 센서 설치 사진

하류부분의 풍속측정 지그는 터널 입구로부터 102 m 떨어진 위치에 설치하였으며, 화원으로 인한 영향을 받은 후류의 기류를 측정하였다.



그림 2.5.11 상류 풍속/온도 센서 설치 사진

(2) 터널 벽 온도 측정

터널 벽 온도측정을 하기 위하여 천정위치와 바닥에서 4m 위치 벽면에 열전대를 설치하였다. 아래 그림처럼 입구 2m에서 시작하여 5m간격으로 터널 끝부분인 220m까지 43 point × 2개 = 총 86개의 열전대를 설치하였다.

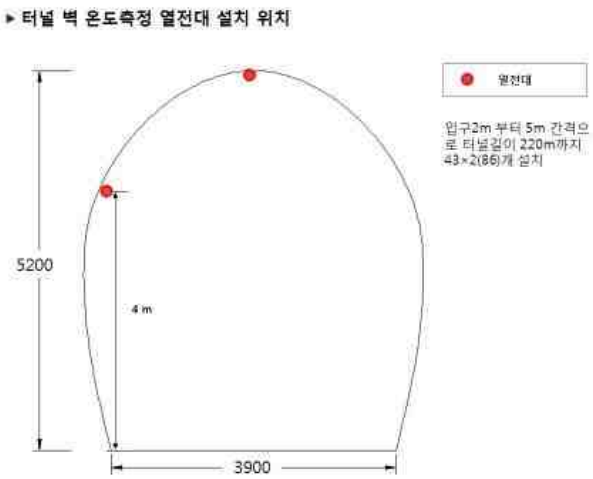


그림 2.5.12 터널 벽 열전대 설치 위치

(3) 화원 (연료 소모율 측정)

화재실험에서 화재크기를 제어하기 용이한 화원으로는 트레이에 액체연료를 채워 발화시키는 방법인데 해외 터널 시험시에도 주로 활용되는 방법이다. 화원으로는 액체연료인 헵탄을 이용하였으며, 연소 진행에 따라 균일한 온도를 확보하기 위하여 연료 용기를 물 용기 안에 넣는 중탕방법을 활용하였다. 화재크기는 연료 트레이의 면적에 따라 정해지는데 본 연구에서는 트레이 1 (0.24 m2 , 0.6 m × 0.4 m), 트레이 2 (0.5 m2 , 0.841 m × 0.594 m , 1개), 두 개의 연료 트레이를 조합하여 4개의 화원크기를 실험에 적용하였다. 즉 화원 1은 트레이 1 한 개, 화원 2는 트레이 2 1개, 화원 3은 트레이1과 트레이 2 연료의 종류와 트레이의 단면적 및 수력지름으로 화원의 크기를 이론적으로 구할 수 있는데, 계산된 각 화원의 크기아래의 표와 같다.

표 2.5.1 Condition of the tests

	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
Fire size (MW)	0.5	1.0	1.5	2.0

화원크기에 대해서는 위의 표와 같이 4가지 서로 다른 화재크기의 화원을 고려하였으며 바닥에 화원을 위치하였다.

화원 및 터널 기류 조건에 따라 연료소모가 어떻게 되는지를 평가하기 위하여 아래와 같은 저울 2세트를 화원 밑에 설치하였다.

- PlatForm(플랫폼) 600x600mm (최대사용범위: 200kg/10g)
- 인디케이터 NT-501A



그림 2.5.13 연료소모율 측정용 저울

라. 터널선형감지기 설치

본 시험에서는 철도터널 자동화재탐지설비의 감지기 성능기준을 시험하기 위하여 시험 터널에국내에서 사용하는 대표적인 감지기 중 2종을 선택하여 시험하였다. A 형 감지기의 경우 터널 전체가 하나의 분석기에 연결되어 있으며 터널 거의 전체 영역을 담당하고 있으며 터널을 2번 왕복하도록 설치되어 있어 2개의 감지선이 터널에 위치하게 된다. 터널B 형 감지기의 경우 3개의 분리된 감지선이 데이터분석 및 수집 장치에 연결되어 있으며 각 데이터 분석 및 수집장치가 한 개에 중앙 신호 알람 장치에 연결되어 화재 유무를 알리게 된다.

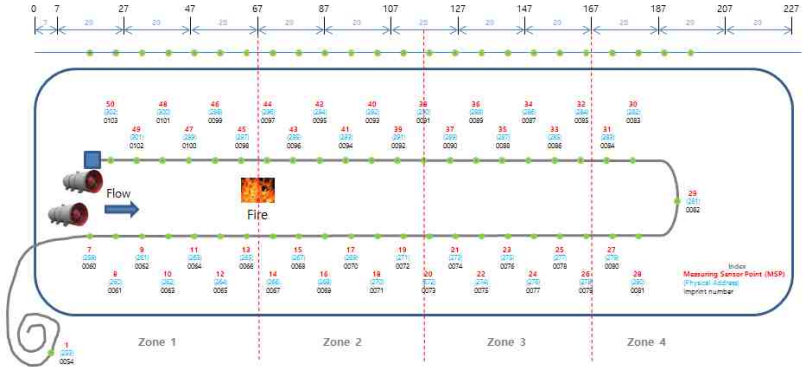


그림 2.5.14 실규모 터널 감지기 성능평가용 분포형 화재 감지기 설치 개략도 (A사)

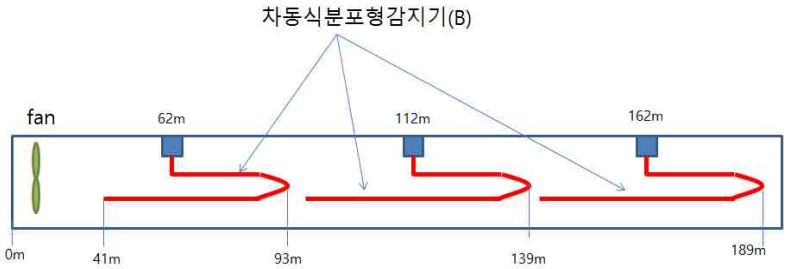


그림 2.5.15 운동터널에 설치된 차동식분포형감지기(B)

B 사의 분포형 감지기는 3개의 약 50 m 구간으로 나뉘어져 있으며 각 구간의 온도변화에 따른 값을 연결된 분석기에서 평가하여 화재 발생여부를 판단하며 이를 통보하게 된다.

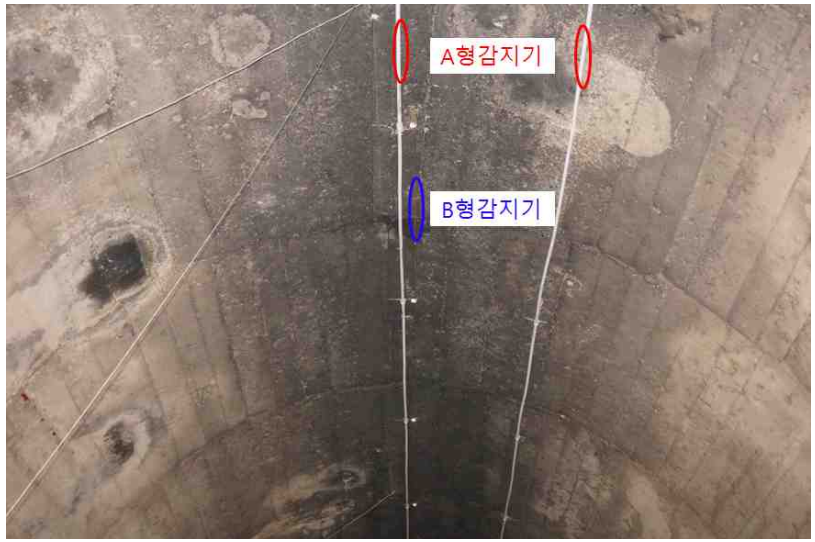


그림 2.5.16 터널에 설치된 감지기 사진

위의 그림은 실제 터널에 설치된 선형 감지기를 보여주고 있다.

2. 시험조건

철도터널 화재감지기 성능평가를 위해서 아래와 화원의 크기를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 MW의 다양한 화원에 대하여 시험을 수행하였다. 터널의 기류는 대기상태에 따라 정량적으로 맞추기 어려우므로 터널 내부에 설치되어 있는 송풍기와 연결되어 있는 인버터를 조절하여 터널 기류를 형성 시켰다. 시간에 따라 자연풍이 변하였으므로 낮은 속도 및 터널 기류가 없는 상태를 구현하기 위하여 터널 입구에 설치되어 있는 문을 열고 닫는 시험조건도 화원과 팬을 이용한 풍량 조절에 대한 실험을 실시하였다. 아래의 표는 본 시험에서 수행된 케이스 명을 보여주고 있으며, 43건의 시험을 수행하였다.

표 2.5.2 시험조건 표

화원크기 / 실험 설정	0 . 5 MW	1 . 0 MW	1 . 5 MW	2 . 0 MW
Close No.1	LL_S05_NX_1_0424	LL_S10_NX_1_0423	LL_S15_NX_1_0424	LL_S20_NX_1_0424
Close No.2	–	LL_S10_NX_2_0423	–	LL_S20_NX_2_0424
Half Close No.1	–	LL_S10_NO1_1_0423	–	–
Half Close No.2	–	LL_S10_NO1_2_0423	–	–
No fan No.1	LL_S05_H00_1_0424	LL_S10_H00_1_0423	LL_S15_H00_1_0424	–
No fan No.2	–	LL_S10_H00_2_0423	–	–
No fan No.3	–	LL_S10_H00_3_0423	–	–
Fan 10Hz No.1	LL_S05_H10_1_0424	–	LL_S15_H10_1_0424	–
Fan 15Hz No.1	–	–	–	LL_S20_H15_2_0424
Fan 20Hz No.1	LL_S05_H20_1_0424	LL_S10_H20_1_0423	LL_S15_H20_1_0424	LL_S20_H20_2_0424
Fan 20Hz No.2	–	–	–	LL_S20_H20_3_0424
Fan 30Hz No.1	LL_S05_H30_1_0424	LL_S10_H30_1_0423	LL_S15_H30_1_0424	LL_S20_H30_1_0424
Fan 30Hz No.2	–	LL_S10_H30_2_0423	–	LL_S20_H30_2_0424
Fan 30Hz No.3	–	LL_S10_H30_3_0423	–	–
Fan 40Hz No.1	–	LL_S10_H40_1_0423	LL_S15_H40_1_0424	LL_S20_H40_1_0424
Fan 40Hz No.2	LL_S05_H40_2_0424	LL_S10_H40_2_0423	–	LL_S20_H40_2_0424
Fan 40Hz No.3	–	LL_S10_H40_3_0423	–	–
Fan 50Hz No.1	LL_S05_H50_1_0424	LL_S10_H50_4_0423	LL_S15_H50_1_0424	LL_S20_H50_1_0424
Fan 50Hz No.2	–	LL_S10_H50_5_0423	LL_S15_H50_2_0424	LL_S20_H50_2_0424
Fan 50Hz No.3	–	LL_S10_H50_6_0423	–	–

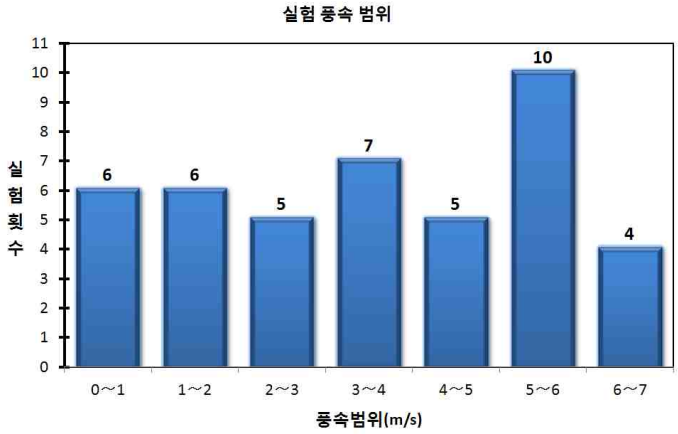


그림 2.5.17 풍속별 실험 횟수

본 시험에서 구현된 풍속별 실험 횟수는 위의 표와 같다.

3. 결 과

아래의 사진들은 여러 조건별 화재 시험 결과를 보여주고 있다.



그림 2.5.18 풍량이 없을 때 연소모습



그림 2.5.19 평균 약 3m/s 풍속일 경우 연소모습



그림 2.5.20 평균 약 4m/s 풍속일 경우 연소모습



그림 2.5.21 평균 약 5m/s 풍속일 경우 연소모습



그림 2.5.22 평균 약 6m/s 풍속일 경우 연소모습

가. 실험에 대한 풍속 결과 비교

화원과 팬을 이용한 풍량 조절에 대한 실험을 실시하였다. 화원기준으로 팬 조절로 인한 풍속을 다음의 표와 같이 정리할 수 있다. 실험 결과와 함께 결과파일 열람을 위해 다음과 같이 파일이름을 기입하였다.

표 2.5.3 실험 Case 정리

*단위:m/s		0.5MW (S05)			1MW (S10)			1.5MW (S15)			2MW (S20)			케이스
		최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	후미어
Close No.1	Front	0.2	0.56	0.32	0.08	0.61	0.31	0.13	0.58	0.35	0.22	0.47	0.36	LL_NX_1
	Back	0.11	0.5	0.19	0.06	0.5	0.18	0.08	0.29	0.18	0.08	0.53	0.34	
Close No.2	Front	–	–	–	0.12	0.54	0.38	–	–	–	0.23	0.45	0.33	LL_NX_2
	Back	–	–	–	0.01	0.37	0.14	–	–	–	0.14	0.51	0.29	
Half Close No.1	Front	–	–	–	1.1	1.5	1.28	–	–	–	–	–	–	LL_NO_1
	Back	–	–	–	1.04	1.43	1.22	–	–	–	–	–	–	
Half Close No.2	Front	–	–	–	1.03	1.64	1.33	–	–	–	–	–	–	LL_NO_2
	Back	–	–	–	1.02	1.42	1.24	–	–	–	–	–	–	
No fan No.1	Front	2.1	4.13	3.0	2.88	3.54	3.4	1.03	1.84	1.33	–	–	–	LL_H00_
	Back	2.05	3.93	2.87	2.73	3.47	3.28	0.9	1.67	1.18	–	–	–	1
No fan No.2	Front	–	–	–	3.28	3.9	3.61	–	–	–	–	–	–	LL_H00_
	Back	–	–	–	3.03	3.75	3.32	–	–	–	–	–	–	2
No fan No.3	Front	–	–	–	3.34	3.93	3.62	–	–	–	–	–	–	LL_H00_
	Back	–	–	–	2.95	3.71	3.37	–	–	–	–	–	–	3
Fan 10Hz No.1	Front	2.28	3.01	2.75	–	–	–	2.42	3.36	2.94	–	–	–	LL_H10_
	Back	2.24	2.77	2.58	–	–	–	2.09	3.0	2.53	–	–	–	1
Fan 15Hz No.2	Front	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.97	2.49	1.75	LL_H15_
	Back	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.04	2.43	1.67	2
Fan 20Hz No.1	Front	2.7	3.89	3.31	3.88	5.03	4.52	2.46	3.65	2.94	1.06	1.56	1.33	LL_H20_
	Back	2.52	3.41	2.98	4.29	5.08	4.62	2.08	3.23	2.39	–	–	–	1
Fan 20Hz No.2	Front	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.28	2.07	1.66	LL_H20_
	Back	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.95	1.43	1.24	2
Fan 30Hz No.1	Front	3.65	4.88	4.31	4.56	5.81	5.19	3.83	4.86	4.34	2.48	3.49	2.97	LL_H30_
	Back	3.37	4.08	3.81	4.03	5.07	4.54	3.27	4.09	3.72	–	–	–	1
Fan 30Hz No.2	Front	–	–	–	4.92	6.3	5.47	–	–	–	2.44	3.36	2.91	LL_H30_
	Back	–	–	–	4.22	5.4	4.84	–	–	–	1.82	2.55	2.27	2
Fan 30Hz No.3	Front	–	–	–	4.82	5.98	5.47	–	–	–	–	–	–	LL_H30_
	Back	–	–	–	4.29	5.08	4.62	–	–	–	–	–	–	3
Fan 40Hz No.1	Front	4.48	5.66	4.98	5.18	6.53	5.83	3.9	5.35	4.62	3.16	4.67	3.87	LL_H40_
	Back	4.24	4.81	4.48	4.42	5.72	5.22	3.51	4.58	4.19	2.59	3.74	3.22	1
Fan 40Hz No.2	Front	–	–	–	4.9	6.44	5.75	–	–	–	2.97	4.68	3.98	LL_H40_
	Back	–	–	–	4.44	5.55	5.12	–	–	–	2.92	3.95	3.39	2
Fan 40Hz No.3	Front	–	–	–	4.94	6.02	5.46	–	–	–	–	–	–	LL_H40_
	Back	–	–	–	4.28	5.51	4.96	–	–	–	–	–	–	3
Fan 50Hz No.1	Front	5.62	6.84	6.29	5.45	7.24	6.2	5.08	6.37	5.74	4.43	5.88	5.26	LL_H50_
	Back	5.24	5.82	5.58	4.77	6.2	5.8	4.59	5.57	5.24	3.83	5.1	4.63	1
Fan 50Hz No.2	Front	4.98	6.36	5.49	5.62	7.2	6.39	–	–	–	4.76	5.98	5.35	LL_H50_
	Back	4.5	5.33	4.97	5.21	6.37	5.98	–	–	–	3.81	5.13	4.74	2
Fan 50Hz No.3	Front	–	–	–	5.28	6.96	6.27	–	–	–	–	–	–	LL_H50_
	Back	–	–	–	4.77	6.47	5.84	–	–	–	–	–	–	3

나. 화원 기준 풍속별 온도 결과 비교

화원이 고정이고 풍속을 변화 시켰을 때, 온도분포를 천장과 측면 벽 기준 즉, 2가지에 대해서 다음과 같이 정리 하였다. 천장온도와 측면 벽 온도분포로 나누어서 설명하기로 한다.

- 천정온도

터널 천정에 열전대를 이용하여 온도를 측정하여 본 결과 화원이 커짐에 따라 화원 부근에서 온도가 높은 것으로 나타났다. 하지만 풍속이 커짐에 따라서 그 온도는 급격하게 하락하는 것을 다음의 그래프를 보면 알 수 있다. 현재 풍속이 적을 경우는 정온식 감지기로는 감지할 수 있으나 아래 그림에서 볼 수 있듯이 실험에서 최대화원인 2MW인 경우에도 3m/s이상의 풍속이 불어올 경우 감지가 불가능 한 것으로 알 수 있다.

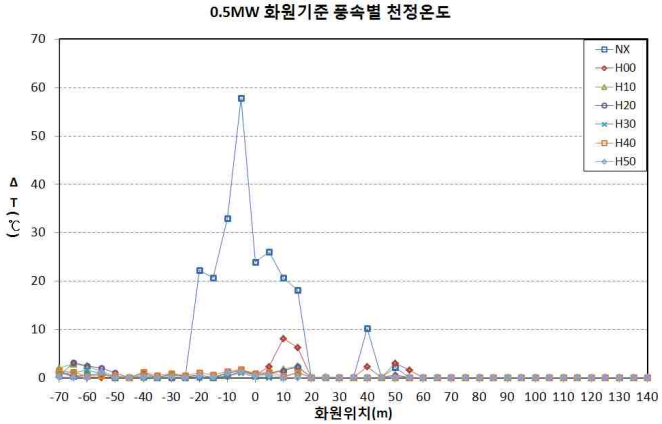


그림 2.5.23 0.5MW 화원기준 풍속별 천정온도

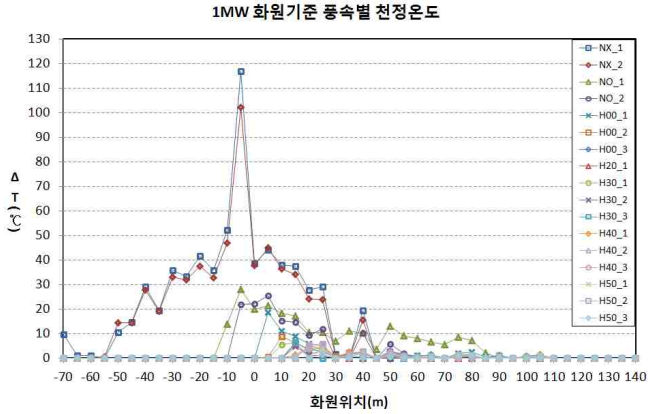


그림 2.5.24 1MW 화원기준 풍속별 천정온도

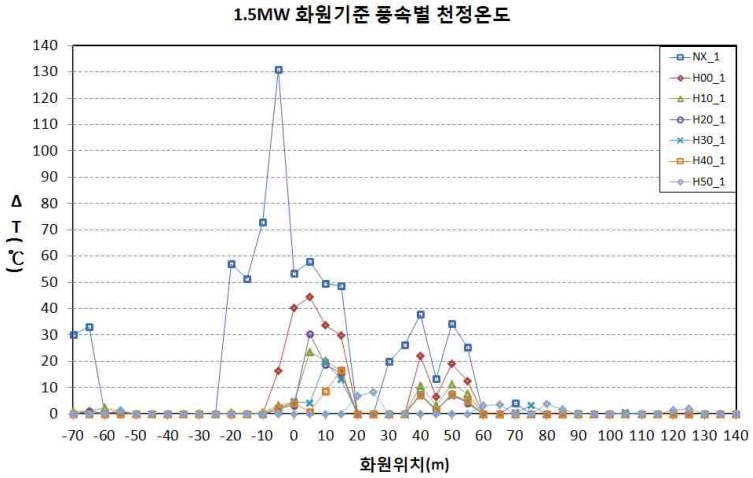


그림 2.5.25 1.5MW 화원기준 풍속별 천정온도

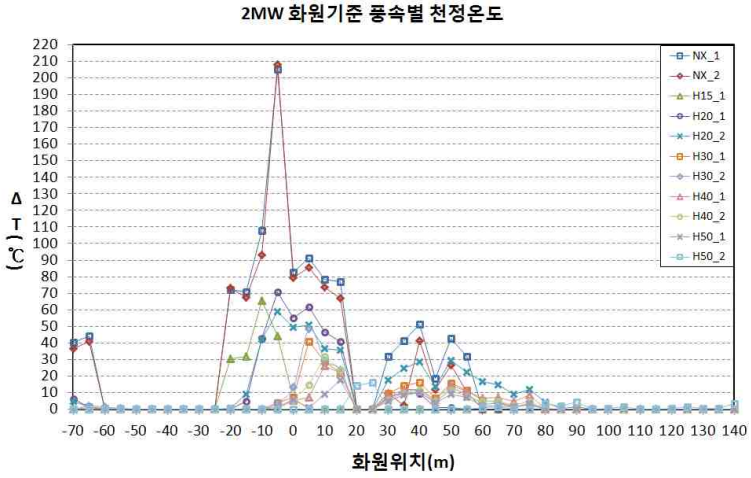


그림 2.5.26 2MW 화원기준 풍속별 천정온도

- 측면 벽 온도

측면 벽 온도 측정 결과는 같은 화원 기준으로 비교하면 천정온도 측정에 비해서 적게 측정된다는 것을 알 수 있다. 풍속이 불지 않을 경우 감지할 수 있겠지만 풍속이 조금이라도 생긴다면 감지기를 천정에 위치하는 것보다 효율이 떨어지는 것으로 나타났다.

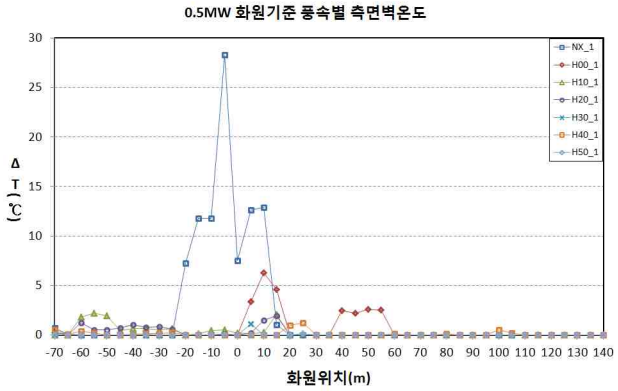


그림 2.5.27 0.5MW 화원기준 풍속별 측면 벽 온도

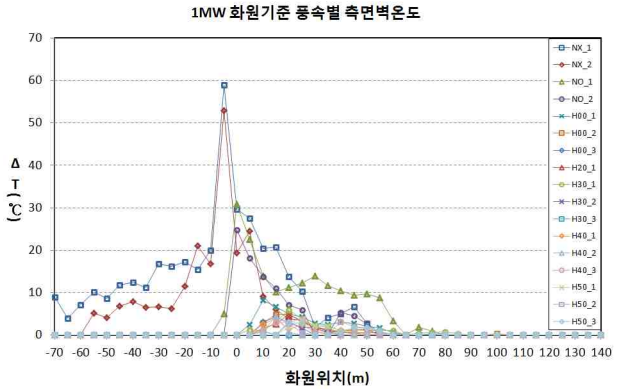


그림 2.5.28 1MW 화원기준 풍속별 측면 벽 온도

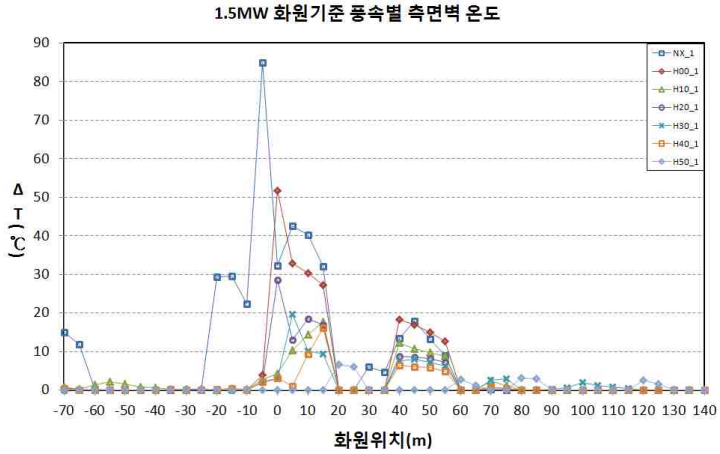


그림 2.5.29 1.5MW 화원기준 풍속별 측면 벽 온도

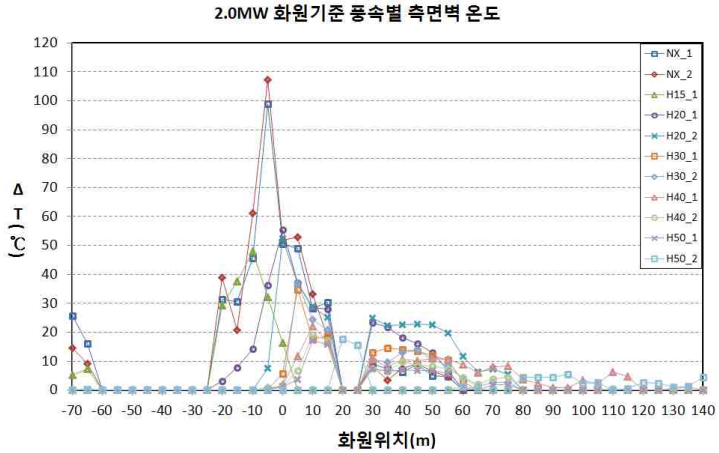


그림 2.5.30 2MW 화원기준 풍속별 측면 벽 온도

다. 화원 기준 풍속별 질량감소 결과 비교

연소에 의한 화원의 질량 감소율을 비교 분석해 본 결과 화원의 크기가 클수록 질량 감소율도 같이 커지며 화원주변 유동이 커질수록 질량감소도 큰 것으로 나타났다. 질량감소의 비교는 저울의 실시간 측정값을 그래프로 그린 다음 추세선 기울기를 이용하여 아래 표와 그림을 이용하여 시간당 질량감소를 판단하였다.

표 2.5.4 화원기준 풍속별 질량감소율 정리

화원 / Case후미어	0.5MW	1MW	1.5MW	2MW
	단위: g/s			
NX	0.0085 (0.32m/s)	0.0183 (0.31m/s)	0.028 (0.35m/s)	0.0417 (0.36m/s)
NO	–	0.0153 (1.28m/s)	–	–
H00	0.008 (3.0m/s)	0.0159 (3.4m/s)	0.0272 (1.33m/s)	–
H10	0.0035 (2.75m/s)	–	0.0269 (2.94m/s)	–
H15	–	–	–	0.033 (1.75m/s)
H20	0.0043 (3.31m/s)	0.0163 (4.52m/s)	0.027 (2.94m/s)	0.0337 (1.33m/s)
H30	0.0046 (4.31m/s)	0.0171 (5.19m/s)	0.0326 (4.34m/s)	0.0431 (2.97m/s)
H40	0.0068 (4.98m/s)	0.0186 (5.83m/s)	0.0327 (4.62m/s)	0.0413 (3.87m/s)
H50	0.0089 (6.29m/s)	0.0218 (6.2m/s)	0.0359 (5.74m/s)	0.0461 (5.26m/s)

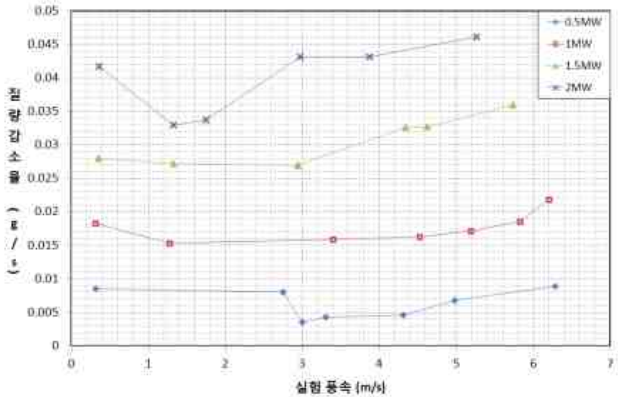


그림 2.5.31 화원별 풍속에 대한 질량감소율 그래프

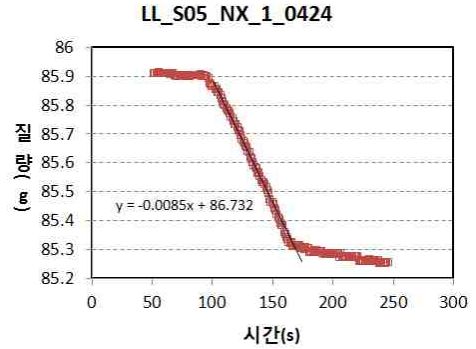


그림 2.5.32 0.5MW 터널 한면 차폐 후 질량감소

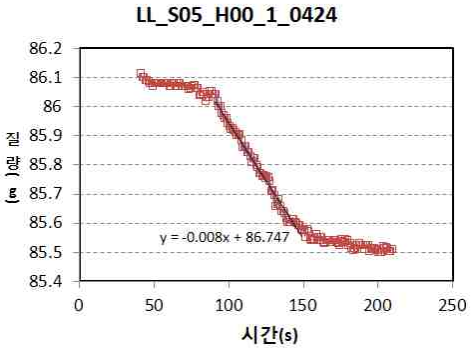


그림 2.5.33 0.5MW 자연풍(No fan) 조건 질량감소

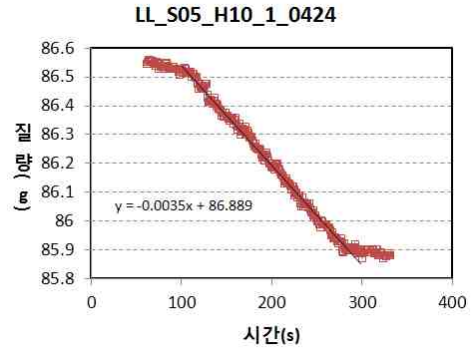


그림 2.5.34 0.5MW Fan 10HZ(약 2.7m/s) 질량감소

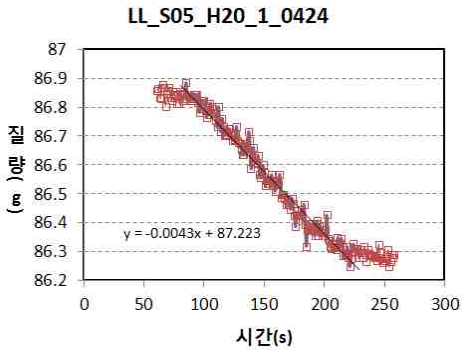


그림 2.5.35 0.5MW Fan 20Hz(약 3.3m/s) 잘량감소

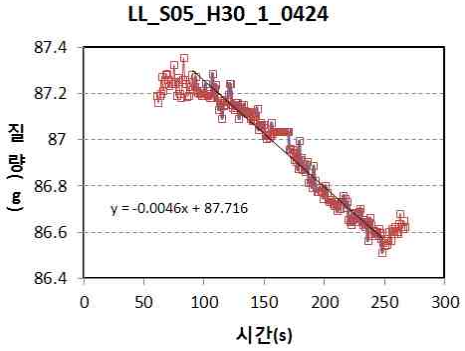


그림 2.5.36 0.5MW Fan 30Hz(약 4.3m/s) 잘량감소

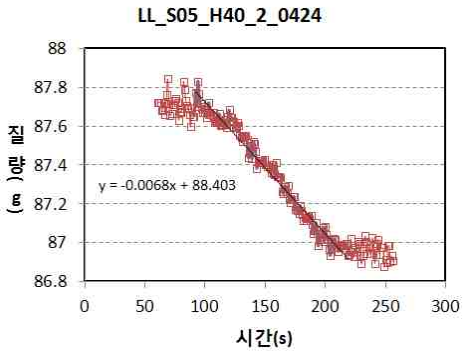


그림 2.5.37 0.5MW Fan 40Hz(약 4.9m/s) 잘량감소

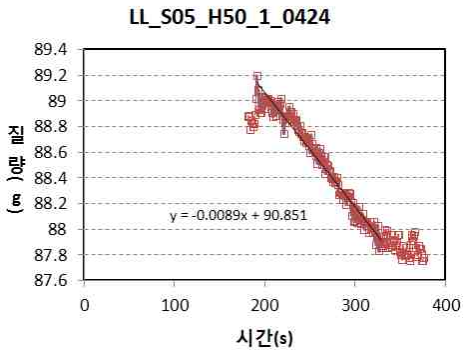


그림 2.5.38 0.5MW Fan 50Hz(약 6m/s) 잘량감소

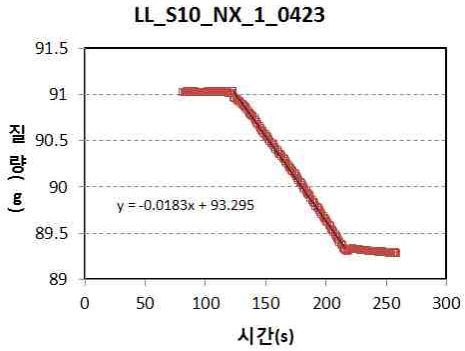


그림 2.5.39 1MW 터널 한면 차폐 후 질량감소

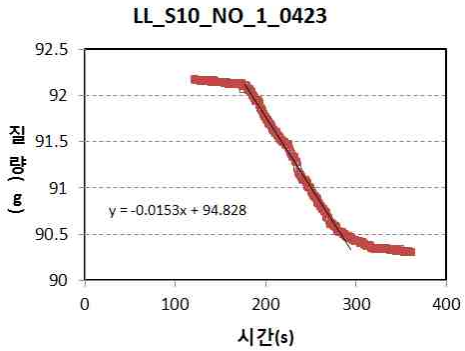


그림 2.5.40 1MW 터널 한면 반 차폐 후 질량감소

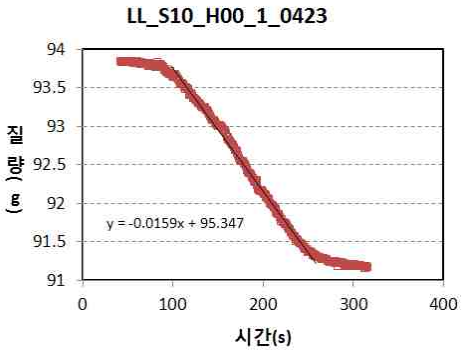


그림 2.5.41 1MW 자연풍(No fan) 조건 질량감소

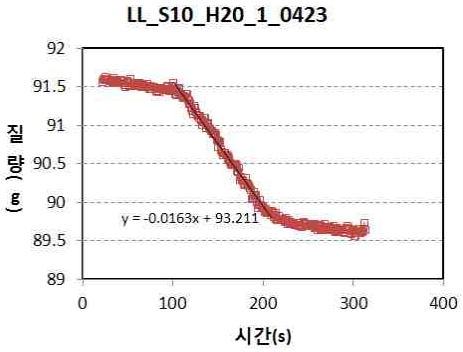


그림 2.5.42 1MW Fan 20Hz(약 4.5m/s) 잘량감소

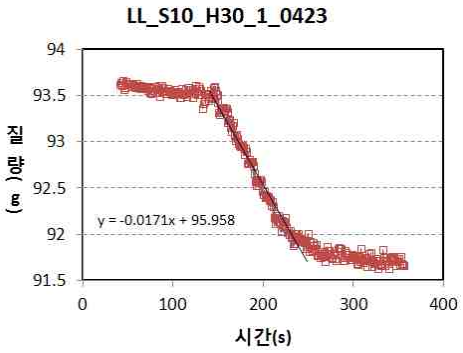


그림 2.5.43 1MW Fan 30Hz(약 5.2m/s) 잘량감소

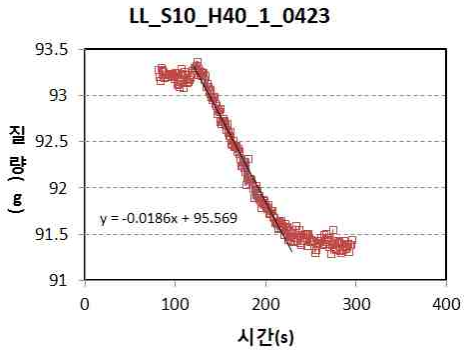


그림 2.5.44 1MW Fan 40Hz(약 5.8m/s) 잘량감소

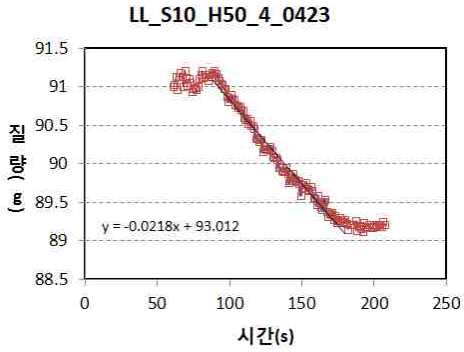


그림 2.5.45 1MW Fan 50Hz(약 6.2m/s) 잘량감소

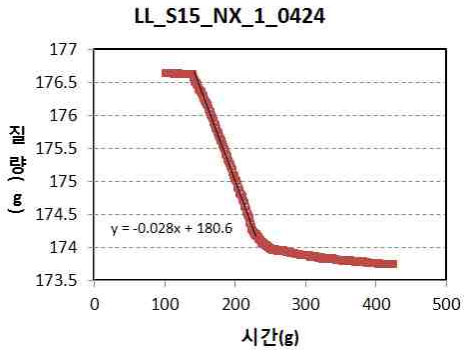


그림 2.5.46 1.5MW 터널 한면 차폐 후 질량감소

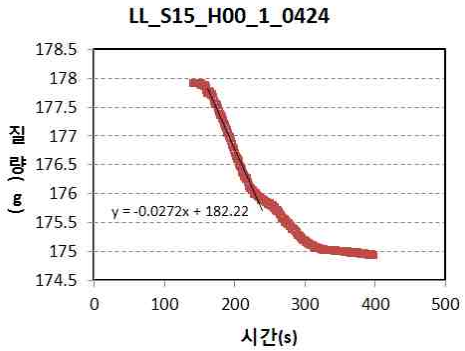


그림 2.5.47 1.5MW 자연풍(No fan) 조건 질량감소

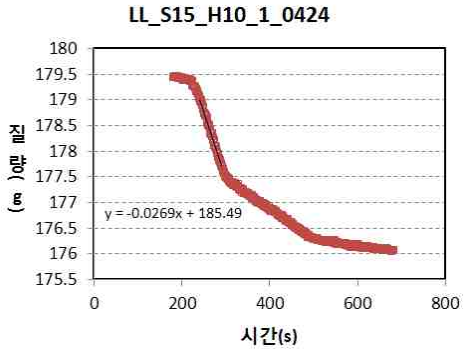


그림 2.5.48 1.5MW Fan 10Hz(약 2.9m/s) 잘량감소

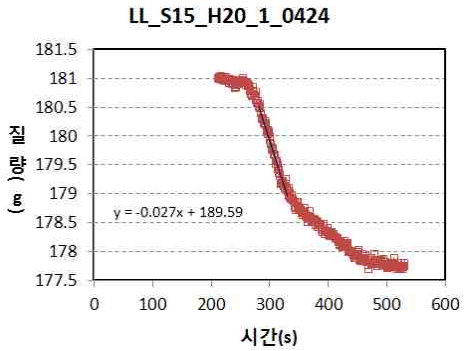


그림 2.5.49 1.5MW Fan 20Hz(약 2.9m/s) 잘량감소

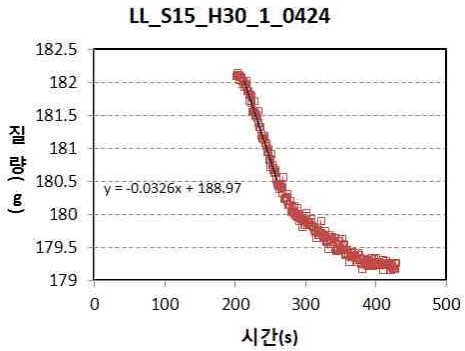


그림 2.5.50 1.5MW Fan 30Hz(약 4.3m/s) 잘량감소

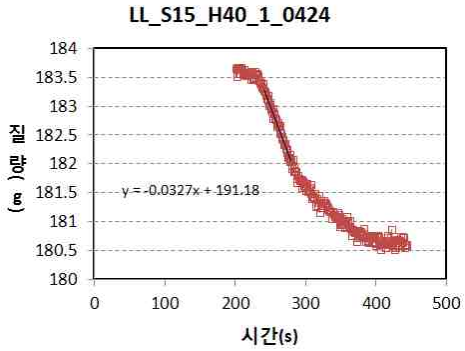


그림 2.5.51 1.5MW Fan 40Hz(약 4.6m/s) 잘량감소

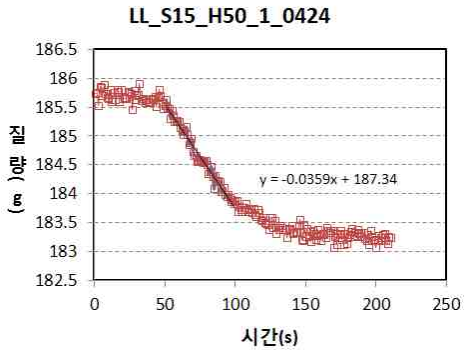


그림 2.5.52 1.5MW Fan 50Hz(약 5.7m/s) 잘량감소

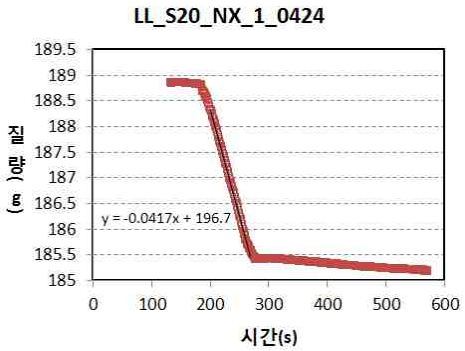


그림 2.5.53 2MW 터널 한면 차폐 후 질량감소

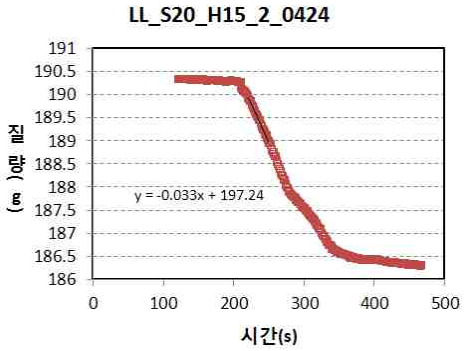


그림 2.5.54 2MW Fan 15Hz(약 1.7m/s) 잘량감소

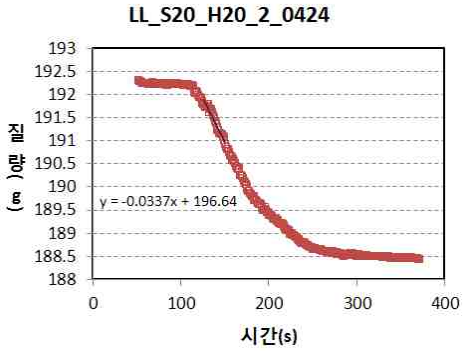


그림 2.5.55 2MW Fan 20Hz(약 1.7m/s) 잘량감소

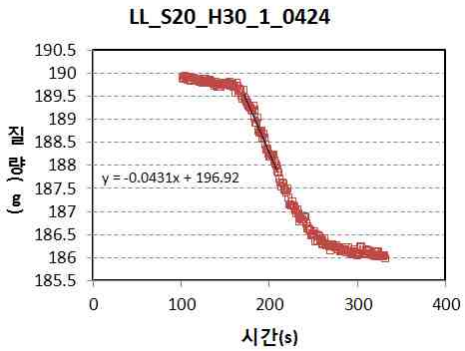


그림 2.5.56 2MW Fan 30Hz(약 3.0m/s) 잘량감소

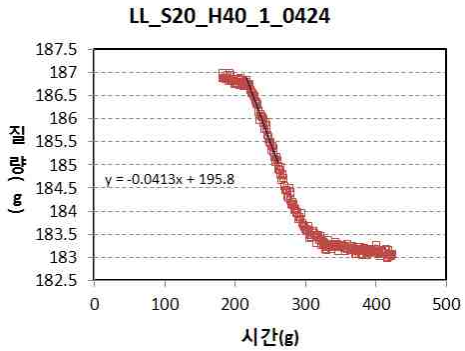


그림 2.5.57 2MW Fan 40Hz(약 3.9m/s) 잘량감소

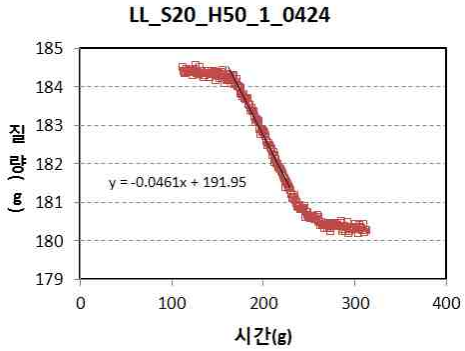


그림 2.5.58 2MW Fan 50Hz(약 5.3m/s) 잘량감소

본 시험은 철도터널 감지기의 성능평가를 위한 절차를 실제로 수행 검증하고 시중에 판매되어 터널에 설치될 수 있는 차동식선형감지기가 기준안에 드는지 만족하는지를 판단하기 위하여 수행되었다. 시험 수행시 터널에서의 기류를 조절하는 것이 쉽지 않았다. 철도터널 화재감지기 성능을 위한 기준은 터널에 1MW 크기의 화재가 발생했을 경우 기류 2.5 m/s 상황 하에서 1분 이내에 50 m 이내에서 화재감지가 되어야한다. 본 시험에 참가한 각 업체의 감지기는 다음 표와 같이 다음 조건의 시험에서 감지기 성능을 만족하였다. 단 송풍기를 정지하였어도 기류조건(평균 3.4m/s)이 2.5 m/s 보다 크게 측정되었지만 터널 기류가 빠를수록 같은 화재규모의 화원을 더 늦게 감지하므로 성능 테스트한 두제품 모두 기준 이상의 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

표 2.5.5 터널 화재감지 성능시험 결과

	60초 이내 감지	50 m 이내 화재감지
A 업체 감지기	○	○
B 업체 감지기	○	○

4. 풍속에 따른 연료소모율

가. 시험 개략도

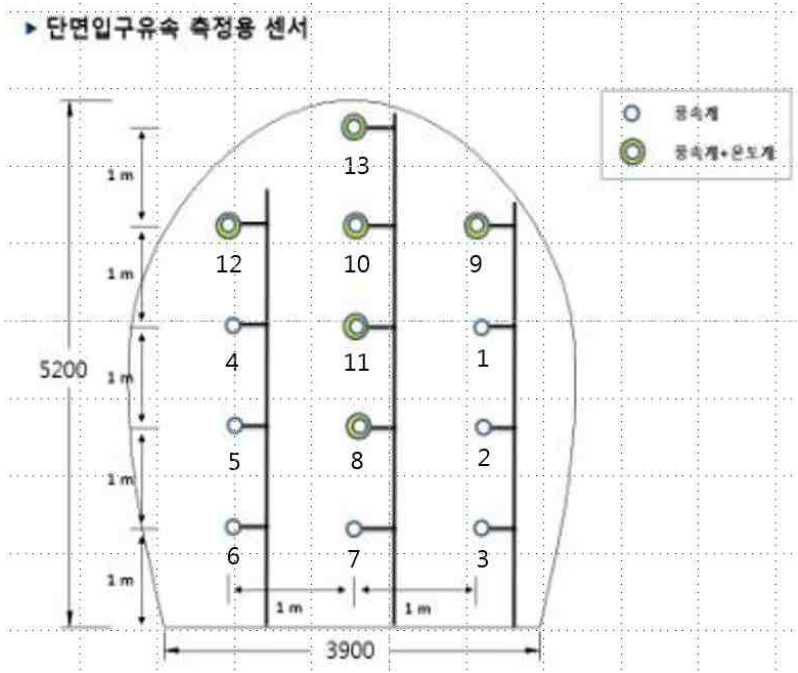


그림 2.5.59 단면 입구 유속 측정용 센서

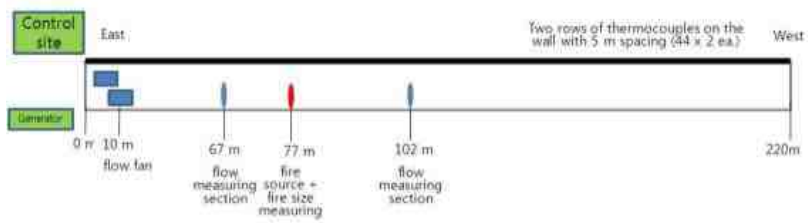


그림 2.5.60 시험 개략도

나. 연료소모율

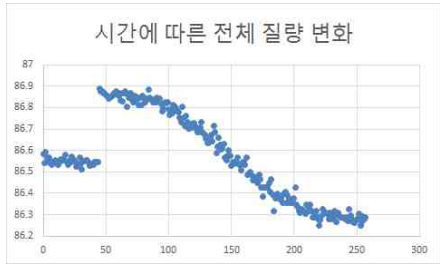


그림 2.5.61 시간에 따른 전체 질량 변화

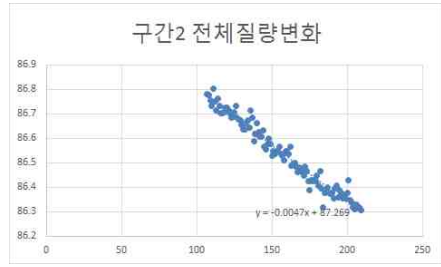


그림 2.5.62 구간2 전체 질량 변화

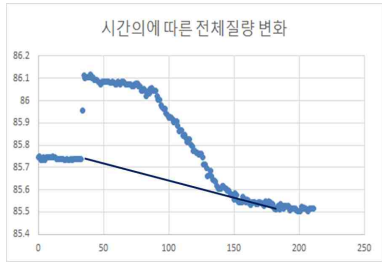


그림 2.5.63 시간에 따른 전체 질량 변화

시간에 따른 전체 질량 변화 그래프. 화재가 발생한 때부터 연소가 마무리 될 때까지 그래프의 기울기로 구간을 나눔.

구간 2를 steady state로 가정하고 순수한 연료 소모량을 구함.

물은 선형적으로 감소한다고 가정하고 처음 구간과 마지막 구간 사이의 기울기를 이용하여 $\frac{dw_w}{dt}$를 구하고

$$\frac{dw_t}{dt} - \frac{dw_w}{dt} = \frac{dw_h}{dt}$$ 수식 2.5.1 식에 따라 $\frac{dw_h}{dt}$를 얻을 수 있다.

위의 방식으로 구한 연료소모율은 $\dot{m}_{EXP} \times A_f$로써 단위는 [kg/s] 이다. 따라서 Q(heat release rate) 값은 연료소모율과 연료로 사용한 헵탄의 $\triangle H_c$(heat of combustions)를 곱한 값으로 Watt 단위로 나타낼 수 있다.

$$\triangle H_C = 44.6 MJ/kg$$

이론에 의한 연료 질량의 변화율 $\dot{m}_{EMP} = \dot{m}_{\infty}(1 - \exp^{-k\theta D})$ 수식 2.5.2

$k\theta = 1.1m^{-1}$, $D = \frac{4A}{P}$ (P : wetted perimeter, D : pool Diameter)

이론에 의한 Q(heat release rate). $Q_{EMP} = \dot{m} \times A_f \times \triangle H_C$ 수식 2.5.3

각 속도별 시간에 따른 연료소모율

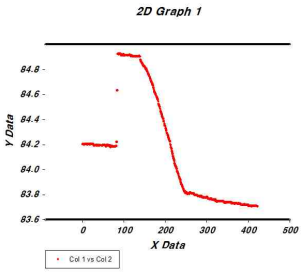


그림 2.5.64 0.5MW H10[2.66m/s]

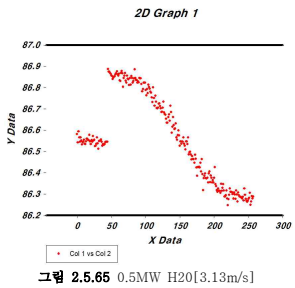


그림 2.5.65 0.5MW H20[3.13m/s]

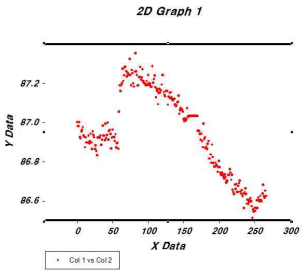


그림 2.5.66 0.5MW H30[4.05m/s]

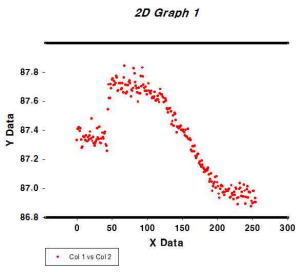


그림 2.5.67 0.5MW H40[4.735m/s]

풍속은 화원 앞과 뒤에서 측정한 값 각각의 평균이다.

다. 풍속

표 2.5.6 풍속

[0.5,10Hz]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
[1]	2.42	2.53	1.76	2.52	0.93	1.74	1.87	2.4	3.18	3.07	2.65	3.07	2.09
[2]	2.34	2.5	1.92	2.76	1.01	2.22	1.89	2.26	3.04	3.15	2.83	2.89	2.57
[3]	2.13	2.6	1.62	2.75	0.95	2.39	1.64	2.51	3.04	3.21	2.89	3.01	2.39
[4]	2.71	3.01	1.7	2.5	0.84	1.76	2.03	2.28	3.13	3.09	2.89	3.03	2.49
[5]	2.26	2.76	2.07	2.85	0.99	1.58	1.8	2.55	3.1	3.37	2.78	2.83	2.45
[6]	2.76	2.84	2.04	2.84	0.89	1.76	1.95	2.36	3.2	3.07	2.73	3.05	2.57
[7]	2.81	2.47	2.09	2.93	0.93	2.19	2.05	2.45	2.96	2.81	2.87	3.14	2.42
[8]	2.39	2.55	2.29	2.93	0.98	2.09	1.99	2.37	3.18	3.3	2.77	3.03	2.5
[9]	2.38	2.7	2.18	2.99	0.97	1.93	2.13	2.75	3.08	3.39	3.16	3.19	2.33
[10]	2.36	2.75	2.04	3	0.88	2.41	2.12	2.73	3.08	3.41	2.73	3.13	2.81
[11]	2.32	2.21	1.97	3.04	1.15	2.32	2.25	3.09	3.15	3.15	3.05	3.18	2.48
[12]	2.14	3.02	1.86	2.98	0.99	2.5	2.5	2.63	3.37	3.29	2.91	2.92	2.58
[13]	2.17	2.91	1.85	2.92	1.07	2.36	1.89	2.63	3.17	3.23	2.64	3.03	2.74
[14]	2.66	2.84	1.72	2.92	1.09	2.47	1.92	2.44	3.24	3.29	3.15	3.05	2.77
[15]	2.68	2.95	2.28	3.17	1.07	2.83	2.16	2.63	3.3	3.28	2.75	3.24	2.43
[16]	2.33	2.6	2.23	3.27	1.11	2.59	2.1	2.74	3.12	3.23	2.99	3.31	2.55
[17]	2.13	2.68	2.45	3.34	1.22	2.26	2.72	3.02	2.99	3.18	3.35	3.52	2.42
[18]	2.48	2.8	1.92	3.23	1.15	2.11	2.52	3.24	2.71	3.36	3.23	3.42	2.48
[19]	2.65	2.81	1.8	3.24	1.13	2.45	2.11	3.13	3.08	3.24	3.25	3.32	2.71
[20]	2.62	2.95	2.25	3.22	1.08	2.37	2.12	2.94	3.28	3.18	2.72	3.26	2.65
[21]	2.35	2.43	1.98	3.23	1.24	2.7	2.42	2.53	2.94	2.82	3.21	2.9	2.74
[22]	2.19	2.54	2.22	3.07	1.22	2.78	2.82	3.08	2.88	2.77	3.25	2.8	2.41
[23]	2.52	2.83	2.34	2.63	1.16	2.87	2.28	3.09	2.91	2.81	3.05	2.53	2.35
[24]	2.28	2.77	2.33	2.78	1.1	2.45	2.65	2.89	3.03	2.74	2.7	3.13	2.47
[25]	2.7	2.89	2.17	2.61	1.1	2.57	2.51	2.83	2.81	3.3	3.31	2.92	2.28
[26]	2.66	2.62	2.11	2.88	0.97	2.42	2.33	2.87	3.11	3.07	3.02	2.77	2.38

총 181행 중 26행까지만 표기. 각 풍속은 초기 설정한 위치의 단면에 설치한 13개의 속도계에서 일정 시간(약 3분)동안 초 단위로 측정한 모든 값의 평균. 색 칠한 셀을 포함할 경우 평균 속도는 2.57249m/s. 제외할 경우 평균 속도는 2.69233m/s로 약 0.12m/s의 차이를 보인다.

1~13번 센서에 대하여 0.5MW부터 2.0MW까지의 실험 결과를 통한 풍속 결정
총 38번의 실험에서 5번 센서는 19번(50%) 일정 범위(약 1.5m/s)
이상 벗어나는 것을 볼 수 있었습니다.
13번 센서는 9번(24%), 7번 센서는 4번(11%), 6번은 4번(11%)로 나타났습니다.
5, 6, 13번 센서의 경우에는 평균에 못 미치는 값을 나타낸 반면
7번 센서는 대체로 평균에 못 미치는 값을 나타내고 있습니다.

풍속에 대한 연료소모율을 보기 위함
S05H10F 1~13 2.75// 2.93
S05H10B 1~13 2.57// 2.69
S05H20F 1~13 3.31// 3.70
S05H20B 1~13 2.95// 3.10
S05H30F 1~13 4.31// 4.37
S05H30B 1~13 3.79// 3.97
S05H40F 1~13 4.98// 5.08
S05H40B 1~13 4.49// 4.70
S05H50F 1~13 6.29// 6.40
S05H50B 1~13 5.58// 5.96

S10H20F 4.52// 4.97
S10H20B 4.62// 4.84
S10H30F 5.19// 5.33
S10H30B 4.54// 4.75
S10H40F 5.83
S10H40B 5.21// 5.45
S10H50F 6.20// 6.22
S10H50B 5.80// 6.06

S15H20F 2.94// 2.93
S15H20B 2.42// 2.54
S15H30F 4.34
S15H30B 3.72// 3.90
S15H40F 4.62// 4.72
S15H40B 4.18// 4.38
S15H50F 5.74// 5.88
S15H50B 5.24// 5.48

S20NXF 0.36
S20NXB 0.33
S20H15F 1.75
S20H15B 1.63// 1.72
S20H20F 1.66
S20H20B 1.24// 1.30
S20H30F 2.91// 2.99
S20H30B 2.27// 2.38
S20H40F 3.98// 4.09
S20H40B 3.39// 3.55
S20H50F 5.26// 5.30
S20H50B 4.63// 4.84

라. 풍속에 따른 연료소모율

네모 - 1~13 센서에서 측정한 풍속의 평균을 이용해서 구한 값, 동그라미 - 튀는 값을 제외한 값을 이용해서 구한 값

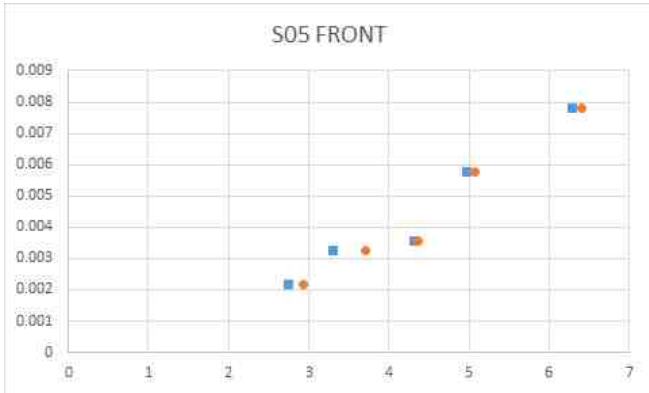


그림 2.5.68 0.5MW 화원 앞에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

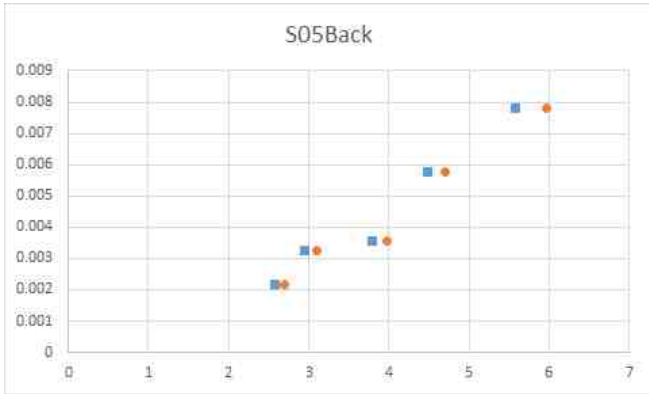


그림 2.5.69 0.5MW 화원 뒤에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

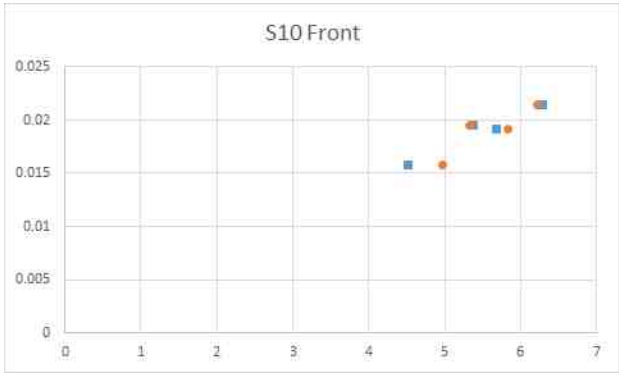


그림 2.5.70 1.0MW 화원 앞에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율



그림 2.5.71 1.5MW 화원 앞에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

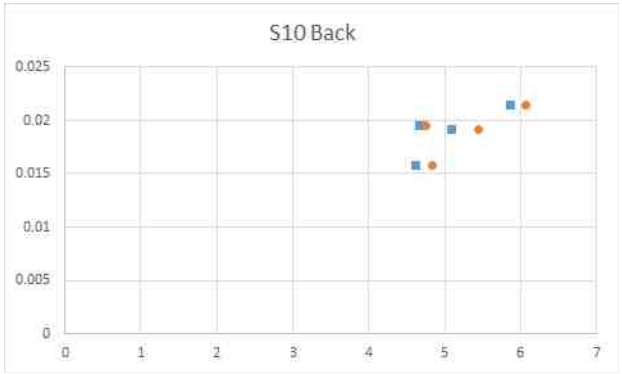


그림 2.5.72 1.0MW 화원 뒤에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율



그림 2.5.73 1.5MW 화원 뒤에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

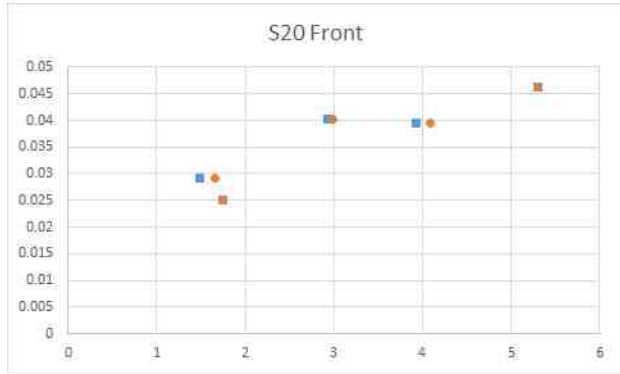


그림 2.5.74 2.0MW 화원 앞에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

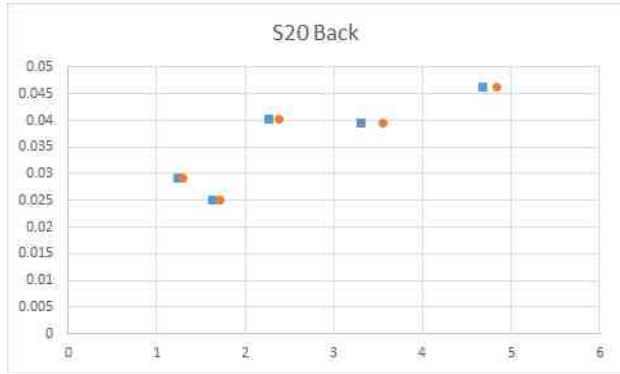


그림 2.5.75 2.0MW 화원 뒤에서 측정한 풍속에 따른 연료소모율

마. 실험 및 이론에 대한 발열량

표 2.5.7 0.5MW~2.0MW 각 경우에 따른

	풍속(front)	풍속(back)	연료소모율	Qexp[MW]	Qemp[MW]
S05_H10	2.75069	2.57249	0.002187	0.0975402	0.443486853
S05_H20	3.30525	2.95459	0.003254	0.145128	
S05_H30	4.30719	3.78528	0.003552	0.158419	
S05_H40	4.97991	4.48934	0.005777	0.257654	
S05_H50	6.29322	5.58332	0.007788	0.347345	
S10_H20	4.52262	4.62367	0.015742	0.702093	1.203782
S10_H30	5.377113	4.669282	0.019548	0.871819	
S10_H40	5.680173	5.097733	0.019123	0.852871	
S10_H50	6.28609	5.870883	0.21414	0.955064	
S15_H20	2.93585	2.41648	0.004537	0.20235	1.833724
S15_H30	4.34102	3.72317	0.004883	0.217782	
S15_H40	4.62015	4.18283	0.005935	0.264701	
S15_H50	5.614905	5.11184	0.00772	0.344312	
S20_NX	0.343995	0.311312	0.020689	0.922729	1.723761
S20_H15	1.75263	1.63393	0.02513	1.120798	
S20_H20	1.49366	1.24105	0.029095	1.297637	
S20_H30	2.936734	2.27135	0.040189	1.792429	
S20_H40	3.92637	3.30876	0.03951	1.762146	
S20_H50	5.30349	4.68585	0.046336	2.066586	

*Q_{EMP}의 경우 wetted perimeter에 의해 구한 값이며 0.5MW와 1.0MW의 연료 tray 크기를 고려하여 1.5MW와 2.0MW일 때의 Q_{EMP}를 구하면 각각 1.647269MW, 2.407564MW 이다.

표 2.5.7은 0.5MW~2.0MW의 세기를 가진 화원과 제트 팬의 출력이 높아질수록 풍속이 높아지는 것을 볼 수 있고, 같은 화원 크기일 때, 풍속이 높아짐에 따라 연료소모율이 높아진다는 것, 또한 실험에 의한 Q(HRR) 값이 점차적으로 이론에 의한 Q(HRR) 값에 근접하는 것을 확인할 수 있다.

$$Q_{\mathrm{EXP}} = \dot{m}_{\mathrm{EXP}} A_f \Delta H_C \qquad \text{수식 2.5.4}$$

$$Q_{EMP} = \dot{m}_{EMP} A_f \Delta H_C \qquad \text{수식 2.5.5}$$

$$\dot{m}_{EMP} = \dot{m}_{\infty}(1 - e^{-k\beta D}) \qquad \text{수식 2.5.6}$$

연료소모율은 $\dot{m} \times A_f$ 수식 2.5.7

따라서 연료소모율에 헵탄의 ΔH_C 값을 곱한 것이 발열량 Q 이다.

5. 1/20 축소 모형 실험과 비교

추가적으로 Critical velocity를 이용한 Graph도 작업할 것 - Critical velocity의 이론값을 가지고 값을 얻어낸다.

$\dot{m}^+ - V^+$, $V^* - Q^*$, $\overline{V} - \overline{Q}$ Graph

Ex)

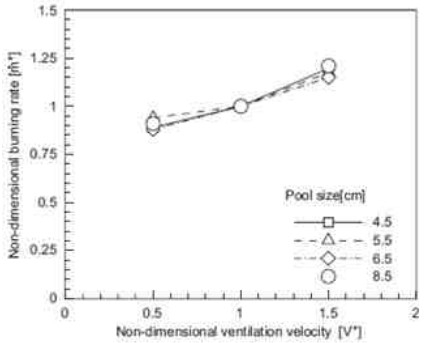


그림 2.5.76 Non-dimensional burning rate with non-dimensional ventilation velocity for various pool sizes.

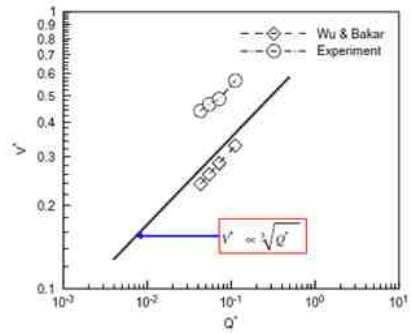


그림 2.5.77 Non-dimensional critical ventilation velocity vs. non-dimensional heat release rate.

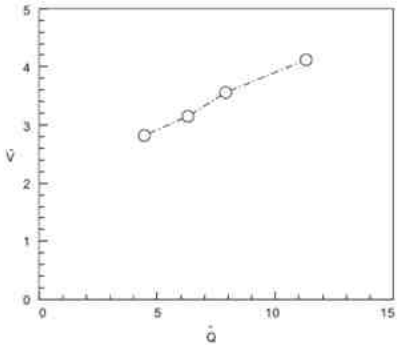


그림 2.5.78 Non-dimensional critical ventilation velocity with non-dimensional heat release rate.

*$\overline{V}$ 를 구하기 어려울 것이라고 했지만 이론상으로 존재하는 식에 실험을 통해 구한 값들을 대입해서 얻은 V_{cr}를 $V_{cr,\mathrm{EXP}}$라고 하고 진행해 보기로 한다.

가. Critical Velocity

표 2.5.8 실험값 (식에 실험으로 얻은 데이터를 넣고 구한 값)

		H10		H20	H30	H40	H50	avg
0.5MW		1.722341		1.970854	1.989668	2.345402	2.574301	2.12
1.0MW				3.57429	3.83675	3.821014	3.921045	3.79
1.5MW				2.803753	2.663584	2.774291	2.803753	2.76
2.0MW	7.902311		6.159769	7.462003	7.003061	6.000389	5.912077	6.74

표 2.5.9 이론값 (엑셀 작업을 통해 얻은 값)

0.5MW	1.247311m/s
1.0MW	1.590712m/s
1.5MW	1.838583m/s
2.0MW	2.040396m/s

$$U_c = K'\left(\frac{gQT}{C_p\rho_0 T_0^2 W}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad \text{수식 2.5.8}$$

$$T = \left(\frac{Q}{C_p\rho_0 A U_c}\right) + T_0 \qquad \text{수식 2.5.9}$$

K' - constant (was found to be 0.8 from experimental data)

ρ_0 - ambient air density $[kg\,m^{-3}]$

C_p - specific heat capacity $[kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}]$

W - tunnel width [m]

Q - fire convective heat release rate [kW]

엑셀로 작업한 Critical velocity가 예상보다 높다는 것을 확인 할 수 있다.

나. 결과비교 그래프

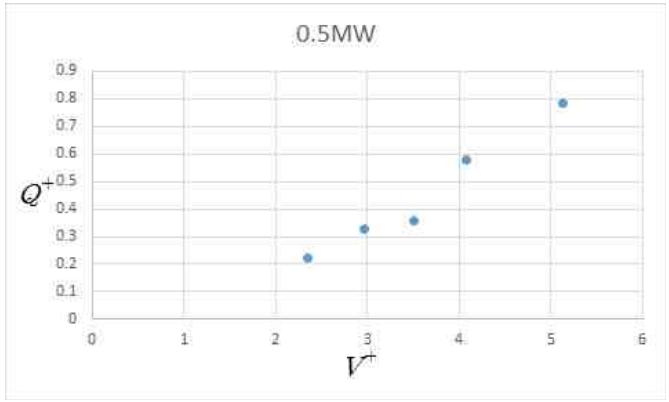


그림 2.5.79 0.5MW 일 때 non-dimensional ventilation velocity with non-dimensional heat release rate

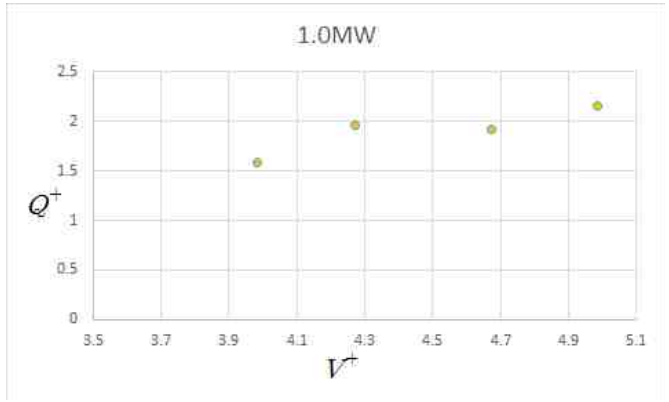


그림 2.5.80 1.0MW 일 때 non-dimensional ventilation velocity with non-dimensional heat release rate

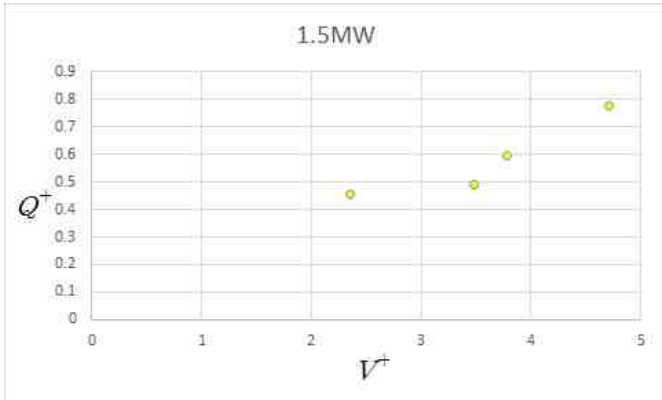


그림 2.5.81 1.5MW 일 때 non-dimensional ventilation velocity with non-dimensional heat release rate

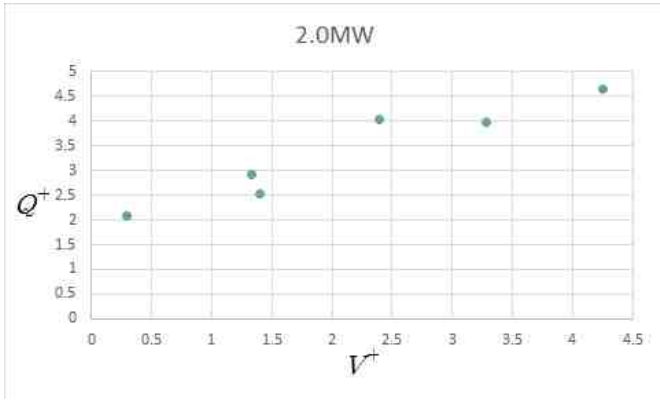


그림 2.5.82 2.0MW 일 때 non-dimensional ventilation velocity with non-dimensional heat release rate

$Q^+ = \frac{Q_{\mathrm{EXP}}}{Q_{EMP}}$, $V^+ = \frac{V}{V_{cr}}$. V_{cr}은 엑셀 작업을 통해 얻은 critical velocity이다.

제6절 철도터널 자동화재 탐지설비 기준(안) 및 해설서

1. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) 및 해설서

가. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) (『철도시설의 기술기준』 포함)

:

제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

:

37. '부속공간'이란 철도운용을 위해 필요한 전기, 신호, 통신, 기계 및 기타 시설이 설치된 공간으로 철도터널의 일부인 것을 말한다.

:

제41조(자동화재탐지설비) 안전성 분석 결과에 따라 자동화재탐지설비가 필요한 경우 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다. 다만 부속공간은 자동화재탐지설비를 설치하여야 한다.

① 자동화재탐지설비는 화재감지기를 포함하여 구성하며, 화재 발생을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖추어야 한다.

② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다.

1. 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것
2. 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것.
3. 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것.
4. 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기.
5. 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것.

③ 소화설비 등과 연동되어 개별적으로 설치되는 감지기는 본조 제2항에 의해 설치하여야 한다. 단, 화재감지기와 연동되어 있는 방연셔터에는 오동작 여부를 확인할 수 있도록 영상감시장치를 별도로 설치하고 철도운영자가 방연셔터의 동작을 제어하는 기능을 갖추어야 한다.

④ 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용할 것.

나. 철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) (『철도시설의 기술기준』 포함) 해설서

철도터널 자동화재 탐지설비 관련 제도 개선 안

2014.04.01.

한국철도기술연구원 에코시

1. 개선 제안의 개요

현재 철도터널의 화재감지기와 관련된 기준은 「철도시설의 기술기준」(이하 기술기준)에서 세부적으로 다루고 있다. 하지만, 철도터널의 화재감지기의 적용은 제도의 수립시기 타당한 수준을 확보하였지만, 시간의 흐름에 따라 현장에서의 상황과 환경적 변화에 대한 추가적 반영 등의 사유로 인하여, 현재 해당 기준항목과 관련된 내용의 전반적인 재검토와 개선 대안의 수립이 필요하게 되었다.

본 제도 개선 제안은 철도터널의 화재감지기와 관련된 사항에 대해 문제점을 재검토해보고 실질적인 통합적 보완 대책을 마련하여 이를 반영한 제도의 개선 내용을 수립하여 본 문서에 수록하였다. 이를 통하여 철도터널의 화재 감지 및 통보와 관련된 실질적 화재안전수준 향상에 기여하고자 하였다.

2. 개선 제안의 목적

본 제도 개선 제안은 다음과 같은 목적과 내용을 가지고 있다.

○ 「철도시설의 기술기준」의 필요한 공간 구분 정의 보완

○ '자동화재탐지설비'를 수록하고, '화재감지기'에 관한 사항을 전체 시스템에 포함하여 실질적 소방시설의 적용 기준 확보

○ '화재감지기' 에 대한 소방법 체계의 형식승인 및 성능인증이 철도터널의 환경적 특성을 반영할 수 있는 지, 여부 검토 및 보완

○ 기술적 사항 및 타 국가 규정 등과 같이 제도 개선의 정책적 판단을 위한 근거 자료의 수집분석 및 제공

3. 화재 감지기 관련 국내 기준

(1) 소방법에서의 화재감지기 관련 기준

소방법에서 화재감지기는 단독적으로 사용되는 '단독경보형 감지기'가 있지만, 이는 주택 등과 같이 매우 제한된 면적과 용도에만 적용되며, 실제로는 '화재감지기-수신기-음향장치/시각경보기', 또는 '화재감지기-중계기-수신기-음향장치/시각경보기' 등을 기본 구성으로 하는 자동화재탐지설비의 일부분이다. 소방법에서는 「소방시설 설치 유지 및 안전관리에 관한 법률」에서 규정하고 있으며, 소방시설의 분류에서 화재 발생사실을 통보하는 기계, 기구 또는 설비로서 '경보설비 '의 하나로 정의되고 있다. 이에 대한 세부기준은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」에서 설치유지 및 안전관리에 관한 사항을 규정하고 있고, 형식승인 및 제품검사 등에 관한 기술기준들이 있다. 세부 목록은 아래 정리하였으며, 소방법 내에서 규정되는 기계, 기구 또는 설비의 일부분으로 동작하는 것에 대한 것은 제외하였다.

1) 관련 법령

- 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령
- 소방시설공사업법 시행령, 시행규칙

2) 관련 행정규칙

- 자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)
- 도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)
- 시각경보장치의 성능인증 및 제품검사의 기술기준
- 감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준
- 경종의 형식승인 및 제품검사의 기술기준
- 발신기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준
- 비화재보방지기의 성능인증 및 제품검사의 기술기준
- 수신기 형식승인 및 제품검사의 기술기준
- 중계기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준

(2) 소방법 이외 화재감지기 관련 주요 기준

소방법 이외에서는 주로 건축법과 철도법 등에서 화재감지기를 기준에 포함하고 있다. 이러한 경우는 자동소화설비 또는 배연설비와의 시스템에 포함되어 연동을 위해 사용되는 경우에 이를 규정하기 위해 포함된다.

1) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙

> 제14조(배연설비)
> ②특별피난계단 및 영 제90조제3항의 규정에 의한 비상용승강기의 승강장에 설치하는 배연설비의 구조는 다음 각호의 기준에 적합하여야 한다. <개정 1996.2.9, 1999.5.11>
> 2. 배연구에 설치하는 수동개방장치 또는 자동개방장치(열감지기 또는 연기감지기에 의한 것을 말한다)는 손으로도 열고 닫을 수 있도록 할 것

2) 자동방화셔터 및 방화문의 기준

> 제4조(셔터의 구성) ① 셔터는 전동 또는 수동에 의해서 개폐할 수 있는 장치와 연기감지기·열감지기 등을 갖추고, 화재발생시 연기 및 열에 의하여 자동폐쇄되는 장치 일체로서 주요구성부재·장치·규모 등은 KS F 4510(중량셔터)에 적합하여야 한다. 다만, 강재셔터가 아닌 경우에는 KS F 4510(중량셔터)에 준하는 구성조건이어야 한다.
> ② 셔터는 화재발생시 연기감지기에 의한 일부폐쇄와 열감지기에 의한 완전폐쇄가 이루어 질 수 있는 구조를 가진 것이어야 한다.

3) 도로터널 방재시설 설치 및 관리 지침

> 4.2 자동화재탐지설비
> 4.2.1 일반사항
> (1) 화재 시 발생하는 열, 연기, 불꽃 또는 연소생성물을 화재 발생 초기에 자동적으로 감지하여 화재사실을 관리자에게 자동 통보하는 설비이다.
> (2) 화재 발생장소를 알리는 수신기, 열 또는 연기, 화염 등을 감지하기 위한 탐지기, 화재신호를 발신하는 발신기, 중계기, 비상벨, 사이렌 등의 음향장치 등으로 구성한다.
> (3) 자동화재탐지설비의 수신기, 발신기, 음향장치 등은 '4.1 비상경보설비' 항목을 준용한다.
> (4) 본 설치지침에 언급되지 않은 사항은 자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203) 및 도로터널 화재안전기준(NFSC 603)을 준용한다.
> 4.2.2 기기사양
> (1) 자동화재탐지기는 감지하는 대상이나 작동원리에 따라서 많은 종류의 탐지기가 사용되고 있으나,

터널에 설치되는 탐지기는 화재안전기준(NFSC 203)에 제시되어 있는 자동화재탐지기 중 감지범위 및 감지능력은 다음 조건을 만족하여야 한다.

① 자동화재탐지기 성능은 화재강도가 1.5MW의 화재 시 종방향의 풍속이 3m/s인 상황에서 화재 발생 후 1분 이내에 화재를 탐지할 수 있는 능력의 것을 표준으로 한다.

② 자동화재탐지기의 경계구역은 자동화재탐지설비의 화재안전 기준(NFSC 203)에 준하나 물분무설비가 설치되는 경우는 당해 소화설비의 방수구역과 동일하거나 좁아야 한다.

③ 화재지점에 대한 인지능력은 환기방식에 따라서 고려한다. 즉, 종류환기방식에서는 화재부근의 제트팬의 가동은 연기의 성층화를 교란하여 대피에 악영향을 주게 되므로 제트팬의 가동에 필요한 범위 내에서 화재지점을 인지할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

④ 또한 횡류환기방식을 적용하는 터널에서 배연을 위한 구역을 구분하는 경우에는 구역제어를 위해서 필요한 범위에서 화재지점을 인지할 수 있도록 한다.

⑤ 대배기구방식을 적용하는 경우에는 화재지점의 원격제어 댐퍼의 개폐 조작을 위해서 댐퍼의 설치간격 이내로 화재지점을 인지할 수 있는 감지능력이 있어야 한다.

⑥ 자동화재탐지설비는 자동차의 배기가스에 의한 열기류 및 입출구부의 태양광에 의한 온도상승에 따라 영향을 받지 않아야 한다.

4.2.3 설치지침

(1) 자동화재탐지설비의 설치대상 터널 및 설치는 다음과 같다.

① 연장기준등급이 2등급 이상의 터널에 설치함을 원칙으로 한다.

② 터널 내 자동화재탐지기는 화재 발생을 가장 신속하게 감지할 수 있는 위치에 설치한다.

③ 터널 위험도 및 터널폐쇄로 인한 경제적인 손실 등을 고려하여 2,000m 이상의 터널에서는 사전경보 및 관리자의 상황 판단을 위해서 가시도측정장치와 병용하거나 CCTV 및 영상유고감지설비를 화재감시시스템으로 병용하는 것을 권장한다.

④ 자동화재탐지설비가 작동하면 CCTV와 연동하여 CCTV에 의해서 화재구역에 대한 감시가 자동적으로 이루어질 수 있도록 한다.

(2) 연장기준등급이 3등급인 터널이 위험도지수기준등급에 의해서 제연설비가 설치되는 경우에는 자동화재탐지설비를 CCTV나 영상유고감지기로 대체할 수 있다.

(3) 연장기준등급이 2등급이지만 위험도지수기준등급이 3등급인 터널은 소방관련법 규정에 의해서 자동화재탐지설비의 설치가 의무적이나, 이 경우 관할소방서와 협의하여 CCTV 또는 영상유고감지설비로 자동화재탐지설비를 대체할 수 있다.

(3) 철도시설의 기술기준

제41조(화재감지기) 안정성 분석결과에 따라 화재감지기가 필요한 경우에는 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다.

1. 화재감지기는 화재발생 초기에 열이나 연기, 불꽃 또는 연소생성물 등을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖출 것

2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열 및 연소생성물 등에 오동작하지 않을 것

3. 화재감지기가 연동되어 있는 방연셔터에는 감지기 오동작 여부를 확인할 수 있는 영상감시장치를 설치할 것

4. 화재감지기의 종류와 설치방법 등에 대하여 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용하되 터널의 현장여건 등을 고려하여야 하고, 감지기는 감지범위 및 감지능력이 적합할 것

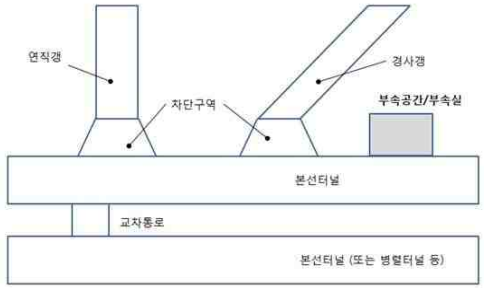
4. 제도 개선 안

(1) '부속공간' 용어 정의 도입

[표 1] 철도시설의 기술기준」의 정의 부분 개정안

현행	개정안
제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <이하 생략>	제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <신설> 37. '부속공간'이란 철도운용을 위해 필요한 전기, 신호, 통신, 기계 및 기타 시설이 설치된 공간으로 철도터널의 일부인 것을 말한다.

○ 철도터널의 공간은 안전 관련 측면에서 그 사용과 형태에 따라 현재 다음 그림 1.에서 보는 바와 같이 구분하고 명칭을 부여하고 있다. 현재의 정의에서는 연직갱, 경사갱, 차단구역, 본선터널, 교차통로 등은 있지만, 터널 내에 설치되는 전기, 기계, 환기 등의 용도의 공간들(기재갱 포함)에 대한 명칭은 부여되어있지 않다. 이들 공간은 주용도인 철도차량의 원활한 통과를 보조하는 기능의 설비 등이 설치된 공간들을 의미한다. 부수적인 기능의 공간에 대해 '부속실'이라는 용어는 적합할 것으로 판단되나, '부속실'이라는 용어는 현재 소방법에서 특별피난계단의 계단실에 진입하기 전실을 '부속실'이라는 명칭을 부여하여 사용하고 있다. 그러므로 이러한 용어정의의 중복과 일반 법규 사용자들의 혼란을 피하기 위해서는 '부속실'이라는 용어를 대신하여 「철도시설의 기술기준」의 정의에 '부속공간'이라는 용어의 도입을 고려해볼 수 있다.



[그림 1] 철도터널 내 공간의 구분과 부속공간/부속실

(2) '자동화재탐지설비'의 도입과 '부속공간' 설치의 필요성

[표 2] 부속공간의 자동화재탐지설비에 대한 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) 안정성 분석결과에 따라 화재감지기가 필요한 경우에는 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다.	<개정> 제41조(자동화재탐지설비) 안전성 분석결과에 따라 자동화재탐지설비가 필요한 경우 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다. 다만 부속공간은 자동화재탐지설비를 설치하여야 한다.

○ 국내의 부속공간(전기, 신호, 통신, 기계실 등) 화재감지기 설치 사례

- 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령의 [별표 5] 2. 라. 해당하는 공간의 부속공간의 경우
- 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령의 [별표 5]

> 특정소방대상물의 관계인이 특정소방대상물의 규모·용도 및 수용인원 등을 고려하여 갖추어야 하는 소방시설등의 종류(제15조 관련)
>
> 라. 자동화재탐지설비를 설치하여야 하는 특정소방대상물은 다음의 어느 하나와 같다.
> 1) 근린생활시설(목욕장은 제외한다), 의료시설, 숙박시설, 위락시설, 장례식장 및 복합건축물로서 연면적 600㎡ 이상인 것
> 2) 공동주택, 근린생활시설 중 목욕장, 문화 및 집회시설, 종교시설, 판매시설, 운수시설, 운동시설, 업무시설, 공장, 창고시설, 위험물 저장 및 처리시설, 항공기 및 자동차 관련 시설, 교정 및 군사시설 중 국방·군사시설, 방송통신시설, 발전시설, 관광 휴게시설, 지하가(터널은 제외한다)로서 연면적 1천㎡ 이상인 것
> 3) 교육연구시설(교육시설 내에 있는 기숙사 및 합숙소를 포함한다), 수련시설(수련시설 내에 있는 기숙사 및 합숙소를 포함하며, 숙박시설이 있는 수련시설은 제외한다), 동물 및 식물 관련 시설(기둥과 지붕만으로 구성되어 외부와 기류가 통하는 장소는 제외한다), 분뇨 및 쓰레기 처리시설, 교정 및 군사시설(국방·군사시설은 제외한다) 또는 묘지 관련 시설로서 연면적 2천㎡ 이상인 것
> 4) 지하구
> 5) 지하가 중 터널로서 길이가 1천m 이상인 것
> 6) 노유자 생활시설
> 7) 6)에 해당하지 않는 노유자시설로서 연면적 400㎡ 이상인 노유자시설 및 숙박시설이 있는 수련시설로서 수용인원 100명 이상인 것
> 8) 2)에 해당하지 않는 공장 및 창고시설로서 「소방기본법 시행령」 별표 2에서 정하는 수량의 500배 이상의 특수가연물을 저장·취급하는 것

○ 철도터널의 본선터널을 제외한 부속공간은 전기, 신호, 통신, 기계 및 기타 부속 시설로 정의하기로 하였다. 이러한 부속공간은 화재발생의 위험이 있을 수 있으며, 그 결과가 철도터널의 정상적 기능 유지에 영향을 줄 수 있을 경우 이에 대한 대응이 필요하다. 특히 철도터널의 운영 특성 상 화재발생시 이에 대한 소화, 그리고 복구의 조치가 운행에 큰 영향을 미쳐, 사회적으로 큰 영향을 줄 수 있으며, 경제적으로도 큰 손실을 야기할 수 있다. 철도터널의 부속공간에 대한 화재감지기의 설치는 다음 표 3.과 같이 해외 규정의 여러 규정에서 설치를 권장하고 있다. 그러므로 화재감지기가 포함된 자동화재탐지설비의 설치에 대한 권장을 해야 할 것으로 판단된다.

[표 3] 부속공간 화재감지기 설치에 대한 해외 규정

규 정	부속공간 화재감지기 설치 관련 규정 내용
TSI-SRT (유럽철도 상호 운용규정, Safety in railway tunnels)	· 접근/피난을 위한 공간(기타공간)은 화재감지기를 설치
UIC 779-9 (Safety in railway tunnels)	· 본선터널과 기능실로 구분 · 터널과 구분된 설비공간에 감지기설치 추천
UN (Recommendation of the multi-disciplinary group of experts on safety in tunnels (Rail))	· 터널 기능실에 화재감지기설치 강력 추천
Technical Regulatory Standards on Japanese Railways (일본)	· 기계실에 감지기 설치 (강제조항)

(3) '자동화재탐지설비'의 구성조건

[표 4] 부속공간의 자동화재탐지설비에 대한 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) - 생략 -	제41조(자동화재탐지설비) - 생략 -
1. 화재감지기는 화재발생 초기에 열이나 연기, 불꽃 또는 연소생성물 등을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖출 것	<개정> ① 자동화재탐지설비는 화재감지기를 포함하여 구성하며, 화재 발생을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖추어야 한다.

○ '자동화재탐지설비'는 화재 발생 사실을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 시스템으로 화재감지기, 수신기, 그리고 음향장치, 또는 중계기로 구성되는 설비로 정의해야하며, 이는 소방법에서 규정하는 바와 일치한다.

○ 화재감지기는 '화재감지기-수신기-음향장치/시각경보기', 또는 '화재감지기-중계기-수신기-음향장치/시각경보기' 등을 기본 구성으로 하는 자동화재탐지설비의 일부분이다. 소방법에서는 화재 발생 사실을 통보하는 기계, 기구 또는 설비로서 '경보설비'의 하나로 정의되고 있다.

○ 자동화재탐지설비의 중계기는 시스템 구성에 따라 포함여부를 결정할 수 있다. 그러므로 자동화재탐지설비의 구성에서 화재감지기와 수신기는 필히 설치되어야 하지만, 그 사이의 연결 시스템의 구성이나, 철도운영자에게의 통보에 관한 방식은 상황에 따라 변동이 있을 수 있다. 또한 화재감지기는 수신기 없이 소화설비, 배연/제연설비 및 방연셔터 등과 연동되어 화재감지기가 설치될 수 있으므로 철도터널에서 자동화재탐지설비는 화재감지기를 포함하는 구성으로 하는 시스템에 대한 탄력적 선택을 가능하게 할 수 있다.

이를 포함한 개정안은 표 4.과 같다.

(4) 철도터널 '자동화재탐지설비'의 화재감지기의 허용 제품

[표 5] 감지기형식승인 제품사용에 대한 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) - 생략 -	제41조(자동화재탐지설비) - 생략 -
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열 및 연소생성물 등에 오동작하지 않을 것	<개정> ② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각 호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다. 1.「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것

○ 철도터널에 사용되는 자동화재탐지설비의 감지기는「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용하도록 하는 것이 타당하다.

(5) 본선터널 이외에 설치되는 감지기 기준

[표 6] 본선터널 이외에 설치되는 감지기 설치 기준 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) – 생략 –	제41조(자동화재탐지설비) – 생략 –
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의하여 오동작하지 않을 것	<개정> ② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각 호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다. : : 2. 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것.

○ 일반적인 건축공간과 동일한 특성을 가지는 대상공간(본선터널과 구획된 부속공간)인 경우 이에 적용하는 화재감지기는 소방방재청의 형식승인을 받은 제품을 사용하여, 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 제7조에 의해 설치할 수 있다.

○ 열차바람 및 이에 따른 먼지 등의 터널 환경에 노출되는 감지기의 경우에는 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 제7조 제7항에 장소에 적응성있는 감지기를 설치하도록 하여야 한다.

– 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 제7조 제7항 ⑦ 제1항 단서에도 불구하고 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 화재신호를 발신할 우려가 있는 장소에는 별표 1 및 별표 2에 따라 그 장소에 적응성 있는 감지기를 설치할 수 있으며, 연기감지기를 설치할 수 없는 장소에는 별표 1을 적용하여 설치할 수 있다.

○ 준용되는 기준에 대한 사항은 [부록 1]을 참고할 수 있다.

(6) 본선터널에 설치되는 감지기 기준

[표 8] 본선터널 내에서 철도차량화재감지를 위한 화재감지기 설치 기준 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) - 생략 -	제41조(자동화재탐지설비) - 생략 -
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의하여 오동작하지 않을 것.	<개정> ② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각 호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다. : : 3. 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것.

○ 본선터널 내부에 설치되는 감지기는 철도차량 화재를 감지할 목적으로 설치할 수 있다. 이는 화재발생여부와 화재발생의 정확한 위치, 그리고 화재 성장의 규모 등 화재진압과 구조 구급업무, 그리고 신속한 현장 대응 및 복구를 위해 필요한 정보 등을 제공받을 수 있다.

○ 이러한 철도터널 내에서의 철도차량 화재와 관련된 사항을 파악하기 위한 감지기의 특성은 일반 건축물이나 도로터널과는 차이가 있다. 철도터널 내에 철도차량 화재를 감지할 목적으로 설치되는 감지기는 다음과 같은 조건의 성능을 만족하는 것을 추천하며 이에 대한 상세 내용은 매뉴얼에서 다루기로 한다.

- 종방향 풍속이 2.5 m/s 상황에서 본선터널 내의 임의의 위치에서의 1MW 규모의 화원을 1분 이내에 감지하며, 이때 화원 위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능

○ 본선 터널내 화재발생시 화재감지성능을 보장할 수 있는 차동식(시간에 따른 변화량을 기준으로 화재를 감지하는 방식)분포형의 형태의 감지기로 한정할 필요가 있다.

- 국내 차동식분포형 감지기 형식승인 품목 (2014.3.31. 현재) : 공기관식, 반도체식, 광케이블식

○ 상기 성능조건에 대한 기술적 정보는 [부록 3]을 참고할 수 있다.

○ 본선터널의 자동화재탐지 설비 중 감지기의 성능은 [부록 4]와같이 수행될 수 있다.

(7) 화재감지기 신뢰성 확보를 위한 설치 기준 개정안

[표 9] 화재감지기 신뢰성 확보를 위한 설치 기준 개정안

현행	개정안
제41조(화재감지기) – 생략 –	제41조(자동화재탐지설비) – 생략 –
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의하여 오동작하지 않을 것.	<개정> ② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각 호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다. : : 4. 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기. 5. 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것.

○ 각 규정에서 지정된 감지기 이외에도 적용성이 있는 감지기가 있을 경우, 안전성분석결과 철도터널에 적용성이 있다고 판단되는 감지기의 경우 사용할 수 있도록 하여 새로운 신기술 제품의 진입에 대한 기회를 열어놓아야 할 것으로 판단된다.

○ 본선터널 내부에서의 노출 조건에 대한 자료는 본 연구에서 수집 분석하고 있으며 이에 대한 기술적 정보는 [부록 5]를 참고할 수 있다.

(8) 기타 기준

[표 11] 기타 기준 안

현행	개정안
제41조(화재감지기) – 생략 –	제41조(자동화재탐지설비) – 생략 –
3. 화재감지기가 연동되어 있는 방연셔터에는 감지기 오동작 여부를 확인할 수 있는 영상감시장치를 설치할 것	<개정> ③ 소화설비 등과 연동되어 개별적으로 설치되는 감지기는 본조 제2항에 의해 설치하여야 한다. 단, 화재감지기와 연동되어 있는 방연셔터에는 오동작 여부를 확인할 수 있도록 영상감시장치를 별도로 설치하고 철도운영자가 방연셔터의 동작을 제어하는 기능을 갖추어야 한다.
4. 화재감지기의 종류와 설치방법 등에 대하여 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용하되 터널의 현장여건 등을 고려하여야 하고, 감지기는 감지범위 및 감지능력이 적합할 것	<개 정> ④ 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용할 것.

○ 화재감지기는 자동화재탐지설비의 일부분이기도 하지만, 제배연시스템이나 방화셔터, 방화문등과 연동되기도 하며, 소화설비와 직접 연동되는 체계를 가질 수도 있다. 이 경우 각 환경에 적합한 감지기는 본 철도터널 자동화재탐지설비 기준인 제41제2항에 의해 선정되도록 해야 한다. 단 동작여부는 철도운영자에게 통보되도록 해야 하며, 방연셔터는 영상감시장치에 의해 상황 확인하고 원격으로 제어할 수 있는 기능을 확보하여 원활한 운영관리가 되도록 해야한다.

(9) 전체 기준 신설 및 개정 대조표

현행	개정안
제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <이하 생략>	제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. <신설> 37. '부속공간'이란 철도운용을 위해 필요한 전기, 신호, 통신, 기계 및 기타 시설이 설치된 공간으로 철도터널의 일부인 것을 말한다.
제41조(화재감지기) 안정성 분석결과에 따라 화재감지기가 필요한 경우에는 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다.	<개정> 제41조(자동화재탐지설비) 안전성 분석 결과에 따라 자동화재탐지설비가 필요한 경우 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다. 다만 부속공간은 자동화재탐지설비를 설치하여야 한다.
1. 화재감지기는 화재발생 초기에 열이나 연기, 불꽃 또는 연소생성물 등을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖출 것	<개정> ① 자동화재탐지설비는 화재감지기를 포함하여 구성하며, 화재 발생을 감지하여 철도운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖추어야 한다.
2. 화재감지기는 온도·습도·먼지·열차바람 및 디젤기관차 주행으로 발생하는 열 및 연소생성물 등에 오동작하지 않을 것	<개정> ② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각 호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다. 1.「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것 2. 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것. 3. 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것.

현행	개정안
	4. 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기. 5. 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것.
3. 화재감지기가 연동되어 있는 방연셔터에는 감지기 오동작 여부를 확인할 수 있는 영상감시장치를 설치할 것	<개정> ③ 소화설비 등과 연동되어 개별적으로 설치되는 감지기는 본조 제2항에 의해 설치하여야 한다. 단, 화재감지기와 연동되어 있는 방연셔터에는 오동작 여부를 확인할 수 있도록 영상감시장치를 별도로 설치하고 철도운영자가 방연셔터의 동작을 제어하는 기능을 갖추어야 한다.
4. 화재감지기의 종류와 설치방법 등에 대하여 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용하되 터널의 현장여건 등을 고려하여야 하고 감지범위 및 감지능력이 적합할 것.	<개 정> ④ 본 기준에 규정되지 않은 사항은 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」을 준용할 것.

[부록 1] 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」의 주요내용

[시행 2013.7.12] [소방방재청고시 제2013-21호, 2013.6.11, 타법개정]기준

제4조(경계구역) ① 자동화재탐지설비의 경계구역은 다음 각호의 기준에 따라 설정하여야 한다. 다만, 감지기의 형식승인 시 감지거리, 감지면적 등에 대한 성능을 별도로 인정받은 경우에는 그 성능인정범위를 경계구역으로 할 수 있다.

1. 하나의 경계구역이 2개 이상의 건축물에 미치지 아니하도록 할 것
2. 하나의 경계구역이 2개 이상의 층에 미치지 아니하도록 할 것. 다만, 500㎡ 이하의 범위안에서는 2개의 층을 하나의 경계구역으로 할 수 있다
3. 하나의 경계구역의 면적은 600㎡ 이하로 하고 한변의 길이는 50m 이하로 할 것. 다만, 해당 특정소방대상물의 주된 출입구에서 그 내부 전체가 보이는 것에 있어서는 한 변의 길이가 50m의 범위 내에서 1,000㎡ 이하로 할 수 있다.<개정 2008.12.15>
4. 지하구의 경우 하나의 경계구역의 길이는 700m 이하로 할 것<개정 2008.12.15>

② 계단(직통계단외의 것에 있어서는 떨어져 있는 상하계단의 상호간의 수평거리가 5m 이하로서 서로간에 구획되지 아니한 것에 한한다. 이하 같다)·경사로(에스컬레이터경사로 포함)·엘리베이터권상기실·린넨슈트·파이프 피트 및 덕트 기타 이와 유사한 부분에 대하여는 별도로 경계구역을 설정하되, 하나의 경계구역은 높이 45m 이하(계단 및 경사로에 한한다)로 하고, 지하층의 계단 및 경사로(지하층의 층수가 1일 경우는 제외한다)는 별도로 하나의 경계구역으로 하여야 한다.<개정 2008.12.15>

③ 외기에 면하여 상시 개방된 부분이 있는 차고·주차장·창고 등에 있어서는 외기에 면하는 각 부분으로부터 5m 미만의 범위안에 있는 부분은 경계구역의 면적에 산입하지 아니한다.

④ 스프링클러설비·물분무등소화설비 또는 제연설비의 화재감지장치로서 화재감지기를 설치한 경우의 경계구역은 해당 소화설비의 방사구역 또는 제연구역과 동일하게 설정할 수 있다.<개정 2008.12.15>

제5조(수신기) ① 자동화재탐지설비의 수신기는 다음 각 호의 기준에 적합한 것으로 설치하여야 한다.

1. 해당 특정소방대상물의 경계구역을 각각 표시할 수 있는 회선수 이상의 수신기를 설치할 것
2. 4층 이상의 특정소방대상물에는 발신기와 전화통화가 가능한 수신기를 설치할 것
3. 해당 특정소방대상물에 가스누설탐지설비가 설치된 경우에는 가스누설탐지설비로부터 가스누설신호를 수신하여 가스누설경보를 할 수 있는 수신기를 설치할 것(가스누설탐지설비의 수신부를 별도로 설치한 경우에는 제외한다)

② 자동화재탐지설비의 수신기는 특정소방대상물 또는 그 부분이 지하층·무창층 등으로서 환기가 잘되지 아니하거나 실내면적이 40㎡ 미만인 장소, 감지기의 부착면과 실내바닥과의 거리가 2.3m 이하인 장소로서 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 감지기가 화재신호를 발신할 우려가 있는 때에는 축적기능 등이 있는 것(축적형감지기가 설치된 장소에는 감지기회로의 감시전류를 단속적으로 차단시켜 화재를 판단하는 방식외의 것을 말한다)으로 설치하여야 한다. 다만, 제7조제1항 단서에 따라 감지기를 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

③ 수신기는 다음 각 호의 기준에 따라 설치하여야 한다.

1. 수위실 등 상시 사람이 근무하는 장소에 설치할 것. 다만, 사람이 상시 근무하는 장소가 없는 경우에는 관계인이 쉽게 접근할 수 있고 관리가 용이한 장소에 설치할 수 있다.
2. 수신기가 설치된 장소에는 경계구역 일람도를 비치할 것. 다만, 모든 수신기와 연결되어 각 수신기의 상황을 감시하고 제어할 수 있는 수신기(이하 "주수신기"라 한다)를 설치하는 경우에는 주수신기를 제외한 기타 수신기는 그러하지 아니하다.
3. 수신기의 음향기구는 그 음향 및 음색이 다른 기기의 소음 등과 명확히 구별될 수 있는 것으로 할 것
4. 수신기는 감지기·중계기 또는 발신기가 작동하는 경계구역을 표시할 수 있는 것으로 할 것
5. 화재·가스 전기등에 대한 종합방재반을 설치한 경우에는 해당 조작반에 수신기의 작동과 연동하여 감지기·중계기 또는 발신기가 작동하는 경계구역을 표시할 수 있는 것으로 할 것
6. 하나의 경계구역은 하나의 표시등 또는 하나의 문자로 표시되도록 할 것
7. 수신기의 조작 스위치는 바닥으로부터의 높이가 0.8m 이상 1.5m 이하인 장소에 설치할 것
8. 하나의 특정소방대상물에 2 이상의 수신기를 설치하는 경우에는 수신기를 상호간 연동하여 화재발생상황을 각 수신기마다 확인할 수 있도록 할 것

제7조(감지기) ① 자동화재탐지설비의 감지기는 부착높이에 따라 다음 표에 따른 감지기를 설치하여야 한다. 다만, 지하층·무창층 등으로서 환기가 잘되지 아니하거나 실내면적이 40㎡ 미만인 장소, 감지기의 부착면과 실내바닥과의 거리가 2.3m 이하인 곳으로서 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 화재신호를 발신할 우려가 있는 장소(제5조제2항 본문에 따른 수신기를 설치한 장소를 제외한다)에는 다음 각 호에서 정한 감지기중 적응성 있는 감지기를 설치하여야 한다.

1. 불꽃감지기
2. 정온식감지선형감지기
3. 분포형감지기
4. 복합형감지기
5. 광전식분리형감지기
6. 아날로그방식의 감지기
7. 다신호방식의 감지기
8. 축적방식의 감지기

부착높이	감지기의 종류
4m 미만	차동식 (스포트형, 분포형) 보상식 스포트형 정온식 (스포트형, 감지선형) 이온화식 또는 광전식(스포트형, 분리형, 공기흡입형) 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
4m 이상 8m 미만	차동식 (스포트형, 분포형) 보상식 스포트형 정온식 (스포트형, 감지선형) 특종 또는 1종 이온화식 1종 또는 2종 광전식(스포트형, 분리형, 공기흡입형) 1종 또는 2종 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
8m 이상 15m 미만	차동식 분포형 이온화식 1종 또는 2종 광전식(스포트형, 분리형, 공기흡입형) 1종 또는 2종 연기복합형 불꽃감지기
15m 이상 20m 미만	이온화식 1종 광전식(스포트형, 분리형, 공기흡입형) 1종 연기복합형 불꽃감지기
20m 이상	불꽃감지기 광전식(분리형, 공기흡입형)중 아나로그방식
비고) 1) 감지기별 부착높이 등에 대하여 별도로 형식승인 받은 경우에는 그 성능 인정범위 내에서 사용할 수 있다. 2) 부착높이 20m 이상에 설치되는 광전식 중 아나로그방식의 감지기는 공칭감지농도 하한값이 감광율 5 %/m 미만인 것으로 한다.	

② 다음 각 호의 장소에는 연기감지기를 설치하여야 한다. 다만, 교차회로방식에 따른 감지기가 설치된 장소 또는 제1항 단서에 따른 감지기가 설치된 장소에는 그러하지 아니하다.

1. 계단·경사로 및 에스컬레이터 경사로(15m 미만의 것을 제외한다)<개정 2008.12.15>
2. 복도(30m 미만의 것을 제외한다)
3. 엘리베이터권상기실·린넨슈트·파이프 피트 및 덕트 기타 이와 유사한 장소<개정 2008.12.15>
4. 천장 또는 반자의 높이가 15m 이상 20m 미만의 장소

③ 감지기는 다음 각 호의 기준에 따라 설치하여야 한다. 다만, 교차회로방식에 사용되는 감지기, 급속한 연소 확대가 우려되는 장소에 사용되는 감지기 및 축적기능이 있는 수신기에 연결하여 사용하는 감지기는 축적기능이 없는 것으로 설치하여야 한다.

1. 감지기(차동식분포형의 것을 제외한다)는 실내로의 공기유입구로부터 1.5m 이상 떨어진 위치에 설치할 것
2. 감지기는 천장 또는 반자의 옥내에 면하는 부분에 설치할 것
3. 보상식 스포트형 감지기는 정온점이 감지기 주위의 평상시 최고온도보다 20℃ 이상 높은 것으로 설치할 것

4. 정온식감지기는 주방·보일러실 등으로서 다량의 화기를 취급하는 장소에 설치하되, 공칭작동온도가 최고주위온도보다 20℃ 이상 높은 것으로 설치할 것
5. 차동식스포트형·보상식스포트형 및 정온식스포트형 감지기는 그 부착 높이 및 특정소방대상물에 따라 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상을 설치할 것

(단위 ㎡)

부착높이 및 특정소방대상물의 구분		감지기의 종류						
		차동식 스포트형		보상식 스포트형		정온식 스포트형		
		1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종
4m 미만	주요구조부를 내화구조로 한 특정소방대상물 또는 그 부분	90	70	90	70	70	60	20
	기타 구조의 특정소방대상물 또는 그 부분	50	40	50	40	40	30	15
4m 이상 8m 미만	주요구조부를 내화구조로 한 특정소방대상물 또는 그 부분	45	35	45	35	35	30	
	기타 구조의 특정소방대상물 또는 그 부분	30	25	30	25	25	15	

6. 스포트형감지기는 45° 이상 경사되지 아니하도록 부착할 것
7. 공기관식 차동식분포형감지기는 다음의 기준에 따를 것
   가. 공기관의 노출부분은 감지구역마다 20m 이상이 되도록 할 것
   나. 공기관과 감지구역의 각 변과의 수평거리는 1.5m 이하가 되도록 하고, 공기관 상호간의 거리는 6m(주요 구조부를 내화구조로 한 특정소방대상물 또는 그 부분에 있어서는 9m) 이하가 되도록 할 것
   다. 공기관은 도중에서 분기하지 아니하도록 할 것
   라. 하나의 검출부분에 접속하는 공기관의 길이는 100m 이하로 할 것
   마. 검출부는 5° 이상 경사되지 아니하도록 부착할 것
   바. 검출부는 바닥으로부터 0.8m 이상 1.5m 이하의 위치에 설치할 것
8. 열전대식 차동식분포형감지기는 다음의 기준에 따를 것
   가. 열전대부는 감지구역의 바닥면적 18㎡(주요구조부가 내화구조로 된 특정소방대상물에 있어서는 22㎡)마다 1개 이상으로 할 것. 다만, 바닥면적이 72㎡(주요구조부가 내화구조로 된 특정소방대상물에 있어서는 88㎡) 이하인 특정소방대상물에 있어서는 4개 이상으로 하여야 한다.
   나. 하나의 검출부에 접속하는 열전대부는 20개 이하로 할 것. 다만, 각각의 열전대부에 대한 작동여부를 검출부에서 표시할 수 있는 것(주소형)은 형식승인 받은 성능인정범위내의 수량으로 설치할 수 있다.
9. 열반도체식 차동식분포형감지기는 다음의 기준에 따를 것
   가. 감지부는 그 부착높이 및 특정소방대상물에 따라 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상으로 할 것. 다만, 바닥면적이 다음 표에 따른 면적의 2배 이하인 경우에는 2개(부착높이가 8m 미만이고, 바닥면적이 다음 표에 따른 면적 이하인 경우에는 1개) 이상으로 하여야 한다.

(단위 ㎡)

부착높이 및 소방대상물의 구분		감지기의 종류	
		1종	2종
8m 미만	주요구조부가 내화구조로 된 소방대상물 또는 그 구분	65	36
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	40	23
8m 이상 15m 미만	주요구조부가 내화구조로 된 소방대상물 또는 그 부분	50	36
	기타 구조의 소방대상물 또는 그 부분	30	23

나. 하나의 검출기에 접속하는 감지부는 2개 이상 15개 이하가 되도록 할 것. 다만, 각각의 감지부에 대한 작동여부를 검출기에서 표시할 수 있는 것(주소형)은 형식승인 받은 성능인정범위내의 수량으로 설치할 수 있다.

10. 연기감지기는 다음의 기준에 따라 설치할 것
가. 감지기의 부착높이에 따라 다음 표에 따른 바닥면적마다 1개 이상으로 할 것

(단위 ㎡)

부 착 높 이	감지기의 종류	
	1종 및 2종	3종
4m 미만	150	50
4m 이상 20m 미만	75	

나. 감지기는 복도 및 통로에 있어서는 보행거리 30m(3종에 있어서는 20m)마다, 계단 및 경사로에 있어서는 수직거리 15m(3종에 있어서는 10m)마다 1개 이상으로 할 것
다. 천장 또는 반자가 낮은 실내 또는 좁은 실내에 있어서는 출입구의 가까운 부분에 설치할 것
라. 천장 또는 반자부근에 배기구가 있는 경우에는 그 부근에 설치할 것
마. 감지기는 벽 또는 보로부터 0.6m 이상 떨어진 곳에 설치할 것

11. 열복합형감지기의 설치에 관하여는 제3호 및 제9호를, 연기복합형감지기의 설치에 관하여는 제10호를, 열연기복합형감지기의 설치에 관하여는 제5호 및 제10호 나목 또는 마목을 준용하여 설치할 것
12. 정온식감지선형감지기는 다음의 기준에 따라 설치할 것
가. 보조선이나 고정금구를 사용하여 감지선이 늘어지지 않도록 설치할 것
나. 단자부와 마감 고정금구와의 설치간격은 10㎝ 이내로 설치할 것
다. 감지선형 감지기의 굴곡반경은 5㎝ 이상으로 할 것
라. 감지기와 감지구역의 각부분과의 수평거리가 내화구조의 경우 1종 4.5m 이하, 2종 3m 이하로 할 것, 기타 구조의 경우 1종 3m 이하, 2종 1m 이하로 할 것
마. 케이블트레이에 감지기를 설치하는 경우에는 케이블트레이 받침대에 마감금구를 사용하여 설치할 것
바. 지하구나 창고의 천장 등에 지지물이 적당하지 않는 장소에서는 보조선을 설치하고 그 보조선에 설치할 것
사. 분전반 내부에 설치하는 경우 접착제를 이용하여 돌기를 바닥에 고정시키고 그 곳에 감지기를 설치할 것
아. 그 밖의 설치방법은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방(示方)에 따라 설치할 것

13. 불꽃감지기는 다음의 기준에 따라 설치할 것
가. 공칭감시거리 및 공칭시야각은 형식승인 내용에 따를 것
나. 감지기는 공칭감시거리와 공칭시야각을 기준으로 감시구역이 모두 포용될 수 있도록 설치할 것
다. 감지기는 화재감지를 유효하게 감지할 수 있는 모서리 또는 벽 등에 설치할 것
라. 감지기를 천장에 설치하는 경우에는 감지기는 바닥을 향하여 설치할 것
마. 수분이 많이 발생할 우려가 있는 장소에는 방수형으로 설치할 것
바. 그 밖의 설치기준은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치할 것
14. 아날로그방식의 감지기는 공칭감지온도범위 및 공칭감지농도범위에 적합한 장소에, 다신호방식의 감지기는 화재신호를 발신하는 감도에 적합한 장소에 설치할 것. 다만, 이 기준에서 정하지 않는 설치방법에 대하여는 형식승인 사항이나 제조사의 시방에 따라 설치할 수 있다.
15. 광전식분리형감지기는 다음의 기준에 따라 설치할 것
가. 감지기의 수광면은 햇빛을 직접 받지 않도록 설치할 것
나. 광축(송광면과 수광면의 중심을 연결한 선)은 나란한 벽으로부터 0.6m 이상 이격하여 설치할 것
다. 감지기의 송광부와 수광부는 설치된 옆벽으로부터 1m이내 위치에 설치할 것
라. 광축의 높이는 천장 등(천장의 실내에 면한 부분 또는 상층의 바닥하부면을 말한다) 높이의 80 % 이상일 것
마. 감지기의 광축의 길이는 공칭감시거리 범위이내 일 것
바. 그 밖의 설치기준은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치할 것

④ 제3항에도 불구하고 다음 각 호의 장소에는 각각 광전식분리형감지기 또는 불꽃감지기를 설치하거나 광전식공기흡입형감지기를 설치할 수 있다.
1. 화학공장·격납고·제련소등 : 광전식분리형감지기 또는 불꽃감지기. 이 경우 각 감지기의 공칭감시거리 및 공칭시야각등 감지기의 성능을 고려하여야 한다.
2. 전산실 또는 반도체 공장등 : 광전식공기흡입형감지기. 이 경우 설치장소·감지면적 및 공기흡입판의 이격거리등은 형식승인 내용에 따르며 형식승인 사항이 아닌 것은 제조사의 시방에 따라 설치하여야 한다.

⑤ 다음 각 호의 장소에는 감지기를 설치하지 아니한다.
1. 천장 또는 반자의 높이가 20m 이상인 장소. 다만, 제1항 단서 각호의 감지기로서 부착높이에 따라 적응성이 있는 장소는 제외한다.
2. 헛간 등 외부와 기류가 통하는 장소로서 감지기에 따라 화재발생을 유효하게 감지할 수 없는 장소
3. 부식성가스가 체류하고 있는 장소
4. 고온도 및 저온도로서 감지기의 기능이 정지되기 쉽거나 감지기의 유지관리가 어려운 장소
5. 목욕실·욕조나 샤워시설이 있는 화장실·기타 이와 유사한 장소
6. 파이프덕트 등 그 밖의 이와 비슷한 것으로서 2개층 마다 방화구획된 것이나 수평단면적이 5㎡ 이하인 것
7. 먼지·가루 또는 수증기가 다량으로 체류하는 장소 또는 주방 등 평시에 연기가 발생하는 장소(연기감지기에 한한다)
8. 실내의 용적이 20㎥ 이하인 장소
9. 프레스공장·주조공장 등 화재발생의 위험이 적은 장소로서 감지기의 유지관리가 어려운 장소

⑥ 지하구에 설치하는 감지기는 제1항 각 호의 감지기로서 먼지·습기등의 영향을 받지 아니하고 발화지점을 확인할 수 있는 감지기를 설치하여야 한다.<개정 2008.12.15>

⑦ 제1항 단서에도 불구하고 일시적으로 발생한 열·연기 또는 먼지 등으로 인하여 화재신호를 발신할 우려가 있는 장소에는 별표 1 및 별표 2에 따라 그 장소에 적응성 있는 감지기를 설치할 수 있으며, 연기감지기를 설치할 수 없는 장소에는 별표 1을 적용하여 설치할 수 있다.

⑧ 삭제<2013.6.11>

[별표 1]

설치장소별 감지기 적응성(연기감지기를 설치할 수 없는 경우 적용)

(제7조제7항 관련)

설치장소		적응열감지기									불꽃감지기	비고
		차동식스포트형		차동식분포형		보상식스포트형		정온식		열아날로그식		
환경상태	적응장소	1종	2종	1종	2종	1종	2종	특종	1종			
먼지 또는 미분 등이 다량으로 체류하는 장소	쓰레기장, 하역장, 도장실, 섬유·목재·석재 등 가공 공장	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1. 불꽃감지기에 따라 감시가 곤란한 장소는 적응성이 있는 열감지기를 설치할 것. 2. 차동식분포형감지기를 설치하는 경우에는 검출부에 먼지, 미분 등이 침입하지 않도록 조치할 것. 3. 차동식스포트형감지기 또는 보상식스포트형감지기를 설치하는 경우에는 검출부에 먼지, 미분 등이 침입하지 않도록 조치할 것. 4. 정온식감지기를 설치하는 경우에는 특종으로 설치할것. 5. 섬유, 목재가공 공장 등 화재확대가 급속하게 진행될 우려가 있는 장소에 설치하는 경우 정온식감지기는 특종으로 설치할 것. 공칭작동 온도75℃이하, 열아날로그식스포트형 감지기는 화재표시 설정은 80℃이하가 되도록 할 것.
수증기가 다량으로 머무는 장소	증기세정실, 탕비실, 소독실 등	×	×	×	○	×	○	○	○	○	○	1. 차동식분포형감지기 또는 보상식스포트형감지기는 급격한 온도변화가 없는 장소에 한하여 사용할 것. 2. 차동식분포형감지기를 설치하는 경우에는 검출부에 수증기가 침입하지 않도록 조치할 것. 3. 보상식스포트형감지기, 정온식감지기 또는 열아날로그식감지기를 설치하는 경우에는 방수형으로 설치할 것. 4. 불꽃감지기를 설치할 경우 방수형으로 할 것

설치장소		적응열감지기										불꽃감지기	비고
환경상태	적응장소	차동식스포트형		차동식분포형		보상식스포트형		정온식			열아날로그식		
		1종	2종	1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종			
부식성가스가 발생할 우려가 있는 장소	도금공장, 축전지실, 오수처리장 등	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1. 차동식분포형감지기를 설치하는 경우에는 감지부가 피복되어 있고 검출부가 부식성가스에 영향을 받지 않는것 또는 검출부에 부식성가스가 침입하지 않도록 조치할 것. 2. 보상식스포트형감지기, 정온식감지기 또는 열아날로그식스포트형감지기를 설치하는 경우에는 부식성가스의 성상에 반응하지 않는 내산형 또는 내알칼리형으로 설치할 것 3. 정온식감지기를 설치하는 경우에는 특종으로 설치할 것
주방, 기타 평상시에 연기가 체류하는 장소	주방, 조리실, 용접작업장 등	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	1. 주방, 조리실 등 습도가 많은 장소에는 방수형 감지기를 설치할 것. 2. 불꽃감지기는 UV/IR형을 설치할 것
현저하게 고온으로 되는 장소	건조실, 살균실, 보일러실, 주조실, 영사실, 스튜디오	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	
배기가스가 다량으로 체류하는 장소	주차장, 차고, 화물취급소 차로, 자가발전실, 트럭터미널, 엔진시험실	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	1. 불꽃감지기에 따라 감시가 곤란한 장소는 적응성이 있는 열감지기를 설치할 것. 2. 열아날로그식스포트형감지기는 화재표시 설정이 60℃ 이하가 바람직하다.

설치장소		적응열감지기										불꽃감지기	비고
환경상태	적응장소	차동식스포트형		차동식분포형		보상식스포트형		정온식			열아날로그식		
		1종	2종	1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종			
연기가 다량으로 유입할 우려가 있는 장소	음식물배급실, 주방전실, 주방내 식품저장실, 음식물운반용 엘리베이터, 주방주변의 복도 및 통로, 식당 등	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×		1. 고체연료 등 가연물이 수납되어 있는 음식물배급실, 주방전실에 설치하는 정온식감지기는 특종으로 설치할 것 2. 주방주변의 복도 및 통로, 식당 등에는 정온식감지기를 설치하지 말 것 3. 제1호 및 제2호의 장소에 열아날로그식스포트형감지기를 설치하는 경우에는 화재표시 설정을 60℃ 이하로 할 것.
물방울이 발생하는 장소	스레트 또는 철판으로 설치한 지붕창고·공장, 패키지형냉각기전용수납실, 밀폐된 지하창고, 냉동실 주변 등	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1. 보상식스포트형감지기, 정온식감지기 또는 열아날로그식 스포트형감지기를 설치하는 경우에는 방수형으로 설치할 것. 2. 보상식스포트형감지기는 급격한 온도변화가 없는 장소에 한하여 설치할 것. 3. 불꽃감지기를 설치하는 경우에는 방수형으로 설치할 것
불을 사용하는 설비로서 불꽃이 노출되는 장소	유리공장, 용선로가 있는 장소, 용접실, 주방, 작업장, 주방, 주조실 등	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	

주) 1. "○"는 당해 설치장소에 적응하는 것을 표시, "×"는 당해 설치장소에 적응하지 않는 것을 표시

2. 차동식스포트형, 차동식분포형 및 보상식스포트형 1종은 감도가 예민하기 때문에 비화재보 발생은 2종에 비해 불리한 조건이라는 것을 유의할 것

3. 차동식분포형 3종 및 정온식 2종은 소화설비와 연동하는 경우에 한해서 사용할 것.

4. 다신호식감지기는 그 감지기가 가지고 있는 종별, 공칭작동온도별로 따르지 말고 상기 표에 따른 적응성이 있는 감지기로 할 것

[표 2]

설치장소별 감지기 적응성 (제7조제7항 관련)

설치장소		적응열감지기					적응연기감지기						불꽃감지기	비고
환경상태	적응장소	차동식스포트형	차동식분포형	보상식스포트형	정온식	열아날로그식	이온화식스포트형	광전식스포트형	이온아날로그식스포트형	광전아날로그식스포트형	광전식분리형	광전아날로그식분리형		
1. 흡연에 의해 연기가 체류하며 환기가 되지 않는 장소	회의실, 응접실, 휴게실, 노래연습실, 오락실, 다방, 음식점, 대합실, 카바레 등의 객실, 집회장, 연회장 등	○	○	○				◎		◎	○	○		
2. 취침시설로 사용하는 장소	호텔 객실, 여관, 수면실 등						◎	◎	◎	◎	○	○		
3. 연기이외의 미분이 떠다니는 장소	복도, 통로 등						◎	◎	◎	◎	○	○	○	
4. 바람에 영향을 받기쉬운장소	로비, 교회, 관람장, 옥탑에 있는 기계실		○					◎		◎	○	○	○	
5. 연기가 멀리 이동해서 감지기에 도달하는 장소	계단, 경사로							○		○	○	○		광전식스포트형 감지기 또는 광전아날로그식스포트형감지기를 설치하는 경우에는 당해 감지기회로에 축적기능을 갖지않는 것으로 할 것.
6. 훈소화재의 우려가 있는 장소	전화기기실, 통신기기실, 전산실, 기계제어실							○		○	○	○		
7. 넓은 공간으로 천장이 높아 열 및 연기가 확산하는 장소	체육관, 항공기 격납고, 높은 천장의 창고·공장, 관람석 상부 등 감지기 부착 높이가 8m 이상의 장소		○								○	○	○	

주) 1. "○"는 당해 설치장소에 적응하는 것을 표시

2. "◎" 당해 설치장소에 연감지기를 설치하는 경우에는 당해 감지회로에 축적기능을 갖는 것을 표시
3. 차동식스포트형, 차동식분포형, 보상식스포트형 및 연기식(당해 감지기회로에 축적 기능을 갖지않는 것)1종은 감도가 예민하기 때문에 비화재보 발생은 2종에 비해 불리한 조건이라는 것을 유의하여 따를 것
4. 차동식분포형 3종 및 정온식 2종은 소화설비와 연동하는 경우에 한해서 사용할 것
5. 광전식분리형감지기는 평상시 연기가 발생하는 장소 또는 공간이 협소한 경우에는 적응성이 없음
6. 넓은 공간으로 천장이 높아 열 및 연기가 확산하는 장소로서 차동식분포형 또는 광전식분리형 2종을 설치하는 경우에는 제조사의 사양에 따를 것
7. 다신호식감지기는 그 감지기가 가지고 있는 종별, 공칭작동온도별로 따르고 표에 따른 적응성이 있는 감지기로 할 것
8. 축적형감지기 또는 축적형중계기 혹은 축적형수신기를 설치하는 경우에는 제7조에 따를 것.

[부록 2] 「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」 중 자동화재탐지설비 관련 내용

[시행 2013.9.3.] [소방방재청고시 제2013-55호, 2013.9.3., 일부개정]

제7조(자동화재탐지설비) ① 터널에 설치할 수 있는 감지기의 종류는 다음 각 호의 어느 하나와 같다.
1. 차동식분포형감지기
2. 정온식감지선형감지기(아날로그식에 한한다. 이하 같다.)
3. 중앙기술심의위원회의 심의를 거쳐 터널화재에 적응성이 있다고 인정된 감지기

② 하나의 경계구역의 길이는 100m 이하로 하여야 한다.

③ 제1항에 의한 감지기의 설치기준은 다음 각 호와 같다. 다만, 중앙기술심의위원회의 심의를 거쳐 제조사 시방서에 따른 설치방법이 터널화재에 적합하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 기준에 의하지 아니하고 심의결과에 의한 제조사 시방서에 따라 설치할 수 있다. <개정 2012.8.20>
1. 감지기의 감열부(열을 감지하는 기능을 갖는 부분을 말한다. 이하 같다)와 감열부 사이의 이격거리는 10m 이하로, 감지기와 터널 좌·우측 벽면과의 이격거리는 6.5m 이하로 설치할 것
2. 제1호에도 불구하고 터널 천장의 구조가 아치형의 터널에 감지기를 터널 진행방향으로 설치하고자 하는 경우에는 감열부와 감열부 사이의 이격거리를 10m 이하로 하여 아치형 천장의 중앙 최상부에 1열로 감지기를 설치하여야 하며, 감지기를 2열 이상으로 설치하고자 하는 경우에는 감열부와 감열부 사이의 이격거리는 10m 이하로 감지기 간의 이격거리는 6.5m 이하로 설치할 것 <개정 2012.8.20>
3. 감지기를 천장면(터널 안 도로 등에 면한 부분 또는 상층의 바닥 하부면을 말한다. 이하 같다)에 설치하는 경우에는 감기기가 천장면에 밀착되지 않도록 고정금구 등을 사용하여 설치할 것
4. 형식승인 내용에 설치방법이 규정된 경우에는 형식승인 내용에 따라 설치할 것. 다만, 감지기와 천장면과의 이격거리에 대해 제조사의 시방서에 규정되어 있는 경우에는 시방서의 규정에 따라 설치할 수 있다.

④ 제2항에도 불구하고 감지기의 작동에 의하여 다른 소방시설 등이 연동되는 경우로서 해당 소방시설 등의 작동을 위한 정확한 발화위치를 확인할 필요가 있는 경우에는 경계구역의 길이가 해당 설비의 방호구역 등에 포함되도록 설치하여야 한다.

⑤ 발신기 및 지구음향장치는 제6조를 준용하여 설치하여야 한다.

[부록 3] 본선터널 내 철도차량화재감지기 선정을 위한 성능조건 설정 연구결과

○ 국내외 철도 본선터널에 설치된 화재감지기 종류 분석
- 대부분 선형감지기 (Linear fire detector) 사용

○ 국내 도로터널에는 차동식분포형감지기, 정온식감지선형감지기(아날로그식)이 설치 가능하도록 되어 있는데 (도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」) 본선터널에 설치 가능한 감지기의 화재발생시 터널 내 감지특성을 분석하였음.

- 터널 화재감지 관련하여 국외 논문을 분석하고, 터널 단면이 상이한 2개의 터널에서 화재감지 종류(정온식, 차동식)에 따른 화재감지 가능성에 대한 시험을 터널에 온도계(열전대)를 설치하여 시험을 수행함

- 고속철도 철도터널에서 화재감지 종류(정온식, 차동식)에 따른 화재감지 가능성에 대하여 수치해석 기법을 이용하여 분석함.

○ 터널 화재발생시 보다 민감하게 반응할 수 있는 차동식 형태에 감지기를 철도터널에 설치가능한 화재감지기로 선정함.

(1) 해외 본선터널 화재감지기 설치 사례

국가	감지기 설치장소	감지기 종류
스페인	Indra Metro, La Palma Metro, Bilbao Metro Guadarrama Railway Tunnel, Barajas airport expansion Railway Tunnel	선형 열감지기 설치
이탈리아	Orte Railway Tunnel, Palermo Airport Railway Tunnel, Milano M5 Metro, Torino Metro	
독일	Wernhalde Railway Tunnel, BVG Berlin Metro, VGF Metro	
중국	Beijing Metro - #5 Line,Guangzhou Metro - #1 Line, Shanghai Metro - #1 Line, HongKong KCRC station	

싱가포르	SRT Metro	
프랑스	SNCF Monaco Railway Tunnel	
오스트리아	Airport Vienna Railway Tunnel	
그리스	Aharnon Railway Tunnel, Kakia Railway Tunnel, Skala Railway Tunnel	
리투아니아	Kaunas Railway Tunnel	
호주	Perth Metro	
이스라엘	Modiin Railway Tunnel 21 & 12	

(2) 터널 화재감지 관련 국외 논문 자료 분석

Safety and Reliability of Fire Detection Systems in Road Tunnels, Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19, 2010

· 정온식선형감지방식으로는 화재감지가 안되고 차동식으로만 화재가 감지됨 (화재규모 5MW, 터널기류 10m/s, 최대온도 30도 미만)

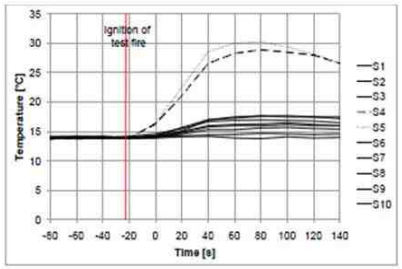


그림 A1. 화재규모 5MW, 터널기류 10m/s

· 위의 그래프에서 정온식의 경우 화재감지를 위해 화재감지 설정온도를 60도 이상으로 설정하는데 위의 화재에서는 최대온도가 30도 미만으로 화재를 감지할 수 없음.

(3) 국내 철도터널 화재시험 분석

1) 온동터널 시험 (터널 풍속 제어 안함)

○ 실험터널

실험을 수행한 터널은 충남 서천군 판교면에 위치한 장항선의 폐선 철도터널 중 하나이다. 본 실험대상 터널은 2008년에 폐선되었으며, 아래는 터널의 위치 및 입구 사진이다. 터널의 길이는 214 m 이며 기울기는 6.7‰이고 동쪽보다 서쪽의 고도가 더 높다. 터널은 A2 같이 터널 중간에 일정 부분에 다른 용도의 연구로 인하여 사용된 추가의 구조물이 존치하여 있다.



그림 A2. Location and portal of test tunnel

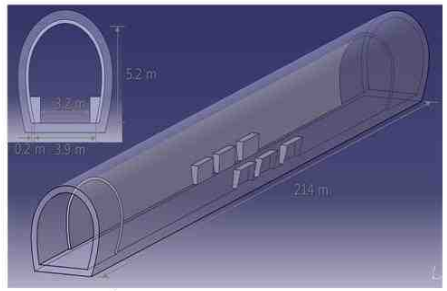


그림 A3. Schematic draw of test tunnel

온도를 측정하기 위하여 석면 및 테프론 피복의 0.6 mm 두께의 K형 열전대를 사용하였는데 터널 출입구 부분약 30m 구간은 낮은 연기온도가 예측되어 테프론 피복의 열전대를 설치하였고, 이외의 다른 부분은 석면 피복의 열전대를 설치하였다. 화재로 인한 터널 기류온도를 측정하기 위해 열전대는 터널 중앙부에 약 5 cm 떨어지게끔 하여 고정하였으며, 천장 열전대의 간격은 5 m 이다. 또한 터널 중앙에 열전대를 3, 4, 5 m의 높이로 설치하였으며, 화원의 발화 및 소화 여부를 판단하기 위하여 화원에 열전대를 설치하였다. 열전대는 NI사의 이더넷게이트웨이(NI WSN-9791)를 활용하였으며 열전대는 측정노드인 NI WSN-3212와 연결되어 열전대를 최대한 짧게 하였다. 측정노드와 이더넷게이트웨이는 무선으로 연결된다.

○ 화원

화재실험에서 화재크기를 제어하기 용이한 화원으로는 트레이에 액체연료를 채워 발화시키는 방법인데 해외 터널 시험시에도 주로 활용되는 방법이다. 화원으로는 액체연료인 헵탄을 이용하였으며, 연소 진행에 따라 균일한 온도를 확보하기 위하여 연료 용기를 물 용기 안에 넣는 중탕방법을 활용하였다. 화재크기는 연료 트레이의 면적에 따라 정해지는데 본 연구에서는 트레이 1 (0.24 m2 , 0.6 m × 0.4 m), 트레이 2 (0.5 m2 , 0.841 m × 0.594 m , 1개), 두 개의 연료 트레이를 조합하여 4개의 화원 크기를 실험에 적용하였다. 즉 화원 1은 트레이 1 한 개, 화원 2는 트레이 2 1개, 화원 3은 트레이1과 트레이 2 연료의 종류와 트레이의 단면적 및 수력지름으로 화원의 크기를 이론적으로 구할 수 있는데(10), 계산된 각 화원의 크기는 및 각 화원에 대한 실험수행 시 연료 트레이에 들어갈 연료(헵탄) 양은 Table 1과 같다.

표 A1. Condition of the tests

	화원 1	화원 2	화원 3	화원 4
Fire size (MW)	0.5	1.0	1.5	2.0
Heptane 양 (liter)	2.5	5	7.5	10

화원크기에 대해서는 Table 1의 4가지 서로 다른 화재크기의 화원을 고려하였으며 발생위치에 따라서는 아래와 같이 바닥에 놓인 화원, 바닥에 놓였지만 화원 상부를 막는 차폐막을 설치한 화원(철도차량 하부 화재를 모사한 화원), 화원을 3.7 m 상부에 위치한 화원(철도차량 상부에서 발생한 화원)의 3가지를 고려하였다. 본 실험에서는 Table 2와 같이 화원종류와 위치에 따라 구분하여 화원시험 조건을 설정하여 그 조건

별로 화원 테스트를 실행하였으며, 터널 중앙에 화원을 위치하였다.

표 A2. Condition of the tests

화원위치	화원종류			
	화원 1 (0.5 MW)	화원 2 (1.0 MW)	화원 3 (1.5 MW)	화원 4 (2.0 MW)
터널바닥 (차폐막)	case 1			
상부 (리프팅)	case 2-1 case 2-2			
터널바닥 (노출)	case 3	case 4	case 5	case 6



그림 A4. Photography for case 2-1

표 A3. 온동터널 시험결과

	1 (0.5 MW)	2-1 (0.5 MW)	2-2 (0.5 MW)	3 (0.5 MW)	3 (0.5 MW)	4 (1.0 MW)	5 (1.5 MW)	6 (2.0 MW)
측정온도 최대값 (△K)	14.0	108.0	151.1	19.2	19.2	25.1	59.9	93.3
해당시간(초)	107	12	60	71	71	85	72	86
위치 (m)	40	0	0m	10m	10m	10m	5m	5m
정온식 화재감지조건 (60℃) 만족여부	**X**	**70초**	**30초**	**X**	**X**	**X**	**40초**	**30초**
차동식 화재감지조건 (10K/min) 만족여부	**30초**	**10초 미만**	**10초 미만**	**30초**	**30초**	**20초**	**20초**	**20초**
최대값	21.8	148.9	253.1	35.5	35.5	30.4	108.7	160.1

(dT/dmin)	(50초)	(110초)	(50초)	(40초)	(40초)	(30초)	(40초)	(50초)

○ 결과

- 시험 결과를 분석하였을 경우 보다 차동식 화재감지기가 정온식 화재감지보다 더 나은 화재감지성능을 보여주었으며, 정온식 화재감지기의 본선터널 화재감지기 성능기준시 기준 화원인 1.0 MW 규모의 화원을 감지하지 못하였음.

- 차동식 화재감지조건의 경우 0.5 MW급의 차량 하부를 모사한 화재의 경우도 화재를 감지함(정온식 화재감지 조건은 도달 안함)

- 같은 화재크기라 할지라도 화재발생 위치(철도차량 하부, 철도차량 상부화재, 터널 바닥 화재)에 따라 터널 천장에서 온도가 매우 틀린 것을 확인할 수 있다.
- 화원이 바닥에 설치된 경우 (case 1, 3)는 차폐막의 설치 유무에 따라 5 K정도 밖에 차이가 나지 않는다. 반면 차량하부와 같이 차폐되어 있는 화재(case 1)는 차폐되어 있지 않은 화재(case3)에 비하여 멀리 떨어진 위치에서 보다 늦게 최대온도가 측정된다.
- 이는 차량하부 등 차폐된 화재의 경우 화재감지기 보다 늦게 될 수 있으며 또한 화재 발생 위치를 보다 하류로 통보될 수 있는 가능성을 보여준다. 반면 터널 화원의 위치가 높은 경우 최대 약 135도까지 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.
- 또한 case 2-1과 2-2를 비교하였을 경우 같은 위치, 같은 크기의 화원일지라도 최대값 온도차이가 약 43도로 매우 크게 발생한다. 즉 터널 기류 속도가 빠를수록 감지기가 설치되는 터널천장벽에서의 온도는 급속하게 감소한다.
- 터널 바닥에 설치된 화원의 크기가 클 수록 터널 상부의 최고 온도가 커지는 것을 확인할 수 있다(case 3-5 비교). 화원의 크기와 터널 천장 온도의 최대값의 도달 시간은 71- 86초로 화원크기 최고온도 도달 시간의 상관관계는 발견할 수 없었다.

2) 건기연터널 시험 (터널풍속 1.0 m/s 이하)

- 화재크기 및 위치에 따라 일부 조건 정온식 화재감지불가, 시험 수행한 모든 조건에 차동식 화재 감지 가능

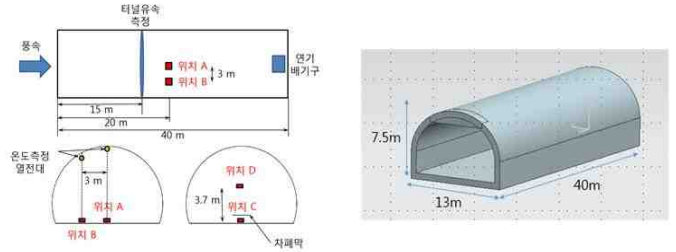


그림 A5. 건기연 터널 시험 개략도

표 A4. 건기연 터널 시험조건

화원위치	화원크기		
	0.5 MW	1.0 MW	2.0 MW
A	case 1	case 2	case 3
B	case 4	case 5	
C	case 6	case 8	
D	case 7	case 9	

표 A5. 건기연 터널 시험결과

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
풍속(m/s)	0.8	1.3	0.8	1.0	1.0	0.9	0.6	1.0	0.7
측정온도 최대값 (△K)	16.7	28.9	71.6	22.3	36.2	10.55	61.4	20.2	94.4
해당시간 (초)	135	105	90	126	84	66	70	85	118
위치(m)	8 (중앙)	8 (중앙)	6 (중앙)	10 (편위)	6 (편위)	10 (편위)	6 (편위)	10 (중앙)	6 (중앙)
정온식 화재감지조건 (60℃) 만족여부	**X**	**X**	**70**	**X**	**X**	**X**	**70**	**X**	**48**
차동식 화재감지조건 (10K/min) 만족여부	**44초**	**45초**	**39초**	**40초**	**28초**	**19초**	**14초**	**44초**	**27초**
최대값	76.8	207.4	249.0	66.2	116.1	47.9	110.0	75.2	306.8

(dT/dmin)	(60초)	(99초)	(54초)	(68초)	(56초)	(34초)	(19초)	(81초)	(117초)

3) 경부 고속철도 터널 화재감지 성능 분석(수치해석 이용)

– 화재크기에 따라 일부 조건 정온식 화재감지불가 (일부는 1분 이후 감지), 모든 조건에 차동식 화재 감지 가능

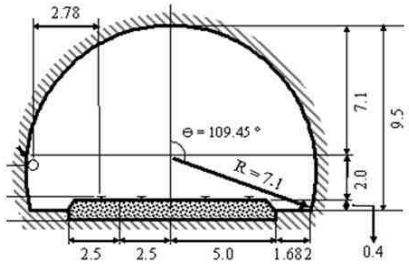


그림 A6. 경부선 고속철도 터널 단면도

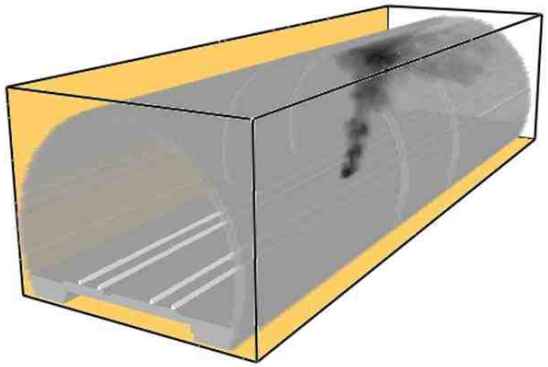


그림 A7. 수치해석 연기 거동 결과

표 A5. 경부 고속철도 터널 수치해석 결과

풍속 (m/s)	1	1	1	2	2	2

화재규모 (MW)	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
측정온도 최대값 (△K)	21.6	50.1	61.6	8.6	6.4	5.1
(해당시간, 초)	61초	84초	104초	36초	32초	32초
위치	6m	3m	3m	21m	21m	21m
정온식 화재감지기조건 (60℃) 만족여부	**X**	**78**	**77**	**X**	**X**	**X**
차동식 화재감지조건 (10K/min) 만족여부	**26초**	**23초**	**23초**	**24초**	**26초**	**30초**

(4) 철도터널 성능시험 조건 선정

○ 철도터널의 발생 가능한 시나리오 검토
– 시설물화재, 철도차량 화재로 구분 가능

○ 본선터널 화재감지기 성능 검토
– 철도차량의 화재발생위치별(상부, 내부, 하부) 화원 특성 시험/분석 검토
– 국내외 도로터널 화재감지기 성능평가 기준 참고
– 기존 기준 및 시험/수치해석 결과 등을 토대로 성능평가 적절 화원의 규모 및 감지시간으로는 각각 1MW, 1분 산정
– 도시철도건설규칙 및 국내 철도터널 자연풍 측정 결과를 참고하여 성능 평가시 풍속 2.5 m/s 선정

1) 화재시나리오에 따른 화재 규모 검토

○ 철도터널 시나리오 검토
– 철도터널에서 발생하는 화재를 철도차량 화재와 시설화재로 구분함
– 철도차량화재의 경우 차량의 화재발생위치에 따라 상부, 내부, 하부화재로 구분하여 시나리오 선정



그림 A6. 화재시나리오 검토

○ 철도터널(차량) 화재특성 구축

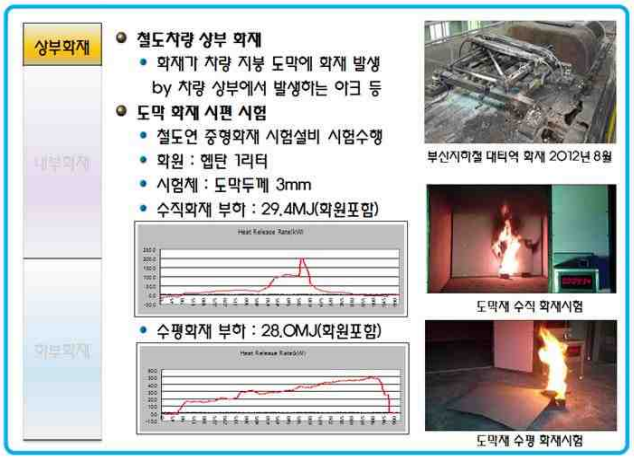


그림 A7. 철도차량 상부화재

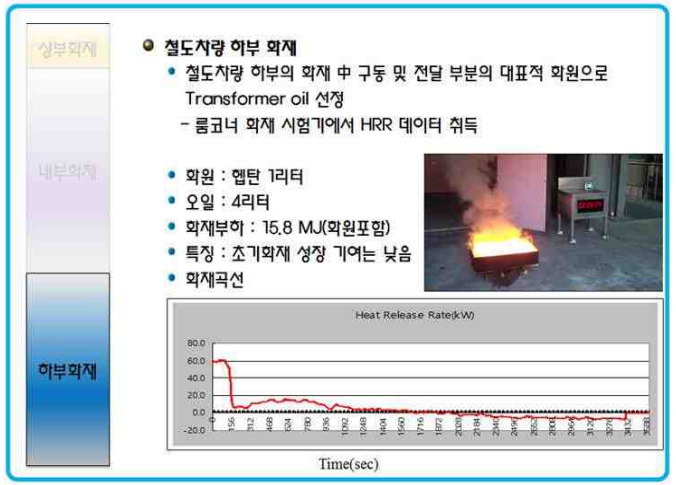
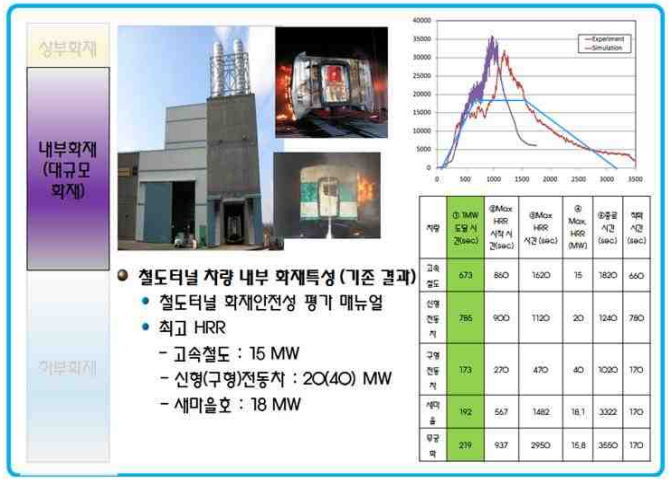


그림 A8. 철도차량 하부화재



차량	① 1MW 도달 시간(sec)	②Max HRR 시작 시간(sec)	③Max HRR 시간 (sec)	④ Max. HRR (MW)	⑤중료 시간 (sec)	⑥화 시간 (sec)
고속철도	673	860	1620	15	1820	660
신형전동차	785	900	1120	20	1240	780
구형전동차	173	270	470	40	1020	170
새마을	192	567	1482	18.1	3322	170
무궁화	219	937	2950	15.8	3550	170

그림 A9. 철도차량 내부화재 특성분석

○ 0.5MW 급의 비교적 작은 화원을 주어진 풍속하의 터널 조건에서 감지하도록 하기는 현재 기술로는 매우 어려우며(감지기를 민감하게 설정하여 감지성능을 향상시킬 수 있지만 그에 따라 오작동 발생 가능성이 높음), 1 MW는 국내외 도로터널과의 기준과 비교하여 가장 작은 화재규모로 도로터널에 비해 안전성 향상을 확보할 수 있다.

○ 종방향 풍속은 「도시철도건설규칙」에 터널의 기류속도를 2.5 m/s로 정의하고 있다. 터널에 화재 연기의 방향을 제어하기 위하여 필요한 최소 터널 속도를 임계속도라고 정의하며 화재의 규모에 따라 약간 달라질 수 있으나 2.5 m/s의 환기력으로 터널의 화재 연기를 제어할 수 있다.

○ 열차가 다니지 않는 시간에 측정된 터널기류의 속도는 평균 1.0 m/s 정도로 작다.

표 A5. 터널의 자연풍 측정결과(새벽 2시~5시)

	고속철도 경부 금정터널 위치 1		고속철도 경부 금정터널 위치 2	
	최대풍속	평균풍속	최대풍속	평균풍속
2013.06.01	1.1	0.70	1.1	0.75
2013.07.01	1.0	0.55	1.2	0.62
2013.08.01	1.5	0.39	2.4	0.45
2013.09.01	3.5	1.01	4.6	1.02
2013.10.01	3.5	0.63	2.4	0.67
2013.11.01	0.6	0.30	0.5	0.14
2013.12.01	2.5	0.21	0.8	0.18
2014.01.01	0.6	0.26	1.2	0.35
2014.02.01	2.6	0.17	1.2	0.15

○ " 「철도시설 안전세부 기준 제5조(철도터널의 안전성 분석 수행)」 ① 항, 5. 제연설비 또는 배연설비를 적용한 터널이 완공된 후에는 제연 또는 배연 성능에 대한 시험을 실시할 것" 으로 규정하고 있는데 본선터널 감지기는 제연설비 및 배연설비 설치와 병행하여 설치될 수 있으므로 인수후 시험으로 본선터널 감지기 시험을 수

행할 수 있음.

(5) 도로터널 관련 자료 분석

1) 도로터널 사용가능 감지기

「도로터널의 화재안전기준(NFSC 603)」에서 도로터널에 설치되는 감지기는 아래와 같은 3가지의 감지기를 설치할 수 있다.

① 차동식 분포형 감지기
② 정온식감지선형감지기(아날로그식에 한한다. 이하 같다.)
③ 중앙기술심의위원회의 심의를 거쳐 터널화재에 적응성이 있다고 인정된 감지기

2) 국내외 도로터널 화재감지성능 평가 기준

국가	화재규모	종방향 풍속	감지시간
스위스	2-5MW	1.5m/s	1분이내
독일	5MW	6m/s	1분이내
오스트리아	1.5MW	3 m/s	1분30초
한국 「도로터널방재시설 설치지침」	1.5MW	3m/s	1분이내

3) 해외 도로터널 화재감지기 설치 사례

국가	감지기 종류	특이사항
호주, 오스트리아, 캐나다, 중국, 이스라엘, 이탈리아, 노르웨이, 스페인, 스위스, 터키, 미국	선형 열감지기 설치	호주 - 선형 열감지기 외에도 추가적인 감지기 설치 요구 미국 - CCTV 및 교통량감지기 추가설치
일본	불꽃 감지기 설치	
벨기에, 덴마크	스포트형 열감지기 설치	

[부록 4] 철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서

1. 적용범위

철도 본선터널에 설치되는 자동화재탐지설비의 성능시험에 대하여 정한다.

2. 시험설비 배치

시험설비는 그림 1과 같이 화원부, 터널기류 발생부, 터널기류 측정부 및 성능시험을 위한 철도터널 화재감지기로 구성된다.

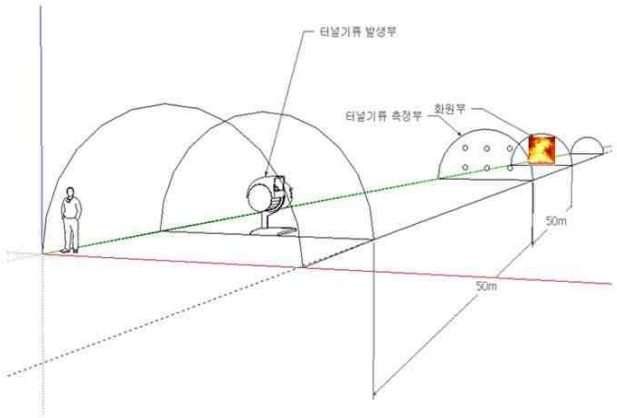


그림 1 시험설비 배치도

2.1 화원부

화원은 화원 트레이를 물트레이 안에 넣는 물중탕법을 활용하며, 설치시에는 물중탕 트레이는 불연보드 위에 설치한다. 전차선 등의 시설 보호를 위하여 널에 단열재를 설치할 있다.

○ 화재트레이

화재트레이의 크기는 내부기준으로 너비 595 mm, 길이 841 mm, 높이 130 mm 이며, 1.6 mm 두께 이상의 철을 사용하여 연료가 누설되지 않도록 잘 용접

하여야 한다. 그림 2와 같이 양 끝단에는 손잡이를 트레이 외부로 설치하며 하단부에는 화재열에 의하여 변형을 최소화하도록 지지대를 부착한다. 연료로는 헵탄 5리터를 사용한다. 화원으로 화재트레이를 1개를 사용하며 이에 해당하는 화재 크기는 약 1 MW이다. 화재의 점화/소화 여부를 판단하기 위한 열전대를 화재트레이에 설치한다.

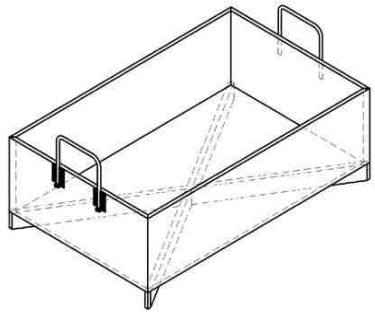


그림 2 화재트레이

○ 물트레이

물트레이의 크기는 내부기준으로 너비 990 mm, 길이 700 mm 높이 180 mm 이며, 1.6 mm 두께 이상의 아연도금철을 사용하여 물이 누설되지 않도록 잘 용접하여야 한다. 그림 2와 같이 양 끝단에는 손잡이를 트레이 내부로 설치한다.

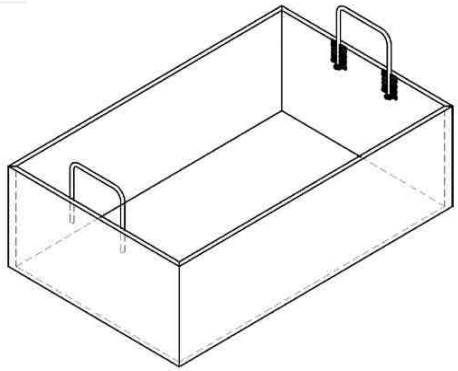


그림 3 물 트레이

2.2 터널기류 발생부

터널기류 발생부는 시험터널에 송풍기를 설치하여 활용하거나 및 철도터널에 기 설치되어 있는 송풍기를 활용하여 구성할 수 있다.

2.3 터널기류 측정부

터널 단면에 6개 이상의 유속측정센서를 설치하여 유속을 측정한다. 터널기류 측정부 유속센서 설치 예는 그림 3과 같다. 시험실 설정 터널기류의 속도는 모든 유속측정센서에서 측정한 값의 평균으로 구한다. 터널기류 발생부와 터널기류 측정부와 터널은 거리 및 터널기류 측정부와 화원부와의 거리를 50 m 이상으로 하는 것을 추천한다.

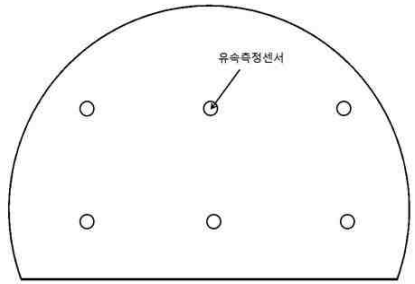


그림 4 터널기류 측정부 유속센서 설치 예

2.4 철도터널 화재감지기

실제 철도터널에 설치될 화재감지기의 위치에 화재감지기를 설치하며, 터널에 시설보호를 위하여 단열재가 설치될 경우, 단열재로 인하여 화재감지성능의 변화가 최소화되도록 설치한다.

3. 시험절차

3.1 시험준비

- 성능평가를 위한 철도터널 자동화재소화탐지설비를 설치한다.
- 선정한 터널기류 발생장치부, 터널기류 측정장치부, 화원부에 해당 장비들을 설치한다.
- 화원부의 물 트레이 안에 화재 트레이를 위치하고 헵탄을 5 리터 붓는다. 실험에 사용되는 물의 양은 화원 트레이이 물위에서 약 10mm정도 뜰 때까지 물을 부어서 사용한다.

3.2 환경측정

- 터널기류 발생장치 작동전 터널 내 자연풍 및 온습도 등을 측정한다.

3.3 터널기류 발생장치 작동

- 터널기류 발생장치를 이용하여 터널에 기류를 형성하고 측정장치를 이용하여 터널기류를 측정하여 평균 기류속도가 2.5 m/s ± 0.2 m/s 에 만족하도록 터널기류 발생장치를 조절한다. 시험 현장터널에 송풍장치가 설치되어 있는 경우는 비상시에 작동되는 송풍기를 작동하여 평균 기류속도를 측정한다.

3.4 시험수행 (화재 발생 및 측정)

- 화원에 점화를 하고 시간을 측정한다.

· 화재를 발생 후 철도터널 자동화재소화탐지설비의 화재감지 시각 및 감지 위치를 기록한다.

4. 철도터널 자동화재소화탐지설비 성능평가 및 보고서 작성

4.1 철도터널 자동화재소화탐지설비가 1분이내 및 화원 위치를 50 m 이내에 화재를 감지하는지를 평가한다.

4.2 보고서에는 상기 시험 지침서에 따른 세부 측정 및 분석내용을 구체적으로 명기하여 분석 결과를 도시하여야 한다.

4.3 인용된 모든 데이터는 수록되어야 한다.

5. 안전 조치

5.1 연료는 실험하기 직전에 부어야 하며, 연료를 다루는 자와 점화자가 구별되어야 하며, 점화자는 방화복을 착용하여야 한다. 점화시에는 모든 작업자가 안전선 밖에 있는지를 확인하고 시행하여야 한다. 이는 연료의 유증기에 의한 화상으로부터 보호하기 위한 조치이다.

5.2 연료는 연소를 통하여 완전 소모토록 하고, 실험이 정상적으로 마쳤을 때는 충분히 냉각된 것을 확인하고 정리하며, 실험중에 불가피한 상황으로 중단할 때는 소화기를 사용하여 소화시킨다. 또한, 물을 연료에 부어 연료 트레이를 충분히 식혀 유증기 발생을 최대한 억제시킨다. 이 후 모든 작업자는 안전지대로 대피하고, 폐연료는 안전조치후 연소나 폐기토록 한다.

[부록 5] 본선터널 내 화재감지 관련 환경요소 연구결과

○ 철도터널 환경측정 장치를 개발 설치하여 국내 대표 철도터널에서 환경 측정 및 분석

○ 대부분의 경우 예상했던 것과는 달리 터널 환경이 나쁘지 않았으며 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」에서의 환경시험 조건에 터널환경이 많이 벗어나지 않았음. 다만 터널의 지속적인 환경의 영향으로 인한 영향은 계속적인 검토가 필요함.

(1) 철도터널 화재감지기 환경측정 장치 개발 및 설치

○ 터널 극한 환경에서 터널의 환경을 측정할 수 있는 시스템 개발 및 분석

○ 국내 대표터널에서 환경 측정 및 분석
- 경부고속선 터널(금정터널)
- 영동선 승객/화물 공용터널(영동터널)
- 서울 지하철터널(과천선 터널)

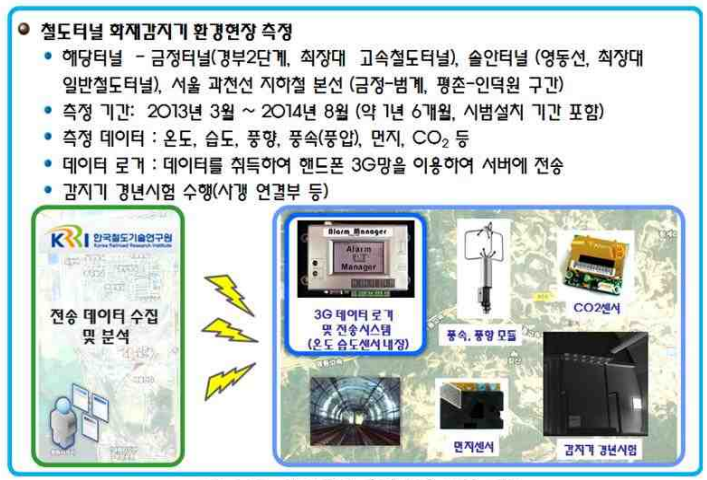


그림 A10. 철도터널 환경측정 장치 개요



그림 A11. 철도터널 환경측정 설치 위치 및 환경 분석프로그램

(2) 먼 지

· 터널 현장 측정분석 결과 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」의 분진 시험에서의 환경이 터널에서의 환경보다 더 열악하였음.

·「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」의 분진시험의 경우 먼지밀도가 666g/m3 정도의 환경에서 감도시험을 하는 경우에 이상이 생기지 아니하여야하므로 터널의 환경보다는 훨씬 악조건의 환경에서의 기능상 문제가 없어야 형식승인을 받을 수 있다.

「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 제 31조(분진시험)
감지기는 전류를 통한 상태에서 내부용적이 0.09 ㎥가 되는 밀폐된 상자내에 정상위치로 부착하고 KS A 0090(시험용 분체 및 시험용 입자)의 5종 플라이애쉬 60 g을 상자 속에 넣고 풍속이 0.25 m/s로 압축된 공기 또는 통풍기로 15분간 교반한 후 제14조부터 제23조의 감도시험을 하는 경우 기능에 이상이 생기지 아니하여야 한다.

표 B1. 현장측정 먼지 최대 값

	경부고속철도 금정터널 (㎎/m3)			영동선 솔안터널 (㎎/m3)			서울 4호선 지하철 (㎎/m3)	
	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (수직구)	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (신호장)	위치1 (금정 – 범계)	위치2 (평촌 – 인덕원)
2013.06	5.5	5.5	4.9					
2013.07	3.0	6.0	2.2	9.9	6.1	9.4		
2013.08	3.1	7.1	2.4	9.1	7.0	8.8		
2013.09	3.5	4.1	2.7	8.5	7.5	8.9	4.6	5.6
2013.10	5.2	4.7	5.6	9.5	7.7	9.1	3.3	5.6
2103.11	5.6	5.6	5.6	9.0	7.6	8.9	5.6	5.6
2013.12	5.6	4.8	5.6	9.1	7.3	9.2	4.7	5.6
2014.01	5.1	3.0	4.8	5.6	5.6	5.6	4.9	3.5
2014.02	3.1	3.5	4.0	5.6	5.6	5.6	5.2	3.6
최대값	**5.6**	**7.1**	**5.6**	**9.9**	**7.7**	**9.4**	**5.6**	**5.6**

(3) 습 도

· 터널 현장 측정분석 결과 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」의 습도 시험에서의 환경이 터널에서의 환경보다 더 열악하였음.

·「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 33조 (습도시험)의 경우 철도터널 환경에 준하는 (40 ± 2) ℃, 상대습도 (93 ± 3) %인 공기중에 4일간 방치하여 오동작이 아니하는 제품에 대하여 형식승인을 받을 수 있다.

「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 제 33조(습도시험)
① 감지기는 전원을 인가한 상태에서 (40 ± 2) ℃, 상대습도 (93 ± 3) %인 공기중에 4일간 방치하는 경우 잘못 작동하지 아니하여야 하며 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.
② 감지기는 전원을 인가하지 않은 상태에서 (40 ± 2) ℃, 상대습도 (93 ± 3) %인 공기중에 21일간 방치하는 경우 구조 및 기능에 이상이 없어야 한다.

표 B2. 현장측정 습도 최대 값

	금정터널			솔안터널			지하철	
	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (수직구)	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (신호장)	위치1 (금정 – 범계)	위치2 (평촌 – 인덕원)
2013.04	44	59	47					
2013.05	83	88	70					
2013.06	86	92	74					
2013.07	89	94	77	93	93	94		
2013.08	89	94	80	93	93	94		
2013.09	89	94	77	93	93	93	93	86
2013.10	88	93	76	91	93	92	84	72
2103.11	64	76	59	66	68	70	73	56
2013.12	48	69	51	53	54	57	72	50
2014.01	48	69	47	56	58	59	76	53
2014.02	57	78	53	58	54	80	77	50
최대값	**89**	**94**	**80**	**93**	**93**	**94**	**93**	**86**

(4) 온 도

– 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」의 주위온도시험의 경우 각 감지기 종류별로 시험 온도의 범위가 다르지만 터널의 일반적인 온도범위에 속함. 차동식 분포형 화재감지기의 경우 (−10 ± 2)℃에서 (50± 2)℃까지의 범위 내에서 30일간 작동하는 동안 구조나 기능에 이상이 없어야 형식승인을 받을 수 있다.

※ (참고) 일반적인 온도 및 먼지에 취약한 연기감지기를 현장 설치하여 터널별 3개월 이상(솔안터널 2014년 12월부터, 금정터널 2013년 11월) 시험한 결과 특별한 오작동 현상이 발견되지 않았음. (연기, 정온식스포트, 차동식스포트 감지기 현장설치, 연구 종료기간까지 오작동현황을 분석할 예정임)

「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 제11조(주위온도시험)
감지기의 주위온도시험은 다음 각 호 1의 규정에 의하여 시험할 경우 기능에 이상이 생기지 아니하여야 한다.
3. 불꽃감지기의 옥외형 및 옥내형은 −(20 ± 2) ℃에서 (50 ± 2) ℃까지의 주위 온도 시험.
4. 그 밖의 감지기는 −(10 ± 2) ℃에서 (50 ± 2) ℃까지의 주위온도시험.

표 B3. 터널별 온도 최소값(℃, 2013년 3월 ~ 2014년 2월)

	금정터널			솔안터널			지하철	
	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (수직구)	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (신호장)	위치1 (금정 – 범계)	위치2 (평촌 – 인덕원)
최소값	15	7	10	7	7	3	0	10

표 B4. 터널별 온도 최대값(℃)

	금정터널			솔안터널			지하철	
	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (수직구)	위치1 (본선)	위치2 (사갱)	위치3 (신호장)	위치1 (금정 – 범계)	위치2 (평촌 – 인덕원)
2013.04	26	26	25					
2013.05	30	30	29					
2013.06	24	23	24					
2013.07	26	25	26	22	22	22		
2013.08	26	26	27	22	22	22		
2013.09	26	25	26	21	21	21	27	29
2013.10	25	24	25	20	20	21	24	28
2103.11	24	21	23	18	18	18	19	25
2013.12	22	18	20	15	15	14	13	21
2014.01	20	17	18	13	13	13	11	19
2014.02	20	17	19	14	13	13	13	19
최대값	30	30	29	22	22	22	27	29

다. 철도터널 자동화재 탐지설비(안) 평가 및 해외기술과의 수준비교

○ 목적

- 철도터널 자동화재 탐지설비(안) 평가 및 해외기술과의 수준비교

○ 일시 및 장소 : 2014년 5월 21일 10:00 ~ 12:00

철도연 2동 첨단교육장

○ 자문 위원

성 명	소 속	직 급
김정엽	한국건설기술연구원	연구위원
노경철	동양대학교 철도차량학과	교수
양상호	삼원이앤비	상무

○ 철도터널 자동화재 탐지설비(안) 전문가 평가표

철도터널 자동화재 탐지설비 기준 및 해설서 및 지하역사 Safety-Zone 위치선정 프로그램 전문가 평가표

소속 이름 서명

철도터널 자동화재탐지설비 기준 안			
항목	세부항목	배점	평점
국내외 관련 기준 및 상황과의 연관성 (총 25점)	국외 철도터널 화재감지기 조사 기준	5	
	국외 도로터널 화재감지기 기준 조사	5	
	국내 도로터널 화재감지기 조사	5	
	국내 화재감지기 관련 기준 조사	5	
	국외 철도터널 화재감지기 사례조사	5	
철도터널 자동화재탐지 기준의 타당성 (총 75점)	철도터널 자동화재탐지 기준의 완결성	40	
	철도터널 화재감지기 시험수행	20	
	주관부처와 협의를 통한 기준안 제시	15	
총점		100	

철도터널 자동화재탐지설비 해설서			
항목	세부항목	배점	평점
기준(안)의 타당한 근거제시 (총100점)	국내 소방법과의 연계성	40	
	본선터널 내 화재감지기 선정을 위한 성능조건	10	
	철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서	30	
	철도터널 환경측정 연구수행	20	

항목	평점 및 의견
국외 철도터널 화재감지기 기준 대비 철도터널 기준과의 수준 비교(% 명시)	

○ 철도터널 자동화재 탐지설비(안) 전문가 평가 위원별 결과

성 명	평가점수		
	철도터널 자동화재탐지설비 기준 안	철도터널 자동화재탐지설비 기준 해설서	해외기준과의 수준비교
김정엽	94 점	92 점	110%
노경철	95 점	91 점	100% 이상
양상호	94 점	92 점	120%
평균	94.3 점	91.3 점	110%

[첨부] 철도터널 화재감지기 초안 전문가 평가표

철도터널 자동화재탐지설비 기준 및 해설서 및 지하역사 Safety-Zone 위치선정 프로그램 전문가 평가표

소속 한국건설기술연구원 이름 김정엽 서명

철도터널 자동화재탐지설비 기준 안			
항목	세부항목	배점	평점
국내외 관련 기준 및 상황과의 연관성 (총 25점)	국외 철도터널 화재감지기 조사 기준	5	5
	국외 도로터널 화재감지기 기준 조사	5	5
	국내 도로터널 화재감지기 조사	5	5
	국내 화재감지기 관련 기준 조사	5	5
	국외 철도터널 화재감지기 사례조사	5	5
철도터널 자동화재탐지 기준의 타당성 (총 75점)	철도터널 자동화재탐지 기준의 완결성	40	37
	철도터널 화재감지기 시험수행	20	18
	주관부처와 협의를 통한 기준안 제시	15	14
총점		100	94

철도터널 자동화재탐지설비 해설서			
항목	세부항목	배점	평점
기준(안)의 타당한 근거제시 (총100점)	국내 소방법과의 연계성	40	36
	본선터널 내 화재감지기 선정을 위한 성능조건	10	9
	철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서	30	28
	철도터널 환경측정 연구수행	20	19
			92

항목	평점 및 의견
국외 철도터널 화재감지기 기준 대비 철도터널 기준과의 수준 비교(% 명시)	- 국외 기준에 비해서 안전성 평가를 통해 자동 화재탐지 설비의 설치 유무를 결정할으로서 비용과 안전성 확보 측면에서 효과적인 지침이 제시되었음

- 차동식분포형 감지기의 실규모 성능평가를 통하여 철도터널에서의 화재감지 성능을 제시하고 이를 기준(안)에 반영함으로써 실제적인 연구가 수행됨.
- 수준비교: 국외 기준 대비 110% 달성

철도터널 자동화재탐지설비 기준 및 해설서 및 지하역사 Safety-Zone 위치선정 프로그램 전문가 평가표

소속 동양대학교 이름 노정철 서명

철도터널 자동화재탐지설비 기준 안			
항목	세부항목	배점	평점
국내외 관련 기준 및 상황과의 연관성 (총 25점)	국외 철도터널 화재감지기 조사 기준	5	5
	국외 도로터널 화재감지기 기준 조사	5	5
	국내 도로터널 화재감지기 조사	5	5
	국내 화재감지기 관련 기준 조사	5	5
	국외 철도터널 화재감지기 사례조사	5	5
철도터널 자동화재탐지 기준의 타당성 (총 75점)	철도터널 자동화재탐지 기준의 완결성	40	38
	철도터널 화재감지기 시험수행	20	20
	주관부처와 협의를 통한 기준안 제시	15	12
총점		100	95

철도터널 자동화재탐지설비 해설서			
항목	세부항목	배점	평점
기준(안)의 타당한 근거제시 (총100점)	국내 소방법과의 연계성	40	38
	본선터널 내 화재감지기 선정을 위한 성능조건	10	10
	철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서	30	28
	철도터널 환경측정 연구수행	20	15
총점		100	91

항목	평점 및 의견
국외 철도터널 화재감지기 기준 대비 철도터널 기준과의 수준 비교(% 명시)	국외 기준보다 세밀하고 수준 높다고 판단됨. 구체적인 감지기 성능 평가 결과의 우수성이 돋보임 (100% 이상)

철도터널 자동화재탐지설비 기준 및 해설서 및 지하역사 Safety-Zone 위치선정 프로그램 전문가 평가표

소속 (동아대학교) 이름 양상호 서명

철도터널 자동화재탐지설비 기준 안			
항목	세부항목	배점	평점
국내외 관련 기준 및 상황과의 연관성 (총 25점)	국외 철도터널 화재감지기 조사 기준	5	5
	국외 도로터널 화재감지기 기준 조사	5	5
	국내 도로터널 화재감지기 조사	5	5
	국내 화재감지기 관련 기준 조사	5	5
	국외 철도터널 화재감지기 사례조사	5	4
철도터널 자동화재탐지 기준의 타당성 (총 75점)	철도터널 자동화재탐지 기준의 완결성	40	37
	철도터널 화재감지기 시험수행	20	20
	주관부처와 협의를 통한 기준안 제시	15	13
총점		100	94

철도터널 자동화재탐지설비 해설서			
항목	세부항목	배점	평점
기준(안)의 타당한 근거제시 (총100점)	국내 소방법과의 연계성	40	40
	본선터널 내 화재감지기 선정을 위한 성능조건	10	8
	철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서	30	26
	철도터널 환경측정 연구수행	20	18
총점		100	92

항목	평점 및 의견
국외 철도터널 화재감지기 기준 대비 철도터널 기준과의 수준 비교(% 명시)	• TSI-SRT, UIC-779, UN 등 화재감지기 설치 규준에 바탕이 제시된 기준이 우수 한것으로 판단됨 • 기술수준은 약 120%

제7절 지하역사 및 터널 안전구역 구축 기준 및 매뉴얼 작성

1. 지하역사 및 터널 안전구역 구축기준 개발 배경

피난안전구역이란 용어는 대피층, 피난층, 피난안전층, 대피처, 피난처 및 대피공간 등으로 다양하게 사용되고 있다. 초고층 건축물이 국내에 다수 도입되기 시작하면서 대피층(Refuge Floor) 또는 대피공간(Refuge Area)등에 대한 연구가 활발하게 진행되었다. 이러한 피난층의 개념은 초고층 건물의 경우 화재발생 시 피난인들의 너무나 긴 피난경로를 이동해야 하며, 하부층의 화재발생 및 확대 시 외부의 조력으로 인한 피난이 불가하다는 문제들이 인식되면서 도입되기 시작했지만, 피난공간(Refuge Area)의 개념은 화재 발생 시 구조대원이 올 때까지 안전하게 있을 수 있는 수직 수평의 방화구획이 형성된 보호받는 공간으로 이미 오래전 도입되어있었다.

최근에는 건설비용이 다소 증가하나 토지의 용지 보상이 적은 지하 40m 깊이로 수도권을 관통하여 고속으로 운영되는 GTX 설치 운영될 예정이며 이러한 대심도 역사가 증가 될 것으로 예상된다. 하지만 현재에도 깊은 심도의 지하역사는 다수 존재하며,
표 4.1. 에서 보는 바와 같이 수도권에도 40m에 가깝거나 더 깊은 역사가 다수 존재한다.

표 2.7.1 수도권의 30m 이하 심도의 역사

노선	지하역사 명	지하역사 심도(m)	관할 기관
2	이대역	36	서울메트로
5	신금호역	44	서울도시철도공사
6	버티고개역	43	서울도시철도공사
7	숭실대입구역	47	서울도시철도공사
8	산성역	56	서울도시철도공사

지하역사의 경우 그 심도가 깊어질 경우 지상층의 건물에 비해 더 피난이 어려운데 그 이유 중 하나는 상향피난이라는 점이다. 계단을 상향으로 올라간다는 것은 체력적 부담이 있는 일이며, 이로 인해 올라갈수록 보행속도가 감소하게 되며, 중간휴식이 필요하게 된다. 이에 더하여 지하역사의 경우 화재 발생 시 상향 이동하는 경로와 연기이동경로가 동일하게 될 우려가 높으며, 아무런 보호조치가 없는 경우 큰 피해가 발생할 것은 자명하다. 하지만 이 또한 정상적인 보행이 가능한 사람들을 대상으로 할 때 상황이며, 실제 고령자나 장애인 들은 피난자체가 불가한 경우가 있다.

공공을 대상으로 하는 대중교통으로서의 철도는 시설에서 발생할 수 있는 위험에 대하여 적극 대응해야할 의무가 있으며, 이용객들에게 제공하는 서비스 중 위험발생 시 안전하여, 피해가 없도록 하는 것도 포함된다고 할 수 있다.

그러므로 지하역사 및 터널 등에서의 화재발생 시 피난하는 승객들에게 안전을 확보해줄 수 있는 시설의 확보는 매우 중요하며, 특히 피난경로가 길거나 수직 상향보행이 필요한 시설에서는 안전구역의 설치가 필수적이라 할 수 있다.

2. 지하역사 및 터널 안전구역 구축기준의 고려사항

가. 지하역사 및 터널화재의 일반적 화재 위험성과 고려사항

지하역사 및 터널의 화재 시 위험한 점은 다음과 같다.

① 지하역사 화재는 연기가 공간외부로 배출되기 어렵다. 지하공간은 외부로의 창이 없기 때문에 외부로 연기가 배출되지 못한다.

② 지하역사 화재 시 연기의 상부이동경로는 피난경로와 동일하다. 지하공간 화재시 연기는 상부로 이동하는데 그 경로는 수직관통부인 승강기실(엘리베이터 샤프트), 에스컬레이터, 그리고 계단실이 된다. 그러므로 지상층으로 이동하는 모든 경로는 연기의 이동경로가 된다고 할 수 있다.

③ 피난인은 상향계단을 통해 피난해야한다. 상향계단을 통한 피난은 하향과 그 양상이 다르다. 즉, 피난인의 체력적 요소가 매우 크게 작용할 것이다. 특히 일반인 및 고령자 모두 체력저하로 인한 상향이동속도의 저감은 매우 당연한 일이라 할 수 있다.

또한 장애인이나 고령자의 경우, 계단을 이용한 상향이동 피난은 거의 불가능에 가까울 것으로 추정된다.

④ 피난인에 대한 외부 구조가 매우 제한적이다. 건축물의 경우 건물외부에서 창을 통한 피난인의 구조 등이 가능하지만, 지하역사는 창이 없어 원천적으로 불가능하다.

⑤ 상황조치 인력 투입으로 인한 피난장애가 있다. 이는 WTC의 사례에서 명확히 나타났듯이 상황에 대응하려고 투입되는 자체 대응인력, 소방관 및 경찰 등 비상 대응 인력들은 피난인들과 반대로 움직이게 되어, 피난에 지장을 초래하게 된다.

국내외에서 발생된 터널 화재를 분석한 결과 도출된 위험성은 다음과 같다.

① 외부와 고립

철도터널은 통상적으로 일반인이나 구조대원조차 접근하기 힘든 산악의 지하 또는 도시의 대심도(50m) 또는 해저속의 터널로 되어 있다. 따라서 사고가 발생하면 터널의 형상의 특징상 쉽게 외부와의 통신 또는 접촉과 접근이 어렵다.

② 피난이동거리 큼

과거의 연장이 짧은 터널의 경우 쉽게 피난할 수 있는 장점이 있었다. 그러나 국내와 같이 지형의 영향으로 터널이 장대화 될 경우 화재가 발생한 지점에서 피난할 경우 수백m에서 수km까지 피난을 하여야 한다. 이는 장대철도터널의 경우 피난대책을 세울 때 가장 극복하기 어려운 요인 중 하나다.

③ 피난이동시 대규모 동시 이동

철도는 대규모의 인원을 수송하는 교통시스템이다. 따라서 비상시에 동시에 대규모로 이동해야 하는 단점이 있다. 이는 피난 시 쉽게 병목현상이 발생될 수 있으며 화재상황 시 쉽게 군중심리에 휘말려 잘못된 판단을 내릴 수 있다. 또한 철도터널과 같이 햇빛이 차단되고 공간이 차단된 곳에서는 대규모 탈출 시 심리적으로 상당한 스트레스를 받게 한다. 오스트리아 산악 화재의 경우 굴뚝효과에 의하여 화재 연기가 상류로 전파됨에도 불구하고 승객의 대부분이 터널 상부방향으로 탈출하였다. 때문에 상부로 대피한 승객 전원이 사망하게 되었다.

④ 터널 밖에서 터널 내 화재상황 파악의 어려움

철도터널의 대규모 화재사고로 이어지는 이유 중 하나는 철도터널에서 비상시 지휘 통제하는 곳이 외부인 점이다. 이는 철도터널에서 화재가 발생할 때 쉽게 상황을 판단하기 어렵고 혹 화재에 의하여 통신이 두절되는 사태가 발생하면 피난자의 대피방향 피해 화재규모 등에 대한 오판을 유도할 수 있다. 대구 지하철 화재 사건의 경우 외부의 사령과 기관사가 대구지하철 화재에 대한 정확한 판단을 못하여 반대쪽 승강장에 전동차를 통과시키는데 실패하였으며, 결국 반대쪽 전동차는 재기동에 실패하고 화재가 옮겨 붙게 되어 대규모 사망을 내게 되었다.

⑤ 터널위치 및 소방 활동의 제약요인

철도터널은 대부분이 터널의 위치가 산악 또는 지하 깊은 심도에 있기 때문에 소방 및 구난활동의 접근이 용이하지 않다. 특히 장대철도터널의 수직갱이나 사갱의 경우 제연/배연시설이 불충분 할 경우 수직갱 및 피난갱으로 연기가 배출되어져 철도터널의 진입이 불가능하게 된다. 이외에도 금정터널과 같은 고속철도터널의 경우 터널내부로 진입하기 위하여는 전차선 전원을 차단 시켜줘야 구난에 따른 2차 전기사고가 발생하지 않게 된다. 이외에도 장대터널은 구조대가 터널내부로 진입 시에도 사갱이 매우 길어서 휴대용 산소호흡기 용량으로는 부족하게 된다.

특히 터널 내 이동수단이 없어 진입한 소방대 및 구조원들은 달려서 사고현장에 가야하기 때문에 현장 접근에 과다한 시간이 소요된다. 또한 화재 상황인 경우 공기호흡기는 40-50분정도 실제 운용이 가능하므로 도착 후 바로 되돌아와서 공기호흡기를 교체해야하는 상황이다. 그러므로 실제 소방대와 구조대원들이 실제 화재 시 진입하여 승객들을 구조하는 일은 매우 어려운 일이라 할 수 있다.

이에 추가적으로 판단되는 피난과 소방활동의 문제점을 보면 우선, 단굴 형태이므로, 화재진압을 위해 터널에 들어갈 경우, 반대편에서 KTX가 운행되면, 최대 시속 305 km/h (터널 내

120km/h)의 속도로 운행될 우려가 있으며, 이에 피난중인 승객과 활동 중인 소방대에 대한 위험성이 높다. 또한 소방대의 진입 및 활동을 위해서는 관리주체의 협조 없이는 진입이 불가능하다는 문제점도 있다..

나. 지하역사 및 터널 피난안전구역 종류 구분

일반적인 고층 건축물에서의 피난 관련 기준은 기본적으로 건축물에 대한 설계 기준과 더불어 피난 경로상의 몇 가지 수단을 권장함에서 시작된다. 계단을 이용한 피난 외에도 엘리베이터를 이용하여 외부로 피난하거나 화재 시 소방대의 구조를 기다릴 수 있도록 안전한 중간 거점의 설치 등 일반적인 건축물의 피난 경로와는 차이를 보인다. 이러한 피난 안전 구역은 초고층 건축물의 긴 피난 동선을 극복하기 위하여 만들어지며 국외의 기준은 주로 아시아권(홍콩, 싱가포르, 중국)과 미국, 영국권으로 구분할 수 있다. 피난층의 개념을 먼저 도입한 홍콩, 싱가포르, 중국 등의 아시아권 국가는 피난층에 대한 재실자의 피난 공간 필요 면적 기준을 규정하고 각각의 수용범위나 설치 장소, 설비시설과의 겸용 등 자세한 규정을 수록하지만 미국과 영국에서는 건축주의 부담을 고려해 장애인 등 재해약자를 위한 피난 공간과 건축물의 일부를 피난 공간으로 활용함을 권장하고 있다.

피난층 또는 피난 공간의 형태는 크게 재실자가 체류할 수 있는 피난 층인 Refuge Floor와 화재 시 재실자들이 일시적으로 체류하게 되는 Holding Area로 구분한다.

중국 홍콩은 재실자가 체류할 수 있는 피난 층인 Refuge Floor 만을 인정하지만, 싱가포르는 재실자가 체류할 수 있는 피난 층을 Refuge Floor로, 화재 발생 시 재실자들이 일시적으로 체류하는 피난 층에 설치하는 공간을 Holding Area로 구분한다.

미국의 경우는 피난층의 설치를 강제하고 있지는 않지만, 피난이 곤란한 장애인을 위한 임시 공간으로의 피난구역(Refuge Area)의 설치를 규정하고 있으며, 장애인을 위한 넉넉한 공간의 배려하고 있다.

이를 토대로 크게 3가지 형태로 구분해볼 수 있다.

① 임시 피난안전구역 : 피난경로 상 설치되는 대피구역으로 Buffer Zone의 개념이다.
이 공간은 유입경로와 유출경로가 모두 연결되며, 두 경로는 구분되는 특징이 있다.
안전구역의 문제발생 시 유출경로로 소개가 가능하다.

② 보호 피난안전구역 : 피난경로와 연결되는 대피구역으로 Holding Area와 Shelter의 개념이 적용된다. 외부의 구조가 진행될 때까지 수용인원의 유출이 어려우므로, 적용 시스템의 성능과 신뢰성이 중요하다.

③ 장애인 피난안전구역 : 장애인과 고령자 모두 해당된다. 자력이동에 한계를 가지고 있는 대상을 위해 화재로부터 보호받으면서 외부의 구조가 용이한 지점을 선택하여 안전구역을 설정해야 한다. 장애인 본인과 동반인 정도의 수용이 가능한 면적과 시설이어야 한다.

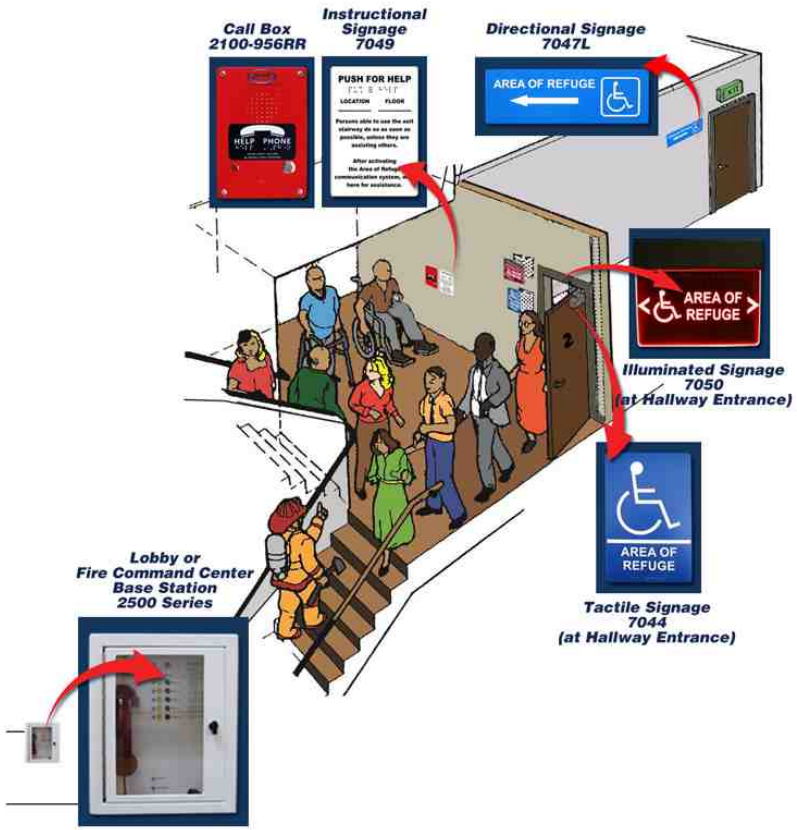


그림 2.7.1 계단실을 이용한 장애인의 피난 공간(Refuge Area)과 부속시설

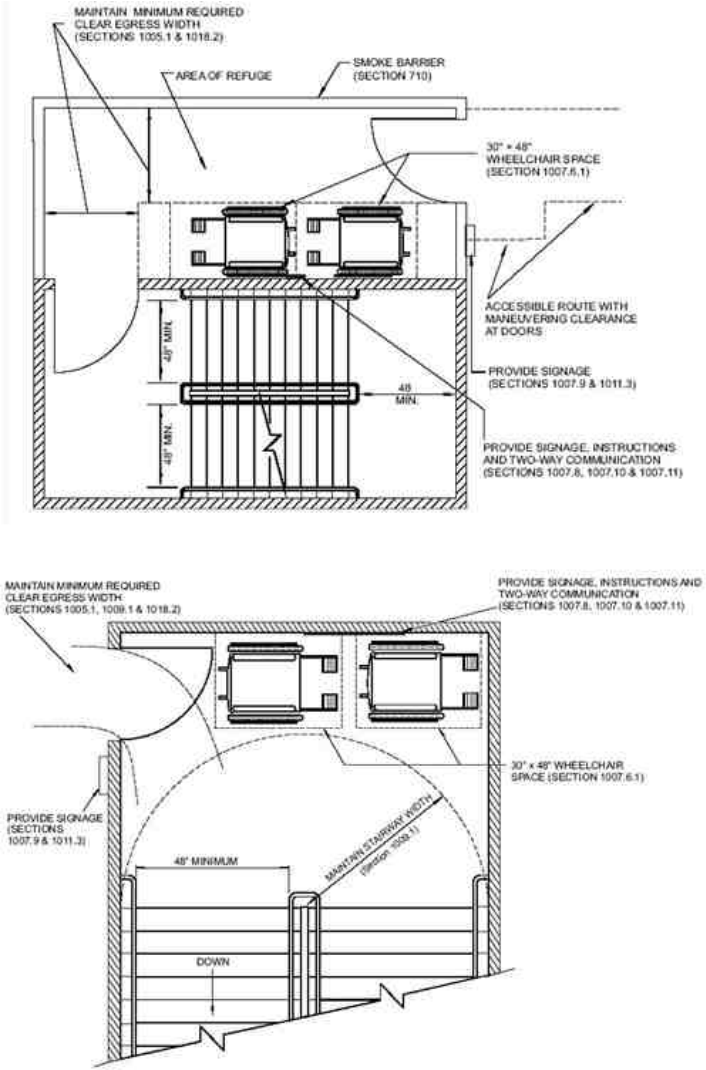


그림 2.7.2 계단실 내 장애인의 피난공간(Refuge Area) 위치 (IBC)

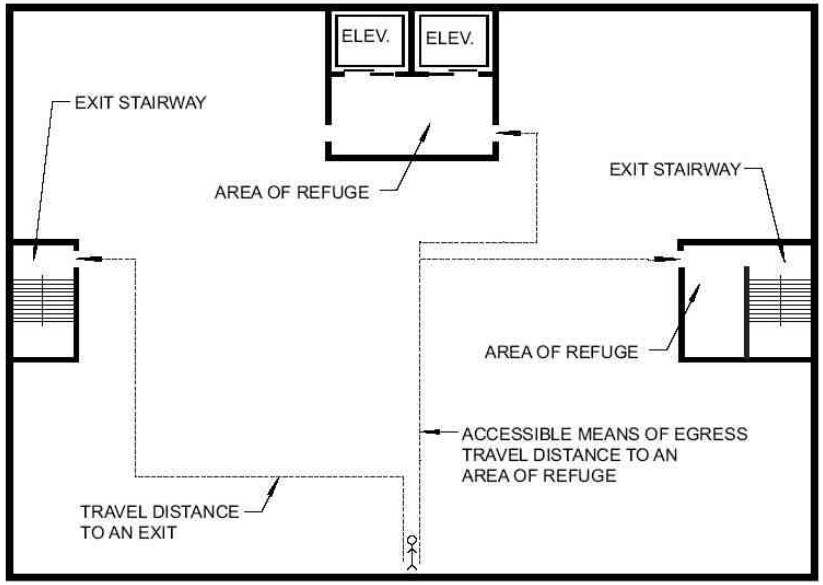


그림 2.7.3 장애인의 피난공간(Refuge Area) 형태 (IBC)

다. 안전구역의 제공기능과 필요조건

일반적인 피난안전구역의 전략과 문제점은 다음과 같다.

① 안전구역의 일차적 기능 :
- 화재발생시 대피 동선의 휴식 공간
- 화재진압을 위한 전진기지
- 대피를 보조하기 위한 구조인력의 지휘소 역할
- 재해약자의 구조 대기용 거처
- 자체 방화설비를 통한 화재확산의 제어

② 안전구역의 심리적 기능 :
- 대피경로의 거리적 시간적 부담경감
- 극심한 혼란 상태에서 휴식을 통한 피난자의 판단력 회복
- 대피층 및 대피공간에서의 구조인력과 의사소통을 통한 피난통제력 확보

③ 대피층 및 대피공간의 문제점 :
- 임대공간의 축소로 인한 경제적 문제

- 대피층과 대피공간의 실효성있는 유지관리 어려움
- 무조건 탈출하려고만 하는 재해시 피난행태 상의 대피공간내 불안감

위와 같은 위험들로 인해 이를 해결하기 위한 조치들이 있어야 하며, 이는 피난안전구역의 설치와 구현이 매우 중요하다 할 수 있다. 지하역사 또는 터널 등에서 화재 시 대규모 인원이 피난을 수행할 때 수직이동경로가 갖추어야 할 조건은 다음과 같다.

① 연기가 수직이동경로 내부로 침입하지 못하도록 필요한 조치가 있어야 한다.

② 이동경로의 중요 장소에 임시 보호공간 즉 피난안전구역을 설치하여, 첫째 노약자와 장애인이 구조받을 때까지 보호받을 수 있는 장소를 제공해야한다.

③ 또한 체력적으로 신속한 상향이동이 어려워지는 지점을 선택하여, 임시적 보호받을 수 있는 피난안전구역을 설치해야한다.

④ 터널의 경우 구조에 장시간이 소요될 우려가 높으므로 이에 대한 대비를 해야한다.

라. 지하역사 안전구역의 설치 및 적용을 위한 인간거동 영향 평가

(1) 대피구역에 대한 공공의 인식

MacConnel과 Boyce는 건물 내의 대피구역에 대한 그들의 인지를 결정하는 데 여러 가지 경화증상(硬化症狀)이 있는 점유자 300명을 조사하였다]. 이동장애가 있는 개인들은 화재로부터 대피 시에 대피구역 사용이 예상됨으로 이 표본 집단은 적절했다. 많은 조치요원은 대피구역 사용방법을 알지 못했고, 그것의 사용을 안락하게 느끼지 않았으며, 대피구역을 사용할 필요가 없는 사람(예를 들면, 보행 가능한 환자)과 동일한 정도로 다음과 같이 안전하다고 느끼지 못했다. - 표본 집단의 거의 80%가 재실에 대한 사실이 인지되지 못함
- 65%는 혼자 방치되는 것
- 50%는 대피구역에 대한 지식전무
- 35%는 대피구역을 사용하지 않을 것
- 60%는 10분 이상은 대피구역에 머물러 있지 않음

이것은 대피구역 사용을 기반으로 구축한 절차에는 여러 가지 어려움을 야기시켰을 것이다 - 대피구역 사용을 선택하지 않았다면, 이것이 다른 여러 탈출 경로에 미칠 수 있는 영향과 의도적 사용자 양쪽 모두의 경우에 어려움이 될 것이다. 이외에도, 그 집단은 대피구역에는 반드시 좌석을 마련해야 한다고 제안했고, 65%는 대피구역에 머물고 있는 동안에는 정보의 필요성을 강조했다. 이 저술에는 대피구역 사용을 제안하는 경우에 처리해야 하는 인식의 몇 가지가 기술되어 있다. 그러나 이 집단은 (장애가 있는 사람들) 반드시 대피구역을 사용해야 할 것이지만 다른 사람들은 안전장소로 대피했다는 것을 기억해야 한다. 이것은 대피구역에 대한 그들의 인식과 뒤에 그대로 방치된 때의 인식에 영향을 미쳤을 수 있다.

대피구역 설계, 새로운 기술사용 및 현상방지 전략에 대한 앞의 논의는 현재의 문제를 어느 정도 간파했다. 다음 섹션에서는 대피자 의사결정 과정을 논의하는데, 그렇게 하는 경우에는, 무엇이 있어야 대피절차 조치의 사용과 그들 인식에 영향을 끼칠 수 있는가를 좀 더 확실하게 이해해야 한다. 대피자에게 - 대피구역 사용과 같은 - 온건한 대피 절차를 사용하도록 설득하고자 한다면, 비상시나리오 실행 시에 그들이 선택하는 조치를 이용하여 온건한 대피 절차의 타당성을 강조하는 것이 바람직하다.

우리는 일정한 범위의 사고 유형과 구조물로부터의 대피 및 상이한 여러 집단이 관련된 대피에 대해서 검토했다. 이것이 대피 결과에 영향을 미치는 - 특히 개인의 의사결정 과정에 영향을 미치는 - 일련의 요소를 발생시켰다. 이것은 유용한 정보다 - 시나리오의 특색을 평가하고 절차를 설계하여 사고의 결과를 경감시키는 데에 유용하다. 대피자 행위를 관리하는 어려움을 간파하는 이들 요소를 간단히 기술하겠다. 다음에 비상 대피구역의 사용과 설계를 촉진시키는 대피절차 조치를 확인하는 기초로 요소를 사용한다.

(2) 안전구역 실용화를 위한 고려 사항

(가) 사고 전: 설계 - 가용설비 신청과 의도한 사용

○ 비상계획
- 안전구역의 사용이 익숙하지 않고 훈련 받지 않은 승객에게 가능한 한 직관적으로 인식되도록 어떻게 비상계획의 보장
- 직관적인 설계와 승객매입을 보장하도록 비상계획의 개발에 대중이 어떻게 참여

○ 설비의 위치
- 안전구역의 의식 및 친밀감을 증가시키기 위해 일반적 서비스는 어떻게 위치
- 승객이 안전구역의 존재/사용에 익숙하도록 고무시키기 위해 서비스는 어떻게 위치

○ 안전구역 위치
- 안전구역의 위치
- 안전구역은 도달하는데 필요한 거리를 줄이기 위해 어떻게 위치를 정해야 하나?
- 지하철 각 층에 또는 전체적으로 몇 개의 안전구역이 있어야 하나요? 각층에 있는 승객이 화재의 위치에 관계없이 안전구역에 접근할 수 있도록 안전구역으로 가는 충분한 수의 분리된/보호된 충분한 경로 또는 안전구역이 있는가?

○ 안전구역 설계
- 각 안전구역의 용량은 얼마 이어야 하나? 안전구역은 한 층의 승객, 역 등의 승객을 수용할 수 있을 만큼 충분히 큰가?
- 안락도 및 안전을 확보하기 위해 안전구역의 조건은 어떻게 유지되나; 예를 들면, 환기, 화재 유출로부터의 보호, 난방, 조명, 전원공급? 이러한 것은 비상상태가 아닐 때 그리고 비상 시나리오에서 어떻게 유지되나?
- 어떤 위생설비가 제공되나요
- 빈 공간으로 들어가는 화재유출을 방지하면서 사고 중에 안전구역으로 접근은 어떻게 유지되나요? 안전구역으로 출입은 항상 허용되나?

- 순회요원 또는 비 순회요원에 의해 사용될 것 같은 공간이 주어진다면, 안락도를 확보하기 위해 휠체어 공간은 어떻게 제공되어야 하나요?
- 이동 장애자를 위해 안전구역으로의 접근이 적당한가? 전체 집단의 요구에 적합시키기 위해 자신감을 북돋기 위해 안전구역은 어떻게 설계할 수 있나
- 비상시 독립적 동작을 보장하기 위하여 어떤 비상 전원 및 조명 시스템이 배치되어야 하나?
- 휴대용 급수장치는 어떻게 유지되어야 하나?
- 역무요원, 구조요원, 대피 거주자는 어떻게 통신합니까? 이러한 통신은 어떻게 감지장애에게 현상을 알려야 하나? (예 청각장애/시각장애 승객)
- 역 주변의 상황에 대한 정보를 어떻게 안전구역에 있는 사람에게 제공하나요?
- 사고 중에 얼마 동안 안전구역에 사람이 있을 것으로 예상하나?
- 각 안전구역은 몇 개의 접근 포인트가 있나요?
- 안전구역에는 어떤 의료 설비가 있나요? 요원은 승객 건강 관심사 및 사고 관련 부상에 관한 의료 훈련을 할 것입니까?
- 안전구역은 안전하고 튼튼한 구조일 거 같습니까? 구조체의 바깥에 있는 사람이 내부 상태가 튼튼하다는 것을 명확히 볼 수 있나요?

○ 화재 방지 조치
- 안전구역 및 주변 구역에서 어떠한 화재 방지 및 화재 진압 시스템이 가용합니까?
- 실제 경보 신호의 감지를 높이기 위해 어떻게 잘못된 경보를 감소시킬 수 있나요? 용이한 확인을 위해 모니터링 시스템을 허락하나요? 그리고 감지시스템의 유지보수로 거짓 판독을 감소할 것인가요?
- 공간의 화재방지를 손상시키지 않고 어떻게 승객이 안전구역에 접근할 수 있나요?

(나) 사고 전: 일상적 운영 - 비상계획의 채택을 고무시키기 위한 정상적으로 활용

○ 승객 교육/광고
- 대중이 비상계획, 특히 안전구역의 사용을 알도록 어떠한 광고, 교육 및 현장 출장 서비스 프로그램이 개발될 수 있나요?
- 교육과정을 확인하고 교육 진도 향상을 알리기 위하여 이런 교육의 영향 및 효용성이 어떻게 측정될 수 있나요?
- 대피 개념이 안전하고, 다른 가용의 방법보다안전하다고대중이어떻게확산할수있나요?

○ 요원 훈련
- 요원이 비상 계획과 안전구역의 사용에 대해 익숙해지도록 하기 위해 어떤 교육에 제안되었나요?
- 신뢰성을 높이기 위해 요원의 전문지식 및 훈련 어떻게 모니터하고 피드백할 것인가요?
- 안전구역에서 부상이 발생한다면 부상자를 돌보기 위하여 선정된 요원이 의료 훈련을 받을 것입니까?

○ 일상적 표시
- 안전구역으로의 경로는 일상적 운영상태에서 어떻게 표시할 것인가요?

- 일상적 운영상태에서 안전구역의 위치는 어떻게 표시할 것인가요?
- 이 표시는 안전구역의 잠재적인 이중 역할을 어떻게 나타낼 것인가(일상/비상 시나리오)?

○ 일상적 사용 공간
- 안전구역은 일상적, 비상상황이 아닐 때 운영 시 사용하고 있어야 하나? 이러한 공간의 일상적인 사용은 대피지에서 유래하는 화재사고의 가능성을 증가시키나?
- 안전구역의 일상적 사용은 공간 및 관련 시스템의 유지보수를 촉진하나?

○ 연습
- 대피는 어떻게 훈련/연습의 결과(성능)로 통합될 것인가?
- 역 운영에 영향을 주지 않고 요원의 경험을 높이기 위해 어떻게 훈련을 수행하고 평가할 것인가?
- 이러한 훈련의 경험이 대중에게 피드백될 수 있나?

(다) 대피 사용 전: 승객 평가 및 준비 - 최초 승객 조치 및 대상으로서 안전구역의 선택

○ 요원 활동
- 요원이 안전구역의 운영에 할당될 것인가? 만약 부재 시 이러한 요원에 대한 대체 인력은 선정될 것인가?
- 요원이 도착하기 전 어떤 안전구역은 운영가능한가? 요원이 안전구역에 접근할 수 없다면 어떤 일이 생기나?
- 만약 안전구역이 일상적 운영 시 사용 중이라면, 비상 관리에 할당된 요원은 일상적 운영에서 공간에 할당된 인원인가?
- 승객 기대치 및 안전구역 운영을 관리하기 위하여 요원은 사고 내내 안전구역에 남아 있을 것인가?
- 역으로 더 이상의 도착이 없고 재 진입이 없다는 것을 확인하기 위하여 요원은 역 주위를 관리할 것인가?
- 요원은 심각한 장애인이 안전구역으로 이동하도록 관리할 것인가?

○ 통지(반응에 대한 감소 시간)
- 사고의 전개에 대하여 집단은 어떻게 정보를 얻을 것인가?
- 이러한 정보는 언제 제공되나? 어느 요원의 확인 기간을 단축하기 위하여 모니터링 시스템은 적소에 있나?
- 어떤 정보가 제공되나? 그 정보는 정보의 출처를 포함하나? 사고의 설명(위치, 특징 및 심각도)?, 현재의 사고에 대한 비상 반응? 필요한 승객의 활동에 대한 안내? 누가 그 활동을 수행하고 핵심 출처의 위치?
- 누가 그 메시지를 전달하나? 어떻게 식별되나?
- 이 정보를 제공하기 위하여 어떠한 전달 모드가 사용될 것인가? 시각, 청각 등?
- 언제 어떻게 이 정보가 제공될 것인가?
- 일단 경보가 발령되면 비-비상 운영(예, 발권, 면허 등)은 불능화되나?

○ 비상 표시

- 비상운영 시 안전구역으로의 경로는 어떻게 표시되나? 일상적 표시에서 이것은 어떻게 바뀌나? 경로가 생존 가능한 경로로 확인되면 승객의 주의를 끌기 위해 어떤 조치가 이루어지나?
- 비상 경로의 손실은 어떻게 표시할 것인가?
- 적소의 비상 표시가 작동 중인가?: 즉 바뀌는 조건을 반영하기 위해 통제가능한가?

○ 데이터 편집 및 평가
- 지하의 상태에 대한 정보 및 승객의 반응은 안전관리자/비상조치요원에 의한 평가를 위해 어떻게 수집하고, 대조하고, 편집할 것인가?
- 이것은 센서들 그리고/또는 요원/승객 보고서에 의존적인가?
- 이 정보는 비상계획의 실행에 영향을 주기 위해 사용될 것인가?
- 얼마나 자주 이 정보는 업데이트 할 것인가?
- 사태를 끊임없이 인식하도록 역 주위의 요원과 이 정보를 어떻게 공유할 것인가?

○ 화재방지 조치의 운영
- 안전한 통로를 확보하기 위해 안전구역으로의 경로는 어떻게 보호되나?
- 어떠한 화재 방지 조치가 준비되나?
- 언제 이러한 조치가 활성화되나?

(라) 안전구역 사용 전: 승객 조치-한 곳의 안전구역에 도달하는데 사용된 경로의 안내

○ 요원 행동
- 안전구역으로의 접근 경로를 관리하기 위해 요원은 어떤 행동을 취할 수 있나?
- 비상계획에 따라 승객이 선정한 경로를 알기위해 요원은 어떤 행동을 취할 수 있나?

○ 통지
- 얼마나 자주 통지는 반복할 것인가?
- 현재 상황을 정확히 반영하기 위하여 정보는 어떻게 업데이트할 것인가?
- 정보는 안전구역 위치로 향하는 가용의 경로에 그리고 안전구역 자체에 제공될 것인가?

○ 비상 표시
- 비상 운영시 안전구역의 위치/존재/생존능력은 어떻게 표시될 것인가? 안전구역이 공지되었다는 것을 보장하도록 이 표시는 어떻게 경로 표시로부터 변경될 것인가? 어떻게 안전구역의 손실(예를 들어, 안전구역 또는 화재 배출로 손상되는 접근 경로에 의한)을 표시할 것인가?

○ 데이터 편집 및 평가
- 실행된 계획이 직면한 조건에 확실히 적합하도록 새로운 정보는 어떻게 사용될 것인가? 안전관리자는 실시간 정보 업데이트에 접근할 것인가?

○ 안전구역 접근
- 승객이 안전구역의 화재방지를 손상시키지 않고 확실히 입장할 수 있도록 안전구역으로의 접근 지점은 어떻게 관리할 것인가?
- 사고 내내 접근지점은 개방할 것인가? 또는 현지 요원이 접근지점을 관리할 것인가?

- 승객이 원하면 안전구역을 떠날 수 있는가?
- 승객의 도착, 출발은 어떻게 모니터할 것인가?
- 안전구역으로의 접근은 우선 순위가 있는가?

○ 사령실 활동
- 사령실은 비상계획에 어떤 영향력이 있는가? 사령실은 새로운 정보의 제공에 어떻게 반응할 것인가?
- 접근 경로/안전구역이 확실히 과부하 걸리지 않도록 사령실은 접근경로/안전구역의 사용을 모니터 할 것인가? 상황이 변한다면 사령실은 표시/요원 행동을 원거리에서 조작할 수 있나? 예를 들어, 안전구역 한 곳이 손실됨, 안전구역 한 곳이 손실됨 등.

(마) 안전구역 사용 후: 안전구역의 승객

○ 통신
- 안전구역의 상황을 어떻게 모니터하고 안전 관리자와 비상조치 요원에게 어떻게 연락할 것인가?
- 안전구역의 요원은 사령실과 상시 연락상태에 있나?
- 비상조치는 자주 업데이트 할 것인가?
- 안전구역 요원/승객은 사령실 그리고/혹은 비상조치 요원과 직접 연락하나?
- 안전구역에 접근하는 인원의 인원수 및 신원을 어떻게 모니터 할 것인가?
- 어떤 정보를 안전구역에 있는 인원에게 제공할 것인가?
  · 비상조치 요원의 현재 행동
  · 사고의 상태
  · 비상조치 요원의 도착 전 시간
  · 다른 안전구역 위치 상태
  · 그 안전구역의 위치 상태
- 얼마나 자주 이런 정보를 제공할 것인가? 누가 제공할 것인가?
- 정보를 제공하는 사람에게 시각적으로 접근할 것인가(예, 스크린)?

○ 비상조치 요원 접근
- 비상조치 요원이 역에 도착하는 것을 기록하고 안전구역에 있는 인원과 공유할 것인가? 그 진행사항을 안전구역에 있는 인원에게 피드백할 것인가?
- 안전구역 확보 및 안전구역으로 가는 경로를 확보하는 것이 단독 임무인 조치요원이 있나?
- 조치요원이 비상계획, 안전구역 위치, 접근 경로, 안전구역/경로의 현재 상태에 대하여 상세하게 이해하고 있나?

○ 경로를 확보하는 비상조치 요원
- 안전구역에 있는 인원을 지면에서 소개하려면 어떤 상황이 충분히 안전하다고 생각하는가?

○ 사고를 전파하는 비상조치 요원

- 비상조치 요원은 승객의 이동 및 위치에 대하여 알고 있는가? 예를 들어, 화재를 전파하는 사람이 그 주변에 있는 승객의 이동을 알고 있나?

○ 안전구역의 요원 관리
- 어떤 안전구역을 포기하기 위하여 어떤 기준이 사용되나?
- 안전구역 요원은 어떻게 안전구역에 있는 인원이 안전구역을 떠나는 것을 멈추게 할 것인가?
- 안전구역 요원은 보다 정보화된 판단을 위하여 사령실 정보에 접근할 것인가?

○ 사령실 활동
- 안전구역에 있는 사람이 사령실과 직접 대화할 수 있나?
- 사령실은 손상된 대피지역 말 할 수 있나? 사령실은 무엇을 하나?

(바) 안전구역 사용 후: 비상 조치-안전구역에서 승객을 쉽게 소개하는 것

○ 지면으로 이동
- 일단 사고가 났다고 전달되면 안전구역에 있는 사람이 안전구역으로부터 이동하도록 무엇이 계획된 절차적 수단인가?
- 몇몇 안전구역에 있는 사람이 이동 장애자이거나 부상자이면 어떻게 그들을 지면으로 이동할 것인가?

3. 안전구역 구축의 목적 설정과 용어 정의

가. 안전구역의 구축 목적 설정

- 피난안전구역은 화재발생 시 승객들을 안전하게 대피하여 보호받을 수 있는 공간을 제공하는데 그 설치의 목적이 있다.
- 피난안전구역 구축의 세부적인 목적은 다음과 같다.

① 화재발생시 대피동선의 휴식공간
② 화재진압을 위한 전진기지
③ 대피를 보조하기 위한 구조인력의 지휘소 역할
④ 교통약자의 구조 대기용 거처
⑤ 자체 방화설비를 통한 화재확산의 제어

나. 관련 용어의 설정

기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

① “피난안전구역”이란 화재로 인한 위험으로부터 피난인을 보호하기 위해 본 기준에서 제시된 사항을 적용한
대피공간을 말한다. 피난안전구역은 임시안전구역과 보호안전구역을 포함한다.

② “임시안전구역”이란 피난경로 상 설치되어 임시적으로 피난인을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 임시안전구역은 위험예상지역으로부터 유입되는 경로와 외부로 유출되는 경로와 모두 접해야 한다. 단 두 경로는 별도로 구획되어 상호 연기와 열이 이동하지 않는 구조로 되어야 한다. 임시안전구역은 Buffer Zone 개념이 된다.

③ “보호안전구역”이란 외부로 부터의 구조가 진행될 때까지 피난인들을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 보호안전구역은 피난경로와 접해있어야 한다. 보호안전구역은 Shelter 의 개념이 된다.

④ 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 제1항에서 규정하는 것을 제외하고는 「건축법」, 「건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙」, 「소방기본법」, 「소방시설 공사업법」, 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 등이 정하는 바에 따른다.

4. 안전구역 설치 대상 및 위치

가. 안전구역 설치 대상

① 본 설치 기준은 지하 40m 이하 또는 이에 준한다고 판단되거나 상부로의 피난에 큰 지장이 있을 것으로 판단되는 지하 역사를 대상으로 한다. 이는 대심도 지하철 역사의 일반적으로 알려진 기준이다. 현재 부산 만덕역의 경우 지하 9층, 76m의 심도를 가지고 있으며, GTX 등 대심도로 운행할 지하철의 건설 등이 예정되고 있다.

② 터널은 그 자체로 연기가 배출될 수 없는 구조이며, 이에 부속되어있는 연직갱과 경사갱 등이 외부로 피난할 수 있는 유일한 수단이 된다. 물론 이 또한 설치된 경우에 한해서이다.
터널에서의 설치는 보행거리를 기준으로 볼 때, 터널 내부, 연직갱 내부, 경사갱 내부 등이라 할 수 있는 데, 터널 내부와 경사갱 내부는 보호안전구역으로 설치될 수밖에 없다. 연직갱의 경우는 계단이 설치되어있는 데 연직갱의 입구 부분이나 연직갱 계단으로의 이동 경로 중간에 설치하는 방법이 있다.
터널에서의 안전시설에 대한 설치는 현재 안전성 분석결과에 의하므로, 터널 내부에 피난안전구역을 설치하도록 판단되거나, 터널에서 지상으로의 연직갱이 설치되는 경우에 대해 적용한다.

③ 지하역사와 터널의 피난안전구역의 형태는 임시안전구역과 보호안전구역의 형태 중 임시안전구역의 설치를 우선으로 한다. 임시안전구역은 구역 내부로 연기가 침투해 올 경우 지상으로 연결된 계단을 이용해 피난할 수 있다. 그러나 보호안전구역은 외부의 구조가 올 때까지 내부에 있어야 한다. 그러므로 임시안전구역이 더욱 안전하지만, 설치가 부득이하게 어려운 경우 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 보호안전구역을 설치한다. 터널의 내부와 경사 갱 등 외부로의 계단이나 기타 이송경로를 확보하기 어려운 경우는 보호안전구역을 설치한다.

나. 피난안전구역의 설치 위치

본 기준에 의해 설치되는 피난안전구역(이하 안전구역)의 위치는 다음에 의해 결정된다.

(1) 지하역사의 안전구역 위치는 다음에 의한다.

① 지하역사의 안전구역 위치는 교통약자의 접근성, 일반인들의 수직 피난 시 체력저하 예상지점, 또는 예상되는 화재로부터의 연기의 이동속도를 고려, 피난인들이 노출될 수 있는 지점 등의 항목을 검토해야한다. 이를 위한 화재위험도평가를 실시하고 그 결과를 반영할 수 있다. 이와 함께 본 과제에서 개발 중인 “피난안전구역 최적위치 선정 프로그램”에 의해 산정될 수 있다.

② 지하역사 승강장으로부터 지상까지 수직 피난계단이 있을 경우, 계단의 수용능력을 고려하여, 임시안전구역을 설치한다. 단, 수직피난계단은 「건축물의 피난・방화구조 등의 기준에 관

한 규칙」 제9조의 특별피난계단과 동일한 조건을 가진다.

③ 승강장으로부터 지상까지의 수직피난계단의 신설이 어려운 경우 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 피난경로와 연결된 위치에 보호안전구역을 설치할 수 있다.

④ 교통약자를 위한 전용안전구역을 승강장에 설치하는 경우에는 안전구역의 위치선정에 교통약자의 접근성을 고려하지 않을 수 있다.

(2) 터널의 피난안전구역 위치는 다음에 의한다.

① 터널의 안전구역은 안전성평가에 의해 결정된 터널 내 지정 위치에 설치한다.

② 안전구역은 정차 위치에서 일반적인 걷기 보행속도로 시간에 도달할 수 있는 위치로 한다.
안전구역까지의 거리(m) = 보행속도(V m/s) X 이동가능시간(s)

보행속도는 「도시철도 정거장 및 환승 편의시설 설계 지침」을 참고한다. 지침의 3.6.5.2 정거장내 열차화재 (2) 2) 대피시간 산정 표 2.7.4 대피요소별 승객이동속도에서는 수평 이동요소에 대해 1 m/s의 대피속도를 적용하도록 하고 있다. 또한 안전구역까지의 이동가능시간에 대한 설정은 화재위험도평가를 기준으로 한다.

5. 피난안전구역 시설

가. 안전구역과 겸용할 수 있는 용도

안전구역은 타 용도와 겸용할 수 있다. 만약 안전구역을 전용으로 하는 경우 많은 면적의 유휴공간이 생기게 되며, 이에 대한 건설비용 또는 유지관리 비용 등은 경영 입장에서는 손실로 보일 수도 있다. 그러므로 화재하중이 낮은 용도로서 조건을 갖추게 되면, 안전구역과 겸용을 허용할 수 있으며, 피난경로 상 바로 인접된 공간들을 안전구역으로 활용할 수 있어 효율적인 면에서 우수하다 할 수 있다.

겸용할 수 있는 타 용도란 사무실, 창고, 기계실, 전기실 등이며, 화재하중이 높고, 화재성장이 신속한 가연물들을 보관하는 장소는 제외한다. 즉 유류 등을 보관하거나, 화재시 화재성장속도가 높은 다량의 가연물을 보관하는 장소 등은 제외해야한다.

나. 피난안전구역의 구조

본 기준에 의해 설치되는 안전구역의 구조에 대한 기준은 다음을 고려하여 설정하였다.

- 「건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제8조의2
- 「초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법, 시행령, 시행규칙」

① 안전구역의 내화구조로 해야한다. 또한 내부 마감재료는 불연재료로 해야한다.
또한 안전구역의 윗층과 아래층, 그리고 인접 공간에서 화재발생가능성이 있을 경우, 그로 인한 열전도로 안전구역내 인명 피해 및 발화위험성이 없도록 조치해야한다.

② 안전구역은 공조설비 및 제연설비, 별도의 급기장치, 그리고 출입문을 제외하고는 외부로부터 연기가 침투할 수 없는 방화구획을 해야 한다. 또한 공조설비와 제연설비 및 별도의 급기장치가 설치된 경우 수동으로 연기유입을 차단할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

③ 안전구역의 출입문은 특별피난계단과 동일한 성능의 전실을 갖추거나 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비에 의해 보호되어야 한다. 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비란 별도로 구성된 위원회에 의해 연기의 침투를 방지할 수 있는 것으로 판명된 것을 말한다.

④ 휠체어의 접근이 가능한 경우 문의 폭은 0.91m 이상이 되어야 한다. 단, 승강장 또는 대규모 인원을 수용하기 위한 목적의 공간과 접해있는 경우, 분석에 의해 문의 폭을 증가해야한다. 휠체어 기준은 미국 NFPA 101 Life Safety code를 인용하였다.

⑤ 피난안전구역은 승강기실 및 기타 수직관통구획부와 직접 연결될 수 없다.

다. 피난안전구역의 면적

본 기준에 의해 설치되는 안전구역의 면적은 다음과 같다. 구조시간이란 화재발생 후 소방구조대원들의 진입 및 이송이 가능한 시점을 의미한다. 이 시간이 짧으면 서서 구조를 기다릴 수도 있지만, 긴 경우 여분의 공간이 필요하다. 구조시간에 따른 면적설정에서 재실인원의 체력적 한계와 기타 상황을 고려하여 0.28㎡의 면적기준을 적용하는 단기시설과 0.82㎡를 적용하는 장기시설로 구분해야 할 것이다. 다만 이 시간에 대해서는 차후 보완적인 연구가 필요하다. 미국 FEMA(.2006), RMS453, Safe Rooms and Shelters를 보면, 화생방 테러의 인적 재난이나 토네이도 같은 자연재난에 대피하는 단기 건물 내 대피시설(SIP)의 소요기준을 차이 없이 동일하게 0.89㎡/1인을 적용하고 있고 유럽의 스웨덴도 0.95㎡/1인으로 적용하고 있다. 한국은 1평(3.3㎡)/4인을 기준하는 것이 제안되었으며, 이는 0.82㎡로서 국외기준과 큰 차이가 없어 적용 가능할 것으로 생각된다. 휠체어 면적은 미국 NFPA 101 Life Safety code를 기준으로 하였다.

① 단기시설
(일반인 X 0.28㎡) + (휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

② 장기시설
(일반인 X 0.82㎡) + (휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

라. 피난안전구역 수용인원 결정

(1) 지하역사 피난안전구역의 수용인원은 다음에 의해 결정된다.

① 승강장의 피난대상 인원은 첨두시간 승차인원과 승강장 잔류인원을 기준으로 한다. 단, 승강장에서 지상으로의 피난경로에서 승강장과 피난안전구역 사이 구간에 피난인이 유입되는 공간이 있을 경우 유입인원을 포함한다.

② 승강장 이외 피난대상인원은 면적별 거주밀도를 기준으로 계산한다.

③ 총 피난대상인원에서 수용인원의 비율은 별도로 구성된 위원회에 의해 결정한다.

④ 총 대상인원에서 교통약자의 비율은 국가 인구통계를 기준으로 산정하며, 산정된 인원은 모두 총 수용인원에 포함한다. 인구 통계에서 65세 또는 그 이상의 고령자 비율과 장애인 비율을 확보하여 총 대상인원을 기준으로 산정한다. 선택에 따라서는 20년후 인구변화 추이 등을 참고할 수 도 있다.

(2) 터널 피난안전구역 수용인원은 다음에 의해 결정된다.

① 터널 피난안전구역의 수용인원은 터널을 통과하는 대상차량(이하 대상차량)의 최대 편성에 좌석 수 및 수용 가능 입석 인원수를 기준으로 한다. 단 정책적으로 입석을 불가하는 경우 입석은 제외할 수 있다.

② 교통약자의 비율은 수용인원 중 국가 인구통계를 기준으로 산정한다. 단, 대상차량의 장애인 좌석 수 이상으로 한다. 즉 교통약자 중 고령자는 인구통계 등을 기준으로 할 수 있지만, 탈 수 있는 장애인의 숫자는 장애인 좌석 수에 의하므로 이에 대한 현실적 고려가 필요하다. KOSIS 국가통계포털의 2010년 국가 인구통계 조사에서 전국의 65세 이상 고령자는 11.3%를 차지하는 것으로 나타나고 있다. 또는 승객의 대한 별도의 조사결과와 통계가 있는 경우 이를 사용하여 고령자의 비율을 결정할 수 있다.

표 2.7.2 수도권의 30m 이하 심도의 역사

범위	구분	인구수
전국	총 인구	47,990,761
	65세 이상	5,424,667

마. 필요시설

안전구역에 설치되는 시설은 대체로 유사하지만 특징적으로 추가되거나 설치하지 않아도 되는 것들이 있다.

(1) 지하역사에 설치되는 임시안전구역

① 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비

안전구역의 연기방어를 위해서는 문을 통해 유입되는 연기를 방어해야한다. 단일 문의 경우 연기에 대한 방어가 가능하다 해도 피난인들이 열거나 또는 문에 끼이는 경우 문이 열려 연기가 유입되므로 이러한 전실기능 또는 에어록 기능의 시설은 필수적이다. 여기서 연기의 유입방지는 기존 가압식 방연의 기준이 있지만, 실제 연기유입의 방지에서는 압력보다는 방연풍속이 더 중요하므로 연기유입방지를 위한 실제 실험의 결과로 증명된 기술이 있을 경우 이를 응용한 시설의 설치도 가능하다고 할 수 있다.

② 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함).

통신은 화재로부터 보호 될 수 있는 통신선에 의해 연결해야한다. 무선통신보조설비는 소방관들의 진압 및 구조작전을 위해 설치할 필요가 있다.

③ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수

식수는 상시 산정하여 확보해 놓거나 정화되어 음용이 가능한 전용 급수시설의 설치 등을 생각해볼 수 있다.

④ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등

외부 전력 차단 시 사용할 수 있는 조명설비가 필요하다. 다만 밀폐구조이므로 자가 발전장치 등은 사용할 수 없다.



그림 2.7.4 Refuge Area 설치 통신 시스템과 장애인 사용모습



그림 2.7.5 간이 위생용품이 포함된 비상용품과 비상조명등



그림 2.7.6 Refuge Area 설치 통신 시스템

⑤ 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비

내부에서의 화재발생이나 외부화재에 대한 대응으로 소방시설이 필요할 수 있다.

다만, 스프링클러의 설치는 검토가 필요하다. 평시 겸용공간으로서 스프링클러가 설치되어있는 경우는 무방하지만, 전용공간으로 할시 실내에 자동화재설비, 특히 스프링클러로 제어할 화재가 안전구역 내부에서 발생할 확률은 검토해볼 필요가 있다.

⑥ 자동화재탐지설비 (화재감지기)

자동화재탐지설비의 설치는 외부에서 안전구획의 상태를 파악하는 데에도 필요하다.

⑦ 방독면, 인공소생기 등

방독면이나 인공소생기 등은 이동과 구급에 필요한 물품이 필요하다.

⑧ 기타 필요하다 판단되는 시설

다른 형태의 안전구역에 설치해야 하는 것들을 참고할 수 있다.

(2) 지하역사에 설치되는 보호안전구역은 다음 시설을 설치한다.

① 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)

보호안전구역은 일단 내부에 들어갈 경우 외부와의 기류가 차단되는 폐쇄형 구조이다. 이러한 구조에서는 실내 인원들에 의한 산소소모와 이산화탄소의 배출이 일어난다. 특히 이산화탄소의 배출은 문제를 발생 시킬 수 도 있다.



그림 2.7.7 간이 방독면과 현재 비치되고 있는 화재용 방독면

표 2.7.3 공기공급 시 고려해야할 사항

공기공급 시 고려해야할 사항

표 2.7.4. 대피시설의 환기량

구 분	체적	환기량	이산화탄소 농도
내 용	$65ft^3$	15cfm(최소 5cfm)	0.25% 이하

ASHRAE(American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers)에 따르면 대피시설에 체류하는 인원에 대해 $65ft^3$의 체적을 제공할 것을 권고하고 있으며, 앉은 자세로 활동하는 인원을 위해 5cfm의 공기를 공급하고, 이산화탄소(CO_2)의 농도 수준을 0.25%이하로 유지할 것을 명시하고 있다. 물론 신체건강한 사람의 경우 0.5%의 이산화탄소 농도에서도 이상 증상을 보이지는 않으며, 핵 잠수함 운영 시 경우에 따라 1%의 이산화탄소 농도 수준을 유지하기도 한다. 하지만 안전요소를 최대화하기 위해 0.25%의 수준을 유지하는 것이 필요하다고 권고하고 있다. 체적 및 체류인원 수에 따라 이산화탄소 량이 비례적으로 증가할 것이고, 일정 수준 이상의 이산화탄소는 체류인원에게 심각한 영향을 미칠

수 있다.

NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)는 이산화탄소 기준치를 최대 10시간 동안 10,000ppm을 초과하지 않는 것을 권고하고 있으며, 10분 동안 기밀된 장소에서 이산화탄소 수치가 30,000ppm을 넘어서는 안된다고 명시하고 있다. 이에 UFC 4-024-01에서는 8~10시간 동안 대피시설에 사람이 있을 경우 이산화탄소 수준을 점검하여 20,000ppm시 경보를 울리도록 권하고 있으며, 이 경우 대피소의 이전을 고려할 것을 기술하고 있다. 이산화탄소의 농도는 외부공기교환이 있을 경우 천천히 증가하지만, 기밀된 대피시설에서는 공기교환이 최소화되어 체류 인구밀도에 따라 상대적으로 증가한다. 따라서 기밀형 대피시설을 설계할 경우에는 대피시설의 규모, 공기교환율, 체류인원 등을 감안한 이산화탄소 농도를 반드시 고려하여야 한다. 다음은 이산화탄소 농도를 구하는 공식이다.

$$C(t) = 15{,}500P(t) / V+330$$

· C(t) = 이산화탄소 농도(ppm), (t) 대피시설 체류시간
· P = 대피시설 내 체류인원(가정사항 : 서 있거나 약한 사무일을 할 경우)
· t = 대피시설 내 체류자의 거주 시간(분)
· V = 대피시설의 체적(ft3)

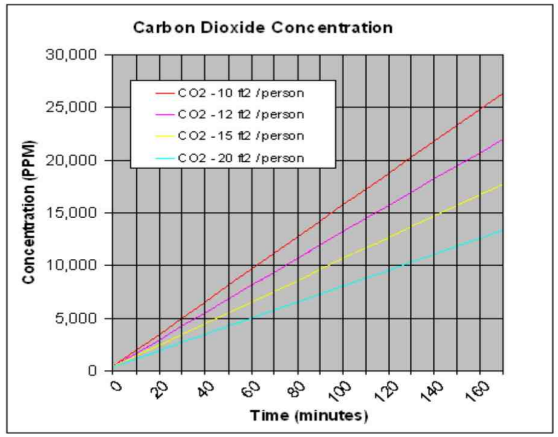


그림 2.7.8 대피시설에서의 이산화탄소 증가추이

위 공식에 따라 대피시설 내 체류인구 밀도 10·12·15·20ft2/1인, 공기교환율이 없고, 천정높이가 10ft 조건일 때 이산화탄소 농도 증가 추이를 그래프로 나타낸 것이다. 위 그래프를 다시 정리하면, 1명의 인원이 100ft3(약 9.2m2, 2.8평)의 체적에서 이산화탄소 누적 농도 10,000ppm에 이르는 시간은 63분이며, 20,000ppm에 이르는 시간은 127분이므로, 127분 이후에는 30,000ppm에 도달 이전에 타 대피시설 또는 외부로의 대피를 준비해야 한다는 것이다.

② 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
③ 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
④ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
⑤ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
⑥ 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비
⑦ 자동화재탐지설비 (화재감지기)
⑧ 방독면, 인공소생기 등
⑨ 이산화탄소 경보기

이산화탄소 경보기는 실내 이산화탄소 농도의 증감을 센싱하여 기준농도 이상이 되었을 경우 경보를 울려주게 된다. 이러한 경우 환기시설의 사용이나 산소 및 타 가스의 배출 등으로 농도를 하강시킬 시스템을 가동해야 한다.

⑩ 기타 필요하다 판단되는 시설



그림 2.7.9 장애인의 피난공간(Refuge Area) 형태(IBC)

(3) 터널 내 설치되는 임시안전구역

① 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
② 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
③ 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)

④ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
⑤ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
⑥ 자동화재탐지설비 (화재감지기)
⑦ 방독면, 인공소생기 등
⑧ 기타 필요하다 판단되는 시설

(4) 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 이하 구역

① 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
② 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
③ 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
④ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
⑤ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
⑥ 자동화재탐지설비 (화재감지기)
⑦ 방독면, 인공소생기 등
⑧ 이산화탄소 농도 경보기
⑨ 기타 필요하다 판단되는 시설

(5) 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 이상 구역

① 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
② 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
③ 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
④ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
⑤ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
⑥ 자동화재탐지설비 (화재감지기)
⑦ 방독면, 인공소생기 등
⑧ 이산화탄소 농도 경보기
⑨ 위생시설

다수의 인원이 장시간 체류하게 되는 경우 기본적인 위생시설이 필요하다. 용변 등의 처리를 위한 시설은 특별히 별도의 시설을 하기보다는 간이형으로 비치하는 것도 방법이다. 또한 기본 물자 등도 같이 비치하는 것이 좋다.

⑩ 기타 필요하다 판단되는 시설

바. 터널 수직구 및 구난대피소 적용방안 수립

(1) 터널 수직구 및 구난대피소의 문제점과 대안

터널 수직구와 사갱은 공사를 위해 설치하는 것으로 현장접근로로 활용을 목적으로 설치한다. 터널의 완공 이후 터널 수직구와 사갱은 평시 터널의 접근로로서 기능을 수행 하며, 비상시에는 피난로로서 역할을 하도록 하고 있다.

이들을 대피통로로 사용하는 경우 철도 기준 및 각 터널 방재기준에서는 표 7.1.1.에 정리하였다. 이 내용을 보면 터널 수직구의 경우 외부에서는 열 수 없고 내부에서는 용이하게 열 수 있는 구조로 하도록 되어있으며, 내부계단은 1.2m로 되어있다.

구난대피소의 경우 사갱 및 수직갱의 설치가 곤란한 경우에 설치하며, 면적은 200㎡ 이상, 외부의 신선한 공기 공급시설 설치하도록 하고 있다. 구난 대피소의 최소 100 ㎥/min 이상 신선공기 공급하도록 하고 있으며, 공급배관은 직경 75 mm 이상, 스테인레스강관 사용을 사용하도록 하고 있다. 각 문은 방연문 또는 방연셔터 등이 있고, 이는 구난대피소, 수직갱, 수직구 등과 터널의 연결부에 설치하도록 하고 있다.

이들 시설은 많은 검토를 통해 설계되고 설치된 것으로 그 타당성은 어느 정도 확보되었다고 해도 무방하다. 그런데 몇 가지 보완해야 할 점들이 있다.

먼저 피난계단에 대한 부분이다. 현재 설치된 터널 수직구의 피난계단은 실제 피난계단이기는 하나 화재 시 보호받기에 충분하다고 하기 어렵다. 보통 터널과 같은 중요시설이면, 특별피난계단의 구조를 갖추는 것이 타당하지만, 계단실과 부속실을 갖추고, 급기 가압을 통한 연기침투 방지의 조치가 있어야 하나, 현 수직구에서는 이러한 조치가 있다고 판단하기 힘들다.

또한 구난 대피소 및 수직구 입구에 설치되는 방연문은 단일 문으로서 방연 성능은 시험을 통해 증명되었을 것으로 판단되지만, 만일의 경우 피난인들로 인해 문이 열린 상황이 유지되거나, 문이 고장일 경우에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다. 이러한 방연문들은 부속실 개념의 에어록과 같은 공간을 설치하면 Fail Safe 개념의 2중의 안전성이 확보되어 화재 발생 시 인명 피해 감소에 확실한 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2.7.5 각 철도 기준의 피난관련 시설 내용

방재시설	철도시설 안전기준에 관한 규칙 및 철도 시설 안전 세부기준	고속철도 터널 방재기준	
		호남선	경부선
대피통로 출구문 개폐장치	•대피통로 출구부에는 비인가자 출입 제한 개폐장치 설치 •내부에서 용이하게 열 수 있는 구조	•대피통로 출구부에는 비인가자 출입 제한 개폐장치 설치 •내부에서 용이하게 열 수 있는 구조	•대피통로 출구부에는 비인가자 출입 제한 개폐장치 설치 •내부에서 용이하게 열 수 있는 구조
피난계단	•수직터널 내부에 폭 1.2 m 이상 •안전난간 설치	•수직갱 내부에 폭 1.2 m 이상 설치 •난간 설치	•수직터널 내부에 폭 1.2 m 이상 설치 •난간 설치
방재 구난지역	•연장 1 km 이상 터널 출입구, 경사터널, 수직터널 출구에 설치 •면적 400 ㎡ 이상 •소화수조 40 ㎥ 이상	•연장 1 km 이상 터널의 입출구부, 사갱·수직갱 진입부에 설치 •유지보수용 주차장(400 ㎡) 활용 •소화수조(40 ㎥) 설치	•연장 2.5km 이상 터널 입출구부, 경사터널/수직 터널 진입부 구조공간 400㎡이상 확보 •본선과 대피통로 접속부에 30㎡이상의 구조지휘공간 확보 •구조지휘공간에는 콘센트,조명,전화통신 설치
구난 대피소		• 구난대피소는 사갱·수직갱 설치 곤란한 경우에만 제한적으로 설치, 면적 200 m2 이상, 신선공기공급시설, 제연설비, 비상전화, 유도표지판, 행동요령 등 설치	•효율적인 대피거리 확보를 위해 터널 입출구· 대피통로에서 1 km 이상, 대피소간 이격거리는 0.5km 이상으로 설치 •대피소 면적은 200㎡ 이상, 외부의 신선한 공기 공급시설 설치
제연설비	•방연문은 차단구역 내부에 설치 •불연재로 내화성능, 기밀성 확보 •열차 풍압에 의한 구조적 안전성 확보	•연장 1 km 이상 터널에 안전성 분석 결과에 따라 설치 •제연커튼의 유효높이는 60 cm 이상, 최소 2.1 m 이상 높이에 설치 •방연문·방연셔터는 내화성능 유지, 기밀성 유지	•제연커튼은 대피통로나 안전지대 입구부에 설치 •방연문은 대피통로 접속부에 설치 •방연셔터는 대피통로 접속부에 차량용으로 설치
배연설비	•본선터널 안에서 유독가스의 배출방향·속도 제어하여 터널 밖으로 배출 •안전성 분석 결과에 따라 설치 •열차 풍압에 의한 구조적 안전성 및 성능 확보 •배출가스 영향을 받는 부분은 250℃에서 1시간 이상 정상기능 유지	•연장 1 km 이상 터널에 안전성 분석 결과에 따라 설치 •본선터널 또는 대피통로 접속부에 설치	•대피통로 간격이 2.5km를 초과하여 대피에 소요되는 시간이 길어 안전성 확보가 어렵다고 판단되는 경우 대피통로 접속부에 설치
환기설비	–	•터널내의 공기청정수준을 유지하기 위한 설비 •배연기능 겸용 가능하도록 구축	
신선공기 공급시설	–	•구난대피소에 최소 100 ㎥/min 이상 신선공기 공급 •공급배관은 직경 75 mm 이상, 스테인레스강관 사용	•구난대피소에 최소 100 ㎥/min 이상 신선공기 공급 •공급배관은 직경 75 mm 이상, 스테인레스강관 사용

(2) 터널 현장 조사

(가) 금정터널 방문조사

금정터널은 총 길이는 20.3km이고 폭은 14.2m이며, 서울기준 시점은 금정구 노포동(금정 남산), 종점부는 부산진구 수정동(부산진 수정)이다. 현재 국내에서 가장 긴 터널이며, 본 과제를 위해 현장 조사를 수행하였다. 현재 금정터널은 2개소의 사갱과 4개소의 수직구, 그리고 구난대피소 4개소가 설치되어있다. 부산소방서의 점검결과를 보면 사갱과 수직구에 제연설비가 없는 점이 지적되고 있다.

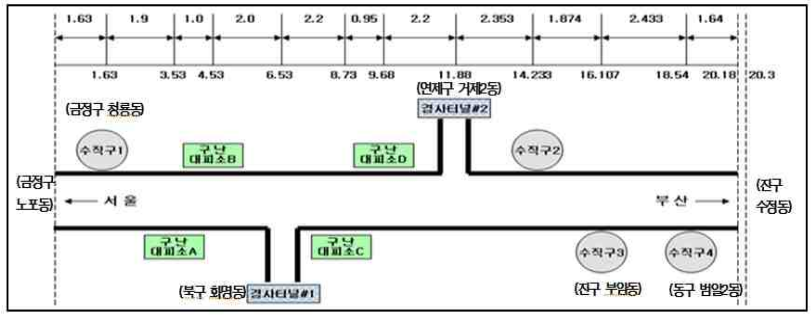


그림 2.7.10 금정터널 시설배치도



그림 2.7.11 사갱과 터널 연결지점

금정터널의 2회에 걸친 방문조사 결과 터널 내 설치되어있던 방재관련 시설들은 상시 점검등에 의해 잘 관리되고 있는 것으로 보였다. 금정터널의 진입을 위해 이용했던 수직구 진입로의 각 방연문들은 양호하게 동작하였으며, 사갱에서 터널의 진입부에 설치된 방화셔터 및 방화문

도 보았다. 각 설치에 대한 문제는 없어보였지만, 각 방화문 및 방연문에 가압이 되는 부속실 개념의 에어록이 설치된다면 화재 발생 시 보다 높은 수준의 안전을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.



그림 2.7.12 터널 내 방재 설비



그림 2.7.13 수직구와 터널 연결지점의 방연문 (수직구 방향)



그림 2.7.14 수직구와 터널 연결지점의 방연문 (터널 방향)

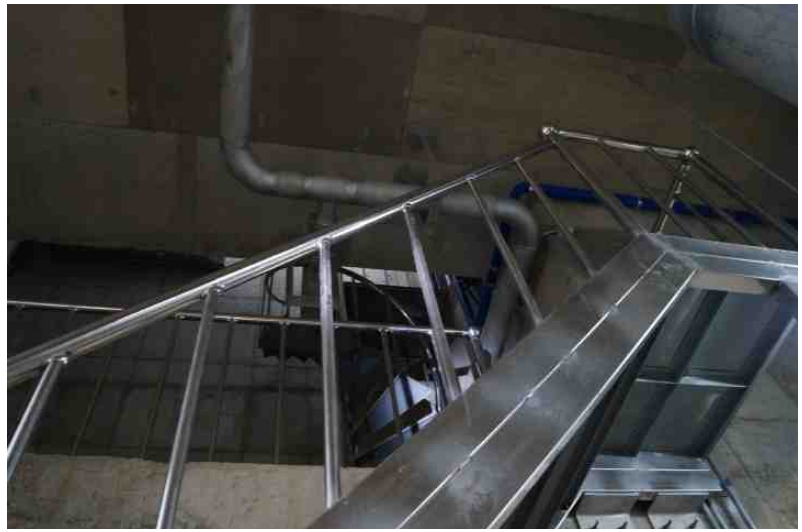


그림 2.7.15 수직구 계단



그림 2.7.16 수직구 계단



그림 2.7.17 수직구 입구

(나) 솔안터널 방문조사

솔안터널은 비교적 최근에 계통된 터널로서 영동선의 기존 스위치백으로 운용되던 구간을 대체하였다. 솔안터널은 총 17.8km의 긴 구간이며, 원형으로 도는 특이한 루프 구조를 가지고 있다. 이 터널은 무궁화열차와 화물열차등이 지나다니게 되어있으며, 2개소의 사갱이 있고, 터널의 중간부에 신호장이 있다.

솔안터널은 화재 발생 시 중간 신호장 부분에 정차하는 구난역이 설치되어있으며, 이 부분에는 포 소화설비와 연결송수구 등이 함께 있어, 화재 진압을 위한 준비가 되어있다. 또한 화재 진압을 위해 정차하면 피난연결 통로문을 통해 연결된 반대편 터널로 이동할 수 있도록 설계되어있어 화재와 피난에 대한 안전확보의 수준이 높다고 할 수 있다.



그림 2.7.18 솔안터널

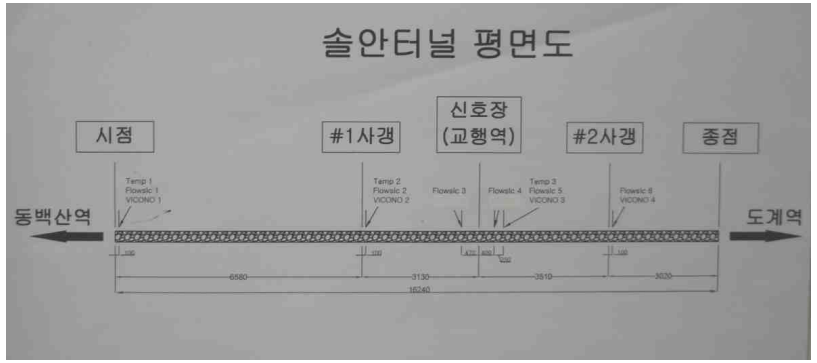


그림 2.7.19 솔안터널 평면도



그림 2.7.20 포소화설비 헤드



그림 2.7.21 피난연결 통로문



그림 2.7.22 피난연결 통로문



그림 2.7.23 피난연결 통로문

솔안 터널의 현장 방문조사 결과 피난연결통로문은 열면 자동으로 닫히는 구조의 방연문으로 각 유지관리 상태는 매우 양호한 것으로 판단되었다. 다만 해외의 사례처럼 각 문의 도색을 다른 색으로 하여 피난인들이 혼동되지 않도록 하는 방안은 검토해볼 필요성이 있다. 피난연결통로문은 반대편 터널과의 연결공간 자체가 일종의 부속실과 같은 완충지대 역할을 하므로, 특별히 에어록(Air Lock) 개념의 전실 설치는 필요 없을 것으로 판단되었다.

(3) 터널 수직구 및 구난 대피소의 적용 방안

관련 규정 및 실제 현장 조사를 마친 결과 다음과 같은 방안을 수립할 수 있었다.

① 기존 방연문 단독으로 설치되어있는 경우 보조적으로 부속실 기능의 공간설비를 설치하는 것이 더욱 안전성을 높일 수 있다. 이는 구난대피소의 문과 수직구 입구 문에 해당된다.

② 기존 방화셔터 옆 방화문에도 부속실 기능의 공간설비를 설치하는 것이 화재 시 안전성을 높일 수 있다.

③ 복수터널을 연결하는 피난 연결 통로문에는 설치할 필요성이 낮은 것으로 판단되었다.

④ 수직구의 계단은 가압식 방연을 하는 것이 안전성을 높이는 결과를 가져올 것이다.

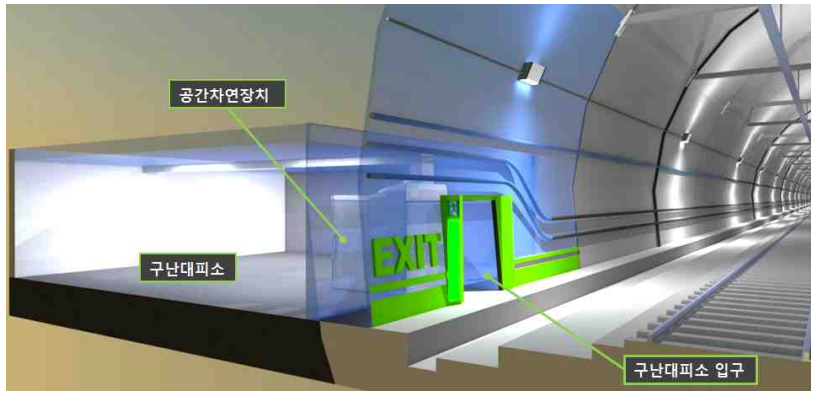


그림 2.7.24 구난 대피소 방연문 방호의 개념

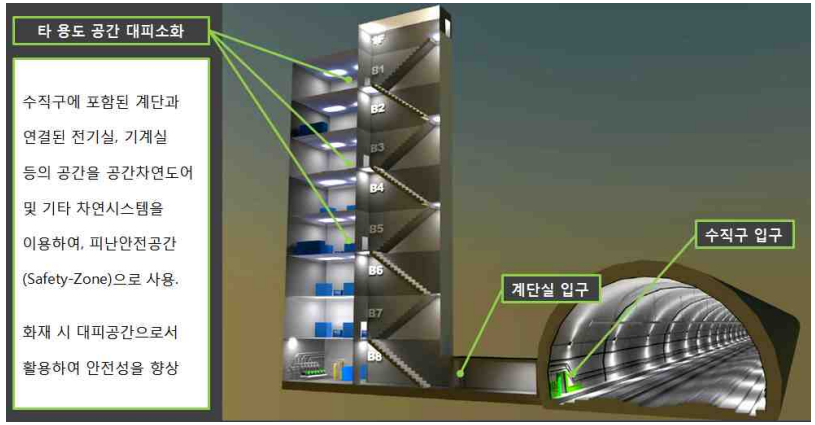


그림 2.7.25 철도 터널 대피소 및 수직구 설치 개념도

6. Safety-Zone(안전구역) 설계 기준(안) 및 매뉴얼 최종(안)

(1) 안전구역 설계 및 성능 기준

2차 년도에 제시되었던 기준을 보완하여 지하역사 및 터널 안전구역의 시설기준을 제시하였다. 이 기준에서는 기존의 임시와 보호안전구역 이외에 계단안전구역의 내용을 추가하였다. 이는 기존 법에 의해 설치되는 피난계단이 방연을 위한 조치와 장애인 및 고령자의 임시 거주 보호로의 기능이 부여되지 않고 있어 이를 보완하기 위해 고려해야할 사항이다. 이를 추가한 내용은 아래와 같다.

지하역사 및 터널 안전구역 시설기준

[시행 201X.X.X] [국토교통부고시 제201X-XXX호, 201X.X.X, 신설]

제1조 (기준의 목적) 본 설치 기준은 지하역사 및 터널의 피난안전구역을 설치하기 위한 목적, 종류, 위치, 구조, 설비 등의 세부 사항을 정함을 목적으로 한다.

제2조 (용어의 정의)

① 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “피난안전구역”이란 화재로 인한 위험으로부터 피난인을 보호하기 위해 본 기준에서 제시된 사항을 적용한 대피공간을 말한다. 피난안전구역은 임시안전구역과 보호안전구역을 포함한다.
2. “임시안전구역”이란 피난경로 상 설치되어 임시적으로 피난인을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 임시안전구역은 위험예상지역으로부터 유입되는 경로와 외부로 유출되는 경로와 모두 접해야 한다. 단 두 경로는 별도로 구획되어 상호 연기와 열이 이동하지 않는 구조로 되어야 한다.
3. “보호안전구역”이란 외부로 부터의 구조가 진행될 때까지 피난인들을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 보호안전구역은 피난경로와 접해있어야 한다.
4. “계단안전구역”이란 장애인 및 고령자 등을 임시 보호하기 위해 기존 피난계단에 안전구역으로의 역할을 위한 성능이 부여한 공간을 말한다.

② 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 제1항에서 규정하는 것을 제외하고는 「건축법」, 「건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙」, 「소방기본법」, 「소방시설 공사업법」, 「소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률」 등이 정하는 바에 따른다.

제3조 (적용범위) ① 본 설치 기준의 적용대상은 다음과 같다.

1. 지하로부터 지상까지의 경로가 피난에 큰 지장이 있을 것으로 판단되는 지하역사의 안전구역

2. 안전성 분석결과로 터널 내부에 설치되는 피난안전구역
3. 터널내부에서 지상으로의 연직갱
4. 철도역사와 터널의 설치된 피난계단으로 장애인 및 고령자 등을 임시 보호의 역할이 필요한 곳

② 지하역사와 터널의 피난안전구역의 형태는 임시안전구역과 보호안전구역의 형태 중 임시안전구역의 설치를 우선으로 한다. 다만, 임시안전구역의 설치가 부득이하게 어려운 경우 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 설치한다.

제4조 (피난안전구역의 설치 위치) 본 기준에 의해 설치되는 피난안전구역(이하 안전구역)의 위치는 다음에 의해 결정된다.

① 지하역사의 안전구역 위치는 다음에 의한다.
1. 지하역사 승강장으로부터 지상까지 수직 피난계단이 있을 경우 임시안전구역을 설치하며, 위치는 위치선정 분석을 실시하고 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 설치한다. 단, 계단안전구역이 설치되는 경우, 이를 설치하지 않을 수 있다.
2. 지하역사 승강장으로부터 지상까지의 전용 수직피난계단의 신설이 어려운 경우 별도로 구성된 위원회에 의해 설치여부와 위치에 대한 승인을 득하여 설치한다. 위치는 위치선정 분석에 의한다.
3. 교통약자보호를 위해 승강장에 연결된 피난계단은 계단안전구역의 성능을 가져야 한다.

② 터널의 피난안전구역 위치는 다음에 의한다.
1. 터널의 안전구역은 경사갱 입구, 수직갱 입구, 안전성평가에 의해 결정된 터널 내 지정 위치에 설치한다.
2. 안전구역은 정차 위치는 화재와 피난 분석을 수행하고 그 결과를 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 설치한다.

제5조 (안전구역과 겸용할 수 있는 용도) 임시안전구역은 타 용도와 겸용할 수 있다. 겸용할 수 있는 타 용도란 사무실, 창고, 기계실, 전기실 등이며, 화재하중이 높고, 화재성장이 신속한 가연물들을 보관하는 장소는 제외한다.

제5조 (피난안전구역의 구조) 본 기준에 의해 설치되는 안전구역의 구조는 다음과 같다.

① 안전구역의 천장 벽 바닥 등은 인접공간의 화재에 대해 최소 1시간이상 견딜 수 있는 내화구조로 해야한다.

② 안전구역은 공조설비 및 제연설비, 별도의 급기장치, 그리고 출입문을 제외하고는 외부로부터 연기가 침투할 수 없는 방화구획을 해야 한다. 또한 공조설비와 제연설비 및 별도의 급기장치가 설치된 경우

수동으로 연기유입을 차단할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

③ 안전구역의 출입문은 특별피난계단과 동일한 성능의 전실을 갖추거나 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비에 의해 보호되어야 한다. 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비란 별도로 구성된 위원회에 의해 연기의 침투를 방지할 수 있는 것으로 판명된 것을 말한다.

④ 휠체어의 접근이 가능한 경우 문의 폭은 0.91m 이상이 되어야 한다. 단, 승강장 또는 대규모 인원을 수용하기 위한 목적의 공간과 접해있는 경우, 분석에 의해 문의 폭을 증가해야한다.

⑤ 피난안전구역은 승강기실 및 기타 수직관통구획부와 직접 연결될 수 없다.

⑥ 단, 계단안전구역의 경우 전실구조를 설치하거나 공간형 차압방연 시스템을 설치하여 계단 내 연기유입을 방지하기 위한 조치를 해야 한다.

⑦ 안전구역은 상용전원이 정전될 경우 구조시간 이상 동작하도록 하여야 한다.

제6조 (피난안전구역의 면적) 본 기준에 의해 설치되는 안전구역의 면적은 다음과 같다. 단, 계단안전구역은 적용을 제외한다.

① 구조시간 30분 이내 구역
(수용 대상 인원 중 일반인 X 0.28㎡) + (수용 대상 인원 중 휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

② 구조시간 30분 이상 구역
(수용 대상 인원 중 일반인 X 0.82㎡) + (수용 대상 인원 중 휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

제7조 (피난안전구역 수용인원 산정)

① 지하역사 피난안전구역의 수용인원은 다음에 의해 결정된다.
1. 승강장의 피난대상 인원은 첨두시간 승차인원과 승강장 잔류인원을 기준으로 한다. 단, 승강장에서 지상으로의 피난경로에서 승강장과 피난안전구역 사이 구간에 피난인이 유입되는 공간이 있을 경우 유입인원을 포함한다.
2. 승강장 이외 피난대상인원은 면적별 거주밀도를 기준으로 계산한다.
3. 총 피난대상인원에서 수용인원은 별도로 구성된 위원회의 결정에 따라 산정한다.
4. 총 대상인원에서 교통약자의 비율은 국가 인구통계를 기준으로 산정하며, 산정된 인원은 모두 총 수용인원에 포함한다.

② 터널 피난안전구역 수용인원은 다음에 의해 결정된다.
1. 터널 피난안전구역의 수용인원은 터널을 통과하는 대상차량(이하 대상차량)의 최대 편성에 좌석 수 및 수용 가능 입석 인원수를 기준으로 한다.
2. 교통약자의 비율은 수용인원 중 국가 인구통계를 기준으로 산정한다. 단, 대상차량의 장애인 좌석 수 이상으로 한다.

③ 계단안전구역은 교통약자의 수용만을 고려하며, 피난인의 이동에 지장을 초래하지 않는 공간에 수용장소를 설정한다.

제8조 (필요시설)

① 지하역사에 설치되는 임시안전구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
2. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
3. 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
4. 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
5. 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비
6. 자동화재탐지설비 (화재감지기)
7. 방독면, 인공소생기 등
8. 기타 필요하다 판단되는 시설

② 지하역사에 설치되는 보호안전구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
2. 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
3. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
4. 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
5. 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
6. 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비
7. 자동화재탐지설비 (화재감지기)
8. 방독면, 인공소생기 등
9. 기타 필요하다 판단되는 시설

③ 터널 내 설치되는 임시안전구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
2. 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
3. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)

4. 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
5. 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
6. 자동화재탐지설비 (화재감지기)
7. 방독면, 인공소생기 등
8. 기타 필요하다 판단되는 시설

④ 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 이하 구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
2. 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
3. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
4. 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
5. 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
6. 자동화재탐지설비 (화재감지기)
7. 방독면, 인공소생기 등
8. 이산화탄소 농도 경보기
9. 기타 필요하다 판단되는 시설

⑤ 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 이상 구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
2. 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
3. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
4. 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
5. 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
6. 자동화재탐지설비 (화재감지기)
7. 방독면, 인공소생기 등
8. 이산화탄소 농도 경보기
9. 위생시설
10. 기타 필요하다 판단되는 시설

⑥ 계단안전구역은 다음 시설을 설치한다.
1. 계단 전실 또는 공간형 차압방연 시스템
2. 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
3. 방독면 등 개인 보호장비

(2) 공간형 차압방연 시스템 기준

공간형 차압방연 시스템은 기존에 없는 시스템이므로 이를 적용하기 위해서는 별도의 기술기준이 필요하다. 지금까지 시스템 개발 결과를 바탕으로 다음과 같은 기준을 개발하여 제시하였다.

공간형 차압방연 시스템의 기준

[시행 201X.X.X] [국토교통부고시 제201X-XXX호, 201X.X.X, 신설]

국토교통부(○○○○과)

제1조(기준의 목적) 이 기준은 ○○법 제○○조의 규정에 의한 공간형 차압 방연 시스템의 설치위치, 구성요소 및 성능기준 등과 시험방법 등을 정함을 목적으로 한다.

제2조(용어의 정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. ① "공간형 차압 방연 시스템"이라 함은 화재 시 안전구획과 외부 사이에 공간을 형성하고, 시설을 통해 방연풍과 차압을 형성하여 연기의 유입을 막고, 단일 방화문의 이상 발생 시 상황에 대비하기 위한 시설이다.

② "외부급기형 에어커튼"이란 외부에서의 송풍기를 사용하여, 공기를 급기함을 통해 방연풍을 형성하고, 내부 차압을 형성하기 위한 장치를 말한다.

③ "양문전개형"이란 평시 양쪽 벽에 공간형성을 위한 벽채를 수납하였다가, 화재 시 전개하여 공간을 형성하는 형태를 말한다.

④ "단문전개형"이란 단일 벽채를 벽에 수납하고 있다가, 화재 시 전개하여 공간을 형성하는 형태를 말한다. 단 단문전개형은 공간형성을 위한 벽체에 별도의 피난문을 설치하도록 한다.

⑤ "안전구역"은 전용안전구역과 간이형 안전구역, 그리고 피난계단실을 포함한다.

⑥ "간이형 안전구역"은 평시 다른 용도로 쓰이다가 화재 시 안전구역으로 전환되는 거실을 말한다.

본 기준에서 사용되는 다른 용어는 국토교통부 고시「자동방화셔터 및 방화문의 기준」을 따른다.

제3조(설치위치) ① 공간형 차압 방연 시스템은 안전구역으로 출입 가능한 갑종방화문이 설치된 부분의 안전구역 내측에 설치한다.

② 양문전개형은 문의 양쪽으로 전개되는 벽체가 충분히 수납될 수 있는 장소에 설치한다.

③ 단문전개형은 전개되는 벽체로 두 개의 내부 벽에 접하여 공간을 형성하는 방식으로 가능한 장소를 선택한다.

제4조(설비의 구성) ① 공간형 차압 방연 시스템은 공간을 형성하는 벽체, 수납시설, 공간형성을 위한 상부구조물, 방연풍 형성을 위한 외부급기형 에어커튼으로 구성되며, 필요시 공간내부 가압을 위한 별도의 송풍장치의 연결을 추가할 수 있다.

② 양문전개형은 공간형 차압 방연 시스템의 공간형성을 위한 벽체가 대상 출입문의 양쪽에 수납되었다가, 자동 및 수동으로 전개되어 공간을 형성하므로, 대상 출입문의 맞은편에 있게 되는 벽체는 문을 겸용하거나, 별도의 문을 설치해야 한다. 단, 대상 출입문의 맞은편에 있게 되는 벽체로서 문을 겸용하는 부분의 높이와 폭이나 벽체에 설치된 문의 높이와 폭은 출입문의 높이와 폭 이상이 되어야 한다.

③ 단문전개형은 공간형 차압 방연 시스템의 공간형성을 위한 벽체가 대상 출입문의 한쪽에 수납되었다가, 자동 및 수동으로 전개되어 공간을 형성하므로, 벽체 자체가 문의 역할을 하거나 또는 벽체에 별도의 문을 설치해야 한다. 단, 벽체로서 문을 겸용하는 부분의 높이와 폭이나 벽체에 설치된 문의 높이와 폭은 출입문의 높이와 폭 이상이 되어야 한다.

④ 외부급기형 에어커튼의 송풍기는 별도의 비상전원과 연결되어야 한다. 또한 자동화재탐지설비 수신반과 연동하여 동작하거나 수동으로 기동할 수 있어야 한다.

⑤ 공간형 차압 방연 시스템을 설치하는 경우 시스템 본체 혹은 벽면에 사용방법을 부착하도록 한다.

⑥ 공간형 차압 방연 시스템으로 급기되는 공기에 연기가 유입되어 올 경우 이를 감지하고, 외부급기에서 공간내부 순환급기로 전환 할 수 있도록 해야한다.

제5조(성능기준) ① 공간형 차압 방연 시스템의 벽체는 다음의 성능을 확보하여야 한다.

1. KS F 3109(문세트)에 따른 개폐력 · 개폐반복성 시험.
2.「건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준」의 난연성능이상의 재질을 사용한다.

② 외부급기형 에어커튼의 노즐에 의해 형성되는 방연풍의 풍속은 「특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)」의 제10조를 만족하도록 해야한다.

③ 공간내부 과압으로 인한 문제발생이 우려될 경우 과압방지장치를 부착할 수 있다.

제6조(시험기관) 성능시험은 다음 각 호의 시험기관에서 할 수 있다.

1. ○○○ 전문기관
2. ○○○ 국내공인시험기관
3. ○○○ 연구원

(3) 안전구역 설치를 위한 매뉴얼 작성

피난안전구역 설치를 위한 기준 해설서인 설치 매뉴얼을 작성하였다. 내용은 지하역사 및 터널 안전구역 설치를 위한 시설기준과 공간형 차압 방연시스템의 설치를 위한 세부 내용을 해설하고 있다.

[Draft : 2015.12.21]

지하역사 및 터널 안전구역 설치 매뉴얼

한국철도기술연구원

목 차

1. 안전구역 설치 개요 ····· 1

2. 안전구역의 종류 ····· 2

3. 안전구역 설치대상 ····· 3

4. 안전구역 설치 위치 선정 ····· 4

5. 안전구역의 구조와 면적 ····· 5

6. 안전구역의 필요시설 ····· 8

7. 공간형 차압방연 시스템 ····· 12

8. 안전구역 설계와 관리 ····· 17

1. 안전구역 설치 개요

(1) 안전구역의 정의

피난안전구역이란 건물에서 화재발생 시 내부 거주자들이 피난을 원할하게 수행을 할 수 없는 경우와 긴 경로를 이동하여 피난해야 하는 경우에 있어 임시적인 안전을 제공하는 대피공간을 의미한다. 이는 장애인, 고령자 또 임시적 거동이 불편하거나, 취침 등으로 화재발생사실을 너무 늦게 알았을 경우 이들에 대해 외부에서 구조를 위한 인원이 올 때까지 안전하게 대기할 수 있는 공간과 함께, 초고층 건물처럼 수직으로 긴 경로가 있거나, 지하 역사처럼 상향 피난이어서 일반인들도 체력적 부담을 가지게 되는 경우 중간에 이들이 임시로 쉬거나 또는 이들이 외부에서 구조을 위한 조치가 시행되기까지 대기할 수 있는 공간을 포함한다. 또한 터널의 경우, 승객에게 피난을 위한 긴 보행거리가 주어질 경우, 중간에 안전구획을 만들어 화재와 연기로부터 보호하는 보호소로서의 역할이 주어지기도 한다.

(2) 안전구역 구축 필요 장소의 취약점

본 지침은 철도분야에 적용하기 위해 제작된 것으로 지하역사와 터널만 포함한다. ㅇ나 전구역 설치의 필요장소와 그에 대한 이유는 다음과 같다.

① 지하역사

지하역사에서 외부로의 창이 없기 때문에 화재 발생 시 연기가 공간 외부로 배출되기 어렵다. 또한 연기가 상부로 이동하는 경로는 피난경로와 동일하다. 이는 수직관통부인 승강기실(엘리베이터 샤프트), 에스컬레이터, 그리고 계단실이 된다. 그러므로 지상층으로 이동하는 모든 경로는 연기의 이동경로가 된다고 할 수 있다 .

피난인은 상향계단을 통해 피난해야한다. 상향계단을 통한 피난은 피난인의 체력적 요소가 매우 크게 작용할 것이다. 특히 일반인 및 고령자 모두 체력저하로 인한 상향이동 속도의 저감은 매우 당연한 일이라 할 수 있다. 또한 장애인이나 고령자의 경우, 계단을 이용한 상향이동 피난은 거의 불가능에 가깝다.

② 터널

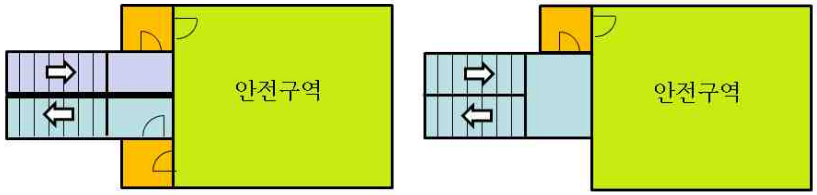
철도터널은 통상적으로 일반인이나 구조대원조차 접근하기 힘든 산악의 지하 또는 도시의 대심도(50m) 또는 해저속의 터널로 되어 있다. 따라서 사고가 발생하면 터널의 형상의 특징상 쉽게 외부와의 통신 또는 접촉과 접근이 어렵다. 과거의 연장이 짧은 터널의 경우 쉽게 피난할 수 있는 장점이 있었다. 그러나 국내와 같이 지형의 영향으로 터널이 장대화 될 경우 화재가 발생한 지점에서 피난할 경우 수백m에서 수km 까지 피난을 하여야 한다. 또한 철도터널과 같이 햇빛이 차단되고 공간이 차단된 곳에서는 대규모 탈출 시 심리적으로 상당한 스트레스를 받게 한다. 철도터널의 대규모 화재사고로 이어지는 이유 중 하나는 철도터널에서 비상시 지휘 통제하는 곳이 외부인 점이다. 이는 철도터널에서 화재가 발생할 때 쉽게 상황을 판단하기 어렵고 혹 화재에 의하여 통신이 두절되는 사태가 발생하면 피난자의 대피방향 피해 화재규모 등에 대한 오판을 유도할 수 있다. 그리고 장대터널은 구조대가 터널내부로 진입 시에도 사갱이 매우 길어서 휴대용 산소호흡기 용량으로는 부족하게 된다. 특히 터널 내 이동수단이 없어 진입한 소방대 및 구조원들은 달려서 사고현장에 가야하기 때문에 현장 접근에 과다한 시간이 소요된다. 또한 화재 상황인 경우 공기호흡기는 40-50분정도 실제 운용이 가능하므로 도착 후 바로 되돌아와서 공기호흡기를 교체해야하는 상황이다. 그러므로 실제 소방대와 구조대원들이 실제 화재 시 진입하여 승객들을 구조하는 일은 매우 어려운 일이라 할 수 있다.

2. 안전구역 종류

(1) 임시안전구역 : 피난경로 상 설치되어 임시적으로 피난인을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 임시안전구역은 위험예상지역으로부터 유입되는 경로와 외부로 유출되는 경로와 모두 접해야 한다. 단 두 경로는 별도로 구획되어 상호 연기와 열이 이동하지 않는 구조로 되어야 한다 .피난경로 상 설치되는 대피구역으로 Buffer Zone의 개념이다.

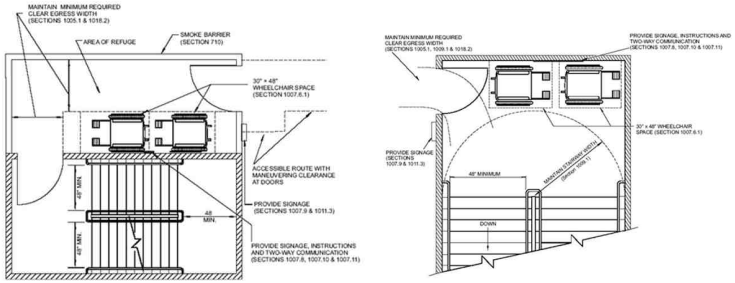
(2) 보호안전구역 : 외부로 부터의 구조가 진행될 때까지 피난인들을 보호하기 위한 대피공간을 의미한다. 피난경로와 연결되는 대피구역으로 Holding Area와 Shelter의 개념이 적용된다. 외부의 구조가 진행될 때까지 수용인원의 유출이 어려우므로, 적용 시스템의 성능과 신뢰성이 중요하다.

(3) 계단안전구역 : 장애인과 고령자 모두 해당된다. 자력이동에 한계를 가지고 있다. 승강장과 연결된 피난계단 내부의 일정구역을 이들을 보호하는 장소로서 설정할 수 있다. 이를 위해서는 별도의 방연조치와 연락을 위한 시설을 확보해야한다.



임시안전구역 보호안전구역

안전구역의 개념도



계단내의 안전구역 (IBC Code)

3. 안전구역 설치대상

(1) 안전구역의 설치대상은 다음과 같다.

① 지하로부터 지상까지의 경로가 피난에 큰 지장이 있을 것으로 판단되는 지하역사의 안전구역
② 안전성 분석결과로 터널 내부에 설치되는 피난안전구역
③ 터널내부에서 지상으로의 설치된 계단
④ 철도역사와 터널의 설치된 피난계단으로 장애인 및 고령자 등을 임시 보호의 역할이 필요한 곳

(2) 지하역사와 터널의 피난안전구역의 형태는 임시안전구역과 보호안전구역의 형태 중 임시안전구역의 설치를 우선으로 한다. 이는 외부로의 대피경로가 있는 안전구역의 안전성이 높기 때문이다. 하지만 여러 가지 상황 상 역사 내에 임시안전구역의 시설이 어려운 경우가 있으며, 특히 터널 같은 경우는 임시안전구역의 설치가 불가능한 경우도 있다. 그러므로, 이에 대한 판단을 위해 별도로 위원회를 구성하고, 이 사항에 대한 전문적 분석결과를 심의하여 승인하게 함을 통해 보호안전구역을 대신 설치할 수 있도록 한다.

(3) 안전구역과 겸용할 수 있는 용도는 사무실, 창고, 기계실, 전기실 등이며, 화재하중이 높고, 화재성장이 신속한 가연물들을 보관하는 장소는 제외한다.

4. 안전구역 설치 위치 선정

안전구역의 설치에 있어 위치선정은 매우 중요하다. 피난인들이 신속히 접근할 수 있는 위치이면서도 설정된 피난인원을 충분히 수용할 수 있는 공간이어야 하기 때문이다.

(1) 지하역사의 안전구역 위치는 다음에 의한다.

① 지하역사 승강장으로부터 지상까지 수직 피난계단이 있을 경우 임시안전구역을 설치하며, 위치는 위치선정 분석을 실시하고 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 설치한다. 단, 계단안전구역이 설치되는 경우, 이를 설치하지 않을 수 있다.

② 지하역사 승강장으로부터 지상까지의 전용 수직피난계단의 신설이 어려운 경우 별도로 구성된 위원회에 의해 설치여부와 위치에 대한 승인을 득하여 설치한다. 위치는 위치선정 분석에 의한다.

③ 교통약자보호를 위해 승강장에 연결된 피난계단은 계단안전구역의 성능을 가져야 한다. 일반적인 피난계단은 전실이 설치되지 않으며, 특별피난계단인 경우 전실이 있고 가압시설이 있다. 그러므로 계단실내로의 연기유입을 방지하기 위한 시설은 피난계단에 한하며, 전실과 가압설비가 있는 경우는 이에 준하는 것으로 판단할 수 있다.
또한 두 계단실 모두 장애인 및 고령자의 보호거점에는 상황실 등 대응 주체와 직접 통화 가능한 통신설비가 갖추어져야 한다.

(2) 터널의 피난안전구역 위치는 다음에 의한다.

① 터널의 안전구역은 경사갱 입구, 수직갱 입구, 안전성평가에 의해 결정된 터널 내 지정 위치에 설치한다.

② 안전구역은 정차 위치는 화재와 피난 분석을 수행하고 그 결과를 별도로 구성된 위원회의 승인을 득하여 설치한다.

5. 안전구역의 구조와 면적

(1) 본 기준에 의해 설치되는 안전구역의 구조는 다음과 같다.

① 안전구역의 천장, 벽, 바닥 등은 인접공간의 화재에 대해 최소 1시간이상 견딜 수 있는 내화구조로 해야 한다. 하지만 1시간 이상이 소요되는 것으로 판단되는 경우, 그 이상을 산정할 수 도 있다. 특히 터널의 안전구역은 이에 대한 전문적 분석이 필요하다.

② 안전구역은 연기가 침투할 수 없는 방화구획을 해야 한다. 또한 공조설비와 제연설비 및 별도의 급기장치가 설치된 경우 방화 및 방연댐퍼를 설치하고, 자동 뿐만 아니라 수동으로도 연기유입을 차단할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

③ 안전구역의 출입문은 특별피난계단과 동일한 성능의 전실을 갖추거나 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비에 의해 보호되어야 한다. 이러한 예로 공간형 차압방연 시스템을 들 수 있다. 출입문의 방연시설은 차압보다 방연풍의 구현이 더욱 중요하기 때문에 이에 대한 성능을 확인해야 한다.

④ 휠체어의 접근이 가능한 경우 문의 폭은 0.91m 이상이 되어야 한다. 단, 승강장 또는 대규모 인원을 수용하기 위한 목적의 공간과 접해있는 경우, 분석에 의해 문의 폭을 증가해야한다.

⑤ 피난안전구역은 승강기실 및 기타 수직관통구획부와 직접 연결될 수 없다.

⑥ 단, 계단안전구역의 경우 전실구조를 설치하거나 공간형 차압방연 시스템을 설치하여 계단 내 연기유입을 방지하기 위한 조치를 해야 한다.

(2) 안전구역의 면적은 다음에 의하여 산정한다. 여기서 구조시간 30분 설정은 안전구역 내에 수용되어있는 인원의 신체적, 체력적 상태를 고려하여 재설정할 수 있다. 여기서 구조 시간은 안전구역 내에 대기하고 있는 시간으로 30분까지는 서있는 상태를 산정하며, 그 이후에는 바닥에 앉거나 누울 수 있는 면적을 제공해주어야 한다. 미국 FEMA (.2006), RMS453, Safe Rooms and Shelters를 보면, 화생방 테러의 인적 재난이나 토네이도 같은 자연재난에 대피하는 단기 건물 내 대피시설(SIP)의 소요기준을 차이 없이 동일하게 0.89㎡/1인을 적용하고 있고, 유럽의 스웨덴도 0.95㎡/1인으로 적용하고 있다. 한국은 1평(3.3㎡)/4인을 기준하는 것이 제안되었으며, 이는 0.82㎡로서 국외기준과 큰 차이가 없어 적용 가능할 것으로 생각된다. 휠체어 면적은 미국 NFPA 101 Life Safety code를 기준으로 하였다.

단, 계단안전구역은 적용을 제외한다.

① 구조시간 30분 이내 구역
(수용 대상 인원 중 일반인 X 0.28㎡) + (수용 대상 인원 중 휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

② 구조시간 30분 이상 구역
(수용 대상 인원 중 일반인 X 0.82㎡) + (수용 대상 인원 중 휠체어 장애인 X (0.76m X 1.22m))

(3) 수용인원의 산정

① 지하역사 피난안전구역의 수용인원은 다음에 의해 결정된다.

(가) 승강장의 피난대상 인원은 첨두시간 승차인원과 승강장 잔류인원을 기준으로 한다. 단, 승강장에서 지상으로의 피난경로에서 승강장과 피난안전구역 사이 구간에 피난인이 유입되는 공간이 있을 경우 유입인원을 포함한다.

(나) 승강장 이외 피난대상인원은 면적별 거주밀도를 기준으로 계산한다.

(다) 총 피난대상인원에서 수용인원은 별도로 구성된 위원회의 결정에 따라 산정한다.

(라) 총 대상인원에서 장애인과 고령자의 비율은 국가 인구통계를 기준으로 산정하며, 산정된 인원은 모두 총 수용인원에 포함한다.

② 터널 피난안전구역 수용인원은 다음에 의해 결정된다.

(가) 터널 피난안전구역의 수용인원은 터널을 통과하는 대상차량(이하 대상차량)의 최대 편성에 좌석 수 및 수용 가능 입석 인원수를 기준으로 한다.

(나) 교통약자의 비율은 수용인원 중 국가 인구통계를 기준으로 산정한다. 단, 대상차량의 장애인 좌석 수 이상으로 한다.

③ 계단안전구역은 교통약자의 수용만을 고려하며, 피난인의 이동에 지장을 초래하지 않는 공간에 수용장소를 설정한다.

④ 장애인과 고령자의 비율 산정 시 국가 인구통계나 기타 신뢰성있는 통계를 인용하면 되며, 단, 차후 인구변화에 대한 상황을 고려해야 할 것이다. 즉 현재에 비해 급속히 증가할 65세 이상 고령자에 대한 사항을 예로 들 수 있다.

6. 안전구역의 필요시설

(1) 필요시설의 종류와 내용

① 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비

안전구역의 연기방어를 위해서는 문을 통해 유입되는 연기를 방어해야한다. 단일 문의 경우 연기에 대한 방어가 가능하다 해도 피난인들이 열거나 또는 문에 끼이는 경우 문이 열려 연기가 유입되므로 이러한 전실기능 또는 에어록 기능의 시설은 필수적이다. 여기서 연기의 유입방지는 기존 가압식 방연의 기준이 있지만, 실제 연기유입의 방지에서는 압력보다는 방연풍속이 더 중요하므로 연기유입방지를 위한 실제 실험의 결과로 증명된 기술이 있을 경우 이를 응용한 시설의 설치도 가능하다고 할 수 있다.

② 화재 시 긴급연락이 가능한 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함).

통신은 화재로부터 보호 될 수 있는 통신선에 의해 연결해야한다. 무선통신보조설비는 소방관들의 진압 및 구조작전을 위해 설치할 필요가 있다.

③ 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등

외부 전력 차단 시 사용할 수 있는 조명설비가 필요하다. 다만 밀폐구조이므로 자가발전장치 등은 사용할 수 없다.



그림 3. 안전구역 설치 통신 시스템의 예

④ 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수

식수는 상시 산정하여 확보해 놓거나 정화되어 음용이 가능한 전용 급수시설의 설치 등을 생각해볼 수 있다.

⑤ 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비

내부에서의 화재발생이나 외부화재에 대한 대응으로 소방시설이 필요할 수 있다. 다만, 스프링클러의 설치는 검토가 필요하다. 평시 겸용공간으로서 스프링클러가 설치되어있는 경우는 무방하지만, 전용공간으로 할시 실내에 자동화재설비, 특히 스프링클러로 제어할 화재가 안전구역 내부에서 발생할 확률은 검토해볼 필요가 있다.

⑥ 자동화재탐지설비 (화재감지기)

자동화재탐지설비의 설치는 외부에서 안전구획의 상태를 파악하는 데에도 필요하다.

⑦ 방독면, 인공소생기 등

방독면이나 인공소생기 등은 이동과 구급에 필요한 물품이 필요하다.

⑧ 기타 필요하다 판단되는 시설

다른 형태의 안전구역에 설치해야 하는 것들을 참고할 수 있다.

⑨ 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)

보호안전구역은 일단 내부에 들어갈 경우 외부와의 기류가 차단되는 폐쇄형 구조이다. 이러한 구조에서는 실내 인원들에 의한 산소소모와 이산화탄소의 배출이 일어난다. 특히 이산화탄소의 배출은 문제를 발생 시킬 수 도 있다. 공기공급 시 필요한 공기량의 산정은 매우 중요하며, 이에 대한 별도의 전문적인 계산이 필요하다.

(2) 대상 별 필요시설의 예

① 지하역사에 설치되는 임시안전구역은 다음 시설을 설치한다.

- 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
- 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
- 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비
- 자동화재탐지설비 (화재감지기)
- 방독면, 인공소생기 등
- 기타 필요하다 판단되는 시설

② 지하역사에 설치되는 보호안전구역은 다음 시설을 설치한다.

- 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
- 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
- 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
- 소화기구 및 옥내소화전 또는 스프링클러설비
- 자동화재탐지설비 (화재감지기)
- 방독면, 인공소생기 등
- 기타 필요하다 판단되는 시설

③ 터널 내 설치되는 임시안전구역은 다음 시설을 설치한다.
- 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
- 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
- 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
- 자동화재탐지설비 (화재감지기)
- 방독면, 인공소생기 등
- 기타 필요하다 판단되는 시설

④ 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 이하 구역은 다음과 같다.
- 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
- 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
- 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
- 자동화재탐지설비 (화재감지기)
- 방독면, 인공소생기 등
- 이산화탄소 농도 경보기
- 기타 필요하다 판단되는 시설

⑤ 터널 내 설치되는 보호안전구역은 중 구조시간 30분 구역은 다음과 같다.
- 공기공급시설 (구역가압시설과 겸용으로 사용할 수 있다.)
- 출입문의 전실 및 가압시설 또는 전실과 유사한 기능을 수행할 수 있는 설비
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 급수전 1개소 또는 피난인원을 위한 식수
- 비상조명설비 및 휴대용 비상조명등
- 자동화재탐지설비 (화재감지기)
- 방독면, 인공소생기 등
- 이산화탄소 농도 경보기
- 위생시설
- 기타 필요하다 판단되는 시설

⑥ 계단안전구역은 다음 시설을 설치한다.
- 계단 전실 또는 공간형 차압방연 시스템
- 화재 시 긴급연락이 가능한 대응 거점과의 전용 통신 시설 (무선통신보조설비 포함)
- 방독면 등 개인 보호장비

7. 공간형 차압방연 시스템

(1) 시스템의 정의

공간형 차압 방연 시스템"이라 함은 화재 시 안전구획과 외부 사이에 공간을 형성하고, 시설을 통해 방연풍과 차압을 형성하여 연기의 유입을 막고, 단일 방화문의 이상 발생 시 상황에 대비하기 위한 시설이다. 차압시스템은 문이 닫혀있는 경우 내부에 공기를 유입하여 공간 내 차압을 형성 문틈으로 들어오는 연기를 방호하며, 문이 열리고 피난인이 유입되는 경우, 방연풍을 통해 연기유입을 방지한다. 그리고 피난인이 쓰러져 문이 다 닫히지 않는 경우 열린 부분으로의 연기유입을 방지하며, 소방대의 진입에도 일부 보조적인 효과를 줄 수 있다.

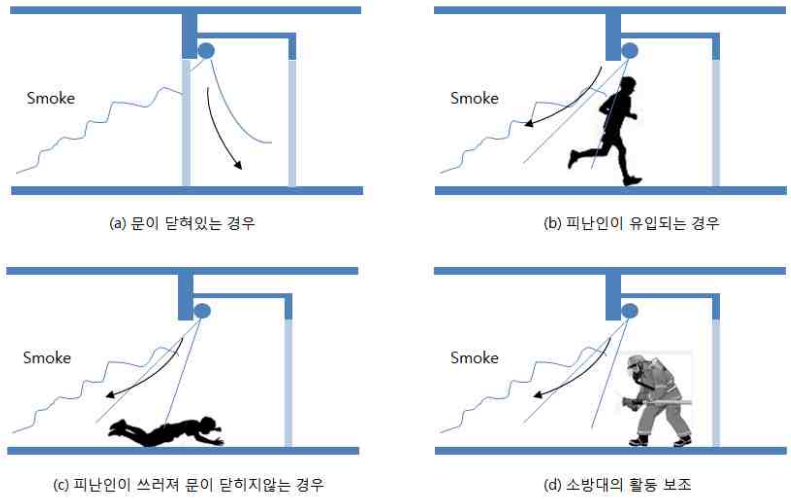


그림 4. 공간형 차압방연시스템의 효과

공간형성을 벽체는 가동식이며, 이는 전개되어 공간을 형성하면서 새로운 문을 만들게된다. 이는 유사 시 기존 방화문과 함께 2번째 문을 제공하며, 만약 기존 방화문에 이상이 생겨 열려있다고 하더라고 전개된 벽체와 방화문이 2차로 방연을 하는 구조를 만들어 준다.

(2) 시스템의 종류과 구조

시스템은 외부급기형 에어커튼을 사용하여 거실방향을 향해 방연풍을 형성하고, 문이 닫혔을 경우에는 차압을 형성한다. 시스템의 종류는 공간형성을 하는 벽체 구조에 따라 달라지며, 이는 양문전개형과 단문전개형으로 구분한다.

① 양문전개형

이 형태는 평시 양쪽 벽에 공간형성을 위한 벽채를 수납하였다가, 화재 시 전개하여 공간을 형성하는 형태를 말한다. 전개되는 벽체의 맨 앞부분은 270°회전하면서, 출입문의 맞은편에 위치하면서 문으로서의 기능을 같이 수행한다. 만일 양쪽 부분에 벽체 수납공간이 없는 경우에는 한쪽으로 설치하는 등도 가능하다. 다만 전개되는 벽체의 맨 앞부분이 문의 역할을 못하는 경우, 별도의 문을 장착하도록 해야한다.

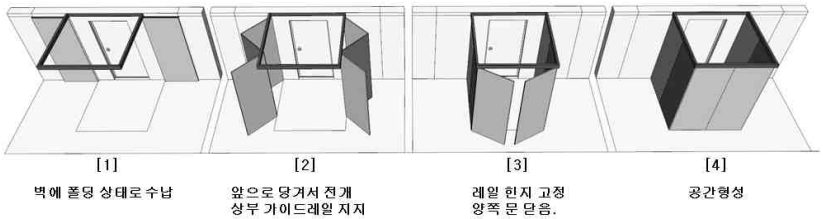


그림 5. 양문전개형 차압방연 장치의 전개 구조

② 단문전개형

이는 단일 벽채를 벽에 수납하고 있다가, 화재 시 전개하여 공간을 형성하는 형태를 말한다. 단, 단문 전개형은 공간형성을 위한 벽체에 별도의 피난문을 설치하도록 한다.

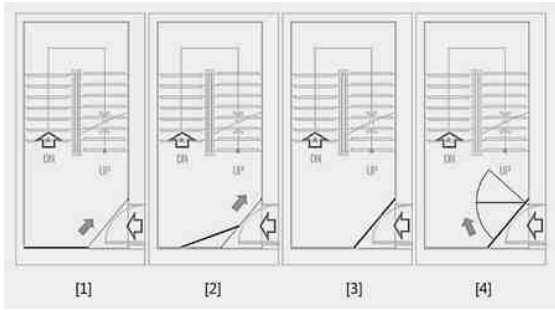


그림 6. 단문전개형의 벽체 이동 개념도

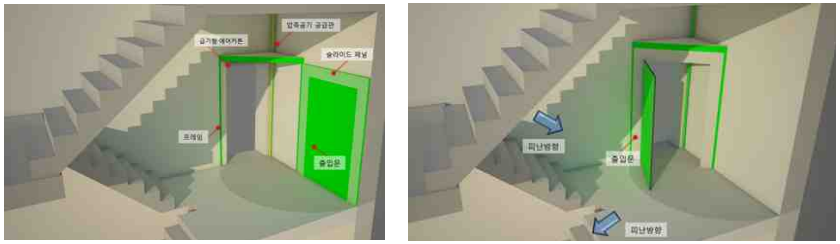


그림 7. 단문전개형의 설치 가상도

(3) 설비의 세부적 구성

공간형 차압 방연 시스템은 공간을 형성하는 벽체, 수납시설, 공간형성을 위한 상부구조물, 방연풍 형성을 위한 외부급기형 에어커튼으로 구성되며, 필요시 공간내부 가압을 위한 별도의 송풍장치의 연결을 추가할 수 있다.

(1) 양문전개형은 공간형 차압 방연 시스템의 공간형성을 위한 벽체가 대상 출입문의 양쪽에 수납되었다가, 자동 및 수동으로 전개되어 공간을 형성하므로, 대상 출입문의 맞은편에 있게 되는 벽체는 문을 겸용하거나, 별도의 문을 설치해야 한다. 단, 대상 출입문의 맞은편에 있게 되는 벽체로서 문을 겸용하는 부분의 높이와 폭이나 벽체에 설치된 문의 높이와 폭은 출입문의 높이와 폭 이상이 되어야 한다.

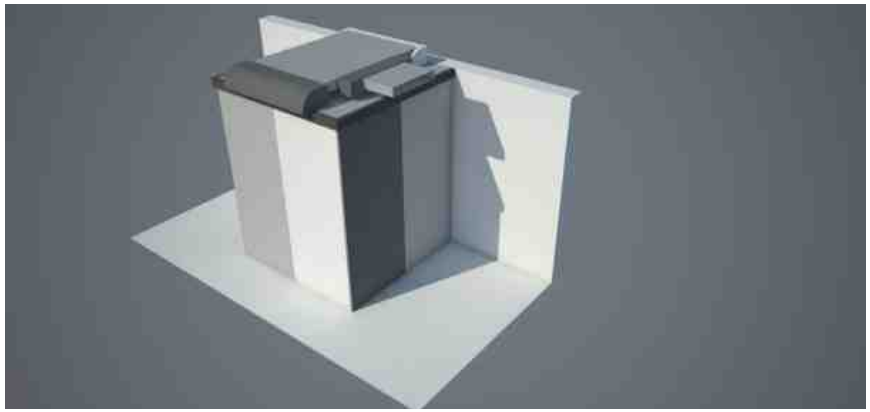


그림 8. 양문전개형의 공간형성 가상도



그림 9. 단문전개형의 실제 설치 가상도

(2) 단문전개형은 공간형 차압 방연 시스템의 공간형성을 위한 벽체가 대상 출입문의 한쪽에 수납되었다가, 자동 및 수동으로 전개되어 공간을 형성하므로, 벽체 자체가 문의 역할을 하거나 또는 벽체에 별도의 문을 설치해야 한다. 단, 벽체로서 문을 겸용하는 부분의 높이와 폭이나 벽체에 설치된 문의 높이와 폭은 출입문의 높이와 폭 이상이 되어야 한다.

(3) 외부급기형 에어커튼의 송풍기는 별도의 비상전원과 연결되어야 한다. 또한 자동화재탐지설비 수신반과 연동하여 동작하거나 수동으로 기동할 수 있어야 한다.

(4) 공간형 차압 방연 시스템을 설치하는 경우 시스템 본체 혹은 벽면에 사용방법을 부착하도록 한다.

(5) 공간형 차압 방연 시스템으로 급기되는 공기에 연기가 유입되어 올 경우 이를 감지하고, 외부급기에서 공간내부 순환급기로 전환 할 수 있도록 해야한다.

(4) 시스템 성능

본 시스템은 유입연기를 차단하는 장치이며, 안전구역의 내부에 설치되므로 직접 화염에 노출되지 않음을 조건으로 한다. 다만, 화염이나 고온에 노출되더라고 일정시간 동안 발화하지 않고 구조를 유지할 수 있어야 한다.

① 공간형 차압 방연 시스템의 벽체는 다음의 성능을 확보하여야 한다.

(가) KS F 3109(문세트)에 따른 개폐력·개폐반복성 시험.
(나)「건축물 마감재료의 난연성능 및 화재 확산 방지구조 기준」의 난연성능이상의 재질을 사용한다.

② 외부급기형 에어커튼의 노즐에 의해 형성되는 방연풍의 풍속은 「특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)」의 제10조를 만족하도록 해야한다.

③ 공간내부 과압으로 인한 문제발생이 우려될 경우 과압방지장치를 부착할 수 있다.

(5) 설치 및 시공 시 주의 사항

① 제품의 제작 및 시공 시에는 가장 중요한 것이 기밀 문제이며, 최대한 성능을 가질 수 있도록 한다.

② 제품의 설치로 인한 기존 방화구획의 성능이 회손되는 것은 방지해야 한다.

8. 안전구역 설계와 관리

(1) 안전구역 설계의 고려사항

○ 설비의 위치
- 안전구역의 의식을 증가시키기 위해 일반적 서비스위치
- 승객이 안전구역의 존재/사용에 익숙하도록 하기 위한 서비스 위치

○ 안전구역 위치
- 안전구역은 도달하는데 필요한 거리를 줄이기 위한 위치 지정
- 지하철 각 층에 또는 전체적으로 적정한 안전구역의 수
- 각층에 있는 승객이 화재의 위치에 관계없이 안전구역에 접근할 수 있도록 안전구역으로 가는 충분한 수의 분리된/보호된 충분한 경로여부

○ 안전구역 설계
- 각 안전구역의 수용 용량
- 안락도 및 안전을 확보하기 위해 안전구역의 조건 (예, 환기, 화재 유출로부터의 보호, 난방, 조명, 전원공급, 위생설비, 급수장치, 역무원, 구조대와의 통신시설)
- 고령자와 이동 장애자의 안전구역으로의 접근성과 거주면적
- 비상시 독립적 동작을 보장하기 위한 비상 전원 및 조명 시스템
- 이동 장애 이외의 장애인에 대한 고려

(2) 안전구역의 유지관리 및 대응

- 대상 공간의 화재발생에 대한 시나리오 작성 기반 비상대응계획의 수립
- 승객이 비상계획, 특히 안전구역의 사용을 알도록 광고, 교육 수행
- 요원이 비상 계획과 안전구역의 사용에 대해 익숙해지도록 하기 위한 교육 수행
- 신뢰성을 높이기 위해 요원의 전문지식 및 훈련 수행
- 안전구역에서 부상이 발생 대비 훈련 포함
- 안전구역으로의 경로 표시 문제
- 접근 경로/안전구역이 확실히 과부하 걸리지 않도록 사령실 및 대응요원의 행동 지침 설정
- 상황변화에 대한 안내 여부

제8절 안전구역위치선정 프로그램 개발

1. 안전구역 위치선정 프로그램 개발 배경

가. 국내외 대심도 역사의 대피요소 현장조사

(1) 수도권의 대심도 역사 현장조사

수도권 지역의 대량 승객 운송수단의 목적으로 도시철도(지하철)을 구축하여 왔다.

한정된 구간에서 다수의 지하철이 시공되어졌으며 필연적으로 지하철 호선간의 교차와 지형적인 환경으로 인하여 지하 깊은 곳에 건설되고 운영되어지는 대심도 역사들이 다수 건설되게 되었다. 이러한 역사중에는 환승역 구조로 인하여 내부 통로가 복잡한 구조로 되어 있다. 최근에는 건설비용이 다소 증가하나 토지의 용지 보상이 적은 지하 40m 깊이로 수도권을 관통하여 고속으로 운영되는 GTX 설치 운영될 예정이며 이러한 대심도 역사가 증가 될 것으로 예상된다.

도표 2.8.1. 에서 보는 바와 같이 수도권에서의 호선별 심도(深度)가 깊은 역사를 호선별로 정리하였으며, 특히 서울 도시철도공사에서 운영하는 5-8호는 40m 이상의 대심도 역사를 보유하고 있음을 알 수 있다. 이러한 대심도 역사는 화재 발생시 승객의 주 대피이동로인 계단이 매우 길고 가파르기 때문에 법적인 규정인 안전지대인 지상 밖으로 10분 이내 대피하기가 어려울 것으로 예상된다.

표 2.8.1 수도권 호선별 가장 심도가 깊은 역사 및 운영기관

노선	역사	역사 심도	관할 기관
1	종로 3가역	13	서울메트로
2	이대역	36	서울메트로
3	충무로역	28	서울메트로
4	회현역	23	서울메트로
5	신금호역	44	서울도시철도공사
6	버티고개역	43	서울도시철도공사
7	숭실대입구역	47	서울도시철도공사
8	산성역	56	서울도시철도공사

각 역사에 대하여 현장조사를 하였 수행하였으며 실제 피난을 위한 요소들을 확인하였다.

각 사진에서 확인할 수 있듯이 주 대피통로인 에스컬레이터와 계단은 대피하기에 매우 가파랐고 장대화 되어 있어 10분안에 밖으로 대피할 수 있는지에 대하여는 회의적인 판단이 든다.

한편 호주 및 NFPA130에서는 철도역사의 대형화 및 대심도화되는 추세이기 때문에 피난을 위한 요소로서 화재댐퍼가 되어 있고 전실이 구성되어 있으면 화재시 대피를 위한 통로로 활용이 되도록 허용하고 있다. (NFPA 130) 그러나 현재 설치된 승강기(사진참조)의 경우 피난을 위한 대피요소로는 활용하기에는 전실 및 댐퍼가 설치되어 있지 않으며, 용량이 작기 때문에 피난용으로 사용하기에는 부적절하다.



그림 2.8.1 1호선 종로3가 역



그림 2.8.2 2호선 이대역

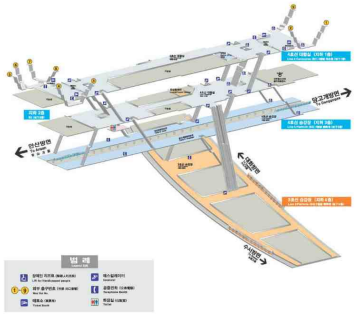


그림 2.8.3 3호선 충무로역

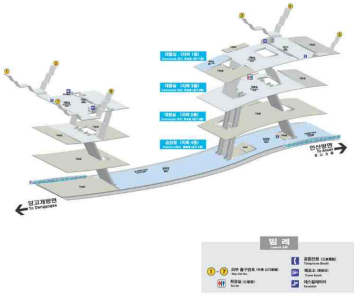


그림 2.8.4 4호선 회현역

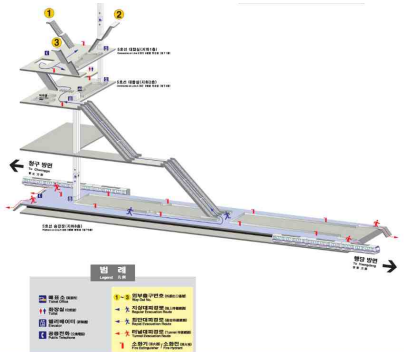


그림 2.8.5 5호선 신금호역

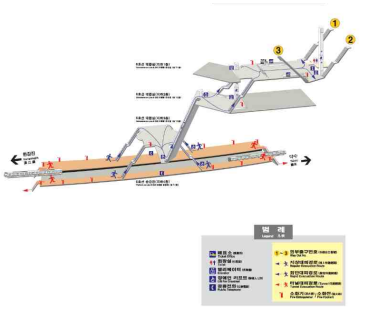


그림 2.8.6 6호선 버티고개역

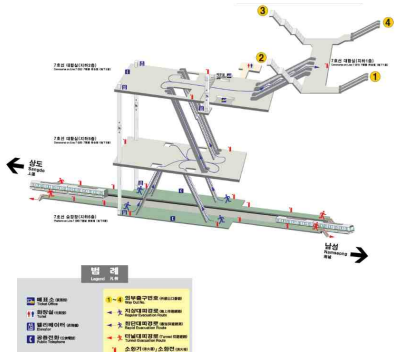


그림 2.8.7 7호선 숭실대입구역

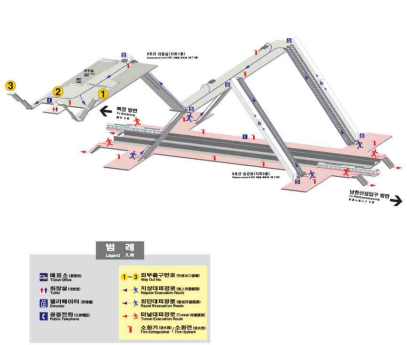


그림 2.8.8 8호선 산성역



그림 2.8.9 심도 역사 에스컬레이터



그림 2.8.10 이수역 엘리베이터



그림 2.8.11 경사 엘리베이터



그림 2.8.12 숭실대 노약자용 엘리베이터



그림 2.8.13 숭실대 지상 연결 엘리베이터



그림 2.8.14 지하 8층까지 운영되는 엘리베이터



그림 2.8.15 엘리베이터



그림 2.8.16 엘리베이터 내부





그림 2.8.17 버티고개역 계단 및 엘리베이터 그림 2.8.18 버티고개역 경사 엘리베이터



그림 2.8.19 산성역 개찰구 출구



그림 2.8.20 산성역 주차장 통로



그림 2.8.21 산성역 역무실 및 대합실



그림 2.8.22 산성역 개찰입구



그림 2.8.23 산성역 지상출구 계단



그림 2.8.24 산성역 중간대합실



그림 2.8.25 산성역 중간 대합실



그림 2.8.26 산성역 승강장



그림 2.8.27 산성역 에스컬레이터 및 계단

(2) 수도권이외의 대심도 역사 현장조사

수도권 이외에도 부산 만덕역사의 경우에는 아래 그림과 같이 매우 깊기 때문에 만덕지하역사의 형상특징을 정확하게 파악하기 위하여 만덕지하역사에 3D로 표현하였다.

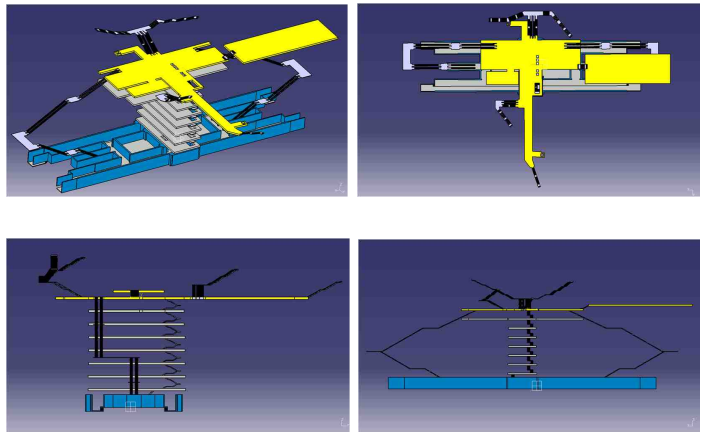


그림 2.8.28 부산 3호선 만덕지하역사 CAD

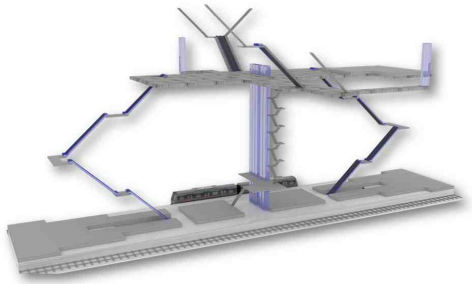


그림 2.8.29 만덕역사



그림 2.8.30 만덕역 이용 안내도

상위 그림에서 확인할 수 있듯이 만덕지하역사는 지하 9층으로 구성되었으며 구조는 길이 149m 폭 40m 깊이 61~73m인 국내 최대 대심도 역사중 하나이다. 승강장 타입은 섬식이며, 스

크린 도어(PSD : Platform Screen Door)가 설치되어 있다. 지하의 깊이가 다른 것은 지상이 경사져 있기 때문이다. 승강장은 지하 9층이며, 그림 2.8.30의 파란색으로 표시되어 있다. 대합실은 지하 1층이며, 노란색으로 표시되어 있고, 그 밖의 회색으로 표시된 지하 2층에서 8층은 평상시에는 각 승강장 운영을 위한 각 기계실 및 제어반이 있는 공간이다. 따라서 1층과 9층의 이동수단은 중앙부의 엘리베이터와 승강장 양 끝 공간에 있는 에스컬레이터이다. 일반 승객은 평소에 엘리베이터를 주로 이용하고 있다. 현재는 만덕역사의 승객이 많지 않아 에스컬레이터가 운영되지 않고 있다. 화재가 발생할 경우 주 대피로는 그림에서 보는 바와 같이 승강장 바깥쪽 양끝 에스컬레이터와 그림에서의 승강장 중앙에 있는 비상계단을 통하여 대피한다.

승강장 및 대합실의 화재시 제연/배연 설비의 운영방식은 연기감지기에 의해 감지되었을 때 제연/배연 설비가 구동이 되며 아래그림의 에스컬레이터 입구의 방화셔터가 천정에서 일부분 내려와 제연벽 역할을 하며, 에스컬레이터에 연기의 유입이 차단 또는 지연된다. 화재가 커지게 되면 온도감지기에 의해 방화셔터가 바닥까지 내려와 화재의 열원을 차단하고, 피난승객을 보호한다. 미처 빠져나오지 못한 승객은 비상문을 통하여 출입하게 된다.



그림 2.8.31 만덕역 에스컬레이터



그림 2.8.32 만덕역사 승강장 스크린 도어



그림 2.8.33 방화셔터/비상문



그림 2.8.34 제연환기구



그림 2.8.35 피난계단 및 출입구



그림 2.8.36 제연/배연덕트 및 팬, 팬 제어반(우측 그림)

나. NFPA 대피시간 계산 내용

(1) 숭실대입구 역사의 대피시간 계산

숭실대 지하역사의 제연/배연시스템은 화재가 Fig.2.8.37에서 보는바와 같이 진행 방향의 6번 전동차에서 발생하였다고 설정하면 승강장의 선로부 상부덕트로 배기가 되며, ZONE 4에서 배기 ZONE3에서 급기가 된다. Fig 2.8.39에서는 이러한 화재 위치에 대해 NFPA 130 [7]에 따라 안전한 지상까지의 대피시간을 계산하기 위하여 각 요소를 나타내었다. 대피인원은 탑승승객과 승강장대기인원의 합이다. 전동차 승객인원은 탑승정원의 80%로 가정하였으며 플랫폼의 대기인원은 상하선 각 500명으로 설정하였다. 따라서 화재 발생한 승강장은 1500명, 반대쪽 승강장은 500명이라 설정하였다. 화재시에는 엘리베이터와 에스컬레이터는 작동 중지되었다고 설정하였다. Fig 2.8.39과 Eq을 이용하면 T:6.67min, Wp : : 1.52min, W5c : 2.28, Wg :0min, W2c : 0min 이다. 특히 5층의 대기시간이 긴데 이는 승강장에 비하여 승객을 수용할 수 있는 5층의 면적이 작고 계단의 용량이 작기 때문이다. 승객의 대피시간은 화재 발생한 승강장의 경우 10.47min 이며, 반대쪽 승강장의 승객 대피 시간은 8.95min이다. 이처럼 대피에 시간소요가 크다는 것을 알 수 있다. 비록 승강장 탈출하는 데는 4분을 만족하나 안전구역(외부)까지는 법적

기준인 6분을 만족하지 못함을 알 수 있다.

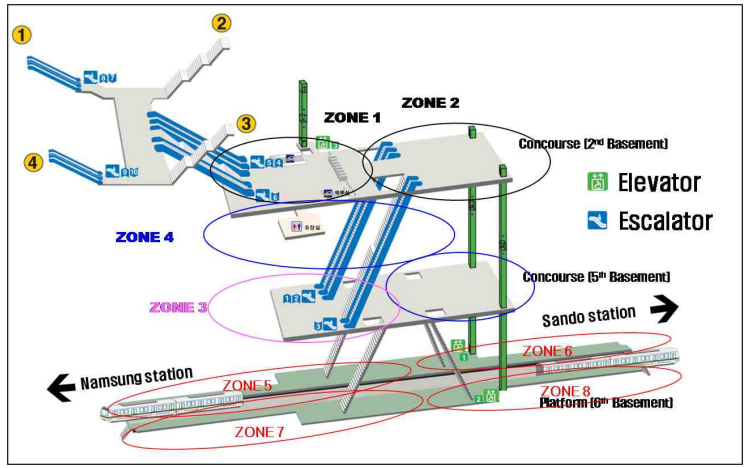


그림 2.8.37 숭실대 입구 역사의 제연배연 구획

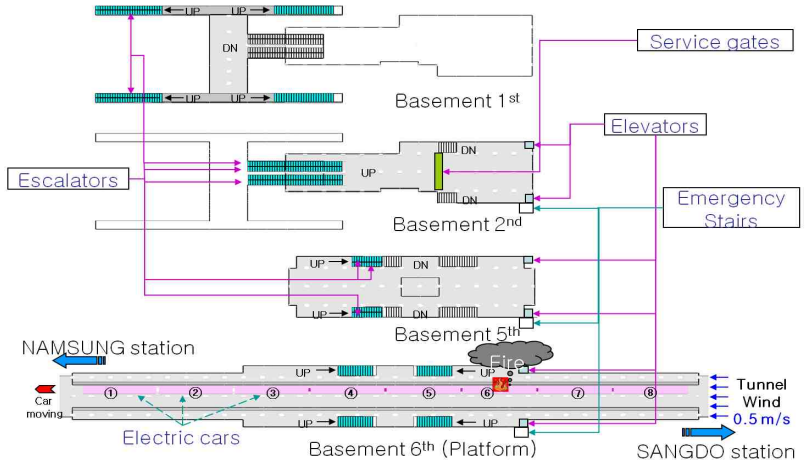


그림 2.8.38 숭실대입구역사의 피난요소들

Egress Element	mm	p /mm-min	p/min
Inbound platform to concourse(B5th)			
Stairs(2)	8000	0.0555	444
Concourse(B5th) to concourse(B2nd)	1400	0.0555	78
Stairs(1)	3600	0.0555	200
Escalators(3)	5200	0.0819	426
Throughfare barriers(B2nd)	7600	0.0555	422
sate(10)	8400	0.0555	466
Fare barriers to safe area			
Stairs(3)			
Escalators(7)			
Walking Time for Longest Exit Route	**m**	**m/min**	**minutes**
Inbound platform			
On platform, T1	70	37.7	1.86
Platform to concourse, T2	4.6	12.1	0.38
On concourse, T3	26	37.7	0.66
Concourse(B5th) to concourse(B2nd), T4	14	12.1	1.16
On concourse, T5	32	37.7	0.85
Concourse to grade, T6	18	12.1	1.49
On grade to safe area, T7	10	37.71	0.27
Total walking time : T=T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7			6.67
Egress Element	**mm**	**p /mm-min**	**p/min**
Outbound platform to concourse(B5th)			
Stairs(2)	8000	0.0555	444
Emergency stairs(1)	4000	0.0555	222
Concourse(B5th) to concourse(B2nd)	1400	0.0555	78
Stairs(1)	3600	0.0555	200
Escalators(3)	5200	0.0819	426
Throughfare barriers(B2nd)	7600	0.0555	422
Service gates	8400	0.0555	466
Fare barriers to safe area			
Stairs			
Escalators			
Walking Time for Longest Exit Route	**m**	**m/min**	**minutes**
Outbound platform			
On platform, T1	70	37.7	1.86
Platform to concourse, T2	4.6	12.1	0.38
On concourse, T3	26	37.7	0.66
Concourse(B5th) to concourse(B2nd), T4	14	12.1	1.16
On concourse, T5	32	37.7	0.85
On concourse, T6	18	12.1	1.49
On grade to safe area, T7	10	37.71	0.27
Total walking time : T=T1+T2+T3+T4+T5+T6+T7			6.67

Total Egress Time

$$= T + W_P + W_{SC} + W_g + W_{2C}$$

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T7$$

T : 6.67min, Wp : 1.52min,
W_{SC}: 2.28 min

Total Egress Time :
-10.47min (In-bound Platform)
- 8.95 min (Out-bound Platform)

그림 2.8.39 NFPA130 근거한 대피 시간계산

(2) 만덕 역사의 대피시간 계산

만덕지하역사의 제연/배연시스템은 화재가 Fig.2.8.40에서 형상을 참조하여 보는바와 같이 진행 방향의 에스컬레이터 B 방향의 전동차에서 발생하였다고 상정하였으며 승강장의 선로부 상부덕트로 배기가 되며, 대합실에서 급기가 되는 구조이다. Fig 2.8.40에서는 이러한 화재 위치에 대해 NFPA 130 [7]에 따라 안전한 지상까지의 대피시간을 계산하기 위하여 각 요소를 나타내었다. 대피인원은 탑승승객과 승강장대기인원의 합이다.

만덕역사는 부산에서 이용률이 적은 역사중 하나이기 때문에 이용승객 기준으로 하면 다소 작아지기 때문에 전동차 승객인원은 설계인원을 기준으로 하였으며 플랫폼의 대기인원은 요금정산소 출입 인원수를 기준으로 하였다. 이에 승강장 대기인원 65명, 차량설계인원 입석 71명, 좌석 42명이나 피난인원을 설계입석 인원의 150%로 설정하여 1량당 107명 따라서 총 승강장에서 대피해야 하는 인원은 661명으로 설정하였다. 상세인원은 만덕역사 안전구역 위치선정에서 대한 내용을 하기에서 제시토록 하였다.

별도의 계단없이 오직 엘리베이터와 에스컬레이터로만 이용가능하며 현재 역사의 운영경비를 절약하기 위하여 에스컬레이터는 운행을 하고 있지 않고 있다. 따라서 화재 발생시에는 엘리베이터는 운영이 금지되고 비록 에스컬레이터는 운영을 하고 있지 않지만 계단으로 활용할 가능성이 크므로 대피시 에스컬레이터를 모두 이용하는 걸로 가정하였다. 그리고 비상시 이용하는 비상계단도 이용되도록 하였다.

Fig 2.8.41에서 NFPA130 피난 계산식을 이용하면 여기서 가장 긴 코스(비상계단)를 모든 승객이 이용한 것으로 판단하였을 때 이동시간은 T:19.89min이고 승강장 대기시간은 0.652min이고 총대피시간은 20.542min이다. 이며, 그보다 짧은 에스컬레이터를 이용하였을 때는 승강장의 대기시간은 없고 이동시간만이 소요되며 총대피시간은 17.69min이다. 본 해석결과를 활용하였을 때 승강장의 비상계단을 이용할 때 비상계단의 입구에서 정체됨을 확인할 수 있으며, NFPA130 분석에서는 교통약자에 대한 고려를 적용하지 않았으나 승객에 교통약자가 포함되면 더 많은 시간이 소요되어 피난할 가능성이 크다. 이러한 결과는 만덕역사가 상기에서 소개

되었듯이 국내 최장 심도이며 승강장에서 지상으로 탈출할 수 있는 경로가 비상계단외에는 없기 때문이다. 다만 승강장을 빠져나오는데는 승강장에 대기하는 인력이 적기 때문 크게 소요되지 않음을 NFPA130 피난분석에서도 확인 할 수 있다.

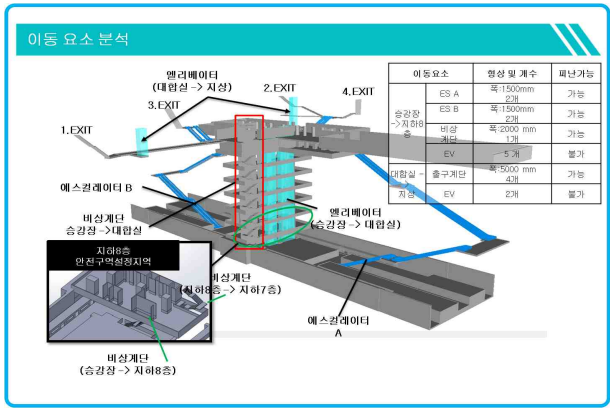


그림 2.8.40 만덕역사의 피난요소들

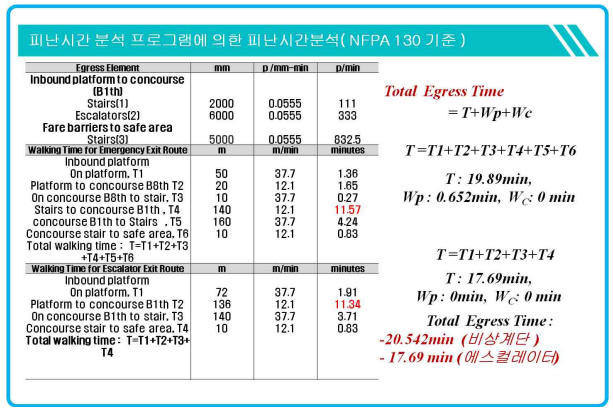


그림 2.8.41 NFPA130 근거한 만덕역사의 대피 시간계산

따라서 숭실대 입구역사와 마찬가지로 역사가 복잡하고 심도가 깊을수록 역사 내부에 화재 발생시 승객들이 미쳐 안전지대까지 대피를 못할 경우에도 대피할 수 있도록 역사 내부의 여유 공간에 차연이 되는 안전구역을 설치하여 승객의 피해를 최소화 하도록 하여야 한다.

본 연구에서는 이러한 역사 내에 안전구역을 여유공간에 설치한다고 가정하였을 때 적절한 위치를 찾을 수 있는 개념을 제시하고자 한다.

2. 안전구역 기술 자료 조사

가. 안전구역 관련법 조사

일반 건축물에 관한 피난안전구역 관련하여 국내에서 적용되고 있는 법령은 건축물의 피난, 방화구조 등의 기준에 관한규칙 [시행 2014.5.23.] [국토교통부령 제94호, 2014.5.22., 타법개정]

에 명시되어 있으며, 내용은 아래 글상자와 같다.

제8조의2(피난안전구역의 설치기준) ① 영 제34조제3항 및 제4항에 따라 설치하는 피난안전구역(이하 "피난안전구역"이라 한다)은 해당 건축물의 1개층을 대피공간으로 하며, 대피에 장애가 되지 아니하는 범위에서 기계실, 보일러실, 전기실 등 건축설비를 설치하기 위한 공간과 같은 층에 설치할 수 있다. 이 경우 피난안전구역은 건축설비가 설치되는 공간과 내화구조로 구획하여야 한다. ;개정 2012.1.6.

② 피난안전구역에 연결되는 특별피난계단은 피난안전구역을 거쳐서 상·하층으로 갈 수 있는 구조로 설치하여야 한다.

③ 피난안전구역의 구조 및 설비는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. ;개정 2012.1.6.

1. 피난안전구역의 바로 아래층 및 윗층은 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제21조제1항제1호에 적합한 단열재를 설치할 것. 이 경우 아래층은 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 기준을 준용하고, 윗층은 최하층에 있는 거실의 바닥 기준을 준용할 것
2. 피난안전구역의 내부마감재료는 불연재료로 설치할 것
3. 건축물의 내부에서 피난안전구역으로 통하는 계단은 특별피난계단의 구조로 설치할 것
4. 비상용 승강기는 피난안전구역에서 승하차 할 수 있는 구조로 설치할 것
5. 피난안전구역에는 식수공급을 위한 급수전을 1개소 이상 설치하고 예비전원에 의한 조명설비를 설치할 것
6. 관리사무소 또는 방재센터 등과 긴급연락이 가능한 경보 및 통신시설을 설치할 것
7. 별표 1의2에서 정하는 기준에 따라 산정한 면적 이상일 것
8. 피난안전구역의 높이는 2.1미터 이상일 것
9. 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제14조에 따른 배연설비를 설치할 것
10. 그 밖에 소방방재청장이 정하는 소방 등 재난관리를 위한 설비를 갖출 것

[본조신설 2010.4.7.]

또한 별표 1의2에서 피난안전구역의 면적 산정기준을 제시하였다.

[별표 1의2] <신설 2012.1.6>

피난안전구역의 면적 산정기준(제8조의2제3항제7호 관련)

1. 피난안전구역의 면적은 다음 산식에 따라 산정한다.

(피난안전구역 윗층의 재실자 수 × 0.5) × 0.28㎡

가. 피난안전구역 윗층의 재실자 수는 해당 피난안전구역과 다음 피난안전구역 사이의 용도별 바닥면적을 사용 형태별 재실자 밀도로 나눈 값의 합계를 말한다. 다만, 문화·집회용도 중 벤치형 좌석을 사용하는 공간과 고정좌석을 사용하는 공간은 다음의 구분에 따라 피난안전구역 윗층의 재실자 수를 산정한다.

1) 벤치형 좌석을 사용하는 공간: 좌석길이 / 45.5㎝

2) 고정좌석을 사용하는 공간: 휠체어 공간 수 + 고정좌석 수

나. 피난안전구역 설치 대상 건축물의 용도에 따른 사용 형태별 재실자 밀도는 다음 표와 같다.

용 도	사용 형태별		재실자 밀도
문화·집회	고정좌석을 사용하지 않는 공간		0.45
	고정좌석이 아닌 의자를 사용하는 공간		1.29
	벤치형 좌석을 사용하는 공간		-
	고정좌석을 사용하는 공간		-
	무대		1.40
	게임제공업 등의 공간		1.02
운동	운동시설		4.60
교육	도서관	서고	9.30
		열람실	4.60
	학교 및 학원	교실	1.90
보육	보호시설		3.30
의료	입원치료구역		22.3
	수면구역		11.1
교정	교정시설 및 보호관찰소 등		11.1
주거	호텔 등 숙박시설		18.6
	공동주택		18.6
업무	업무시설, 운수시설 및 관련 시설		9.30
판매	지하층 및 1층		2.80
	그 외의 층		5.60
	배송공간		27.9
저장	창고, 자동차 관련 시설		46.5
산업	공장		9.30
	제조업 시설		18.6

※ 계단실, 승강로, 복도 및 화장실은 사용 형태별 재실자 밀도의 산정에서 제외하고, 취사장·조리장의 사용 형태별 재실자 밀도는 9.30으로 본다.

2. 피난안전구역 설치 대상 용도에 대한 「건축법 시행령」 별표 1에 따른 용도별 건축물의 종류는 다음 표와 같다.

용도	용도별 건축물
문화 · 집회	문화 및 집회시설(공연장 · 집회장 · 관람장 · 전시장만 해당한다), 종교시설, 위락시설, 제1종 근린생활시설 및 제2종 근린생활시설 중 휴게음식점 · 제과점 · 일반음식점 등 음식 · 음료를 제공하는 시설, 제2종 근린생활시설 중 공연장 · 종교집회장 · 게임제공업 시설, 그 밖에 이와 비슷한 문화 · 집회시설
운동	운동시설, 제1종 근린생활시설 및 제2종 근린생활시설 중 운동시설
교육	교육연구시설, 수련시설, 자동차 관련 시설 중 운전학원 및 정비학원, 제2종 근린생활시설 중 학원 · 직업훈련소 · 독서실, 그 밖에 이와 비슷한 교육시설
보육	노유자시설, 제1종 근린생활시설 중 지역아동센터
의료	의료시설, 제1종 근린생활시설 중 의원, 치과의원, 한의원, 침술원, 접골원(接骨院), 조산원 및 안마원
교정	교정 및 군사시설
주거	공동주택 및 숙박시설
업무	업무시설, 운수시설, 제1종 근린생활시설과 제2종 근린생활시설 중 지역자치센터 · 파출소 · 사무소 · 이용원 · 미용원 · 목욕장 · 세탁소 · 기원 · 사진관 · 표구점, 그 밖에 이와 비슷한 업무시설
판매	판매시설(게임제공업 시설 등은 제외한다), 제1종 근린생활시설 중 수퍼마켓과 일용품 등의 소매점
저장	창고시설, 자동차 관련 시설(운전학원 및 정비학원은 제외한다)
산업	공장, 제2종 근린생활시설 중 제조업 시설

초고층 건축물의 경우 아래그림과 같은 체계로 구성되어 있다. 피난안전구역은 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법에 의거 하여 행정규칙 고층건축물의 화재안전기준(NFSC 604)에서는 피난안전구역에 설치하는 소방시설의 설치기준을 다음과 같이 명시하였다.



그림 2.8.42 건축물의 피난안전구역 관련 법 체계

[별표 1]

피난안전구역에 설치하는 소방시설 설치기준(제10조관련)

구 분	설치기준
1. 제연설비	피난안전구역과 비 제연구역간의 차압은 50pa(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5Pa) 이상으로 하여야 한다. 다만 피난안전구역의 한쪽 면 이상이 외기에 개방된 구조의 경우에는 설치하지 아니할 수 있다.
2. 피난유도선	피난유도선은 다음 각호의 기준에 따라 설치하여야 한다. 가. 피난안전구역이 설치된 층의 계단실 출입구에서 피난안전구역 주 출입구 또는 비상구까지 설치할 것 나. 계단실에 설치하는 경우 계단 및 계단참에 설치할 것 다. 피난유도 표시부의 너비는 최소 25mm 이상으로 설치할 것 라. 광원점등방식(전류에 의하여 빛을 내는 방식)으로 설치하되, 60분 이상 유효하게 작동할 것
3. 비상조명등	피난안전구역의 비상조명등은 상시 조명이 소등된 상태에서 그 비상조명등이 점등되는 경우 각 부분의 바닥에서 조도는 10lx 이상이 될 수 있도록 설치할 것
4. 휴대용비상조명등	가. 피난안전구역에는 휴대용비상조명등을 다음 각호의 기준에 따라 설치하여야 한다. 1) 초고층 건축물에 설치된 피난안전구역: 피난안전구역 위층의 재실자수(「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 별표 1의2에 따라 산정된 재실자 수를 말한다)의 10분의 1 이상 2) 지하연계 복합건축물에 설치된 피난안전구역: 피난안전구역이 설치된 층의 수용인원(영 별표 2에 따라 산정된 수용인원을 말한다)의 10분의 1 이상 나. 건전지 및 충전식 건전지의 용량은 40분 이상 유효하게 사용할 수 있는 것으로 한다. 다만, 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우의 용량은 60분 이상으로 할 것

5. 인명구조기구	가. 방열복, 인공소생기를 각 2개 이상 비치할 것 나. 45분이상 사용할 수 있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다)를 2개이상 비치하여야 한다. 다만, 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우에는 동일한 성능의 예비용기를 10개 이상 비치할 것 다. 화재시 쉽게 반출할 수 있는 곳에 비치할 것 라. 인명구조기구가 설치된 장소의 보기 쉬운 곳에 “인명구조기구”라는 표지판 등을 설치할 것

철도분야에서의 법령은 아래 그림과 같은 체계로 되어 있다.

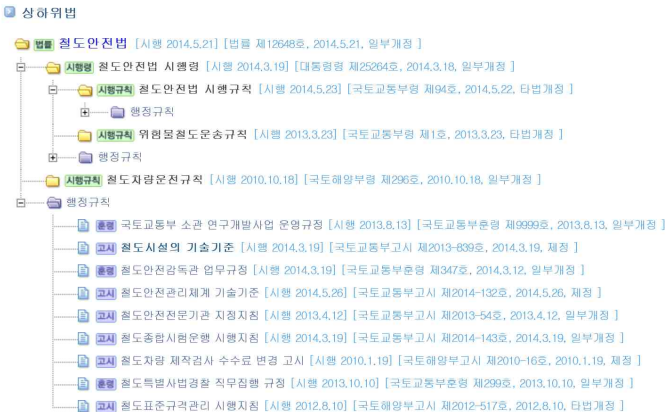


그림 2.8.43 철도 안전법 체계

국내의 철도안전법에서는 피난안전구역에 관하여 법률로 제안하지 않고 있으나 명시되어 있지 않는 내용에 대하여는 건축물의 피난,방화구조 등의 기준에 관한규칙을 준용토록 하고 있다. 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침에서는 안전구역의 개념보다는 안전한 외부출입구만 언급되어 있다.

> 3) 대피시간의 기준
> 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독 가스로부터 안전한 외부출입구를 벗어나도록 한다.

철도시설의 기술기준 [시행 2014.3.19.] [국토교통부고시 제2013-839호, 2014.3.19. , 제정]

에서는 건축법에서 의미하는 피난안전구역은 명기되어 있지 않으나 장대터널의 철도안전성 분석의 매뉴얼에서 경우에 피난안전구역을 의미하는 대피소 유무에 따른 분석 수행 내용이 있다. 이외에도 구난자가 접근이 가능하도록 아래 글상자와 같이 방재구난지역을 설치하도록

하였다. 따라서 대피소에 어떠한 소방시설과 면적기준 등이 제시되어 있지 않아 외부로만 대피하게끔 유도하는 것이 문제점으로 발생 할 수 있다.

> 제53조(방재구난지역) 진입로에는 다음 각 호에 따라 방재구난지역을 확보하여야 한다.
> 1. 터널 출입구 및 대피통로 출구까지는 방재구난지역을 통해 진입이 가능할 것
> 2. 방재구난지역은 가급적 터널 출입구 및 대피통로 출구에 가깝게 위치하여야 하며 지형 여건상 부득이한 경우에는 최대 200미터 이내에 설치할 것
> 3. 방재구난지역의 면적은 400제곱미터 이상이어야 하며 컨테이너 등의 다른 시설물을 설치하지 아니할 것
> 4. 방재구난지역은 가능한 선로높이와 비슷한 높이로 설치할 것
> 5. 지형여건상 진입로 및 방재구난지역을 설치하기가 곤란한 경우에는 터널 입·출구부 인근에 「항공법」에 따라 헬기장을 설치할 것
> 6. 방재구난지역은 야간 구조 활동을 위하여 조명설비를 설치하여야 하며, 구조활동에 필요한 그 밖에 다른 장치가 필요한 경우에는 별도로 설치할 것
> 7. 단선 병렬터널은 구조용 차량이 터널 갱구 앞을 통과할 수 있도록 출입구 근처 바깥쪽에 구획을 정리할 것
> 8. 터널 출입구와 대피통로 출구의 방재구난지역 지면이 궤도높이와 표고차가 발생할 경우에는 현장여건을 고려하여 대피 및 구조가 가능하도록 할 것

국외의 경우에는 피난구역에 대한 면적산정 기준을 미국(IBC)의 피난구역의 1인당 면적산정기준(0.28㎡/1인) 적용하고 있다.

나. 안전구역 관련 기술자료

철도역사에서 피난안전구역 최적의 위치산정을 자동으로 하는 국내외 프로그램 개발내용은 없다.

다만 일반 건축물에 관련하여 피난안전구역에 대한 연구가 진행되어 있는데 하기와 같다.

(1) 백승태, 이수경, 강계명, 정기신, “국내 초고층 아파트의 화재시 안전구역(대피장소)의 효용성 검토에 관한 연구 ”

> 초 고층 아파트의 화재시 건물내의 재실자들의 피난성능 확보를 위한 방안으로 제시되는 피난층(대피공간)의 인정에 대해서 그 효용성을 검토하고자 우리나라에서 건설된 초 고층 아파트를 선정하여 피난시뮬레이션을 실시하여 안전구역(대피공간)이 없을 경우의 피난시간보다 대략 5min 53.1sec, 7min 40.7sec 정도가 단축되어 종전보다 건물의 피난성능의 확보가 가능하기 때문에 안전구역의 효용성이 입증된 것으로 판단하였다.

(2) 한명신, 박재성, 최영관, “초고층 건축물 피난안전구역 관련 기준의 개선을 위한 개념적 연구 ”

> 우리나라는 2009년 7월16일 개정된 건축법 시행령을 통하여 층수가 50층 이상이거나 높이가 200미터 이상인 건축물을 초고층 건축물로 규정하고 이러한 건축물의 피난안전을 위하여 지상층으로부터 최대 30개 층마다 설치하는 대피공간을 피난안전구역으로 정의하였는데 이후 2010년 2월 18일 개정령에서 초고층 건축물의 피난안전구역을 건축물의 피난층으로 인정하였으나 본 연구에서는 이에 대한 법이 대상인원 등에 따른 대피공간의 면적이나 구조 등 내부시설에 대한 설치기준이 없어 피난안전구역으로서의 충분한 신뢰성을 확보하지 못하고 있음을 지적하고 기준 개선을 요구하였다.

(3) 황은경, “건축법과 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법령간 건축물 용도분류체계 비교 연구”

> 본 저자는 대부분의 건축규제는 건축물의 용도에 따라 적용되기 때문에 건축물의 용도분류체계는 명확하고 일관성 있어야 함을 주장하였으며, 본 연구에서는 건축법과 소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률에서 규정하고 있는 건축물의 용도분류 및 용도별 건축물이 종류를 상호 비교하여 상이점을 도출하고 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.

(4) 황은경, 윤호주 “국내 초고층 건축물 피난관련 기준 비교분석 연구”, 건축방재 Vol. 12, No. 6 (Dec. 2012), pp. 093~098

> 최근 건축물이 대형화·복합화·초고층화됨에 따라 건축물 내 화재 발생 시 재실자의 피난 안전성 확보에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 정부에서는 초고층 건축물 관련 기준 등을 새로 신설하거나 강화하고 있다. 하지만 초고층 건축물 관계법령이 각 개별법령에 산재함에 따라 법령을 적용하는데 많은 어려움을 유발할 수 있다. 이에 본 연구에서는 건축법을 비롯한 초고층 및 지하연계복합건축물의 재난관리에 관한 특별법 등 초고층 관계 법령 간의 비교분석을 통하여 초고층 건축물 관련 기준의 혼재, 초고층 건축물 관련 기준 상이, 국가법령과 지방자치단체 기준 간 관계 모호 등의 문제점을 도출하였다. 그리고 이를 토대로 초고층 건축물을 위한 통합 설계지침 마련, 초고층 건축물 설계기준 단일화, 건축분야의 피난성능설계 도입 등의 개선방안을 제안하였다.
>
> 개선방안으로 먼저, 현행 초고층 법령 간 문제점으로 초고층 건축물 관련 기준의 혼재를 들 수 있다. 즉, 설치목적이 동일한 피난안전구역 설치기준이 건축물 규모에 따라 각각 개별법령에 규정되어 있어 혼란을 야기하고 있다. 다음은 초고층 건축물 관련 기준의 상이로서 피난설계에 가장 중요한 재실자 밀도가 개별법령에 따라 사용용어나 분류체계 그리고 재실자 밀도 기준이 각각 다르게 규정되어 있다. 마지막은 국가 법령과 지방자치단체 기준 간 모호성으로 국가법령보다 지방자치단체 기준이 더 강화된 상황이다.
>
> 이에 대한 개선 방안으로 초고층 건축물을 위한 통합설계지침 마련을 제안하였다. 즉, 각 법령에 산재하여 있는 기준을 통합 운영함으로써 법령 간 연계성을 구축할 수 있을 뿐만 아니라 설계자에게도 편의성을 제공할 수 있다. 다음으로는 개별법령별로 기준이 상이한 재실자 밀도에 대한 용어,분류체계, 밀도 기준 등의 건축물 설계기준 단일화를 제안하였다. 마지막은 건축법에서 도입되지 않았지만 소방 및 재난관계법령이나 지방자치단체에서 도입되고 있는 건축분야의 성능설계기준 도입을 제안하였다.

3. 안전구역 프로그램 개발

가. 개발 프로그램 모듈 및 UI 화면

본 연구개발에서는 프로그램 구성을 아래 그림에서 보는 바와 같이 도면 및 데이터를 입력하는 Pre-processing 역할을 하는 모듈과 프로그램의 결과를 출력하고 분석하는 Post-processing 역할을 하는 모듈 그리고 입력된 데이터를 이용하여 안전구역 위치를 선정하고 피난안전구역에 대하여 구성시스템을 자동설계하는 등의 Main-processing이 있다. 당해연도에서는 Main-processing을 담당하는 모듈을 개발하였으며, 차년도에 Pre와 Post processing 역할을 하는 모듈을 개발하여 완료할 예정이다.

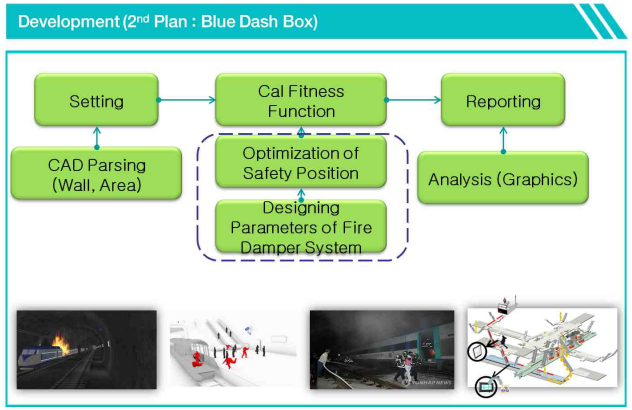


그림 2.8.44 프로그램 개발 모듈

아래 그림은 이러한 모듈 구성을 목표로 하여 세부적인 개발 모듈의 역할과 기능의 Flow Chart를 보여 주고 있다. 그림에서 일부 기능에 따라서 개발언어는 다양한 언어를 사용하여 개발한다. 특히 GUI에서는 최근의 모바일 환경 특성에 맞게 C#으로 개발 하고 있으며, 이는 향후 테블릿 PC 등에 적용가능하도록 하기 위함이다.

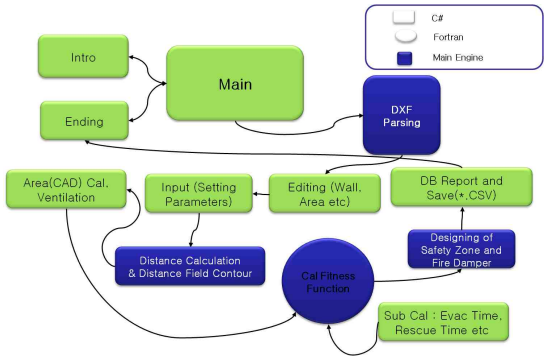


그림 2.8.45 각 모듈의 기능 및 Flow Chart

프로그램의 GUI는 모바일 적용도 가능하게 하기 위하여 화면크기를 조절하였으며, 대부분의 기능을 버튼 방식으로 수행하도록 하였다. 당해연도에서는 1, 2차에 걸쳐 화면을 개발하였으며

향후 Pre 또는 Post의 개발내용에 따라 화면을 개선해 나갈 예정이다.

아래 그림에서 보는 바와 같이 승객의 이동 경로나 구난자의 이동경로에 대한 설정 방식은 버튼 삽입형으로 하여 상기에서 언급하였듯이 터치 방식으로 입력이 되게끔 하였다. 따라서 누구나 사용하기 쉽고 편리하게 이용가능하게 하였다.

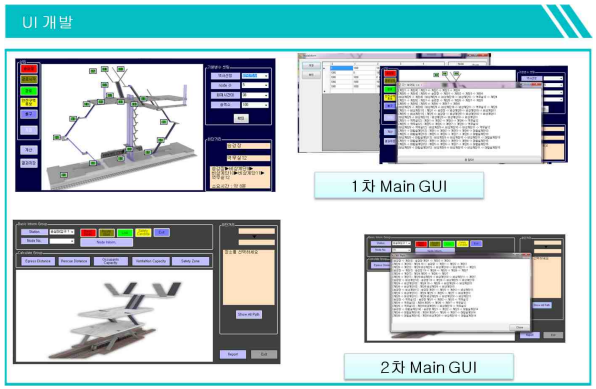


그림 2.8.46 프로그램 개발 화면 (UI)

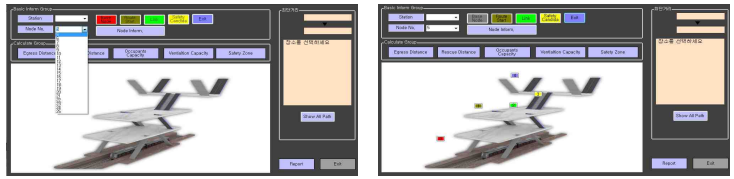


그림 2.8.47 노드 링크 버튼 삽입

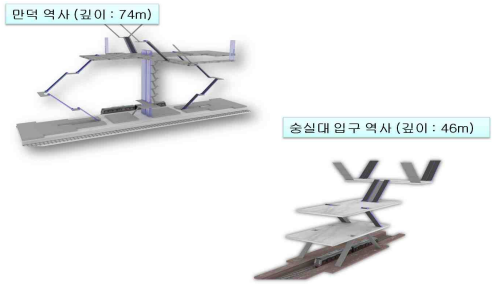


그림 2.8.48 각 역사의 구조도

나. 탐색 알고리즘

본 연구에서는 승강장에서 피난안전구역 후보지까지의 경로를 찾기 위하여 다양한 최단거리 탐색알고리즘을 검토하였다. (탐색 알고리즘 설명은 위키피디아 참조)

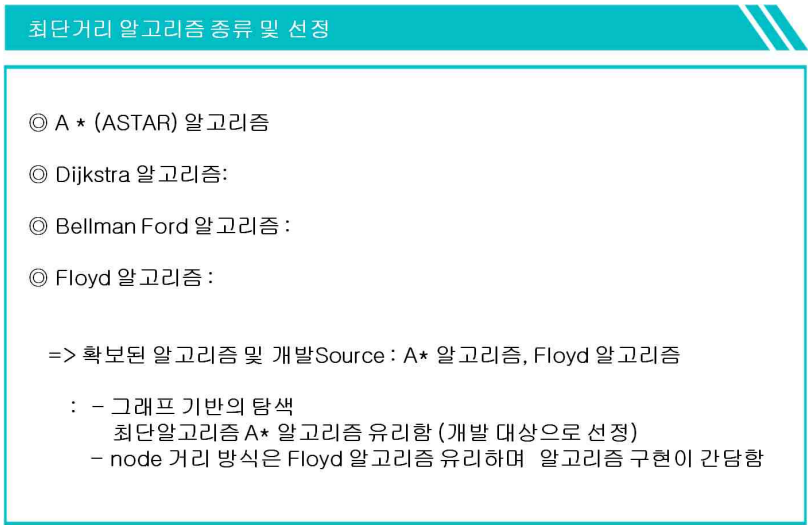


그림 2.8.49 개발을 위한 탐색알고리즘 종류 및 특징

(1) A* 알고리즘

A* 알고리즘은 주어진 출발 노드에서 목적지 노드까지 가는 최단경로를 탐색하는 그래프/트리 탐색 알고리즘이다. 먼저 가장 첫 번째 검색을 주어진 초기조건에서 최소 비용(최단거리)의 경로를 발견하고 이를 통과하여 다시 정렬 이후 최소 비용(최단거리)의 다음번 노드의 순위 값을 매기는 방법을 사용한다. 알고리즘은 이 휴리스틱 추정값의 순서로 노드를 방문하기 때문에 A* 알고리즘을 best first search의 한 예로 분류할 수 있다.

A* 알고리즘은 출발노드로부터 목표노드까지의 최적경로를 탐색하기 위한 것이다. 이를 위해서는 각각의 노드에 대한 평가함수를 정의해야 한다. 이를 위한 평가함수 f(n)은 다음과 같다.
f(n) = g(n) + h(n) g(n) : 출발노드로부터 노드 n까지의 경로비용
h(n) : 노드 n으로부터 목표 노드까지의 추정 경로비용

Pseudo Code는 다음의 글상자와 같다.

Pseudo Code

```
function A*(start,goal)
    closedset := the empty set    // The set of nodes already evaluated.
    openset := {start}    // The set of tentative nodes to be evaluated, initially containing
the start node
    came_from := the empty map    // The map of navigated nodes.

    g_score[start] := 0    // Cost from start along best known path.
    // Estimated total cost from start to goal through y.
    f_score[start] := g_score[start] + heuristic_cost_estimate(start, goal)

    while openset is not empty
        current := the node in openset having the lowest f_score[] value
        if current = goal
            return reconstruct_path(came_from, goal)

        remove current from openset
        add current to closedset
        for each neighbor in neighbor_nodes(current)
            if neighbor in closedset
                continue
            tentative_g_score := g_score[current] + dist_between(current,neighbor)

            if neighbor not in openset or tentative_g_score < g_score[neighbor]
                came_from[neighbor] := current
                g_score[neighbor] := tentative_g_score
                f_score[neighbor] := g_score[neighbor] + heuristic_cost_estimate(neighbor,
goal)
                if neighbor not in openset
                    add neighbor to openset

    return failure

function reconstruct_path(came_from, current_node)
    if current_node in came_from
        p := reconstruct_path(came_from, came_from[current_node])
        return (p + current_node)
    else
        return current_node
```

(2) Dijkstra 알고리즘

Dijkstra 알고리즘은 각각의 점 v에 대해 s에서 v까지의 최단 거리 d[v]를 저장하면서 작동한다. 알고리즘의 시작 시에 이 값은 s에 대해서는 0이고, (d[s]=0) 다른 모든 점에 대해서는 무한대(∞) 값으로 놓아 다른 점에 대해서는 아직 최단 경로를 모른다는 사실을 표시한다. 알

고리즘이 종료되었을 때 d[v]는 s에서 v까지의 최단 경로의 거리를 나타내게 되고, 만약 경로가 존재하지 않으면 거리는 여전히 무한대로 남는다.

Dijkstra 알고리즘은 간선 경감(edge relaxation)이라고 불리는 기본 연산을 바탕으로 한다. s에서 u까지의 최단 경로(d[u])를 이미 알고 있고, u에서 v까지의 링크 (u, v)가 존재할 때, s에서 v까지의 최단경로는 u까지의 최단경로에 링크 (u, v)를 연장함으로써 얻을 수 있다. 이 경로의 비용은 d[u]+w(u, v)가 되며, 이 비용이 현재의 d[v] 값보다 낮으면 d[v]를 새로운 값으로 바꾼다.

경감 연산은 모든 간선 (u, v)에 대해 한번씩 경감이 적용되어 모든 d[v]가 최단 경로의 비용을 나타내게 되었을 때 끝난다.

Dijkstra 알고리즘은 과정이 끝날 때까지 점의 집합 S와 Q를 저장한다. S는 d[v]가 최단 경로의 비용임이 이미 알려진 점 v의 집합이고 Q는 나머지 점들의 집합을 가리킨다. S는 공집합에서 시작하여 매 단계마다 Q에서 S로 점들이 하나씩 옮겨 오며, 이때 옮겨 오는 점들은 d[u]가 가장 낮은 값을 갖는 점 u로 정해진다. u가 S로 옮겨 오면, 알고리즘은 u에서 시작하는 모든 간선에 대해 경감 연산을 행한다

Pseudo Code

```
 1  function Dijkstra(Graph, source):
 2      dist[source]  := 0                          // Distance from source to source
 3      for each vertex v in Graph:                 // Initializations
 4          if v ≠ source
 5              dist[v]  := infinity                // Unknown distance function from source to v
 6              previous[v]  := undefined           // Previous node in optimal path from source
 7          end if
 8          add v to Q                              // All nodes initially in Q
 9      end for
10
11      while Q is not empty:                       // The main loop
12          u := vertex in Q with min dist[u]       // Source node in first case
13          remove u from Q
14
15          for each neighbor v of u:               // where v has not yet been removed from Q.
16              alt := dist[u] + length(u, v)
17              if alt < dist[v]:                   // A shorter path to v has been found
18                  dist[v]  := alt
19                  previous[v]  := u
20              end if
21          end for
22      end while
23      return dist[], previous[]
24  end function
```


(3) Floyd 알고리즘

Dijkstra의 알고리즘은 시작정점 하나에 대하여 다른 모든 정점까지의 최단거리를 구하는데 사용된다. 각각의 모든 정점에서 다른 모든 정점까지의 최단 거리를 구하고자 한다면, Dijkstra의 알고리즘을 n번 수행함으로서 얻을 수 있다.

Floyd 알고리즘은 보다 효율성을 위해 제안되었다. 주어진 그래프를 구성하는 정점 사이의 간선 E(i, j)에 두 정점 사이의 거리를 나타내는 가중치를 부여 한다. 이러한 가중치는 C(i, j)로서 표현된다. 만일 n 개의 정점으로 이루어진 그래프를 고려한다면, 그래프를 나타내는 n*n의 행렬 adj_matrix[][] 와 거리를 나타내는 n*n 의 행렬 dist[][] 를 구성한다.

```
최단경로(A,n){
int i, j, k;
for (i = 1; i <= n; i++)
for (j = 1; j <= n; j++) {
D[i][j] = A[i][j]; P[i][j] = 0; }
 for (k = 1; k <= n; k++)
     for (i = 1; i <= n; i++)
         for (j = 1; j <= n; j++)
             if (D[i][j] > D[i][k] + D[k][j])
               {  D[i][j] = D[i][k] + D[k][j];
                  P[i][j] = k ;}
}
```

그림 2.8.50 Floyd 알고리즘 Pseudo Code

본 연구에서는 네트워크 기반의 노드 링크 방식으로 탐색알고리즘을 구현하는데 있다. 이는 단순히 최단거리 뿐만 아니라 안전구역까지 도달하는 모든 경로도 같이 구하여야 하기 때문에 그래프 기반의 최단거리 탐색 알고리즘인 A* 알고리즘은 부적절하다.

이에 Floyd 알고리즘을 사용하여 프로그램을 개발하였다. 아래의 글상자는 본 프로그램에서 Coding 한 Floyd 프로그램 소스이다.

표 2.8.2 Floyd Source (C#)

```
using System;
```

```
using System.Drawing;
using System.Threading;
using System.Collections;
using System.Windows.Forms;
using System.ComponentModel;
using System.Collections.Generic;
using System.Globalization;
using System.IO;
using System.Text;

namespace SFD
{
    // Author 정의
    [Author("Kim Hag Beom JSCsolution")]
    public class Floyd
    {
        private int[,] p;
        private int[,] data;
        public string[] name;
        public int[] dstation;  //각 노드에 대한 정보
        public float[] S_Area;
        public float[] S_Q;
        public string test;
        public int[] line ;
        public string pathSt;
        public int pathln;
        public int pathTime;
        public int preLine;
        public int lastLine;
        public int totstation;
        public int changeLine;
        public int Countc = 0;
        public string s, ns;
        public int arrayA;


        public  static FileStream fs = new FileStream(SFD.Form1.cPath + "\\" + SFD.Form1.result_name,
FileMode.Create, FileAccess.Write);             //
        public static StreamWriter pFilerWriter = new StreamWriter(fs,
System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));



        public Floyd()
        {  BusunInit(); }
        public void BusunInit()
```



```
        {
            string[] dataIJ;
            //FileInfo fileInfo1;
            string currPath = Application.StartupPath ;
            string filename = "SFD_node_name.csv"
            string dataname = "SFD_link_name.csv"
            filename = currPath + "\\" + filename;
            FileStream fs = new FileStream(filename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
            StreamReader sr = new StreamReader(fs, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
            name = new string[SFD.Form1.ibtnNo ];
            Countc = 0;

            fs = new FileStream(filename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
            sr = new StreamReader(fs, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
            while (!sr.EndOfStream)
            {
                s = sr.ReadLine();
              if (Countc < SFD.Form1.ibtnNo)
                {
                    name[Countc] = s;
                }
                Countc++;
            }
            dataname = currPath + "\\" + dataname;
            FileStream dds = new FileStream(dataname, FileMode.Open, FileAccess.Read);
            StreamReader dr = new StreamReader(dds, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));

            data = new int[SFD.Form1.ibtnNo, SFD.Form1.ibtnNo];
            string temp=""
            for (int i = 0; i < SFD.Form1.ibtnNo; i++)
            {
                try
                {
                    ns = dr.ReadLine();

                    if (i < SFD.Form1.ibtnNo)
                    {
                        dataIJ = ns.Split(',');
                        for (int j = 0; j < SFD.Form1.ibtnNo; j++)
                        {
                            temp = dataIJ[j];          data[i, j] = Convert.ToInt16(temp);
                        }
                    }
                }
                catch (Exception ee)
```

```
            {
                MessageBox.Show(ee.Message);
            }
        }

    p = new int[data.GetLength(0), data.GetLength(0)];
}
public void Distance()
{
    string[] dataIJ=new string[2];
    string currPath = Application.StartupPath;
    string linename = "SFD_line_name.csv"
    string routename = "SFD_route.csv"
    for (int i = 0; i < data.GetLength(0); i++)
    {
        for (int j = 0; j < data.GetLength(0); j++)
        {
            p[i, j] = -1;
        }
    }

    for (int k = 0; k < data.GetLength(0); k++)
    {
        for (int i = 0; i < data.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < data.GetLength(0); j++)
            {
                if (data[i, j] > data[i, k] + data[k, j])
                {
                    p[i, j] = k;
                    data[i, j] = data[i, k] + data[k, j];
                }
            }
        }
    }

    line = new int[SFD.Form1.ibtnNo];
    linename = currPath + "\\" + linename;
    FileStream dds = new FileStream(linename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
    StreamReader dr = new StreamReader(dds, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
    Countc=0;
     while (!dr.EndOfStream)
    {
        s = dr.ReadLine();
        line[Countc] = Convert.ToInt16(s.Trim());
```



```
        Countc++;
    }
    routename = currPath + "\\" + routename;
    dstation = new int[SFD.Form1.ibtnNo];
    S_Area = new float[SFD.Form1.ibtnNo];
    S_Q = new float[SFD.Form1.ibtnNo];
    FileStream ss = new FileStream(routename, FileMode.Open, FileAccess.Read);
    StreamReader rr = new StreamReader(ss, System.Text.Encoding.GetEncoding("euc-kr"));
    Countc = 0;
    string route=""
    while (!rr.EndOfStream)
    {
        route = rr.ReadLine();

        dataIJ = route.Split(',');
        if (Countc < SFD.Form1.ibtnNo)/
        {

            dstation[Countc] = Convert.ToInt16(dataIJ[0].Trim());
            S_Area[Countc] = Convert.ToSingle(dataIJ[1].Trim());
            S_Q[Countc] = Convert.ToSingle(dataIJ[2].Trim());
        }
        Countc++;
    }
}

///<param name="s">출Aa발¹ß지Ao</param>
///<param name="e">도µµ착Aø지Ao</param>
public string Path1(int s, int e) // 최AO단´U거°A리¸■ 경°æ유A?지Ao
{
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    if (p[s, e] != -1)
    {
        sb.Append(Path1(s, p[s, e]));
        pFilerWriter.Write("{0} -> , ", name[p[s, e]]);
        sb.AppendFormat("{0} -> ", name[p[s, e]]);
        sb.Append(Path1(p[s, e], e));
    }
    return sb.ToString();
}



public void AllPath()
{
    for (int i = 0; i < data.GetLength(0); i++)
```

```
        {
            for (int j = 0; j < data.GetLength(0); j++)
            {
                if (i != j)
                {
                    Console.Write("[{0} => {1}] : ", name[i], name[j]);
                   // pFilerWriter.Write("[{0} => {1}] : ", name[i], name[j]);
                    Console.Write("{0} => ", name[i]);
                  //   pFilerWriter.Write("[{0} : ", name[i]);
                    Path(i, j);
                    Console.Write("{0} ", name[j]);
                }
                Console.WriteLine();
                Console.ReadLine();
            }
        }
    }

    public string PrintPath()
    {
        StringBuilder sb = new StringBuilder();
        for (int j = 0; j < data.GetLength(0); j++)
        {
            for (int i = 0; i < data.GetLength(0); i++)
            {

                if (i != j)
                {
                    if (dstation[i] == 1)
                    {

                        if (dstation[j] == 3)
                        {
                            pFilerWriter.Write("[{0} -> {1}] :", name[i] ,name[j]);
                            pFilerWriter.WriteLine();
                            sb.AppendFormat("[{0} -> {1}] : ", name[i], name[j]);
                            pFilerWriter.Write(name[i] + " -> ,");
                            sb.AppendFormat("{0} ", name[i]);

                            sb.Append(Path1(i, j));

                            sb.AppendFormat("{0} ", name[j]);
                            pFilerWriter.Write( name[j]);
                            pFilerWriter.WriteLine();
                            sb.Append("\n");
```



```
                        }
                    }
                }
            }
            pFilerWriter.WriteLine();
            pFilerWriter.Close();
            return sb.ToString();

        }//
    }
}
```

다. 콘트롤 박스 알고리즘

아래 그림에서 보는 바와 같이 승객의 이동 경로나 구난자의 이동경로에 대한 설정 방식은 버튼 삽입형으로 하여 상기에서 언급하였듯이 터치 방식으로 입력이 되게끔 하였다. 따라서 누구나 사용하기 쉽고 편리하게 이용가능하게 하였다.

삽입형 버튼 콘트롤은 사용자 컨트롤 생성 프로그램으로 프로그램의 구성은 아래 그림에서 설명한 바와 같이 먼저 마우스 다운 이벤트를 생성한다. 이후 특정지역에 마우스를 다운하면 생성된 이벤트가 실행이 되는데 이 때 마우스 다운 이벤트는 종류되고, 버튼의 크기, 색깔 등이 정의되고 지정위치에 버튼이 생성된다. 이때 생성된 버튼에 더블클릭/클릭 이벤트 생성, 마우스 움직임 이벤트, 마우스 다운 이벤트를 생성하여 더블 클릭 또는 클릭과 버튼의 움직임을 가능하도록 이벤트를 생성하여 정의 된다.

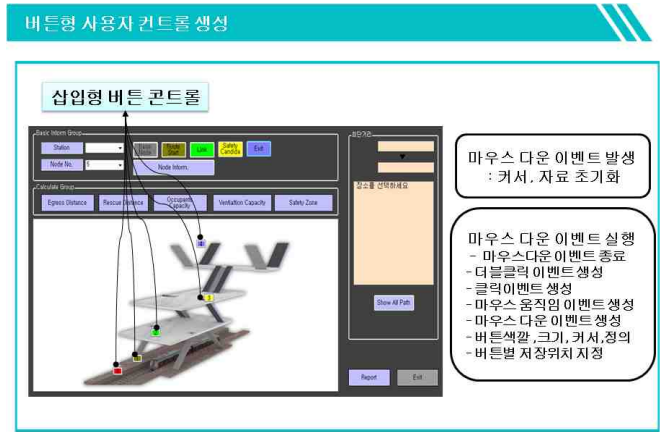


그림 2.8.51 삽입형 버튼 콘트롤

라. 안전구역 위치선정을 위한 최적함수

안전구역 위치선정을 위한 최적 함수는 아래 그림에 나타낸 식으로 표현된다.

최적함수는 각 Fi 와 가중함수 α 와 곱에 대한 최소값이 되는 위치를 안전구역 위치로 선정한다. 여기서 F_1 은 승강장에서 승객의 보행거리에 따른 소요시간을 의미한다. 안전구역까지 도달하는 경로는 다양하게 존재하기 때문에 각각의 경로별 소요되는 이동시간을 합한 값을 하였다. 이는 안전구역까지 다양한 경로로 이동 할 수 있는 것을 전제로 하였다. 안전구역으로의 이동시간은 군집이동을 기반으로 계산 되며, 교통약자나 피난자의 연령 성별등을 반영할 수 있도록 부수적으로 피난자 이동속도에 옵션을 주어 군집이동속도에 반영하도록 하였다. F_2 는 구난자가 외부에서 안전구역까지의 거리를 이동할 때 소요되는 시간을 의미한다. 역시 F_1과 같이 각각의 경로별 소요시간을 합산하여 나타낸다. F_3은 안전구역의 수용가능인원을 나타낸다. 피난 안전구역의 수용 인원은 안전구역의 면적을 기준으로 산출하며 이때 피난안전구역의 재실자 밀도는 NFSC604를 기준으로 설정하였다. F_4는 안전구역의 환기량을 나타낸 것으로 피난안전구역의 면적기준 요구 환기량과, 승객수를 기준으로 하는 요구 환기량 중 큰 값을 사용한다. F_3과 F_4는 승객수 또는 역사에 설치된 환기팬의 용량에서 상기에서 언급된 값을 차감하는 형태로 하여 최소값일수록 안전구역에 적합할 수 있도록 수식을 정리하였다. 최종 최적함수를 계산할 때는 안전구역 후보 위치별 계산된 값 중 가장 큰 값을 분모로 하여 제일 큰 값이 1이 되도록 하여 각 변수가 동일 비중으로 최적의 안전구역 위치를 선정할 수 있도록 하였다.

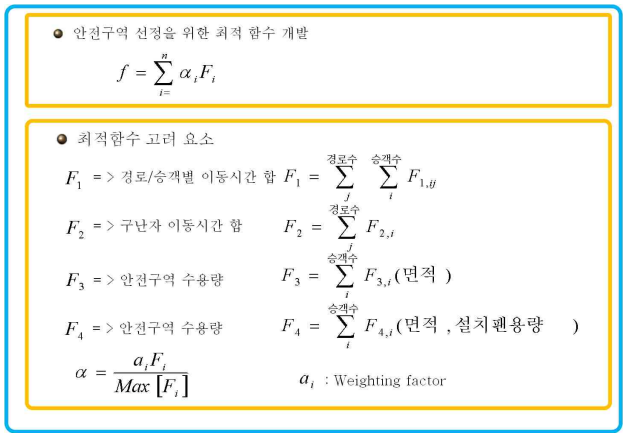


그림 2.8.52 안전구역 선정을 위한 최적함수 개발

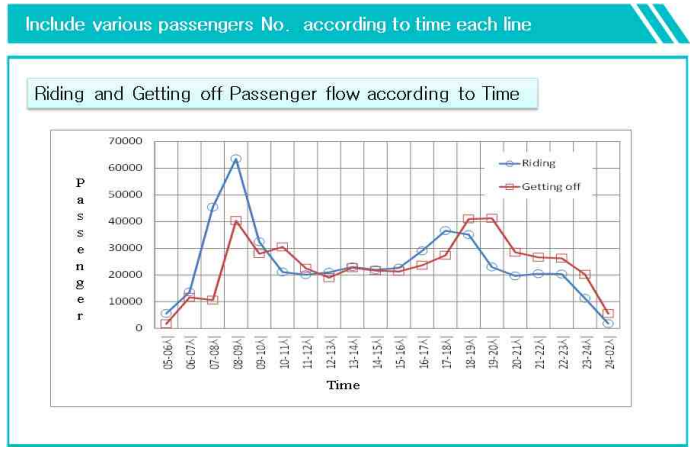


그림 2.8.53 숭실대 입구역의 시간대별 승하차 월/인원 통계

상기의 그래프와 같이 승객수는 시간대별 인원을 최적함수 계산에 사용될 수 있도록 숭실대 입구역의 시간대별 승하차 인원 통계값을 사용하였다.

마. 숭실대 입구 역사 적용

상기에서 언급된 최적함수의 적절성을 평가하기 위하여 숭실대 입구역사에 대하여 적용하였다. 아래 그림은 승객의 이동경로 탐색과 각 경로의 거리를 Node Link 방식으로 모델링하여 나타낸 것이다. 그림의 빨간색은 플랫폼이며, 녹색은 승객이 거쳐야 하는 각 노드이다. 파란색은 외부를 나타낸 것이고 노란색은 역사내 피난안전구역 후보지를 나타낸 것이다. 숭실대입구 역사에서는 피난안전구역으로 사용될 수 있는 여유 공간을 창고, 역무실, 화장실로 설정하였다.

그림에서 선은 Link 개념으로 승객이 각 노드에서 노드까지 이동할 수 있는 가장 긴 거리를 설정하였다. 프로그램에서 색깔별 노드가 승강장 3D 구조도에 위치하여 각 위치를 파악할 수 있게 하였다.

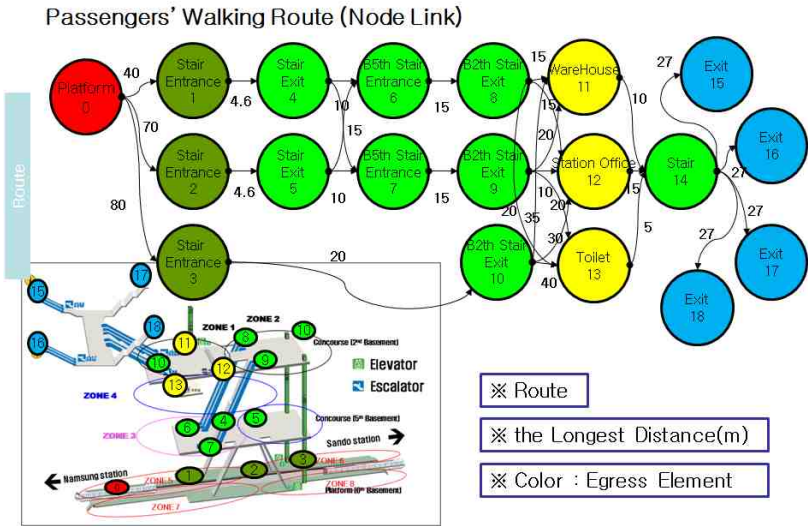
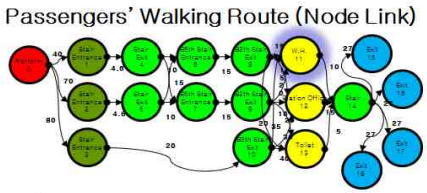


그림 2.8.54 승객의 이동경로 검색 및 이동거리 산출을 위한 네트워크 모델

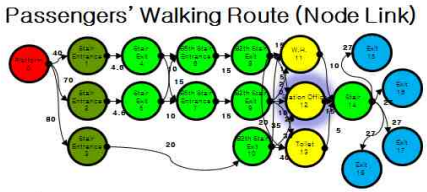
하기의 그림은 첫 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다. 그림에서 보는 바와 같이 승객수별로 이동소요시간을 계산하여 총 합산을 하도록 하였다.



No.	Route						Dis.	Time	
1	0	1	4	6	8	11	84.6 m	169.2s	1500 P
								84.6s	500 P
2	0	1	4	7	9	11	89.6 m	179.2s	1500 P
								89.6s	500 P
3	0	2	5	7	9	11	119. 6m	238s	1500 P
								119.6s	500 P
4	0	2	5	6	8	11	119. 6m	238s	1500 P
								119.6s	500 P
5	0	1	4	7	9	11	135m	270s	1500 P
								135s	500 P
Sum								1404.8s	

그림 2.8.55 안전구역 첫 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산표

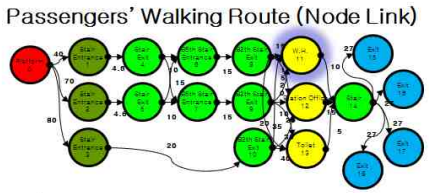
하기의 그림은 두 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다.



No.	Route						Dis.	Time	
1	0	1	4	6	8	12	89.6 m	179.2s	1500 P
								89.6s	500 P
2	0	1	4	7	9	12	84.6 m	169.2s	1500 P
								84.6s	500 P
3	0	2	5	6	8	12	124. 6m	249.2s	1500 P
								124.6s	500 P
4	0	2	5	7	9	12	109. 6m	219.2s	1500 P
								109.6s	500 P
5	0	3	-	-	10	12	130m	260s	1500 P
								130s	500 P
Sum								1615.2s	

그림 2.8.56 안전구역 두 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산표

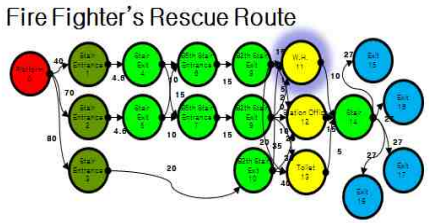
하기의 그림은 세 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다.



No.	Route						Dis.	Time	
1	0	1	4	6	8	13	89.6 m	179.2s	1500 P
								89.6s	500 P
2	0	1	4	7	9	13	85.6 m	171.2s	1500 P
								85.6s	500 P
3	0	2	5	6	8	13	124. 6m	249.2s	1500 P
								124.6s	500 P
4	0	2	5	7	9	13	119. 6m	239.2s	1500 P
								119.6s	500 P
5	0	3	-	-	10	13	140m	280s	1500 P
								140s	500 P
Sum								1677.2s	

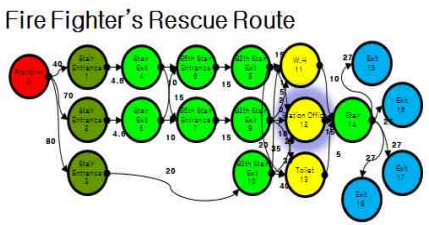
그림 2.8.57 안전구역 세 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산표

하기의 그림들은 각 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다.



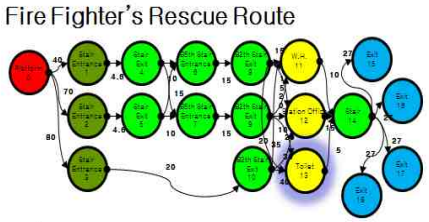
No.	Route			Dis.	Time
1	15	14	11	37m	30.8s
2	16	14	11	37m	30.8s
3	17	14	11	37m	30.8s
4	18	14	11	37m	30.8s
Sum					123.2s

그림 2.8.58 안전구역 첫 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표



No.	Route			Dis.	Time
1	15	14	12	42s	35s
2	16	14	12	42m	35s
3	17	14	12	42m	35s
4	18	14	12	42m	35s
Sum					140s

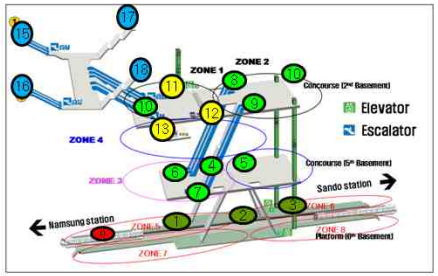
그림 2.8.59 안전구역 첫 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표



No.	Route			Dis.	Time
1	15	14	13	32m	26.67s
2	16	14	13	32m	26.67s
3	17	14	13	32m	26.67s
4	18	14	13	32m	26.67s
Sum					106.7s

그림 2.8.60 안전구역 세 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표

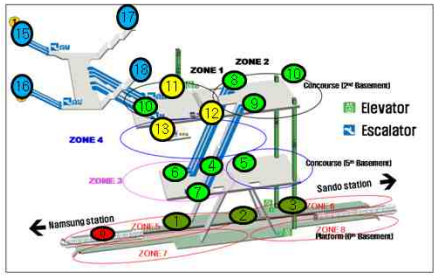
하기의 그림은 각 후보지의 수용가능 인원 및 승객수의 차를 나타낸 그림과 표이다.



Safety Zone Candidate	Area(m2)	1) Capacity People (Area X Occupant density, 3.57)	2) Passengers	2) - 1)
11	100	357	1500	1143
12	100	357	1500	1143
13	80	285	1500	1215

그림 2.8.61 각 후보지의 수용인원

하기의 그림은 각 후보지의 안전구역의 요구환기량과 설치된 환기팬의 차를 나타낸 그림과 표이다.

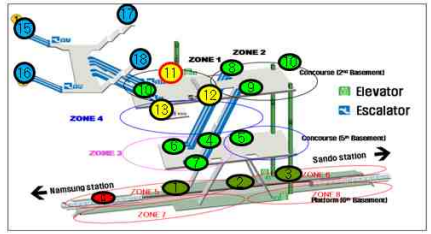


Safety Zone Candidate	1) Ventilation 60 CMH X People	2) Ventilation Area X No of Vent.	3) Max (1,2)	4) Installed Fan	3) - 4)
11	90,000	3,000	90,000	15,000	75,000
12	90,000	3,000	90,000	15,000	75,000
13	90,000	4,480	90,000	25,000	65,000

그림 2.8.62 각 후보지의 환기용량

하기의 그림은 각 후보지별 안전구역의 최적함수 계산한 결과값으로 11번 후보지가 소숫점 자리로 13번 위치보다 작기 때문에 선정되었음 나타낸다.

Fitness Function
Result in 3.63



Safety Zone	Egress Time	Rescue Time	Capacity	Ventilation	Min (Fitness Function)
11	1404.4	123.2	1143	75000	3.63
	0.84	0.88	0.94	1	
12	1615.5	140	1143	75000	3.9
	0.96	1	0.94	1	
13	1677.2	106.7	1215	65000	3.63
	1	0.76	1	0.87	

11 Area is the best place for Safety Zone

그림 2.8.63 최적함수를 이용한 최적의 피난안전구역 위치 선정값 제시

바. 도면 변환 및 그래픽 분석 알고리즘

하기 그림은 향후 피난안전구역 최적위치 선정 프로그램의 차년도에 반영하기 위하여 개발된 내용을 나타낸 것이다. 향후 차년도에 반영될 내용으로 위치선정프로그램에서 도면을 통한 거리 및 면적을 구하기 위하여 DXF 포맷의 파싱 방안 및 각 데이터를 저장하기 위한 포맷을 나타낸 것이다.

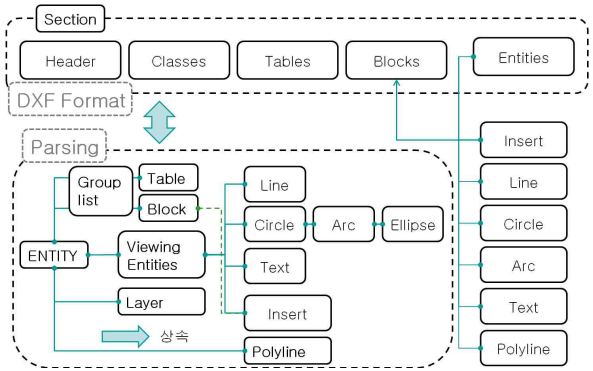


그림 2.8.64 DXF 변환을 위한 파싱 방안

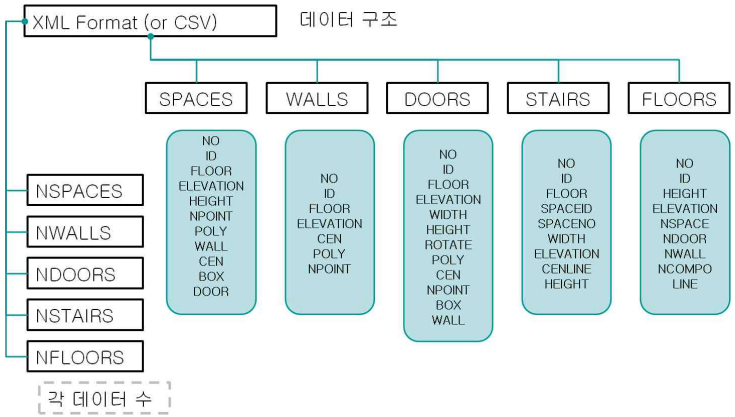


그림 2.8.65 DXF 파일의 파싱된 데이터를 저장하기 위한 구조 포맷

상기와 같이 하여 당해연도에 프로그램 소스를 개발하였으나 Main 프로그램에는 반영을 하지 않았다.

하기의 그림은 향후 계산된 값을 그래프로 분석할 수 있도록 하기 위하여 그래픽 라이브러리를 개발한 내용이다. 언어는 C#으로 개발하였으며, 각각의 기본적인 기능들은 Class 개념으로 구조화 하여 두가지 이상의 기능을 동시에 사용하거나 기본적인 기능에 추가할 경우 처음부터 소스를 다시 개발하지 않도록 상속하여 사용할 수 있게 하였다. 구성은 크게 색깔을 지정하는 Class 그래픽의 Index를 표시하는 Class, Data 구조를 정의하는 Class 각 형상을 회전, 병진, 축소/확대, 반사, 투영 및 좌표변환을 수행할 수 있는 Matrix 그리고 다양한 선을 지원하는 Class 와 Plot 및 ChartStyle을 지정하는 Class등으로 되어 있다.

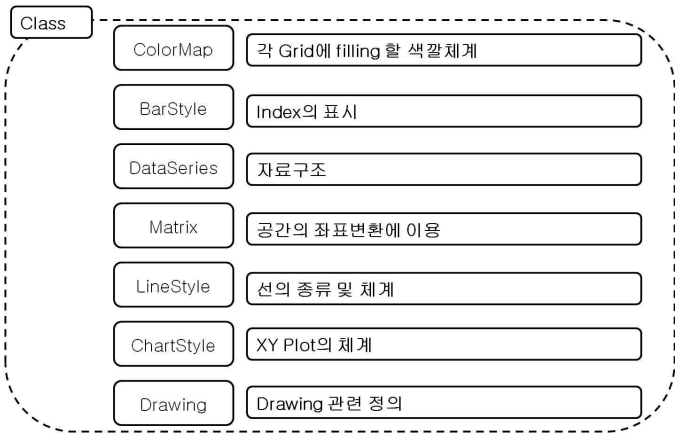


그림 2.8.66 그래픽 라이브러리 개발내용

표 2.8.3 그래픽 분석 라이브러리 소스

```
using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Drawing.Drawing2D;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;


namespace Color_Charts
{
    public partial class Form1 : Form
    {

        #region Source
        public ChartStyle cs;
        ChartStyle2D cs2d;
        DataSeries ds;
        DrawChart dc;
        ChartFunctions cf;
        ColorMap cm;
        #endregion

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();

            #region
            this.SetStyle(ControlStyles.AllPaintingInWmPaint
            |ControlStyles.UserPaint |ControlStyles.DoubleBuffer,true);
            this.SetStyle(ControlStyles.ResizeRedraw, true);
            // Subscribing to a paint eventhandler to drawingPanel:
            PlotPanel.Paint +=new PaintEventHandler(PlotPanelPaint);
            tbElevation.KeyUp += new KeyEventHandler(tbElevation_KeyUp); //추AßA°  함CO
            tbAzimuth.KeyUp += new KeyEventHandler(tbAzimuth_KeyUp);      //추AßA°  함CO
            cs = new ChartStyle(this);
            cs2d = new ChartStyle2D(this);
            ds = new DataSeries();
            dc = new DrawChart(this);
            cf = new ChartFunctions();
            cm = new ColorMap();
            cs.GridStyle.LineColor = Color.LightGray;
            cs.GridStyle.Pattern = DashStyle.Dash;
            cs.Title = "No Title"
            dc.ChartType = DrawChart.ChartTypeEnum.Mesh;
            dc.IsColorMap = false
            dc.IsHiddenLine = true
            dc.CMap = cm.Jet();
        }
            #endregion

        #region 2D Sample
            protected override void OnPaint(PaintEventArgs e)
            {
                Graphics g = e.Graphics;
                if (dc.ChartType == DrawChart.ChartTypeEnum.XYColor||dc.ChartType ==
DrawChart.ChartTypeEnum.Contour ||
                    dc.ChartType == DrawChart.ChartTypeEnum.FillContour)
                {
                    Rectangle rect = this.ClientRectangle;
                    cs2d.ChartArea = new Rectangle(rect.X, rect.Y,rect.Width, 19 * rect.Height / 30);
                    cf.Peak3D(ds, cs);
                    cs2d.SetPlotArea(g, cs);
                    dc.AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                }
            }
            private void PlotPanelPaint(object sender, PaintEventArgs e)
            {
                Graphics g = e.Graphics;
                g.SmoothingMode = SmoothingMode.AntiAlias;
                if (dc.ChartType == DrawChart.ChartTypeEnum.XYColor||
                    dc.ChartType == DrawChart.ChartTypeEnum.Contour||
                    dc.ChartType == DrawChart.ChartTypeEnum.FillContour)
                {
                    cs2d.AddChartStyle2D(g, cs);
                    dc.AddChart(g, ds, cs, cs2d);
                }
                else
                {
                    cs.Elevation = trkElevation.Value;
```

```
                    cs.Azimuth = trkAzimuth.Value;
                    cf.Peak3D(ds, cs);
                    cs.AddChartStyle(g);
                    dc.AddChart(g, ds, cs, cs2d);
                }
            }
        #endregion

        private void tbElevation_KeyUp(object sender, KeyEventArgs e)
        {
            int value;
            bool result = Int32.TryParse(tbElevation.Text, out value);
            if (result)
            {
                if (value <= -90)
                    value = -90;
                else if (value >= 90)
                    value = 90;
                trkElevation.Value = value;
            }
            PlotPanel.Invalidate();
        }

       private void tbAzimuth_KeyUp(object sender, KeyEventArgs e)
        {
            int value;
            bool result = Int32.TryParse(tbAzimuth.Text, out value);
            if (result)
            {if (value <= -180)
                value = -180;
            else if (value >= 180)
                value = 180;
                trkAzimuth.Value = value;
            }
            PlotPanel.Invalidate();
        }


        private void trkElevation_Scroll_1(object sender, EventArgs e)
        {
            tbElevation.Text = trkElevation.Value.ToString();
            PlotPanel.Invalidate();
        }

        private void trkAzimuth_Scroll_1(object sender, EventArgs e)
        {
            tbAzimuth.Text = trkAzimuth.Value.ToString();
            PlotPanel.Invalidate();
        }
    }


    #region ColorMap
    public class ColorMap
    {
        private int colormapLength = 64;
        private int alphaValue = 255;
        public ColorMap()
        {
        }
        public ColorMap(int colorLength)
        {
            colormapLength = colorLength;
        }
        public ColorMap(int colorLength, int alpha)
        {
            colormapLength = colorLength;
            alphaValue = alpha;
        }
        public int[,] Spring()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] spring = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                spring[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = 255;
                cmap[i, 2] = (int)(255 * spring[i]);
                cmap[i, 3] = 255 - cmap[i, 1];
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Summer()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] summer = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                summer[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
```



```
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = (int)(255 * summer[i]);
                cmap[i, 2] = (int)(255 * 0.5f * (1 + summer[i]));
                cmap[i, 3] = (int)(255 * 0.4f);
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Autumn()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] autumn = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                autumn[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = 255;
                cmap[i, 2] = (int)(255 * autumn[i]);
                cmap[i, 3] = 0;
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Winter()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] winter = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                winter[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = 0;
                cmap[i, 2] = (int)(255 * winter[i]);
                cmap[i, 3] = (int)(255 * (1.0f - 0.5f * winter[i]));
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Gray()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] gray = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                gray[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = (int)(255 * gray[i]);
                cmap[i, 2] = (int)(255 * gray[i]);
                cmap[i, 3] = (int)(255 * gray[i]);
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Jet()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[,] cMatrix = new float[colormapLength, 3];
            int n = (int)Math.Ceiling(colormapLength / 4.0f);
            int nMod = 0;
            float[] fArray = new float[3 * n - 1];
            int[] red = new int[fArray.Length];
            int[] green = new int[fArray.Length];
            int[] blue = new int[fArray.Length];
            if (colormapLength % 4 == 1)
            {
                nMod = 1;
            }
            for (int i = 0; i <fArray.Length; i++)
            {
                if (i < n)
                    fArray[i] = (float)(i + 1) / n;
                else if (i >= n && i < 2 * n - 1)
                    fArray[i] = 1.0f;
                else if (i >= 2 * n - 1)
                    fArray[i] = (float)(3 * n - 1 - i) / n;
                green[i] = (int)Math.Ceiling(n / 2.0f) - nMod + i;
                red[i] = green[i] + n;
                blue[i] = green[i] - n;
            }
            int nb = 0;
            for (int i = 0; i < blue.Length; i++)
            {
                if (blue[i] > 0)
                    nb++;
            }
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                for (int j = 0; j < red.Length; j++)
                {
                    if (i == red[j] && red[j] < colormapLength)
                    {
                        cMatrix[i, 0] = fArray[i - red[0]];
                    }
                }
```

```
                for (int j = 0; j < green.Length; j++)
                {
                    if (i == green[j] && green[j] < colormapLength)
                        cMatrix[i, 1] = fArray[i - (int)green[0]];
                }
                for (int j = 0; j < blue.Length; j++)
                {
                    if (i == blue[j] && blue[j] >= 0)
                        cMatrix[i, 2] = fArray[fArray.Length - 1 - nb + i];
                }
            }
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                for (int j = 0; j < 3; j++)
                {
                    cmap[i, j+1] = (int)(cMatrix[i, j] * 255);
                }
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Hot()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            int n = 3 * colormapLength / 8;
            float[] red = new float[colormapLength];
            float[] green = new float[colormapLength];
            float[] blue = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                if (i < n)
                    red[i] = 1.0f*(i+1) / n;
                else
                    red[i] = 1.0f;
                if (i < n)
                    green[i] = 0f;
                else if (i >= n && i < 2 * n)
                    green[i] = 1.0f * (i+1 - n) / n;
                else
                    green[i] = 1f;
                if (i < 2 * n)
                    blue[i] = 0f;
                else
                    blue[i] = 1.0f * (i + 1 - 2 * n) / (colormapLength - 2 * n);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = (int)(255 * red[i]);
                cmap[i, 2] = (int)(255 * green[i]);
                cmap[i, 3] = (int)(255 * blue[i]);
            }
            return cmap;
        }
        public int[,] Cool()
        {
            int[,] cmap = new int[colormapLength, 4];
            float[] cool = new float[colormapLength];
            for (int i = 0; i < colormapLength; i++)
            {
                cool[i] = 1.0f * i / (colormapLength - 1);
                cmap[i, 0] = alphaValue;
                cmap[i, 1] = (int)(255 * cool[i]);
                cmap[i, 2] = (int)(255 * (1 - cool[i]));
                cmap[i, 3] = 255;
            }
            return cmap;
        }
    }


    #endregion

    #region BarStyle
    public class BarStyle
    {
        private Color fillColor = Color.Black;
        private Color borderColor = Color.Black;
        private float borderThickness = 1.0f;
        private float barWidth = 0.8f;
        private DashStyle borderPattern = DashStyle.Solid;
        public float BarWidth
        {
            get { return barWidth; }
            set { barWidth = value }
        }
        virtual public DashStyle BorderPattern
        {
            get { return borderPattern; }
            set { borderPattern = value }
        }
        public float BorderThickness
        {
```



```
            get { return borderThickness; }
            set { borderThickness = value }
        }
        virtual public Color FillColor
        {
            get { return fillColor; }
            set { fillColor = value }
        }
        virtual public Color BorderColor
        {
            get { return borderColor; }
            set { borderColor = value }
        }

        private float xLength = 0.5f;
        private float yLength = 0.5f;
        private float zOrigin = 0;
        private bool isBarSingleColor = true
        public BarStyle()
        {
        }
        public bool IsBarSingleColor
        {
            get { return isBarSingleColor; }
            set { isBarSingleColor = value }
        }

        public float ZOrigin
        {
            get { return zOrigin; }
            set { zOrigin = value }
        }
        public float YLength
        {
            get { return yLength; }
            set { yLength = value }
        }
        public float XLength
        {
            get { return xLength; }
            set { xLength = value }
        }
    }

    #endregion

    #region Matrix
    // Matrix 변º?환E? 충AN 함CO수ío 정A표의AC
        public class Matrix3
        {
            public float[,] M = new float[4, 4];
            public Matrix3()
            {
                Identity3();
            }

            public Matrix3(float m00, float m01, float m02, float m03,
                           float m10, float m11, float m12, float m13,
                           float m20, float m21, float m22, float m23,
                           float m30, float m31, float m32, float m33)
            {
                M[0, 0] = m00;
                M[0, 1] = m01;
                M[0, 2] = m02;
                M[0, 3] = m03;
                M[1, 0] = m10;
                M[1, 1] = m11;
                M[1, 2] = m12;
                M[1, 3] = m13;
                M[2, 0] = m20;
                M[2, 1] = m21;
                M[2, 2] = m22;
                M[2, 3] = m23;
                M[3, 0] = m30;
                M[3, 1] = m31;
                M[3, 2] = m32;
                M[3, 3] = m33;
            }
            // Define a Identity matrix;

            public void Identity3()
            {
                for (int i = 0; i < 4; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < 4; j++)
                    {

                        if (i == j)
                        {
                            M[i, j] = 1;
```

```
                }
                else
                {
                    M[i, j] = 0;
                }
            }
        }
    }



    // Multiply two matirces together: 곱°o하CI기±a
    public static Matrix3 operator *(Matrix3 m1, Matrix3 m2)
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        for (int i = 0; i < 4; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)
            {
                float element = 0;
                for (int k = 0; k < 4; k++)
                {
                    element += m1.M[i, k] * m2.M[k, j];
                }
                result.M[i, j] = element;
            }
        }
        return result;
    }

    // Apply a transformation to a vector (point): 벡¤터AI ㅇAI동µ¿
    public float[] VectorMultiply(float[] vector)
    {
        float[] result = new float[4];
        for (int i = 0; i < 4; i++)
        {
            for (int j = 0; j < 4; j++)
            {
                result[i] += M[i, j] * vector[j];
            }
        }
        return result;
    }

    // Creat a scaling matrix:
    public static Matrix3 Scale3(float sx, float sy, float sz)
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        result.M[0, 0] = sx;
        result.M[1, 1] = sy;
        result.M[2, 2] = sz;
        return result;
    }

    // Creat translating matrix:
    public static Matrix3 Translate3(float dx, float dy, float dz)
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        result.M[0, 3] = dx;
        result.M[1, 3] = dy;
        result.M[2, 3] = dz;
        return result;
    }

    //Create a Rotation matrix around the x axis:
    public static Matrix3 Rotate3X(float theta)
    {
        theta = theta * (float)Math.PI / 180.0f;
        float sn = (float)Math.Sin(theta);
        float cn = (float)Math.Cos(theta);

        Matrix3 result = new Matrix3();

        result.M[1, 1] = cn;
        result.M[1, 2] = -sn;
        result.M[2, 1] = sn;
        result.M[2, 2] = cn;
        return result;
    }

    //Create a Rotation matrix around the y axis:
    public static Matrix3 Rotate3Y(float theta)
    {
        theta = theta * (float)Math.PI / 180.0f;
        float sn = (float)Math.Sin(theta);
        float cn = (float)Math.Cos(theta);

        Matrix3 result = new Matrix3();
```



```
        result.M[0, 0] = cn;
        result.M[0, 2] = sn;
        result.M[2, 0] = -sn;
        result.M[2, 2] = cn;
        return result;
    }

    //Create a Rotation matrix around the z axis:
    public static Matrix3 Rotate3Z(float theta)
    {
        theta = theta * (float)Math.PI / 180.0f;
        float sn = (float)Math.Sin(theta);
        float cn = (float)Math.Cos(theta);

        Matrix3 result = new Matrix3();

        result.M[0, 0] = cn;
        result.M[0, 1] = -sn;
        result.M[1, 0] = sn;
        result.M[1, 1] = cn;
        return result;
    }

    //Front view projection matrix:
    public static Matrix3 FrontView()
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        result.M[2, 2] = 0;
        return result;
    }

    //Side view projection matrix:
    public static Matrix3 SideView()
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        result.M[0, 0] = 0;
        result.M[2, 2] = 0;
        result.M[0, 2] = -1;
        return result;
    }

    //top view projection matrix:
    public static Matrix3 TopView()
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();
        result.M[1, 1] = 0;
        result.M[2, 2] = 0;
        result.M[1, 2] = -1;
        return result;
    }


    // Axonometric projection matrix:
    public static Matrix3 Axonometric(float alpha, float beta)
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();

        float sna = (float)Math.Sin(alpha * Math.PI / 180);
        float cna = (float)Math.Cos(alpha * Math.PI / 180);
        float snb = (float)Math.Sin(beta * Math.PI / 180);
        float cnb = (float)Math.Cos(beta * Math.PI / 180);

        result.M[0, 0] = cnb;
        result.M[0, 2] = snb;
        result.M[1, 0] = sna * snb;
        result.M[1, 1] = cna;
        result.M[1, 2] = -sna * cnb;
        result.M[2, 2] = 0;

        return result;
    }

    // Oblique projection matrix:
    public static Matrix3 Oblique(float alpha, float theta)
    {
        Matrix3 result = new Matrix3();

        float ta = (float)Math.Tan(alpha * Math.PI / 180);
        float snt = (float)Math.Sin(theta * Math.PI / 180);
        float cnt = (float)Math.Cos(theta * Math.PI / 180);



        result.M[0, 2] = -cnt / ta;
        result.M[1, 2] = -snt / ta;
        result.M[2, 2] = 0;

        return result;
    }
```

```
        // Perspective projection matrix :
        public static Matrix3 Perspective(float d)
        {
            Matrix3 result = new Matrix3();

            result.M[3, 2] = -1 / d;

            return result;
        }

        #region Azimuth and Elevation View
        public static Matrix3 AzimuthElevation(float elevation, float azimuth, float oneOverd)
        {
            Matrix3 result = new Matrix3();
            Matrix3 rotate = new Matrix3();

            // make sure elevation in the range of [-90,90]:
            if (elevation > 90)
                elevation = 90;
            else if (elevation < -90)
                elevation = -90;

            // make sure azimuth in the range of [-180, 180]:
            if (azimuth > 180)
                azimuth = 180;
            else if (azimuth < -180)
                azimuth = -180;

            elevation = elevation * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sne = (float)Math.Sin(elevation);
            float cne = (float)Math.Cos(elevation);
            azimuth = azimuth * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sna = (float)Math.Sin(azimuth);
            float cna = (float)Math.Cos(azimuth);

            rotate.M[0, 0] = cna;
            rotate.M[0, 1] = sna;
            rotate.M[0, 2] = 0;
            rotate.M[1, 0] = -sne * sna;
            rotate.M[1, 1] = sne * cna;
            rotate.M[1, 2] = cne;
            rotate.M[2, 0] = cne * sna;
            rotate.M[2, 1] = -cne * cna;
            rotate.M[2, 2] = sne;

            if (oneOverd <= 0)
                result = rotate;
            else if (oneOverd > 0)
            {
                Matrix3 perspective = Matrix3.Perspective(1 / oneOverd);
                result = perspective * rotate;
            }

            return result;

        }

        #endregion

        #region Azimuth and Elevation Overloaded for 3D Charts
        public static Matrix3 AzimuthElevation(float elevation, float azimuth)
        {
           Matrix3 result = new Matrix3();
            // make sure elevation in the range of [-90, 90]:
            if (elevation > 90)
                elevation = 90;
            else if (elevation < -90)
                elevation = -90;
            // Make sure azimuth in the range of [-180, 180]:
            if (azimuth > 180)
                azimuth = 180;
            else if (azimuth < -180)
                azimuth = -180;
            elevation = elevation * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sne = (float)Math.Sin(elevation);
            float cne = (float)Math.Cos(elevation);
            azimuth = azimuth * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sna = (float)Math.Sin(azimuth);
            float cna = (float)Math.Cos(azimuth);
            result.M[0, 0] = cna;
            result.M[0, 1] = sna;
            result.M[0, 2] = 0;
            result.M[1, 0] = -sne * sna;
            result.M[1, 1] = sne * cna;
            result.M[1, 2] = cne;
            result.M[2, 0] = cne * sna;
            result.M[2, 1] = -cne * cna;
            result.M[2, 2] = sne;
```



```
            return result;

        }

        #endregion

        #region Euler Angle

        public static Matrix3 Euler(float alpha, float beta, float gamma)
        {
            Matrix3 result = new Matrix3();

            alpha = alpha * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sna = (float)Math.Sin(alpha);
            float cna = (float)Math.Cos(alpha);
            beta = beta * (float)Math.PI / 180.0f;
            float snb = (float)Math.Sin(beta);
            float cnb = (float)Math.Cos(beta);
            gamma = gamma * (float)Math.PI / 180.0f;
            float sng = (float)Math.Sin(gamma);
            float cng = (float)Math.Cos(gamma);

            result.M[0, 0] = cna * cng - sna * snb * sng;
            result.M[0, 1] = -snb * sng;
            result.M[0, 2] = sna * cng - cna * cnb * sng;
            result.M[1, 0] = -sna * snb;
            result.M[1, 1] = cnb;
            result.M[1, 2] = cna * snb;
            result.M[2, 0] = -cna * sng - sna * cnb * cng;
            result.M[2, 1] = -snb * cng;
            result.M[2, 2] = cna * cnb * cng - sna * snb;


            return result;
        }
        #endregion

    }



    # endregion

#region Point3
    public class Point3
    {
        public float X;
        public float Y;
        public float Z;
        public float W = 1f; //3D Chart용¿e, 일AI반¹Y 3D는´A [public float W;]로·I 설¼³정A¤

        public Point3()
        {

        }

        public Point3(float x, float y, float z, float w)
        {
            X = x;
            Y = y;
            Z = z;
            W = w;
        }

        public void Transform(Matrix3 m)
        {
           float[] result = m.VectorMultiply(new float[4] { X, Y, Z, W });
           X = result[0];
           Y = result[1];
           Z = result[2];
           W = result[3];
        }

        // 이AI통µ¿에¿    대´e한CN Overloaded 한CN 것°I임AO
        public void Transform(Matrix3 m, Form1 form1, ChartStyle cs)
        {
            //Normalize the point:
            float x1 = (X - cs.XMin) / (cs.XMax - cs.XMin) - 0.5f;
            float y1 = (Y - cs.YMin) / (cs.YMax - cs.YMin) - 0.5f;
            float z1 = (Z - cs.ZMin) / (cs.ZMax - cs.ZMin) - 0.5f;

            //Perform transformation on the point using matrix m:
            float[] result = m.VectorMultiply(new float[4] { x1, y1, z1, W });
            X = result[0];
            Y = result[1];

            //Coordinate transformation from world to device system
            float xShift = 1.05f;
            float xScale = 1;
```

```
                float yShift = 1.05f;
                float yScale = 0.9f;
                if (cs.Title == "No Title")
                {
                    yShift = 0.95f;
                    yScale = 1f;
                }
                if (cs.IsColorBar)
                {
                    xShift = 0.95f;
                    xScale = 0.9f;
                }

                X = (xShift + xScale * X) * form1.PlotPanel.Width / 2;
                Y = (yShift - yScale * Y) * form1.PlotPanel.Height / 2;
            }


            #region Cylindrical Coordinate
            public Point3 Cylindrical(float r, float theta, float y)
            {
                Point3 pt = new Point3();

                float sn = (float)Math.Sin(theta * Math.PI / 180);
                float cn = (float)Math.Cos(theta * Math.PI / 180);

                pt.X = r * cn;
                pt.Y = y;
                pt.Z = -r * sn;
                pt.W = 1;

                return pt;
            }
            #endregion

            #region Spherical Coordinate
            public Point3 Spherical(float r, float theta, float phi)
            {
                Point3 pt = new Point3();

                float snt = (float)Math.Sin(theta * Math.PI / 180);
                float cnt = (float)Math.Cos(theta * Math.PI / 180);
                float snp = (float)Math.Sin(phi * Math.PI / 180);
                float cnp = (float)Math.Cos(phi * Math.PI / 180);

                pt.X = r * snt * cnp;
                pt.Y = r * cnt;
                pt.Z = -r * snt * snp;
                pt.W = 1;

                return pt;
            }
            #endregion


        }
#endregion

    #region LineStyle
        public class LineStyle
        {
            private DashStyle linePattern = DashStyle.Solid;
            private Color lineColor = Color.Black;
            private float LineThickness = 1.0f;
            private bool isVisible = true
            public LineStyle()
            {
            }
            public bool IsVisible
            {
                get { return isVisible; }
                set { isVisible = value }
            }
            virtual public DashStyle Pattern
            {
                get { return linePattern; }
                set { linePattern = value }
            }
            public float Thickness
            {
                get { return LineThickness; }
                set { LineThickness = value }
            }
            virtual public Color LineColor
            {
                get { return lineColor; }
                set { lineColor = value }
            }
        }
        #endregion LineStyle
```



```
    #region ChartStyle
        public class ChartStyle
        {
            private Form1 form1;
            private float xMax = 5f;
            private float xMin = -5f;
            private float yMax = 3f;
            private float yMin = -3f;
            private float zMax = 6f;
            private float zMin = -6f;
            private float xTick = 1f;
            private float yTick = 1f;
            private float zTick = 3f;
            private Font tickFont = new Font("Arial Narrow", 8, FontStyle.Regular);
            private Color tickColor = Color.Black;
            private string title = "My 3D Chart"
            private Font titleFont = new Font("Arial Narrow", 14,FontStyle.Regular);
            private Color titleColor = Color.Black;
            private string xLabel = "X Axis"
            private string yLabel = "Y Axis"
            private string zLabel = "Z Axis"
            private Font labelFont = new Font("Arial Narrow", 10, FontStyle.Regular);
            private Color labelColor = Color.Black;
            private float elevation = 30f;
            private float azimuth = -37.5f;
            private bool isXGrid = true
            private bool isYGrid = true
            private bool isZGrid = true
            LineStyle gridStyle;
            LineStyle axisStyle;
            private bool isColorBar = false

            public ChartStyle(Form1 fm1)
            {
                form1 = fm1;
                gridStyle = new LineStyle();
                axisStyle = new LineStyle();
            }

            public bool IsColorBar
            {
                get { return isColorBar; }
                set { isColorBar = value }
            }

            public LineStyle AxisStyle
            {
                get { return axisStyle; }
                set { axisStyle = value }
            }

            public LineStyle GridStyle
            {
                get { return gridStyle; }
                set { gridStyle = value }
            }
            public Font LabelFont
            {
                get { return labelFont; }
                set { labelFont = value }
            }
            public Color LabelColor
            {
                get { return labelColor; }
                set { labelColor = value }
            }
            public Font TitleFont
            {
                get { return titleFont; }
                set { titleFont = value }
            }
            public Color TitleColor
            {
                get { return titleColor; }
                set { titleColor = value }
            }
            public Font TickFont
            {
                get { return tickFont; }
                set { tickFont = value }
            }
            public Color TickColor
            {
                get { return tickColor; }
                set { tickColor = value }
            }

            public bool IsXGrid
            {
```

```
        get { return isXGrid; }
        set { isXGrid = value }
    }
    public bool IsYGrid
    {
        get { return isYGrid; }
        set { isYGrid = value }
    }
    public bool IsZGrid
    {
        get { return isZGrid; }
        set { isZGrid = value }
    }
    public string Title
    {
        get { return title; }
        set { title = value }
    }
    public string XLabel
    {
        get { return xLabel; }
        set { xLabel = value }
    }
    public string YLabel
    {
        get { return yLabel; }
        set { yLabel = value }
    }
    public string ZLabel
    {
        get { return zLabel; }
        set { zLabel = value }
    }
    public float Elevation
    {
        get { return elevation; }
        set { elevation = value }
    }
    public float Azimuth
    {
        get { return azimuth; }
        set { azimuth = value }
    }
    public float XMax
    {
        get { return xMax; }
        set { xMax = value }
    }
    public float XMin
    {
        get { return xMin; }
        set { xMin = value }
    }
    public float YMax
    {
        get { return yMax; }
        set { yMax = value }
    }
    public float YMin
    {
        get { return yMin; }
        set { yMin = value }
    }
    public float ZMax
    {
        get { return zMax; }
        set { zMax = value }
    }
    public float ZMin
    {
        get { return zMin; }
        set { zMin = value }
    }
    public float XTick
    {
        get { return xTick; }
        set { xTick = value }
    }
    public float YTick
    {
        get { return yTick; }
        set { yTick = value }
    }
    public float ZTick
    {
        get { return zTick; }
        set { zTick = value }
    }

    #region 3차A÷원¿ø 축Aa좌AA표C¥ 입AO력·A
```



```
    private Point3[] CoordinatesOfChartBox()
    {
        // Create coordinate of the axes:
        Point3[] pta = new Point3[8];
        pta[0] = new Point3(XMax, YMin, ZMin, 1);
        pta[1] = new Point3(XMin, YMin, ZMin, 1);
        pta[2] = new Point3(XMin, YMax, ZMin, 1);
        pta[3] = new Point3(XMin, YMax, ZMax, 1);
        pta[4] = new Point3(XMin, YMin, ZMax, 1);
        pta[5] = new Point3(XMax, YMin, ZMax, 1);
        pta[6] = new Point3(XMax, YMax, ZMax, 1);
        pta[7] = new Point3(XMax, YMax, ZMin, 1);
        Point3[] pts = new Point3[4];
        int[] npts = new int[4] { 0, 1, 2, 3 };
        if (elevation >= 0)
        {
            if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                npts = new int[4] { 1, 2, 7, 6 };
            else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                npts = new int[4] { 0, 1, 2, 3 };
            else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                npts = new int[4] { 7, 0, 1, 4 };
            else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                npts = new int[4] { 2, 7, 0, 5 };
        }
        else if (elevation < 0)
        {
            if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                npts = new int[4] { 1, 0, 7, 6 };
            else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                npts = new int[4] { 0, 7, 2, 3 };
            else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                npts = new int[4] { 7, 2, 1, 4 };
            else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                npts = new int[4] { 2, 1, 0, 5 };
        }
        for (int i = 0; i < 4; i++)
            pts[i] = pta[npts[i]];
        return pts;


    }
     #endregion

    #region  AddAxes
    private void AddAxes(Graphics g)
    {
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(Elevation, Azimuth);
        Point3[] pts = CoordinatesOfChartBox();
        Pen aPen = new Pen(AxisStyle.LineColor, AxisStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = AxisStyle.Pattern;
        for (int i = 0; i < pts.Length; i++)
        {
            pts[i].Transform(m, form1, this);
        }
        g.DrawLine(aPen, pts[0].X, pts[0].Y, pts[1].X, pts[1].Y);
        g.DrawLine(aPen, pts[1].X, pts[1].Y, pts[2].X, pts[2].Y);
        g.DrawLine(aPen, pts[2].X, pts[2].Y, pts[3].X, pts[3].Y);
        aPen.Dispose();
    }
    #endregion

    #region AddTicks
    private void AddTicks(Graphics g)
    {
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(Elevation, Azimuth);
        Point3[] pta = new Point3[2];
        Point3[] pts = CoordinatesOfChartBox();
        Pen aPen = new Pen(AxisStyle.LineColor, AxisStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = AxisStyle.Pattern;
        // Add x ticks:
        float offset = (YMax - YMin) / 30.0f;
        float ticklength = offset;
        for (float x = XMin; x <= XMax; x = x + XTick)
        {
            if (elevation >= 0)
            {
                if (azimuth >= -90 && azimuth < 90)
                    ticklength = -offset;
            }
            else if (elevation < 0)
            {
                if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) ||azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                    ticklength = -(YMax - YMin) / 30;
            }
            pta[0] = new Point3(x, pts[1].Y + ticklength,pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[1] = new Point3(x, pts[1].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
            for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
            {
```

```
                pta[i].Transform(m, form1, this);
            }
            g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
        }
        // Add y ticks:
        offset = (XMax - XMin) / 30.0f;
        ticklength = offset;
        for (float y = YMin; y <= YMax; y = y + YTick)
        {
            pts = CoordinatesOfChartBox();
            if (elevation >= 0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < 0)
                    ticklength = -offset;
            }
            else if (elevation < 0)
            {
                if (azimuth >= 0 && azimuth < 180)
                    ticklength = -offset;
            }
            pta[0] = new Point3(pts[1].X + ticklength, y,pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[1] = new Point3(pts[1].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
            for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
            {
                pta[i].Transform(m, form1, this);
            }
            g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
        }
        // Add z ticks:
        float xoffset = (XMax - XMin) / 45.0f;
        float yoffset = (YMax - YMin) / 20.0f;
        float xticklength = xoffset;
        float yticklength = yoffset;
        for (float z = ZMin; z <= ZMax; z = z + ZTick)
        {
            if (elevation >= 0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                {
                    xticklength = 0;
                    yticklength = yoffset;
                }
                else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                {
                    xticklength = xoffset;
                    yticklength = 0;
                }
                else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                {
                    xticklength = 0;
                    yticklength = -yoffset;
                }
                else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                {
                    xticklength = -xoffset;
                    yticklength = 0;
                }
            }
            else if (elevation <0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                {
                    yticklength = 0;
                    xticklength = xoffset;
                }
                else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                {

                    yticklength = -yoffset;
                    xticklength = 0;
                }
                else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                {
                    yticklength = 0;
                    xticklength = -xoffset;
                }
                else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                {
                    yticklength = yoffset;
                    xticklength = 0;
                }
            }
            pta[0] = new Point3(pts[2].X, pts[2].Y, z, pts[2].W);
            pta[1] = new Point3(pts[2].X + yticklength ,pts[2].Y + xticklength, z, pts[2].W);
            for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
            {
                pta[i].Transform(m, form1, this);
            }
            g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
        }
```



```
            aPen.Dispose();
        }
        #endregion

        #region AddGrids

        private void AddGrids(Graphics g)
        {
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(Elevation, Azimuth);
            Point3[] pta = new Point3[3];
            Point3[] pts = CoordinatesOfChartBox();
            Pen aPen = new Pen(GridStyle.LineColor, GridStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = GridStyle.Pattern;
            // Draw x gridlines:
            if (IsXGrid)
            {
                for (float x = XMin; x <= XMax; x = x + XTick)
                {
                    pts = CoordinatesOfChartBox();
                    pta[0] = new Point3(x, pts[1].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
                    if (elevation >= 0)
                    {
                        if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) || (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                        {
                            pta[1] = new Point3(x, pts[0].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
                            pta[2] = new Point3(x, pts[0].Y, pts[3].Z, pts[1].W);
                        }
                        else
                        {
                            pta[1] = new Point3(x, pts[2].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
                            pta[2] = new Point3(x, pts[2].Y, pts[3].Z, pts[1].W);
                        }
                    }
                    else if (elevation < 0)
                    {
                        if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) || (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                        {
                            pta[1] = new Point3(x, pts[2].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
                            pta[2] = new Point3(x, pts[2].Y, pts[3].Z, pts[1].W);
                        }
                        else
                        {
                            pta[1] = new Point3(x, pts[0].Y, pts[1].Z, pts[1].W);
                            pta[2] = new Point3(x, pts[0].Y, pts[3].Z, pts[1].W);
                        }
                    }
                    for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
                    {
                        pta[i].Transform(m, form1, this);
                    }
                    g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
                    g.DrawLine(aPen, pta[1].X, pta[1].Y, pta[2].X, pta[2].Y);
                }
                // Draw y gridlines:
                if (IsYGrid)
                {
                    for (float y = YMin; y <= YMax; y = y + YTick)
                    {
                        pts = CoordinatesOfChartBox();
                        pta[0] = new Point3(pts[1].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                        if (elevation >= 0)
                        {
                            if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) || (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[2].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[2].X, y, pts[3].Z, pts[1].W);
                            }
                            else
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[0].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, y, pts[3].Z, pts[1].W);
                            }
                        }
                        if (elevation < 0)
                        {
                            if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) || (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[0].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, y, pts[3].Z, pts[1].W);
                            }
                            else
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[2].X, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[2].X, y, pts[3].Z, pts[1].W);
                            }
                        }
                        for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
                        {
                            pta[i].Transform(m, form1, this);
                        }
```

```
                        g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
                        g.DrawLine(aPen, pta[1].X, pta[1].Y, pta[2].X, pta[2].Y);
                    }
                }
                // Draw Z gridlines:
                if (IsZGrid)
                {
                    for (float z = ZMin; z <= ZMax; z = z + ZTick)
                    {
                        pts = CoordinatesOfChartBox();
                        pta[0] = new Point3(pts[2].X, pts[2].Y, z, pts[2].W);
                        if (elevation >= 0)
                        {
                            if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) ||
                                (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[2].X, pts[0].Y, z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, pts[0].Y, z, pts[1].W);
                            }
                            else
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[0].X, pts[2].Y, z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, pts[1].Y, z, pts[1].W);
                            }
                        }
                        if (elevation < 0)
                        {
                            if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) || (azimuth >= 0 && azimuth < 90))
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[0].X, pts[2].Y, z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, pts[0].Y, z, pts[1].W);
                            }
                            else
                            {
                                pta[1] = new Point3(pts[2].X, pts[0].Y, z, pts[1].W);
                                pta[2] = new Point3(pts[0].X, pts[0].Y, z, pts[1].W);
                            }
                        }
                        for (int i = 0; i < pta.Length; i++)
                        {
                            pta[i].Transform(m, form1, this);
                        }
                        g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
                        g.DrawLine(aPen, pta[1].X, pta[1].Y, pta[2].X, pta[2].Y);
                    }
                }
            }
        }

        #endregion

        #region AddLABEL
         private void AddLabels(Graphics g)
         {
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(Elevation, Azimuth);
            Point3 pt = new Point3();
            Point3[] pts = CoordinatesOfChartBox();
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(LabelColor);
            StringFormat sf = new StringFormat();
            sf.Alignment = StringAlignment.Center;
            // Add x tick labels:
            float offset = (YMax - YMin) / 20;
            float labelSpace = offset;
            for (float x = XMin + XTick; x < XMax; x = x + XTick)
            {
                if (elevation >= 0)
                {
                    if (azimuth >= -90 && azimuth < 90)
                        labelSpace = -offset;
                }
                else if (elevation < 0)
                {
                    if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) ||azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                        labelSpace = -offset;
                }
                pt = new Point3(x, pts[1].Y + labelSpace, pts[1].Z, pts[1].W);
                pt.Transform(m, form1, this);
                g.DrawString(x.ToString(), TickFont, aBrush,new PointF(pt.X, pt.Y), sf);
            }
            // Add y tick labels:
            offset = (XMax - XMin) / 20;
            labelSpace = offset;
            for (float y = YMin + yTick; y < YMax; y = y + YTick)
            {
                pts = CoordinatesOfChartBox();
                if (elevation >= 0)
                {
                    if (azimuth >= -180 && azimuth < 0)
                        labelSpace = -offset;
                }
```



```
                else if (elevation < 0)
                {
                    if (azimuth >= 0 && azimuth < 180)
                        labelSpace = -offset;
                }
                pt = new Point3(pts[1].X + labelSpace, y, pts[1].Z, pts[1].W);
                pt.Transform(m, form1, this);
                g.DrawString(y.ToString(), TickFont, aBrush, new PointF(pt.X, pt.Y), sf);
            }

            // Add z tick labels:
            float xoffset = (XMax - XMin) / 30.0f;
            float yoffset = (YMax - YMin) / 15.0f;
            float xlabelSpace = xoffset;
            float ylabelSpace = yoffset;
            SizeF s = g.MeasureString("A", TickFont);
            for (float z = ZMin; z <= ZMax; z = z + ZTick)
            {
                sf.Alignment = StringAlignment.Far;
                pts = CoordinatesOfChartBox();
                if (elevation >= 0)
                {
                    if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                    {
                        xlabelSpace = 0;
                        ylabelSpace = yoffset;
                    }
                    else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                    {
                        xlabelSpace = xoffset;
                        ylabelSpace = 0;
                    }
                    else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                    {
                        xlabelSpace = 0;
                        ylabelSpace = -yoffset;
                    }
                    else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                    {
                        xlabelSpace = -xoffset;
                        ylabelSpace = 0;
                    }
                }
                else if (elevation < 0)
                {
                    if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                    {
                        ylabelSpace = 0;
                        xlabelSpace = xoffset;
                    }
                    else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                    {
                        ylabelSpace = -yoffset;
                        xlabelSpace = 0;
                    }
                    else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                    {
                        ylabelSpace = 0;
                        xlabelSpace = -xoffset;
                    }
                    else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                    {
                        ylabelSpace = yoffset;
                        xlabelSpace = 0;
                    }
                }
                pt = new Point3(pts[2].X + ylabelSpace,pts[2].Y + xlabelSpace, z, pts[2].W);
                pt.Transform(m, form1, this);
                g.DrawString(z.ToString(), TickFont, aBrush,new PointF(pt.X - labelSpace, pt.Y - s.Height / 2), sf);
            }


            // Add Title:
            sf.Alignment = StringAlignment.Center;
            aBrush = new SolidBrush(TitleColor);
            if (Title != "No Title")
            {
                g.DrawString(Title, titleFont, aBrush,new PointF(form1.PlotPanel.Width / 2,form1.Height / 30), sf);
            }
            aBrush.Dispose();

            // Add x axis label:
            offset = (YMax - YMin) / 3;
            labelSpace = offset;
            sf.Alignment = StringAlignment.Center;
            aBrush = new SolidBrush(LabelColor);
            float offset1 = (XMax - XMin) / 10;
            float xc = offset1;
            if (elevation >= 0)
            {
```

```
                if (azimuth >= -90 && azimuth < 90)
                    labelSpace = -offset;
                if (azimuth >= 0 && azimuth <= 180)
                    xc = -offset1;
            }
            else if (elevation < 0)
            {
                if ((azimuth >= -180 && azimuth < -90) ||azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                    labelSpace = -offset;
                if (Azimuth >= -180 && azimuth <= 0)
                    xc = -offset1;
            }
            Point3[] pta = new Point3[2];
            pta[0] = new Point3(XMin, pts[1].Y + labelSpace,pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[1] = new Point3((XMin + XMax) / 2 - xc,pts[1].Y + labelSpace, pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[0].Transform(m, form1, this);
            pta[1].Transform(m, form1, this);
            float theta = (float)Math.Atan((pta[1].Y - pta[0].Y) /(pta[1].X - pta[0].X));
            theta = theta * 180 / (float)Math.PI;
            GraphicsState gs = g.Save();
            g.TranslateTransform(pta[1].X, pta[1].Y);
            g.RotateTransform(theta);
            g.DrawString(XLabel, LabelFont, aBrush,new PointF(0, 0), sf);
            g.Restore(gs);

            // Add y axis label:
            offset = (XMax - XMin) / 3;
            offset1 = (YMax - YMin) / 5;
            labelSpace = offset;
            float yc = YTick;
            if (elevation >= 0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < 0)
                    labelSpace = -offset;
                if (azimuth >= -90 && azimuth <= 90)
                    yc = -offset1;
            }
            else if (elevation < 0)
            {
                yc = -offset1;
                if (azimuth >= 0 && azimuth < 180)
                    labelSpace = -offset;
                if (azimuth >= -90 && azimuth <= 90)
                    yc = offset1;
            }
            pta[0] = new Point3(pts[1].X + labelSpace,YMin, pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[1] = new Point3(pts[1].X + labelSpace,(YMin + YMax)/2 + yc, pts[1].Z, pts[1].W);
            pta[0].Transform(m, form1, this);
            pta[1].Transform(m, form1, this);
            theta = (float)Math.Atan((pta[1].Y - pta[0].Y) /(pta[1].X - pta[0].X));
            theta = theta * 180 / (float)Math.PI;
            gs = g.Save();
            g.TranslateTransform(pta[1].X, pta[1].Y);
            g.RotateTransform(theta);
            g.DrawString(YLabel, LabelFont, aBrush,new PointF(0, 0), sf);
            g.Restore(gs);
            // Add z axis labels:
            float zticklength = 10;
            labelSpace = -1.3f * offset;
            offset1 = (ZMax - ZMin) / 8;
            float zc = -offset1;
            for (float z = ZMin; z < ZMax; z = z + ZTick)
            {
                SizeF size = g.MeasureString(z.ToString(), TickFont);
                if (zticklength < size.Width)
                    zticklength = size.Width;
            }
            float zlength = -zticklength;
            if (elevation >= 0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                {
                    zlength = -zticklength;
                    labelSpace = -1.3f * offset;
                    zc = -offset1;
                }
                else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                {
                    zlength = zticklength;
                    labelSpace = 2 * offset / 3;
                    zc = offset1;
                }
                else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                {
                    zlength = zticklength;
                    labelSpace = 2 * offset / 3;
                    zc = -offset1;
                }
                else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                {
```



```
                    zlength = -zticklength;
                    labelSpace = -1.3f * offset;
                    zc = offset1;
                }
            }
            else if (elevation < 0)
            {
                if (azimuth >= -180 && azimuth < -90)
                {
                    zlength = -zticklength;
                    labelSpace = -1.3f * offset;
                    zc = offset1;
                }
                else if (azimuth >= -90 && azimuth < 0)
                {
                    zlength = zticklength;
                    labelSpace = 2 * offset / 3;
                    zc = -offset1;
                }
                else if (azimuth >= 0 && azimuth < 90)
                {
                    zlength = zticklength;
                    labelSpace = 2 * offset / 3;
                    zc = offset1;
                }
                else if (azimuth >= 90 && azimuth <= 180)
                {
                    zlength = -zticklength;
                    labelSpace = -1.3f * offset;
                    zc = -offset1;
                }
            }
            pta[0] = new Point3(pts[2].X - labelSpace, pts[2].Y,(ZMin + ZMax) / 2 + zc, pts[2].W);
            pta[0].Transform(m, form1, this);
            gs = g.Save();
            g.TranslateTransform(pta[0].X - zlength, pta[0].Y);
            g.RotateTransform(270);
            g.DrawString(ZLabel, LabelFont, aBrush,new PointF(0, 0), sf);
            g.Restore(gs);
        }

        #endregion

        public void AddChartStyle(Graphics g)
        {
            AddTicks(g);
            AddGrids(g);
            AddAxes(g);
            AddLabels(g);
        }

    }

    #endregion

#region ChartStyle2D
public class ChartStyle2D
{
    private Form1 form1;
    private Rectangle chartArea;
    private Color chartBackColor;
    private Color chartBorderColor;
    private Color plotBackColor = Color.White;
    private Color plotBorderColor = Color.Black;
    public ChartStyle2D(Form1 fm1)
    {
        form1 = fm1;
        Rectangle rect = form1.ClientRectangle;
        chartArea = new Rectangle(rect.X, rect.Y,rect.Width, 3 * rect.Height / 5);
        chartBackColor = fm1.BackColor;
        chartBorderColor = fm1.BackColor;
    }
    public Color ChartBackColor
    {
        get { return chartBackColor; }
        set { chartBackColor = value }
    }
    public Color ChartBorderColor
    {
        get { return chartBorderColor; }
        set { chartBorderColor = value }
    }
    public Rectangle ChartArea
    {
        get { return chartArea; }
        set { chartArea = value }
    }
```

```
        public void AddChartStyle2D(Graphics g, ChartStyle cs3d)
        {
            Pen aPen = new Pen(Color.Black, 1f);
            SizeF tickFontSize = g.MeasureString("A", cs3d.TickFont);
            // Create vertical gridlines:
            float fX, fY;
            if (cs3d.IsYGrid == true)
            {
                aPen = new Pen(cs3d.GridStyle.LineColor, 1f);
                aPen.DashStyle = cs3d.GridStyle.Pattern;
                for (fX = cs3d.XMin + cs3d.XTick; fX < cs3d.XMax;fX += cs3d.XTick)
                    {
                    g.DrawLine(aPen, Point2D(new PointF(fX,cs3d.YMin), cs3d),Point2D(new PointF(fX, cs3d.YMax),
cs3d));
                }
            }

            // Create horizontal gridlines:
            if (cs3d.IsXGrid == true)
            {
                aPen = new Pen(cs3d.GridStyle.LineColor, 1f);
                aPen.DashStyle = cs3d.GridStyle.Pattern;
                for (fY = cs3d.YMin + cs3d.YTick; fY < cs3d.YMax;fY += cs3d.YTick)
                {
                    g.DrawLine(aPen, Point2D(new PointF(cs3d.XMin, fY),cs3d),Point2D(new PointF(cs3d.XMax,
fY),cs3d));
                }
            }
            // Create the x-axis tick marks:
            for (fX = cs3d.XMin; fX <= cs3d.XMax; fX += cs3d.XTick)
            {
                PointF yAxisPoint = Point2D(new PointF(fX,cs3d.YMin), cs3d);
                g.DrawLine(Pens.Black, yAxisPoint, new PointF(yAxisPoint.X, yAxisPoint.Y - 5f));
            }
            // Create the y-axis tick marks:
            for (fY = cs3d.YMin; fY <= cs3d.YMax; fY += cs3d.YTick)
            {
                PointF xAxisPoint = Point2D(new PointF(cs3d.XMin,fY), cs3d);
                g.DrawLine(Pens.Black, xAxisPoint,new PointF(xAxisPoint.X + 5f, xAxisPoint.Y));
            }
            aPen.Dispose();
        }
        private void AddLabels(Graphics g, ChartStyle cs3d)
        {
            float xOffset = ChartArea.Width / 30.0f;
            float yOffset = ChartArea.Height / 30.0f;
            SizeF labelFontSize = g.MeasureString("A",cs3d.LabelFont);
            SizeF titleFontSize = g.MeasureString("A",cs3d.TitleFont);
            SizeF tickFontSize = g.MeasureString("A",cs3d.TickFont);
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(cs3d.TickColor);
            StringFormat sFormat = new StringFormat();
            // Create the x-axis tick marks:
            aBrush = new SolidBrush(cs3d.TickColor);
            for (float fX = cs3d.XMin; fX <= cs3d.XMax;fX += cs3d.XTick)
            {
                PointF yAxisPoint = Point2D(new PointF(fX,cs3d.YMin), cs3d);
                sFormat.Alignment = StringAlignment.Far;
                SizeF sizeXTick = g.MeasureString(fX.ToString(),cs3d.TickFont);
                g.DrawString(fX.ToString(), cs3d.TickFont, aBrush,
                    new PointF(yAxisPoint.X +sizeXTick.Width / 2 + form1.PlotPanel.Left,yAxisPoint.Y + 4f +
form1.PlotPanel.Top),sFormat);
            }
            // Create the y-axis tick marks:
            for (float fY = cs3d.YMin; fY <= cs3d.YMax; fY +=cs3d.YTick)
            {
                PointF xAxisPoint = Point2D(new PointF(cs3d.XMin,fY), cs3d);
                sFormat.Alignment = StringAlignment.Far;
                g.DrawString(fY.ToString(), cs3d.TickFont, aBrush,new PointF(xAxisPoint.X - 3f +form1.PlotPanel.Left,
                    xAxisPoint.Y - tickFontSize.Height / 2 +form1.PlotPanel.Top), sFormat);
            }
            // Add horizontal axis label:
            aBrush = new SolidBrush(cs3d.LabelColor);
            SizeF stringSize = g.MeasureString(cs3d.XLabel,cs3d.LabelFont);
            g.DrawString(cs3d.XLabel, cs3d.LabelFont, aBrush,new Point(form1.PlotPanel.Left +form1.PlotPanel.Width / 2
-(int)stringSize.Width / 2,
                ChartArea.Bottom - (int)yOffset - (int)labelFontSize.Height));
            // Add y-axis label:
            sFormat.Alignment = StringAlignment.Center;
            stringSize = g.MeasureString(cs3d.YLabel, cs3d.LabelFont);

            // Save the state of the current Graphics object
            GraphicsState gState = g.Save();
            g.TranslateTransform(xOffset, yOffset +titleFontSize.Height + yOffset / 3 +form1.PlotPanel.Height / 2);
            g.RotateTransform(-90);
            g.DrawString(cs3d.YLabel, cs3d.LabelFont,aBrush, 0, 0, sFormat);
            // Restore it:
            g.Restore(gState);
            // Add title:
            aBrush = new SolidBrush(cs3d.TitleColor);
            stringSize = g.MeasureString(cs3d.Title, cs3d.TitleFont);
```



```
            if (cs3d.Title.ToUpper() != "NO TITLE")
            {
                g.DrawString(cs3d.Title, cs3d.TitleFont, aBrush,
                    new Point(form1.PlotPanel.Left + form1.PlotPanel.Width / 2 - (int)stringSize.Width / 2,
ChartArea.Top + (int)yOffset));
            }
            aBrush.Dispose();
        }
        public void SetPlotArea(Graphics g, ChartStyle cs3d)
        {
            // Draw chart area:
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(ChartBackColor);
            Pen aPen = new Pen(ChartBorderColor, 2);
            g.FillRectangle(aBrush, ChartArea);
            g.DrawRectangle(aPen, ChartArea);
            // Set PlotArea:
            float xOffset = ChartArea.Width / 30.0f;
            float yOffset = ChartArea.Height / 30.0f;
            SizeF labelFontSize = g.MeasureString("A",cs3d.LabelFont);
            SizeF titleFontSize = g.MeasureString("A",cs3d.TitleFont);
            if (cs3d.Title.ToUpper() == "NO TITLE")
            {
                titleFontSize.Width = 8f;
                titleFontSize.Height = 8f;
            }
            float xSpacing = xOffset / 3.0f;
            float ySpacing = yOffset / 3.0f;
            SizeF tickFontSize = g.MeasureString("A", cs3d.TickFont);
            float tickSpacing = 2f;
            SizeF yTickSize = g.MeasureString(cs3d.YMin.ToString(), cs3d.TickFont);
            for (float yTick = cs3d.YMin; yTick <= cs3d.YMax;yTick += cs3d.YTick)
            {
                SizeF tempSize = g.MeasureString(yTick.ToString(),cs3d.TickFont);
                if (yTickSize.Width < tempSize.Width)
                {
                    yTickSize = tempSize;
                }
            }

            float leftMargin = xOffset + labelFontSize.Width +xSpacing + yTickSize.Width + tickSpacing;
            float rightMargin = 2 * xOffset;
            float topMargin = yOffset +titleFontSize.Height + ySpacing;
            float bottomMargin = yOffset + labelFontSize.Height +ySpacing + tickSpacing + tickFontSize.Height;
            // Define the plot area:
            int plotX = ChartArea.X + (int)leftMargin;
            int plotY = ChartArea.Y + (int)topMargin;
            int plotWidth = ChartArea.Width - (int)leftMargin - (int)rightMargin;
            int plotHeight = ChartArea.Height - (int)topMargin - (int)bottomMargin;
            form1.PlotPanel.Left = plotX;
            form1.PlotPanel.Top = plotY;
            if (cs3d.IsColorBar)
                form1.PlotPanel.Width = 25 * plotWidth / 30;
            else
                form1.PlotPanel.Width = plotWidth;
            form1.PlotPanel.Height = plotHeight;
            AddLabels(g, cs3d);
        }

    public PointF Point2D(PointF pt, ChartStyle cs3d)
    {
        PointF aPoint = new PointF();
        if (pt.X < cs3d.XMin || pt.X > cs3d.XMax ||pt.Y < cs3d.YMin || pt.Y > cs3d.YMax)
        {
            pt.X = Single.NaN;
            pt.Y = Single.NaN;
        }
        aPoint.X = (pt.X - cs3d.XMin) *form1.PlotPanel.Width / (cs3d.XMax - cs3d.XMin);
        aPoint.Y = form1.PlotPanel.Height - (pt.Y - cs3d.YMin) *form1.PlotPanel.Height / (cs3d.YMax - cs3d.YMin);
        return aPoint;
    }
}

#endregion

#region Point4 //불º¼륨·y감°¨을A≫ 주AO기±a위A§한CN 설¼³정A¤
public class Point4
{
    public Point3 point3 = new Point3();
    public float V = 0;
    public Point4()
    {
    }
    public Point4(Point3 pt3, float v)
    {
        point3 = pt3;
        V = v;
    }
}
#endregion
```

```
#region DataSeries
public class DataSeries
{
    private ArrayList pointList;
    private LineStyle lineStyle;
    private BarStyle barStyle;
    private float xdataMin = -5;
    private float ydataMin = -5;
    private float zzdataMin = -5;
    private float xSpacing = 1;
    private float ySpacing = 1;
    private float zSpacing = 1;
    private int xNumber = 10;
    private int yNumber = 10;
    private int zNumber = 10;
    private Point3[,] pointArray;
    private Point4[, ,] point4Array;
    public DataSeries()
    {
        lineStyle = new LineStyle();
        barStyle = new BarStyle();
        pointList = new ArrayList();
    }
    public Point4[, ,] Point4Array
    {
        get { return point4Array; }
        set { point4Array = value }
    }
    public Point3[,] PointArray
    {
        get { return pointArray; }
        set { pointArray = value }
    }
    public int XNumber
    {
        get { return xNumber; }
        set { xNumber = value }
    }
    public int YNumber
    {
        get { return yNumber; }
        set { yNumber = value }
    }
    public int ZNumber
    {
        get { return zNumber; }
        set { zNumber = value }
    }
    public float XSpacing
    {   get { return xSpacing; }
        set { xSpacing = value }
    }
    public float YSpacing
    {
        get { return ySpacing; }
        set { ySpacing = value }
    }
    public float ZSpacing
    {
        get { return zSpacing; }
        set { zSpacing = value }
    }
    public float XDataMin
    {
        get { return xdataMin; }
        set { xdataMin = value }
    }
    public float YDataMin
   {
        get { return ydataMin; }
        set { ydataMin = value }
    }
    public float ZZDataMin
    {
        get { return zzdataMin; }
        set { zzdataMin = value }
    }
    public LineStyle LineStyle
    {
        get { return lineStyle; }
        set { lineStyle = value }
    }
    public BarStyle BarStyle
    {
        get { return barStyle; }
        set { barStyle = value }
    }
    public ArrayList PointList
    {
        get { return pointList; }
```



```
        set { pointList = value }
    }
    public void AddPoint(Point3 pt)
    {
        PointList.Add(pt);
    }
    public float ZDataMin()
    {
        float zmin = 0;
        for (int i = 0; i < PointArray.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < PointArray.GetLength(1); j++)
            {
                zmin = Math.Min(zmin, PointArray[i, j].Z);
            }
        }
        return zmin;
    }
    public float ZDataMax()
    {
        float zmax = 0;
        for (int i = 0; i < PointArray.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < PointArray.GetLength(1); j++)
            {
                zmax = Math.Max(zmax, PointArray[i, j].Z);
            }
        }
        return zmax;
    }
    public float VDataMin()
    {
        float vmin = 0;
        for (int i = 0; i < Point4Array.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < Point4Array.GetLength(1); j++)
            {
               for (int k = 0; k < Point4Array.GetLength(2); k++)
                {
                    vmin = Math.Min(vmin, Point4Array[i, j, k].V);
                }
            }
        }
        return vmin;
    }
    public float VDataMax()
    {
        float vmax = 0;
        for (int i = 0; i < Point4Array.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < Point4Array.GetLength(1); j++)
            {
                for (int k = 0; k < Point4Array.GetLength(2); k++)
                {
                   vmax = Math.Max(vmax, Point4Array[i, j, k].V);
                }
            }
        }
        return vmax;
    }
}
#endregion

    #region  DataSeries
//    public class DataSeries
//    {
//        private ArrayList pointList;
//        private LineStyle lineStyle;
//        private float xdataMin = -5;
//        private float ydataMin = -5;
//        private float xSpacing = 1;
//        private float ySpacing = 1;
//        private int xNumber = 10;
//        private int yNumber = 10;
//       private Point3[,] pointArray;
//        public DataSeries()
//        {
//            lineStyle = new LineStyle();
//            pointList = new ArrayList();
//        }
//        public Point3[,] PointArray
//        {
//            get { return pointArray; }
//            set { pointArray = value; }
//        }
//        public int XNumber  //float에ż  서ł- int로·I 수ł¤정A¤
//        {
//            get { return xNumber; }
//            set { xNumber = value; }
//        }
```

```
//          public int YNumber //float에ż  서ł- int로·I 수ło정A¤
//          {
//              get { return yNumber; }
//              set { yNumber = value; }
//          }
//          public float XSpacing
//          {
//              get { return xSpacing; }
//              set { xSpacing = value; }
//          }
//          public float YSpacing
//          {
//              get { return ySpacing; }
//              set { ySpacing = value; }
//          }
//          public float XDataMin
//          {
//              get { return xdataMin; }
//              set { xdataMin = value; }
//          }
//
//          public float YDataMin
//          {
//              get { return ydataMin; }
//             set { ydataMin = value; }
//          }
//          public LineStyle LineStyle
//          {
//              get { return lineStyle; }
//              set { lineStyle = value; }
//          }
//          public ArrayList PointList
//          {
//              get { return pointList; }
//              set { pointList = value; }
//          }
//          public void AddPoint(Point3 pt)
//          {
//              PointList.Add(pt);
//          }
//      }
      #endregion


      #region ChartFunctions
      public class ChartFunctions
      {
          public ChartFunctions()
          {
          }
          public void Line3D(DataSeries ds, ChartStyle cs)
          {
              cs.XMin = -1f;
              cs.XMax = 1f;
              cs.YMin = -1f;
              cs.YMax = 1f;
              cs.ZMin = 0;
              cs.ZMax = 30;
              cs.XTick = 0.5f;
              cs.YTick = 0.5f;
              cs.ZTick = 5;
              ds.XDataMin = cs.XMin;
              ds.YDataMin = cs.YMin;
              ds.XSpacing = 0.3f;
              ds.YSpacing = 0.3f;
              ds.XNumber = Convert.ToInt16((cs.XMax - cs.XMin) /ds.XSpacing) + 1;
              ds.YNumber = Convert.ToInt16((cs.YMax - cs.YMin) /ds.YSpacing) + 1;
              ds.PointList.Clear();
              for (int i = 0; i < 300; i++)
              {
                  float t = 0.1f * i;
                  float x = (float)Math.Exp(-t / 30) *(float)Math.Cos(t);
                  float y = (float)Math.Exp(-t / 30) *(float)Math.Sin(t);
                  float z = t;
                  ds.AddPoint(new Point3(x, y, z, 1));
              }
          }
          public void Peak3D(DataSeries ds, ChartStyle cs)
          {
              cs.XMin = -3;
              cs.XMax = 3;
              cs.YMin = -3;
              cs.YMax = 3;
              cs.ZMin = -8;
              cs.ZMax = 8;
              cs.XTick = 1;
              cs.YTick = 1;
              cs.ZTick = 4;

              ds.XDataMin = cs.XMin;
```



```
              ds.YDataMin = cs.YMin;
              ds.XSpacing = 0.5f;
              ds.YSpacing = 0.5f;
              ds.XNumber = Convert.ToInt16((cs.XMax - cs.XMin) /ds.XSpacing) + 1;
              ds.YNumber = Convert.ToInt16((cs.YMax - cs.YMin) /ds.YSpacing) + 1;
              Point3[,] pts = new Point3[ds.XNumber, ds.YNumber];
              for (int i = 0; i < ds.XNumber; i++)
              {
                  for (int j = 0; j < ds.YNumber; j++)
                  {
                      float x = ds.XDataMin + i * ds.XSpacing;
                      float y = ds.YDataMin + j * ds.YSpacing;
                      double zz = 3 * Math.Pow((1 - x), 2) *Math.Exp(-x * x - (y + 1) * (y + 1)) - 10 *(0.2 * x -
Math.Pow(x, 3) - Math.Pow(y, 5)) *
                          Math.Exp(-x * x - y * y) - 1 / 3 * Math.Exp(-(x + 1) * (x + 1) - y * y);
                      float z = (float)zz;
                      pts[i, j] = new Point3(x, y, z, 1);
                  }
              }
              ds.PointArray = pts;
          }
          public void SinROverR3D(DataSeries ds, ChartStyle cs)
          {
              cs.XMin = -8;
              cs.XMax = 8;
              cs.YMin = -8;
              cs.YMax = 8;
              cs.ZMin = -0.5f;
              cs.ZMax = 1;
              cs.XTick = 4;
              cs.YTick = 4;
              cs.ZTick = 0.5f;
              ds.XDataMin = cs.XMin;
              ds.YDataMin = cs.YMin;
              ds.XSpacing = 1f;
              ds.YSpacing = 1f;
              ds.XNumber = Convert.ToInt16((cs.XMax - cs.XMin) /ds.XSpacing) + 1;
              ds.YNumber = Convert.ToInt16((cs.YMax - cs.YMin) /ds.YSpacing) + 1;
              Point3[,] pts = new Point3[ds.XNumber, ds.YNumber];
              for (int i = 0; i < ds.XNumber; i++)
              {
                  for (int j = 0; j < ds.YNumber; j++)
                      {
                      float x = ds.XDataMin + i * ds.XSpacing;
                      float y = ds.YDataMin + j * ds.YSpacing;
                      float r = (float)Math.Sqrt(x * x + y * y) +0.000001f;
                      float z = (float)Math.Sin(r) / r;
                      pts[i, j] = new Point3(x, y, z, 1);
                  }
              }
              ds.PointArray = pts;
          }
          public void Exp4D(DataSeries ds, ChartStyle cs)
          {
              cs.XMin = -2;
              cs.XMax = 2;
              cs.YMin = -2;
              cs.YMax = 2;
              cs.ZMin = -2;
              cs.ZMax = 2;
              cs.XTick = 1;
              cs.YTick = 1;
              cs.ZTick = 1;
              ds.XDataMin = cs.XMin;
              ds.YDataMin = cs.YMin;
              ds.ZZDataMin = cs.ZMin;
              ds.XSpacing = 0.1f;
              ds.YSpacing = 0.1f;
              ds.ZSpacing = 0.1f;
              ds.XNumber = Convert.ToInt16((cs.XMax - cs.XMin) /ds.XSpacing) + 1;
              ds.YNumber = Convert.ToInt16((cs.YMax - cs.YMin) /ds.YSpacing) + 1;
              ds.ZNumber = Convert.ToInt16((cs.ZMax - cs.ZMin) /ds.ZSpacing) + 1;
              Point4[, ,] pts = new Point4[ds.XNumber, ds.YNumber,ds.ZNumber];
              for (int i = 0; i < ds.XNumber; i++)
              {
                  for (int j = 0; j < ds.YNumber; j++)
                  {
                      for (int k = 0; k < ds.ZNumber; k++)
                      {
                          float x = ds.XDataMin + i * ds.XSpacing;
                          float y = ds.YDataMin + j * ds.YSpacing;
                          float z = cs.ZMin + k * ds.ZSpacing;
                          float v = z * (float)Math.Exp(- x * x - y * y - z * z);
                          pts[i, j, k] = new Point4(new Point3(x, y, z, 1), v);
                      }
                  }
              }
              ds.Point4Array = pts;
          }
      }
```

```
#endregion


    #region DrawChart
    public class DrawChart
    {
        private Form1 form1;
        private ChartTypeEnum chartType;
        private int[,] cmap;
        private bool isColorMap = true
        private bool isHiddenLine = false
        private bool isInterp = false
        private int numberInterp = 2;
        private int numberContours = 10;
        private SliceEnum xyzSlice = SliceEnum.XSlice;
        private float sliceLocation = 0;
        private bool isBarSingleColor = true


        public DrawChart(Form1 fm1)
        {
            form1 = fm1;
        }
        public float SliceLocation
        {
            get { return sliceLocation; }
            set { sliceLocation = value }
        }
        public bool IsBarSingleColor
        {
            get { return isBarSingleColor; }
            set { isBarSingleColor = value }
        }
        public int NumberContours
        {
            get { return numberContours; }
            set { numberContours = value }
        }
        public int NumberInterp
        {
            get { return numberInterp; }
            set { numberInterp = value }
        }
        public bool IsInterp
        {
            get { return isInterp; }
            set { isInterp = value }
        }
        public bool IsColorMap
        {
            get { return isColorMap; }
            set { isColorMap = value }
        }
        public bool IsHiddenLine
        {
            get { return isHiddenLine; }
            set { isHiddenLine = value }
        }
        public int[,] CMap
        {
            get { return cmap; }
            set { cmap = value }
        }
        public ChartTypeEnum ChartType
        {
            get { return chartType; }
            set { chartType = value }
        }
        public SliceEnum XYZSlice
        {
            get { return xyzSlice; }
            set { xyzSlice = value }
        }
        public enum SliceEnum
        {
            XSlice, YSlice, ZSlice
        }
        public enum ChartTypeEnum
        {
            Line,
            Mesh,
            MeshZ,
            Waterfall,
            Surface,
            XYColor,
            Contour,
            FillContour,
            MeshContour,
            SurfaceContour,
            Slice,
```



```
            Bar3D,
        }

        public void AddLine(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
            Point3[] pts = new Point3[ds.PointList.Count];
            for (int i = 0; i < pts.Length; i++)
            {
                pts[i] = (Point3)ds.PointList[i];
                pts[i].Transform(m, form1, cs);
            }
            // Draw line:
            if (ds.LineStyle.IsVisible == true)
            {
                for (int i = 1; i < pts.Length; i++)
                {
                    g.DrawLine(aPen, pts[i - 1].X, pts[i - 1].Y, pts[i].X, pts[i].Y);
                }
                aPen.Dispose();

            }
        }


        public void AddChart(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
        {
            switch (ChartType)
            {
                case ChartTypeEnum.Line:
                    AddLine(g, ds, cs);
                    break
                case ChartTypeEnum.Mesh:
                    AddMesh(g, ds, cs);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.MeshZ:
                    AddMeshZ(g, ds, cs);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.Waterfall:
                    AddWaterfall(g, ds, cs);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.Surface:
                    AddSurface(g, ds, cs, cs2d);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.XYColor:
                    AddXYColor(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.Contour:
                    AddContour(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.FillContour:
                    AddXYColor(g, ds, cs, cs2d);
                    AddContour(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.MeshContour:
                    AddContour3D(g, ds, cs, cs2d);
                    AddMesh(g, ds, cs);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break

                case ChartTypeEnum.SurfaceContour:
                    AddXYColor3D(g, ds, cs, cs2d);
                    AddContour3D(g, ds, cs, cs2d);
                    AddSurface(g, ds, cs, cs2d);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                case ChartTypeEnum.Slice:
                    AddSlice(g, ds, cs, cs2d);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break
                //추ÁßÀ°
                case ChartTypeEnum.Bar3D:
                    AddBar3D(g, ds, cs, cs2d);
                    AddColorBar(g, ds, cs, cs2d);
                    break

            }
        }

        public void AddColorBar(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
        {
            if (cs.IsColorBar && IsColorMap)
            {
                Pen aPen = new Pen(Color.Black, 1);
```

```
                SolidBrush aBrush = new SolidBrush(cs.TickColor);
                StringFormat sFormat = new StringFormat();
                sFormat.Alignment = StringAlignment.Near;
                SizeF size = g.MeasureString("A", cs.TickFont);
                int x, y, width, height;
                Point3[] pts = new Point3[64];
                PointF[] pta = new PointF[4];
                float zmin, zmax;
                if (ChartType == ChartTypeEnum.Slice)
                {
                    zmin = ds.VDataMin();
                    zmax = ds.VDataMax();
                }
                else
                {
                    zmin = ds.ZDataMin();
                    zmax = ds.ZDataMax();
                }
                float dz = (zmax - zmin) / 63;
                if (ChartType == ChartTypeEnum.Contour || ChartType == ChartTypeEnum.FillContour || ChartType ==
ChartTypeEnum.XYColor)
                {
                    x = 5 * cs2d.ChartArea.Width / 6;
                    y = form1.PlotPanel.Top;
                    width = cs2d.ChartArea.Width / 25;
                    height = form1.PlotPanel.Height;
                    // Add color bar:
                    for (int i = 0; i < 64; i++)
                    {
                        pts[i] = new Point3(x, y, zmin + i * dz, 1);
                    }
                    for (int i = 0; i < 63; i++)
                    {
                        Color color = AddColor(cs, pts[i], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        float y1 = y + height - (pts[i].Z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        float y2 = y + height - (pts[i + 1].Z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        pta[0] = new PointF(x, y2);
                        pta[1] = new PointF(x + width, y2);
                        pta[2] = new PointF(x + width, y1);
                        pta[3] = new PointF(x, y1);
                        g.FillPolygon(aBrush, pta);
                    }
                    g.DrawRectangle(aPen, x, y, width, height);
                    // Add ticks and labels to the color bar:
                    float ticklength = 0.1f * width;
                    for (float z = zmin; z <= zmax; z = z + (zmax - zmin) / 6)
                    {
                        float yy = y + height - (z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        g.DrawLine(aPen, x, yy, x + ticklength, yy);
                        g.DrawLine(aPen, x + width, yy, x + width - ticklength, yy);
                        g.DrawString((Math.Round(z, 2)).ToString(), cs.TickFont, aBrush, new PointF(x + width
                            + 5, yy - size.Height / 2), sFormat);
                    }
                }
                else
                {
                    x = 5 * form1.PlotPanel.Width / 6;
                    y = form1.PlotPanel.Height / 10;
                    width = form1.PlotPanel.Width / 25;
                    height = 8 * form1.PlotPanel.Height / 10;
                    // Add color bar:
                    for (int i = 0; i < 64; i++)
                    {
                        pts[i] = new Point3(x, y, zmin + i * dz, 1);
                    }
                    for (int i = 0; i < 63; i++)
                    {
                        Color color = AddColor(cs, pts[i], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        float y1 = y + height - (pts[i].Z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        float y2 = y + height - (pts[i + 1].Z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        pta[0] = new PointF(x, y2);
                        pta[1] = new PointF(x + width, y2);
                        pta[2] = new PointF(x + width, y1);
                        pta[3] = new PointF(x, y1);
                        g.FillPolygon(aBrush, pta);
                    }
                    g.DrawRectangle(aPen, x, y, width, height);
                    // Add ticks and labels to the color bar:
                    float ticklength = 0.1f * width;
                    for (float z = zmin; z <= zmax; z = z + (zmax - zmin) / 6)
                    {
                        float yy = y + height - (z - zmin) * height / (zmax - zmin);
                        g.DrawLine(aPen, x, yy, x + ticklength, yy);
                        g.DrawLine(aPen, x + width, yy, x + width - ticklength, yy);
                        g.DrawString((Math.Round(z, 2)).ToString(), cs.TickFont, aBrush, new PointF(x + width + 5, yy
- size.Height / 2), sFormat);
                    }
                }
```



```
            }
        }
        private Color AddColor(ChartStyle cs, Point3 pt, float zmin, float zmax)
        {
            int colorLength = CMap.GetLength(0);
            int cindex = (int)Math.Round((colorLength * (pt.Z - zmin) + (zmax - pt.Z)) /
                (zmax - zmin));
            if (cindex < 1)
                cindex = 1;
            if (cindex > colorLength)
                cindex = colorLength;
            Color color = Color.FromArgb(CMap[cindex - 1, 0], CMap[cindex - 1, 1], CMap[cindex - 1, 2],
                CMap[cindex - 1, 3]);
            return color;
        }

        #region AddMesh
        private void AddMesh(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
            PointF[] pta = new PointF[4];
            Point3[,] pts = ds.PointArray;
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            // Perform transformations on points:
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
                {
                    pts[i, j].Transform(m, form1, cs);
                }
            }
            // Draw mesh:
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                {
                    int ii = i;
                    if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < 0)
                    {
                        ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                    }
                    pta[0] = new PointF(pts[ii, j].X, pts[ii, j].Y);
                    pta[1] = new PointF(pts[ii, j + 1].X, pts[ii, j + 1].Y);
                    pta[2] = new PointF(pts[ii + 1, j + 1].X, pts[ii + 1, j + 1].Y);
                    pta[3] = new PointF(pts[ii + 1, j].X, pts[ii + 1, j].Y);
                    if (!IsHiddenLine)
                    {
                        g.FillPolygon(aBrush, pta);
                    }
                    if (IsColorMap)
                    {
                        Color color = AddColor(cs, pts[ii, j], zmin, zmax);
                        aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                    }
                    g.DrawPolygon(aPen, pta);
                }
            }
            aPen.Dispose();
            aBrush.Dispose();
        }
        #endregion

        #region AddMeshZ
        private void AddMeshZ(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor,ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
            PointF[] pta = new PointF[4];
            Point3[,] pts = ds.PointArray;
            Point3[,] pts1 = new Point3[pts.GetLength(0), pts.GetLength(1)];
            Color color;
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
                {
                    // Make a deep copy the points array:
                    pts1[i, j] = new Point3(pts[i, j].X, pts[i, j].Y, pts[i, j].Z, 1);
                    // Perform transformations on points:
                    pts[i, j].Transform(m, form1, cs);
```

```
            }
        }
        // Draw mesh using Z-order method:
        for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
        {
            for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
            {
                int ii = i;
                if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < 0)
                {
                    ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                }
                pta[0] = new PointF(pts[ii, j].X, pts[ii, j].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[ii, j + 1].X, pts[ii, j + 1].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[ii + 1, j + 1].X,pts[ii + 1, j + 1].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[ii + 1, j].X, pts[ii + 1, j].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                if (IsColorMap)
                {
                    color = AddColor(cs, pts[ii, j], zmin, zmax);
                    aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                    aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                }
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
            }
        }
        // Draw curtain lines:
        Point3[] pt3 = new Point3[4];
        for (int i = 0; i < pts1.GetLength(0); i++)
        {
            int jj = pts1.GetLength(0) - 1;
            if (cs.Elevation >= 0)
            {
                if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth <= 90)
                    jj = 0;
            }
            else if (cs.Elevation < 0)
            {
                jj = 0;
                if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth <= 90)
                    jj = pts1.GetLength(0) - 1;
            }
            if (i < pts1.GetLength(0) - 1)
            {
                pt3[0] = new Point3(pts1[i, jj].X, pts1[i, jj].Y,pts1[i, jj].Z, 1);
                pt3[1] = new Point3(pts1[i + 1, jj].X,pts1[i + 1, jj].Y, pts1[i + 1, jj].Z, 1);
                pt3[2] = new Point3(pts1[i + 1, jj].X,pts1[i + 1, jj].Y, cs.ZMin, 1);
                pt3[3] = new Point3(pts1[i, jj].X,pts1[i, jj].Y, cs.ZMin, 1);
                for (int k = 0; k < 4; k++)
                    pt3[k].Transform(m, form1, cs);
                pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                if (IsColorMap)
                {
                    color = AddColor(cs, pt3[0], zmin, zmax);
                    aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                    aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                }
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
            }
        }
        for (int j = 0; j < pts1.GetLength(1); j++)
        {
            int ii = 0;
            if (cs.Elevation >= 0)
            {
                if (cs.Azimuth >= 0 && cs.Azimuth <= 180)
                    ii = pts1.GetLength(1) - 1;
            }
            else if (cs.Elevation < 0)
            {
                if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth <= 0)
                    ii = pts1.GetLength(1) - 1;
            }
            if (j < pts1.GetLength(1) - 1)
            {
                pt3[0] = new Point3(pts1[ii, j].X, pts1[ii, j].Y,pts1[ii, j].Z, 1);
                pt3[1] = new Point3(pts1[ii, j + 1].X,pts1[ii, j + 1].Y, pts1[ii, j + 1].Z, 1);
                pt3[2] = new Point3(pts1[ii, j + 1].X,pts1[ii, j + 1].Y, cs.ZMin, 1);
                pt3[3] = new Point3(pts1[ii, j].X,pts1[ii, j].Y, cs.ZMin, 1);
                for (int k = 0; k < 4; k++)
                    pt3[k].Transform(m, form1, cs);
                pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
```



```
                if (IsColorMap)
                {
                    color = AddColor(cs, pt3[0], zmin, zmax);
                    aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                    aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                }
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
            }
        }
        aPen.Dispose();
        aBrush.Dispose();
    }

    #endregion AddMeshZ

    #region  AddWaterfall
    private void AddWaterfall(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs)
    {
        Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor,ds.LineStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
        SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
        Point3[,] pts = ds.PointArray;
        Point3[] pt3 = new Point3[pts.GetLength(0) + 2];
        PointF[] pta = new PointF[pts.GetLength(0) + 2];
        Color color;
        // Find the minumum and maximum z values:
        float zmin = ds.ZDataMin();
        float zmax = ds.ZDataMax();
        for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
        {
            int jj = j;
            if (cs.Elevation >= 0)
            {
                if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth < 90)
                    {
                    jj = pts.GetLength(1) - 1 - j;
                }
            }
            else if (cs.Elevation < 0)
            {
                jj = pts.GetLength(1) - 1 - j;
                if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth < 90)
                {
                    jj = j;
                }
            }
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
            {
                pt3[i + 1] = pts[i, jj];
                if (i == 0)
                {
                    pt3[0] = new Point3(pt3[i + 1].X,pt3[i + 1].Y, cs.ZMin, 1);
                }
                if (i == pts.GetLength(0) - 1)
                {
                    pt3[pts.GetLength(0) + 1] = new Point3(pt3[i + 1].X,pt3[i + 1].Y, cs.ZMin, 1);
                }
            }
            for (int i = 0; i < pt3.Length; i++)
            {
                pt3[i].Transform(m, form1, cs);
                pta[i] = new PointF(pt3[i].X, pt3[i].Y);
            }
            g.FillPolygon(aBrush, pta);
            for (int i = 1; i < pt3.Length; i++)
            {
                if (IsColorMap)
                {
                    color = AddColor(cs, pt3[i], zmin, zmax);
                    aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                    aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                }
                g.DrawLine(aPen, pta[i - 1], pta[i]);
            }
        }
        aPen.Dispose();
        aBrush.Dispose();
    }
    #endregion

    #region AddSurface
    private void AddSurface(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
    {
        Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
        SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
        PointF[] pta = new PointF[4];
        Point3[,] pts = ds.PointArray;
```

```
            Point3[,] pts1 = new Point3[pts.GetLength(0), pts.GetLength(1)];
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            // Perform transformation on points:
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
                {
                    // Make a deep copy the points array:
                    pts1[i, j] = new Point3(pts[i, j].X, pts[i, j].Y, pts[i, j].Z, 1);
                    // Perform transformation on points:
                    pts[i, j].Transform(m, form1, cs);
                }
            }
            // Draw surface:
            if (!IsInterp)
            {
                for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                    {
                        int ii = i;
                        if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < 0)
                        {
                            ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                        }
                        pta[0] = new PointF(pts[ii, j].X, pts[ii, j].Y);
                        pta[1] = new PointF(pts[ii, j + 1].X, pts[ii, j + 1].Y);
                        pta[2] = new PointF(pts[ii + 1, j + 1].X, pts[ii + 1, j + 1].Y);
                        pta[3] = new PointF(pts[ii + 1, j].X, pts[ii + 1, j].Y);
                        Color color = AddColor(cs, pts[ii, j], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        g.FillPolygon(aBrush, pta);
                        if (ds.LineStyle.IsVisible)
                        {
                            g.DrawPolygon(aPen, pta);
                        }
                    }
                }
            }
            // Draw refined surface:
            else if (IsInterp)
            {
                for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                    {
                        int ii = i;
                        if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < 0)
                        {
                            ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                        }
                        Point3[] points = new Point3[4];
                        points[0] = pts1[ii, j];
                        points[1] = pts1[ii, j + 1];
                        points[2] = pts1[ii + 1, j + 1];
                        points[3] = pts1[ii + 1, j];
                        Interp(g, cs, cs2d, m, points, zmin, zmax, 1);
                        pta[0] = new PointF(pts[ii, j].X, pts[ii, j].Y);
                        pta[1] = new PointF(pts[ii, j + 1].X, pts[ii, j + 1].Y);
                        pta[2] = new PointF(pts[ii + 1, j + 1].X, pts[ii + 1, j + 1].Y);
                        pta[3] = new PointF(pts[ii + 1, j].X, pts[ii + 1, j].Y);
                        if (ds.LineStyle.IsVisible)
                        {
                            g.DrawPolygon(aPen, pta);
                        }
                    }
                }
            }
        }
        #endregion

        #region Interp


        private void Interp(Graphics g, ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d,Matrix3 m, Point3[] pta, float zmin, float zmax,
int flag)
        {
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.Black);
            PointF[] points = new PointF[4];
            int npoints = NumberInterp;
            Point3[,] pts = new Point3[npoints + 1, npoints + 1];
            Point3[,] pts1 = new Point3[npoints + 1, npoints + 1];
            float x0 = pta[0].X;
            float y0 = pta[0].Y;
            float x1 = pta[2].X;
            float y1 = pta[2].Y;
            float dx = (x1 - x0) / npoints;
            float dy = (y1 - y0) / npoints;
```



```
            float C00 = pta[0].Z;
            float C10 = pta[3].Z;
            float C11 = pta[2].Z;
            float C01 = pta[1].Z;
            float x, y, C;
            Color color;
            if(flag == 1) // For Surface chart:
            {
                for (int i = 0; i <= npoints; i++)
                {
                    x = x0 + i * dx;
                    for (int j = 0; j <= npoints; j++)
                    {
                        y = y0 + j * dy;
                        C = (y1 - y) * ((x1 - x) * C00 +(x - x0) * C10) / (x1 - x0) / (y1 - y0) +(y - y0) * ((x1 -
x) * C01 +(x - x0) * C11) / (x1 - x0) / (y1 - y0);
                        pts[i, j] = new Point3(x, y, C, 1);
                        pts[i, j].Transform(m, form1, cs);
                    }
                }
                for (int i = 0; i < npoints; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < npoints; j++)
                    {
                        color = AddColor(cs, pts[i, j], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        points[0] = new PointF(pts[i, j].X, pts[i, j].Y);
                        points[1] = new PointF(pts[i + 1, j].X,pts[i + 1, j].Y);
                        points[2] = new PointF(pts[i + 1, j + 1].X,pts[i + 1, j + 1].Y);
                        points[3] = new PointF(pts[i, j + 1].X,pts[i, j + 1].Y);
                        g.FillPolygon(aBrush, points);
                        aBrush.Dispose();
                    }
                }
            }
            else if (flag == 2) // For XYColor chart:
            {
                for (int i = 0; i <= npoints; i++)
                {
                    x = x0 + i * dx;
                    for (int j = 0; j <= npoints; j++)
                    {
                        y = y0 + j * dy;
                        C = (y1 - y) * ((x1 - x) * C00 +(x - x0) * C10) / (x1 - x0) / (y1 - y0) +(y - y0) * ((x1 -
x) * C01 +(x - x0) * C11) / (x1 - x0) / (y1 - y0);
                        pts[i, j] = new Point3(x, y, C, 1);
                    }
                }
                for (int i = 0; i < npoints; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < npoints; j++)
                    {
                        color = AddColor(cs, pts[i, j], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        points[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j].X,pts[i, j].Y), cs);
                        points[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1, j].X,pts[i + 1, j].Y), cs);
                        points[2] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1,j + 1].X, pts[i + 1, j + 1].Y), cs);
                        points[3] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j + 1].X, pts[i, j + 1].Y), cs);
                        g.FillPolygon(aBrush, points);

                        aBrush.Dispose();
                    }
                }
            }
            else if(flag == 3) // For XYColor3D chart:
            {
                for (int i = 0; i <= npoints; i++)
                {
                    x = x0 + i * dx;
                    for (int j = 0; j <= npoints; j++)
                    {
                        y = y0 + j * dy;
                        C = (y1 - y) * ((x1 - x) * C00 +(x - x0) * C10) / (x1 - x0) / (y1 - y0) +(y - y0) * ((x1 -
x) * C01 +
                            (x - x0) * C11) / (x1 - x0) / (y1 - y0);
                        pts1[i, j] = new Point3(x, y, C, 1);
                        pts[i, j] = new Point3(x, y, cs.ZMin, 1);
                        pts[i, j].Transform(m, form1, cs);
                    }
                }
                for (int i = 0; i < npoints; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < npoints; j++)
                    {
                        color = AddColor(cs, pts1[i, j], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        points[0] = new PointF(pts[i, j].X, pts[i, j].Y);
                        points[1] = new PointF(pts[i + 1, j].X,pts[i + 1, j].Y);
                        points[2] = new PointF(pts[i + 1, j + 1].X,pts[i + 1, j + 1].Y);
                        points[3] = new PointF(pts[i, j + 1].X, pts[i, j + 1].Y);
```

```
                        g.FillPolygon(aBrush, points);
                        aBrush.Dispose();
                    }
                }
            }
        }
        #endregion

        #region AddXYColor
        private void AddXYColor(Graphics g, DataSeries ds,
            ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
            PointF[] pta = new PointF[4];
            Point3[,] pts = ds.PointArray;
            Matrix3 m = new Matrix3();
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            // Draw surface on the XY plane:
            if (!IsInterp)
            {
                for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                    {
                        pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j].X,pts[i, j].Y), cs);
                        pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j + 1].X,pts[i, j + 1].Y), cs);
                        pta[2] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1, j + 1].X,pts[i + 1, j + 1].Y), cs);
                        pta[3] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1, j].X,pts[i + 1, j].Y), cs);
                        Color color = AddColor(cs, pts[i, j], zmin, zmax);
                        aBrush = new SolidBrush(color);
                        g.FillPolygon(aBrush, pta);
                        if (ds.LineStyle.IsVisible)
                        {
                            g.DrawPolygon(aPen, pta);
                        }
                    }
                }
            }
            // Draw refined surface:
            else if (IsInterp)
            {
                for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                {
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                    {
                        Point3[] points = new Point3[4];
                        points[0] = pts[i, j];
                        points[1] = pts[i, j + 1];
                        points[2] = pts[i + 1, j + 1];
                        points[3] = pts[i + 1, j];
                        Interp(g, cs, cs2d, m, points, zmin, zmax, 2);
                        pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j].X,pts[i, j].Y),cs);
                        pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i, j + 1].X,pts[i, j + 1].Y),cs);
                        pta[2] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1, j + 1].X,pts[i + 1, j + 1].Y), cs);
                        pta[3] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i + 1, j].X,pts[i + 1, j].Y), cs);
                        if (ds.LineStyle.IsVisible)
                        {
                            g.DrawPolygon(aPen, pta);
                        }
                    }
                }
            }
        }
        #endregion

        #region AddContour
        private void AddContour(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs,ChartStyle2D cs2d)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor,ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
            PointF[] pta = new PointF[2];
            Point3[,] pts = ds.PointArray;
            Matrix3 m = new Matrix3();
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            float[] zlevels = new float[numberContours];
            for (int i = 0; i < numberContours; i++)
            {
                zlevels[i] = zmin + i * (zmax - zmin) / (numberContours - 1);
            }
            int i0, i1, i2, j0, j1, j2;
            float zratio = 1;
            // Draw contour on the XY plane:
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
```



```
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                {
                    if (IsColorMap && ChartType != ChartTypeEnum.FillContour)
                    {
                        Color color = AddColor(cs, pts[i, j], zmin, zmax);
                        aPen = new Pen(color, ds.LineStyle.Thickness);
                        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                    }
                    for (int k = 0; k < numberContours; k++)
                    {
                        // Left triangle:
                        i0 = i;
                        j0 = j;
                        i1 = i;
                        j1 = j + 1;
                        i2 = i + 1;
                        j2 = j + 1;
                        if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&(zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k] <
                            pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                        {
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                            pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X,(1 - zratio) * pts[i0, j0].Y + zratio *pts[i1,
j1].Y), cs);
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                            pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF((1- zratio) *pts[i1, j1].X + zratio * pts[i2, j2].X,pts[i1,
j1].Y), cs);
                            g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                        }
                        else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]< pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z) &&
                            (zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k] <
                            pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                        {
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                            pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF((1-zratio) *
                                pts[i0, j0].X + zratio * pts[i2, j2].X,(1-zratio) * pts[i0, j0].Y + zratio *
                                pts[i2, j2].Y), cs);
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                            pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF((1-zratio) *pts[i1, j1].X + zratio * pts[i2, j2].X,
                                pts[i1, j1].Y), cs);
                            g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                        }
                        else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                            < pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&(zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <
                            pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z &&
                            zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                        {
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                                (pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                            pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X,(1-zratio)* pts[i0, j0].Y + zratio *
                                pts[i1, j1].Y), cs);
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                                (pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                            pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X *(1-zratio) + pts[i2, j2].X * zratio,
                                pts[i0, j0].Y * (1-zratio) +
                                pts[i2,j2].Y *zratio), cs);
                            g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                        }
                        // right triangle:
                        i0 = i;
                        j0 = j;
                        i1 = i+1;
                        j1 = j;
                        i2 = i + 1;
                        j2 = j + 1;
                        if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <
                            pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&
                            (zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k]
                            < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                            && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                        {
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                                (pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                            pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X *
                                (1 - zratio) + pts[i1, j1].X * zratio,
                                pts[i0, j0].Y), cs);
                            zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /
                                (pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                            pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i1, j1].X,pts[i1, j1].Y * (1 - zratio) + pts[i2, j2].Y
                                * zratio), cs);
                            g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                        }
                        else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                            < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
```

```
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z) &&
                        (zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k] <
                        pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                    {
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X *(1-zratio) + pts[i2, j2].X *zratio,
                            pts[i0, j0].Y *(1-zratio) +
                            pts[i2, j2].Y *zratio), cs);
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                        pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i1, j1].X,pts[i1, j1].Y *(1-zratio) +
                            pts[i2, j2].Y *zratio), cs);
                        g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                    }
                    else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                        < pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&
                        (zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <
                        pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                    {
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[0] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X *
                            (1-zratio) + pts[i1,j1].X * zratio,
                            pts[i0, j0].Y), cs);
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                            (pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[1] = cs2d.Point2D(new PointF(pts[i0, j0].X *
                            (1-zratio) + pts[i2, j2].X *zratio,
                            pts[i0, j0].Y * (1-zratio) +
                            pts[i2, j2].Y *zratio), cs);
                        g.DrawLine(aPen, pta[0], pta[1]);
                    }
                }
            }

        }
    }
    #endregion

    #region AddXYColor3D
    private void AddXYColor3D(Graphics g, DataSeries ds,ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
    {
        Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor,ds.LineStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
        SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.White);
        PointF[] pta = new PointF[4];
        Point3[,] pts = ds.PointArray;
        Point3[,] pts1 = new Point3[pts.GetLength(0), pts.GetLength(1)];
        Point3[,] pts2 = new Point3[pts.GetLength(0), pts.GetLength(1)];
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
        // Find the minumum and maximum z values:
        float zmin = ds.ZDataMin();
        float zmax = ds.ZDataMax();
        // Perform transformation on points:
        for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
        {
            for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
            {
                // Make a deep copy the points array:
                pts1[i, j] = new Point3(pts[i, j].X,pts[i, j].Y, cs.ZMin, 1);
                pts2[i, j] = new Point3(pts[i, j].X,pts[i, j].Y, cs.ZMin, 1);
                pts1[i, j].Transform(m, form1, cs);
            }
        }
        // Draw surface on the XY plane:
        if (!IsInterp)
        {
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                {
                    pta[0] = new PointF(pts1[i, j].X, pts1[i, j].Y);
                    pta[1] = new PointF(pts1[i, j + 1].X,pts1[i, j + 1].Y);
                    pta[2] = new PointF(pts1[i + 1, j + 1].X,pts1[i + 1, j + 1].Y);
                    pta[3] = new PointF(pts1[i + 1, j].X,pts1[i + 1, j].Y);
                    Color color = AddColor(cs, pts[i, j], zmin, zmax);
                    aBrush = new SolidBrush(color);
                    g.FillPolygon(aBrush, pta);
                    if (ds.LineStyle.IsVisible)
                    {
                        g.DrawPolygon(aPen, pta);
                    }
                }
            }
        }
            // Draw refined surface:
        else if (IsInterp)
        {
            for (int i = 0; i < pts1.GetLength(0) - 1; i++)
```



```
            {
                for (int j = 0; j < pts1.GetLength(1) - 1; j++)
                {
                    Point3[] points = new Point3[4];
                    points[0] = pts[i, j];
                    points[1] = pts[i, j + 1];
                    points[2] = pts[i + 1, j + 1];
                    points[3] = pts[i + 1, j];
                    Interp(g, cs, cs2d, m, points, zmin, zmax, 3);
                }
            }
        }
    }
    #endregion


    #region AddContour3D
    private void AddContour3D(Graphics g, DataSeries ds,ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
    {
        Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
        aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
        Point3[] pta = new Point3[2];
        Point3[,] pts = ds.PointArray;
        Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
        // Find the minumum and maximum z values:
        float zmin = ds.ZDataMin();
        float zmax = ds.ZDataMax();
        float[] zlevels = new float[numberContours];
        for (int i = 0; i < numberContours; i++)
        {
            zlevels[i] = zmin + i * (zmax - zmin) / (numberContours - 1);
        }
        int i0, i1, i2, j0, j1, j2;
        float zratio = 1;
        // Draw contour on the XY plane:
        for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
        {
            for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
            {
                for (int k = 0; k < numberContours; k++)
                {
                    // Left triangle:
                    i0 = i;
                    j0 = j;
                    i1 = i;
                    j1 = j + 1;
                    i2 = i + 1;
                    j2 = j + 1;
                    if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&(zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k]
                        < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                    {
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[0] = new Point3(pts[i0, j0].X, (1 - zratio) *pts[i0, j0].Y + zratio * pts[i1, j1].Y,
                            cs.ZMin, 1);
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                        pta[1] = new Point3((1 - zratio) *pts[i1, j1].X + zratio * pts[i2, j2].X,
                            pts[i1, j1].Y, cs.ZMin, 1);
                        pta[0].Transform(m, form1, cs);
                        pta[1].Transform(m, form1, cs);
                        g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X,pta[1].Y);
                    }
                    else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                        < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z) &&(zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k]
                        < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                    {
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) / (pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[0] = new Point3((1 - zratio) * pts[i0, j0].X + zratio * pts[i2, j2].X,
                            (1 - zratio) * pts[i0, j0].Y +zratio * pts[i2, j2].Y, cs.ZMin, 1);
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                        pta[1] = new Point3((1 - zratio) *pts[i1, j1].X + zratio * pts[i2, j2].X,
                            pts[i1, j1].Y, cs.ZMin, 1);
                        pta[0].Transform(m, form1, cs);
                        pta[1].Transform(m, form1, cs);
                        g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X,pta[1].Y);
                    }
                    else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                        < pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&(zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                        < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                        && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                    {
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[0] = new Point3(pts[i0, j0].X, (1 - zratio) *
                            pts[i0, j0].Y + zratio * pts[i1, j1].Y,cs.ZMin, 1);
                        zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                        pta[1] = new Point3(pts[i0, j0].X *(1 - zratio) + pts[i2, j2].X * zratio,
```

```
                                    pts[i0, j0].Y * (1 - zratio) +pts[i2, j2].Y * zratio, cs.ZMin, 1);
                                pta[0].Transform(m, form1, cs);
                                pta[1].Transform(m, form1, cs);
                                g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X,pta[1].Y);
                            }
                            // right triangle:
                            i0 = i;
                            j0 = j;
                            i1 = i + 1;
                            j1 = j;
                            i2 = i + 1;
                            j2 = j + 1;
                            if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <
                                pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&
                                (zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k]
                                < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                            {
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                                pta[0] = new Point3(pts[i0, j0].X *(1 - zratio) + pts[i1, j1].X * zratio,
                                    pts[i0, j0].Y, cs.ZMin, 1);
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /
                                    (pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                                pta[1] = new Point3(pts[i1, j1].X, pts[i1, j1].Y *
                                    (1 - zratio) + pts[i2, j2].Y * zratio,
                                    cs.ZMin, 1);
                                pta[0].Transform(m, form1, cs);
                                pta[1].Transform(m, form1, cs);
                                g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X,pta[1].Y);
                            }
                            else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                                < pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z) &&
                                (zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z && zlevels[k] <
                                pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i1, j1].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                            {
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                                    (pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                                pta[0] = new Point3(pts[i0, j0].X *(1 - zratio) + pts[i2, j2].X * zratio,
                                    pts[i0, j0].Y * (1 - zratio) +pts[i2, j2].Y * zratio, cs.ZMin, 1);
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i1, j1].Z) /
                                    (pts[i2, j2].Z - pts[i1, j1].Z);
                                pta[1] = new Point3(pts[i1, j1].X,pts[i1, j1].Y * (1 - zratio) +pts[i2, j2].Y * zratio, cs.ZMin,
1);
                                pta[0].Transform(m, form1, cs);
                                pta[1].Transform(m, form1, cs);
                                g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X, pta[1].Y);
                            }
                            else if ((zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k]
                                < pts[i1, j1].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i1, j1].Z) &&
                                (zlevels[k] >= pts[i0, j0].Z && zlevels[k] <
                                pts[i2, j2].Z || zlevels[k] < pts[i0, j0].Z
                                && zlevels[k] >= pts[i2, j2].Z))
                            {
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /
                                    (pts[i1, j1].Z - pts[i0, j0].Z);
                                pta[0] = new Point3(pts[i0, j0].X *(1 - zratio) + pts[i1, j1].X * zratio,
                                    pts[i0, j0].Y, cs.ZMin, 1);
                                zratio = (zlevels[k] - pts[i0, j0].Z) /(pts[i2, j2].Z - pts[i0, j0].Z);
                                pta[1] = new Point3(pts[i0, j0].X *(1 - zratio) + pts[i2, j2].X * zratio,
                                    pts[i0, j0].Y * (1 - zratio) +
                                    pts[i2, j2].Y * zratio, cs.ZMin, 1);
                                pta[0].Transform(m, form1, cs);
                                pta[1].Transform(m, form1, cs);
                                g.DrawLine(aPen, pta[0].X, pta[0].Y, pta[1].X,pta[1].Y);
                            }
                        }
                    }
                }
                aPen.Dispose();
            }
            #endregion

            #region AddSlice
            private void AddSlice(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs,ChartStyle2D cs2d)
            {
                Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
                aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
                SolidBrush aBrush = new SolidBrush(Color.Black);
                Point4[, ,] pts = ds.Point4Array;
                PointF[] pta = new PointF[4];
                Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
                // Find the minumum and maximum v values:
                float vmin = ds.VDataMin();
                float vmax = ds.VDataMax();
                // Perform transformation on points:
                for (int i = 0; i < pts.GetLength(0); i++)
```



```
                {
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1); j++)
                    {
                        for (int k = 0; k < pts.GetLength(2); k++)
                        {
                            pts[i, j, k].point3.Transform(m, form1, cs);
                            pts[i, j, k].point3.Z = pts[i, j, k].V;
                        }
                    }
                }
                // Select slice:
                if (XYZSlice == SliceEnum.XSlice)
                {
                    // Examine the imputer parameters:
                    if (SliceLocation < cs.XMin)
                        SliceLocation = cs.XMin;
                    if (SliceLocation > cs.XMax)
                        SliceLocation = cs.XMax;
                    int nfix = (int)((SliceLocation - ds.XDataMin) /
                        ds.XSpacing) + 1;
                    for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                    {
                        for (int k = 0; k < pts.GetLength(2) - 1; k++)
                        {
                            pta[0] = new PointF(pts[nfix, j, k].point3.X, pts[nfix, j, k].point3.Y);
                            pta[1] = new PointF(pts[nfix, j + 1, k].point3.X, pts[nfix, j + 1, k].point3.Y);
                            pta[2] = new PointF(pts[nfix, j + 1, k + 1].point3.X, pts[nfix, j + 1, k + 1].point3.Y);
                            pta[3] = new PointF(pts[nfix, j, k + 1].point3.X, pts[nfix, j, k + 1].point3.Y);
                            Color color = AddColor(cs, pts[nfix, j, k].point3, vmin, vmax);
                            aBrush = new SolidBrush(color);
                            g.FillPolygon(aBrush, pta);
                            if (ds.LineStyle.IsVisible)
                            {
                                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                            }
                        }
                    }
                }
                else if (XYZSlice == SliceEnum.YSlice)
                {
                    if (SliceLocation < cs.YMin)
                        SliceLocation = cs.YMin;
                    if (SliceLocation > cs.YMax)
                        SliceLocation = cs.YMax;
                    int nfix = (int)((SliceLocation - ds.YDataMin) /
                        ds.YSpacing) + 1;
                    for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                    {
                        for (int k = 0; k < pts.GetLength(2) - 1; k++)
                        {
                            pta[0] = new PointF(pts[i, nfix, k].point3.X,pts[i, nfix, k].point3.Y);
                            pta[1] = new PointF(pts[i + 1, nfix, k].point3.X,
                                pts[i + 1, nfix, k].point3.Y);
                            pta[2] = new PointF(pts[i + 1, nfix, k + 1].point3.X,pts[i + 1, nfix, k + 1].point3.Y);
                            pta[3] = new PointF(pts[i, nfix, k + 1].point3.X,
                                pts[i, nfix, k + 1].point3.Y);
                            Color color = AddColor(cs, pts[i,nfix, k].point3,vmin, vmax);
                            aBrush = new SolidBrush(color);
                            g.FillPolygon(aBrush, pta);
                            if (ds.LineStyle.IsVisible)
                            {
                                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                            }
                        }
                    }
                }
                else if (XYZSlice == SliceEnum.ZSlice)
                {
                    if (SliceLocation < cs.ZMin)
                        SliceLocation = cs.ZMin;
                    if (SliceLocation > cs.ZMax)
                        SliceLocation = cs.ZMax;
                    int nfix = (int)((SliceLocation - ds.ZZDataMin) /ds.ZSpacing) + 1;
                    for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
                    {
                        for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                        {
                            pta[0] = new PointF(pts[i, j,nfix].point3.X,pts[i,j, nfix].point3.Y);
                            pta[1] = new PointF(pts[i + 1, j,nfix].point3.X,pts[i + 1,j, nfix].point3.Y);
                            pta[2] = new PointF(pts[i + 1, j+1,nfix].point3.X,pts[i + 1,j+1, nfix].point3.Y);
                            pta[3] = new PointF(pts[i, j+1,nfix].point3.X,pts[i, j+1,nfix].point3.Y);
                            Color color = AddColor(cs, pts[i, j,nfix].point3,vmin, vmax);
                            aBrush = new SolidBrush(color);g.FillPolygon(aBrush, pta);
                            if (ds.LineStyle.IsVisible)
                            {
                                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                            }
                        }
                    }
                }
```

```
            aPen.Dispose();
            aBrush.Dispose();
        }
        #endregion

        #region AddBar3D
        private void AddBar3D(Graphics g, DataSeries ds,ChartStyle cs, ChartStyle2D cs2d)
        {
            Matrix3 m = Matrix3.AzimuthElevation(cs.Elevation, cs.Azimuth);
            PointF[] pt = new PointF[4];
            Point3[,] pts = ds.PointArray;
            // Find the minumum and maximum z values:
            float zmin = ds.ZDataMin();
            float zmax = ds.ZDataMax();
            // Check parameters:
            float xlength = ds.BarStyle.XLength;
            if (xlength <= 0)
                xlength = 0.1f * ds.XSpacing;
            else if (xlength > 0.5f)
                xlength = 0.5f * ds.XSpacing;
            else
                xlength = ds.BarStyle.XLength * ds.XSpacing;
            float ylength = ds.BarStyle.YLength;
            if (ylength <= 0)
                ylength = 0.1f * ds.YSpacing;
            else if (ylength > 0.5f)
                ylength = 0.5f * ds.YSpacing;
            else
                ylength = ds.BarStyle.YLength * ds.YSpacing;
            float zorigin = ds.BarStyle.ZOrigin;
            // Draw 3D bars:
            for (int i = 0; i < pts.GetLength(0) - 1; i++)
            {
                for (int j = 0; j < pts.GetLength(1) - 1; j++)
                {
                    int ii = i;
                    int jj = j;
                    if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < -90)
                    {
                        ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                        jj = j;
                    }
                    else if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth < 0)
                    {
                        ii = pts.GetLength(0) - 2 - i;
                        jj = pts.GetLength(1) - 2 - j;
                    }
                    else if (cs.Azimuth >= 0 && cs.Azimuth < 90)
                    {
                        ii = i;
                        jj = pts.GetLength(1) - 2 - j;
                    }
                    else if (cs.Azimuth >= 90 && cs.Azimuth <= 180)
                    {
                        ii = i;
                        jj = j;
                    }
                    DrawBar(g, ds, cs, m, pts[ii, jj], xlength, ylength,zorigin, zmax, zmin);
                }
            }
        }
        #endregion

        #region DrawBar
        private void DrawBar(Graphics g, DataSeries ds, ChartStyle cs,Matrix3 m, Point3 pt, float xlength, float ylength,
            float zorign, float zmax, float zmin)
        {
            Pen aPen = new Pen(ds.LineStyle.LineColor, ds.LineStyle.Thickness);
            aPen.DashStyle = ds.LineStyle.Pattern;
            Color color = AddColor(cs, pt, zmin, zmax);
            SolidBrush aBrush = new SolidBrush(color);
            Point3[] pts = new Point3[8];
            Point3[] pts1 = new Point3[8];
            Point3[] pt3 = new Point3[4];
            PointF[] pta = new PointF[4];
            pts[0] = new Point3(pt.X - xlength, pt.Y - ylength, zorign, 1);
            pts[1] = new Point3(pt.X - xlength, pt.Y + ylength, zorign, 1);
            pts[2] = new Point3(pt.X + xlength, pt.Y + ylength, zorign, 1);
            pts[3] = new Point3(pt.X + xlength, pt.Y - ylength, zorign, 1);
            pts[4] = new Point3(pt.X + xlength, pt.Y - ylength, pt.Z, 1);
            pts[5] = new Point3(pt.X + xlength, pt.Y + ylength, pt.Z, 1);
            pts[6] = new Point3(pt.X - xlength, pt.Y + ylength, pt.Z, 1);
            pts[7] = new Point3(pt.X - xlength, pt.Y - ylength, pt.Z, 1);
            for (int i = 0; i < pts.Length; i++)
            {
                pts1[i] = new Point3(pts[i].X, pts[i].Y, pts[i].Z, 1);
                pts[i].Transform(m, form1, cs);
            }
            int[] nconfigs = new int[8];
            if (IsBarSingleColor)
```



```
            {
                pta[0] = new PointF(pts[4].X, pts[4].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[5].X, pts[5].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[6].X, pts[6].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[7].X, pts[7].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                pta[0] = new PointF(pts[0].X, pts[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[1].X, pts[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[2].X, pts[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[3].X, pts[3].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < -90)
                {
                    nconfigs = new int[8] { 1, 2, 5, 6, 1, 0, 7, 6 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth < 0)
                {
                    nconfigs = new int[8] { 1, 0, 7, 6, 0, 3, 4, 7 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= 0 && cs.Azimuth < 90)
                {
                    nconfigs = new int[8] { 0, 3, 4, 7, 2, 3, 4, 5 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= 90 && cs.Azimuth < 180)
                {
                    nconfigs = new int[8] { 2, 3, 4, 5, 1, 2, 5, 6 };
                }
                pta[0] = new PointF(pts[nconfigs[0]].X, pts[nconfigs[0]].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[nconfigs[1]].X, pts[nconfigs[1]].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[nconfigs[2]].X, pts[nconfigs[2]].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[nconfigs[3]].X, pts[nconfigs[3]].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                pta[0] = new PointF(pts[nconfigs[4]].X, pts[nconfigs[4]].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[nconfigs[5]].X, pts[nconfigs[5]].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[nconfigs[6]].X, pts[nconfigs[6]].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[nconfigs[7]].X, pts[nconfigs[7]].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
            }
            else if (!IsBarSingleColor && IsColorMap)
            {
                pta[0] = new PointF(pts[4].X, pts[4].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[5].X, pts[5].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[6].X, pts[6].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[7].X, pts[7].Y);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                pta[0] = new PointF(pts[0].X, pts[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pts[1].X, pts[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pts[2].X, pts[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pts[3].X, pts[3].Y);
                color = AddColor(cs, pts[0], zmin, zmax);
                aBrush = new SolidBrush(color);
                g.FillPolygon(aBrush, pta);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                float dz = (zmax - zmin) / 63;
                if (pt.Z < zorign)
                    dz = -dz;
                int nz = (int)((pt.Z - zorign) / dz) + 1;
                if (nz < 1)
                    nz = 1;
                float z = zorign;
                if (cs.Azimuth >= -180 && cs.Azimuth < -90)
                {
                    nconfigs = new int[4] { 1, 2, 1, 0 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= -90 && cs.Azimuth < 0)
                {
                    nconfigs = new int[4] { 1, 0, 0, 3 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= 0 && cs.Azimuth < 90)
                {
                    nconfigs = new int[4] { 0, 3, 2, 3 };
                }
                else if (cs.Azimuth >= 90 && cs.Azimuth <= 180)
                {
                    nconfigs = new int[4] { 2, 3, 1, 2 };
                }
                for (int i = 0; i < nz; i++)
                {
                    z = zorign + i * dz;
                    pt3[0] = new Point3(pts1[nconfigs[0]].X,
                        pts1[nconfigs[0]].Y, z, 1);
                    pt3[1] = new Point3(pts1[nconfigs[1]].X,pts1[nconfigs[1]].Y, z, 1);
                    pt3[2] = new Point3(pts1[nconfigs[1]].X,pts1[nconfigs[1]].Y, z + dz, 1);
                    pt3[3] = new Point3(pts1[nconfigs[0]].X,pts1[nconfigs[0]].Y, z + dz, 1);
                    for (int j = 0; j < pt3.Length; j++)
```

```
                    {
                        pt3[j].Transform(m, form1, cs);
                    }
                    pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                    pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                    pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                    pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                    color = AddColor(cs, pt3[0], zmin, zmax);
                    aBrush = new SolidBrush(color);
                    g.FillPolygon(aBrush, pta);
                }
                pt3[0] = new Point3(pts1[nconfigs[0]].X,pts1[nconfigs[0]].Y, zorign, 1);
                pt3[1] = new Point3(pts1[nconfigs[1]].X,pts1[nconfigs[1]].Y, zorign, 1);
                pt3[2] = new Point3(pts1[nconfigs[1]].X,pts1[nconfigs[1]].Y, pt.Z, 1);
                pt3[3] = new Point3(pts1[nconfigs[0]].X,pts1[nconfigs[0]].Y, pt.Z, 1);
                for (int j = 0; j < pt3.Length; j++)
                {
                    pt3[j].Transform(m, form1, cs);
                }
                pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
                for (int i = 0; i < nz; i++)
                {
                    z = zorign + i * dz;
                    pt3[0] = new Point3(pts1[nconfigs[2]].X,pts1[nconfigs[2]].Y, z, 1);
                    pt3[1] = new Point3(pts1[nconfigs[3]].X,pts1[nconfigs[3]].Y, z, 1);
                    pt3[2] = new Point3(pts1[nconfigs[3]].X,pts1[nconfigs[3]].Y, z + dz, 1);
                    pt3[3] = new Point3(pts1[nconfigs[2]].X,pts1[nconfigs[2]].Y, z + dz, 1);
                    for (int j = 0; j < pt3.Length; j++)
                    {
                        pt3[j].Transform(m, form1, cs);
                    }
                    pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                    pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                    pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                    pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                    color = AddColor(cs, pt3[0], zmin, zmax);
                    aBrush = new SolidBrush(color);
                    g.FillPolygon(aBrush, pta);
                }
                pt3[0] = new Point3(pts1[nconfigs[2]].X,pts1[nconfigs[2]].Y, zorign, 1);
                pt3[1] = new Point3(pts1[nconfigs[3]].X,pts1[nconfigs[3]].Y, zorign, 1);
                pt3[2] = new Point3(pts1[nconfigs[3]].X,pts1[nconfigs[3]].Y, pt.Z, 1);
                pt3[3] = new Point3(pts1[nconfigs[2]].X,pts1[nconfigs[2]].Y, pt.Z, 1);
                for (int j = 0; j < pt3.Length; j++)
                {
                    pt3[j].Transform(m, form1, cs);
                }
                pta[0] = new PointF(pt3[0].X, pt3[0].Y);
                pta[1] = new PointF(pt3[1].X, pt3[1].Y);
                pta[2] = new PointF(pt3[2].X, pt3[2].Y);
                pta[3] = new PointF(pt3[3].X, pt3[3].Y);
                g.DrawPolygon(aPen, pta);
            }
            aPen.Dispose();
            aBrush.Dispose();
        }
        #endregion
    }
#endregion
```

4. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발

가. Safety-Zone 구성시스템 설계 대상

철도역사에 있어서 피난안전구역의 구성시스템 설계를 위해서는 먼저 철도역사의 소방시설을 파악하여야 한다. 아래 표는 서울 1-4호선 지하철역사에서 구비되어 있는 소방시설과 설치되어 있는 공조 시설을 나타낸 표이다. 기존의 지하철 역사에서 방재를 위하여 잘 구비되어 있는 곳에 피난안전구역을 설치하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며 이러한 시설이 각 역사마다 얼만큼 설치되어 있는 지를 파악하는 것도 피난안전구역을 설계함에 있어서 중요한 변수로 판단

된다.

표 2.8.4 서울메트로 소방시설 설치현황

2008. 1. 11 현재

구분 \ 호선				단위	계	호선별 소방시설물 현황					기지(현업)	비고
						소계	1호선	2호선	3호선	4호선		
합계				점	109,163	99,672	8,828	38,003	29,879	22,962	9,491	
소화설비	소화전		옥내	개	1,573	1,222	106	499	332	285	351	
			옥외	개	103	-	-	-	-	-	103	
	펌프		S/P	대	222	222	21	88	62	51	-	
			소화전	대	200	182	3	90	48	41	18	
	S/P헤드			개	64,249	63,119	5,174	23,506	19,907	14,532	1,130	
	물분무,포소화설비			개소	3	-	-	-	-	-	3	
	하론소화설비			개소	248	236	21	93	70	52	12	
	하론실린더			병	1,783	1,612	128	655	498	331	171	
	CO2소화설비			개소	22	20	-	6	6	8	2	
	CO2실린더			병	110	102	-	46	24	32	8	
	NAF-S-Ⅲ 소화설비			개소	10	10	5	3	-	2	-	
	NAF-S-Ⅲ 실린더			병	24	24	9	10	-	5	-	
경보설비	종합방재반			대	132	116	10	50	30	26	16	
	자동연락체계			회로	93	93	9	52	21	11	-	
	자동화재속보설비			대	116	116	10	50	30	26	-	
	감지기	열	정온식	개	346	251	73	26	88	64	95	
			자동식	개	2,553	761	43	400	141	177	1,792	
			분포식	개	63	34	3	11	19	1	29	
		연기(광전식)	스포트형	개	4,303	10,617	1,153	4,236	2,704	2,524	3,686	
			분리형	개	418	418	69	35	186	128	-	
	발신기		소화전용	개	1,573	1,222	106	499	330	287	51	
			단독	개	885	738	59	289	213	177	147	
	자탐회로구역			회로	2,548	2,029	165	826	561	477	519	
피난설비	유도등		천정형	개	5,559	4,761	367	1,969	1,341	1,084	798	
			통로형	개	2,705	2,457	266	971	602	618	248	
			바닥형	개	3,839	3,839	394	1,550	1,115	780	_	
	장애자용 시각경보기			개	2,387	2,387	197	1,096	581	513	_	
소화용수	상수도직결소화설비			역	113	113	10	48	29	26	_	
소화활동	수막설비			개소	256	256	62	52	72	70	_	
	수막설비헤드			개	64	864	188	146	278	252	-	
	연결송수구			개	221	213	19	81	67	46	8	
	방수구			개	270	270	18	74	144	34	-	
	연결살수설비			개소	1	-	-	-	-	-	1	
	제연설비			역	88	88	10	30	28	20	-	
	비상콘센트			개	1,283	1,280	130	516	352	282	3	

표 2.8.5 역사별 공조시스템

호선	역사명 지하(지상)	역사환기				본선환기			변전환기		환기구								비고
				송풍기								용도별							
		환기실	공조기	급기	배기	환기실	급기	배기	변전실	배기	계	역사계	역사급기	역사배기	역사급배기	본선계	본선급기	본선배기	
총계		219	448	322	1094	151	130	257	41	81	578	414	200	207	7	164	56	108	
3~4호선계		123	225	217	590	105	94	162	23	50	331	215	105	110	0	116	43	73	
1~2호선계		96	223	105	504	46	36	95	18	31	247	199	95	97	7	48	13	35	
1호선계		20	44	17	84	0	0	0	3	4	35	35	15	15	5	0	0	0	
1	서울역	2	4	1	7				0	0	4	4	0	0	4	0			
	시청	2	5	1	10				1	1	3	3	1	1	1	0			
	종각	2	4	1	7				0	0	4	4	2	2		0			
	종로3가	2	6	1	10				0	0	4	4	2	2		0			
	종로5가	2	5	1	10				1	1	4	4	2	2		0			
	동대문	2	4	1	8				0	0	4	4	2	2		0			
	동묘	2	5	9	16														
	신설동	2	4	1	6				0	0	4	4	2	2		0			
	제기동	2	4	1	6				1	2	4	4	2	2		0			
	청량리	2	3	0	4				0	0	4	4	2	2		0			
2호선계		76	179	88	420	46	36	95	15	27	212	164	80	82	2	48	13	35	
2	이대	2	5	4	20	4	6	6	1	1	6	2	1	1	0	4	2	2	
	아현	4	6	0	12	4	6	6	0	0	8	4	2	2	0	4	2	2	
	충정로	1	5	0	8	4	6	6	0	0	8	4	2	2	0	4	2	2	
	시청	2	6	1	13	2	3	3			6	4	2	2	0	2	1	1	
	을지입구	2	4	3	6	2	0	6			6	4	2	2	0	2	0	2	
	을지3가	2	4	3	10	1	0	3	1	1	5	4	2	2	0	1	0	1	
	을지4가	2	4	3	14	1	0	3	0	0	5	4	2	2	0	1	0	1	
	동대문운동장	2	4	3	13	1	0	3	0	0	7	6	3	3	0	1	0	1	
	신당	2	8	2	10	1	0	3			9	8	4	4	0	1	0	1	
	상왕십리	2	6	0	12	1	0	3	1	1	5	4	2	2		1	0	1	
	신설2	2	5	5	16						5	5	2	3	0	0		0	
	용두	1	5	11	20														
	성수								1	2	0	0	0	0	0	0		0	
	용담	0	0	0	2				0	0	0	0	0	0	0	0		0	
	군자기지								1	2	0	0	0	0	0	0		0	
	왕십리	2	4	0	7	1	0	3			5	4	2	2	0	1		1	
	한양대					1	0	4			1	0	0	0	0	1		1	
2	강변	0	0	0	0				1	2	0	0	0	0		0		0	
	잠실	3	6	5	15				0	0	6	6	3	3		0		0	
	신천	2	4	0	6				1	2	4	4	2	2		0		0	
	종합운동장	2	8	0	12				0	0	4	4	2	2		0		0	
	삼성	2	4	3	13	1	0	2	0	0	5	4	2	2		1		1	
	신림	2	4	0	7				1	2	4	4	2	2	0	0	0	0	
	봉천	2	4	0	6				0	0	4	4	2	2	0	0	0	0	
	서울대입구	2	4	4	20				0	0	4	4	2	2	0	0	0	0	
	낙성대	2	4	0	6	1	0	3	1	2	5	4	2	2	0	1	0	1	
	사당	2	4	3	14				0	0	8	8	4	4	0	0	0	0	
	방배	2	4	0	6	2	0	6	0	0	6	4	2	2	0	2	0	2	
	서초	2	4	0	6				1	2	4	4	2	2	0	0	0	0	
	교대	2	4	2	7				0	0	6	6	3	3	0	0	0	0	
	강남	2	4	1	10				0	0	4	4	2	2	0	0	0	0	
	역삼	2	5	6	14	1	0	3	0	0	5	4	2	2	0	1	0	1	
	선릉	2	5	3	15				1	2	4	4	2	2	0	0	0	0	
	신촌	2	8	0	11	2	3	3	0	0	6	4	2	2	0	2	1	1	
	홍대	2	4	6	12	1	0	3	0	0	6	4	2	2	0	2	0	2	
	합정	2	5	3	16	1	0	3	1	2	7	5	2	3	0	2	0	2	
	영구	2	4	1	8				1	2	8	8	4	4	0	0	0	0	

	청																		
	문래	3	6	0	12	1	0	3	0	0	9	8	4	4	0	1	0	1	
	신도림	3	7	2	17	5	5	8	0	0	9	4	1	1	2	5	2	3	
	대림	0	0	0	1				1	2	0	0				0			
	구로공단	0	0	0	1				0	0	0	0				0			
	도림천	1	3	4	5	3	3	5	0	0	5	2	1	1	0	3	1	2	
	양천구청	2	3	2	5	1	0	3	0	0	5	4	2	2		1		1	
	신정네거리	2	5	8	12	4	4	4	0	0	8	4	2	2		4	2	2	
	신정기지								1	2	0	0				0			
3호선계		70	129	128	326	63	72	98	12	26	200	125	61	64	0	75	32	43	
3	지축기지								1	2	0	0	0			0			
	구파발	2	4	3	10	2	4	4			8	4	2	2		4	2	2	
	연신내	2	4	2	11	3	2	4	1	2	7	4	2	2		3	1	2	
	불광	2	5	2	11	3	2	4			8	5	2	3		3	1	2	
3	녹번	2	4	3	11	2	4	4	1	2	8	4	2	2		4	2	2	
	홍제	4	6	3	13	3	3	4			7	4	2	2		3	1	2	
	무악재	2	4	3	11	2	4	4			8	4	2	2		4	2	2	
	독립문	2	4	3	11	4	5	5	1	2	7	4	2	2		3	2	1	
	경복궁	4	6	6	12	2	3	4			6	5	2	3		1	1	0	
	안국	4	6	7	13	2	2	4			5	5	2	3		0	0	0	
	종로3가	4	6	9	17	2	3	3	1	2	8	6	3	3		2	1	1	
	을지3가	4	4	6	10	1	2	1		0	10	7	4	3		3	1	2	
	동대입구	2	4	3	10	2	3	3		0	8	5	2	3		3	1	2	서울분소
	약수	2	5	6	21	2	2	4	1	2	6	4	2	2		2	1	1	
	금호	2	4	4	10					0	4	4	2	2		0			
	옥수		0	0	2					0	0	0				0			
	압구정	3	5	1	11	3	3	4	1	2	9	6	3	3		3	1	2	
	신사	2	4	1	10	3	3	4		0	7	4	2	2		3	1	2	
	잠원	2	4	3	10					0	4	4	2	2		0			
	고속터미널	2	6	6	17	2	4	4	1	2	8	4	2	2		4	2	2	
	교대	2	5	3	13	3	2	4			7	4	2	2		3	1	2	
	남부터미널	3	5	4	10	3	4	4	1	2	11	5	2	3		6	2	4	
	양재	2	4	1	9	1		3			5	4	2	2		1		1	
	매봉	2	4	7	10	2	2	2	1	2	7	4	2	2		3	2	1	
	도곡	2	4	7	11	2	2	2			8	4	2	2		4	2	2	
	대치	4	4	7	12	2	2	2			6	4	2	2		2	1	1	
	학여울	2	4	7	11	3	3	6			8	5	3	2		3	1	2	
	대청	2	3	7	9	3	3	6	1	2	7	4	2	2		3	1	2	
	일원	2	4	7	10	3	3	6			7	4	2	2		3	1	2	
	수서	2	3	7	10	1	0	1			5	4	2	2		1		1	
	수서기지								1	4									
	충무로	0	4			2	2	2			1	0				1	1		작소환풍(충무로4호선기비공유)
4호선계		53	96	89	264	42	22	64	11	24	131	90	44	46	0	41	11	30	
4	당고개		0	0	1	0			1	2	0	0				0			
	노원		0	0	1	0			0	0	0	0				0			
	상계		0	0	1	0			0	0	0	0				0			
	창동기지		0	0	0	0			1	2	0	0				0			
	창동		0	0	1	0			0	0	0	0				0			
4	쌍문	2	6	6	10	1		2	1	2	5	4	2	2		1		1	
	수유	2	4	1	9	3	2	4	0	0	7	4	2	2		3	1	2	
	미아	2	4	3	10	3	2	4	0	0	7	4	2	2		3	1	2	
	미아삼거리	2	4	1	8	3	2	4	1	2	7	4	2	2		3	1	2	
	길음	2	4	6	11	3	2	4	0	0	8	5	2	3		3	1	2	
	성신여대	2	4	6	10	4	2	2	1	2	8	4	2	2		4	2	2	
	한성	2	4	6	10	1	0	2	0	0	5	4	2	2		1		1	

대																		
혜화	2	4	1	9	1	0	2		0	5	4	2	2		1		1	
동대문	2	4	5	9	3	2	5		0	7	4	2	2		3	1	2	
동묘앞	2	6	3	17	1	0	2	1	2	3	2	1	1		1		1	
충무로	4	5	1	14	1	0	3		0	10	9	4	5		1		1	
명동	4	4	7	16	2	2	2		0	4	4	2	2		0			
회현	5	4	7	11	2	2	2	1	2	6	6	3	3		0			
서울역	2	5	7	14	2	2	2			8	4	2	2		4	2	2	
숙대입구	2	4	6	10	1	0	2			5	4	2	2		1		1	
삼각지	2	8	2	16	1	0	2	1	2	5	4	2	2		1		1	
신용산	2	4	6	10	1	0	2			5	4	2	2		1		1	
이촌	2	4	3	11	3	2	4	1	2	7	4	2	2		3	1	2	
동작	0			1						0	0	0	0		0			
총신대입구	2	5	3	21	1	0	2	1	3	5	4	2	2		1		1	
사당	4	6	5	24	3	2	4			10	6	3	3		4	1	3	
남태령	4	3	4	9	2	0	8	1	3	4	2	1	1		2		2	

표 2.8.6 서울메트로 환기설비 총괄표

2006년 01월 기준

구 분		계	1호선	2호선	3호선	4호선	비고(기지)
역사환기	환기실	219	20	76	70	53	
	소 계	1864	145	687	583	449	
	공조기	448	44	179	129	96	
	급 기	322	17	88	128	89	
	배 기	1094	84	420	326	264	
본선환기	환기실	151	-	46	63	42	
	소 계	387	-	131	170	86	
	급 기	130	-	36	72	22	
	배 기	257	-	95	98	64	
변전환기	변전소	41	3	15	12	11	
	소 계	81	4	27	26	24	
	배 기	81	4	27	26	24	
환기구	소 계	579	35	212	201	131	
	역 사	414	35	164	125	90	
	본 선	164	0	48	75	41	
	상 가	1	-	-	1	-	
	급,배기	7	5	2	-	-	겸용
	급 기	256	15	93	93	55	
	배 기	315	15	117	107	76	

나. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 모듈

피난안전구역의 구성시스템은 상기 6절의 국내 법규에서 피난안전구역에 설치하는 소방시설 설치기준을 제시한 바와 같이 크게 차압 유지를 위한 제연설비설계부, 피난유도선, 비상조명등, 휴대용비상조명등, 인명구조기구등이 설계 되어야 하며, 재료는 내화구조를 가져와야 한다.

이중에서 제연설비는 상기 6절에서 언급되었듯이 50pa(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우 12.5pa)이상으로 하여야 하는데 이러한 설계조건을 만족하는 제연설비 사양을 공학적인 계산에 의하여 산정할 필요가 있다. 그 외의 설계사양은 주어진 재실자 수를 기준으로 일정 이상의 수량을 구비되어 있으면 만족하므로 본 자동설계 알고리즘에서 구비조건으로 자동으로 리포트 기능 형태로 개발하고자 한다. 우선 계산에 의하여 법규 기준을 만족하는 제연설비의 설계사양을 결정하는 프로그램을 개발코자 한다.

표 2.8.7 피난안전구역에서 설치되어야 하는 소방설비

1. 제연설비	피난안전구역과 비 제연구역간의 차압은 50pa(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5Pa) 이상으로 하여야 한다.
2. 피난유도선	피난유도선은 다음 각호의 기준에 따라 설치하여야 한다. 가. 피난안전구역이 설치된 층의 계단실 출입구에서 피난안전구역 주 출입구 또는 비상구까지 설치할 것 나. 계단실에 설치하는 경우 계단 및 계단참에 설치할 것 다. 피난유도 표시부의 너비는 최소 25mm 이상으로 설치할 것 라. 광원점등방식 (전류에 의하여 빛을 내는 방식)으로 설치하되, 60분 이상 유효하게 작동할 것
3. 비상조명등	각 부분의 바닥에서 조도는 10lx 이상이 될 수 있도록 설치할 것
4. 휴대용비상조명등	가. 피난안전구역에는 휴대용비상조명등을 다음 각호의 기준에 따라 설치하여야 한다. 1) 초고층 건축물에 설치된 피난안전구역: 피난안전구역 위층의 재실자수의 10분의 1 이상 2) 지하연계 복합건축물에 설치된 피난안전구역: 피난안전구역이 설치된 층의 수용인원의 10분의 1 이상 나. 건전지 및 충전식 건전지의 용량은 40분 이상 유효하게 사용할 수 있는 것으로 한다. 다만, 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우의 용량은 60분 이상으로 할 것
5. 인명구조기구	가. 방열복, 인공소생기를 각 2개 이상 비치할 것 나. 45분이상 사용할 수 있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다)를 2개이상 비치하여야 한다. 다. 화재시 쉽게 반출할 수 있는 곳에 비치할 것 라. 인명구조기구가 설치된 장소의 보기 쉬운 곳에 “인명구조기구”라는 표지판 등을 설치할 것

다. 차연 팬 소요동력 산출 프로그램(프로그램명 : 디팬, DFan) 개발

철도역사의 피난안전구역에서 제연/배연을 위한 차연 팬 소요 동력 및 사양을 결정하는 프로그램의 Flow chart는 아래 그림과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 소요동력을 구하는 사양에는 제연설비 (팬)으로부터 기류를 유도하는 덕트 시스템의 손실압력(기류의 마찰손실, 형상에 의한 압력손실)과, 연기전파에 따른 동압, 법규에서 요구되어 지는 차압 50 Pa를 충족하도록 반복 계산하여 구한다. 이렇게 구한 전압과 풍량을 이용하여 팬에 요구되어지는 소요동력을 산출하고 이후 요구되어지는 소용동력보다 우리나라에서 KS로 제공되어지는 모터사양을 선정한다. 이러한 계산절차를 가지는 것은 철도 안전구역이 대체로 지하에 있기 때문에 화재 발생시 연기가 차연되지 않으면 피난안전구역이 오히려 더 위험한 구간이 될 수 있기 때문이다. 따라서 설계시 충분히 팬에 의한 양압으로 연기 및 화원에 따른 오염 가스를 차단하여 안전구역에서 승객의 피난을 도와야 한다. 본 프로그램은 팬의 종류에 따른 소요 동력, 손실압력, 요구풍량과 효율을 예측한다.

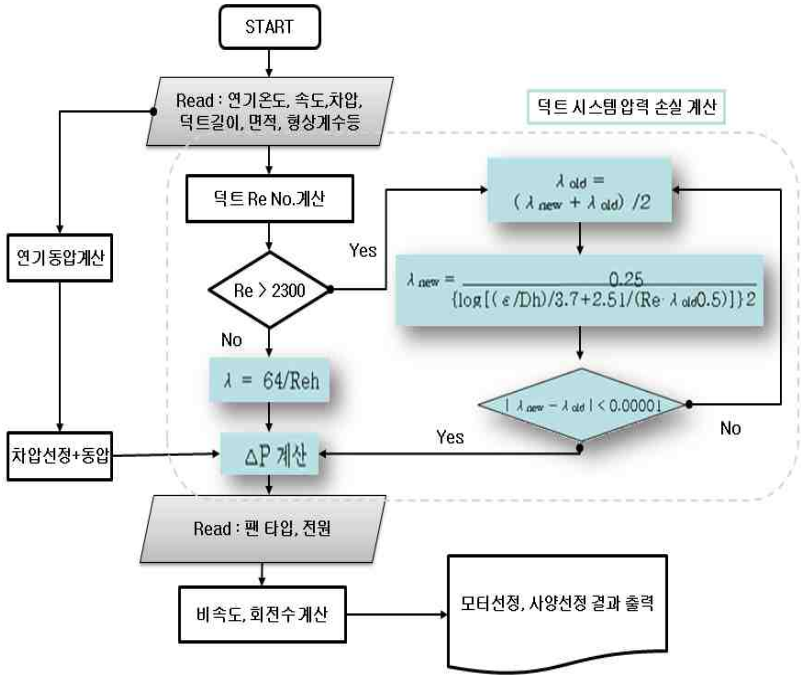


그림 2.8.67 Flow Chart

(1) 적용 이론식 및 데이타

(가) 차연시스템내 요구 전압계산 입력모듈

차연시스템내의 압력과 속도의 지배방정식은 베르누이 방정식이며 다음식으로 표현된다.

$$P_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2+\rho g H_1+\triangle P_l=P_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2+\rho g H_2 \qquad \text{수식 2.8.1}$$

공기의 경우 중력에 의한 무게는 무시할 수 있을 만큼 작으므로 다음식으로 간단하게 표현된다.

$$P_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2+\triangle P_l=P_2+\frac{1}{2}\rho V_2^2 \qquad \text{수식 2.8.2}$$

따라서 차연시스템내 요구 손실압(압력손실분)은 다음식으로 구한다.

$$\triangle P_l=\frac{1}{2}\rho V_2^2\left(K+\lambda\frac{L}{D_h}\right) \qquad \text{수식 2.8.3}$$

표 2.8.8 수식 7.3의 기호설명

기 호	설 명
ΔP_L	압력손실(강하)
V	터널내 평균속도
ρ	공기 밀도
K	형상에 의한 손실 계수
λ	마찰에 의한 손실계수
L	덕트 길이
D_h	덕트의 등가직경

계수K는 덕트형상에 따라 발생하는 형상손실계수 이며, 실험값이다. 본 프로그램에서는 기본값으로 덕트에서 출구로 확대되는 형상에 주는 1.5를 기본으로 사용하였다. 덕트 시스템 형상에 따른 형상계수가 추가될 때 마다 1.5에 값을 더하여 주면 된다.

여기서 Dh는 덕트의 형상이 임의의 형상이므로 다음식으로 상당 직경을 구한다.

$$D_h=\frac{4A}{Pe} \qquad \text{수식 2.8.4}$$

A는 터널의 단면적이고, Pe는 둘레길이이다. λ는 마찰계수이며 층류와 난류에 대하여 다음식에서 구한다.

$$\lambda=\frac{64}{Re_h} \qquad \text{수식 2.8.5}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\cdot\log\left[\left(\frac{\epsilon/D_h}{3.71}+\frac{2.51}{Re_h\sqrt{\lambda}}\right)\right] \qquad \text{수식 2.8.6}$$

표 2.8.9 수식 7.6의 기호설명

기 호	설 명
Re_h	수력직경 Re No
ε/ D	표면조도

여기서 표면조도는 Concrete의 표면거칠기인 ε = 0.3~3mm, **Frank M. White의** 에서 최대값인 3mm을 기준으로 하였다. 따라서 표면조도는 계산된 수력직경 Dh로 나누어 준 3/Dh 로 계산하여 구한다.

(나) 회전수 및 비속도 계산식

회전수 계산은 다음식에 의해서 구한다.

$$rpm = 120 \times freguency \times (1 - \text{슬립율}) / Pole\text{수} \qquad \text{수식 2.8.7}$$

비속도는 다음식에서 구한다.

$$NPSH = rpm \times Q^{0.5}(\text{풍량}) / H^{0.75} \qquad \text{수식 2.8.8}$$

여기서 양정(H)는 다음식으로 구한다.

$$Total\ Head = (\text{전압}/\gamma)^{0.75} \qquad \text{수식 2.8.9}$$

(다) 팬소요 동력 계산식

$$Lw = \frac{Q \bullet P}{6120} \qquad \text{수식 2.8.10}$$

이고 P는 요구전압, Q는 요구 풍량이다. 여기서 팬의 전효율(모터 포함한 팬효율η, 전동방식 factor K)을 감안하면 효율이 소요 총동력은 다음식으로 표시된다.

$$Ls = Lw/\eta \qquad \text{수식 2.8.11}$$

$$Lm = Ls \times K \qquad \text{수식 2.8.12}$$

(라) 물성 데이타 선정방법

물성치 DB는 프로그램 내부에 저장하였으며, 저장된 데이터는 3차보간법(Cubic Spline method)에 의해 데이터별 보간치를 구하게 되며, 모터 선정은 국내 제작된 기준품의 모터용량을 기준으로 하여, 계산 소요동력값이 포함된 구간의 큰 모터를 선정 하도록 하여 예상치 못한 에너지 손실발생으로 인한 설계 용량 미달이 발생되지 않도록 하였다.

(마) 프로그램 실행화면 및 송풍기 타입 선정화면

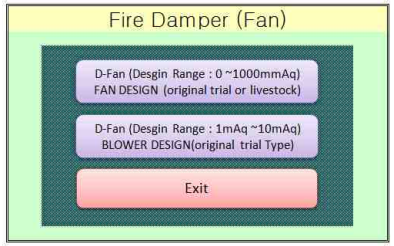


그림 2.8.68 Fan 범위 화면

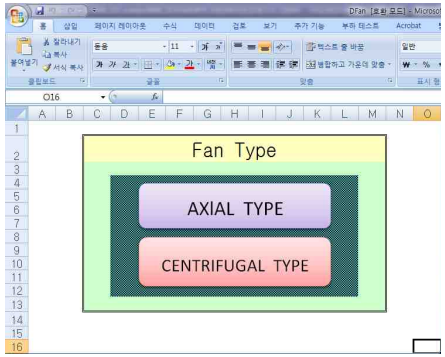


그림 2.8.69 Type 선정화면

(바) 프로그램 입력 및 계산 창

① 요구전압 계산용 입력화면

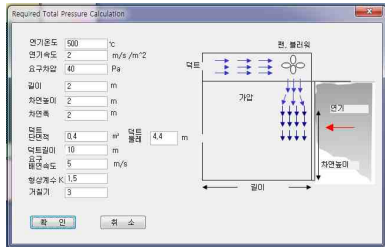


그림 2.8.70 전압 계산용 화면

② 축류팬 타입 소요동력 계산 입력화면



그림 2.8.71 타입 및 계산조건 입력화면

③ 원심팬 타입 소요동력 계산 입력화면



그림 2.8.72 원심팬 타입 및 계산조건 입력화면

④ 계산결과 화면



그림 2.8.73 계산결과 화면

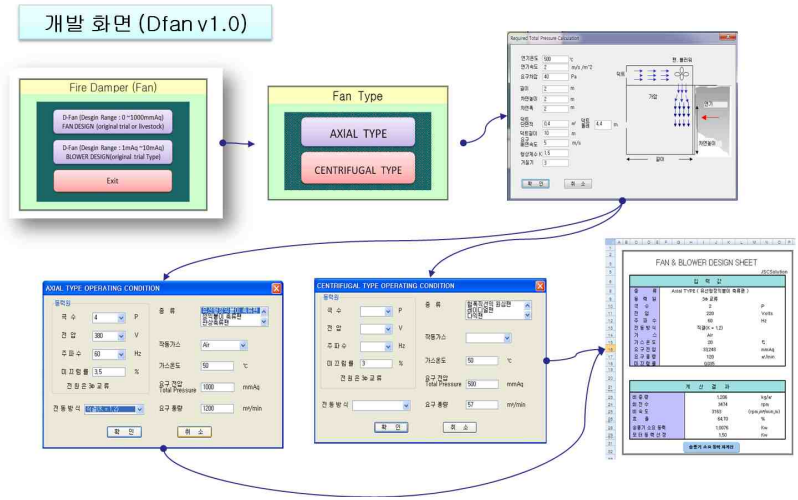


그림 2.8.74 개발 화면의 동작 순서

지하역사 안전구역 소프트웨어 자문위원 검토

○ 목적

- 지하역사 안전구역 소프트웨어 자문위원 검토

○ 일시 및 장소 : 2014년 5월 21일 10:00 ~ 12:00

철도연 2동 첨단교육장

○ 자문 위원

표 2.8.10 자문위원

성 명	소 속	직 급
김정엽	한국건설기술연구원	연구위원
노경철	동양대학교 철도차량학과	교수
양상호	삼원이앤비	상무

○ 지하역사 안전구역 소프트웨어 전문가 평가표

지하역사 안전구역 소프트웨어			
항목	세부항목	배점	평점
프로그램의 구조 (총 50점)	안전구역 위치 선정 이론 조사	10	
	프로그램 체계화(모듈) 및 순서도 제시	20	
	최단 거리 알고리즘	10	
	최적함수(이동시간) 설정	10	
프로그램의 활용성 및 시장성 (총 50점)	사용자그래픽 화면 설정 (GUI)	10	
	프로그램의 활용성	30	
	최종 프로그램 개발의 가능성	10	
총점		100	

총론 및 기타제안사항

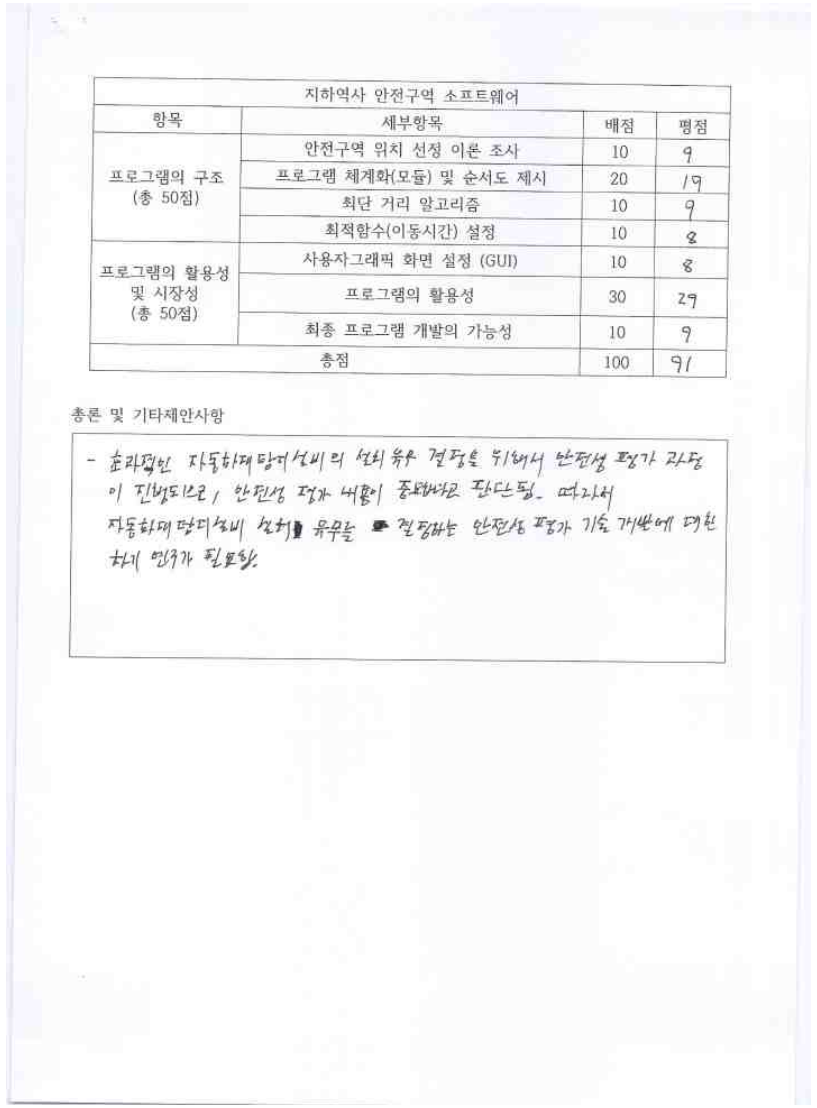
그림 2.8.75 지하역사 안전구역 소프트웨어 전문가 평가표

○ 지하역사 안전구역 소프트웨어 전문가 평가 위원별 결과

표 2.8.11 전문가 평가 결과

성 명	평가점수
김정엽	91 점
노경철	92점
양상호	91 점
평균	92.3 점

[첨부] 지하역사 안전구역 소프트웨어 전문가 평가표
김정엽 연구위원



지하역사 안전구역 소프트웨어			
항목	세부항목	배점	평점
프로그램의 구조 (총 50점)	안전구역 위치 선정 이론 조사	10	9
	프로그램 체계화(모듈) 및 순서도 제시	20	19
	최단 거리 알고리즘	10	9
	최적함수(이동시간) 설정	10	8
프로그램의 활용성 및 시장성 (총 50점)	사용자그래픽 화면 설정 (GUI)	10	8
	프로그램의 활용성	30	27
	최종 프로그램 개발의 가능성	10	9
총점		100	91

총론 및 기타제안사항

- 효과적인 자동화재탐지설비의 설치 유무 결정을 위해서 안전성 평가 과정이 진행되므로, 안전성 평가 내용이 중요해보인다고 판단됨. 따라서 자동화재탐지설비 설치 유무를 결정하는 안전성 평가 기술 개발에 대한 지속 연구가 필요함.

그림 2.8.76 전문가 평가표-김정엽 연구위원

노경철 교수

지하역사 안전구역 소프트웨어			
항목	세부항목	배점	평점
프로그램의 구조 (총 50점)	안전구역 위치 선정 이론 조사	10	9
	프로그램 체계화(모듈) 및 순서도 제시	20	18
	최단 거리 알고리즘	10	9
	최적함수(이동시간) 설정	10	9
프로그램의 활용성 및 시장성 (총 50점)	사용자그래픽 화면 설정 (GUI)	10	10
	프로그램의 활용성	30	28
	최종 프로그램 개발의 가능성	10	9
총점		100	92

총론 및 기타제안사항

철도 터널의 복잡공간 미래한 점의 및 이미 여한 화재감지 시스템의 딜로성은 데이터 오구의 없으나, 본과제를 통해서 입체라 되는 점을 배우 한영할만한 연구성과라고 생각합니다. 화재 감지기 안정성 보의 트래스 및 연구 절과 또한 우수하다고 판단 됩니다. 추후에는 시공 및 설치, 유지보수의 대한 지침서를 같이 비포한다면 터널 분재 분야에서 선행적 이상의 안전 솔루를 갖출 것으로 예상됩니다.

그림 2.8.77 전문가 평가표-노경철 교수

양상호 상무

지하역사 안전구역 소프트웨어			
항목	세부항목	배점	평점
프로그램의 구조 (총 50점)	안전구역 위치 선정 이론 조사	10	8
	프로그램 체계화(모듈) 및 순서도 제시	20	18
	최단 거리 알고리즘	10	9
	최적함수(이동시간) 설정	10	9
프로그램의 활용성 및 시장성 (총 50점)	사용자그래픽 화면 설정 (GUI)	10	10
	프로그램의 활용성	30	28
	최종 프로그램 개발의 가능성	10	9
총점		100	91

총론 및 기타제안사항

① 최적 차우경로 : 안전구역, 가우방로, 출입구, 장애물 등을 종합적으로 고려한 현각 최소거리를 고려하여 최종 연구결과를 개발 적용해야 할것으로 생각됨

② GUI를 사용자 위주의 편리성을 고려하여 Design 요망.

③ Safety zone 우수어드벤 : Fan Program (Fan 응용 Programs) 등 다른 행정선정에 비해 실제 적용가능한 전문가의 행정과 학문을 한것으로 판단함.
(ex. 홍보, 캠페, 최적수에 따른 행정선정, 노래 경영 선정, Fan 이 모임등

그림 2.8.78 전문가 평가표-양상호 상무

라. Safety-Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발

철도역사의 피난안전구역에서 제연/배연을 위한 차연 팬 소요 동력 및 사양을 결정하는 프로그램 DFan의 내용을 포함한 세가지 모듈로 하여Safety Zone 구성시스템 자동설계 프로그램 개발을 수행하였다.

Safety-Zone에는 차연도어 시스템과 가압시스템이 구비되어야 하는데 당해연도에 개발한 프로그램에서는 아래 그림에서 보는 바와 같이 차연도어의 전실을 구성하는 차연도어와 Unfalding Wall, 전실 가압시스템, 차연을 구현하는 Air curtain으로 구성되어 있다.

■ Unfalding Wall

Unfalding Wall은 차연도어시스템의 형상을 구체화하고 사용되는 방연천의 재질을 선택할 수 있도록 모듈을 구성하였다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 차연도어 시스템의 도어 크기를 설정하면 이에 따라 Unfalding Wall의 크기를 설정한다.

각 영역설정 규칙은 다음과 같다.

- A 영역 : 비화재시 Unfalding Wall이 설치되는 곳으로 Unfalding Wall의 1/3 폭을 가지게 된다.
- B 영역 : Door가 설치된 영역으로 B와 A의 크기 관계는 B x 2/3 = A 관계로 규정하였다.
- C 영역 : 화재시 Unfalding Wall이 설치되는 곳으로 Wall이 펼쳐지면서 전실공간구조를 형성하게 된다. C 영역은 B=C 의 폭과 동일하다.

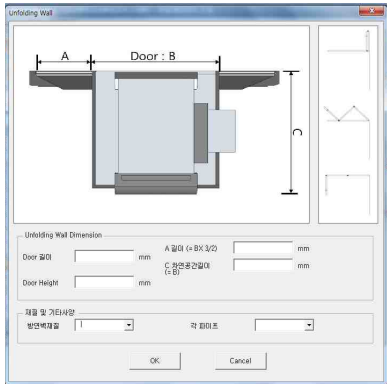


그림 2.8.79 Unfalding Wall 모듈화면

또한 방연벽의 재질로는 실리카포, 탄화포, 불연포 그라스, 불연포 하이그라스 중 하나를 선택할 수 있으며, 천을 고정하는 프레임으로 각 파이프 사양을 선택할 수 있다.

각 파이프 사양은 아래표와 같다.

표 2.8.12 군집보행속도 결정하기 위한 자료

번호	각프레임 종류	비고
1	"20 X 20 1.2t"	
2	"20 X 20 1.6t"	
3	"25 X 25 1.6t"	
4	"25 X 25 2.3t"	
5	"30 X 30 1.6t"	
6	"30 X 30 2.3t"	
7	"30 X 30 3.2t"	
8	"40 X 40 1.6t"	
9	"40 X 40 2.3t"	
10	"40 X 40 3.2t"	

■ Pressurizing System

가압시스템은 누기되는 공기에 의해 전실이 저압으로 바뀌지 않게 하기 위함이며, 만약 전실이 지나치게 고압이면 Air Curtain의 차여성능에 영향을 미치기 때문에 차연압력보다 작은 전실의 압력을 20Pa 정도 고압을 유지하도록 설계하였다. 이는 차연(Air Curtain)시스템에서 걸러지지 않는 연기 나 고온의 기류가 전실에 유입되지 않도록 하며 동시에 차연 성능에 영향을 주시 않는 시스템이다.

따라서 전실에서의 가압을 일정수준 유지하기 위하여는 누기되는 공기량보다 많은 공기량을 지속적으로 공급 유지하여야 한다. 압력 가압시스템은 대부분의 손실이 덕트로 인한 압력이므로 팬은 공급라인 덕트에서의 압력손실을 극복하여야 한다. 또한 외부의 신선공기가 차연도어 시스템 내부에 지속적으로 공급되어야 한다.

- 가압시스템 풍량 : 차연도어시스템에서 누기되는 공기량

- 가압시스템의 팬이 공급하여야 하는 에너지 : 차압압력 + 가압시스템 덕트의 압력손실

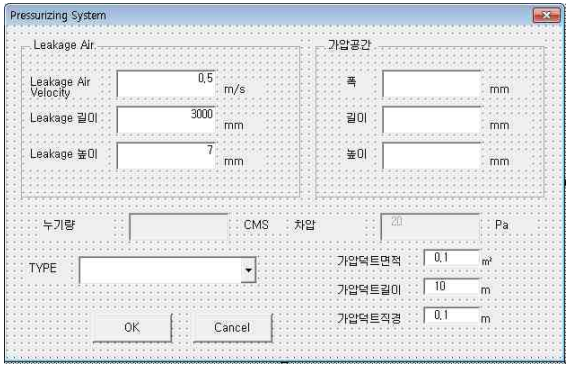
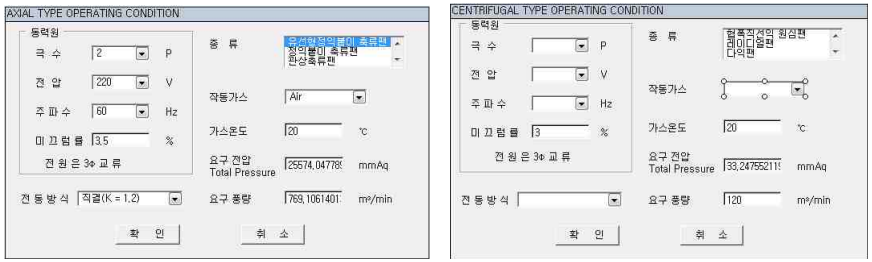


그림 2.8.80 Pressurizing System 모듈화면



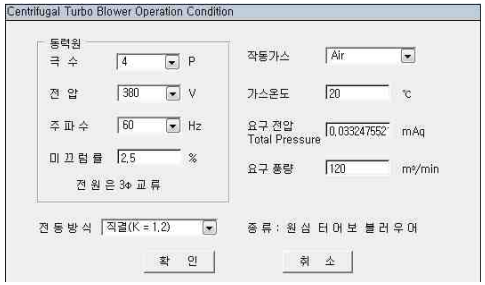


그림 2.8.81 Pressurizing System 의 팬사양 선정 모듈화면

■ Air Curtain

Air Curtain 시스템은 2차년도에 개발한 DFAN 모듈을 삽입하여 개발하였다. 개발내용 및 프로그램 UI는 2차년도와 동일하며 알고리즘과 화면또한 동일하게 개발하였다.

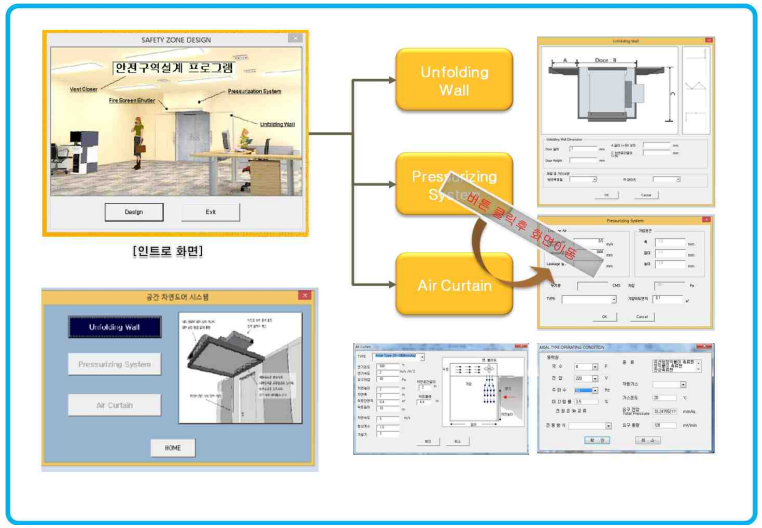


그림 2.8.82 Safety Zone 자동설계(안전구역설계) 프로그램

■ 사양에 따른 3D 자동설계

Safety Zone 자동설계 프로그램은 상기에서 소개한 각 시스템의 사양이 결정되면 이에 따라 3D CAD로 자동설계토록 하였다. 3D CAD로 사용되는 Tool은 SolidWorks 이다.

5. 위치선정 추가 데이터 확보를 위한 터널-차량간 피난시험

가. 실험 배경과 목적

철도 역사에서 고려해야할 화재 상황에는 승객들이 피난 시작 지점이 차량인 것이 있다. 차량이 역사의 승강장에 정상적으로 정차하는 경우는 차량과 승강장 사이의 단차가 높지 않지만, 일반 선로로부터 시작될 때는 차량 외부로 피난 시 높은 단차가 문제가 된다. 연령에 따라 지하철의 경우 약 1.2 m 정도의 높이가 쉽게 뛰어내릴 수 도 있고, 여러 동작을 진행해야 하는 경우도 있고, 타인의 도움을 받아야 하는 경우도 있다. 뛰어내리는 동작에서 부상의 우려도 높아, 만일 부상을 당하게 될 경우 착지 이후의 피난에서 큰 문제를 발생시킬 수 있다.

이러한 문제에 대해 국내외에서 연구된 바 있다. 먼저 스웨덴 Lund University의 Hkan Frantzich는 1999년 터널에서 정차된 차량으로 부터의 탈출에 관한 실험을 수행하였다. 이 연구는 차량 바닥과 선로바닥이 1.2 m 높이를 가진 상황이었으며, 지원자 150명의 참여를 통해 실험을 수행하게 되었다. 아무런 보조기구 없이 차량외부로 탈출하는 경우에 대한 실험을 수행한 결과 평균적으로 1인당 약 5초의 지연시간이 기록되었다. 또한 사다리를 사용하는 방법도 실험해보았는 데, 이 경우에는 평균적으로 1인당 10초의 지연시간이 나타나는 것으로 측정되었다. 사다리의 사용이 더 많은 소요시간을 기록하나, 실험참여자의 일부는 사다리 없이는 피난이 불가능한 경우도 있었던 것으로 나타났다.

오스트리아 Institute for Building Construction and Technology의 Monika Oswald 등은 2006년 지하철 차량 바닥과 선로바닥의 1.0~1.2 m의 높이와 지하철(Metro)차량과 터널 벽 사이에 형성된 공간의 통행에 초점을 맞추어진 실험연구를 수행하였다(4). 이 실험에는 440명의 다른 연령대와 신체적 조건을 가진 사람들이 참여하였다. 이 실험에서 벽면과 차량사이는 0.75 m이나 핸드레일이 0.1 m 공간 쪽으로 돌출되어, 유효한 공간폭은 0.65 m가 되는 상황이었다. 이 실험에서는 차량외부로 나가는 사람을 뛰어 내려가는 사람(Jumper), 차량 또는 외부 벽의 핸드레일을 잡는 사람(Sider), 그리고 앉아서 내려가는 사람(Sitter)으로 구분하였다. 이 실험의 결과 터널에서 문을 통한 흐름은 0.25 persons/min·m인 것으로 제시하고 있다.

국내에서는 지하철의 정차상황을 가정한 실험이 진행되었다. 지하철은 대부분 선로에서 차량 바닥까지 대부분 10~1.2 m의 높이를 가지게 된다. 화재 등 비상상황에서 지하철 차량이 선로에 정차한 경우, 승객하차에 대한 현상과 이와 관련된 데이터의 측정을 수행하였다. 먼저 개인의 유출 소요시간 측정에서 성인그룹(20대)의 경우 평균 남자는 1.73초, 여자는2.75초의 시간이 소요되는 것으로 나타났으며, 저연령층 그룹(15세)도 평균은 1.17초로 매우 신속한 것으로 기록되었다. 그러나 2인의 보조자가 있는 상황에서 고연령층 그룹은 평균 8.43초의 시간소요를 보여주었다. 하지만 고연령층은 최대 19.53초를 기록하여 상황에 따라 평균 이상의 시간이 소요될 것으로 나타났다.

군집유출에 대한 실험에서는 지하철 차량 문 앞에 아무런 장애물이 없는 경우나 벽이 있는

경우 20대 그룹은 신속하게 유출될 것으로 판단되지만, 이러한 상황에서도 20~70대가 혼합된 그룹은 매우 느린 유출이 진행될 것으로 나타났다. 또한 합류가 진행되는 경우 20대 그룹도 급격히 유동율이 저하되는 현상을 보여 실제 지하철 차량이 터널이나 벽이 있는 선로에 정차하여 벽 방향으로 문이 열리고 타 차량에서 내린 피난인들과 합류가 되는 현상까지 발생한다면 차량에서 외부로 나가는 피난시간이 매우 길어질 것으로 예상된다는 결론을 내리고 있다.

본 연구에서는 상기의 연구내용을 기반으로 고속 열차 모형 내부에서, 군집상태의 내부이동과 외부유출에 대한 실험을 수행해 보았다. 이를 통해 철도 터널 내부에서의 차량 화재 및 정차시 외부로의 이동 및 유출에 대한 데이터를 확보하고, 본 과제의 위치선정 모델과 각 종 철도 터널 피난 평가에도 활용가능한 자료를 확보하고자 하였다.

나. 실험 개요와 이론

(1) 피난 실험 개요

실험 장소는 한국철도기술연구원의 특동 선로에 정차되어있는 고속열차에서 수행하였다. 내부는 고속열차의 특성을 반영하여 구성되어있다. 다만 의자가 없으나, 문에서의 정체와 유동율에 대한 자료를 확보하기 위한 것으로 제외하기로 한다.

실험참가자들은 총 32명으로 남성 28명, 여성 4명이다. 이들은 대부분 20대이며, 평균연령은 만 20.53세이다. 19세에서 26세사이의 대학생들이다.

실험은 내부이동과 외부이동 두 가지로 나누어 실시되었으며, 이는 고속철도에서의 내부 이동과 외부 이동의 데이터를 얻기 위해 수행된 것이다.

(2) 병목현상

병목현상은 시스템의 성능이나 용량이 하나의 구성요소로 인해 제한받는 현상을 의미한다. 이는 병 안에 들어있는 물이 밖으로 나갈 때 흐르는 속도는 빠져나가는 관의 너비에 제한받는다는 것에서 비유되었다 할 수 있다. 병목현상이라는 용어는 피난뿐만 아니라 전산, 교통 등 광범위한 분야에서 사용되는 용어이다. 건물 피난에서 거주자는 건물 내 구성된 경로를 통해 안전구역으로 이동하게 된다. 이때 통과하게 되는 경로에는 거실, 문, 복도, 계단, 승강기 등 여러 요소들이 있게 된다. 이들 중 폭이 급격히 축소되는 부분에서 병목현상이 발생하게 되는 데, 거실의 문이나, 거실과 연결된 복도 또는 계단 등에서 나타난다. 다수의 거주자가 하나의 문으로 집중되면, 혼잡 현상(Congestion)이 발생하게 되고, 이는 정체가 발생하게 된다. 피난이동시간(Travel time)의 구성에서 각 요소별 이동시간과 함께 각 요소에서 발생할 수 있는 정체시간은 지배적인 인자이며, 이러한 정체시간은 병목현상에 의해서 발생할 수 있게 된다.

(3) 유동률

병목현상에 대한 연구는 다수의 인원이 좁은 공간을 통과하는 현상에 대한 관찰과 함께 유동계수(流動係數)를 구하는 것에 집중되어있다. 이러한 유동계수는 건축물의 피난시간과 관계있으며, 유효폭을 통과할 수 있는 인원수를 예측하는데 활용할 수 있기 때문이다. 즉 폭 B(m)의 출구에서 피난인 P(인)인 경우 체류시간 tB(S)는 다음 식(1)로 표시된다. 여기서 N은 유동계수(인/m・s)로 표시하며 단위시간 및 단위 폭 당의 통과 인원수를 나타낸다.

$$t_B = \frac{P}{N \cdot B} \qquad \text{수식 2.8.13}$$

일본의 연구에서 유동계수는 통근 및 일반 군집의 경우에 대한 유동계수를 도출하여 표준치 1.5(인/m・s)로 정하였으며, 이는 피난안전검증법 (2000)에 적용되고 있다. 즉, 건물의 피난안전성능검증을 위한 피난시간계산에서 문에서의 통과 소요시간 산정에 유동계수를 적용하고 있는 것이다.

미국 NFPA 130에 수록된 수계산 방법에서는 0.0819 p/mm-min을 출구에서의 통과용량으로 제시하고 있다. 미국의 경우 SFPE Handbook에서 제시되고 있는 수력학적 모델 계산방법(Hydraulic Model)에서는 유효 폭(Effective Width)이라는 개념을 사용하는데, 인적흐름을 유동으로 보고 통과요소들에 경계층(Boundary Layer)를 고려하고 있다. 이 고려에서 문의 경우 0.15m 를 경계층 폭으로 산정하고 있다.

기존의 피난계산들에서 유동계수 즉 단위 시간 단위 폭 당의 통과인원수라는 계수의 도출과 계산에서의 적용은 공통적인 것이라 할 수 있다. 특히 문에서의 병목현상에 의한 정체가 발생할 경우 거주자들의 통과소요시간을 예측하기 위해서는 유동계수의 활용이 중요하다.

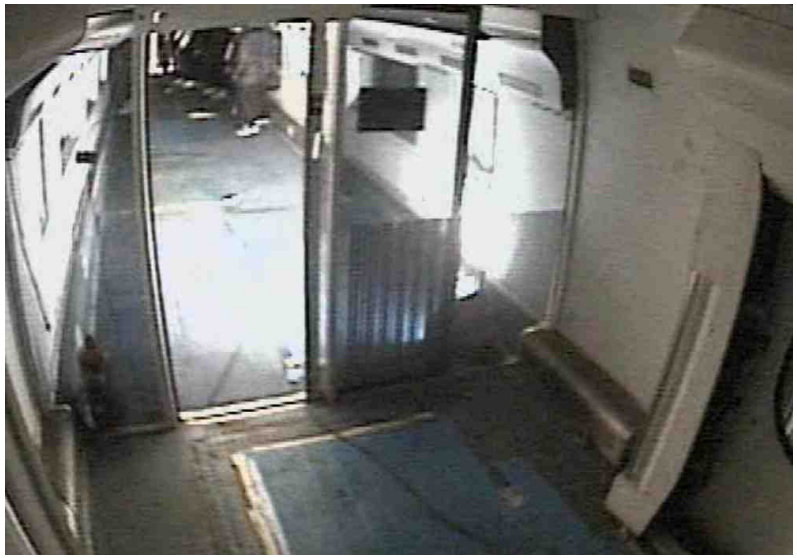


그림 2.8.83 내부로부터 외부 출구 방향 모습



그림 2.8.84 차량 외부 출구로부터 내부 방향

다. 실험 수행 및 결과분석

(1) 내부 이동 실험

내부에서의 이동은 문을 중심으로 통과하도록 수행되었다. 2회는 내부에서 외부 문 방향으로, 1회는 외부 문에서 내부 방향으로 이동하였다. 이는 화재 시 문을 통과할 때 차량외부로 못나가는 경우 내부를 통과해야하며, 이때 문 통과가 일반적으로 피난 시간에 큰 영향을 준다. 즉 문이 그 이전 경로의 폭보다 크면 문제가 없으나 이 보다 작다면 이는 문제가 될 수 있다. 이에 대한 실험에서 데이터는 1차 17초, 2차 24초, 3차 17초를 기록하였다. 문 폭은 약 1m 이므로, 이를 기준을 유동률 N을 환산해보면 1.88 N/m·s와 1.33 N/m·s을 기록하였다.



(a) 시작 전 (b) 3초 경과 후

(c) 12초 경과 후 (d) 종료 후

그림 2.8.85 1차 문 통과 실험 수행 영상

(2) 외부 이동 실험

차량 외부로의 피난은 차량이 터널에 정차된 후 문이 개방된 상태를 가정하였다. 고속철도이므로 높이는 약 1.3m이며, 연령에 따라 한 번에 내려가기 어려운 면이 있다. 뛰어내림으로 인한 부상을 방지하기 위해 아래에는 매트리스를 설치하였다. 또한 뒤에서 밀지 말 것을 미리 주의하도록 공지했다.

실험 시작 후 20대인 남녀 참가자들은 쉽게 외부로 뛰어내릴 수 있었다. 다만 1차 실험에서 한명이 바닥에 넘어졌으나, 메트리스로 인해 부상은 없었다.

1차와 2차, 2회 진행된 시험에서 소요된 시간은 1차에 42초, 2차에 43초였다. 차량 문의 폭은 약 1m로 설정하면, 유동률 N은 0.76 N/m·s와 0.74 N/m·s를 기록하였다.



(a) 내부 이동 모습 (문->내부 방향) (b) 외부로 뛰어 내리는 모습

(c) 착지 후 넘어진 상황 (d) 내부 모습 (내부->문 방향)

그림 2.8.86 1차 차량 외부 피난 실험 수행 영상

(3) 결과 분석

본 연구의 결과는 먼저 내부에서의 문을 통과하는 실험에서 데이터는 1차 17초, 2차 24초, 3차 17초를 기록하였다. 문 폭은 약 1m 이므로, 이를 기준을 유동률 N을 환산해보면 1.88 N/m·s와 1.33 N/m·s을 기록하였다.

그리고 차량 외부로 내려가는 1차와 2차, 2회 진행된 시험에서 소요된 시간은 1차에 42초, 2차에 43초였다. 차량 문의 폭은 약 1m로 설정하면, 유동율 N은 0.76 N/m·s와 0.74 N/m·s를 기록하였다.

본 실험을 통하여 고속열차 차량 내부의 유동율과 외부피난에서의 유동율을 구할 수 있었다. 이러한 실제 실험의 결과를 반영하여 각 종 분석이 수행된다면 더욱 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

6. 지하역사 Safety- Zone (안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축

가. 안전구역 위치선정 프로그램 적용사례 : 만덕역사

상기에서는 최적함수의 적절성을 평가하기 위하여 숭실대 입구역사에 대하여 안전구역 위치선정을 적요하였다. 본 연구에서는 아래 그림과 같이 국내 최대심도인 만덕역사(평균심도 71m)에 화재에 대한 안전구역 위치선정을 적용하였다. 만덕역사에서는 피난안전구역으로 사용될 수 있는 후보지를 피난계단 중간에 있는 8층 공간, 대합실의 역무실, 화장실 세 곳으로 하였다.

숭실대 입구역사와 마찬가지로 승객의 이동경로 탐색과 각 경로의 거리를 Node Link 방식으로 모델링하였다. 그림에서 나타내어진 것과 같이 빨간색은 플랫폼이며, 녹색은 승객이 거쳐야 하는 각 노드이다. 파란색은 외부를 나타낸 것이고 노란색은 역사 내 피난안전구역 후보지를 나타낸 것이다. 그림의 선은 Link 개념으로 승객이 각 노드에서 노드까지 이동할 수 있는 가장 긴 거리를 설정하였다. 프로그램에서 색깔별 노드가 승강장 3D 구조도에 위치하여 각 위치를 파악할 수 있게 하였다.

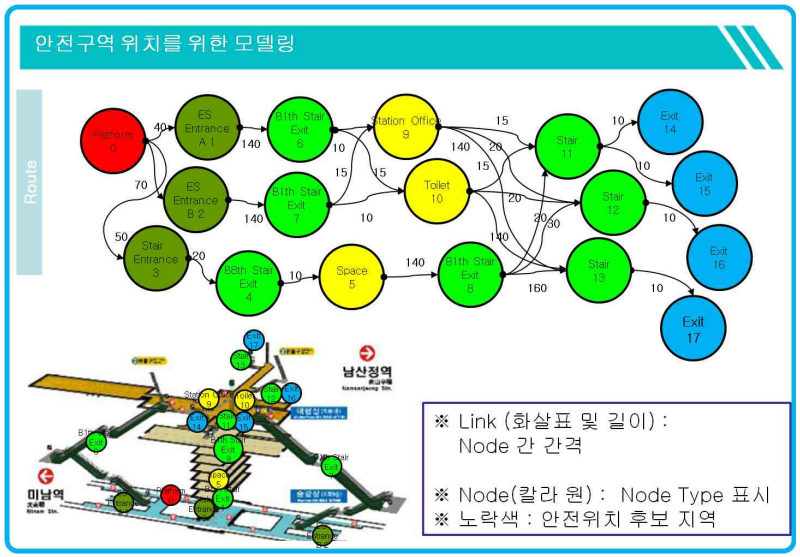


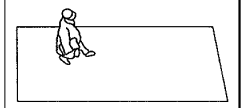
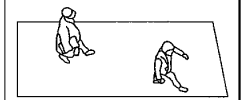
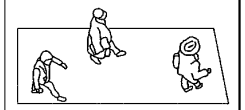
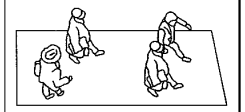
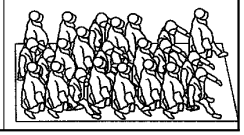
그림 2.8.87 승객의 이동경로 검색 및 이동거리 산출을 위한 네트워크 모델

하기의 그림은 첫 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다. 그림에서 보는 바와 같이 승객수별로 이동소요시간을 계산하여 총 합산을 하도록 하였다.

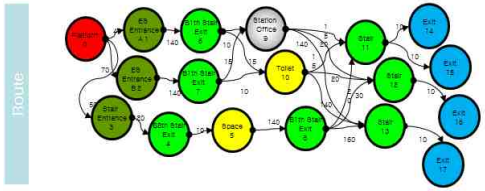
승강장의 면적은 1985.03m2 이고 승강장 승객은 661명 이므로 국토교통부 고시 제2013 - 764호 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침」에 의하면 공간모듈이 3.0 ㎡/인으로 자유로운 보행이 가능한 수준이다. 따라서 유동계수는 20인/m-분이며 이를 군집이동속도로 나타내면 3.0 ㎡/인*20인/m-분 = 60m/분 = 1.0 m/s 이다. 이는 현재 운영되는 만덕역사가 밀집 정도에 따라 대피 속도가 방해받는 수준이 아님을 의미하며 개별 자유 보행이 가능한 수준이다. 검토된 내용을 이를 프로그램에 반영하면 아래 그림과 같이 피난 이동시간으로 나타낼 수 있다.

표 2.8.13 군집보행속도 결정하기 위한 자료

국토교통부 고시 제2013 - 764호 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침」표2.2 일반적인 서비스 수준 (보행공간 중심)

서비스 수 준	공간모듈	유동계수	상 태	
A	3.5㎡/인 이상	20인/m-분 이하	보행속도를 자유롭게 선택할 수 있는 충분한 보행공간 확보	
B	2.5~ 3.5㎡/인	20~30 인/m-분	정상적인 보행속도를 유지하여 보행공간 통과 가능함.	
C	1.5~ 2.5㎡/인	30~45 인/m-분	보행자가 각자의 보행속도를 유지하거나, 상대편을 추월할 때 약간의 제한을 받음	
D	1.0~ 1.5㎡/인	45~60 인/m-분	상대편 추월시 충돌할 위험이 있는 상태로서 이동시 제한을 받음	
E	0.5~ 1.0㎡/인	60~80 인/m-분	모든 보행자는 보행속도를 임의대로 선택할 수 없는 상태	
F	0.5㎡/인 이하	80인/m-분 이상	보행로의 허용한계점에 도달한 상태로, 모든 보행자의 보행속도는 극도의 제약을 받으며 보행공간의 마비상태임	

승객 피난 경로 역무실 후보

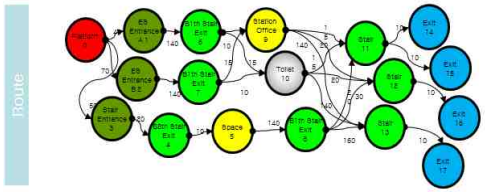


No.	Route				Dis.	Time	
1	0	1	6	9	190m	190 s	661 P
						190 s	221 P
2	0	2	7	9	225m	225 s	661 P
						225 s	221 P
Sum						830 s	

그림 2.8.88 안전구역 첫 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산표

하기의 그림은 두 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다.

승객 피난 경로 화장실 후보

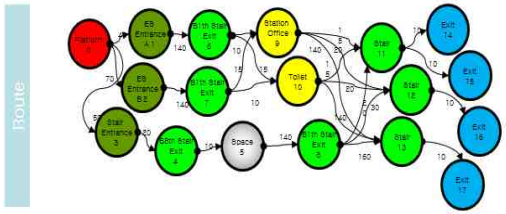


No.	Route				Dis.	Time	
1	0	1	6	10	195m	195 s	661 P
						195 s	221 P
2	0	2	7	10	220m	220 s	661 P
						220 s	221 P
Sum						830 s	

그림 2.8.89 안전구역 두 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산표

하기의 그림은 세 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다.

승객 피난 경로 피난계단 경로속 대공간 후보

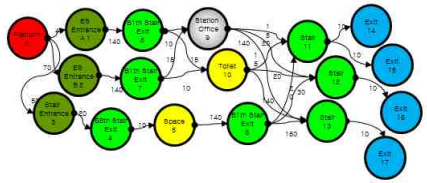


No.	Route				Dis.	Time	
1	0	3	4	5	80m	80 s	661 P
						80 s	221 P
Sum						160 s	

그림 2.8.90 안전구역 세 번째 후보지의 승객이동경로 및 소요 시간 계산

다음의 그림들은 각 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산을 나타낸 그림과 표이다. 구난자의 이동속도는 1.2 m/s 로 설정하였다.

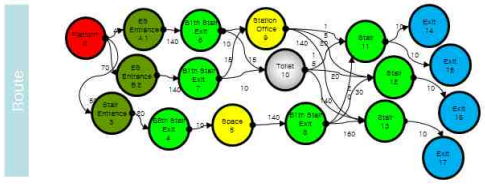
역무실 후보



No.	Route			Dis.	Time
1	14	11	9	25m	20.8s
2	15	11	9	25m	20.8s
3	16	12	9	30m	25s
4	17	13	9	150m	125s
Sum					191.6s

그림 2.8.91 안전구역 첫 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표

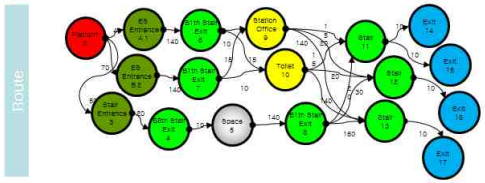
화장실 후보



No.	Route			Dis.	Time
1	14	11	10	25m	20.8s
2	15	11	10	25m	20.8s
3	16	12	10	30m	25s
4	17	13	10	150m	125s
Sum					191.6s

그림 2.8.92 안전구역 두 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표

피난계단 경로속 대공간 후보



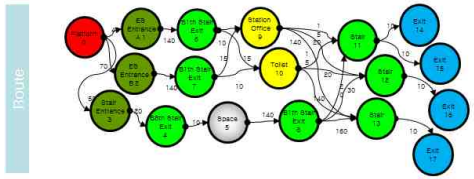
No.	Route				Dis.	Time
1	14	11	8	5	170 m	141.7s
2	15	11	8	5	170 m	141.7s
3	16	12	8	5	180 m	150s
4	17	13	8	5	310 m	258.3s
Sum						691.7s

그림 2.8.93 안전구역 세 번째 후보지의 구난자 이동경로 및 소요 시간 계산표

다음의 그림은 각 후보지의 수용가능 인원 및 승객수의 차를 나타낸 그림과 표이다.

아래 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 5번 후보지의 경우 공간이 넓어 승객모두를 수용할 수 있다.

안전구역 수용인원/비수용인원 검토

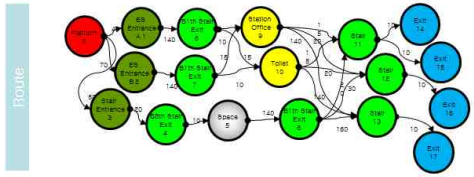


Safety Zone Candidate	Area(m2)	1) Capacity People (Area X Occupant density, 3.57)	2) Passengers	2) - 1)
9	100	357	661	304
10	75.4	270	661	391
5	496.21	1772	661	0

그림 2.8.94 각 후보지의 수용인원

하기의 그림은 각 후보지의 안전구역의 요구 환기량과 설치된 환기팬의 차를 나타낸 그림과 표이다. 화장실의 경우 역사 기 설치 팬이 급기는 없으며 배기팬만 존재 한다. 본 연구에서는 안전구역에서 공기의 공급을 의미하므로 화장실은 설치된 팬 용량을 0으로 설정하였다.

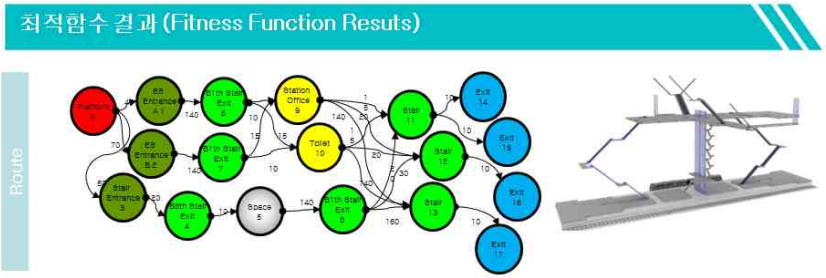
안전구역 환기용량 검토



Safety Zone Candidate	1) Ventilation 60 CMH X People	2) Ventilation Area X No of Vent.	3) Max [1,2] CMH	4) Installed Fan (급기경우)	3) - 4) CMH
9	39,660	3,000	39,660	3,100(급기)	36,560
10	39,660	2,262	39,660	0 (배기는 있으나 급기 없음)	39,660
5	39,660	14,886	39,660	4,000	35,660

그림 2.8.95 각 후보지의 환기용량

하기의 그림은 각 후보지별 안전구역의 최적함수 계산한 결과값으로 5번 후보지가 가장 작기 때문에 선정되었다.



Safety Zone	Egress Time	Rescue Time	Capacity	Ventilation	Min (Fitness Function)
9	830	191.6	304	36,560	2.98
	1	0.28	0.78	0.92	
10	830	191.6	391	39,660	3.28
	1	0.28	1	1	
5	160	691.7	0	35,660	2.09
	0.19	1	0	0.90	

5 Area is the best place for Safety Zone

그림 2.8.96 최적함수를 이용한 최적의 피난안전구역 위치 선정값 제시

나. 만덕역사 안전구역 위치 선정 검증을 위한 해석

만덕역사 안전구역의 위치 선정 검증을 위하여 화재를 상정하고 화재시뮬레이션을 수행하였으며 연기전파 특징 및 이에 따른 피난해석을 다양하게 진행하였다.

(1) 만덕역사 화재시뮬레이션

화재 시뮬레이션을 위한 격자모델링 수행할 때 정확한 결과를 얻기 위하여는 적정 격자를 구성하는 것이 중요하다. 모델링시 격자의 크기는 화원의 거동이 잘 표현될 수 있는 적절한 크기이어야 한다. 따라서 화원의 특성직경보다 작아야 화원으로부터 비롯된 열/연기의 거동이 정확하게 예측된다. 본 평가에서는 D* (화원특성직경)를 구하기 위하여 다음 식에서 물리량을 대입하여 격자의 크기를 구하였다. 계산결과 D*는 2.415m이며 이를 토대로 격자크기를 1/10배 이하로 설정하여 0.2m의 값을 얻었다. 표. 3의 각 입력된 물성치는 주변 대기 온도를 10℃로 하였다. 이는 대구 지하철 화재가 발생한 시기(2003. 2.18)가 환절기임을 감안한 대기 온도이다.

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_0 T_0 C_{p0} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \qquad \text{수식 2.8.14}$$

표 2.8.14 적정격자를 산출하기 위한 입력 변수

항목	단위	값
온도	K	283.15K
밀도	kg/㎥	1.1934
비열	kJ/kg·K	1.007
중력가속도	㎨	9.81
HRR	kW	10,000

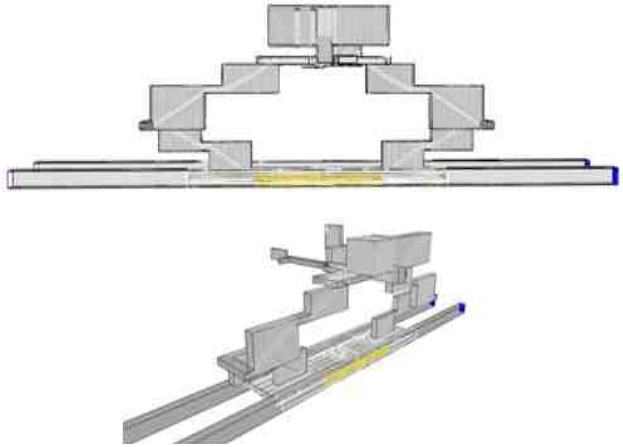


그림 2.8.97 해석을 위한 FDS 모델

본 시뮬레이션에서는 화재시나리오를 10MW로 적용하였다. 화재 성장은 Ultra-fast mode로 가정하였다. 이는 대구와 같이 유류방화에 의한 화재특성을 반영한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 237초 만에 최대 화원인 10MW에 도달하고 있다.

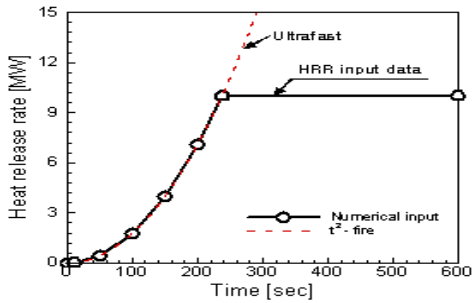


그림 2.8.98 화재 성장 시나리오 : Ultra fast mode

초기 시나리오는 대구 지하철 전동차화재를 따랐다. 전동차가 정지되었을 때 방화에 의해 화재가 발생한 것으로 설정하였으며, 화재는 전동차 1량에서 진행되는 것으로 가정하였다. 유리

창 및 PSD의 유리벽은 온도가 675℃에서 창문파괴가 되는 것으로 설정하였다. 전동차의 터널 진입에 따른 열차풍은 없는 것으로 간주하며, 다만 지하 터널의 경사 및 온도차에 의한 자연풍이 존재한다고 가정하였다.

(가) 화재시뮬레이션 조건 및 해석 CASE

만덕지하역사의 연기전파 평가를 위한 화재시뮬레이션 경계조건 및 초기조건 그리고 해석을 위해 사용된 각 모델을 아래 표와 같이 정리하였다.

표 2.8.15 화재시뮬레이션 조건

	화원 및 사용모델		초기 및 경계조건	
내용	최대화원크기	10MW	대기온도	10℃
	화재성장시나리오	Ultra-fast mode	출구압력조건	대기압
	난류모델	LES	본선 터널풍	0.5 m/s
	연소모델	혼합모델	유리창파괴온도	675℃
	복사모델	FVM	벽면	콘크리트

화재가 발생한 위치는 아래 그림의 1번 전동차 이다.

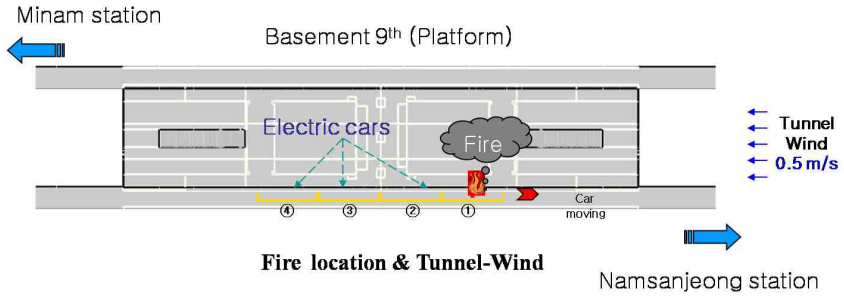


그림 2.8.99 화재위치 및 터널풍

해석 CASE는 아래 표와 같이 두 가지 경우에 대하여 수행하였다. CASE1은 제연/배연 시스템이 동작되지 않았을 때이며 이는 화재에 의한 연기전파 경로를 파악하기 위함이다. 경사 및 지하철 내부 온도차에 의해 약 0.5m/s의 본선터널에서 자연풍이 존재한다고 가정하였다. CASE2는 현재 만덕역사의 제연/배연 시스템이 가동되었을 때의 연기전파 경로를 평가하기 위한 것이다. 특히 CASE2는 본선 팬이 가동하여 터널풍 반대방향으로 연기가 승강장에 유입되지 않게 송풍한다고 시나리오를 설정하였다.

표 2.8.16 해석 CASE

	CASE 1	CASE 2
제연/배연시스템	OFF	ON
터널풍	0.5m/s	본선 팬 가동 1.3m/s

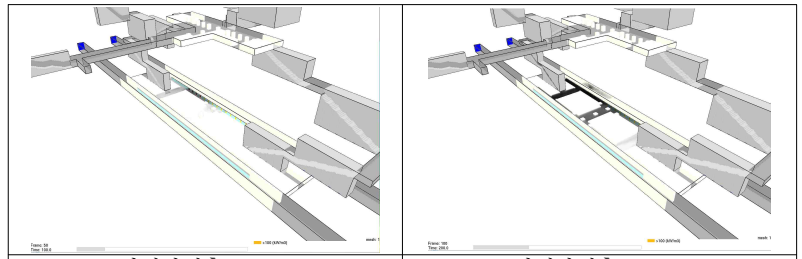
(나) 만덕지하역사의 화재연기전파에 대한 평가

표의 CASE 1에 대한 화재시뮬레이션을 수행한 결과, 아래 그림에서와 같이 시간대별 연기의 주전파 경로를 볼 수 있다. CASE 1 해석결과를 통하여 만덕지하역사의 연기전파의 주경로는 화재가 발생한 전동차 방향의 승강장 에스컬레이터이다.

또한 이렇게 상승 이동된 연기가 대합실에서 그림의 화재발생 후 400초에서는 반대쪽 에스컬레이터로 하강됨을 알 수 있다. 마지막으로 화재발생 후 600초에서는 모든 공간이 연기 층이 형성된 것을 확인할 수 있다. 따라서 만덕지하역사에서 제연/배연시스템이 가동이 작동 실패할 경우 승객의 생존율이 매우 떨어질 것으로 판단된다.

CASE 2는 화재가 발생된 이후 연기 및 열기류가 연기 및 온도감지기에 의해 감지되어 제연/배연시스템이 가동됨에 따라 연기가 대피경로로 매우 효과적으로 차단과 유입 지연이 됨을 확인 할 수 있다.(화재발생 후 100초, 200초 참조) 다만 방화셔터에 의해 차단된 연기가 승강장 중앙이나 본선터널로 이동되기 때문에 승강장 중앙에 출입구가 있는 비상계단으로의 대피가 안전하기 위해서는 승강장 중앙천정부의 배연덕트 용량을 키우면 더욱 효과적일 것이다. 화재전동차에서 화재로부터 탈출한 승객이 본선터널로 대피하는 것은 부적절한 것으로 판단된다.

화재전동차 방향의 에스컬레이터의 수직단면(Y=20m)에 대한 온도분포, 속도벡터를 각 CASE별로 나타내었다. CASE 1의 경우 화재에 기인한 고온의 열기류가 에스컬레이터에 유입된 것을 볼 수 있다. 또한 시간이 경과함에 따라 고온 분포와 고속의 기류가 강하게 나타나고 있다. 이와 같이 연기가 에스컬레이터 통로를 따라 전파되는 현상은 화재로부터 발생한 열기와 에스컬레이터 통로형상에 기인한 굴뚝효과로 판단된다. 전동차 유리창 파괴이후 본선터널로의 연기전파는 거의 없는 것으로 판단된다. CASE 2의 경우는 온도분포를 보면 방화셔터에 의해서 열기류가 완전히 차단된 것을 확인할 수 있다. 다만 에스제연/배연시스템 작동으로 인하여 에스컬레이터 통로에서 저속의 기류가 존재한다.



화재발생후 100초	화재발생후 200초

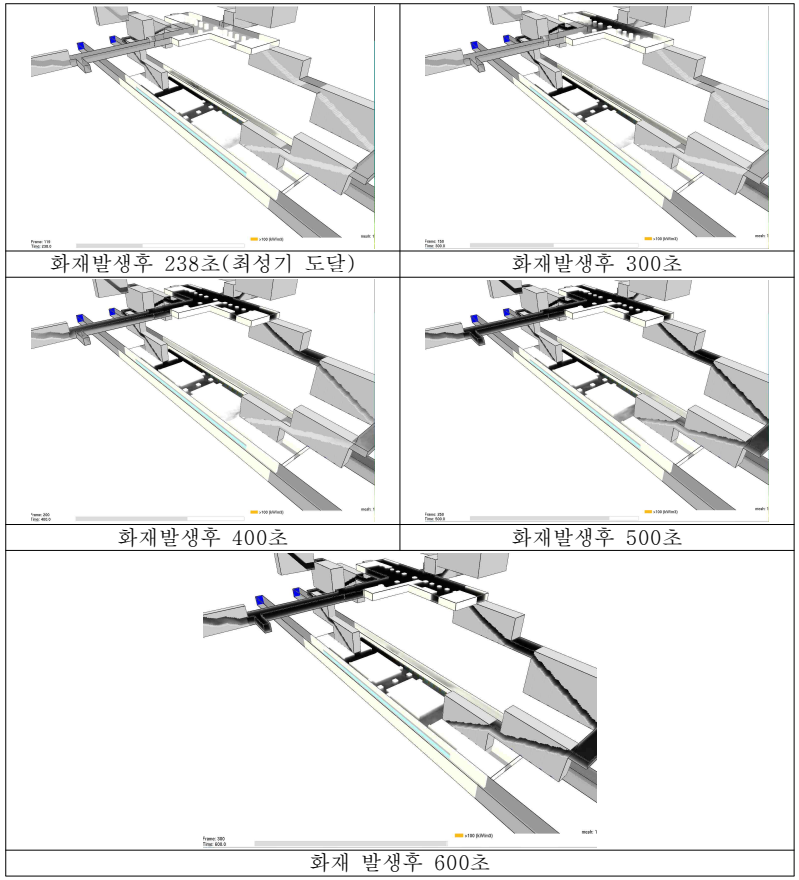
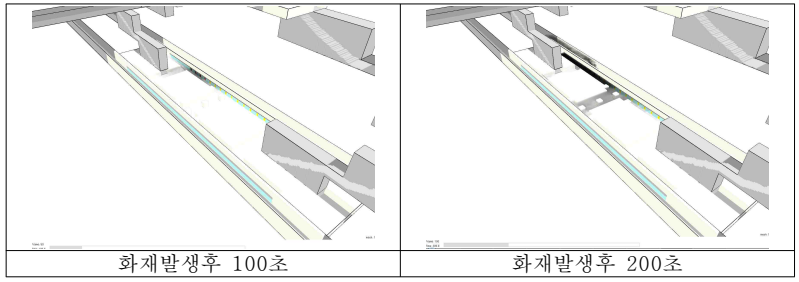


그림 2.8.100 CASE 1의 시간대별 연기 전파 경로



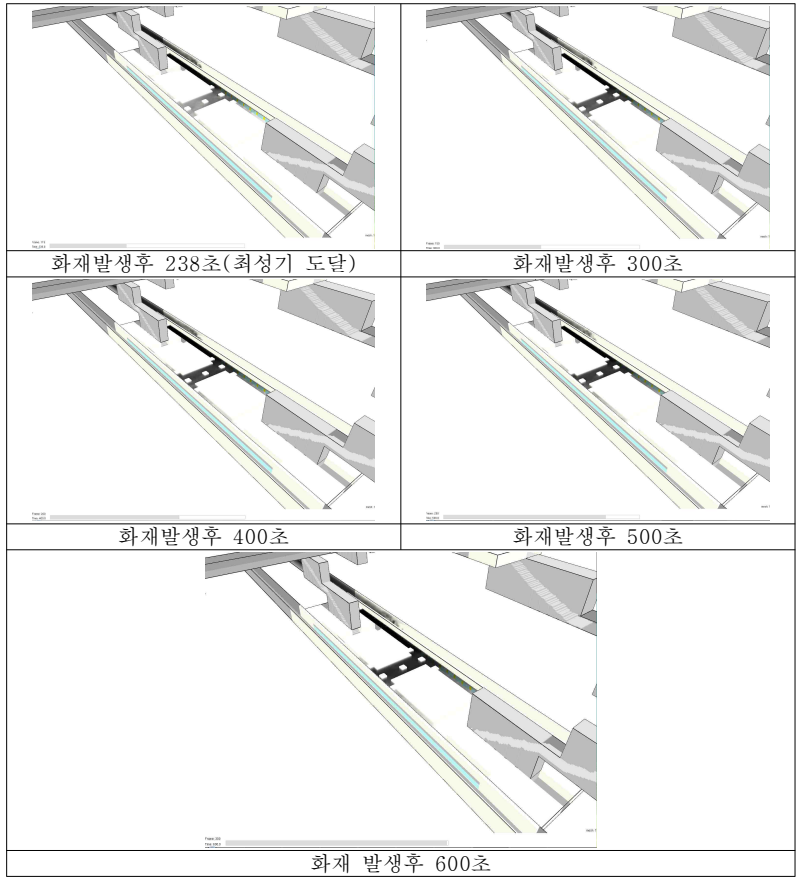


그림 2.8.101 CASE 2의 시간대별 연기 전파 경로

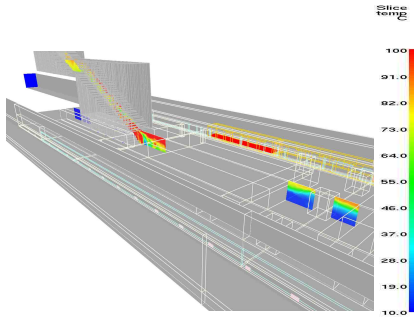


그림 2.8.102 CASE 1 온도분포
(Y=20m, 300초)

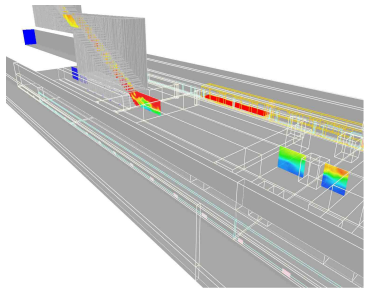


그림 2.8.103 CASE 1 온도분포
(Y=20m, 600초)

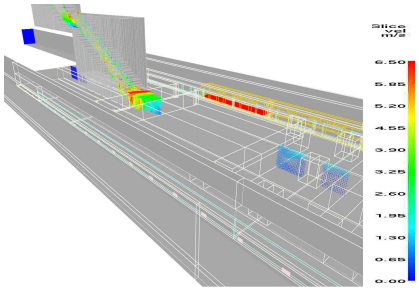


그림 2.8.104 CASE 1 속도벡터
(Y=20m, 300초)

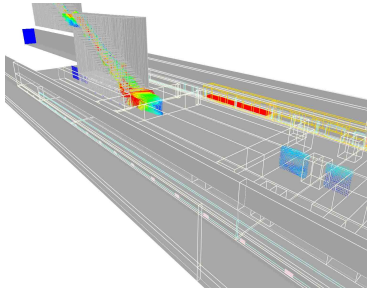


그림 2.8.105 CASE 1 속도벡터
(Y=20m, 600초)

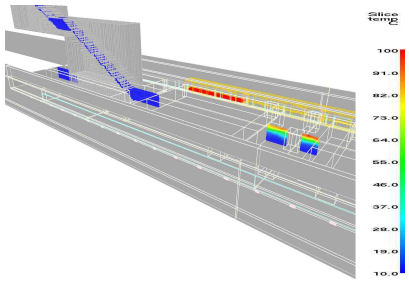


그림 2.8.106 CASE 2 온도분포
(Y=20m, 300초)

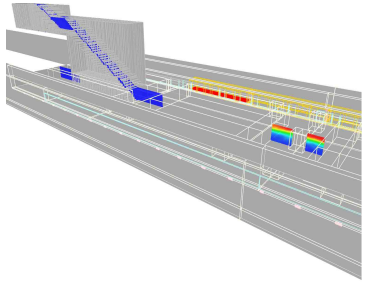


그림 2.8.107 CASE 2 온도분포
(Y=20m, 600초)

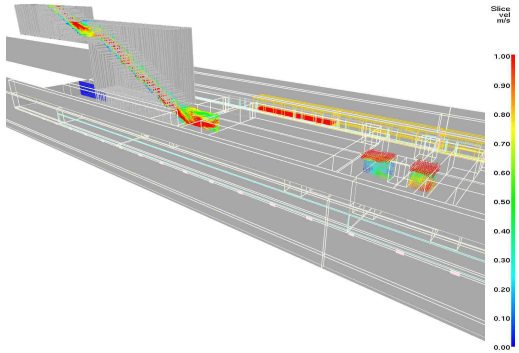


그림 2.8.108 CASE 2 속도벡터
(Y=20m, 600초)

(다)화재 특징

부산 지하철 3호선 만덕지하역사에 대한 화재시뮬레이션을 수행하여 연기전파경로를 평가하였다. 총 계산시간은 화재 후 600초(10분)를 하였다. 해석의 CASE는 만덕역사에서 제연/배연시스템이 작동하지 않을 때와 작동할 때 두 CASE에 대해 수행하였다. 해석결과 제연/배연시스템이 동작되지 않는 CASE 1의 만덕지하역사의 연기전파의 주경로는 승강장 계단을 통하여 전파됨을 확인할 수 있었다. 또한 상승된 연기가 대합실 1층에서 다시 반대쪽 계단으로 하강된다. CASE 2는 화재가 발생된 이후 감지기에 의해 제연/배연시스템이 가동됨에 따라 연기가 매우 효과적으로 차단됨을 확인 할 수 있었으며, 다만 방화셔터에 의해 차단된 연기가 승강장 중앙이나 본선터널로 주 전파경로가 바뀌므로 중앙의 비상계단 대피가 좀 더 안전하기 위해서는 승강장 중앙부의 제연환기구의 용량을 키우면 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

따라서 만덕지하역사의 주 연기전파경로 특성은 에스컬레이터 방향이기 때문에 화재 시 현재 설치된 연기감지기 및 온도감지기가 오작동하여 제연/배연시스템이 동작실패 할 경우, 매우 위험할 수 있다. 또한 연기전파 특성으로 보았을 때 대피경로를 승강장 중앙계단으로 하는 것이 주효할 것으로 판단된다.

(2) 만덕역사 피난시뮬레이션

(가) 피난해석을 위한 모델링 및 조건 분석

피난해석을 위하여 아래 그림과 같이 3D CAD 및 피난 모델링을 수행하였다. 사용된 장비는 Solidwork 장비와 Pathfinder 장비를 사용하여 진행하였다. 또한 피난인원수는 현재 운영되는 부산 3호선 만덕역사를 이용한 승객수를 바탕으로 검토하였으며 교통약자 비율을 산출하기 위하여 인구통계 데이터를 근거로 하여 설정하였다.

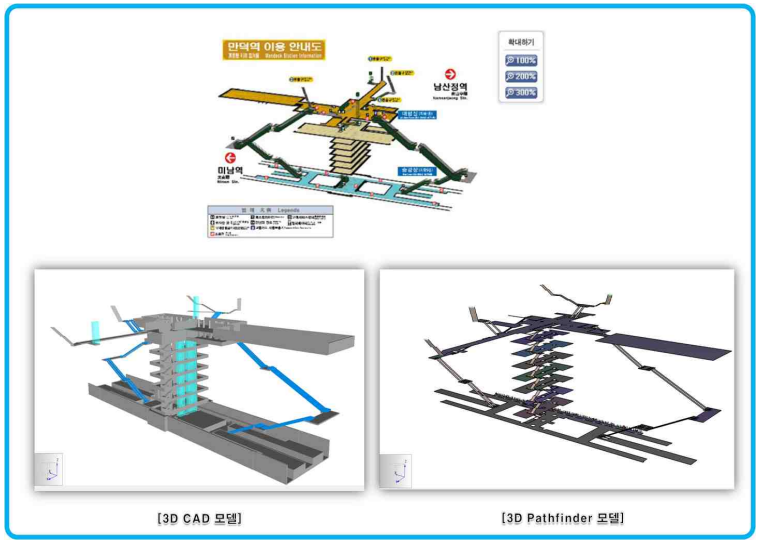


그림 2.8.109 피난모델링

행정구역	구분	2015년09월											
		총인구수	연령구간인구수	0~9세	10~19세	20~29세	30~39세	40~49세	50~59세	60~69세	70~79세	80~89세	90~99세	100세 이상
전국 (0000000000)	계	51,482,816	51,482,816	4,596,648	5,791,668	6,682,406	7,698,049	8,890,284	8,278,551	4,974,345	3,191,316	1,198,657	164,903	15,989
	남	25,738,014	25,738,014	2,364,284	3,021,193	3,516,562	3,931,868	4,522,265	4,174,081	2,414,302	1,371,057	380,184	38,454	3,764
	여	25,744,802	25,744,802	2,232,364	2,770,475	3,165,844	3,766,181	4,368,019	4,104,470	2,560,043	1,820,259	818,473	126,449	12,225

〈표 1〉 표준사양 주요제원

구 분		전 동 차		견 인 전 철	
		메 형	중 형	고무차륜	철제차륜
전기방식		DC 1,500V	좌동	DC 750V	좌동
차체	길이	19,500mm	17,500mm	9,140mm	12,600mm
	폭	3,120mm	2,750mm	2,400mm	2,650mm
	높이	3,600mm이하	3,600mm이하	3,500mm	3,400mm
승객정원		제어차:148명 (좌석 48명, 입석 100명) 동력/부수차:160명 (좌석54명, 입석 106명)	제어차:112명 (좌석 42명, 입석 71명) 동력/부수차:124명 (좌석 46명, 입석 78명)	57명	164명
성능	최고속도	100km/h이상	좌동	80km/h	좌동
	가속도	3.0km/h/s이상		3.96km/h/s	
	감속도	상용시:3.5km/h/s이상		4.68km/h/s	
속도제어 방 식		회생브레이크병용 VVVF 인버터제어	좌동	좌동	좌동
승차감		UIC 2.5이하	좌동	좌동	좌동
소 음		80dB(A)이하	좌동	좌동	좌동

평일 운행횟수(편도)	승차인원 (월)	하차인원 (월)	역사에 머무르는 총인원
160/월	148,237 명	161,114 명	309,351 명
승강장 대기인원 추정			65 명

구분		설계인원	차량피난 인원
지하철설계인 원 1량	입석	71 명	107 명
	좌석	42	42 명

피난 모델링 총인원	661명
노약자 비율	18.54%

그림 2.8.110 피난 승객 인원 및 나이별 인구 통계 분석

(나) 피난해석 CASE 및 해석 결과

피난해석은 총 3가지 피난경로를 판단하여 설정하였다.

- 첫 번째는 지상으로 향하는 모든 경로를 이용하는 경우,
- 두 번째는 중앙의 피난계단 및 안전구역으로 대피하는 경우,
- 세 번째는 중앙의 피난계단은 교통약자만 이용하는 경우로 하였다.

각각의 해석결과를 보면 세 번째의 경우가 가장 오랜 시간이 소요되었고 두 번째 안전구역으로의 대피시간이 가장 적게 나왔다. 이러한 결과는 첫 번째의 경우 각 피난인원이 분산되는 효과로 인하여 세 번째 보다 시간이 더 적게 나왔으나 화재 시뮬레이션 결과에서도 확인 하였듯이 에스컬레이터는 연기 전파 경로이기 때문에 연기전파속도가 더 빨라서 매우 위험한 경우가 발생한다. 마찬가지로 세 번째는 비록 교통약자가 안전구역으로 대피를 하였으나 일반인이 에스컬레이터로 대피하면 에스컬레이터에 밀집되는 효과가 커서 소요시간이 크게 된다. 따라서 만덕역사의 안전구역으로 모든 승객이 대피하는 경우가 가장 바람직한 결과라 판단되며 위치선정 프로그램에 의한 위치가 적절한 것으로 판단된다.

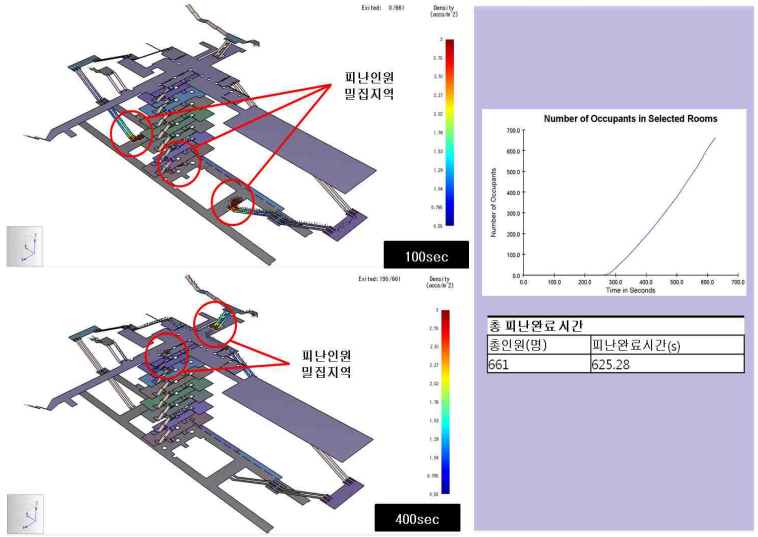


그림 2.8.111 첫 번째 경우 피난 시뮬레이션 결과

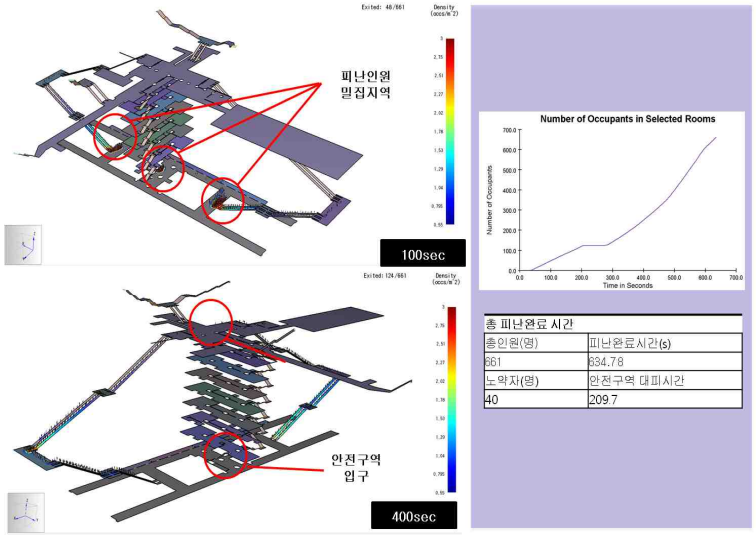


그림 2.8.112 두 번째 경우 피난 시뮬레이션 결과

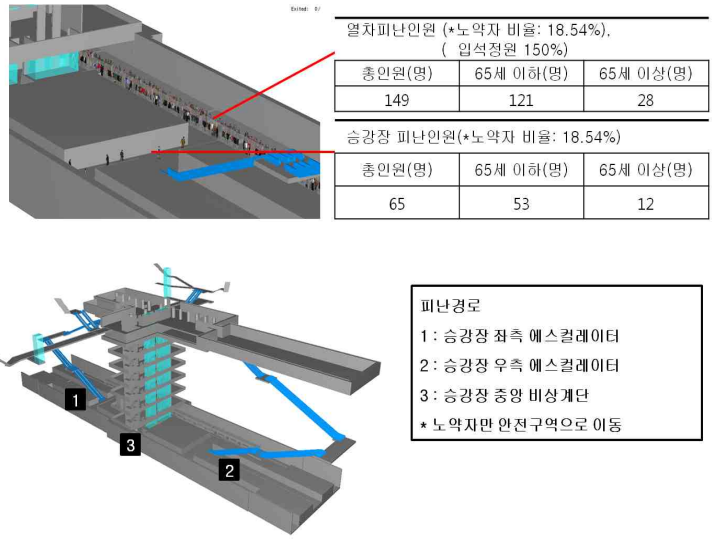


그림 2.8.113 세 번째 피난 CASE 설정

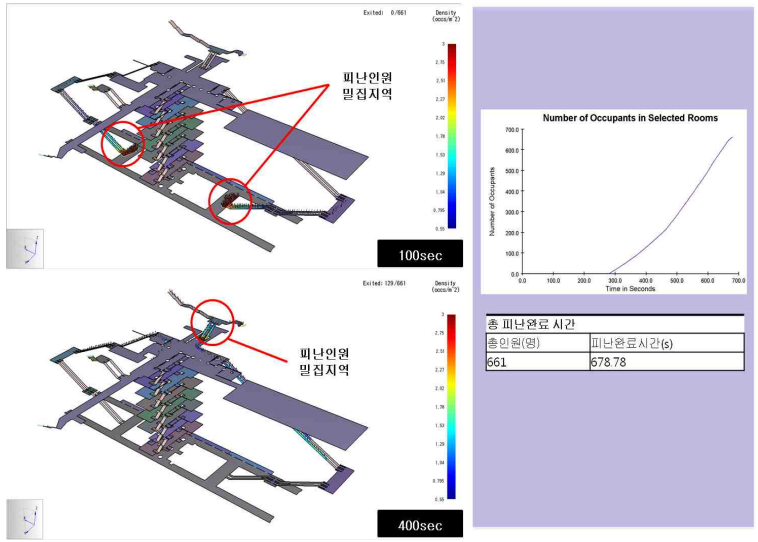


그림 2.8.114 세 번째 경우 피난 시뮬레이션 결과

다. 안전구역 위치선정 프로그램 정량적 정확도 비교 및 검토 결과

안전구역의 최적위치 선정 프로그램의 정량적 정확도 비교에는 크게 피난시간 검증과 안전구역 수용인원 및 환기량 산정에 사용되는 안전구역 면적에 대한 정량적 비교를 통하여 검증을 수행하였다.

(1) 피난예측시간

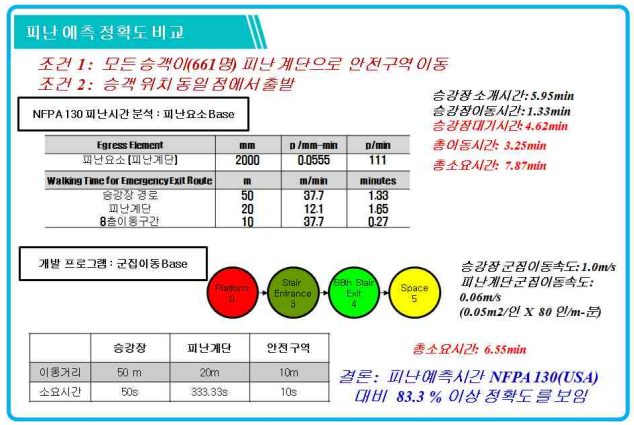


그림 2.8.115 피난예측 비교

세계 유수의 피난시간 계산방식 및 알고리즘이 다르기 때문에 정확한 비교를 위하여 조건 1인 모든 승객이(661명) 피난계단으로 안전구역이동과 조건 2인 승객 출발위치를 동일하게 주어졌다. 그림에서 보면 비교를 위하여 세계적으로 철도역사의 피난시간예측에 사용되는 NFPA130 code를 적용한 결과와 비교를 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 정확도가 83.3%을 보이고 있으며 본 내용은 목표로 한 정량적 수치를 만족함을 보이고 있다.

정확도에 대하여 안전구역 위치선정 알고리즘에서는 면적에 따른 집단이동에 따른 속도저하를 주 기반으로 하나 NFPA130 code 피난예측에는 최단거리와 지상으로의 피난요소에서 병목현상을 반영하는 형태로 피난계단입구에서 병목현상으로 대기하는 시간(4.62분)을 반영하기 때문에 오차가 발생하는 것으로 판단된다.

(2) 공간분석을 위한 면적 산정 비교

각각의 면적산정 비교를 보면 CAD를 통하여 산정한 면적과 본 프로그램에서 측정한 면적이 90% 이상의 정확도를 보이고 있다.

이러한 결과는 본 프로그램이 CAD 데이터를 원본 손상 없이 loading 및 parsing을 함을 의미하며 다소 오차가 발생하는 것은 픽셀에 따른 차이로 보여진다.

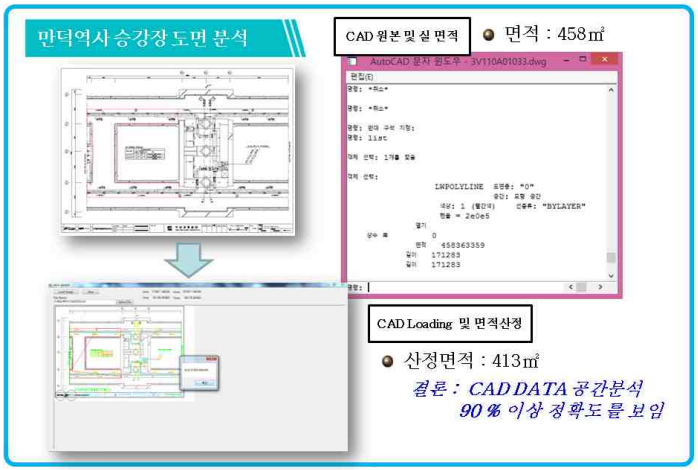


그림 2.8.116 공간분석을 위한 면적 산정 비교

제9절 안전구역 주요 구성시스템

1. Safety-Zone 주요 구성 시스템 기본설계

가. 시스템의 개요

지하역사 화재 시 대심도, 환승역사, 복합연계 역사 공간과 같이 상부로 피난 보행 이동거리가 매우 긴 공간이거나, 장애인 및 고령자와 같이 이동속도가 매우 느린 대상자들을 위한 임시 피난 안전공간의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 특성은 초고층건물 화재 시 피난에서도 유사하게 나타나고 있으며, 이에 대한 대안으로 대피층(Refuge Floor)을 도입하고 있다.

화재안전분야에서 구획공간을 연기로부터 보호하기위한 가장효과적인 방법으로 압력차를 이용해 연기침입을 방지하는 가압식 제연기술을 선택하여 사용하고 있다. 특별피난계단에 전실을 설치하고 집중적으로 가압을 함으로써 수직관통부의 연기 침입을 방지하여 피난인을 보호하는 기술은 이미 법제화 되어있다.

이러한 기술들을 응용하여 기존 타 용도공간을 가압 방연할 수 있다면, 평시 타 용도로 사용이 가능하며, 화재 시 Safety-Zone으로 전환 사용할 수 있다. 본 시스템의 주요구성은 공간 차연 도어 시스템과 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템이 있으며, 지능형 급기 네트워크 시스템으로 안전수준을 향상시킬 수 있다.

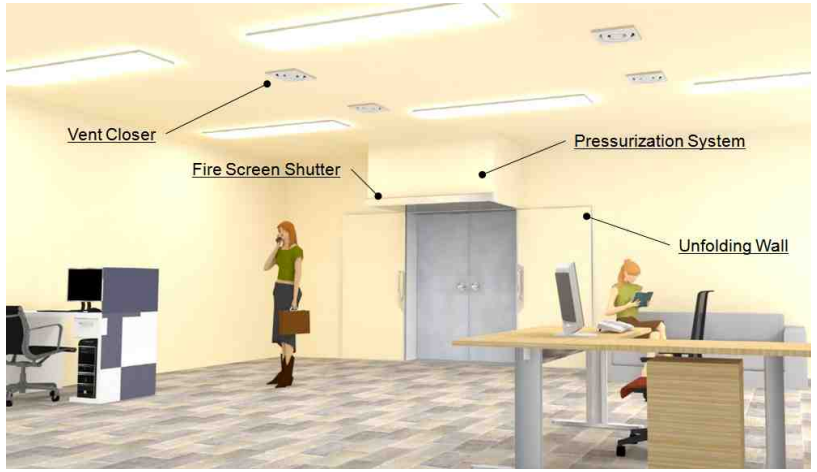


그림 2.9.1 Safety-Zone 구현 개념도

(1) 공간 차연 도어 시스템

- 평시 일반 문에 설치되어 이용자에게 불편함을 주거나 공간의 인테리어를 크게 해치지 않아 경제적 효용성이 매우 높은 장점이 있다.
- 화재 시 화재수신반과 연계하여 동작하거나 수동으로 동작하게 됨. 기존 문 양쪽의 접혀져있던 문은 거실방향으로 전개되어 벽을 형성하고, 그 후 방연 스크린이 하부로 전개되어 하나의 구획공간을 형성함. 이 공간으로 연결된 공조시스템에서 급기 가압을 하여 연기의 침입을 다단계로 방어하는 기능구조를 가지고 있다.



그림 2.9.2 공간 차연 도어 시스템 설치

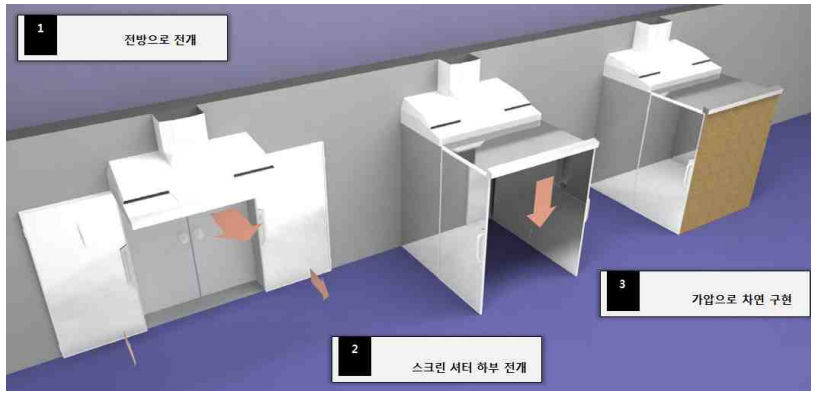


그림 2.9.3 공간 차연 도어 시스템 동작

(2) 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템

- 지하 역사의 특징은 외부로 창문이 없어, 공조시스템에 의해 환기를 한다. 이는 화재 시 연기 침입의 경로가 될 수 있으므로, 연기 감지장치를 구비한 환기구(diffuser)를 자동 폐쇄하는 장치를 개발할 필요가 있다.

(3) 지능형 급기 네트워크 시스템

- 화재 시 Safety-Zone의 공간 차연 도어 시스템으로 유입되는 공기는 지상의 급기시스템으로부터 제공됨. 급기능력 향상을 위해 타 구획으로의 연결부분을 댐퍼로 차단한다. 하지만 이 시스템에 문제가 생길 경우, 아직 연기가 유입되지 않는 인접공간으로 부터 가압을 위한 공기를 공급한다. 만약 모든 공간에 문제가 있을 경우 Safety-Zone 내부의 공기를 이용하여 지속적으로 공간 차연 도어 시스템에 공기를 공급한다.



그림 2.9.4 지능형 급기 네트워크 시스템 개념도

나. 전체 시스템 연동

화재 감지 후 수신반을 통해 신호를 받으면, 다음 그림과 같이 각 시스템이 연동한다.

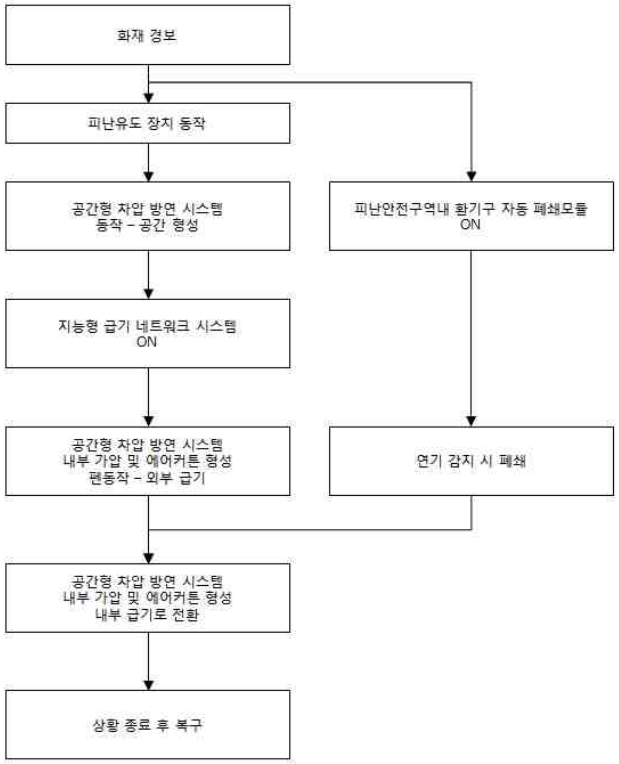


그림 2.9.5 전체 시스템 동작 순서

다. 공간형 차연 방연 시스템 설계

(1) 공간형 차연 방연 시스템 설계 변경

- 본 과제의 시작 시 설계한 기본 구성을 기반으로 하여 차연 시스템을 제작해보던 중 스크린으로는 가동식벽과 스크린 사이의 고정이 용이하지 않은 문제점이 발견되었다. 특히 가압으로 인한 압력이 작용하는 이유로 인해 그러하다.

- 또한 방연 스크린의 사용의 장점은 피난인 이동의 용이함이지만, 양쪽이 고정된 상태에서 별도의 문이 없으면 안되는 문제점도 판단하게 되었다.

- 그러므로, 방연 스크린 대신 도어로 공간을 형성하는 방식으로 설계 변경을 하였다.

- 또한 효과적인 방연을 위한 방연 풍속의 확보를 위해 팬으로 송풍하여 에어커튼을 형성하고 동시에 공간내부를 가압하는 방안을 채택하게 되었다.



그림 2.9.6 스크린 제작 장면

(2) 구성요소 성능조건

- 구성요소의 성능조건 결정에서 먼저 국가화재안전기준 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A) 고시의 사항을 준용하였다.

제6조(차압 등) ①제4조제1호의 기준에 따라 제연구역과 옥내와의 사이에 유지하여야 하는 최소차압은 40㎩(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5㎩) 이상으로 하여야 한다.

②제연설비가 가동되었을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘은 110N 이하로 하여야 한다.

③제4조제2호의 기준에 따라 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 개방되지 아니하는 제연구역과 옥내와의 차압은 제1항의 기준에 불구하고 제1항의 기준에 따른 차압의 70% 미만이 되어서는 아니 된다.

④계단실과 부속실을 동시에 제연 하는 경우 부속실의 기압은 계단실과 같게 하거나 계단실의 기압보다 낮게 할 경우에는 부속실과 계단실의 압력차이는 5㎩ 이하가 되도록 하여야 한다.

제10조(방연풍속) 방연풍속은 제연구역의 선정방식에 따라 다음 표의 기준에 따라야 한다.

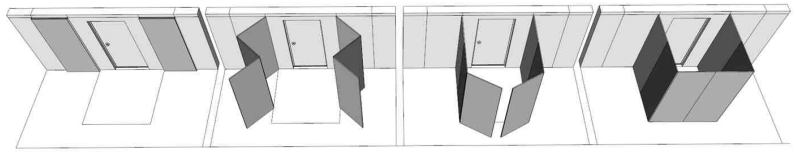
표 2.9.1 방연풍속

제 연 구 역		방연풍속
계단실 및 그 부속실을 동시에 제연하는 것 또는 계단실만 단독으로 제연하는 것		0.5m/s 이상
부속실만 단독으로 제연하는 것 또는 비상용 승강기의 승강장만 단독으로 제연하는 것	부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 거실인 경우	0.7m/s 이상
	부속실 또는 승강작이 면하는 옥내가 복도로서 그 구조가 방화구조(내화시간이 30분 이상인 구조를 포함한다)인 것	0.5m/s 이상

(3) 공간형 차연 방연 시스템 구조 설계

- 화재 발생 시 계단실 또는 피난안전구역 등 보호 공간 내부로의 연기의 유입을 방지해야함.
- 연기유입을 방지하기 위해 방화문을 사용하지만, 계단실 또는 피난안전구역은 사람들이 지속적으로 유입될 우려가 있어, 문이 단기간 완전히 개방, 또는 장기간 일부가 개방되는 상황이 발생할 수 있음.
- 이러한 상황에서의 연기유입을 방지하기 위해, 특별피난계단에는 부속실을 두고 가압을 하는 시스템을 현재 사용 중.
- 본 발명은 피난안전구역을 전용이 아닌 평시 타 용도와 겸용으로 사용할 경우 부속실이 평시 사용 공간면적의 축소와 불편을 초래할 수 있으므로,
- 평시에는 벽으로 접혀져있어 공간을 차지하지 않고, 이중문으로 인한 출입의 불편함을 해소하며,
- 화재 발생 시 자동 또는 수동으로 가동식 벽을 전개, 공간을 형성하고 그 내부를 가압하여, 외부로 부터의 연기유입을 차단하고 문이 단기간 완전히 개방, 또는 장기간 일부가 개방되는 상황에서도 연기유입을 최소화하여, 2중의 안전을 확보하기 위한 목적으로 고안되었다. (외부로의 방화문이 고장 또는 기타 원인으로 인해 일부 개방될 경우라도 내부의 문이 역할을 수행)
- 또한 본 장치는 외부와의 턱트 연결을 통해 신선한 공기를 공급할 수 도 있지만, 덕트를 통한 연기유입 시 덕트를 차단하고 공간내부의 공기를 이용 차압방연구역 내부의 차압 유지를 구현하여, 별도의 전용 덕트 설치 비용을 감소하는 경제적 효과 및 2중의 안전 확보를 가능하도록 하였다.

(가) 평시 [1]과 같이 접혀져 있던 가동식 벽을 [2]와 같이 앞으로 전개하고 [3] 3단을 270도 돌려 앞의 문을 만들어 닫아, 양쪽의 벽과 문을 만들어 공간을 형성.



[1] [2] [3] [4]

그림 2.9.7 가동식 벽 및 문 동작 개념

(나) 상기에 가이드 레일이 있어 상부에서 지지. 레일 하부의 구조에 의해 기밀성능을 향상.

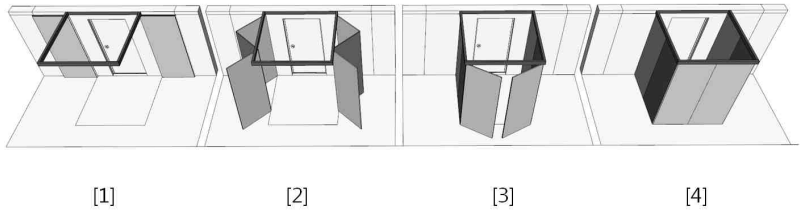


그림 2.9.8 상부 가이드 레일 구조

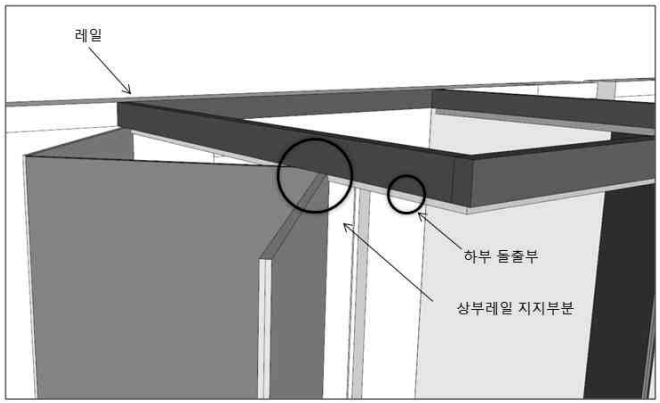


그림 2.9.9 상부 가이드 레일 구조 세부

(다) 형성된 공간 내부는 출입문 상부의 펜을 통해 외부로의 출입문 미개방시 가동식 벽과 문으로 형성된 공간내 압력을 높여 외부로 부터의 연기유입을 차단. 국내 소방법 상 특별피난계단 등의 부속실 기능을 수행하기 위해서는 외부와의 차압이 40Pa이상을 확보.
차압이 형성되면, 펜 속도를 낮추어 형성 압력을 유지.
출입문 개방 시 외부로 부터의 연기 유입을 고속 기류로 형성된 에어커튼으로 유입을 방지하고, 내부의 차압을 최소 10Pa (완전히 결정된 값은 아님)을 확보.

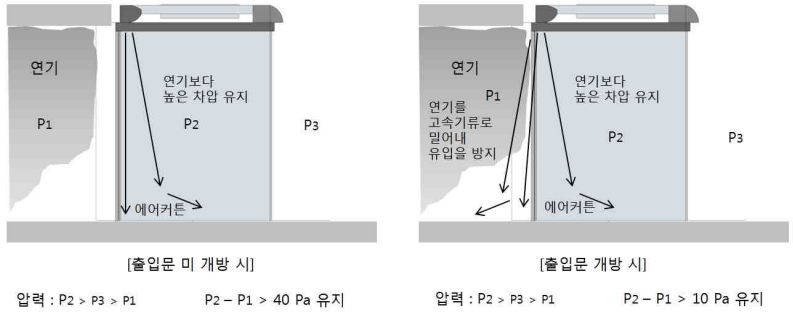


그림 2.9.10 펜을 이용한 에어커튼의 형성 및 가압효과

(라) 차압형성을 위한 공기는 1차적으로 덕트를 통한 외부의 신선한 공기를 사용하여 공간을 가압하며, 덕트를 통한 연기 유입이 센서에 의해 감지되면, 외부와 연결된 덕트 방향의 유입경로를 댐퍼로 폐쇄하고, 피난안전구역 내부의 공기를 흡입하여 차압 방연구역으로 공급.

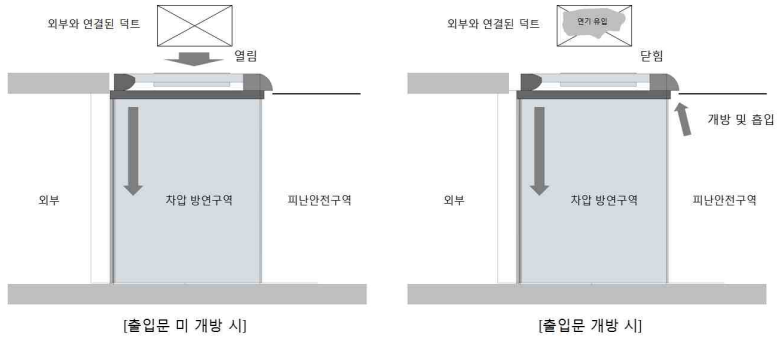


그림 2.9.11 공기 유입장치 동작 개념

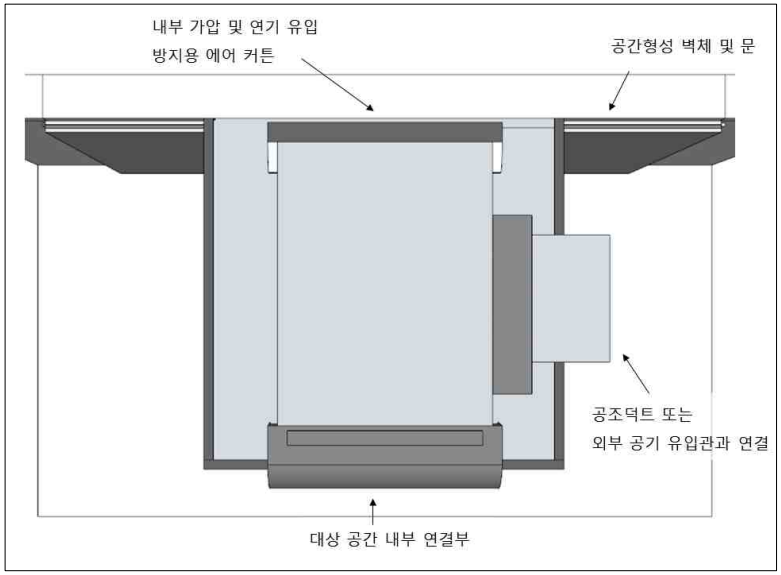


그림 2.9.12 공기 유입장치 동작 개념 세부

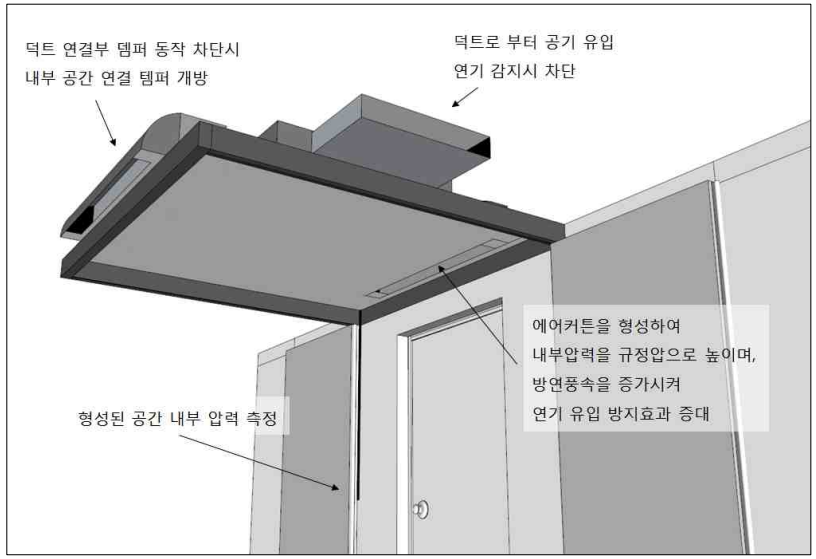


그림 2.9.13 공기 유입장치 동작 세부

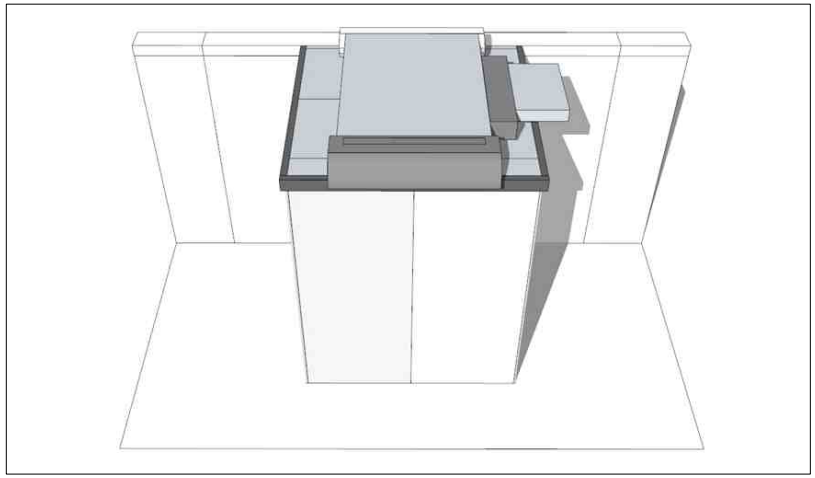


그림 2.9.14 공간형 차압 방연시스템 개념도

(4) 설계 도면

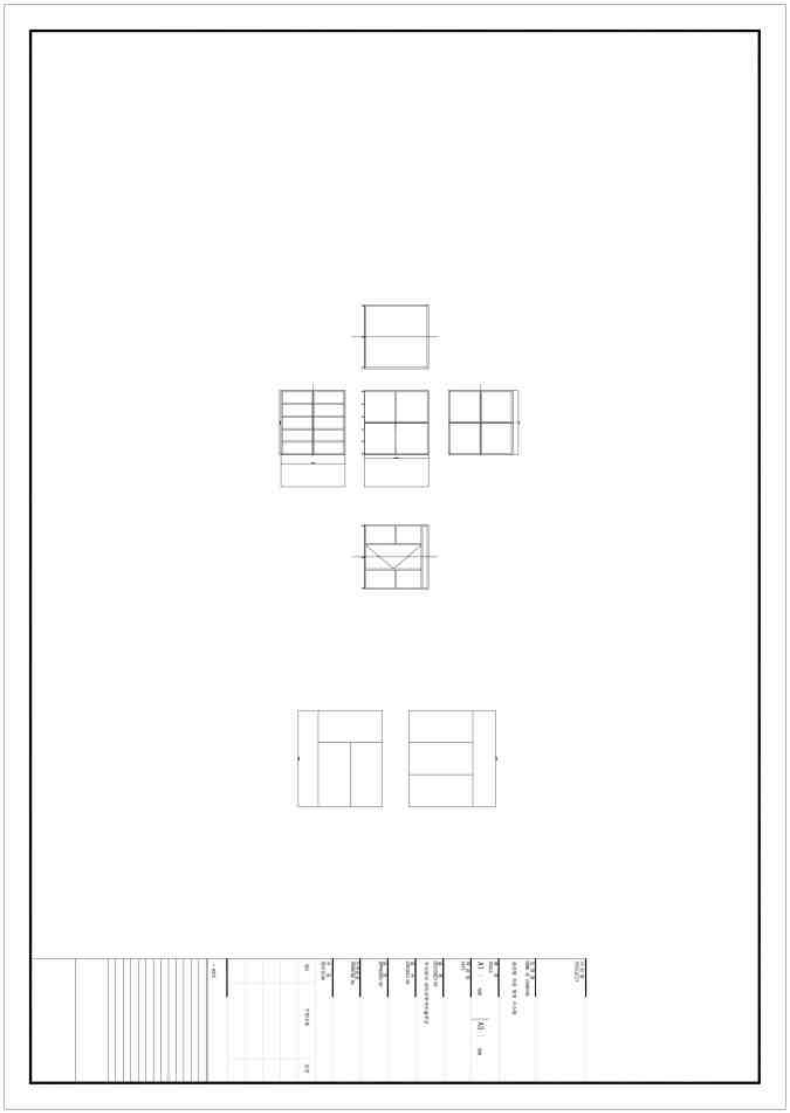


그림 2.9.15 설계도면

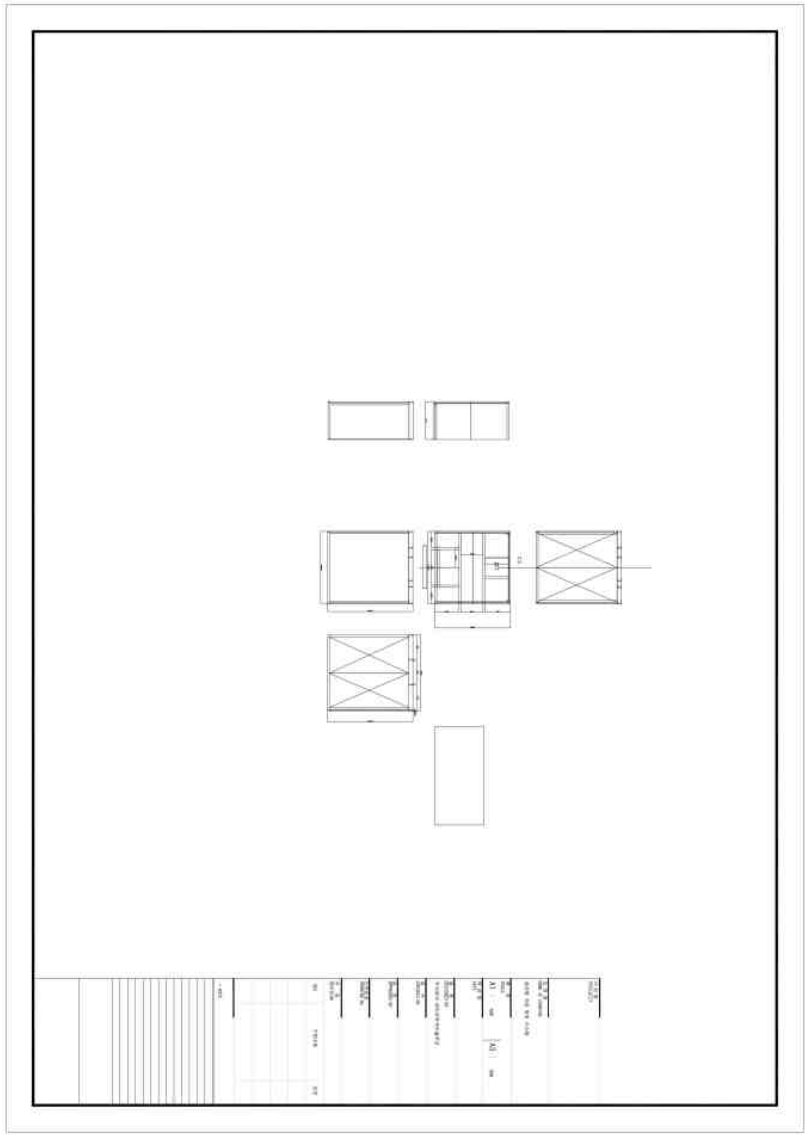


그림 2.9.16 설계도면

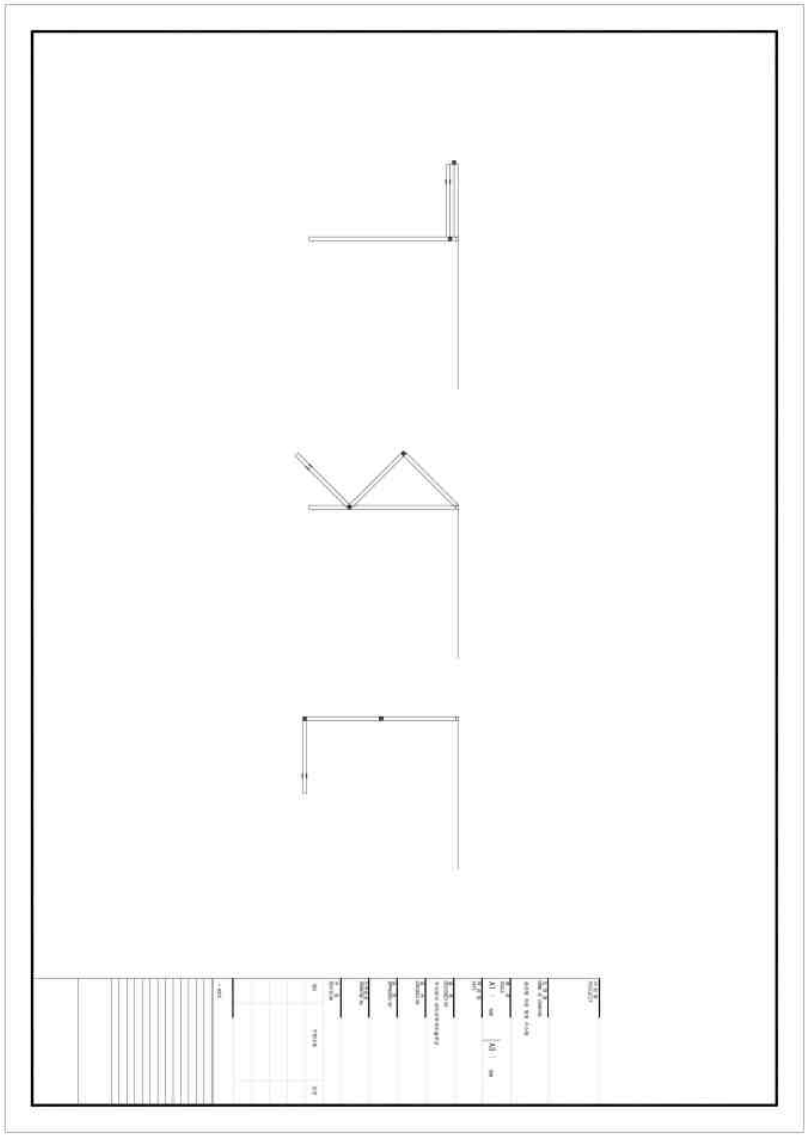


그림 2.9.17 설계도면

라. 차압실험장치 설계 및 제작

본 개발의 주요 제품인 공간형 차압 방연 시스템을 구조 및 성능을 실험하기 위해서는 구획된 공간 내에서 압력의 변화를 만들 수 있는 차압실험장치가 필요하다. 그러나 외부에서 이러한 실험을 용이하게 할 수 있는 시설을 찾을 수 없는 문제점이 발생하였다.

2. 공간차연도어 시스템 구조 방연성능 검증실험

가. 공간차연도어 시스템의 구조 변경과 문제점

(1) 1차 시작품의 주요 결과

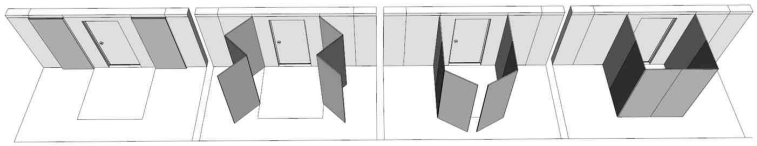
연구계획서에서 제안했던 시스템의 설계에서 완료 시 다음과 같은 변경이 있었다.

공간차연도어는 화재 발생 시 계단실 또는 피난안전구역 등 보호 공간 내부로의 연기의 유입을 방지해야하는 기능을 가지게 된다. 연기유입을 방지하기 위해 방화문을 사용하지만, 계단실 또는 피난안전구역은 사람들이 지속적으로 유입될 우려가 있어, 문이 단기간 완전히 개방, 또는 장기간 일부가 개방되는 상황이 발생할 수 있으며 이때 연기가 실내로 유입될 수 있다. 이와 함께 문틈으로의 유입 등을 방지하기위해서 상황에서의 연기유입을 방지하기 위해, 특별피난계단에는 부속실을 두고 가압을 하는 시스템을 현재 사용 중에 있다.

본 발명은 피난안전구역을 전용이 아닌 평시 타 용도와 겸용으로 사용할 경우 부속실이 평시 사용 공간면적의 축소와 불편을 초래할 수 있으므로, 평시에는 벽으로 접혀져있어 공간을 차지하지 않고, 이중문으로 인한 출입의 불편함을 해소하며,

화재 발생 시 자동 또는 수동으로 가동식 벽을 전개, 공간을 형성하고 그 내부를 가압하여, 외부로 부터의 연기유입을 차단하고 문이 단기간 완전히 개방, 또는 장기간 일부가 개방되는 상황에서도 연기유입을 최소화하여, 2중의 안전을 확보하기 위한 목적으로 고안되었다. (외부로의 방화문이 고장 또는 기타 원인으로 인해 일부 개방될 경우라도 내부의 문이 역할을 수행)

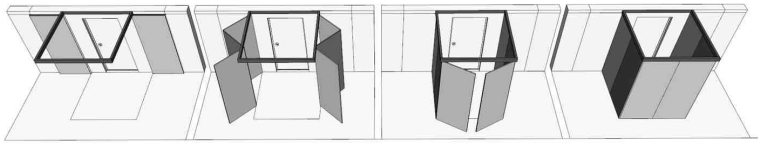
(가) 평시 [1]과 같이 접혀져 있던 가동식 벽을 [2]와 같이 앞으로 전개하고 [3] 3단을 270도 돌려 앞의 문을 만들어 닫아, 양쪽의 벽과 문을 만들어 공간을 형성.



[1] [2] [3] [4]

그림 2.9.18 가동식 벽 및 문 동작 개념

(나) 상기에 가이드 레일이 있어 상부에서 지지. 레일 하부의 구조에 의해 기밀성능을 향상.



[1] [2] [3] [4]

그림 2.9.19 상부 가이드 레일 구조

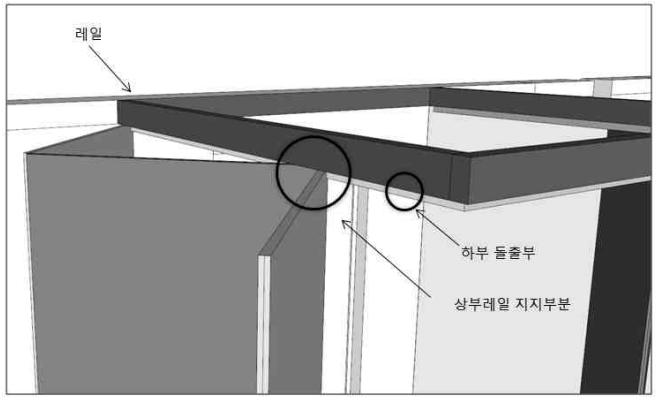


그림 2.9.20 상부 가이드 레일 구조 세부

또한 본 장치는 외부와의 덕트 연결을 통해 신선한 공기를 공급할 수도 있지만, 덕트를 통한 연기유입 시 덕트를 차단하고 공간내부의 공기를 이용 차압방연구역 내부의 차압 유지를 구현하여, 별도의 전용 덕트 설치비용을 감소하는 경제적 효과 및 2중의 안전 확보를 가능하도록 하였다.

형성된 공간 내부는 출입문 상부의 펜을 통해 외부로의 출입문 미개방시 가동식 벽과 문으로 형성된 공간 내 압력을 높여 외부로 부터의 연기유입을 차단. 국내 소방법 상 특별피난계단 등의 부속실 기능을 수행하기 위해서는 외부와의 차압이 40Pa이상을 확보하며, 차압이 형성되면, 펜 속도를 낮추어 형성 압력을 유지하도록 되어있다.

출입문 개방 시 외부로 부터의 연기 유입을 고속 기류로 형성된 에어커튼으로 유입을 방지하고, 내부의 차압을 최소 10 Pa (완전히 결정된 값은 아님)을 확보하는 방안을 구상하고 실험을 수행하였다.

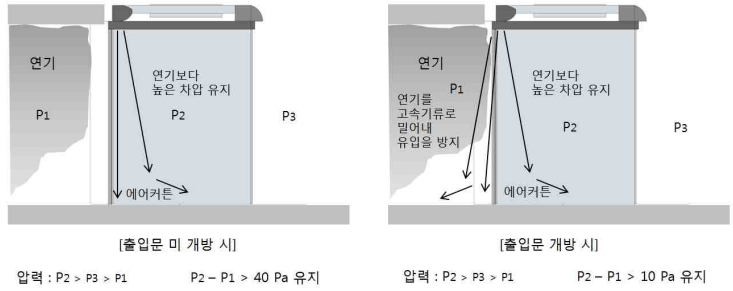


그림 2.9.21 펜을 이용한 에어커튼의 형성 및 가압 효과

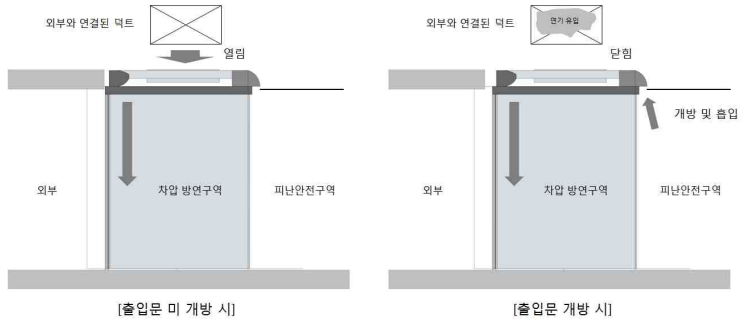


그림 2.9.22 공기 유입장치 동작 개념

(2) 실험결과를 통한 보완의 필요성

공간형 차압 방연시스템의 가동식 벽과 상부에 의해 형성되는 공간과 가압장치의 효용성을 알아보기 위해 시작품의 제작 및 시험을 수행하였다. 시험결과 펜 기동 후 내부의 압력은 25~35Pa을 기록하였으며, 문 입구에서의 풍속은 상부 5.5m/s~6.5m/s, 중간 부분은 2.01m/s~2.8m/s의 풍속을 기록하였다. 다만, 바닥면에서는 0.26~0.61m/s의 풍속을 기록하였다. 내부압력은 소방기술기준의 최소기준은 12.5Pa의 차압보다 높았으며, 방연풍속도 0.7m/s보다 중간부분까지는 높게 나왔다. 다만, 하부에서는 약해지므로 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단되었다.

위와 같은 실험결과의 1차년도 평가 시 심사의원의 의견에서 차압의 유지보다는 방연풍속의 확보가 더 중요하다는 사항이 있었으며, 이를 착안 실제 에어커튼의 성능을 본격적으로 실험하여, 방연을 위한 기능을 수행하기에 적합한지 여부를 알아보기로 하였다.

나. 에어커튼의 종류와 특성

방연을 위해 적용가능한 에어커튼 시스템을 알아보기 위해 시장에 출시된 제품을 조사하였다.

(1) 전면흡입형 에어커튼 (일반형)

전면흡입형은 에어커튼의 기류를 형성하기 위한 공기를 전면에서 흡입하므로 부여된 명칭이다. 전면흡입형은 제품 자체를 부착하면 동작할 수 있으며, 별도의 부속기기가 필요 없다. 이 기기는 내부에서 모터가 펜을 돌려 전면에서 흡입된 공기를 하부로 토출하는 방식이다. 풍향조절 판 등이 있어 토출되는 바람의 방향을 조정할 수 있다. 또한, 특징적으로 중앙에 모터가 있고 양쪽에 팬이 있는 구조를 가지고 있다. 펜 사이 간격이 넓으면 데드존(Dead Zone)이 나타날 수 있다.

이러한 제품은 외관이 미려하고, 설치공간이 비교적 작아 실내 설치하기에 적합하며, 내외부의 기류 이동 방지나 외부의 물질이 내부로 침투하는 것을 방지하는 목적을 가지고 있다.

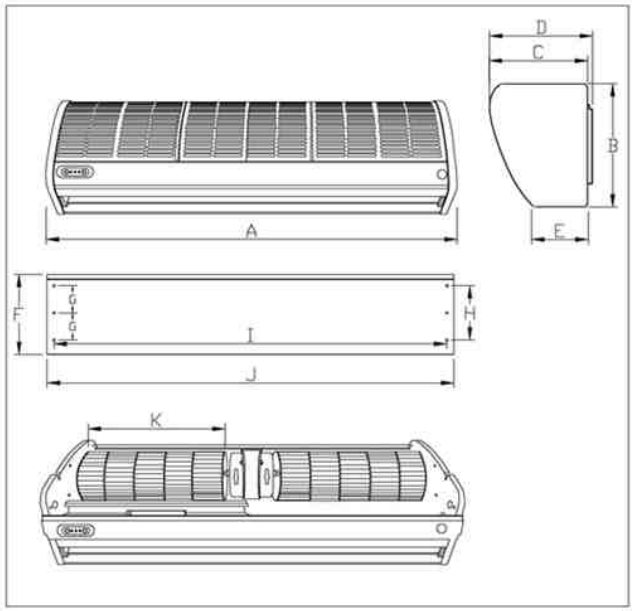


그림 2.9.23 전면 흡입형 에어커튼의 내부 구조도



그림 2.9.24 전면 흡입형 에어커튼의 일반적 특징

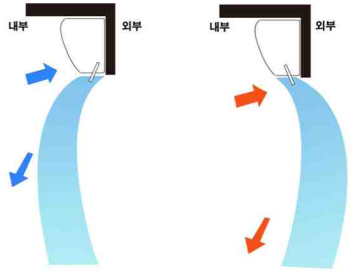
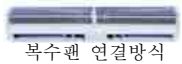


그림 2.9.25 전면 흡입형 에어커튼의 토출 분사 조정

(2) 외부급기형 에어커튼

외부급기형이란 별도의 펜을 사용, 배관을 통해 공기를 공급하고, 에어커튼에서 분사하는 방식이다. 에어커튼이 단일로 설치되지 않고, 펜, 배관, 분사용 에어커튼 장치 등으로 구성된다. 이 제품은 분사가 비교적 균일하고 방사 풍속을 고속으로 할 수 있어 높은 효과를 가져 올 수 있다.

표 2.9.2 전면흡입형 에어커튼 (기존)과 외부급기형 에어커튼 특성비교 (개발사 제공)

	기존 에어커튼	에어커튼	효과 및 영향
필터 여과장치	무	유	미세먼지를 사전 차단하여 크린에어 막 형성으로 위생적
구조	 복수팬 연결방식	 일체형 구조	에어커튼의 Dead Zone이 없이 균일하다
분사방식	모터 직접분사방식	모터 간접분사방식	모터관리가 용이하고 수월하다
최대 커튼 길이	1500m/m	제한없음, 주문제작	기존에는 이어붙임 방식이었으나, 1축의 일체형으로 6m 시공으로 설치가 매우 간단함
재질	SS41, AL	AL, 스테인리스, 티타늄	부식성이 있는 지역 또는 청정지역에 설치할 수 있음 (Haccp&환경사업소, 음식물처리장)
커튼 두께	150m/m이상	1~10m/m	청정하고 얇고 고운 커튼을 유지하여 촉감이 상쾌하다
실현 풍속 (m/sec)	12.5m/sec 내외	최대 90m/sec	풍속은 에어커튼의 높이나 커튼의 강도를 결정하는 주요변수로 고속 고정밀 산업용에 응용
설치공간	대략 260x250	70x105	설치가 용이하고, interior 미관이 좋다

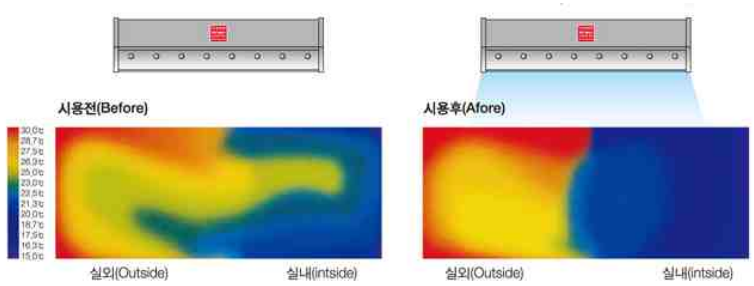


그림 2.9.26 외부급기형 에어커튼의 분사 시 효과 (메이커 제공자료)

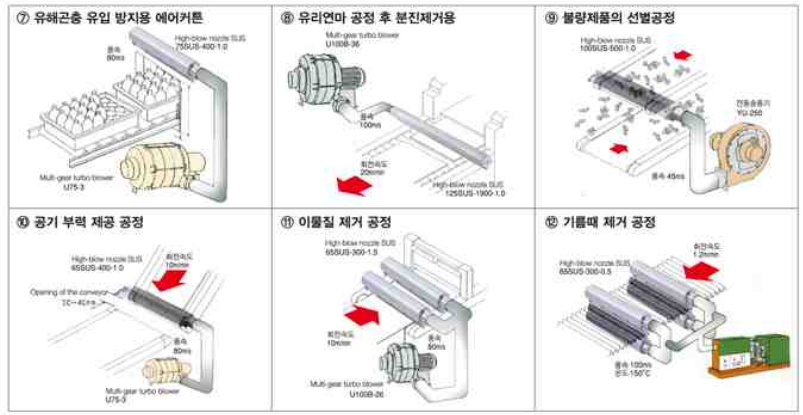


그림 2.9.27 다양한 공정에의 응용 (메이커 제공자료)

다. 외부급기형 에어커튼의 연기방호 실험

내부에 장착하기로 한 에어커튼에 대해 실제 연기의 방어에서는 어떠한 효과가 있는 지를 알아보기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 외부급기형 에어커튼을 대상으로 하였는데 이는 다음과 같은 이유를 고려하였다.

첫째, 연기의 방어를 위해서는 고속의 기류형성이 필요할 것으로 예상되었다. 메이커 측에서 제시한 최대풍속이 90m/s까지 가능하다는 것을 참고로 하여, 풍속 변경의 폭이 넓은 장점을 고려해서 설치하였다.

둘째, 외부 급기방식으로 시스템을 구성할 경우 외부에서 급기관을 통해 압축공기를 공급 분사할 수 있다는 장점이 있기 때문이다. 이는 에어커튼으로부터 분사되는 공기로 공간형 차연도어 시스템 내부에 압력도 형성할 수 있다면, 전용 급기덕트를 공기파이프로 대체하는 것도 고려해 볼 수 있기 때문이다.

셋째. 문 상부에서 연속된 토출구를 통해 기류를 분사할 수 있으며, 최대 길이를 6m 까지 가능하다 하므로, 일반적인 방화문에는 적용이 가능할 것으로 판단된다.

(1) 실험 장치

실험은 철도기술연구원 특동 화재실험실에서 수행되었다. 실험장치는 높이 2.3m X 폭 3.0m이며, 구획을 2개로 분할하고 가운데 1.8m X 0.7m의 방화문을 설치하였다.
방화문이 있는 벽에서 연기유동을 관찰하기 위한 강화유리창이 설치되었으며, 이를 통해 연기의 유입여부와 변화를 관찰하였다.

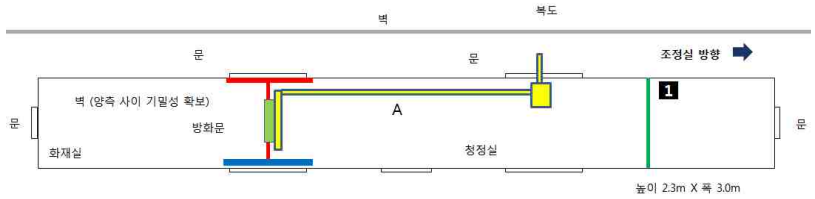


그림 2.9.28 에어커튼 방연성능시험장치

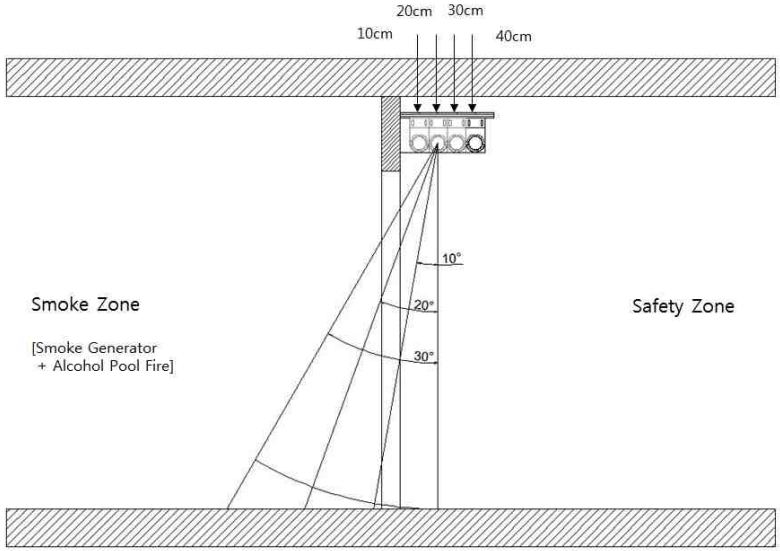


그림 2.9.29 에어커튼의 위치 및 방사각도



그림 2.9.30 에어커튼 설치 모습

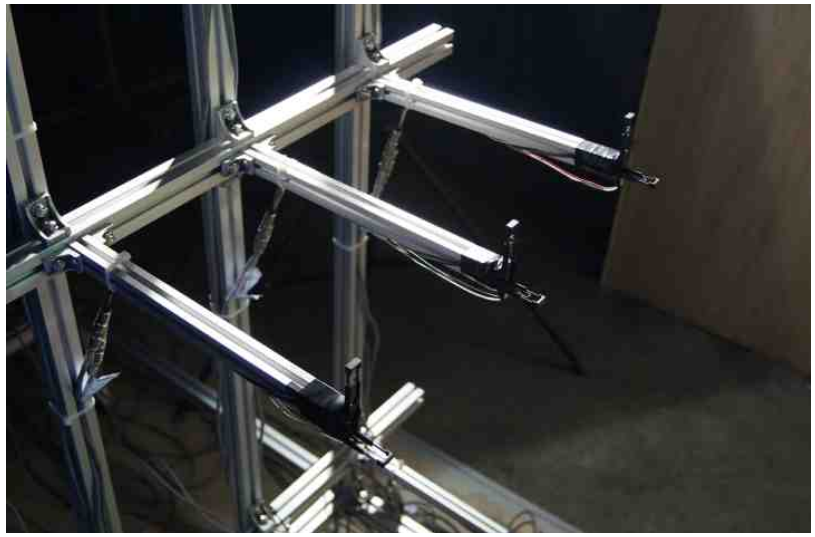


그림 2.9.31 공기 유속측정 장치



그림 2.9.32 상부 커버 및 가이드 설치 모습



그림 2.9.33 전체 설치 및 측정 장치 (청정실 측)



그림 2.9.34 전체 설치 및 측정 장치 측면 (관찰 창)

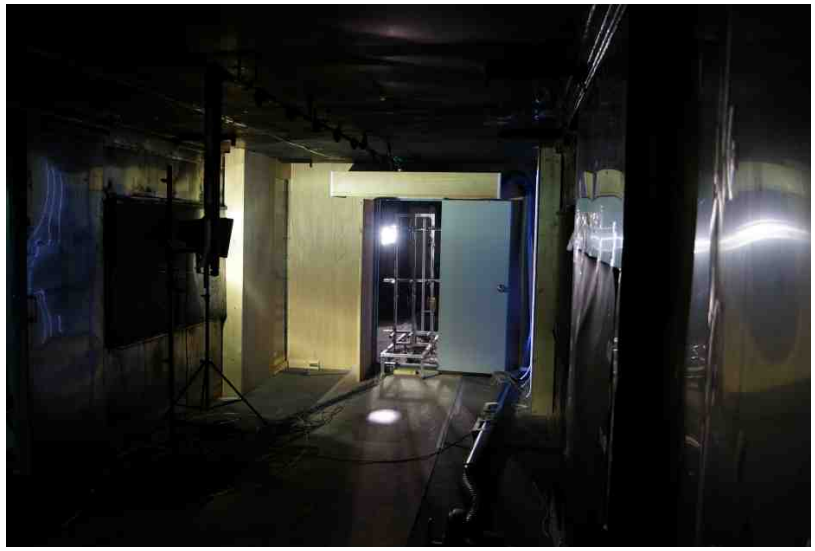


그림 2.9.35 전체 설치 모습 (청정실 측)



그림 2.9.36 외부 관측창



그림 2.9.37 화재실 측 모습



그림 2.9.38 메탄올 연소를 위한 팬

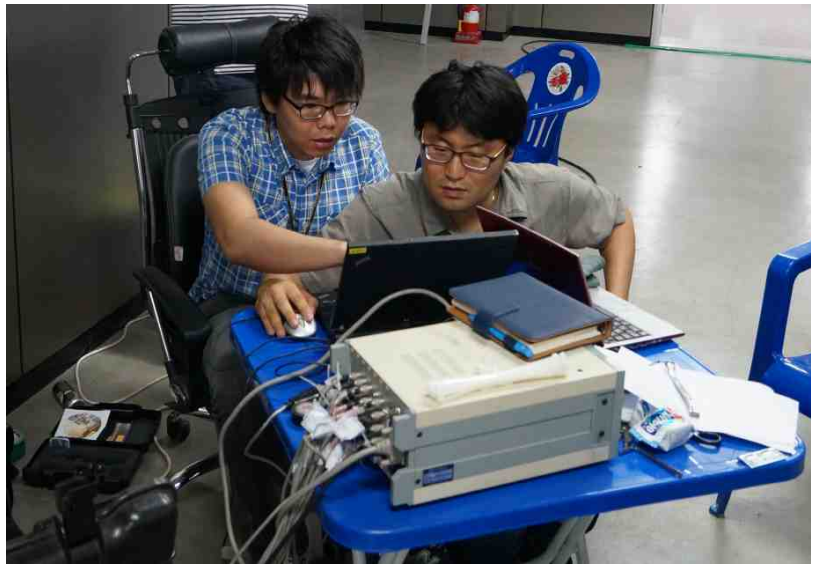


그림 2.9.39 유속 측정 장치



그림 2.9.40 메탄올 풀 화재와 연기생성기 사용 가시화

연기를 가시화하기 위해서 메탄올 풀 화재를 발생시켰고, 연기발생장치로 가시화를 수행하였다. 즉 화재로 인한 열기류의 생성은 메탄올 연소로 하고 연기발생장치를 사용하여, 열기류를 가시화 한 것이다.

실험은 방화문 상부에 에어커튼을 장착하였으며, 벽으로부터 10cm, 20cm, 30cm, 40cm를 떨어뜨리면서 직하 0°, 10°, 20°, 30°로 각도를 변경하면서 동작시켰다. 문에서의 기류를 측정하기 위하여, 문으로부터 10cm 떨어진 위치에 유속측정 센서를 부착하였다.

또한 아래 표에서 표기된 (1) ~ (5)의 시험은 연기 가시화를 통한 유입방호 여부를 시험한 것이다.

표 2.9.3 에어커튼 시험 케이스 분류 및 수행 여부

	0°	10°	20°	30°
10cm – 측면 가이드 ○	○	○	○	○
20cm – 측면가이드 ○	○	○	○	○
30cm – 측면가이드 ○	○	○	○	○
40cm – 측면가이드 ○	X	○	○	○
10cm – 측면 가이드 X	X	○	X	X
20cm – 측면 가이드 X	X	○	○	X
10cm –에어커튼 X 측면 가이드 X	X	○ (1)	X	X
10cm – 에어커튼 ○ 측면 가이드X	X	○ (2)	X	X
20cm – 에어커튼 ○ 측면 가이드 X	X	X	○ (3)	○ (4)
20cm – 에어커튼 ○ 측면 가이드 ○				○ (5)

(2) 실험 수행 및 측정 결과

위 표 5.2에서 제시된 케이스에 대한 측정실험을 수행하였다. 그 결과는 다음 표 5.3에서부터 표 5.6과 같으며, 그림 5.21에서부터 그림 5.24까지 분포 분석결과를 나타내었다.

표 2.9.4 10cm 케이스 및 측정결과

		10cm 0° [Avg.] (m/s)	10cm 10° [Avg.] (m/s)	10cm20° [Avg.] (m/s)	10cm30° [Avg.] (m/s)
	1	0.28	0.81	5.07	5.46
	2	0.35	0.37	2.42	6.17
	3	0.42	0.43	0.54	0.4
	4	1.44	2.76	2	0.25
	5	0.9	1.49	1.01	0.26
	6	0.2	0.2	0.12	0.12
	7	2.27	2.5	1	0.21
	8	0.82	0.37	0.24	0.23
	9	0.38	0.21	0.17	0.19
	1	0.22	2.99	7.35	2.4
	2	0.2	1.26	6.49	3.77
	3	0.19	0.32	0.94	0.41
	4	2.55	4.48	2.69	0.12
	5	1.62	2.22	1.24	0.15
	6	0.22	0.29	0.13	0.16
	7	3.85	4.23	1.18	0.28
	8	1.17	0.44	0.25	0.38
	9	0.2	0.16	0.19	0.32

표 2.9.5 20cm 케이스 및 측정결과

		20cm0° [Avg.] (m/s)	20cm10° [Avg.] (m/s)	20cm20° [Avg.] (m/s)	20cm30° [Avg.] (m/s)
	1	0.39	0.31	0.61	4.62
	2	0.28	0.36	0.35	2.29
	3	0.24	0.41	0.38	0.49
	4	0.83	2.57	3.15	1.1
	5	0.31	1.14	1.08	0.43
	6	0.33	0.21	0.23	0.12
	7	1.67	2.51	1.37	0.29
	8	0.46	0.39	0.28	0.27
	9	0.32	0.24	0.21	0.22
	1	0.16	0.21	2.28	7.25
	2	0.17	0.23	0.75	5.75
	3	0.26	0.33	0.2	0.51
	4	1.82	4.38	4.79	0.88
	5	0.31	1.98	1.46	0.32
	6	0.58	0.12	0.24	0.18
	7	2.95	4.28	1.89	0.34
	8	0.4	0.48	0.26	0.46
	9	0.21	0.15	0.21	0.38

표 2.9.6 30cm 케이스 및 측정결과

		30cm 0° [Avg.] (m/s)	30cm10° [Avg.] (m/s)	30cm20° [Avg.] (m/s)	30cm30° [Avg.] (m/s)
	1	0.38	0.38	0.34	0.62
	2	0.28	0.4	0.3	0.54
	3	0.24	0.34	0.25	0.29
	4	0.33	2.03	4	2.43
	5	0.32	0.53	1.13	0.97
	6	0.34	0.15	0.18	0.16
	7	0.81	2.64	1.82	0.38
	8	0.42	0.42	0.28	0.31
	9	0.35	0.25	0.17	0.23
	1	0.13	0.21	0.31	2.03
	2	0.17	0.28	0.23	1.91
	3	0.37	0.2	0.14	0.17
	4	0.27	3.23	5.81	2.33
	5	0.22	1.08	1.52	1.02
	6	0.51	0.2	0.16	0.14
	7	1.59	4	2.45	0.31
	8	0.29	0.54	0.3	0.41
	9	0.22	0.15	0.16	0.35

표 2.9.7 40cm 케이스 및 측정결과

		40cm 10° [Avg.] (m/s)	40cm 20° [Avg.] (m/s)	40cm 30° [Avg.] (m/s)
	1	0.42	0.39	0.27
	2	0.37	0.28	0.27
	3	0.32	0.22	0.26
	4	0.97	3.43	4.4
	5	0.26	0.58	0.76
	6	0.22	0.2	0.14
	7	2.31	2.39	0.63
	8	0.51	0.32	0.32
	9	0.34	0.13	0.29
	1	0.26	0.23	0.42
	2	0.3	0.18	0.32
	3	0.19	0.11	0.13
	4	2.21	4.89	5.33
	5	0.28	0.92	1.05
	6	0.36	0.19	0.14
	7	3.6	3.67	0.49
	8	0.63	0.4	0.24
	9	0.22	0.12	0.44

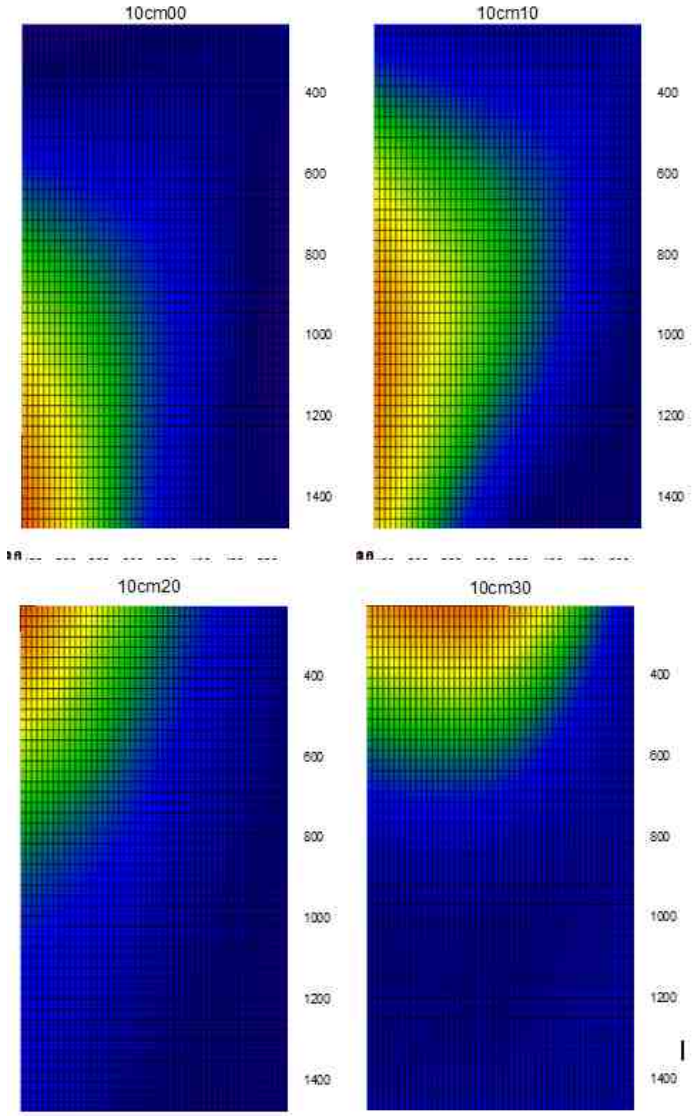


그림 2.9.41 10cm 시험결과 분석

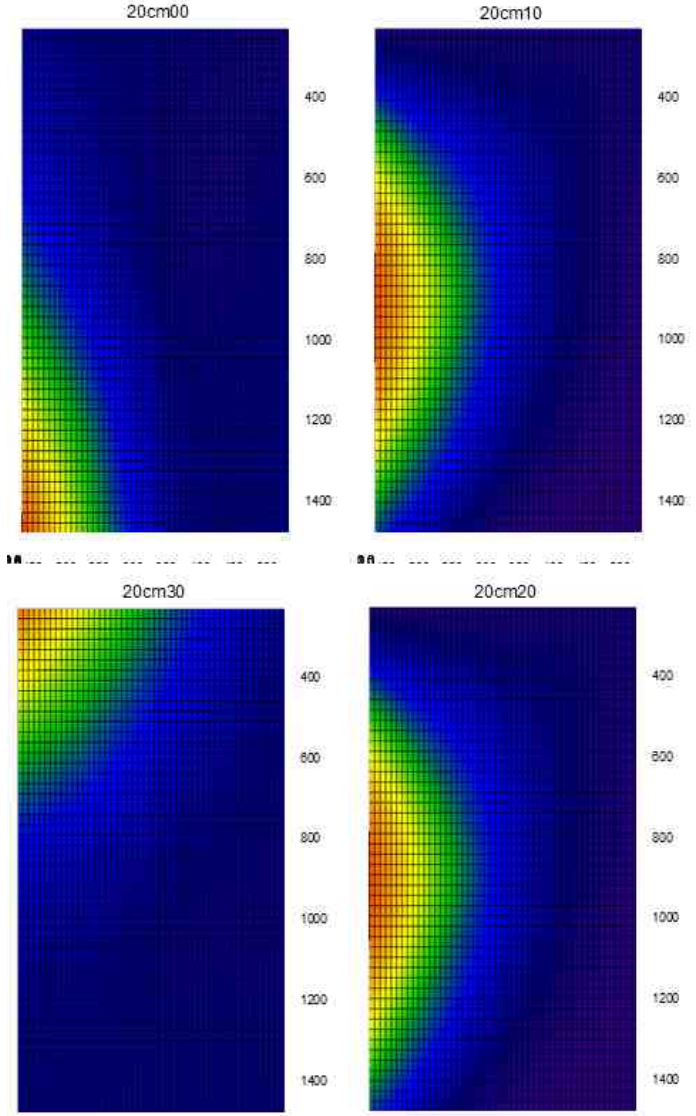


그림 2.9.42 20cm 시험결과 분석

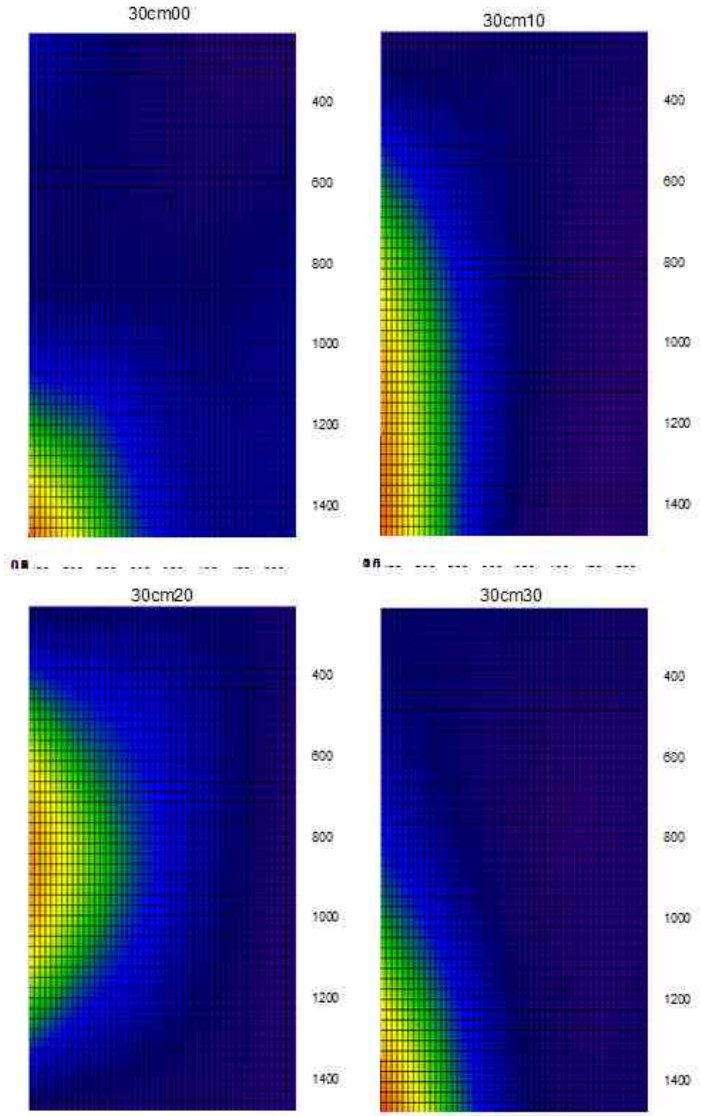


그림 2.9.43 30cm 시험결과 분석

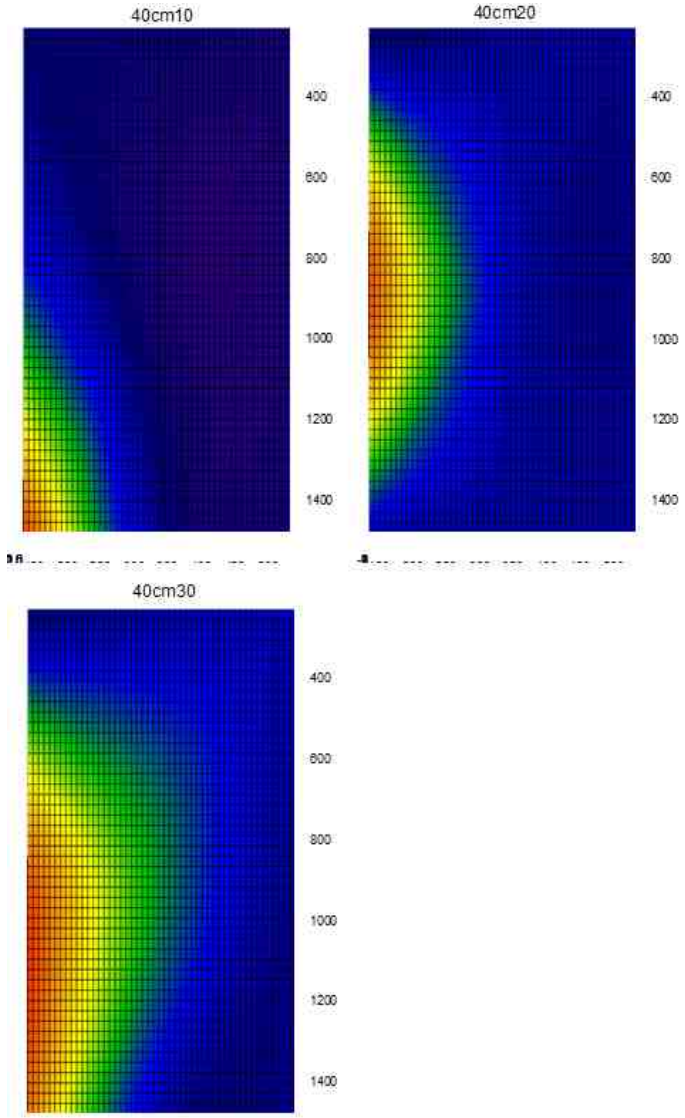


그림 2.9.44 40cm 시험결과 분석

(3) 10cm -에어커튼 X 측면 가이드 X 10°



그림 2.9.45 메탄올 착화 및 연기발생기 동작



그림 2.9.46 연기 가시화 장면



그림 2.9.47 연기 유동 (청정실 측)



그림 2.9.48 관측창을 통한 연기유동 관찰

(4) 10cm - 에어커튼 ○ 측면 가이드X 10°



그림 2.9.49 2차 시험 발화



그림 2.9.50 연기 일부 유입

(5) 20cm - 에어커튼 ○ 측면 가이드X 20°



그림 2.9.51 시험 준비



그림 2.9.52 관측 창에서의 장면



그림 2.9.53 청정실 측에서의 모습



그림 2.9.54 청정실 측에서의 모습

(6) 20cm - 에어커튼 ○ 측면 가이드X 30°



그림 2.9.55 연기 가시화 장면



그림 2.9.56 청정실 측에서의 모습



그림 2.9.57 청정실 측에서의 모습

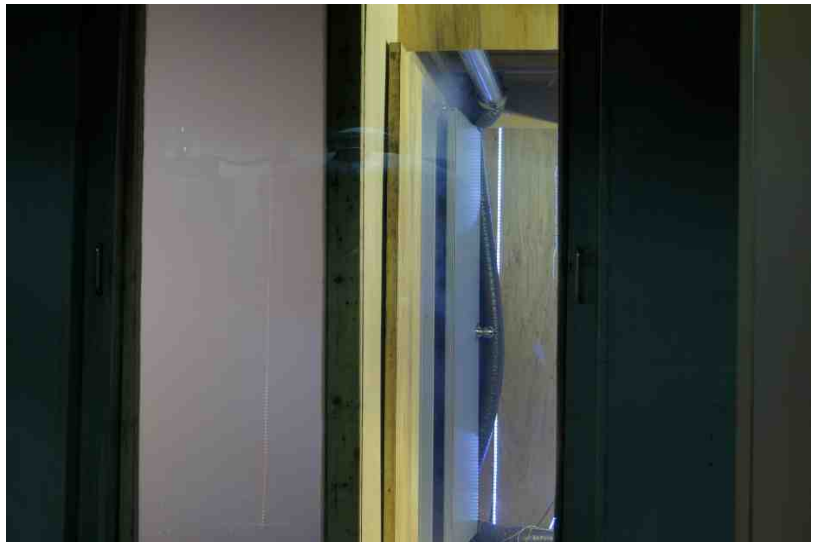


그림 2.9.58 관측 창에서의 모습

(7) 20cm - 에어커튼 ○ 측면 가이드 ○ 30°



그림 2.9.59 연기가시화를 위한 메탄올 화재 발생



그림 2.9.60 청정실 측에서의 모습



그림 2.9.61 관측 창에서의 모습

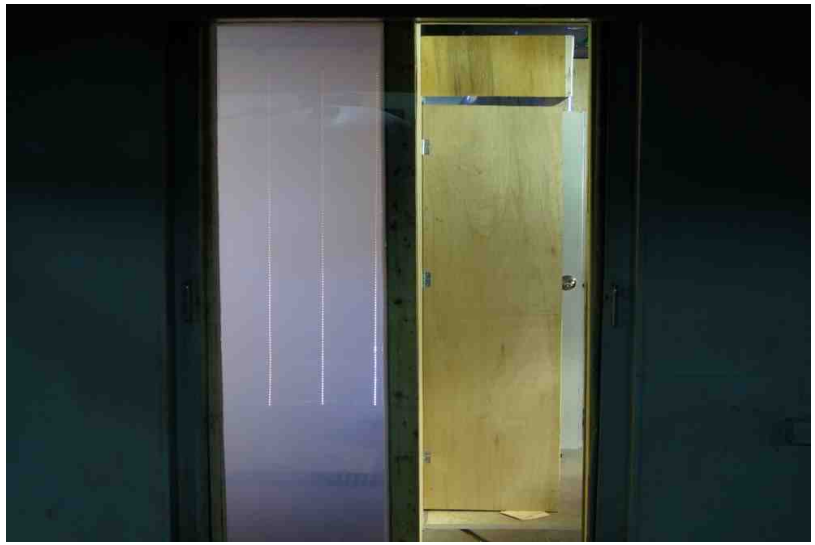


그림 2.9.62 관측 창에서의 모습



그림 2.9.63 청정실 측에서의 모습



그림 2.9.64 청정실 측에서의 모습

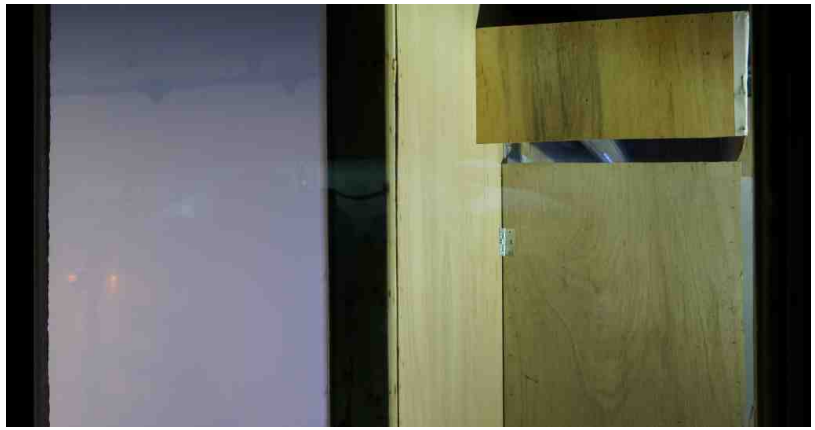


그림 2.9.65 연기실과 청정실의 비교

(8) 실험 결과 분석

본 실험에서 중요한 케이스는 가시화 실험이라 할 수 있다. 가시화실험은 10cm에서 에어커튼의 동작이 없는 경우와 동작한 경우, 20cm에서 20도로 기류를 분사한 경우, 20cm 에서 30도로 기류를 분사하고, 이에 추가적으로 측면 가이드와 문을 이용한 경우이다.

10cm거리에서 10도로 에어커튼을 동작한 경우 연기의 유입을 저지하는 데는 실패하는 것으로 보인다. 실제 많은 량의 연기가 유입되는 것으로 확인되었다.

그러나 20cm 20도와 30도에서는 어느 정도의 방호능력을 보여주었으며, 20cm 30도에서 측면 가이드와 문을 사용하여 양 측면으로의 기류분산을 막는 경우, 완전한 연기유입방지가 되는 것을 보여주었다.

결론적으로 에어커튼의 유속, 에어커튼 방사 각도와 거리의 조정에 의해 연기방호는 가능하며, 측면 가이드를 사용하는 경우에는 에어커튼만으로도 충분한 방연성능을 보여줄 수 있다는 사실을 알게 되었다.

(9) 차후 과제

본 실험을 통해 에어커튼을 사용하여 방연이 가능함을 보여주었다. 특히 측면 가이드의 사용으로 더욱 효과를 높일 수 있음을 알게 되었다. 하지만, 추가적인 세부 실험의 필요성이 제기되었으며, 화재 시 연기가 가지게 되는 압력에 대해 저지할 수 있는지 여부도 실제 화재실험을 통해 검증할 필요가 있다.

다음 년도에는 에어커튼의 방연성능에 대하여 유속과 각도에 대한 관계를 규명하고, 그리고 보다 넓은 문 (양개식 방화문)에 대한 적용성 등도 실험을 통해 검토해보아야 할 것이다.

또한 유속과 각도에 대한 부분을 명확히 하여, 공간형 차연도어 및 슬라이드식 차연도어에 대한 적용 시험도 수행할 예정이다.

3. 주요 시스템의 변화와 신규 시스템 도입

가. 피난안전구역 구현을 위한 시스템 변화

지하철 역사 및 터널 등의 피난안전구역을 겸용으로 만들기 위한 시스템의 구현에서, 초기 3가지 시스템을 제안하였다. 그러나 개발을 진행하면서 설계에 변화가 생기거나 추가 시스템의 필요성이 제안되었다.

(1) 공간형 차연도어

공간형 차연도어는 타용도로 사용되는 공간이 피난안전구역으로 전환되었을 경우 전실이 없어 외부로부터의 연기 유입에 대해 취약하다는 문제점을 보완하기 위해 제안되었다. 현재 공간형 차연도어는 원래의 목적에 부합하도록 설계가 진행되었다. 다만, 연기를 방호하기 위한 방법으로 차압을 형성하거나 방연풍속을 확보하는 사항에 대한 검토가 진행되었다. 1차년도 심사위원의 지적 등에 의해 방연풍속 확보에 더 무게가 실렸으며, 외부에서의 연기유입 방지를 위해 에어커튼을 활용하는 방안이 채택되었다.

본 연구의 결과 에어커튼의 방연능력이 어느 정도 입증된 바 이를 활용하게 되었다. 이로 인해 기존의 설정되었던 지표들은 재검토가 필요하게 되었으며, 방연풍속의 측정 등 시험기준에 관한 사항도 3차년도에 구성해야할 사항이 되었다.

- 3차 년도에는 에어커튼 통합 설치를 위한 실험 수행 및 성능시험 기준 마련이 추가되어야 한다.

(2) 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템

환기구 자동폐쇄 모듈 시스템의 경우 공간 내 기류 유입이 가능한 디퓨저 부분의 차단을 생각했었다. 그러나 연구 진행 및 관련 전문가들의 조언을 종합해보면, 일반적인 반자는 천장이 아니며, 실제 방호공간의 최상부는 천장부분 슬라브가 될 것으로 판단되었다. 결과적으로 구획 내부에 덕트가 들어오는 경우 덕트의 기밀성능이 충분하지 않거나, 고온의 연기유입으로 인해 열로 인한 변형이 있게 된다면, 디퓨저 부분에서 연기유입을 방호하는 것은 의미가 없게 된다. 즉 공간내부로 들어오는 연기를 차단하고자 한다면, 내화구조로 되어있는 벽이나 천장 관통부분에서 댐퍼 등으로 차단하는 것이 확실한 전략이 되는 것이다.

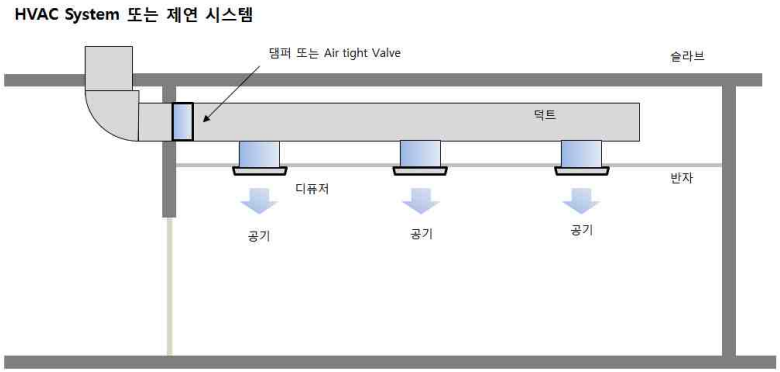


그림 2.9.66 안전구획의 구조



그림 2.9.67 실제 건물 반자 내부 상황

실제 건물의 내부에서 반자 상부를 보면 인접공간과의 구획이 잘 진행되지 않거나, 그냥 열려있는 경우도 있다. 그러므로 안전구역의 방호성능을 확보하기 위해서는 천장 상부 부분의 기밀성능에 대한 검증과 보완이 필요하며, 구획관통부에 대한 처리 및 덕트에 대한 방화댐퍼의 부착 등이 필수적인 상황이 될 것이다.

현재 방화댐터 (Fire Damper)는 시중에 많은 제품들이 있다. 이러한 댐퍼들에서 자동 및 수동조작이 가능한 다양한 댐퍼들이 있으므로, 이러한 제품을 구비하도록 하면 될 것이다. 다만, 이러한 댐퍼의 동작실패에 대비하여, 2차적 수단으로 디퓨저에서 연기유입을 방지하는 설비를 설치하는 것도 고려해볼 수 있다. 또한 디퓨저를 통한 연기유입방지는 수동 및 자동 모두 가능한 기능을 가져야 한다.

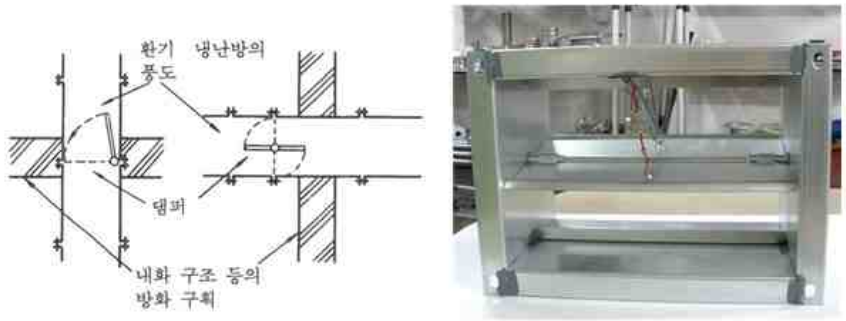


그림 2.9.68 방화 댐퍼에 의한 방화구획 및 실제 방화 댐퍼

■ 3차 년도에는 디퓨저를 통한 연기유입 방지 시스템의 시제품을 제작할 예정이다.

(3) 지능형 급기 네트워크 시스템

지능형 급기 네트워크 시스템은 건물 외부에서의 급기가압 등에 어려움이 있을 경우 연기가 확산되지 않은 타 구역의 공기를 자원화 한다는 개념이다. 이는 센서 네트워크와 자동댐퍼 등에 의해 구현될 수 있다. 이러한 시스템을 실제 건물에 설치하는 것은 막대한 비용이 소요되므로, Small Scale Test의 수행으로 그 효과에 대해 검토해볼 수 있다. 그러므로 Small Scale로 이러한 시스템의 검증이 가능한 시험장치를 구성하고 이를 통해 시스템의 효과를 검토해보아야 할 것이다.

■ 3차 년도에는 Small Scale Test 장치를 제작, 네트워크 시스템의 효과를 검토해 볼 예정이다.

나. 신규 시스템의 도입과 지적재산권 확보

연구의 진행 중 수행된 실험과 현장조사 결과에서 두 가지 새로운 시스템의 필요성이 제기되었으며, 이를 반영한 지적재산권 출원을 연구기간 내에 수행할 예정이다.

(1) 「측면 가이드가 구비된 방연용 에어커튼 시스템」

· 시스템의 목적

화재 발생 시 계단실 또는 피난안전구역 등 보호 공간 내부로의 연기의 유입을 방지해야한다. 화재 시 유입되는 연기를 방어하기 위해 연기방향의 반대방향에서의 공기
공급을 수행하여, 방연효과를 가져올 수 있으며, 이에 기존 에어커튼을 사용할 수 있으나, 에어

커튼에서 토출되는 공기는 문의 측면으로 퍼지는 특성이 있어, 문외 측으로 확산되는 기류를 열린 문과 측면가이드로 막아, 연기유입방지를 위한 에어커튼 사용에서 최대효과를 가져올 수 있다.

・종래기술의 문제점

- 보호 공간내부로 문을 통해 연기유입을 방지하기 위한 종래의 기술로서는, 문 자체의 방연성능을 확보하는 방안이 있다. 또한 계단실의 경우 부속실을 두어 화재가 발생한 복도 또는 거실과 계단실 사이 공간을 만들고 이 공간에 공기를 공급하여, 가압을 함으로써 문틈이나 문이 개방되었을 때 유입되는 연기를 방호한다.

- 현재의 방화문으로는 완전한 방연기능을 기대하기 어렵다. 방연성능 확보를 목적으로 하는 특수한 문의 제작은 가능하지만, 문 무게 증가로 인한 일상 사용의 불편함과 경제적 부담 등의 문제점이 있다.

- 보호공간과 화재발생 공간 사이에 부속실을 설치하고 가압하는 것은 새로운 부속실을 만들어야 하는 조건이 있고 전용의 가압시설을 구비해야 하여, 경제적 부담이 있다.

・발명(고안)의 구성 및 작용

(가) 발명은 그림 [D]의 에어커튼 및 상부 구조부와 [A]부분의 플립 가이드, [B]의 돌출 스토퍼, 그리고 [C]의 문 부착 플립가이드의 부분으로 구성되어 있다.

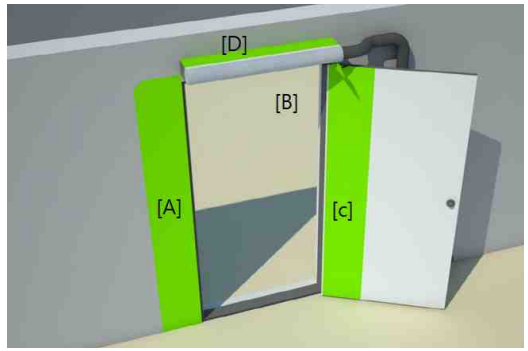


그림 2969 측면 가이드가 구비 된 방연용 에어커튼 시스템 평시 모습

(나) 화재발생 시 외부 신호에 의해 고정 장치가 해제되면서 [A]가 플립으로 전개되어 내측 벽과 90도 각도로 가이드를 형성하고, [B]의 스토퍼가 하부로 전개된다. 그 후 [C]가 플립으로 전개되는데, 내측 벽과 문의 각도가 90도 이하인 경우, 먼저 동작한 [B]로 인하여, [C]의 플립가이드는 내측 벽과 90도 각도를 형성하게 된다.

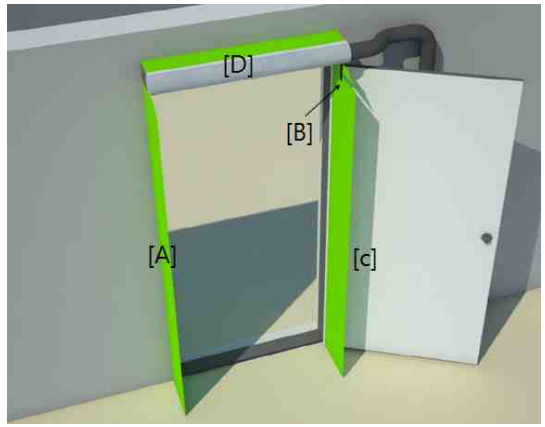


그림 2970 측면 가이드가 구비 된 방연용 에어커튼 시스템 동작 시 모습

(다) [B]와 [C]의 구조는 문이 개방되어 내측벽과의 각도가 90도 이하가 될 경우만 작동하며, 타 장치에 의해 개방된 문이 자동으로 닫히는 동작에 지장을 초래하지 않도록 한다.

(라) 가이드가 전개된 후 에어커튼이 동작하게 된다. 에어커튼은 측면에서 보았을 경우 방사

기류의 중심이 연기가 유입을 방호하기 위한 방향 쪽으로 이동하여 다음 그림과 같이 기류를 형성한다.

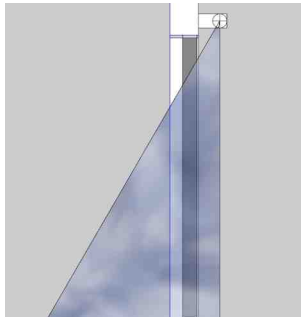


그림 2.9.71 에어커튼의 분사각도 조절

(마) 전개된 가이드로 인한 기류 형성의 변화는 다음 그림과 같다.



그림 2.9.72 측면가이드의 효과

(마) 화재 상황으로 동작신호가 지속되는 경우 문이 닫힌 경우에도 에어커튼은 동작하여, 문틈으로의 기류 유입을 방호한다.

(2) 「슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템」

현재 특별피난계단의 경우 부속실 구조가 있어 가압을 함을 통해 연기유입을 방지하는 에어록 구조를 가지고 있지만, 일반계단 또는 피난계단은 이러한 구조가 없다. 그러므로 화재발생 시 연기가 그대로 유입될 가능성이 매우 높다.

이러한 공간에 추가적인 방호조치가 필요할 경우 부속실 구조가 없는 계단 등의 계단실 출입문에 간이 부속공간을 형성하여 연기 유입을 방지하는 시스템이 필요하다.

본 「슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템」은 평상시에는 벽면에 부착되어 일상적인 계단의 이용에는 지장이 없으면서, 화재 시에 부속 공간을 형성하는 장치이다.

(가) 발명(고안)의 구성 및 작용

아래 그림 [1]에서와 같이 슬라이드 패널은 평시 벽에 부착되어 있다가, 화재 시 자동 또는 수동으로 레일을 타고 그림 [2]와 같이 이동하여, 그림 [3]과 같이 공간을 형성한다.

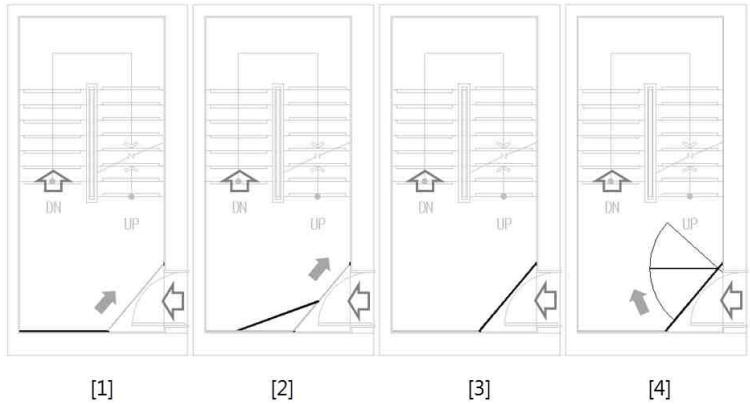


그림 2.9.73 슬라이드식 간이형 계단 부속 공간 시스템 동작원리

이동하게 되면 프레임과 천장구조와 밀착되면서 공간을 형성하게 된다. 이후 그림[4]에서와 같이 보조 문을 개방할 수 있어 유출입은 자유스럽다. 보조문은 자동으로 닫히는 구조이다.이 구조에서 천장부분과 프레임, 그리고 이동식 슬라이드 패널로 구성된 공간내부에는 외부급기형 에어커튼이 장착되어 압축공기 또는 계단실내 공기를 이용하여 공간내부를 가압함과 동시에 계단실로의 문을 통한 연기유입을 방호하게 된다.

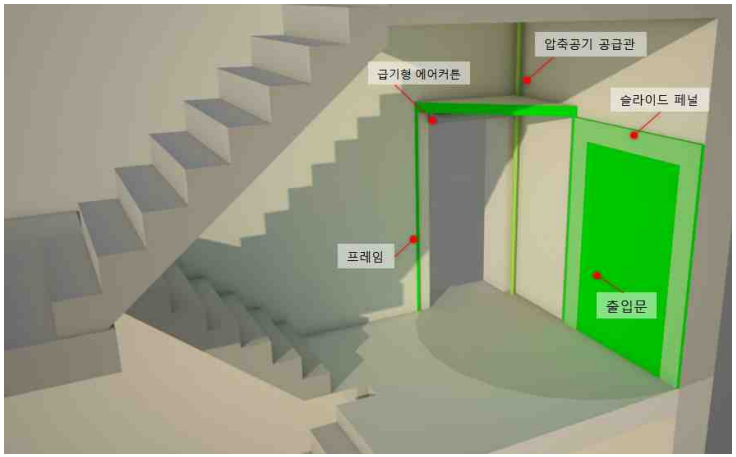


그림 2.9.74 슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템 구조

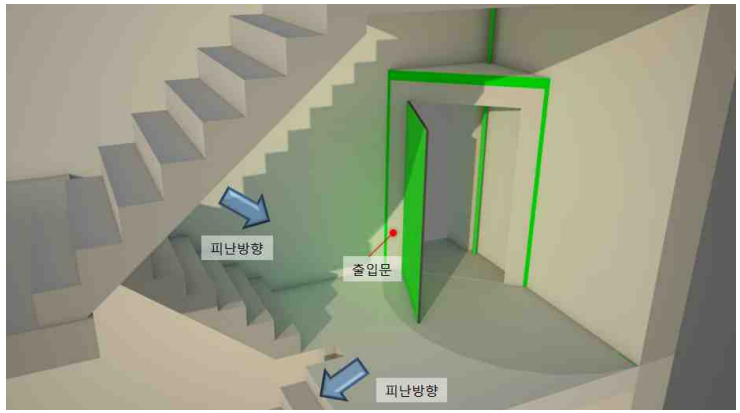


그림 2.9.75 슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템 동작

슬라이드 패널에 부착된 출입문은 피난방향 쪽으로 열리게 된다. 그 반대일 경우에 계단실 내 피난인들이 많으면 문을 열지 못할 가능성도 있다.

4. 공간형 차연도어 시스템 방연 모듈 시험 및 최적설계 수행

가. 연기유입 방지조건 설정을 위한 수치해석

(1) 안전구역 연기유입 방지를 위한 해석대상 검토

(가) 해석대상 검토

본 과제에서는 지하역사 화재시 발생하는 열유동에 의한 유동이 안전구역으로 유입되는 것을 방지하기 위해 열유동 해석을 수행하였으며, 여기서 얻어진 열유동 해석결과를 구조해석의 경계조건으로 사용하여 FSI(Fluid Structure Interaction) 해석을 하였다.

해석은 상대식 지하역사 승강장 지하철 1량에 전소에 대한 화재를 모사하였으며, 10MW에 준하는 화재에 대한 열유동해석을 수행하였다. 화재는 최고치 일 때 화재를 모사하여, 창문은 화재에 의하여 모두 파손되고 피난상황을 고려하여 객차 출입문은 모두 개방된 것으로 가정하였다.

화재에 의한 열유동해석 결과(온도분포 및 유압)는 구조해석의 경계조건으로 적용되었으며, 이에 따른 응력 및 변형률을 해석하였다.

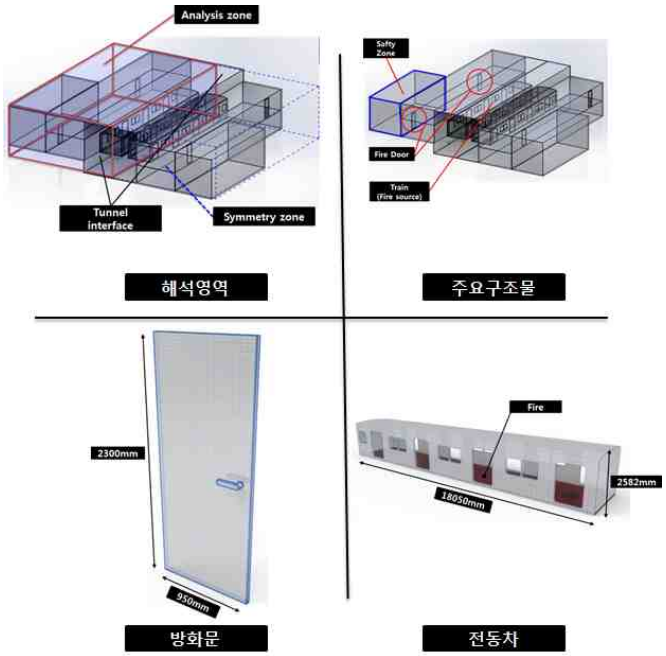


그림 2.9.76 해석영역 및 경계조건

상대식 승강장의 경우 좌우가 같은 형상이므로 절반만 모델링 하여 Symmetry Mirror 경계조건을 사용하였고, 터널부는 Tunnel Interface 조건으로 하였다. 안전구역으로 유입되는 출입구는 방화문이 설치되어 있으며, OPEN 및 CLOSE 상태에서의 유동해석을 수행하였다.

(2) 유동해석 결과

본 과제에서는 화원은 전동차 1량 전소를 기준으로 하였으며, 유체거동(온도, 속도, 유압, 유속벡터)를 결과값으로 분석을 수행하였다.

-방화문 개폐에 따른 유동분석
-제연설비는 미 가동으로 가정
-화재로 인하여 전동차 창문은 모두 파손된 것으로 가정
-피난상황을 고려하여 전동차 출입문은 모두 OPEN 된 것으로 가정
-전동차 재질: 알류미늄, 지하역사: 콘크리트, 방화문:스틸

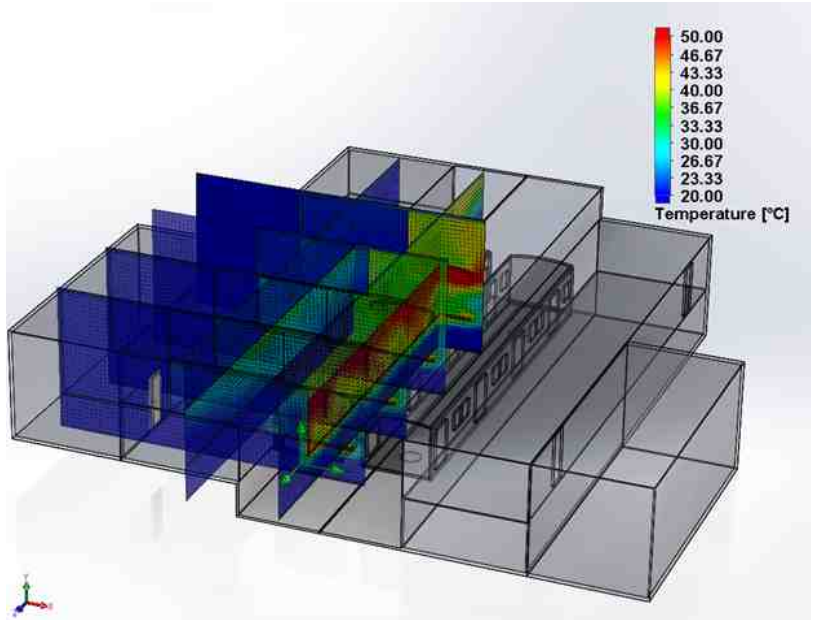


그림 2.9.77 유동해석 결과

① 전동차 화재로 인한 거동은 전동차 창문 및 객차 문을 통해 지하역사로 유입되며, 역사 천정을 따라 안전구역으로 거동하였으며, 방화문에 의해 안전구역으로의 침입이 차단되었다.

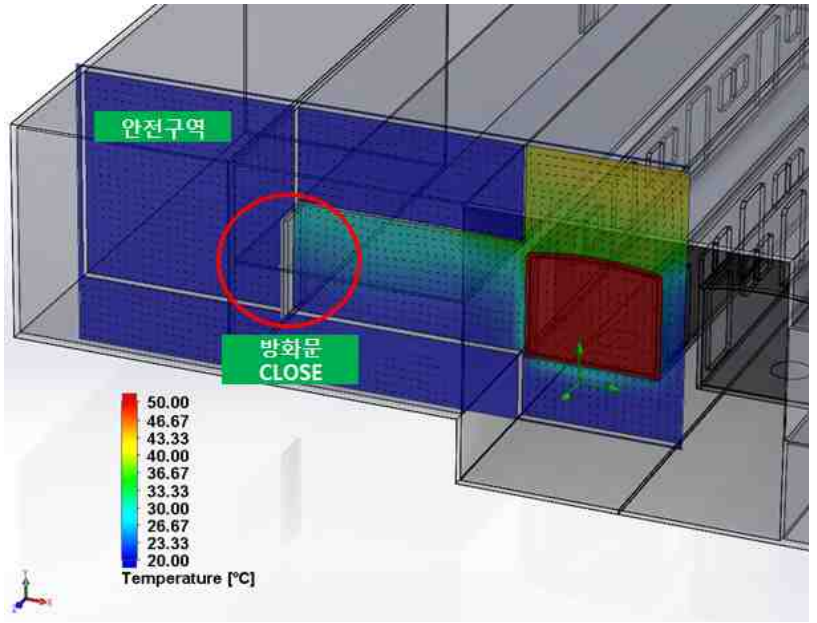


그림 2.9.78 방화문 CLOSE, 온도 및 속도벡터

② 방화문이 OPEN 되었을 경우 앞서 해석한 결과와 같이 전동차 창문 및 객차 문을 통해 지하역사로 유입되며, 역사 천정을 따라 안전구역으로 거동하였으며, 방화문이 열려진 곳을 통해 안전구역으로 유입되었다.

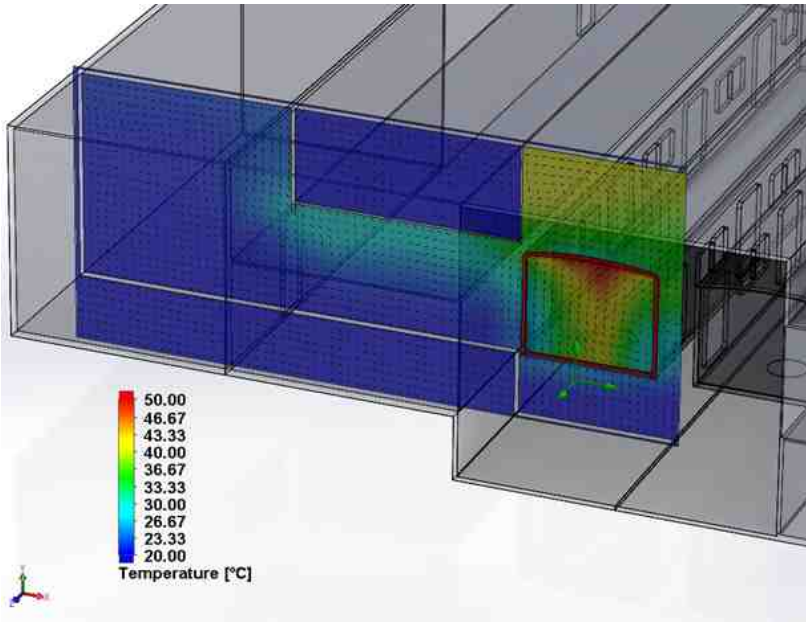


그림 2.9.79 방화문 OPEN, 온도 및 속도벡터

③ 방화문 중간을 기준(Z=1150mm)으로 하여 온도, 속도, 속도벡터의 분석을 수행하였다. 전동차 화재로 인하여 터널 및 역사내부, 안전구역으로 화재로 인한 열거동이 보이며, 방화문에 의해 유입이 차단되었다.

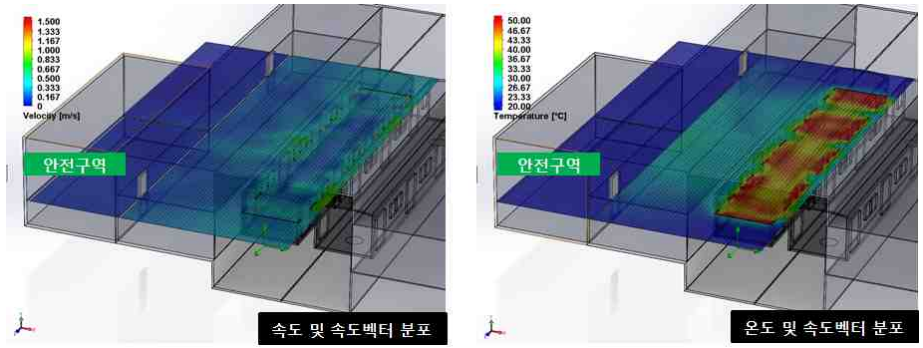


그림 2.9.80 방화문 CLOSE, 온도 및 속도벡터(Z=1150mm)

④ 방화문 중간을 기준(Z=1150mm)으로 하여 온도, 속도, 속도벡터의 분석을 수행하였다. 전동차 화재로 인하여 터널 및 역사내부, 안전구역으로 화재로 인한 열거동이 보이며, 방화문이 열려진 곳을 통해 안전구역으로 유입되었다.

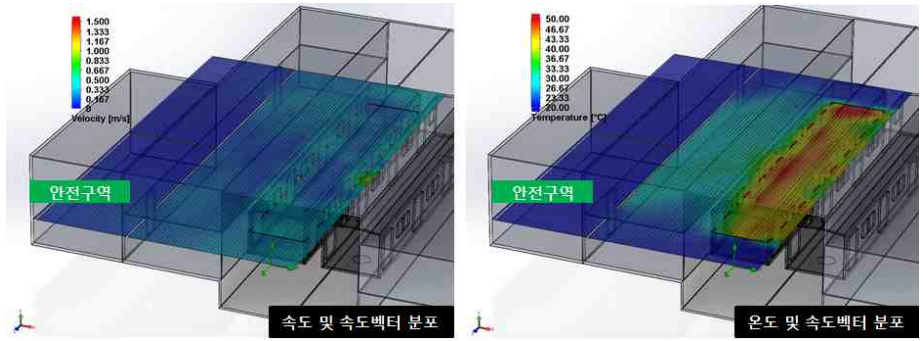


그림 2.9.81 방화문 OPEN, 온도 및 속도벡터(Z=1150mm)

(3) 유동해석결과를 활용한 구조해석 결과

본 과제에서는 열유동 해석결과를 구조해석의 경계조건으로 사용하여 FSI(Fluid Structure Interaction) 해석을 수행하였다. 재질은 아래표와 같이 설정하였으며, 분석은 화재유동에 의한 응력, 변형률, 변위 값을 분석하였다.

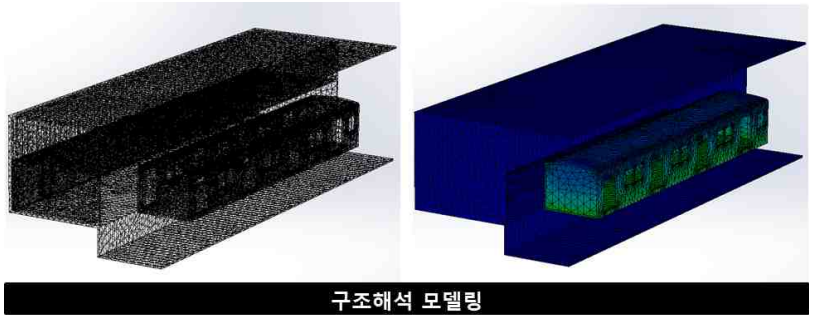


그림 2.9.82 구조해석 모델링

표 2.9.8 구조해석을 위한 재질조건

재질	Concrete	Aluminum	steel
Density(Kg/m^3)	1200	2688.9	7874
Specific heat(J/kg*k)	1000	902(300K) / 1180(900K)	447(300K) / 895(900K)
Melting temperature(℃)	-	933.4k	1811.2K
Thermal counductvity(w/m*k)	0.38	204	70

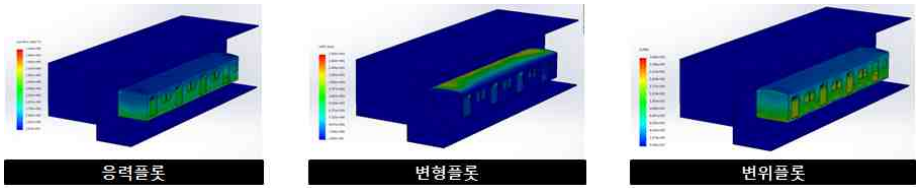


그림 2.9.83 FSI 구조해석 결과플롯

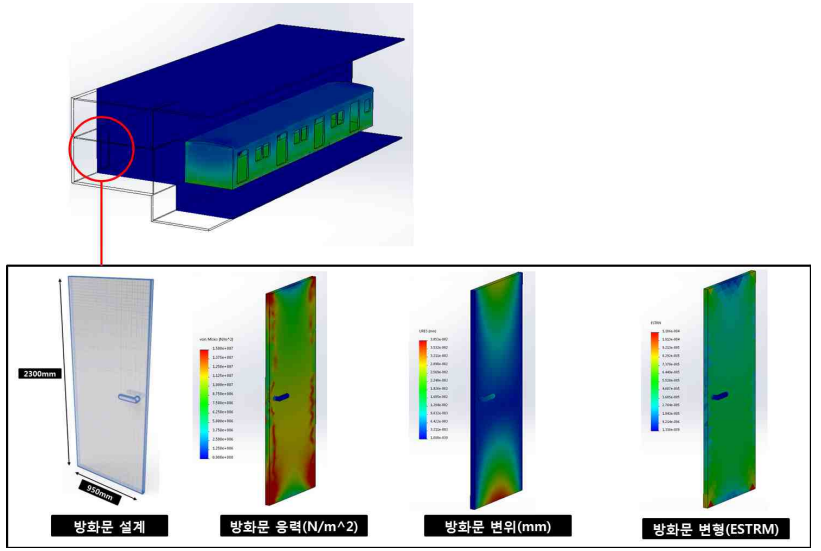


그림 2.9.84 방화문 FSI 구조해석 결과플롯

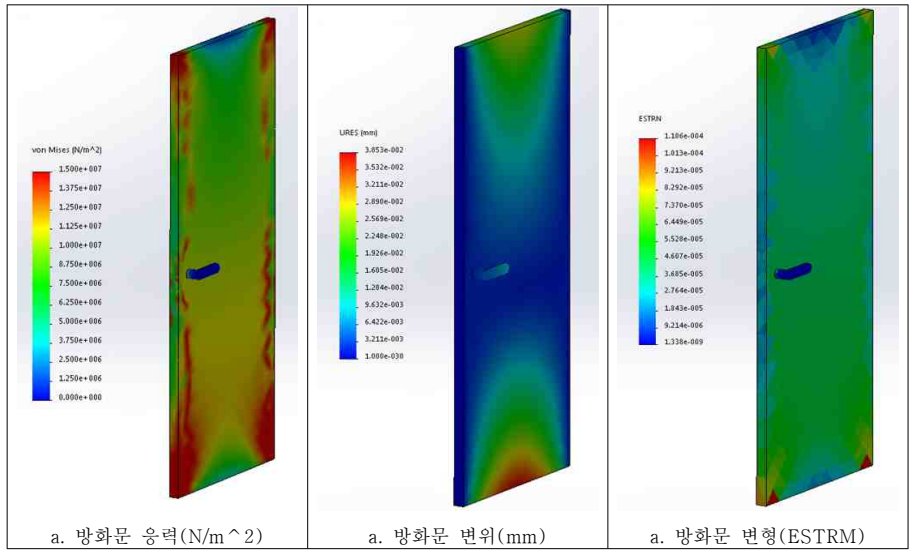


그림 2.9.85 방화문 FSI 구조해석 결과

① 응력(von mises)(N/m^2)

등가응력이라고도 하며, 외부로부터 힘이나 모멘트에 견디는 항복응력 분석에 사용한다. 방향을 취하지 않는 스칼라량 이며, 압축인지 인장인지는 판단하지 않는다.

해석결과 방화문 고정부에서 최대 응력이 발생하며, 상부보다는 하부쪽에 더 큰 응력이 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 화재로 인한 유입이 상부를 타고 바닥쪽에 영향을 주는 것으로 판단되며, 또한 화재방향으로 흡입되는 공기의 영향으로 분석되었다. 본 과제에서 사용된 방화문의 재질은 스틸로 설정하였으며, 이에따른 항복응력값은 2.92E+008 이므로 해석에서 측정된 최대응력인 1.5E+007 보다 약 20배 크므로 화재로 인해 방화문에 도달되는 열이나 유압에 안전한 것으로 분석되었다.

② 총변위(URES)(mm)

외력으로부터의 힘 및 모멘텀에 따른 변형 정도를 나타내며 인장 및 압축에 따른 구조물의 변형 정도를 분석한다.

해석결과 응력분석결과와 같이 하부쪽에서 변위가 더 많이 발생하였다. 본과제에서 사용된 방화문의 경우 최대 변위는 약 0.0038mm 로 전동차 화재에 의한 변형은 거의 없는 것으로 판단된다.

③ 변형(ESTRN)

초기위치에서 변형된 비율값으로 분석한다. 해석결과 앞서 분석한 결과와 같이 하부쪽에서 변형이 더 많이 발생하였다. 본 과제에서 사용된 방화분의 경우 최대 변형은 약 0.00016 으로 앞서 분석한 내용과 같이 전동차 화재에 의한 변형은 거의 없는 것으로 판단된다.

나. 공간형 차연도어 시스템 방연 모듈 최적설계

(1) 공간형 차연도어 노즐 해석대상 검토

(가) 해석대상 검토

본 과제에서는 공간형 차연도어 노즐 최적화를 통하여 균일한 유속배분을 위한 노즐 간격 및 크기를 결정한다.

① 노즐

노즐 정보는 다음과 같다.

○ 노즐의 규격

표 2.9.9 노즐 규격

항목	전체 길이	외부지름	내부지름	슬릿두께	슬릿너비	슬릿경계 너비
규격 (mm)	1200 (2200)	100	96	3	60	2.0



그림 2.9.86 노즐 외부



그림 2.9.87 노즐 내부



그림 2.9.88 내부 타공판

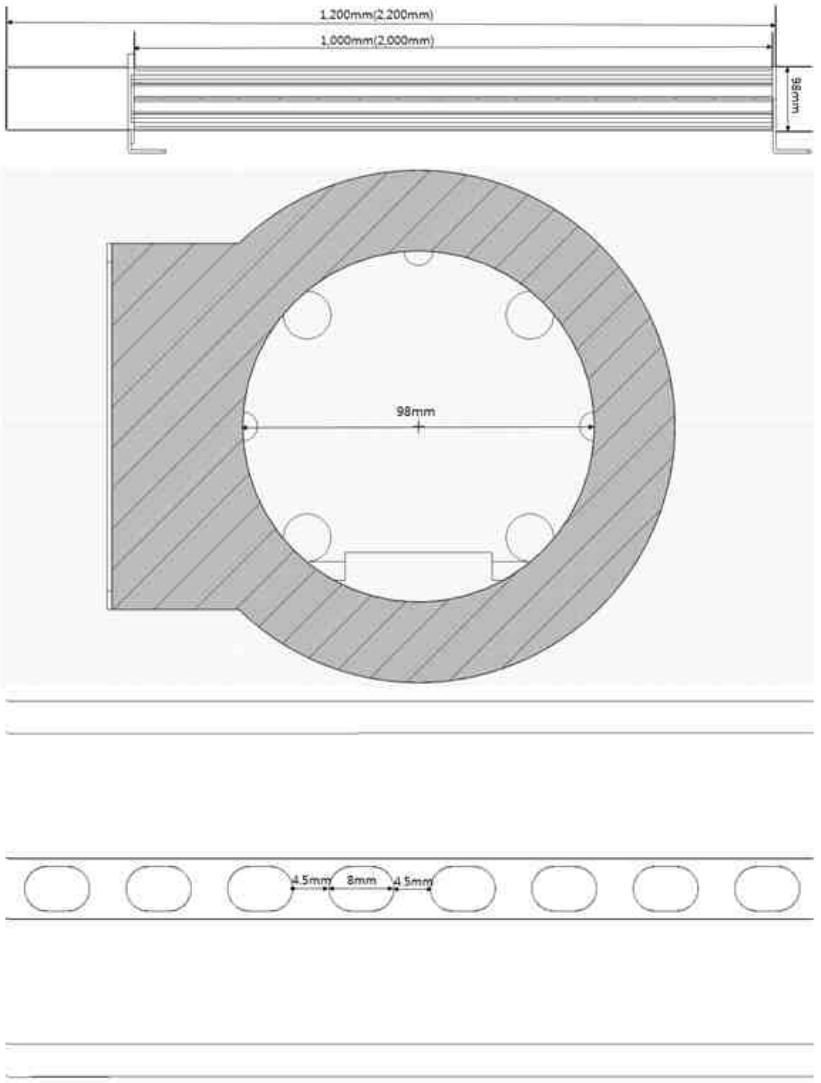


그림 2.9.89 노즐 Size

② 송풍기

송풍기의 풍량 및 P-Q curve는 다음과 같다.

○ 송풍 팬 규격

표 2.9.10 송풍기 제원

모델명	HARESUNG LK-803
STATIC PRESSURE	300mmAq
AIR FLOW	35m/min
OUTPUT	1.9 / 2.2kW
Hz	50 / 60



그림 2.9.90 송풍기

○ 송풍 P-Q Curve

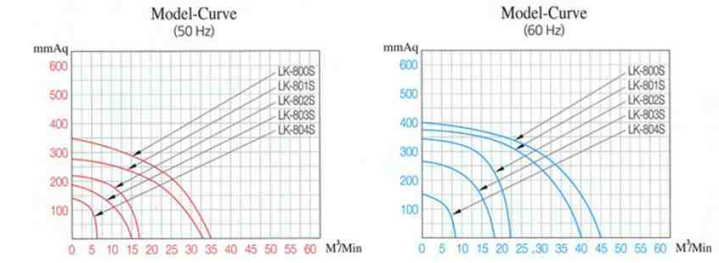


그림 2.9.91 P-Q Curve

(2) 공간형 차연도어 노즐 해석

(가) 해석대상 모델링

① 차연도어 노즐 모델링

차연도어 노즐의 균일 유속 분포를 분석하기 위해 다음과 같이 3D 모델링을 수행하였다.

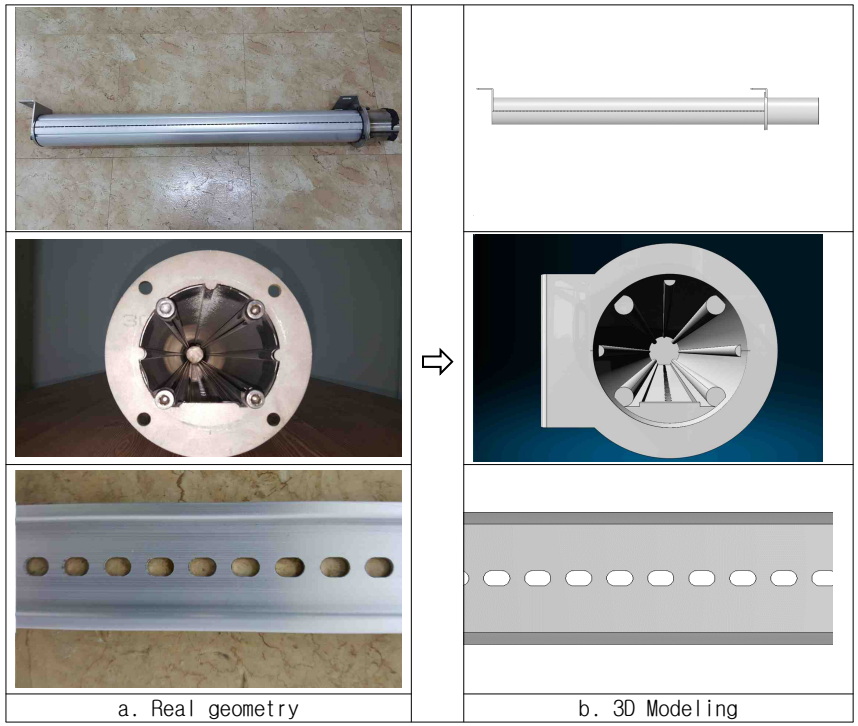


그림 2.9.92 노즐 3D Modeling

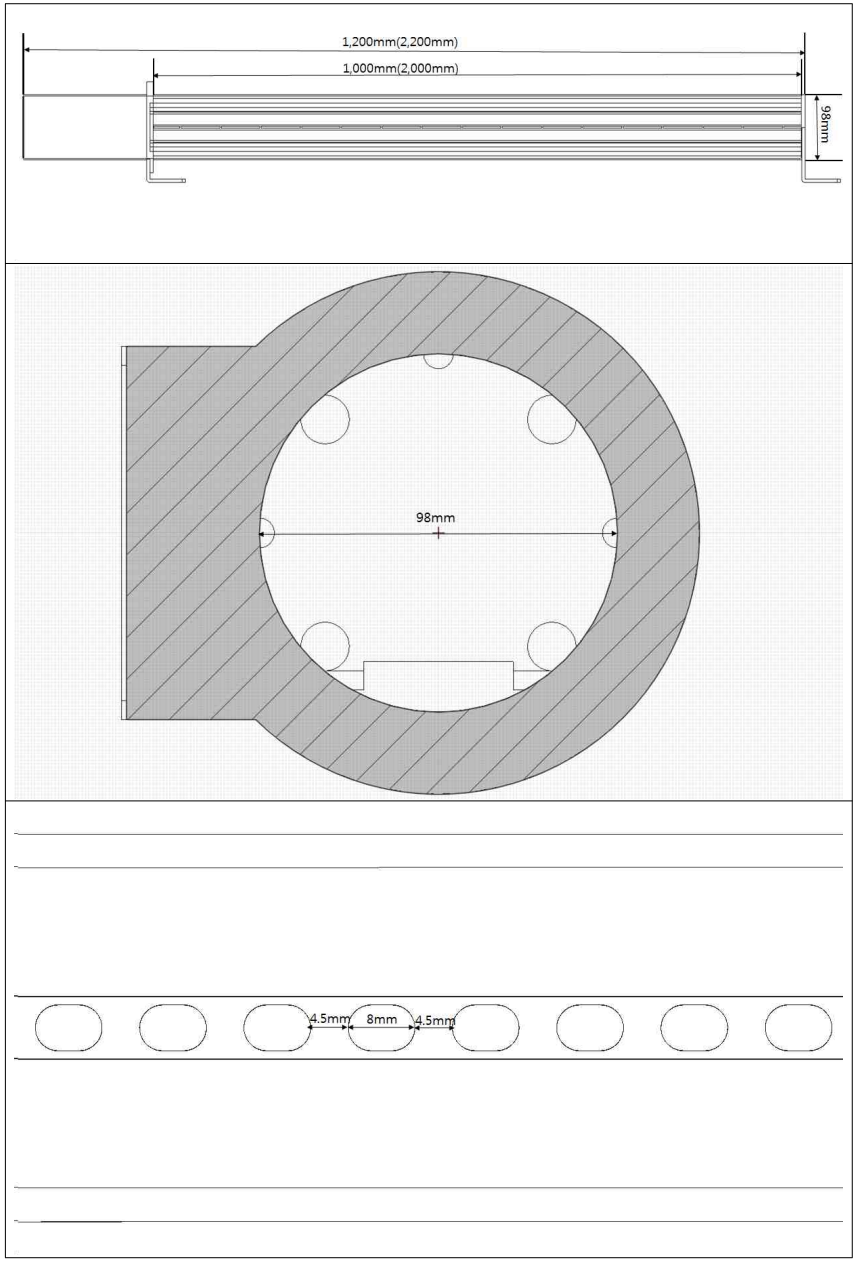


그림 2.9.93 차연도어 노즐 크기

(나) 격자 민감도(Mesh sensitivity)

① 격자 민감도 테스트 모델

○ 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.
슬릿: 두께 - 9.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.
내부 노즐: 없음.

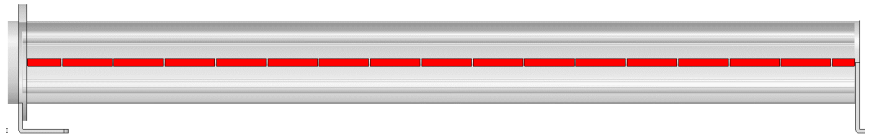


그림 2.9.94 격자 민감도 테스트 모델

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.
Static Pressure: 300mmAq.
Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s
Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.
경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 테스트 Case

격자 민감도 테스트를 위하여 4개의 Mesh level로 구분하여 슬릿에서의 유속 분포 경향을 검토하였다. 격자의 Level 수가 높아 질 수로 (Rough -> Fine) 격자가 조밀함을 의미 한다.

표 2.9.11 Mesh Level

Mesh Level	Mesh number
1	1,250,586
2	1,327,453
3	1,865,319
4	3,917,278

유속의 균일도는 아래의 그림과 같이 17개의 슬릿에서 나오는 속도를 검토하였다. 슬릿의 넘버링은 아래의 그림과 같다.

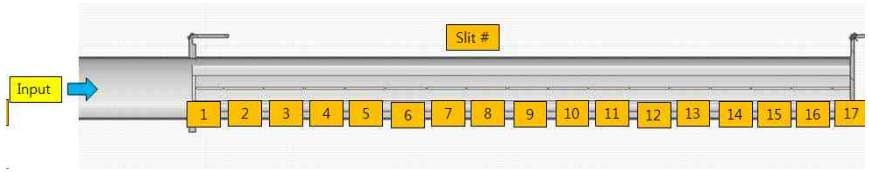


그림 2.9.95 유속 균일도 검토를 위한 Slit numbering

○ 해석결과

격자 민감도 분석을 위하여 격자를 4개의 레벨로 분리하여 17개의 슬릿에서 나오는 유속의 균일도로 평가하여 보았다. 표4와 그림15에서 보여주는 것과 같이 Level 1~4까지의 차이가 거의 없음을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 가장 격자가 조밀한 Mesh Level 4 수준으로 생성하여 해석을 진행하도록 하겠다.

표 2.9.12 격자 민감도 해석 결과

Mesh#/ Mesh Level	Velocity [m/s]				Relativeerror[%]{(Vslit#-Vaverage)/Vaverage}*100			
	1,250,586	1,327,453	1,865,319	3,917,278	1,250,586	1,327,453	1,865,319	3,917,278
	1	2	3	4	1	2	3	4
Slit 1	12.60411	12.84997	12.20238	12.4762	13.59374	13.59926	16.04733	15.24631
Slit 2	14.77488	15.10268	14.54785	14.72508	1.287787	1.547536	0.089545	0.030868
Slit 3	15.0046	15.19909	14.60452	14.77539	2.862636	2.195797	0.479425	0.372654
Slit 4	14.98192	15.21336	14.61254	14.86772	2.707119	2.291731	0.534606	0.999871
Slit 5	14.83183	15.16729	14.81282	14.78384	1.678184	1.981984	1.912551	0.430018
Slit 6	14.83667	15.20351	14.908	14.92383	1.711407	2.225544	2.567401	1.38103
Slit 7	14.75811	15.48515	14.82035	14.79481	1.172844	4.119248	1.964373	0.504566
Slit 8	15.03653	15.2971	14.91471	14.8531	3.081518	2.854809	2.613545	0.900558
Slit 9	14.65641	15.196	14.81172	14.90451	0.475667	2.175011	1.905006	1.249749
Slit 10	14.80939	15.12041	14.77423	15.02624	1.524368	1.666771	1.647044	2.076721
Slit 11	14.64308	15.01123	14.65063	14.93533	0.384245	0.932686	0.796696	1.459118
Slit 12	14.71934	15.01871	14.62857	14.78132	0.907061	0.982974	0.644925	0.4129
Slit 13	14.54077	14.56645	14.44739	14.64241	0.317135	2.057966	0.601599	0.530723
Slit 14	14.61013	14.81811	14.72827	14.95965	0.158347	0.365828	1.33086	1.624378
Slit 15	14.49933	14.76552	14.78638	15.15872	0.601205	0.719446	1.730642	2.976651
Slit 16	14.86909	14.98881	14.85353	15.22406	1.933629	0.781945	2.192649	3.420529
Slit 17	13.80331	13.82943	13.98827	14.41691	5.372731	7.013534	3.760335	2.062575
Average	14.58703	14.87252	14.53483	14.72054	2.33939	2.794828	2.40109	2.098778

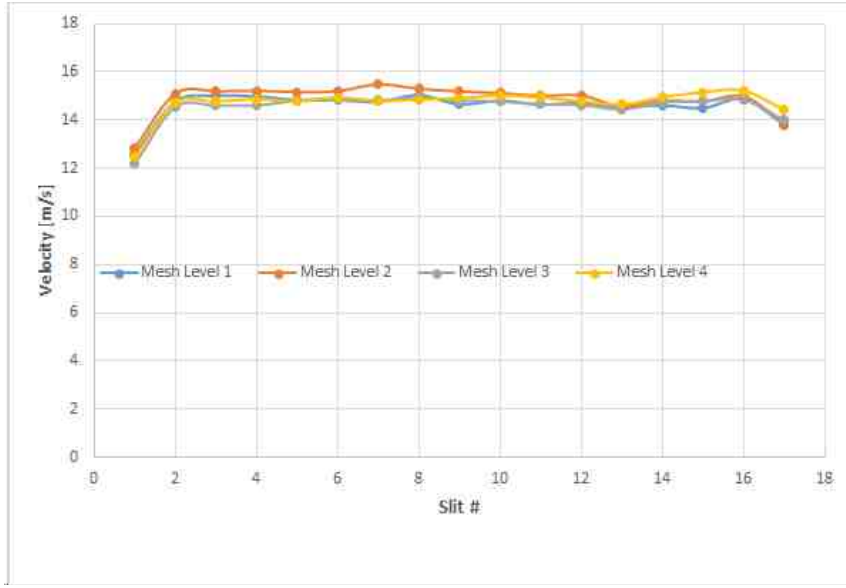


그림 2.9.96 격자 민감도(Slit 속도)

(다) 경계조건

송풍기 풍량이 아래그림과 같이 왼쪽 노즐 끝단에서 유입되며, 각각의 노즐은 대기압 조건으로 송풍기에서 유입된 노즐을 통하여 외부로 배출되는 것으로 설정하였다.

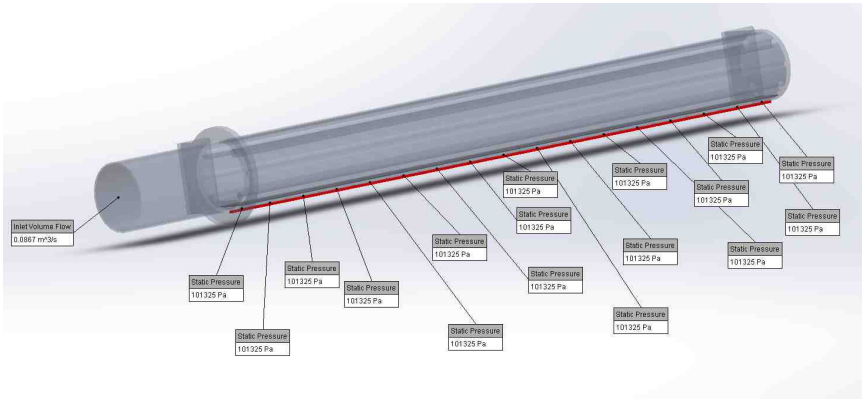


그림 2.9.97 노즐 경계조건

송풍기의 풍량은 ① - ⑭ 송풍기 P-Q 곡선의 유량을 사용하였다.

(라) 시뮬레이션 결과

① 초기 모델

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.

슬릿: 두께 - 9.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.

내부 노즐: 없음.

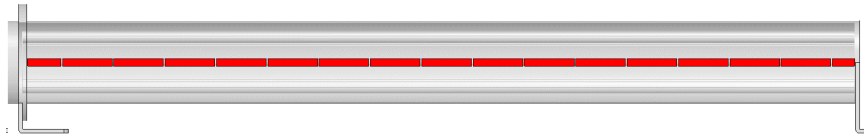


그림 2.9.98 초기 모델 노즐 형상

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.

Static Pressure: 300mmAq.

Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s

Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.

경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 결과

초기 모델을 대상으로 17개의 슬릿에서 나오는 유속 균일도를 검토하여 보았다. 가장 느린 유속은 공기가 유입되는 가장 가까운 곳에 위치한 1번째 슬릿에서 1.98m/s로 나타났으며, 평균유속은 12.487m/s이다. 현 모델에서 각각의 노즐의 평균 유속에 대한 상대오차는 최대 84%와 평균 상대오차는 14.9%로 균일도가 좋지 못한 것으로 나타났다. 표2.9.15 및 그림 2.9.91 참조. 슬릿에서의 유속 균일도 향상 을 위하여 중간 노즐에 형상을 추가하여 균일도가 향상될 수 있는지 검토가 필요하다.

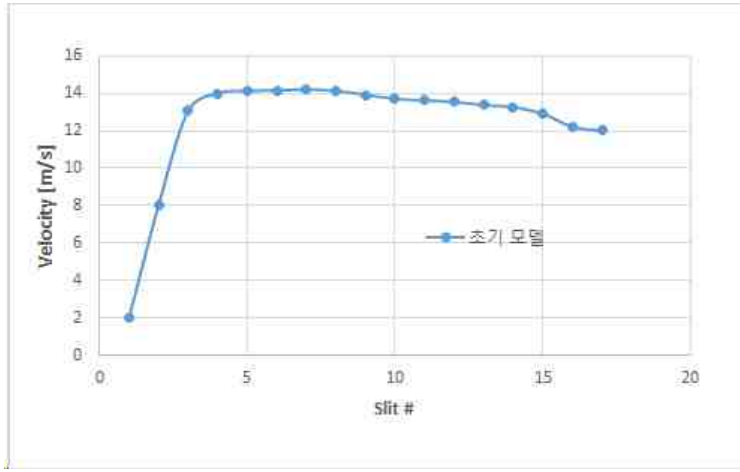


그림 2.9.99 초기 모델 슬릿 유속 분포

표 2.9.13 초기 모델 슬릿 유속 분포 및 상대 오차

	Velocity[m/s]	Relative error[%] {(Vslit#-Vaverage)/Vaverage}*100
Slit 1	1.983025135	84.118353
Slit 2	8.025363549	35.72648744
Slit 3	13.05448343	4.550715909
Slit 4	14.00305544	12.14763723
Slit 5	14.13655466	13.21680545
Slit 6	14.15484008	13.36324963
Slit 7	14.20926109	13.79909652
Slit 8	14.13527438	13.20655193
Slit 9	13.9250605	11.52299149
Slit 10	13.70983505	9.799294443
Slit 11	13.61736198	9.058696365
Slit 12	13.54588265	8.486232874
Slit 13	13.37113131	7.08668475
Slit 14	13.26433795	6.231398325
Slit 15	12.91673705	3.447533074
Slit 16	12.21058394	2.207904296
Slit 17	12.00378149	3.864143248
Average	12.48626881	14.81375153

② 송풍기 풍량에 따른 Slit 유속 균일도 검토

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.

슬릿: 두께 - 9.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.

○ 경계조건

① 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.

경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 Case

송풍기 풍량에 따른 유속 균일도 검토를 위하여 풍량을 8개 Case를 분리하여 비교 검토하였다.

표 2.9.14 송풍기 풍량

Case	$Q(m^3/min)$	$Q(m^3/s)$
Case1	2	0.0333
Case2	4	0.0667
Case3	5	0.0833
Case4	6	0.1
Case5	8	0.1333
Case6	10	0.1667
Case7	12	0.2
Case8	14	0.2333

○ 해석 결과

송풍기 풍량에 따라 Slit에서의 유속 균일도에 어떠한 영향을 미치는지 검토하기 위하여 풍량을 8개로 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다. 풍량 범위는 2[m3/min] ~ 14[m3/min]로 실제 송풍기에서 나올 수 있는 P-Q 곡선을 참조하였다. 해석 결과 풍량에 따라 Slit 유속의 경향은 크게 변화가 없으며, 매우 유사한 경향을 보였다. 전체 노즐의 평균유속을 기준으로 평균 상대오차는 Case1 ~ Case8에서 모두 1.10~1.20%로 거의 차이가 없음을 확인하였다. 송풍기가 차압에 따라 유량이 달라지지만 유량이 변화에도 Slit 유속 균일도에는 크게 영향이 없음을 확인하였다.

표 2.9.15 송풍기 풍량에 따른 유속

	Velocity[m/s]							
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
Slit 1	10.918	21.741	27.230	32.822	44.320	56.421	69.383	83.371
Slit 2	11.742	23.586	29.557	35.642	48.079	61.136	74.931	89.801
Slit 3	11.922	23.905	29.933	36.088	48.712	61.944	75.868	90.945
Slit 4	11.954	23.986	30.041	36.231	48.889	62.143	76.199	91.384
Slit 5	11.984	24.071	30.163	36.351	49.051	62.394	76.483	91.648
Slit 6	11.990	24.110	30.204	36.432	49.162	62.498	76.609	91.818
Slit 7	12.012	24.126	30.231	36.461	49.197	62.577	76.681	91.951
Slit 8	12.015	24.155	30.291	36.506	49.261	62.643	76.750	92.005
Slit 9	11.976	24.077	30.181	36.420	49.125	62.508	76.601	91.828
Slit 10	11.951	24.010	30.097	36.296	48.986	62.288	76.387	91.567
Slit 11	11.927	23.976	30.064	36.261	48.956	62.201	76.297	91.453
Slit 12	11.901	23.899	29.959	36.147	48.798	62.041	76.045	91.248
Slit 13	11.889	23.887	29.949	36.118	48.751	62.011	76.024	91.174
Slit 14	11.884	23.860	29.916	36.088	48.705	61.939	75.955	91.068
Slit 15	11.924	23.938	29.992	36.183	48.834	62.123	76.171	91.394
Slit 16	11.990	24.068	30.166	36.398	49.111	62.496	76.635	91.871
Slit 17	12.061	24.235	30.362	36.590	49.406	62.813	77.051	92.351
Average	11.885	23.861	29.902	36.061	48.667	61.893	75.886	90.993

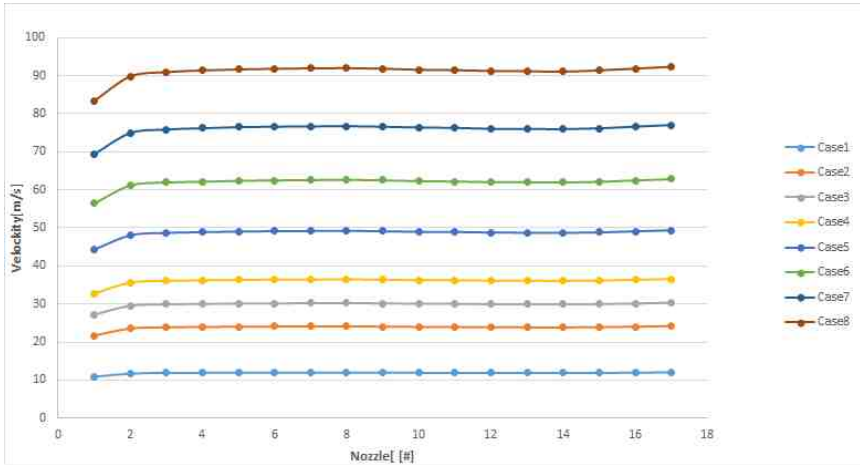


그림 2.9.100 송풍기 풍량에 따른 유속 분포

표 2.9.16 송풍기 풍량에 따른 유속의 상대오차

	Relative error[%] {($V_{slit\#}$-$V_{average}$)/$V_{average}$}*100							
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
Slit 1	8.132	8.883	8.937	8.982	8.932	8.841	8.570	8.376
Slit 2	1.202	1.152	1.154	1.161	1.208	1.223	1.259	1.310
Slit 3	0.313	0.188	0.104	0.076	0.092	0.083	0.024	0.053
Slit 4	0.583	0.524	0.464	0.473	0.455	0.405	0.411	0.429
Slit 5	0.835	0.881	0.873	0.804	0.789	0.809	0.786	0.721
Slit 6	0.888	1.044	1.011	1.029	1.016	0.978	0.953	0.907
Slit 7	1.074	1.113	1.099	1.110	1.088	1.105	1.047	1.053
Slit 8	1.093	1.236	1.300	1.235	1.219	1.213	1.138	1.112
Slit 9	0.769	0.909	0.934	0.995	0.941	0.994	0.941	0.918
Slit 10	0.555	0.627	0.652	0.652	0.655	0.639	0.660	0.630
Slit 11	0.356	0.484	0.540	0.555	0.593	0.498	0.541	0.505
Slit 12	0.133	0.159	0.191	0.238	0.270	0.240	0.209	0.281
Slit 13	0.133	0.159	0.191	0.238	0.270	0.240	0.209	0.281
Slit 14	0.002	0.001	0.045	0.075	0.077	0.074	0.091	0.082
Slit 15	0.332	0.323	0.300	0.340	0.343	0.372	0.375	0.441
Slit 16	0.886	0.871	0.884	0.934	0.911	0.975	0.986	0.965
Slit 17	1.481	1.569	1.538	1.466	1.519	1.486	1.534	1.493
Average	1.104	1.184	1.189	1.198	1.199	1.187	1.161	1.151

③ 중간 노즐 영향 검토(Slit Thickness:9.0mm)

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.
슬릿: 두께 - 9.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.
Static Pressure: 300mmAq.
Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s
Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.
경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 Case
중간 노즐의 형상을 추가하여 4가지 Case를 분리하여 비교 검토하였다.

표 2.9.17 중간 노즐 검토를 위한 Test Case(Slit Thickness:9mm)

Case #	중간 슬릿 형상
Case1	없음
Case2	중앙을 기준으로 좌/우 각각 3.75mm 폭으로 뚤림
Case3	중간 노즐 중앙에 타공(타공 간격 넓음[그림 참조])
Case4	중간 노즐 중앙에 타공(타공 간격 좁음[그림 참조])

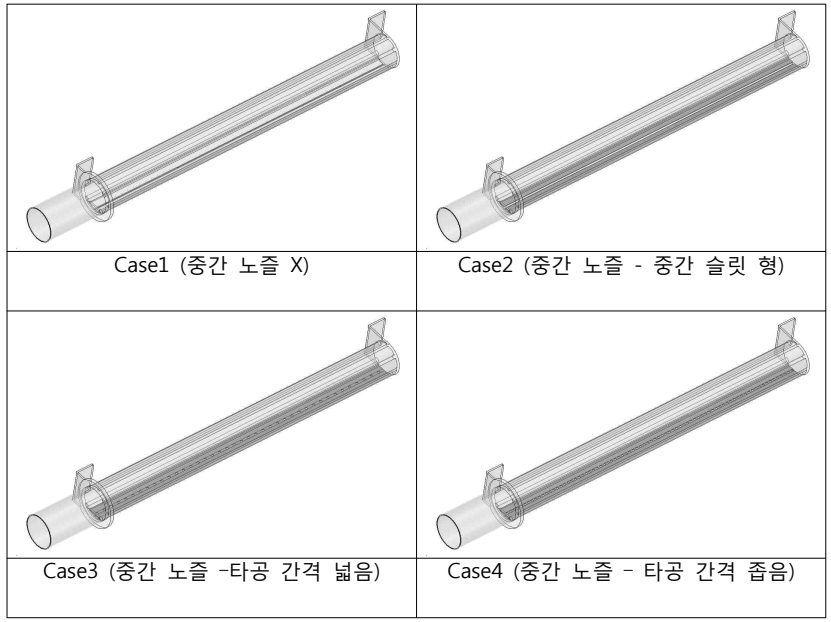


그림 2.9.101 중간 노즐 검토를 위한 Test Case 형상 I(Slit Thickness:9.0mm)

○ 해석 결과

슬릿에서 나오는 유속 균일도를 향상시킬 수 있는 대안으로 중간 노즐을 추가 방법으로 시뮬레이션을 수행하였다. 중간 노즐이 없는 경우(Case1), 중간 노즐이 slit 형상(Case2), 중간 노즐에 타공 I(Case3) 및 중간 노즐에 타공 II(Case4)에 대하여 해석을 수행하였다. 해석 결과 슬릿의 유속 균일도는 Case4 > Case2 > Case1 > Case3로 나타났다. 오히려 타공 사이의 간격이 좁지 않을 경우(Case3) 오히려 중간 노즐이 없는 경우(Case1) 보다 균일도가 좋지 못할 수 있음을 확인할 수 있었다. 전체 노즐의 평균유속을 기준으로 평균 상대오차는 Case1: 14.9%, Case2: 12.6%, Case3: 17.4% & Case4:2.1%로 나타났다. 중간 노즐에 간격이 조밀하게 타공을 하는 것이 각각의 슬릿에서 유량이 균일해 짐을 확인할 수 있었다. 그러나 실제 제품를 제작할 때 타공판의 간격이 너무 근접할 경우 발생할 수 있는 강도의 문제 및 제작 자체의 어려움을 고려할 필요가 있다. 표2.9.20과 그림2.9.94은 중간 노즐에 대한 해석 결과를 보여주고 있다. 송풍기 방향의 첫 번째 Slit의 상대오차가 15.2%로 다른 Slit의 오차에 비해 너무 크기 때문에 이에 대한 보완과 평균 상대오차를 좀 더 줄일 수 있는 대안으로 Slit의 두께에 따른 유속 균일도 검토가 필요하다고 판단된다.

표 2.9.18 중간노즐 영향에 따른 유속 균일도 결과 및 상대 오차(Slit t:9.0mm)

	Velocity[ms/]				Relative error[%]{(Vslit#-Vaverage)/Vaverage}*100			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Slit 1	1.983	3.477	17.666	12.476	84.118	72.591	19.994	15.246
Slit 2	8.025	10.951	11.487	14.725	35.726	13.667	21.980	0.031
Slit 3	13.054	13.905	17.290	14.775	4.551	9.626	17.436	0.373
Slit 4	14.003	14.587	11.643	14.868	12.148	15.003	20.916	1.000
Slit 5	14.137	14.579	17.434	14.784	13.217	14.933	18.415	0.430
Slit 6	14.155	14.450	11.638	14.924	13.363	13.919	20.948	1.381
Slit 7	14.209	14.324	17.372	14.795	13.799	12.929	17.995	0.505
Slit 8	14.135	14.070	11.617	14.853	13.207	10.927	21.093	0.901
Slit 9	13.925	13.766	17.530	14.905	11.523	8.529	19.072	1.250
Slit 10	13.710	13.520	11.811	15.026	9.799	6.584	19.776	2.077
Slit 11	13.617	13.367	17.766	14.935	9.059	5.379	20.671	1.459
Slit 12	13.546	13.228	11.673	14.781	8.486	4.288	20.712	0.413
Slit 13	13.371	13.014	17.484	14.642	7.087	2.598	18.753	0.531
Slit 14	13.264	12.838	13.718	14.960	6.231	1.213	6.823	1.624
Slit 15	12.917	12.320	16.830	15.159	3.448	2.876	14.311	2.977
Slit 16	12.211	11.686	14.548	15.224	2.208	7.871	1.185	3.421
Slit 17	12.004	11.552	12.777	14.417	3.864	8.924	13.215	2.063
Average	12.486	12.684	14.723	14.721	14.814	12.462	17.253	2.099

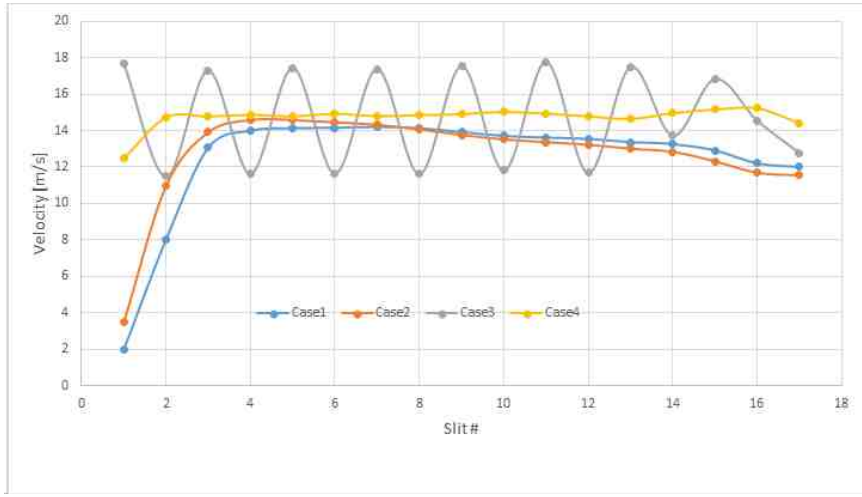


그림 2.9.102 중간노즐 영향에 따른 유속 균일도 결과(Slit Thickness:9.0mm)

④ Slit 두께 영향 검토

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.
슬릿: 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.
중간 노즐: 없음

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.
Static Pressure: 300mmAq.
Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s
Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.
경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 Case

슬릿 두께를 4가지 구분하여 비교 검토하였다.

표 2.9.19 슬릿 두께에 따른 균일도 검토를 위한 Test Case

Case #	슬릿 두께 [mm]
Case1	3.0
Case2	5.0
Case3	6.0
Case4	9.0

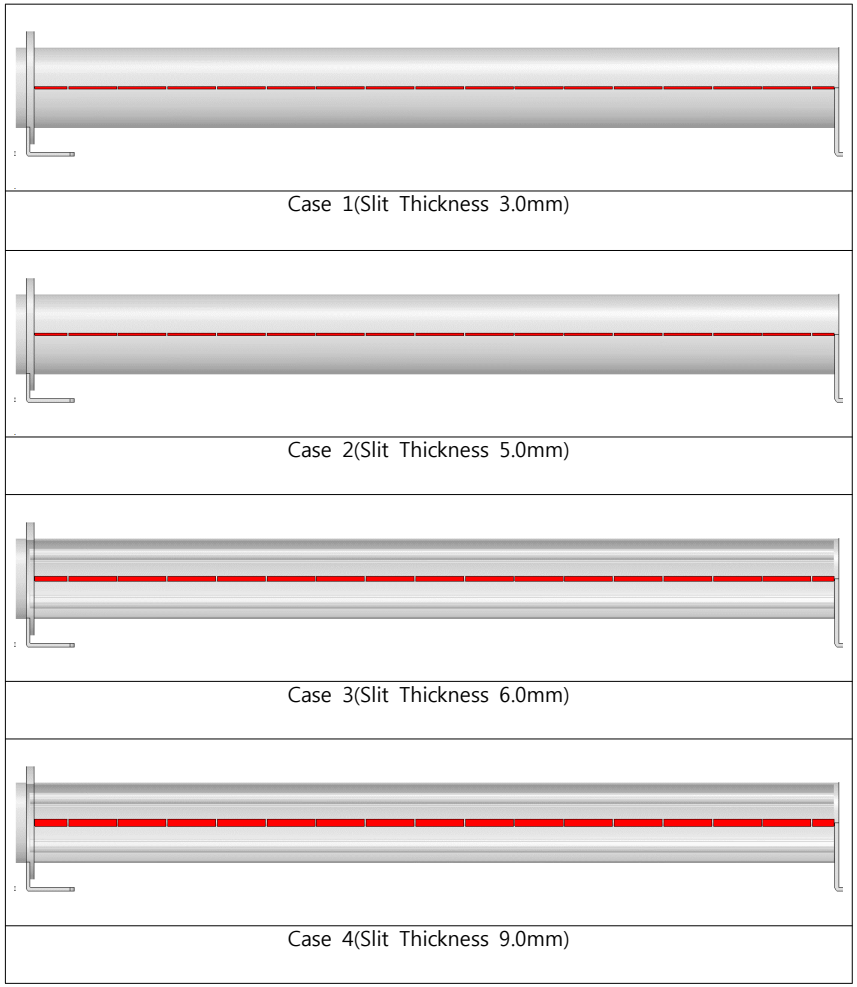


그림 2.9.103 슬릿 두께에 따른 균일도 검토를 위한 Test Case Geometry

○ 해석 결과

Slit에서 나오는 유속 균일도를 향상시킬 수 있는 Slit 두께를 변경하여 시뮬레이션을 수행하였다. Slit 두께가 3.0mm(Case1), Slit 두께가 5.0mm(Case2), Slit 두께가 6.0mm(Case3) & Slit 두께가 9.0mm(Case4)에 대하여 해석을 수행하였다. 해석 결과 슬릿의 유속 균일도는 Case1 > Case2 > Case3 > Case4 순서로 나타났다. Slit의 두께가 좁을수록 유속의 균일도가 향상됨을 확인하였다. 전체 노즐의 평균유속을 기준으로 평균 상대오차는 Case1: 1.6%, Case2: 3.9%, Case3: 5.5% & Case4: 14.9%로 Case1이 Case4에 비해 약 11배 정도 향상되었다. Slit의 두께 역시 실제 제품를 제작이 가능한 범위 내에서 시뮬레이션을 진행하였으며, Slit의 두께가 3.0mm 정도일 때 균일도를 크게 향상 시킬 수 있음을 확인하였다. 표2.9.22와 그림2.9.96은 Slit 두께에 따른 Slit 유속 균일도의 해석 결과를 보여주고 있다. 이 결과에 근거하여 Slit의 두께를 3mm로 고려하여 ㉯에서 수행된 중간 노즐 영향 검토를 다시 수행하여 유속 균일 검토가 필요하다고 판단된다.

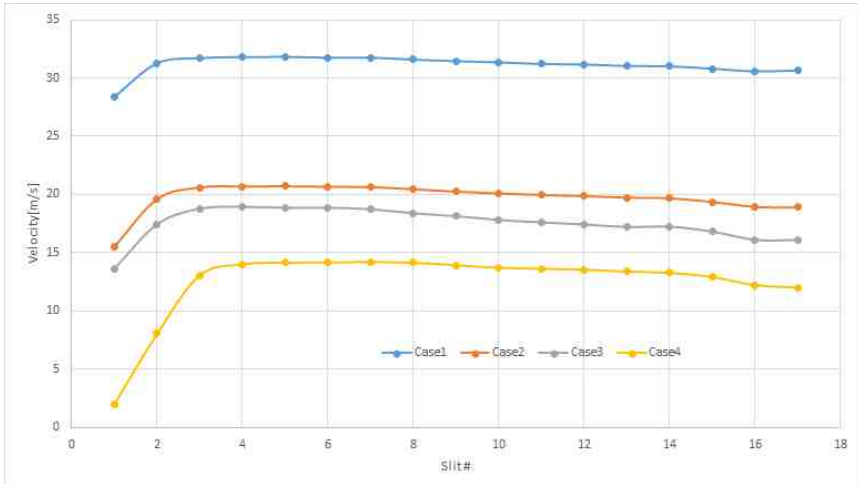


그림 2.9.104 Slit 두께에 따른 유속 분포

표 2.9.20 Slit 두께에 따른 유속 분포 및 상대오차

	Velocity[ms/]				Relative error[%] {(Vslit#−Vaverage)/Vaverage}*100			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Slit 1	28.392	15.498	13.636	1.983	8.819	21.488	22.230	84.118
Slit 2	31.275	19.596	17.444	8.025	0.441	0.728	0.511	35.726
Slit 3	31.713	20.605	18.785	13.054	1.848	4.385	7.136	4.551
Slit 4	31.803	20.693	18.937	14.003	2.138	4.828	8.005	12.148
Slit 5	31.818	20.710	18.853	14.137	2.185	4.914	7.523	13.217
Slit 6	31.753	20.670	18.861	14.155	1.976	4.715	7.567	13.363
Slit 7	31.761	20.628	18.737	14.209	2.002	4.501	6.859	13.799
Slit 8	31.574	20.449	18.392	14.135	1.401	3.594	4.895	13.207
Slit 9	31.451	20.236	18.140	13.925	1.006	2.516	3.457	11.523
Slit 10	31.351	20.092	17.820	13.710	0.686	1.782	1.632	9.799
Slit 11	31.211	19.952	17.602	13.617	0.235	1.073	0.387	9.059
Slit 12	31.165	19.859	17.422	13.546	0.087	0.601	0.637	8.486
Slit 13	31.037	19.730	17.208	13.371	0.324	0.049	1.856	7.087
Slit 14	31.008	19.674	17.235	13.264	0.417	0.334	1.704	6.231
Slit 15	30.799	19.359	16.811	12.917	1.088	1.931	4.122	3.448
Slit 16	30.574	18.933	16.102	12.211	1.812	4.086	8.167	2.208
Slit 17	30.656	18.892	16.090	12.004	1.546	4.295	8.235	3.864
Average	31.138	19.740	17.534	12.486	1.648	3.872	5.584	14.814

⑤ 중간 노즐 영향 검토(Slit Thickness:3.0mm)

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.

슬릿: 두께 - 3.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.

Static Pressure: 300mmAq.

Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s

Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 17개.

경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 Case

중간 노즐의 형상을 추가하여 4가지 Case를 분리하여 비교 검토하였다.

표 2.9.21 중간 노즐 검토를 위한 Test Case(Slit Thickness:3mm)

Case #	중간 슬릿 형상
Case1	없음
Case2	중앙을 기준으로 좌/우 각각 3.75mm폭으로 뚤림
Case3	중간 노즐 중앙에 타공(타공 간격 넓음[그림 참조])
Case4	중간 노즐 중앙에 타공(타공 간격 좁음[그림 참조])

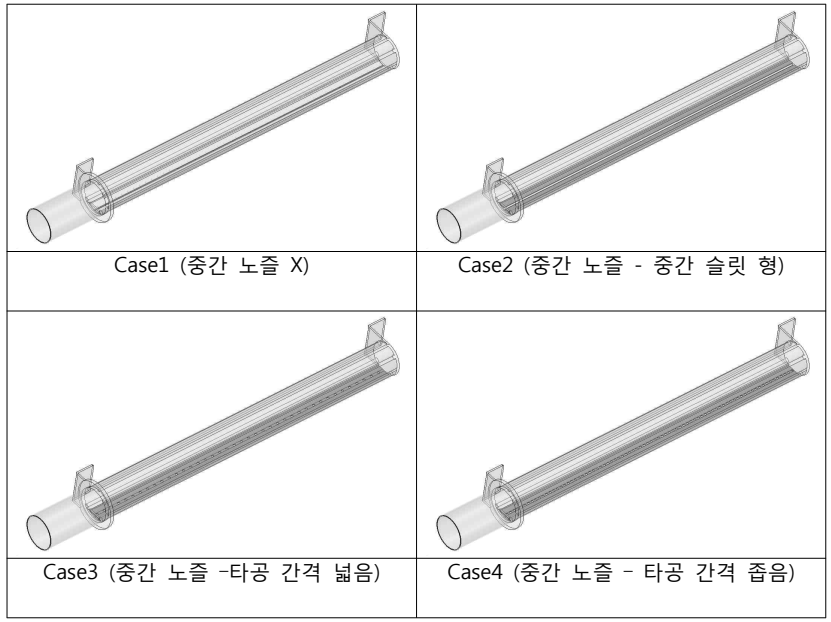


그림 2.9.105 중간 노즐 검토를 위한 Test Case 형상(Slit Thickness:3.0mm)

○ 해석 결과

슬릿에서 나오는 유속 균일도를 향상시킬 수 있는 대안으로 중간 노즐의 영향 평가를 ㉰에서 수행하였으며, 중간 노즐의 형상에 따른 영향이 매우 크게 나타남을 확인하였다. 또한 Slit이 두께에 따른 영향 검토를 ㉯에서 수행하였으며, 그 결과 Slit 두께가 3.0mm일 때 균일도가 향상됨을 확인하였다. 따라서 이번 해석에서는 Slit 두께를 3.0mm로 설정하고 중간 노즐의 영향 검토를 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 중간 노즐이 없는 경우(Case1), 중간 노즐이 slit 형상(Case2), 중간 노즐에 타공 I(Case3) 및 중간 노즐에 타공 II(Case4)에 대하여 해석을 수행하였

다. 해석 결과 슬릿의 유속 균일도는 Case4 > Case1 > Case2 > Case3로 나타났다. ㉮에서 수행한 결과와 동일하게, 오히려 타공 사이의 간격이 좁지 않을 경우(Case3)가 중간 노즐이 없는 경우(Case1) 보다 균일도가 좋지 못할 수 있음을 재확인할 수 있었다. 전체 노즐의 평균유속을 기준으로 평균 상대오차는 Case1: 1.65%, Case2: 1.74%, Case3: 8.29% & Case4: 1.47%로 나타났다. 중간 노즐에 간격이 조밀하게 타공을 하는 것이 각각의 슬릿에서 유량이 균일해 짐을 재확인할 수 있었다. 그러나 실제 제품를 제작할 때 타공판의 간격이 너무 근접할 경우 발생할 수 있는 강도의 문제 및 제작 자체의 어려움을 고려할 필요가 있다. 표14과 그림25는 중간 노즐에 대한 해석 결과를 보여주고 있다. 앞에서 해석한 결과를 종합하면, Slit의 두께가 3.0mm와 중간노즐의 형상이 타공 타입이며 타공의 간격이 좁을 때 각각의 Slit에서 유속의 균일도가 향상됨을 확인하였다. 따라서 현재까지 모든 해석 결과를 종합적으로 검토하여 보면, 가장 균일도가 높은 조합인 중간노즐(타공 간격 좁음)과 Slit 두께를 3.0mm로 고려하였을 때가 가장 최적화된 모델로 판단되며, 전체 노즐의 평균유속을 기준으로 평균 상대 오차율에서도 확인할 수 있었다. 최종적으로 시뮬레이션 결과에 근거한 최적화된 모델이 실제 실험과 비교 검증이 필요하다.

표 2.9.22 중간노즐 영향에 따른 유속 균일도 결과 및 상대 오차(Slit t:9.0mm)

	Velocity[ms/]				Relative error[%]{(Vslit#-Vaverage)/Vaverage}*100			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Slit 1	28.392	28.026	34.785	28.201	8.819	9.856	3.824	9.897
Slit 2	31.275	31.287	28.054	30.694	0.441	0.634	16.267	1.930
Slit 3	31.713	31.703	35.724	31.100	1.848	1.971	6.625	0.632
Slit 4	31.803	31.832	29.103	31.370	2.138	2.387	13.135	0.231
Slit 5	31.818	31.843	36.758	31.570	2.185	2.422	9.712	0.868
Slit 6	31.753	31.777	29.412	31.491	1.976	2.211	12.214	0.616
Slit 7	31.761	31.796	37.188	31.676	2.002	2.270	10.996	1.207
Slit 8	31.574	31.510	30.206	31.712	1.401	1.350	9.843	1.324
Slit 9	31.451	31.329	37.639	31.618	1.006	0.769	12.342	1.021
Slit 10	31.351	31.301	31.041	31.603	0.686	0.680	7.352	0.974
Slit 11	31.211	31.116	36.858	31.464	0.235	0.082	10.012	0.532
Slit 12	31.165	31.046	31.570	31.398	0.087	0.142	5.772	0.319
Slit 13	31.037	30.948	35.766	31.392	0.324	0.456	6.750	0.301
Slit 14	31.008	30.890	32.202	31.491	0.417	0.642	3.885	0.615
Slit 15	30.799	30.685	36.353	31.536	1.088	1.302	8.504	0.760
Slit 16	30.574	30.613	32.837	31.780	1.812	1.535	1.990	1.541
Slit 17	30.656	30.828	34.072	31.971	1.546	0.843	1.694	2.149
Average	31.138	31.090	33.504	31.298	1.648	1.738	8.289	1.466

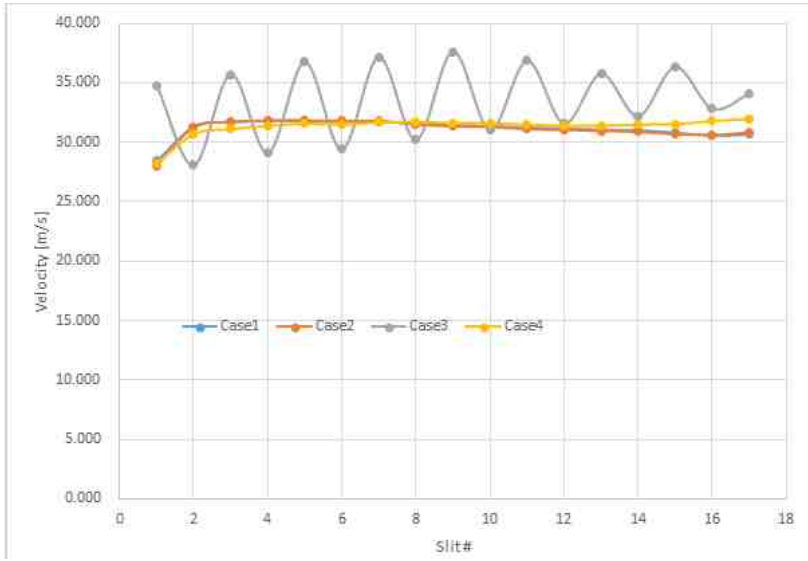


그림 2.9.106 중간노즐 영향에 따른 유속 균일도 결과(Slit Thickness:3.0mm)

⑥ 최적화 모델 검증

○ 최적화 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 1,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.
슬릿: 두께 - 3.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.
내부 노즐: 있음(타공 형식).

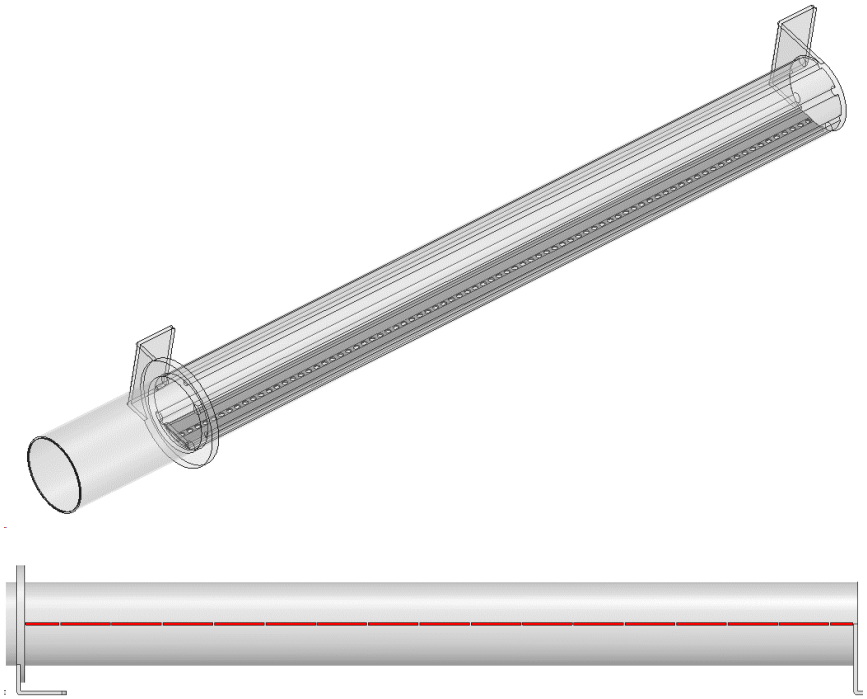


그림 2.9.107 최적화 모델 형상

○ 차연도어 노즐 시험(KRRI 수행)

① 실제 형상

시뮬레이션을 통하여 Slit 유속 균일도 최적화 모델과 동일한 실제 형상.



그림 2.9.108 노즐 실제 형상

② 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.
Static Pressure: 300mmAq.
Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s
Hz: 30Hz

③ 측정 방법

3개의 Hot wire를 동시에 1set로 1분간(60초) Slit 입구에서 측정하였다.
따라서 총 측정 포인트는 48개이다.
동일한 조건에서 3회 반복 시험하였다.
따라서 3번의 시험한 유속을 평균하였다.
④ 측정 사진

Slit 끝단에서 시험한 측정사진이다.



그림 2.9.109 Slit에서 유속 측정 사진

⑤ 측정 결과

3차례의 측정 결과는 아래 표와 같다.

표 2.9.23 측정 결과

송풍기 노즐시험				
송풍기 주파수				노즐 이격거리
30Hz				0.0cm
풍속 m/s				
Senser No.	Test_01	Test_02	Test_03	Avg.
1	22.00	22.34	23.08	22.47
2	34.91	33.90	35.32	34.71
3	22.49	21.60	22.58	22.22
4	36.14	35.64	35.60	35.79
5	22.90	21.80	21.46	22.05
6	34.23	33.30	33.98	33.84
7	30.92	32.16	30.19	31.09
8	27.12	26.20	27.53	26.95
9	30.65	23.73	31.96	28.78
10	36.06	35.83	34.95	35.61
11	20.38	19.58	21.67	20.54
12	34.44	34.47	34.05	34.32
13	21.49	21.97	21.25	21.57
14	34.03	33.88	33.53	33.81
15	34.18	34.10	33.92	34.07
16	27.18	27.85	26.40	27.14
17	31.41	32.13	32.39	31.98
18	32.08	33.18	34.29	33.18
19	37.50	34.87	28.73	33.70
20	23.50	28.49	32.00	28.00
21	36.22	35.14	35.98	35.78
22	28.86	30.88	26.17	28.64
23	32.60	32.46	34.07	33.04
24	36.01	35.48	36.19	35.89
25	27.77	31.23	31.96	30.32
26	32.99	31.48	30.75	31.74
27	36.10	35.71	36.60	36.14
28	28.96	26.71	27.20	27.62
29	33.20	34.24	33.89	33.78
30	36.80	36.56	36.72	36.70
31	27.54	30.44	34.15	30.71
32	34.43	33.41	30.19	32.68

33	31.98	29.77	36.53	32.76
34	37.08	37.09	32.56	35.58
35	25.80	24.63	31.11	27.18
36	36.38	36.31	35.79	36.16
37	25.39	25.59	25.38	25.45
38	36.23	35.84	36.33	36.13
39	35.38	35.70	35.95	35.68
40	33.69	31.94	33.25	32.96
41	30.78	32.47	31.42	31.56
42	36.33	36.41	35.70	36.15
43	25.91	26.67	25.09	25.89
44	35.43	35.05	35.20	35.23
45	35.61	35.91	35.02	35.51
46	25.68	26.66	24.83	25.72
47	36.37	34.93	35.91	35.74
48	23.17	30.39	27.86	27.14

○ 시뮬레이션 결과와 시험 결과 비교

시뮬레이션을 통하여 획득한 각각의 Slit 유속과 3차례의 반복 시험을 통하여 획득한 Slit 평균 유속을 비교한 결과는 다음과 같다. 17개의 Slit에서 유속 차는 최대: 4.5[m/s], 최소: 0.046[m/s] 및 평균 유속: 0.25[m/s]로 매우 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 시뮬레이션의 해석 결과의 신뢰도가 검증되었다고 할 수 있다. 또한 각각의 Slit에서 나오는 유속의 균일도 역시 최적화 모델에서는 만족할 만한 결과를 얻었다고 할 수 있다.

표 2.9.24 Simulation 해석 결과 유속 및 Experiment 측정 유속

	Simulation	Experiment
Slit 1	28.20052981	28.59
Slit 2	30.69386812	26.69
Slit 3	31.10012074	30.62
Slit 4	31.37042609	28.31
Slit 5	31.56981183	29.9
Slit 6	31.49077642	31.06
Slit 7	31.6757794	31.63
Slit 8	31.71235522	32.49
Slit 9	31.61767312	32.65
Slit 10	31.60293577	32.51
Slit 11	31.46442025	33.36
Slit 12	31.39771744	31.84
Slit 13	31.39222898	32.58
Slit 14	31.49050173	33.4
Slit 15	31.53579849	32.42
Slit 16	31.78036704	32.32
Slit 17	31.9707323	27.5
Average	31.29800251	31.0511765

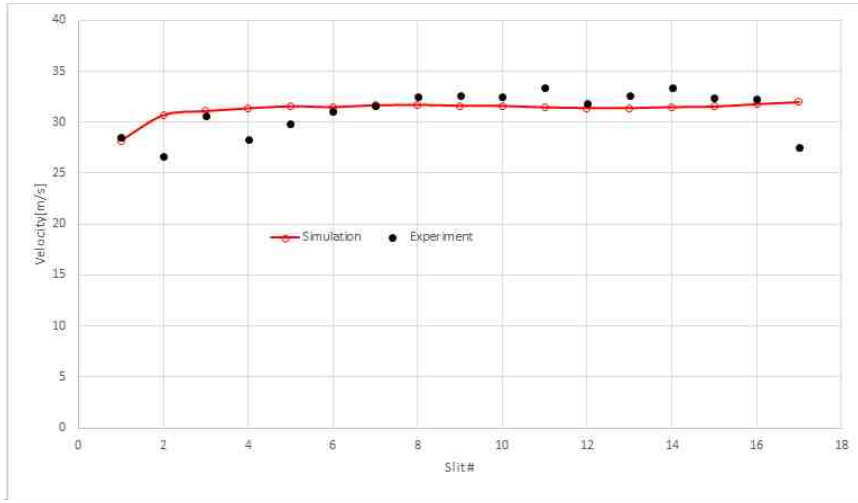


그림 2.9.110 Simulation & Experiment 유속 비교

⑦ 2,200mm 노즐 모델

앞 절에서 최적화된 Slit 두께와 중간 노즐 형상으로 노즐 전체 길이가 2,200mm

일 때 각각의 Slit에서의 유속 균일도를 검토하여 보았다. 2,200mm 길이의 노즐은 총 33개의 Slit을 가지고 있다.

○ 해석 모델 형상

노즐: 전체 길이 - 2,200mm, 외부 지름 - 100.0mm & 내부 지름 - 96.0mm.
슬릿: 두께 - 3.0mm, 너비 - 60.0mm & 슬릿 경계 너비 - 2.0mm.
내부 노즐: 있음(타공 - 간격 조밀).

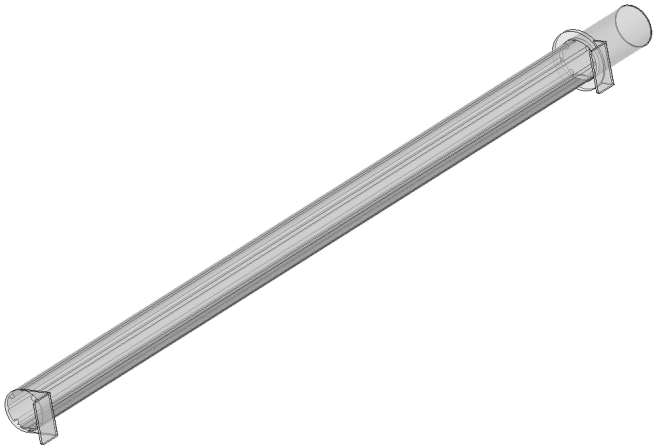


그림 2.9.111 2,200mm 노즐 형상

○ 경계조건

① 송풍기

모델명: HARESUNG LK-803.
Static Pressure: 300mmAq.
Air Flow: 5m3/min = 0.0833m3/s
Hz: 30Hz

② 슬릿(Output)

슬릿 수: 33개.
경계조건: 대기압 조건(101,325[Pa]).

○ 해석 결과

길이 2,200mm 노즐에 Slit 두께 3.0mm와 중간 노즐을 고려한 총 Slit 수 33개의 유속 균일도를 검토한 결과는 다음과 같다. 길이 1,200mm 노즐의 균일도에 비하여 다소 균일도가 떨어지는 경향을 보였다. 각각의 노즐의 평균 유속에 대한 상대오차는 최대 23.3%, 최소 0.38% 및 평균 상대오차는 4.2%로 나타났다. 가장 오차가 크게 나타난 Slit은 공기가 유입되는 첫 번째 Slit이며, 첫 번째 Slit을 제외하고는 모든 Slit에서 8%이내의 오차율을 나타내었다.

표 2.9.25 Slit velocity & Relative error

	Velocity[m/s]	Relative error[%] $\{(V_{slit\#}-V_{average})/V_{average}\}*100$
Slit 1	12.30716384	23.26013227
Slit 2	14.78654865	7.80022089
Slit 3	14.95490584	6.750449506
Slit 4	15.17582129	5.372957272
Slit 5	15.2956021	4.626078203
Slit 6	15.41174821	3.901862794
Slit 7	15.48155381	3.466598249
Slit 8	15.44936698	3.667295409
Slit 9	15.57699572	2.871481467
Slit 10	15.62506513	2.571750303
Slit 11	15.67566454	2.256243672
Slit 12	15.78127864	1.597699458
Slit 13	15.8709525	1.038548685
Slit 14	15.97547517	0.386809885
Slit 15	16.1112579	0.459847307
Slit 16	16.09839716	0.379655701
Slit 17	16.22379536	1.161561352
Slit 18	16.25668079	1.366614606
Slit 19	16.32825562	1.812910957
Slit 20	16.30298841	1.655360249
Slit 21	16.3776097	2.120652498
Slit 22	16.38401969	2.160621238
Slit 23	16.43921897	2.504809883
Slit 24	16.57759336	3.367627037
Slit 25	16.67491265	3.974449996
Slit 26	16.70259479	4.147058724
Slit 27	16.8687742	5.183250799
Slit 28	16.90141625	5.386786476
Slit 29	17.00513897	6.033537231
Slit 30	17.04000856	6.250962416
Slit 31	17.0620191	6.388206552
Slit 32	17.11914153	6.744386738
Slit 33	17.39585939	8.4698283
Average	16.03750984	4.216250185

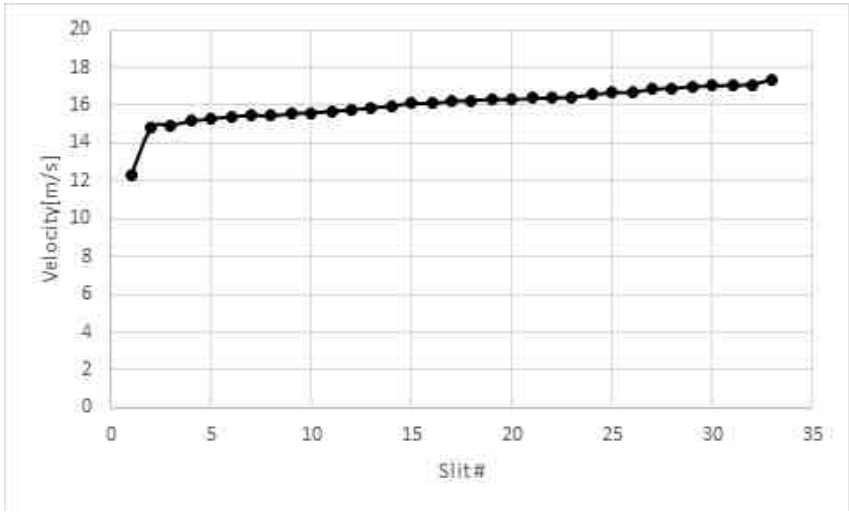


그림 2.9.112 Slit velocity

표 2.9.26 초기 모델 슬릿 유속 분포 및 상대 오차

	Velocity[m/s]	Relative error[%] $\{(V_{slit\#}-V_{average})/V_{average}\}*100$
Slit 1	1.983025135	84.118353
Slit 2	8.025363549	35.72648744
Slit 3	13.05448343	4.550715909
Slit 4	14.00305544	12.14763723
Slit 5	14.13655466	13.21680545
Slit 6	14.15484008	13.36324963
Slit 7	14.20926109	13.79909652
Slit 8	14.13527438	13.20655193
Slit 9	13.9250605	11.52299149
Slit 10	13.70983505	9.799294443
Slit 11	13.61736198	9.058696365
Slit 12	13.54588265	8.486232874
Slit 13	13.37113131	7.08668475
Slit 14	13.26433795	6.231398325
Slit 15	12.91673705	3.447533074
Slit 16	12.21058394	2.207904296
Slit 17	12.00378149	3.864143248
Average	12.48626881	14.81375153

(3) 결 론

본 과제는 공간형 차연도어 노즐 배열 최적화를 위하여 현재 사용 중인 노즐에 대하여 이론적 타당성 및 근거 확보를 위한 시뮬레이션을 위한 3D CAD 제작, 송풍기 풍량에 따른 Slit 유속 분포 검토, Slit 두께가 유동 균일화에 미치는 영향, 중간 노즐 유/무 및 형상이 유동 균일화에 미치는 영향 등의 유동해석을 시뮬레이션 수행 하였다.

시뮬레이션에 사용되는 프로그램은 범용 3차원 전산유체역학을 기반으로 열/유동에 국내/외에서 인지도가 높은 Mentor Graphics FloEFD를 이용하여 해석을 수행하였으며, 시뮬레이션의 결과 검증을 위하여 실제 유속 계측(KRRI)과 비교 검토하였다.

시뮬레이션을 통한 결론은 다음과 같다.

▶ 3D CAD 형상 제작으로 추후 다양한 시뮬레이션 수행.

▶ Mesh sensitivity를 통하여 시뮬레이션 신뢰도 확보(오차율 0.7% 이내).

▶ 송풍기 풍량 차이에 따른 Slit 유속 분포는 경향은 차이가 없음을 확인(오차율 1.2% 이내).

▶ Slit 두께가 좁을수록 균일도가 향상됨(3mm가 9mm일 때 보다 11배 향상).

▶ 중간 노즐의 타공의 간격이 조밀하지 못할 경우 중간 노즐이 없는 것 보다 유속의 균일도가 악화될 수 있으며, 타공의 간격이 가공 가능한 최소의 범위로 설계할 것을 권장함.

▶ Slit 두께가 3.0mm이며 중간 노즐의 중앙부에 조밀하게 타공할 경우가 해석결과 수행한 다양한 테스트 형상 중에 가장 최적의 모델로 나타났다.

▶ 최적의 노즐 형상으로 시뮬레이션을 수행한 결과와 실제 형상 계측 유속 비교 결과, Slit 위치에 따라 최대: 4.5m/s, 최소: 0.046m/s 및 평균 유속: 0.25m/s로 매우 유사한 경향을 보였다.

다. 방연노즐 시험

(1) 방연도어 노즐 개요

(가) 노즐 규격

표 2.9.27 노즐 제원

항목	전체 길이	외부지름	내부지름	슬릿두께	슬릿너비	슬릿 경계 너비
규격(mm)	1000	100	96	3	60	2.5

(나) 송풍팬 규격

표 2.9.28 도어노즐 송풍기 제원

모델명	HARESUNG LK-803
STATIC PRESSURE	300mmAq
AIR FLOW	35m³/min
OUTPUT	1.9 / 2.2 kW
Hz	50 / 60

표 2.9.29 급기팬 노즐 송풍기 제원

모델명	HARESUNG LK-801
STATIC PRESSURE	210mmAq
AIR FLOW	21m³/min
OUTPUT	0.65 / 0.85 kW
Hz	50 / 60



그림 2.9.113 노즐 내부



그림 2.9.114 노즐 외부

(2) 시험세트



그림 2.9.115 차연시험세트



그림 2.9.116 센서



그림 2.9.117 센서 지그(정면)



그림 2.9.118 센서 지그 측면







그림 2.9.119 측정 컴퓨터 및 풍속측정기기

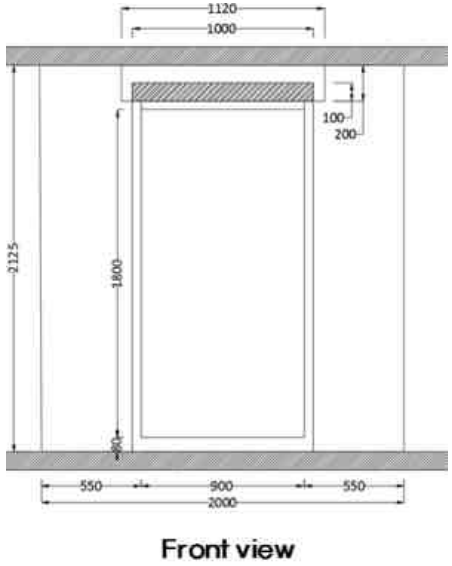


그림 2.9.120 정면도

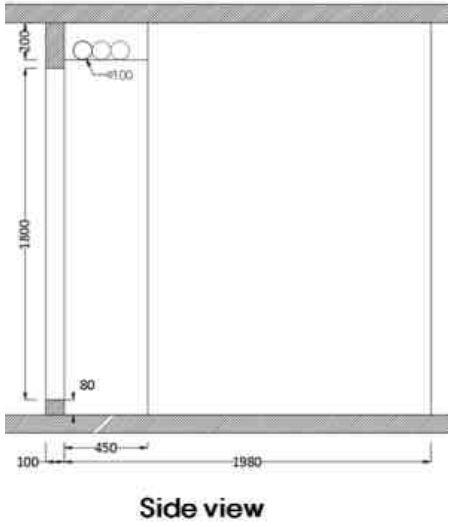


그림 2.9.121 측면도

(3) 센서 위치 및 노즐 풍향

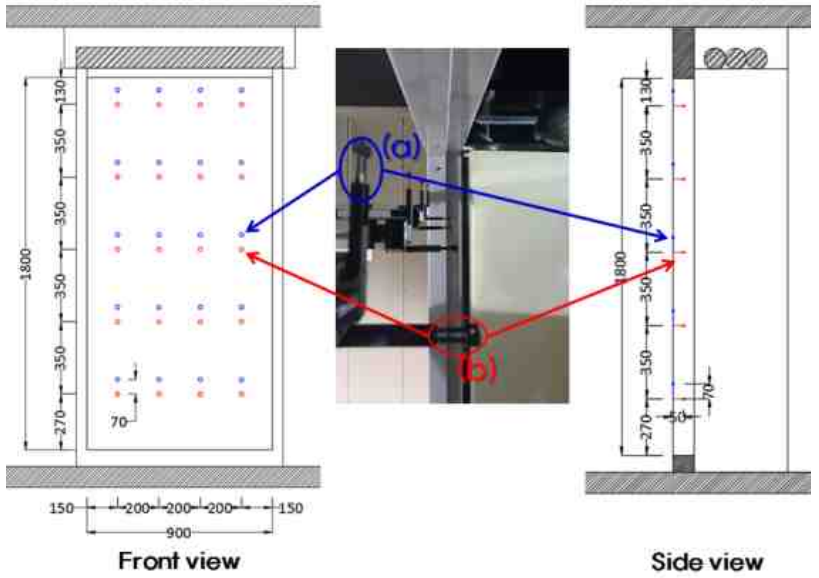


그림 2.9.122 센서 상세 위치, (a) V방향 방연, (b) H방향 하강

· 총 40point (수직센서20, 수평센서20)
· 가로 4개 Point (mm) (270, 620, 970, 1320, 1670)
· 세로 5개 Point (mm) (150, 350, 550, 750)

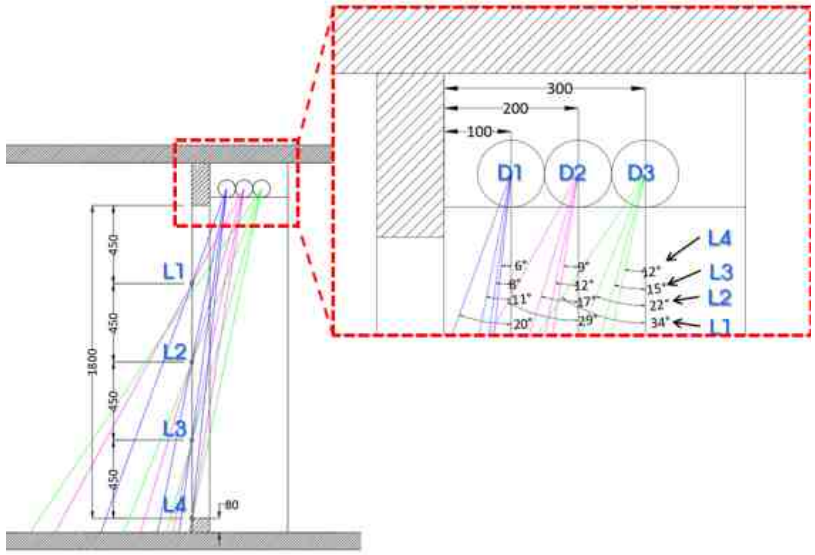


그림 2.9.123 노즐의 거리와 각도 및 풍향

노즐의 거리는 개구부로부터 100mm (D1), 200mm (D2), 300mm (D3)으로 하였고, 각도는 개구부의 바닥으로부터 1350mm (L1), 900mm (L2), 450mm (L3), 0mm (L4) 총 4포인트로 잡았으며, D3_L1의 경우 노즐의 구조상 각도변경이 불가하여 L1에 가장 근접한 각도(설계와 2°차이)로 시험을 진행하였다.

노즐의 위치와 각도는 위 그림과 같으며 위치를 D1-D3, 각도를 L1-L4로 지정하여 각 케이스별 이름을 부여했다.
ex) 거리 첫 번째 (100mm), 각도 첫 번째 (1350mm) = D1_L1

(4)측정 방법

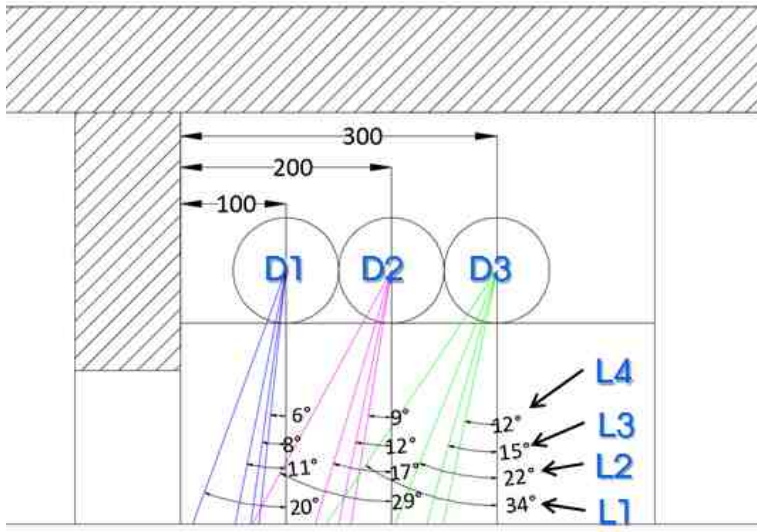


그림 2.9.124 노즐 각도 및 풍향 상세도

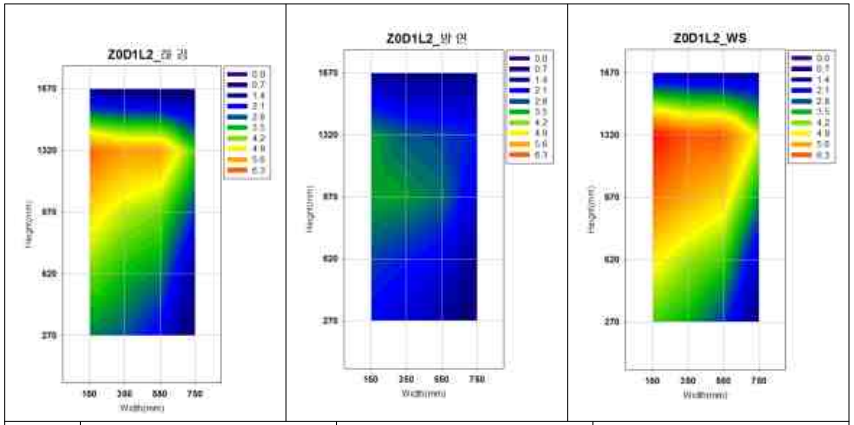
표 2.9.30 시험 순서 및 조건

급기팬 가동 여부 Z		정지(0)			가동(1)		
노즐위치 D		1	2	3	1	2	3
풍향 L	1	Z0-D1-L1	Z0-D2-L1	Z0-D3-L1	Z1-D1-L1	Z1-D2-L1	Z1-D3-L1
	2	Z0-D1-L2	Z0-D2-L2	Z0-D3-L2	Z1-D1-L2	Z1-D2-L2	Z1-D3-L2
	3	Z0-D1-L3	Z0-D2-L3	Z0-D3-L3	Z1-D1-L3	Z1-D2-L3	Z1-D3-L3
	4	Z0-D1-L4	Z0-D2-L4	Z0-D3-L4	Z1-D1-L4	Z1-D2-L4	Z1-D3-L4

· 각 조건별 12회 x 2회 = 24회 진행
· 부속실의 출입문을 90°로 개방하여 측정한다.
· 1차 노즐 송풍기만 가동, 2차 노즐과 급기팬 송풍기 가동
· 측정은 팬 가동 10초 후 안정화한 뒤 120초로 2회 측정하여 평균값을 구한다.

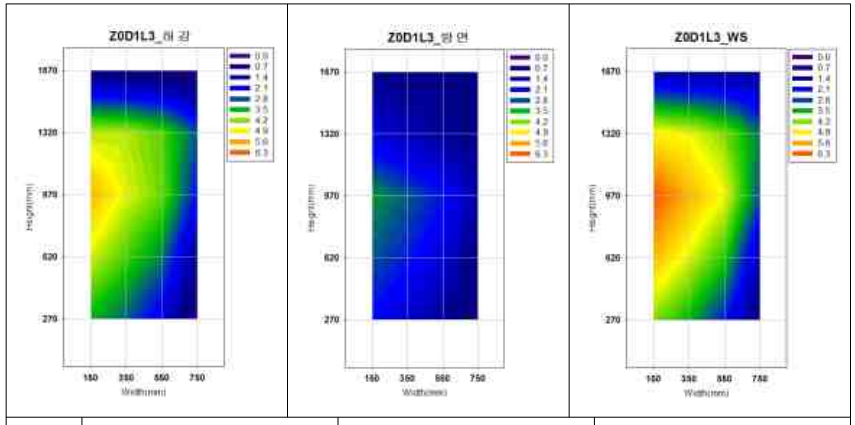
(5) 측정결과

표 2.9.31 Z0_D1_L2 (거리 100mm / 풍향 900mm) Best-1



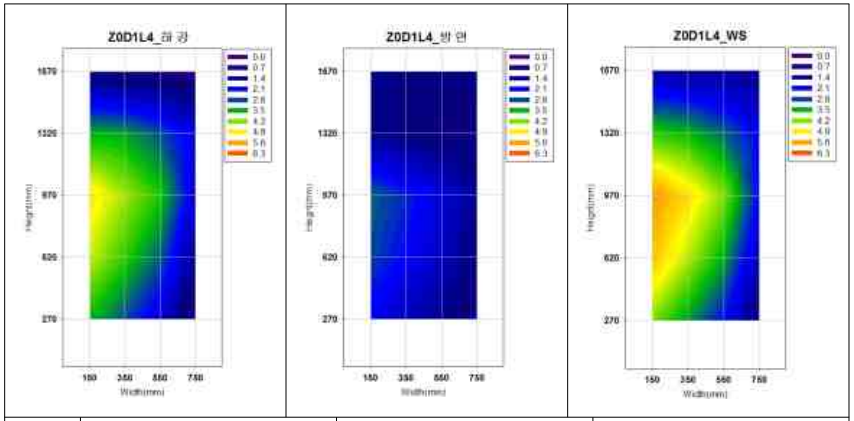
m/s	하강 H					방연 V					$WS=\sqrt{H^2+V^2}$				
거리 (mm)	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균
1670	0.97	0.85	0.75	0.67	0.81	1.33	1.16	1.17	1.17	1.21	1.64	1.43	1.39	1.35	1.45
1320	6.16	5.64	5.62	3.84	5.31	3.26	2.85	2.71	2.42	2.81	6.97	6.31	6.23	4.54	6.01
970	5.00	4.38	4.04	2.56	3.99	3.38	3.27	3.02	1.93	2.90	6.03	5.46	5.04	3.21	4.93
620	4.02	3.51	3.15	1.27	2.98	2.71	2.43	2.11	1.17	2.10	4.84	4.26	3.79	1.72	3.65
270	3.10	2.81	2.10	0.68	2.17	2.23	1.91	1.53	0.63	1.57	3.82	3.40	2.59	0.93	2.68
평균	3.05					2.12					3.75				

표 2.9.32 Z0_D1_L3 (거리 100mm / 풍향 450mm) Best-2



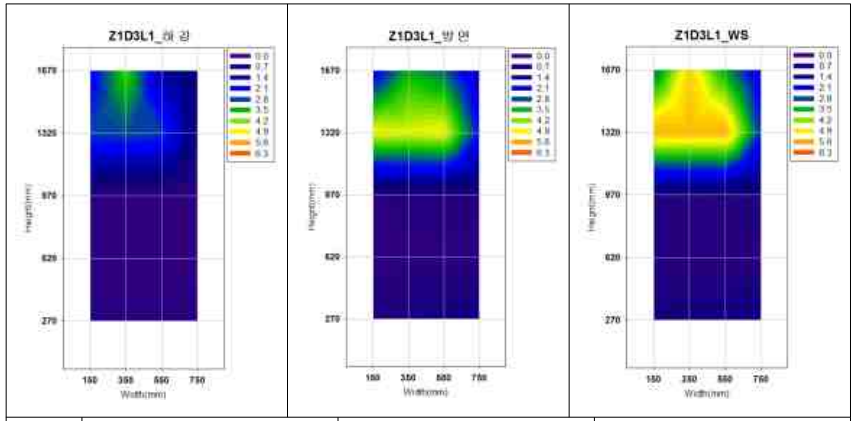
m/s	하강 H					방연 V					$WS=\sqrt{H^2+V^2}$				
거리 (mm)	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균
1670	0.90	0.78	0.69	0.51	0.72	1.23	1.12	1.17	1.16	1.17	1.52	1.36	1.35	1.26	1.37
1320	4.41	4.32	3.88	2.83	3.86	1.92	1.66	1.33	1.17	1.52	4.80	4.63	4.10	3.06	4.14
970	5.37	4.57	3.98	2.35	4.07	3.29	2.87	2.42	1.53	2.53	6.29	5.39	4.66	2.80	4.79
620	4.51	3.80	3.08	1.22	3.15	2.84	2.47	1.97	1.01	2.07	5.33	4.53	3.65	1.58	3.77
270	3.41	2.88	2.00	0.56	2.21	2.26	1.84	1.37	0.74	1.55	4.08	3.42	2.42	0.92	2.70
평균	2.80					1.77					3.36				

표 2.9.33 Z0_D1_L4 (거리 100mm / 풍향 0mm) Best-3



m/s	하강 H					방연 V					$WS=\sqrt{H^2+V^2}$				
거리 (mm)	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균
1670	0.87	0.76	0.65	0.46	0.68	1.20	1.09	1.14	1.14	1.14	1.48	1.33	1.31	1.22	1.33
1320	3.46	3.30	2.81	2.02	2.90	1.28	1.10	0.89	0.84	1.02	3.69	3.48	2.94	2.19	3.07
970	4.90	4.27	3.62	1.96	3.69	2.93	2.55	2.02	1.25	2.19	5.71	4.97	4.15	2.32	4.29
620	4.46	3.72	2.90	1.26	3.08	2.73	2.30	1.75	0.99	1.94	5.23	4.37	3.38	1.60	3.64
270	3.47	2.77	1.94	0.54	2.18	2.17	1.71	1.28	0.67	1.45	4.09	3.25	2.32	0.86	2.62
평균	2.50					1.55					2.99				

표 2.9.34 Z1_D3_L1 (거리 300mm / 풍향 1350mm) 최저 풍속 케이스



m/s	하강 H					방연 V					$WS=\sqrt{H^2+V^2}$				
거리 (mm)	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균	150	350	550	750	평균
1670	2.10	3.79	1.53	0.88	2.07	2.01	3.38	2.98	1.60	2.49	2.90	5.08	3.34	1.83	3.24
1320	2.70	2.81	2.66	0.90	2.27	4.66	4.58	4.70	2.42	4.09	5.38	5.37	5.40	2.58	4.67
970	0.36	0.27	0.28	0.21	0.28	0.40	0.47	0.51	0.49	0.47	0.53	0.54	0.58	0.53	0.54
620	0.28	0.18	0.19	0.15	0.20	0.34	0.37	0.38	0.36	0.36	0.43	0.41	0.42	0.39	0.41
270	0.50	0.41	0.42	0.47	0.45	0.59	0.67	0.78	0.83	0.71	0.77	0.78	0.88	0.95	0.84
평균	1.05					1.62					1.96				

표 2.9.35 각 케이스 별 평균 풍속

	Case		하강 (H)	방연 (V)	$WS=\sqrt{H^2+V^2}$
			[Avg] (m/s)	[Avg.] (m/s)	[Avg.] (m/s)
Z0	D1	L1	1.99	1.39	2.43
		L2	3.05	2.12	3.71
		L3	2.80	1.77	3.31
		L4	2.50	1.55	2.94
	D2	L1	1.21	1.26	1.75
		L2	2.40	1.59	2.88
		L3	2.14	1.44	2.58
		L4	1.72	1.21	2.10
	D3	L1	1.13	1.72	2.06
		L2	2.34	1.68	2.88
		L3	1.73	1.26	2.14
		L4	1.44	1.09	1.81
Z1	D1	L1	1.84	1.41	2.46
		L2	2.90	2.00	3.57
		L3	2.87	1.83	3.45
		L4	2.94	1.91	3.55
	D2	L1	1.01	1.37	1.74
		L2	2.61	1.77	3.21
		L3	2.24	1.52	2.74
		L4	2.05	1.41	2.52
	D3	L1	1.05	1.62	1.96
		L2	2.31	1.72	2.92
		L3	2.00	1.43	2.49
		L4	1.88	1.33	2.34

총24개의 케이스 시험 결과 각 센서 포인트의 방연풍속이 0.5m/s 미만인 케이스는 Z1_D2_L1, Z1_D3_L1 으로 2개 케이스, 하강풍속이 0.5m/s 미만인 케이스는 Z0_D1_Z1, Z0_D1_L4, Z0_D2_L1, Z0_D2_L4, Z0_D3_L1, Z0_D3_L3, Z0_D3_L4, Z1_D1_L1, Z1_D2_L1, Z1_D2_L4, Z1_D3_L1, Z1_D3_L3, Z1_D3_L4 으로 13개 케이스이며, 위 표에 파랜색 글씨로 나타내었다. 이외의 케이스는 풍속이 모두 0.5m/s 이상을 나타내고 있으며, 이 중 가장 우수하게 나타난 케이스는 Z0_D1_L2 으로 나타났다.

또한 급기팬을 가동했을 때 방연풍속V가 급기팬을 가동하지 않았을 때보다 평균 0.1m/s 높은 풍속을 나타내고 있다.

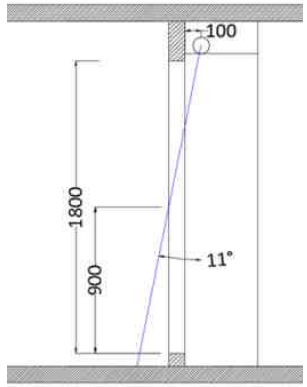


그림 2.9.125 우수케이스 Z0_D1_L2

위 그림은 시험결과 가장 우수한 풍속을 나타낸 D1_L2의 측면 도면이다. 노즐이 개구부로부터 100mm 이격되어있고, 노즐의 풍향은 개구부의 1/2지점(900mm)을 향하고 있다.

(6) 차연도어 노즐특성 해석을 위한 풍향 측정

- 시험 세트 size : x 3m, y 0.8m, z 2.4m

  측정 간격(가로) : 2m (0.02m 간격으로 100개)

  측정 간격(세로) : 2m (0.1m ~ 2m)

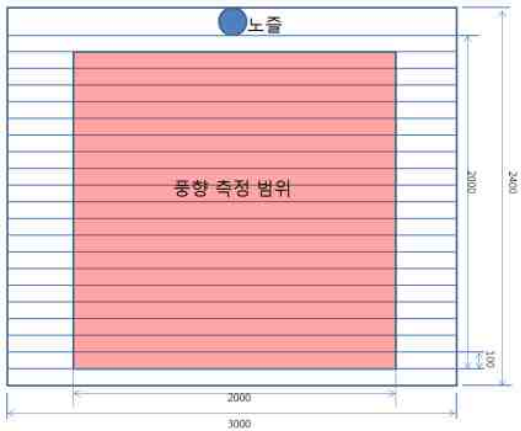


그림 2.9.126 풍향 측정 범위



그림 2.9.127 시험 세트



그림 2.9.128 측정 바 가로 2m (0.02m 간격으로 실 100개 설치)

- 측정 방법

· 제연커튼으로부터 2m ~ 0.1m 까지 측정 바 높이를 조절. (0.1m 씩 조절, 20회)

· 송풍기 작동 10초 후 촬영시작.

· 60초 측정 후 정지



그림 2.9.129 제연커튼으로부터 2m 측정 중



그림 2.9.130 제연커튼으로부터 1.5m 측정 중



그림 2.9.131 제연커튼으로부터 1m 측정 중



그림 2.9.132 제연커튼으로부터 0.1m 측정 중

- 측정 결과



그림 2.9.133 노즐 영향 범위

· 실이 매우 빠르게 좌우로 유동하여 정확한 벡터 값 측정 불가 (영상참고)

· 노즐 주유동 각도 25°

(7) 차연도어 노즐특성 해석을 위한 풍속 측정

- 시험 세트 size : x 3m, y 0.8m, z 2.4m
  측정 간격(가로) : 1.6m (0.1m 간격으로 17개)
  측정 간격(세로) : 2m (0.1m ~ 2m)
- 풍속, 온도계 (카노막스, 모듈1560) 풍속계 16개, 풍속·온도계1개
- 총 340point

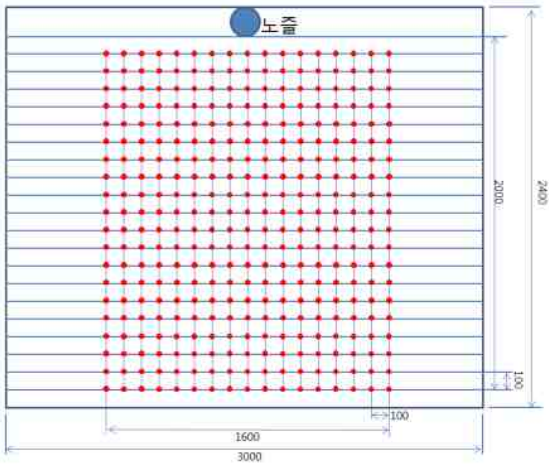


그림 2.9.134 풍속 센서 point



그림 2.9.135 풍속 측정 기구



그림 2.9.136 카노막스 다점 풍속계

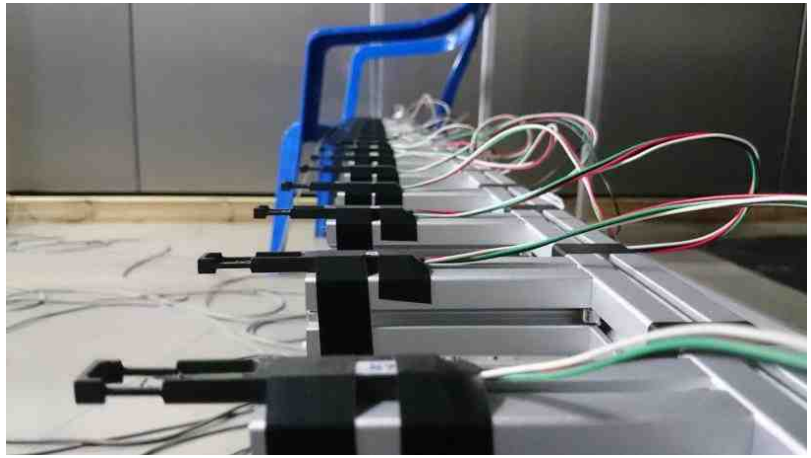


그림 2.9.137 풍속계 0.1m 간격으로 17개 설치 (9번 풍속·온도계)

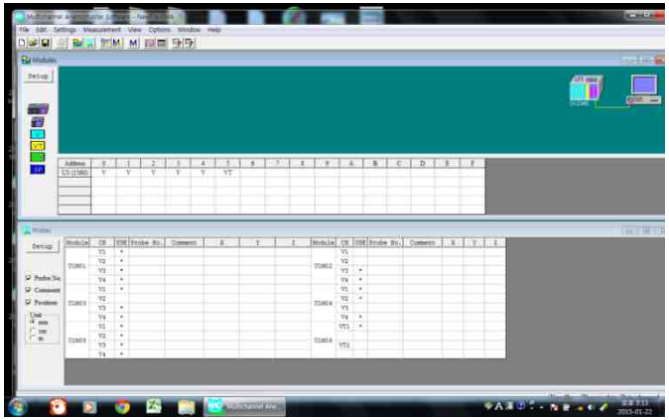


그림 2.9.138 풍속, 1560모듈 세팅

(8) 측정 방법

- 제연커튼으로부터 2m ~ 0.1m 까지 측정 바 높이를 조절 (0.1m 씩 조절, 20회)
- 송풍기 작동 10초 후 측정 시작
- 60초 측정 후 정지

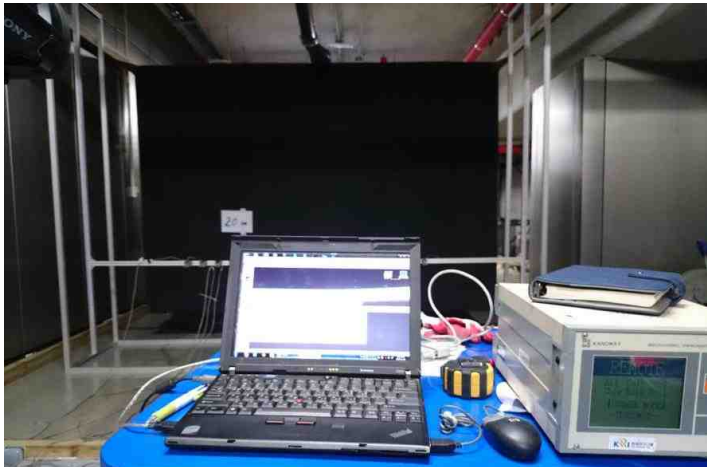


그림 2.9.139 풍속 측정 중

① 측정 결과

그림 2.9.140 위치별 평균 풍속(m/s)

표 2.9.36 위치별 평균 풍속 값 (m/s)

w(m) / h(m)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
0.1	0.47	0.57	0.55	0.55	0.48	0.63	0.71	0.54	15.85	0.62	0.51	0.41	0.41	0.35	0.32	0.24	0.23
0.2	0.45	0.55	0.54	0.55	0.48	0.59	0.58	0.48	9.74	0.38	0.38	0.37	0.38	0.33	0.31	0.26	0.21
0.3	0.47	0.56	0.54	0.53	0.43	0.49	0.46	0.44	8.01	0.46	0.36	0.34	0.38	0.34	0.32	0.29	0.23
0.4	0.49	0.57	0.54	0.53	0.44	0.46	0.4	0.95	7.43	0.91	0.41	0.37	0.38	0.38	0.37	0.34	0.24
0.5	0.47	0.54	0.51	0.5	0.41	0.44	0.38	1.97	6.7	1.7	0.5	0.37	0.4	0.38	0.38	0.35	0.27
0.6	0.47	0.52	0.47	0.45	0.36	0.42	0.41	2.83	6.17	2.53	0.59	0.4	0.41	0.39	0.39	0.35	0.24
0.7	0.41	0.47	0.45	0.43	0.36	0.39	0.56	3.29	5.85	3.2	0.72	0.4	0.35	0.31	0.27	0.25	0.16
0.8	0.43	0.5	0.46	0.44	0.37	0.43	0.95	3.75	5.55	3.45	1.01	0.45	0.34	0.28	0.26	0.24	0.14
0.9	0.44	0.49	0.46	0.45	0.38	0.47	1.34	3.91	5.37	3.67	1.44	0.52	0.36	0.31	0.24	0.2	0.13
0.1	0.44	0.48	0.45	0.44	0.38	0.55	1.58	3.97	5.12	3.85	1.84	0.6	0.35	0.28	0.23	0.19	0.12
1.1	0.39	0.45	0.42	0.41	0.37	0.65	1.99	4.04	5.09	3.94	2.11	0.75	0.41	0.3	0.24	0.21	0.14
1.2	0.4	0.45	0.43	0.43	0.4	0.9	2.33	4.13	4.95	4.07	2.38	0.97	0.43	0.32	0.24	0.21	0.11
1.3	0.36	0.41	0.4	0.43	0.46	1.05	2.33	4.07	4.87	4.06	2.52	1.12	0.46	0.3	0.21	0.16	0.09
1.4	0.35	0.4	0.37	0.41	0.51	1.2	2.46	3.98	4.71	4.06	2.68	1.31	0.56	0.32	0.21	0.18	0.08
1.5	0.33	0.39	0.38	0.5	0.7	1.37	2.6	3.91	4.65	4	2.58	1.37	0.61	0.32	0.22	0.18	0.08
1.6	0.32	0.36	0.34	0.45	0.71	1.5	2.62	3.76	4.35	3.79	2.67	1.5	0.79	0.38	0.25	0.22	0.13
1.7	0.25	0.29	0.31	0.5	0.87	1.65	2.5	3.6	4.03	3.59	2.64	1.56	0.79	0.33	0.19	0.14	0.07
1.8	0.25	0.27	0.31	0.56	0.94	1.73	2.53	3.39	3.85	3.5	2.56	1.66	0.78	0.39	0.24	0.22	0.12
1.9	0.21	0.24	0.37	0.76	1.01	1.7	2.34	3.1	3.39	3.08	2.32	1.54	0.88	0.55	0.31	0.26	0.13
2.0	0.23	0.31	0.38	0.8	1.1	1.66	2.18	2.68	2.84	2.68	2	1.29	0.87	0.57	0.4	0.35	0.18

- Height: 노즐로부터의 거리 Senser Width: 센서 간격
- 노즐 앞 (노즐과 간격 0.1m) 최대속도 : 15.85 m/s

5. 축소모형을 이용한 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증

(1) 실제역사 화재발생에 의한 제연 시스템 검토

(가) 실제역사 제연 시스템 검토

본과제에서는 축소모형을 이용한 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증을 위하여 실제역사인 만덕역사에서의 제연시스템 검토를 수행하였다.

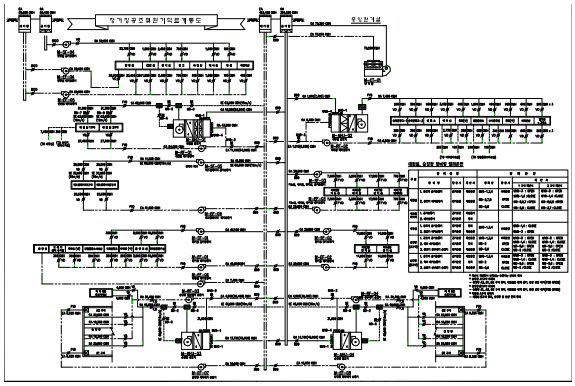


그림 2.9.141 지하역사 승강장 공조 환기덕트 계통도

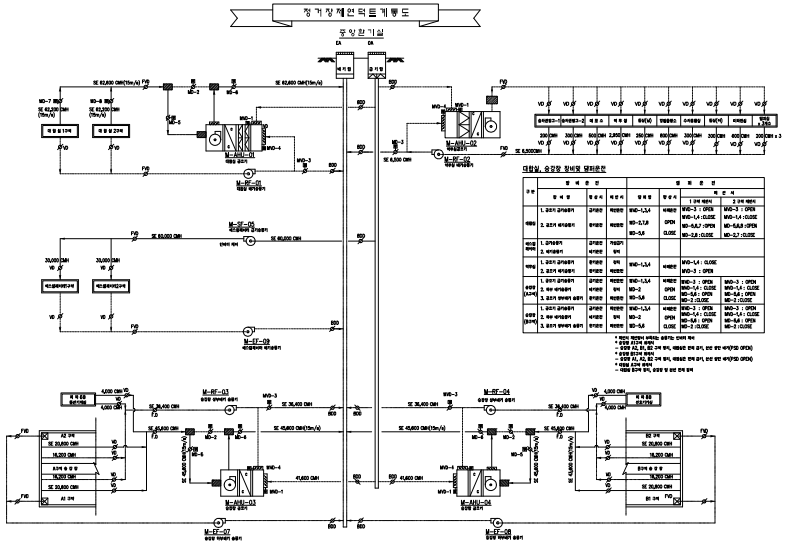


그림 2.9.142 지하역사 승강장 제연덕트 계통도

(나) 안전구역 급기를 위한 제연시스템 검토

앞서 조사된 내용을 바탕으로 기존 제연시스템을 이용하여 안전구역으로의 급기를 위한 제연시스템 및 추가 덕트 설치구간에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구에서 고려한데로 추가의 비용을 들여 시스템을 설치하면 안전구역의 가압 및 공간형 차압시스템을 효과적으로 작동할 수 있다. 그러나 실제 연구에서는 연구비의 부족으로 자체 송풍기 및 제작된 덕트시스템을 활용하였으며, 축소모형을 이용하여 지능형 급기 네트워크를 검증하였다.

○ 승강장 A1 구역 화재발생시 제연시스템

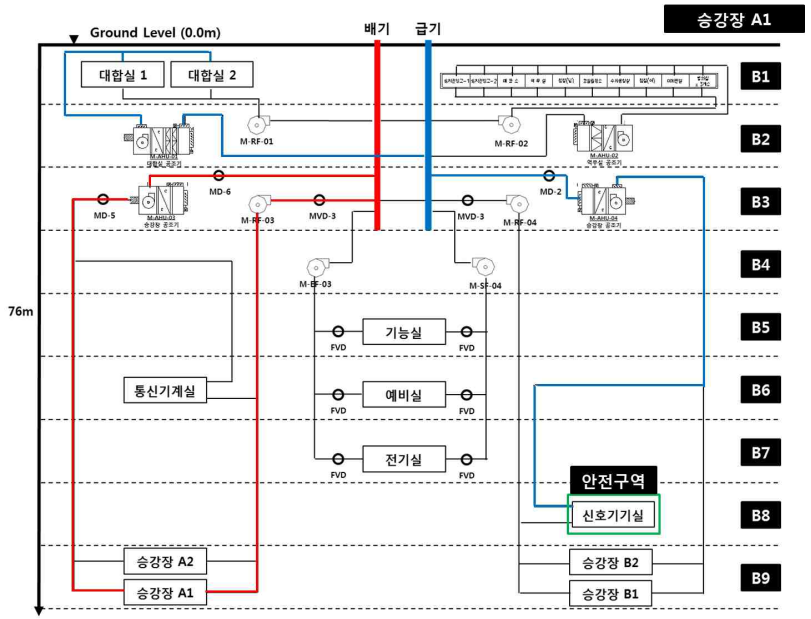


그림 2.9.143 승강장 A1 구역 화재발생시 제연시스템

-승강장 A1 구역 배기
-승강장 A2, B1, B2 구역 정지
-대합실1, 대합실2 급기
-안전구역(신호기기실) 급기

○ 승강장 A2 구역 화재발생시 제연시스템

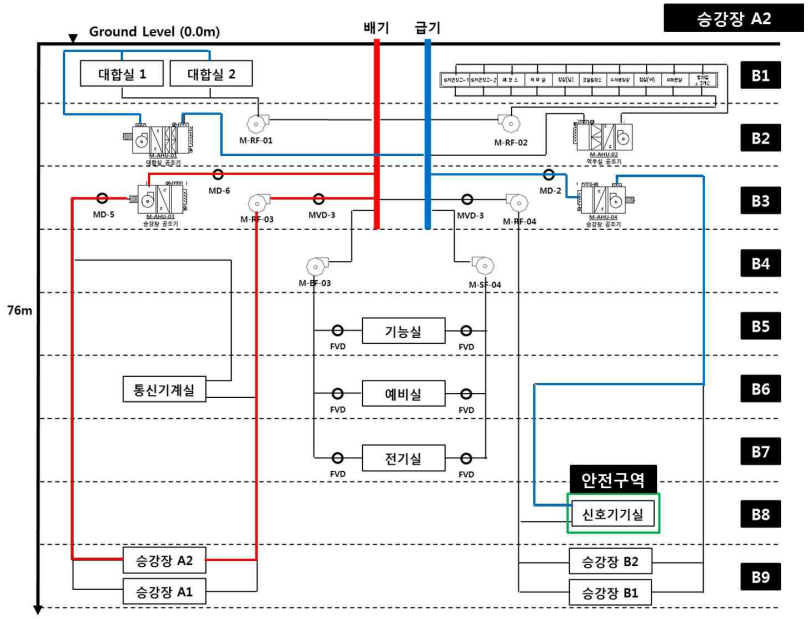


그림 2.9.144 승강장 A2 구역 화재발생시 제연시스템

-승강장 A2 구역 배기
-승강장 A1, B1, B2 구역 정지
-대합실1, 대합실2 급기
-안전구역(신호기기실) 급기

○ 승강장 B1 구역 화재발생시 제연시스템

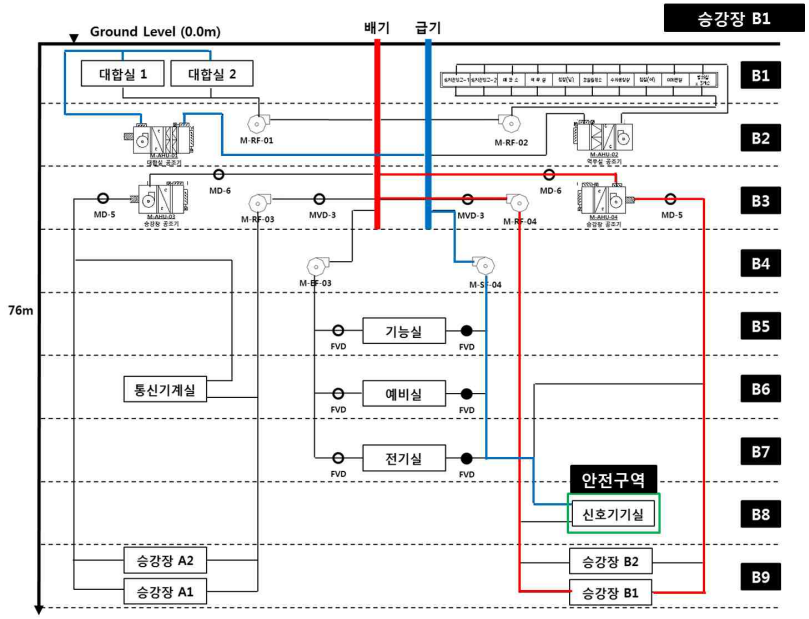


그림 2.9.145 승강장 B1 구역 화재발생시 제연시스템

-승강장 B1 구역 배기
-승강장 A1, A2, B2 구역 정지
-대합실1, 대합실2 급기
-안전구역(신호기기실) 급기

○ 승강장 B2 구역 화재발생시 제연시스템

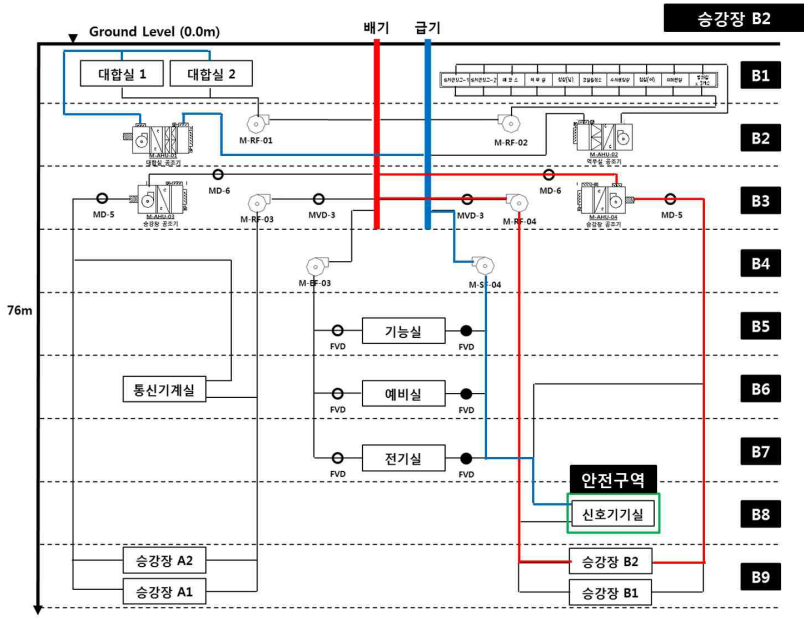


그림 2.9.146 승강장 B2 구역 화재발생시 제연시스템

-승강장 B2 구역 배기
-승강장 A1, A2, B1 구역 정지
-대합실1, 대합실2 급기
-안전구역(신호기기실) 급기

○ 대합실 1 구역 화재발생시 제연시스템

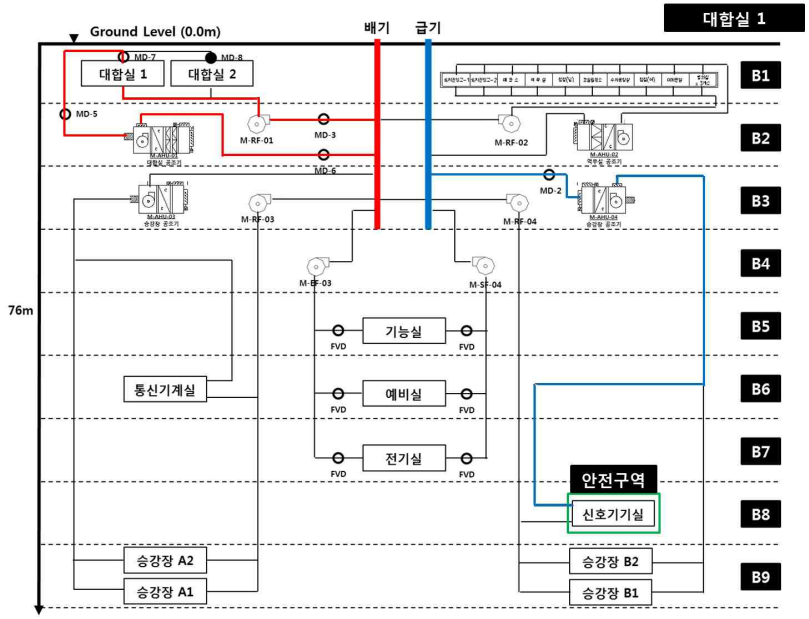


그림 2.9.147 대합실1 구역 화재발생시 제연시스템

-대합실1 구역 배기
-승강장 A1, A2, B1, B2 구역 정지
-대합실2 정지
-안전구역(신호기기실) 급기

○ 대합실 2 구역 화재발생시 제연시스템

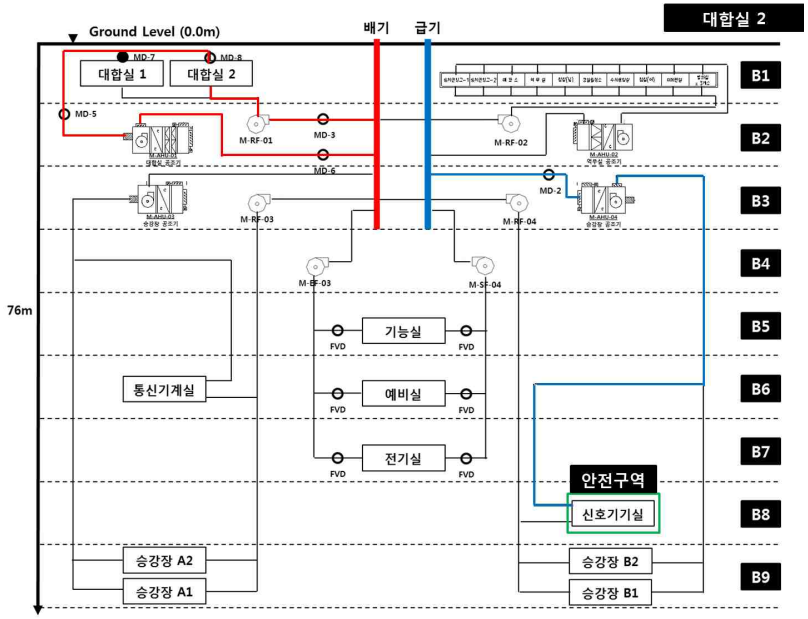


그림 2.9.148 대합실2 구역 화재발생시 제연시스템

-대합실2 구역 배기
-승강장 A1, A2, B1, B2 구역 정지
-대합실1 정지
-안전구역(신호기기실) 급기

(다) 승강장 B1 구역 화재발생시 제연시스템

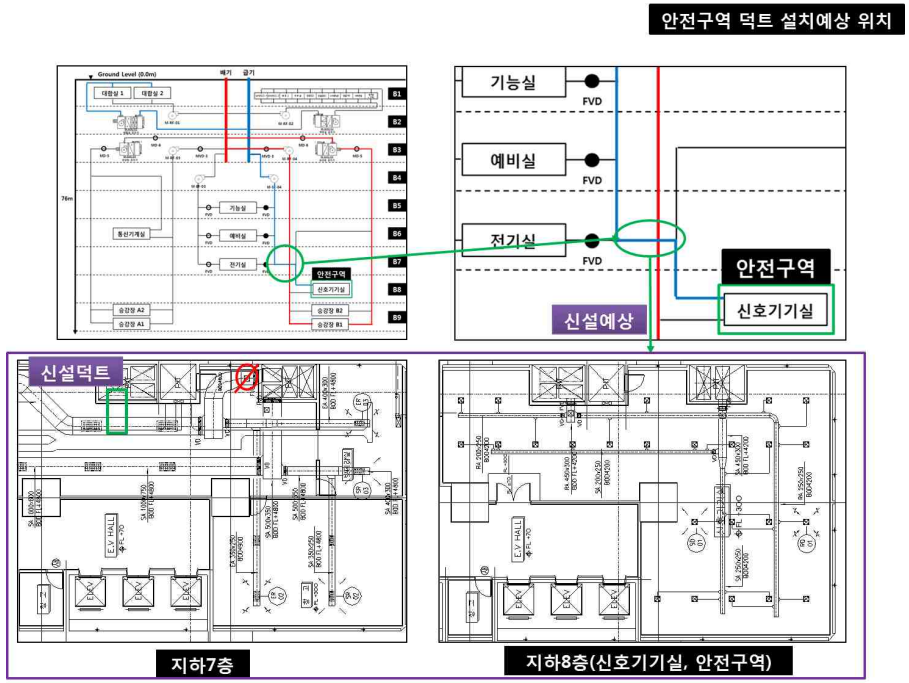


그림 2.9.149 안전구역 설정을 위한 신설덕트 예상 위치

대상이 된 역사에서 신호 기기실이 안전구역으로 설정되었으며, 안전구역으로의 급기를 위해 위 그림과 같이 덕트가 신설되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증을 위한 축소모형 제작

(가) 지능형 급기 네트워크 시스템 검토

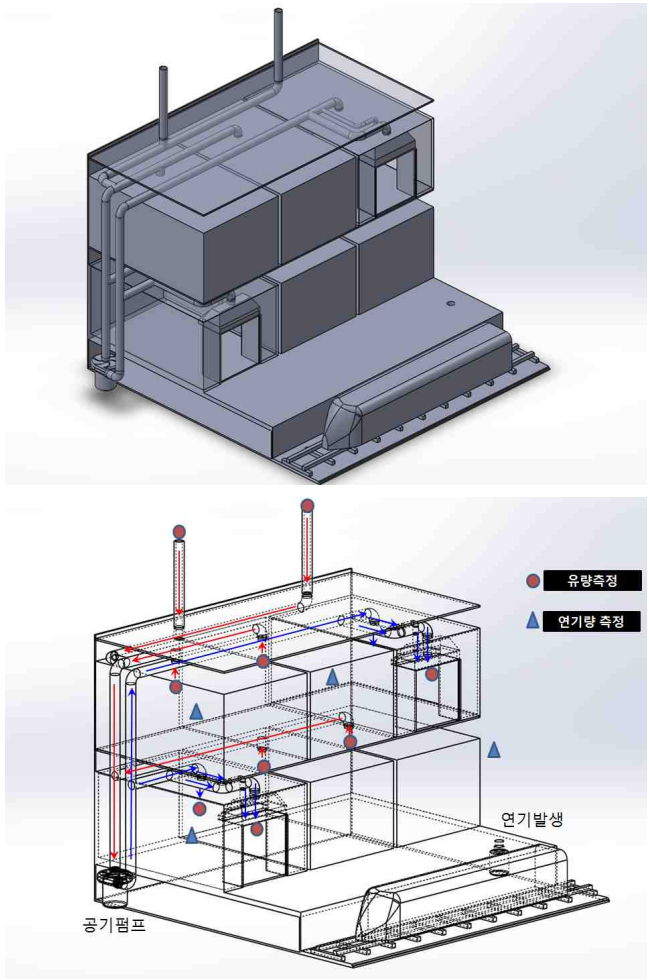


그림 2.9.150 축소모형 제작 및 지능형 급기 네트워크 구현을 위한 컨셉도

지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증을 위한 축소모형 제작을 위해 위 그림과 같이 개념도를 작성하였다. 지하역사를 기준으로 승강장 및 대합실을 모사하였으며, 공간형 차연도어 시스템을 포함한 안전구역 및 급기/ 배기시스템을 구성하여 적용하였다.

승강장에서 화재가 발생한 것으로 가정하였으며, 화재 연기의 확산에 따라 지능연 급기 네트워크 작동을 검증하였다. 다음과 같은 4경우의 시나리오를 검토하였다.

- 승강장 화재발생시 제연모드 작동(계획되어 있는 외부급기탑 1에서 급기)

- 외부급기탑 1의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 1 사용 불가 (외부급기탑 2 활용)
- 외부급기탑 1의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 1 사용 불가 및
  외부급기탑 2의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 2 사용 불가(내부 공간 중 연기가 유입되지 않은 클린룸 1에서 급기)
- 외부급기탑 1의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 1 사용 불가 및
  외부급기탑 2의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 2 사용 불가 및
  내부 공간 중 클린룸 1이 오염되어
  (내부 공간 중 연기가 유입되지 않은 클린룸 2에서 급기)

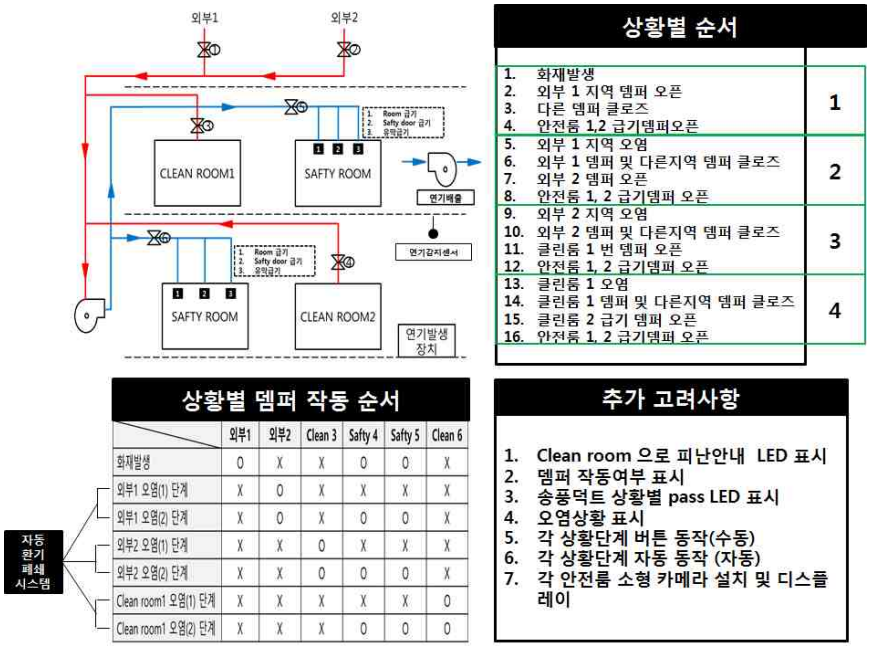


그림 2.9.151 화재상황별 지능형 급기시스템 계통도 및 작동순서

단, 모든 상황시에 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템이 화재연기의 감지 및 작동한다.

(나) 지능형 급기 네트워크 시스템 축소모형 제작

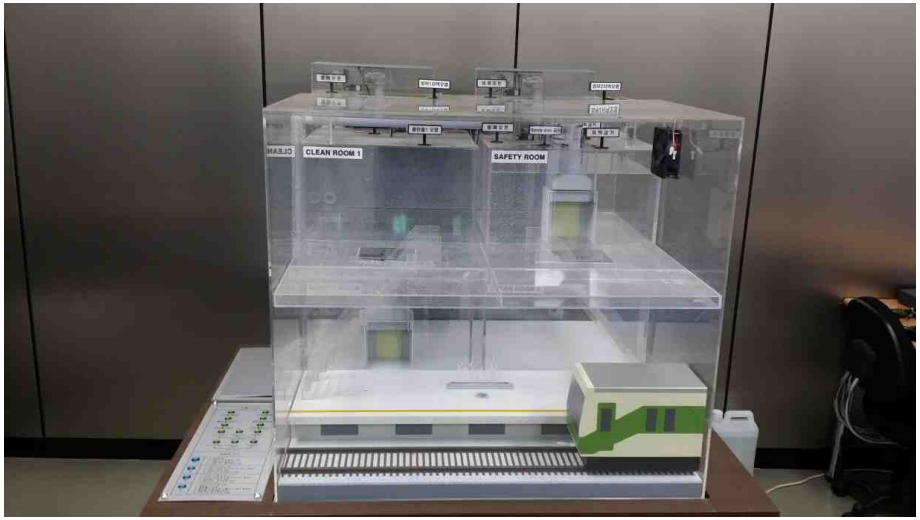


그림 2.9.152 지능형 급기 네트워크 시스템 축소모형 I



그림 2.9.153 지능형 급기 네트워크 시스템 축소모형 II



그림 2.9.154 지능형 급기 네트워크 시스템 축소모형 대합실 상세

○ 승강장 화재발생시 제연모드 작동(계획되어 있는 외부급기탑 1에서 급기)



그림 2.9.155 외부급기탑 1에서 급기작동 모드 I

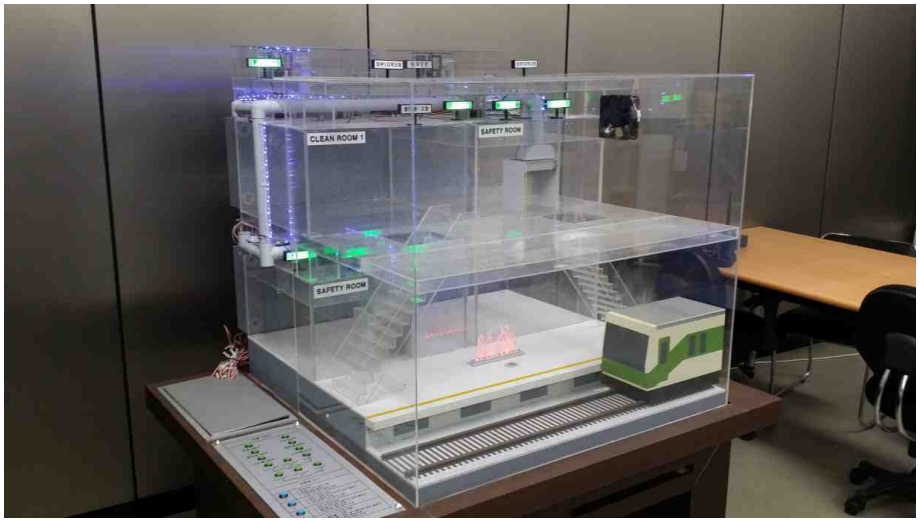


그림 2.9.156 외부급기탑 1에서 급기작동 모드 II

○ 외부급기탑 1의 화재연기 등의 오염 및 외부급기탑 1 사용 불가 (외부급기탑 2 활용)

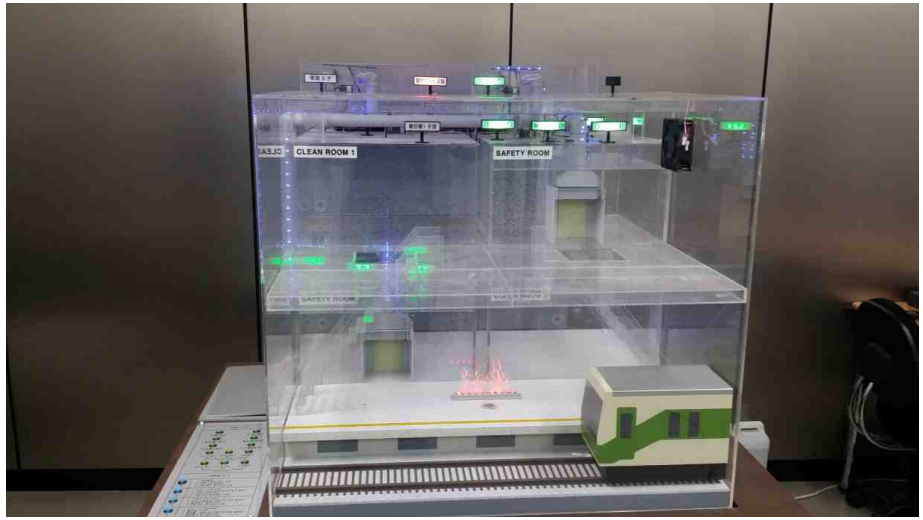


그림 2.9.157 외부급기탑 1 정지 및 급기탑 2에서 급기작동 모드 I

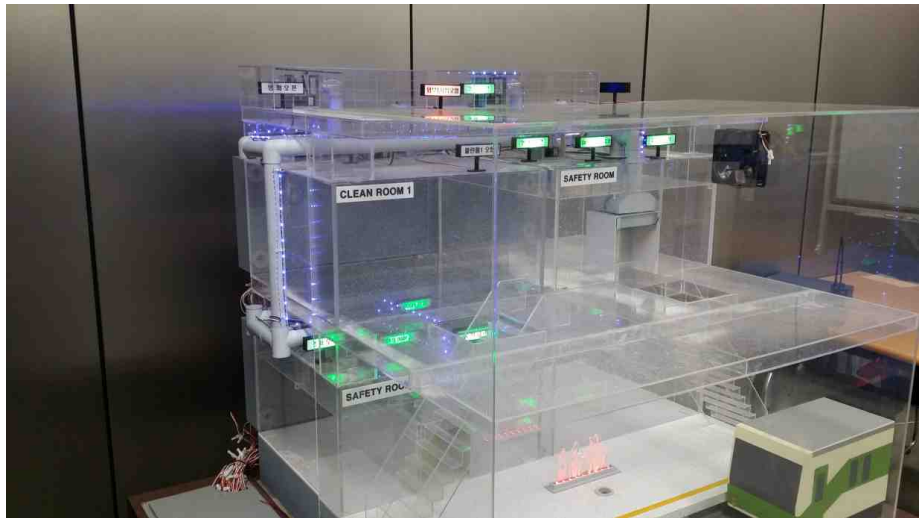


그림 2.9.158 외부급기탑 1 정지 및 급기탑 2에서 급기작동 모드 II

○ 외부급기탑 1,2 사용 불가(내부 공간 중 연기가 유입되지 않은 클린룸 1에서 급기)

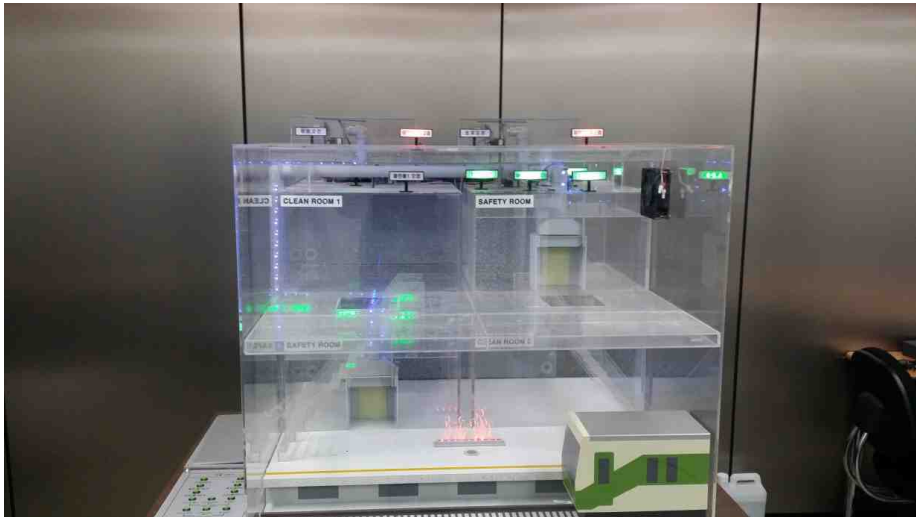


그림 2.9.159 외부급기탑 1,2 정지 및 클린룸 1에서 급기 I



그림 2.9.160 외부급기탑 1,2 정지 및 클린룸 1에서 급기 II

○ 외부급기탑 1, 2 사용 불가 및 내부 공간 중 클린룸 1이 오염 (내부 공간 중 연기가 유입되지 않은 클린룸 2에서 급기)



그림 2.9.161 외부급기탑 1,2, 클린룸 1 정지 및 클린룸 2에서 급기 I

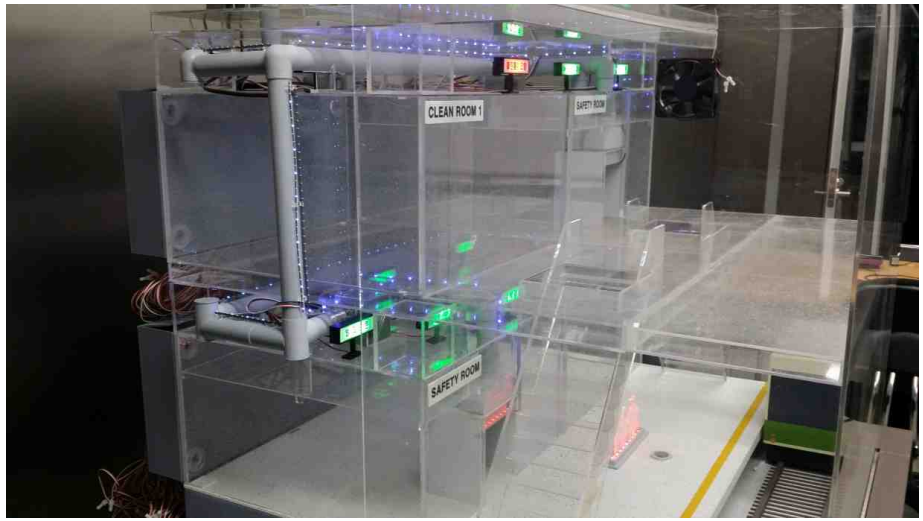


그림 2.9.162 외부급기탑 1,2, 클린룸 1 정지 및 클린룸 2에서 급기 II

○ 모사용 화재연기를 이용한 안전구역 지능형급기네트워크 시스템 검증



그림 2.9.163 화재발생 초기 상황

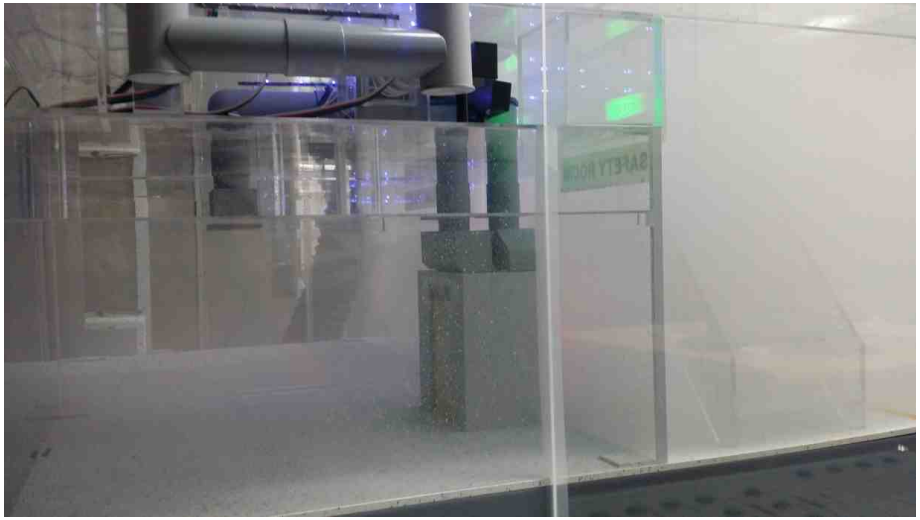


그림 2.9.164 안전구역 안으로 유입되지 않은 상황 I

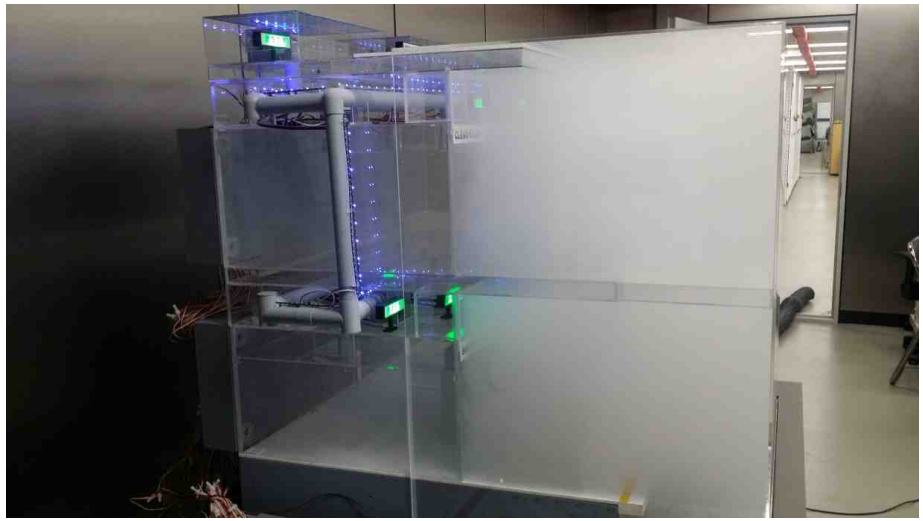


그림 2.9.165 안전구역 안으로 유입되지 않은 상황 II



그림 2.9.166 안전구역 안으로 유입되지 않은 상황 III

제10절 안전구역시스템 제작 및 현장 적용 시험

1. 안전구역 주요시스템 (공간형 차연도어 시스템) 설계

가. 단문전개식 공간형 차연도어 설계

양문전개식은 기존 설계의 개념을 그대로 가지고 구성된 것이며, 주로 안전구역이 하나의 방으로 설정된 경우 사용하기 위한 것이었다, 하지만 실제 만덕역사의 현장 방문 및 검토에 결과로 승강장에서 상부로 연결되는 피난계단이 단일 방화문만 있고 전실구조가 없어, 화재 시 연기가 유입될 가능성이 높음을 알 수 있었다. 이를 해결하기 위한 방안으로 여러 아이디어를 생각하던 중 벽면에 부착되어있는 단일 벽체를 움직여 좁은 계산실에서도 전실공간구조를 형성할 수 있는 방안을 생각해내게 되었다. 이는 특허로도 출원되었다. 좁은 공간이지만 가압이 가능한 전실구조, 방화문 이외의 추가적인 문의 2중 구조, 그리고 외부급기형 에어커튼을 설치하여 연기유입방지를 위한 조치를 할수있도록 시스템을 구성하였다.

이 시스템의 주요 부분들, 예를 들면 벽체 무게 등을 줄이기 위해 방화스크린이 채용되었고, 기타 이동식 슬라이드 등은 모두 양문전개식의 설계 내용을 반영하였다. 또한 벽체에도 슬라이드 식 문을 방화문 폭 이상으로 설치하여 원할한 피난에 장애가 없게 설계 시공하였다.

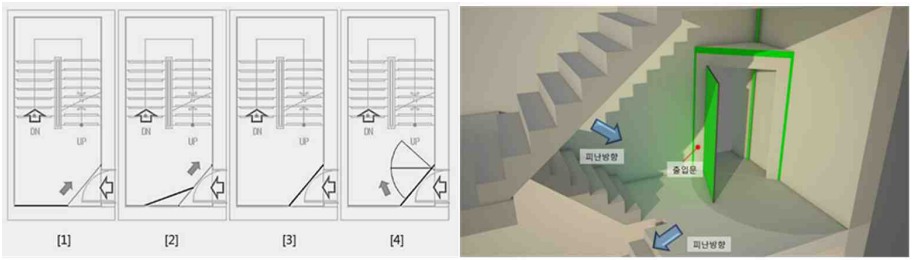


그림 2.10.1 단문전개식 공간형 가압차연도어 설계

나. 양문전개식 공간형 차연도어 설계

공간형 차압방연시스템의 가장 중요한 핵심적인 부분은 2가지인데 하나는 문에 방연풍을 형성하는 것이고 하나는 공간을 형성하는 것이다. 실질적인 핵심은 공간형성 부분이다.

초기의 가장 중요한 컨셉은 벽면에 수납되어 있다가, 전개되어 전실공간을 형성한다는 것이었다. 이는 최초 과제 제안에서 상부 구조물을 중심으로 벽면이 전개되고, 앞부분에 방화스크린을 사용하여 공간을 구현한다는 것이었다. 그런데 이는 출입이 자유롭지 못하고, 내부 가압 시 스크린의 유지 등에 대한 기술적인 어려움이 예상되었다. 그러므로 2번째 고안된 방식은 펼쳐지는 벽의 맨 마지막이 270° 회전하여, 문을 형성한다는 것이었다.

이러한 사항을 반영하기 위해 여러 시험제품을 만들어 보았으나, 1차적으로 270° 회전에 어려움이 있었다. 특히 방화문 수준의 벽면을 구현해보았으나 그 무게도 상당할 뿐 아니라, 회전을 위한 경점 등 확보에도 어려움이 있었다.

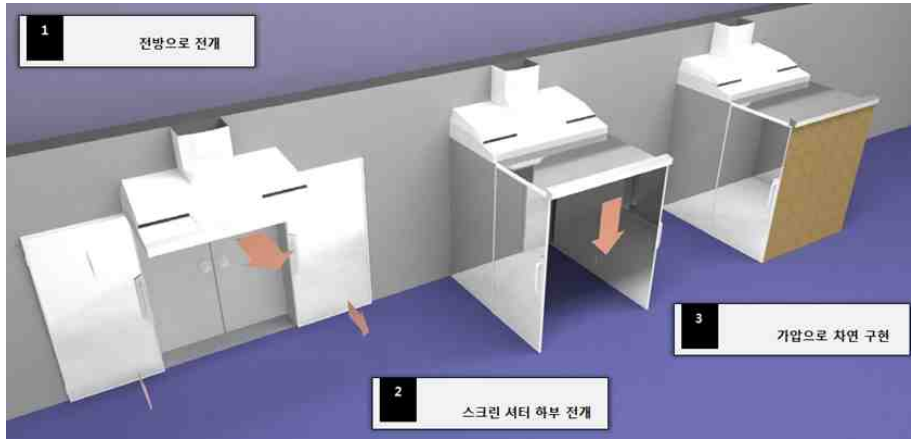


그림 2.10.2 1차 양문전개식 차연도어 시스템 개념도

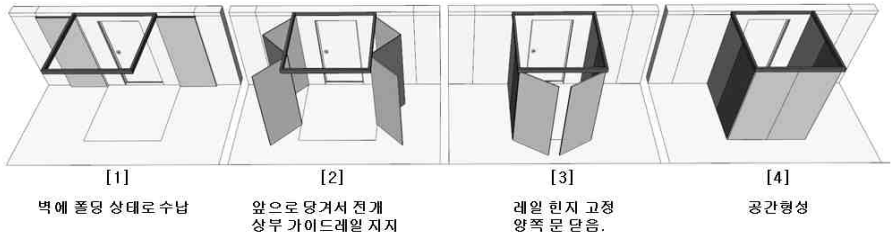


그림 2.10.3 2차 양문전개식 차연도어 시스템 동작 구조 개념도



그림 2.10.4 2차 양문전개식 차연도어 시스템의 초기 시작품

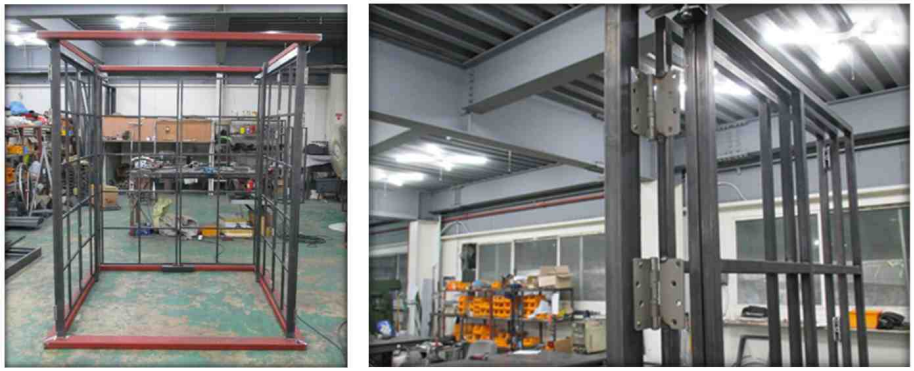


그림 2.10.5 2차 양문전개식 차연도어 시스템의 초기 시작품

위의 문제점을 개선하기 위하여 상부레일 부분과 슬라이드 및 힌지를 연결하는 부분을 설계하였다. 즉, 상부의 슬라이드를 타고 이동하는 이동체에 직접 힌지 축을 연결하고, 이 장축에 경첩을 다는 방식이었다. 해당 장축이 상부와 하부를 모두 연결하는 것이 아닌 구조가 문제였다. 즉, 하부에 레일을 최대한 만들지 않으려 했는데 이는 바닥에 레일이 생겨 평시 이용하는 상황에서의 불편을 최소화 하려는 생각 때문이었다. 하지만 이를 고려하다보니 상부에 대부분의 하중이 지지되는 형태가 되어서 원할한 움직임에 장애가 되고 2개 또는 3개의 축을 한번에 연결한다는 것은 매우 어려운 상황이었다. 또한 실제 그러한 연결이 효용성이 있는 지도 의문시 되었다. 추가적으로 이러한 부품의 제작비용이 상당하기 때문에 재품화와 양산을 위해서는 최대한 현재 판매중인 부품을 사용해야 한다는 의견이 있었다.



그림 2.10.6 양문전개식 차연도어 시스템의 슬라이드 및 장축 힌지 구조 설계

결과적으로 상부의 레일에 이동체와 축의 연결은 벽체 상부 한군데만 하고 나머지는 개별적인 경첩을 사용하는 방식으로 설계 변경이 진행되었다. 기존 판매 롤러는 하부로 전개된 부분이 짧다는 문제점이 있었다.



그림 2.10.7 시판하는 슬라이드 및 단축 힌지

시판되는 슬라이드 및 단축 힌지 시스템을 채용하기 위해서는 결과적으로는 새로운 힌지의 필요성이 나타났으며, 이를 위해 새로운 270°회전 힌지의 개발이 진행되었다. 이 힌지는 접혀있는 상태에서 270°회전 후에 문의 각도를 90°로 만들어 줄 수 있었으며, 길이를 짧게 하여 단축 힌지 시스템에 부착할 수 있었다.

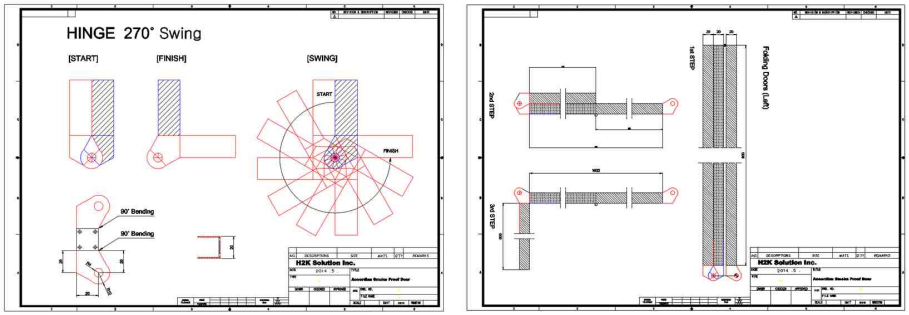


그림 2.10.8 힌지 및 도어 부착 설계도면

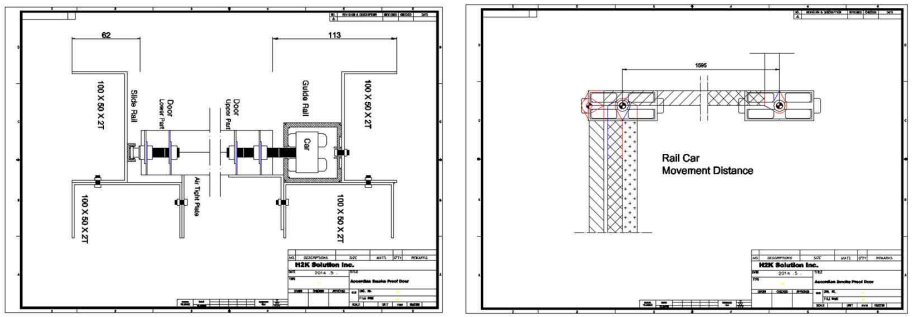


그림 2.10.9 레일카와의 연결 및 이동에 대한 구조도면

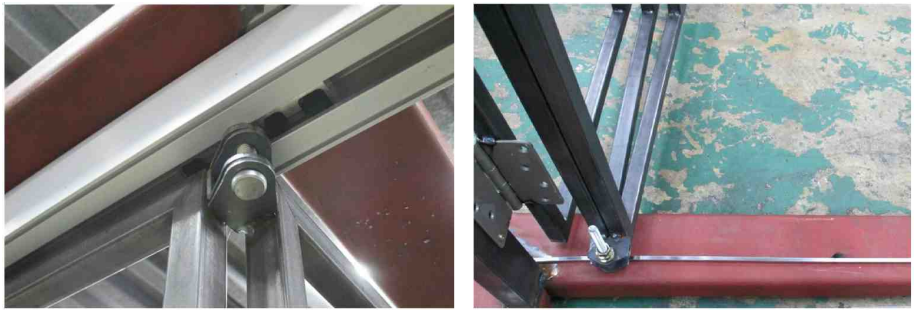


그림 2.10.10 실제 제작 사진



그림 2.10.11 실제 제작 사진

레일과 힌지를 개선하여 부분을 실제 동작되는 형태의 시작품을 제작할 수 있었다.
이후 새로운 문제점이 나타났는데 이는 벽체가 너무 무겁다는 것이었다. 최초 방화문을 기준으로 벽체를 만들다보니 그 무게가 상당했으며, 노약자들이 쉽게 전개할 수 있는 지 의문이 제기되었다. 그러므로 이에 대한 개선에 착수하였다.

이 벽체의 목적은 연기를 가두어 두는 역할을 수행하며, 직접 화염을 막는 목적은 없었다. 하지만 그렇다고 해도 착화가 가능한 재료는 사용이 어려우며, 어느 정도의 난연성능이 필요했다. 여러 가지 재료를 검토하고 시험한 결과 방화스크린셔터에 사용되는 천을 선택하였다.

표 2.10.37 방화스크린셔터와 철제 방화셔터의 비교

항목	방화 스크린셔터	철제 방화셔터
품질인증	건설교통부고시인증	건설교통부고시인증
차연기능	천의 연결부위가 없고, 가이드레일의 틈새가 7mm로 누기 발생이 적음	Slat의 연결부위, 가이드레일과의 접촉 부위에서 누기 발송
내화기능	천으로 제작되어 변형이 전혀 없음	비상문의 위치에 따라 가열 시 변형에 의한 틈새 발생
박스 Size	셔터박스 : (W)250 * (H)250	셔터박스 : (W)650 * (H)450
셔터본체	Screen : 불연 1급직물 0.65T(±0.05)	Slat : 철판(EG) 1.6T
셔터중량	10㎡ 기준 : 약 7.5kg	
동작성	① 열에 의한 변형이 없어 항상 안정적으로 작동함 ② 열에 의한 변형이 없고, 별도의 잠금장치가 없어 항상 손쉽게 열림	① 철물로서 녹이 슬거나 비틀림으로 낙하 시 결함이 발생하는 무수한 사례가 있음 ② 열에 의한 변형으로 비상문이 제대로 작동되지 않는 사례발생(대구지하철 역사 화재 사건) ③ 별도의 잠금장치를 사용하여서 문을 열기가 힘듦
확장성	① 15~30m 이상의 장폭 설치시 별도의 포스트가 필요 없음 ② 공간의 활용성이 매우 좋음	① 장 폭의 셔터 설치(보통 6m)시 중간포스트가 필요함 ② 공간의 활용이 매우 낮음
안정성	① 경량으로 취급이 간편하고 낙하시 안전사고의 위험이 없음 ② 반투명의 스크린 사용으로 반대편의 상황 파악 용이함 ③ 천의 사용으로 뜨겁지 않음(표면온도 약 60°C) ④ 가벼운 천을 사용하여 어린이나 노약자가 손쉽게 문을 열 수 있음 ⑤ 반투명의 천을 사용하여 심리적 공포가 적음	① 중량으로 낙하시 안전사고의 위험이 있음 ② 상용전원을 사용하여 감전의 위험이 있음 ③ 불투명 철물을 사용하여 정전 시 패닉 현상 발생(공포감) ④ 화재 시 온도 상승으로 문을 열 수 없음(표면온도 약 250°C) ⑤ 스프링 힌지를 사용하여 비상시 어린이나 노약자가 문을 열기 힘듦 ⑥ 낙하 후 공간 폐쇄로 심리적 공포감이 큼

방화스크린 천은 방화문이나 방화셔터구조와 동일한 화재에 대한 성능을 보유하고 있으므로, 이는 착화 방지와 연기의 열 차단의 목적에 잘 부합하는 재료라 할 수 있다. 그러므로, 이를 벽체에 부착하기 위한 방법을 고안하게 되었다. 2m X 1m의 벽체를 만들고 그 상부 재질을 1.6T철판과 방화스크린 천으로 하여 비교해보았다.




그림 2.10.12 철판 1.6T 무게 34.1 kg

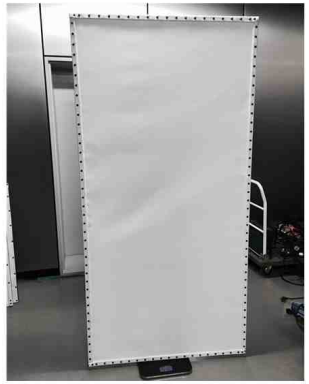



그림 2.10.13 방화스크린 5cm 간격 볼트로 고정 무게 15.9 kg




그림 2.10.14 방화스크린 10cm 간격 볼트로 고정 무게 15.3 kg




그림 2.10.15 방화스크린 15cm 간격 볼트로 고정 무게 15.3 kg

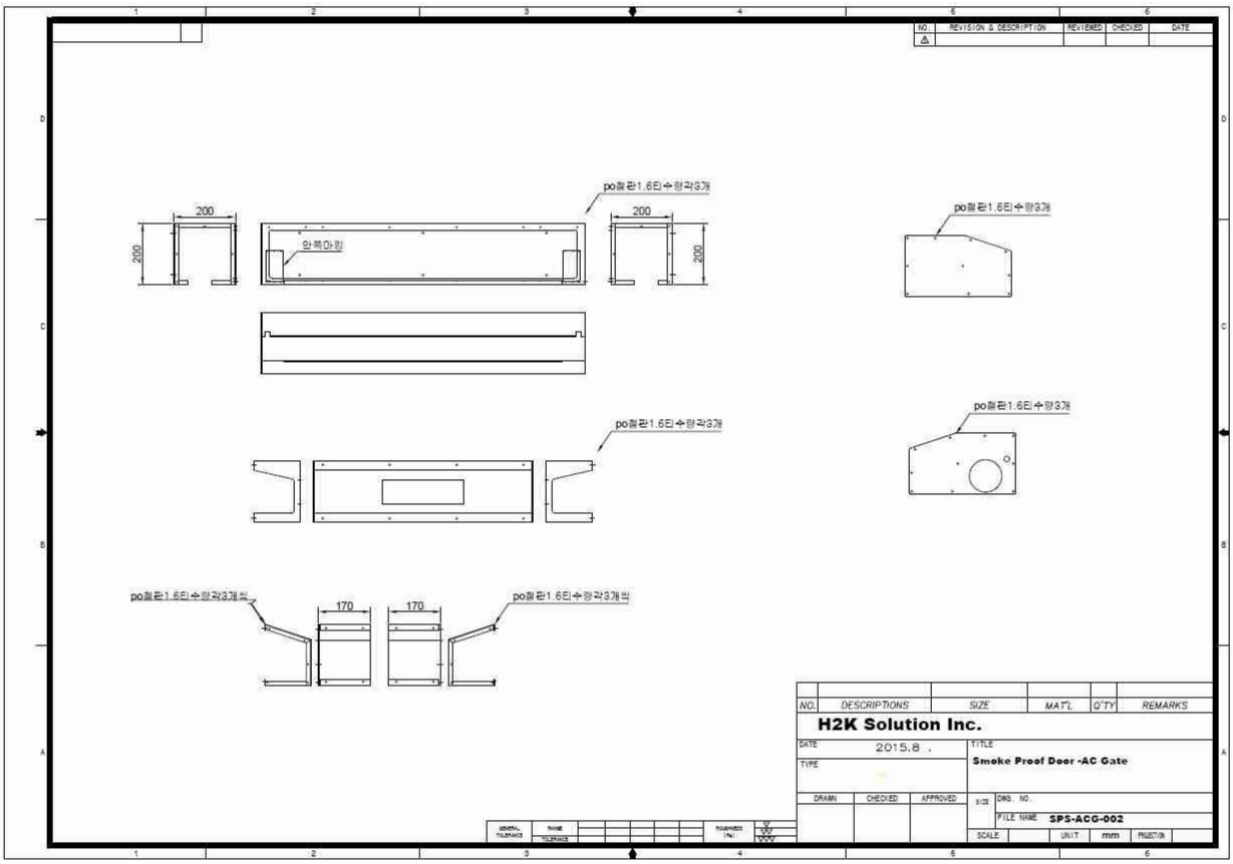


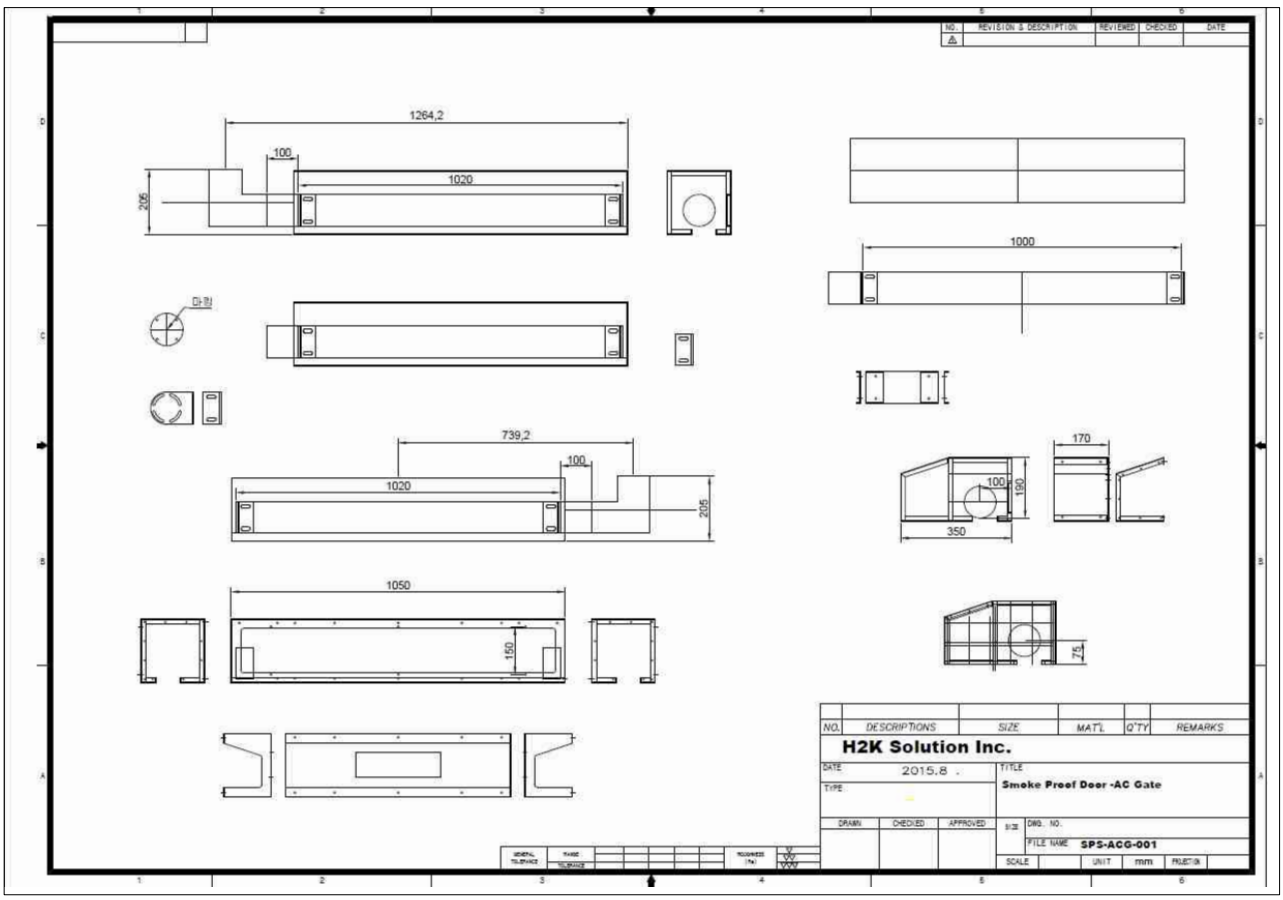

그림 2.10.16 방화스크린 10cm 간격 리벳으로 고정 무게 9.6 kg

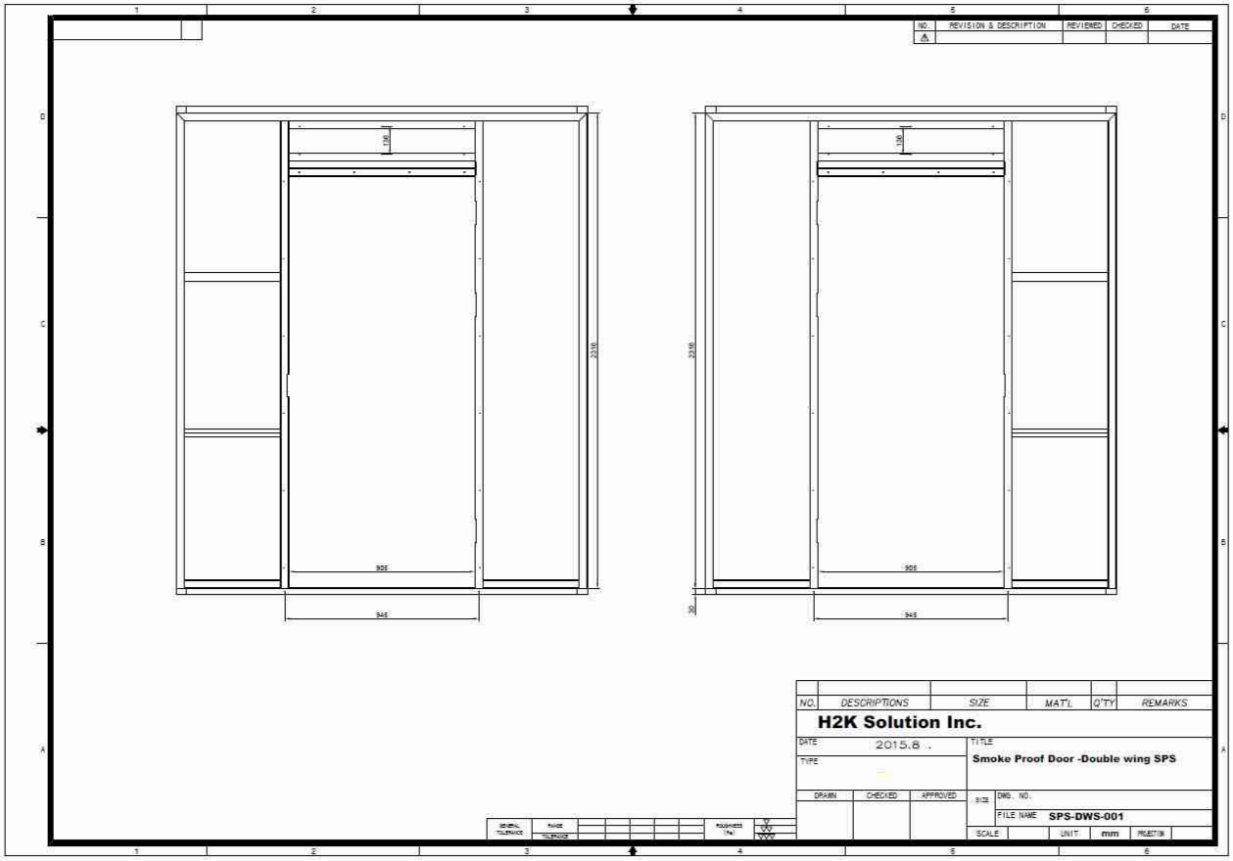
결과를 보면 최초 철판부착은 34.1kg 이었지만 10cm 간격의 리벳과 방화스크린을 사용하면, 9.6kg 수준으로 무게를 1/3이하로 낮출 수 있었다. 이는 철판으로 만든 문 대비 28% 수준에 불과하다. 이렇게 경량화된 벽체는 실제 최종 시제품에 반영되었다.

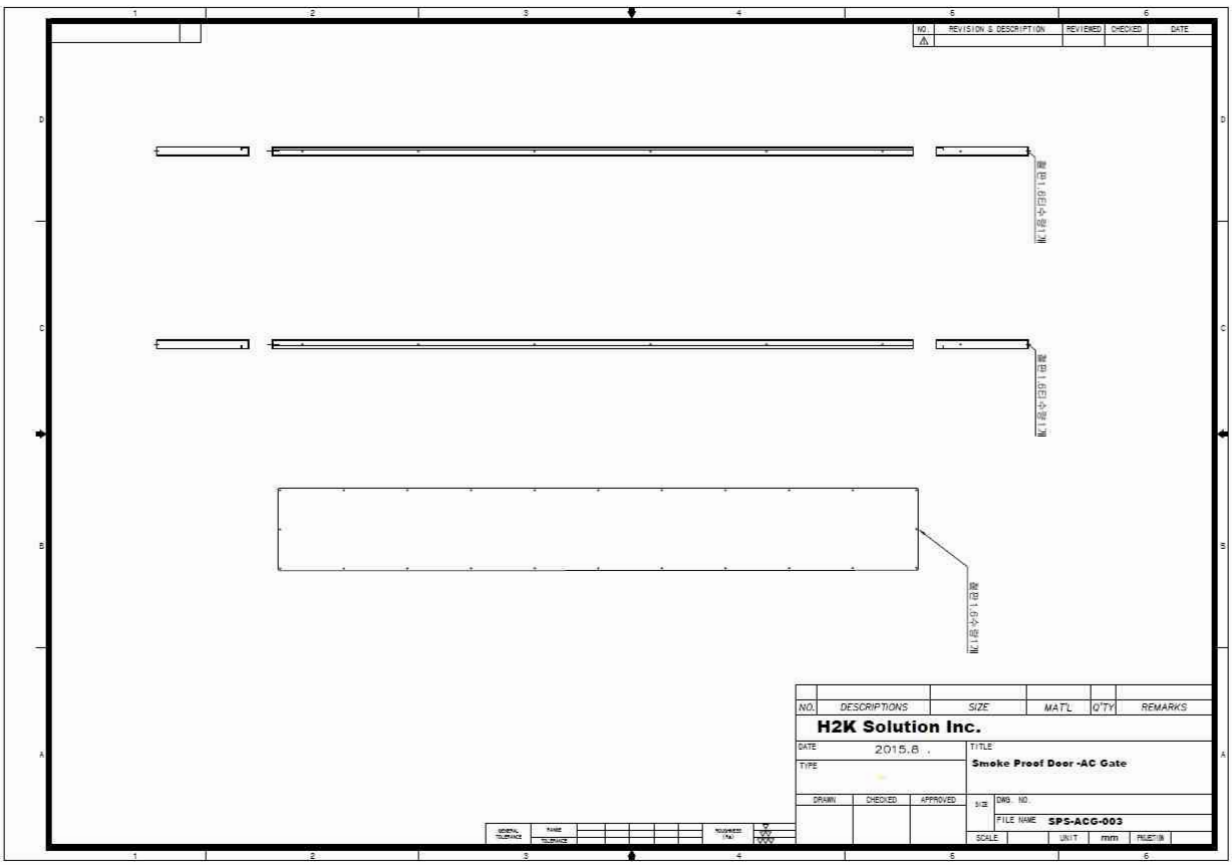
다. 각 시스템의 도면화 작업

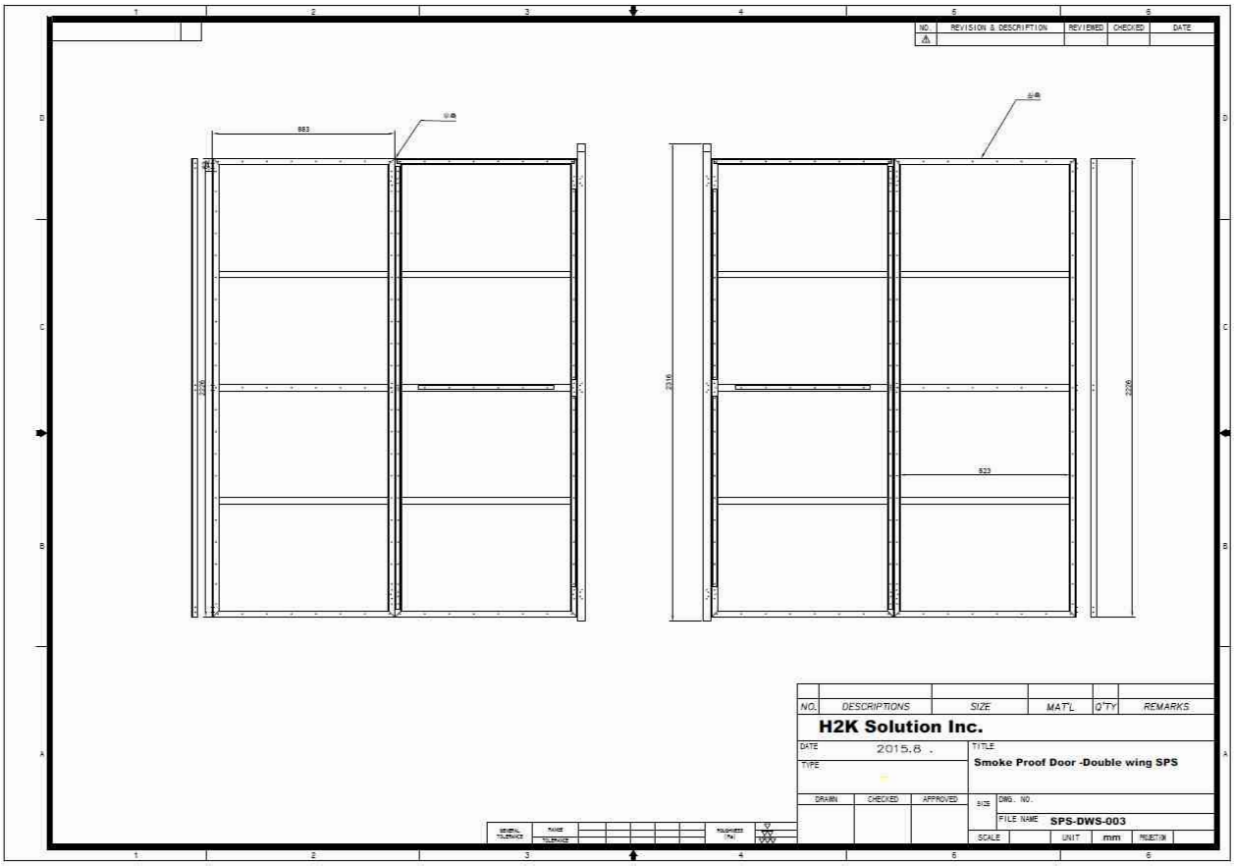
각 시스템의 설치를 위한 도면화 작업을 수행하였으며, 양문전개식, 단문전개식, 그리고 에어스크린 게이트 단일과 함께 에어블로어의 커버도 도면화 하였으며 이는 다음과 같다.

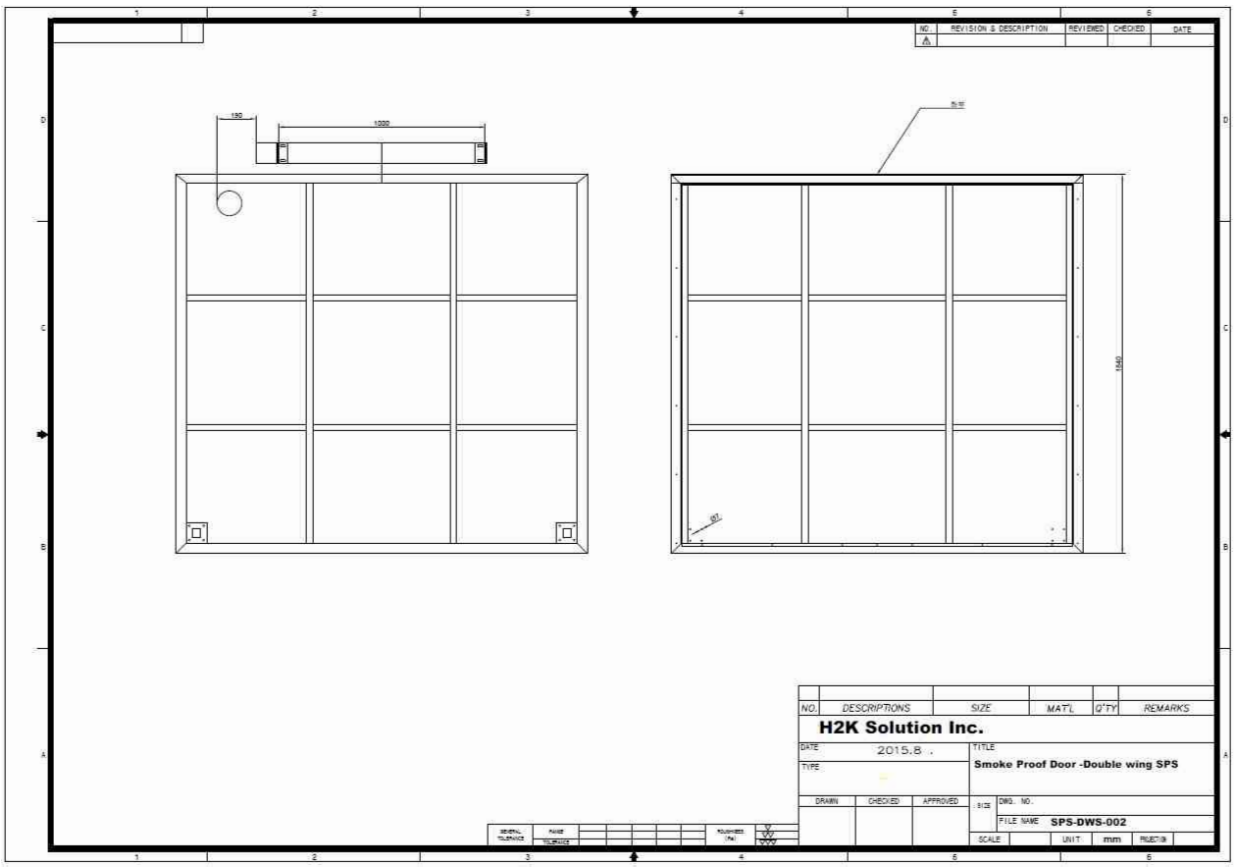

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
po형관1.6티+망각3개
200
200
200
200
압축마킹
po형관1.6티+망3개
po형관1.6티+망각3개
po형관1.6티+망3개
po형관1.6티+망각3개씩
170
170
po형관1.6티+망각3개씩
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -AC Gate
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-ACG-002
SCALE UNIT mm PROJECTION

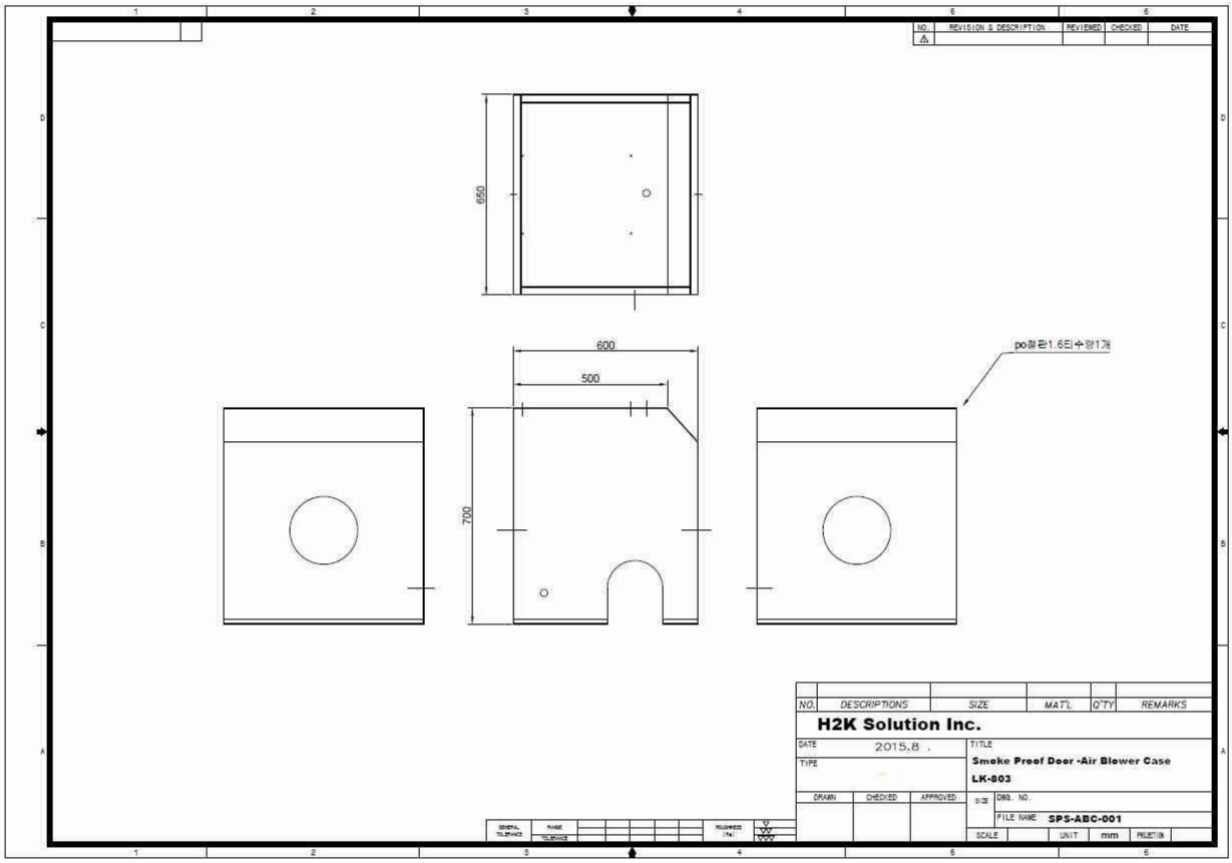

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
1264,2
100
1020
205
마킹
1000
739,2
100
1020
205
170
100
190
350
1050
150
75
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -AC Gate
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-ACG-001
SCALE UNIT mm PROJECTION

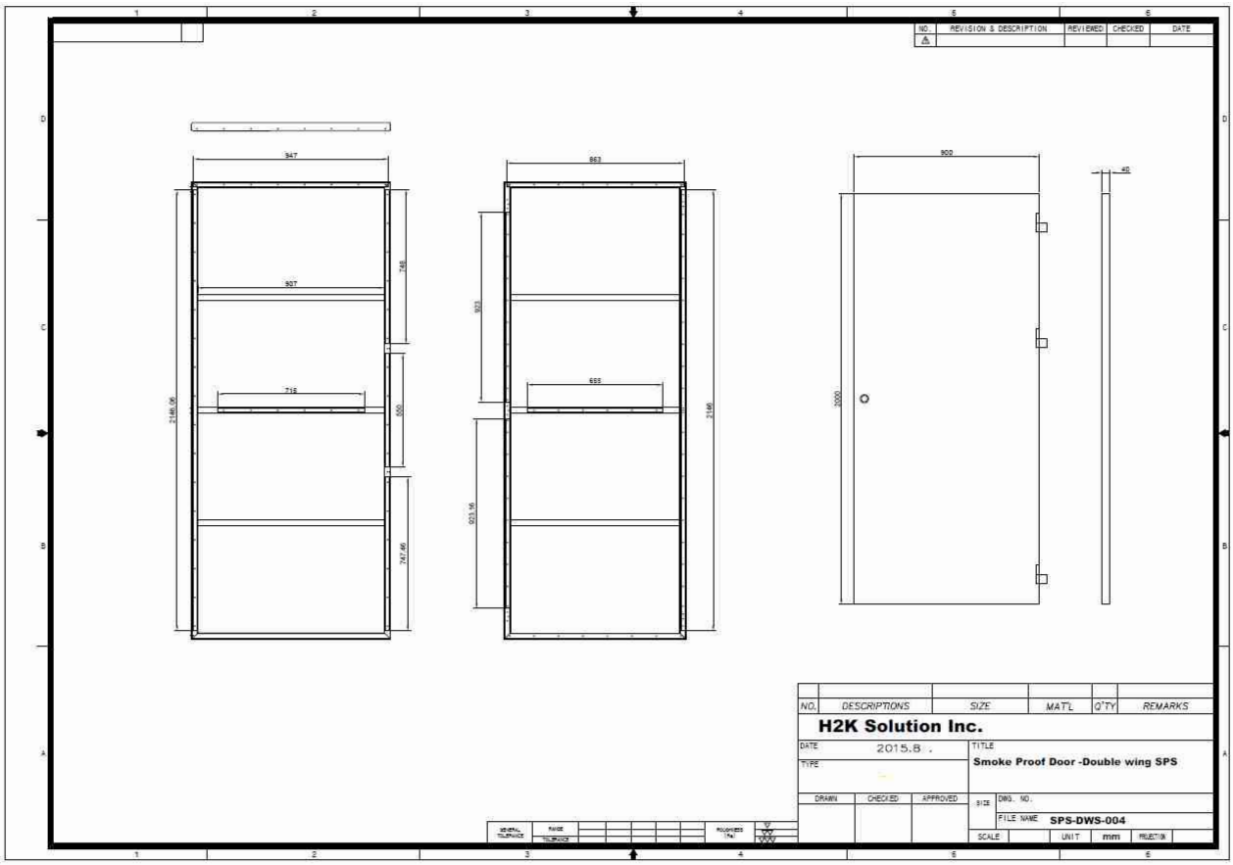

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE Smoke Proof Door -Double wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-001
SCALE UNIT mm

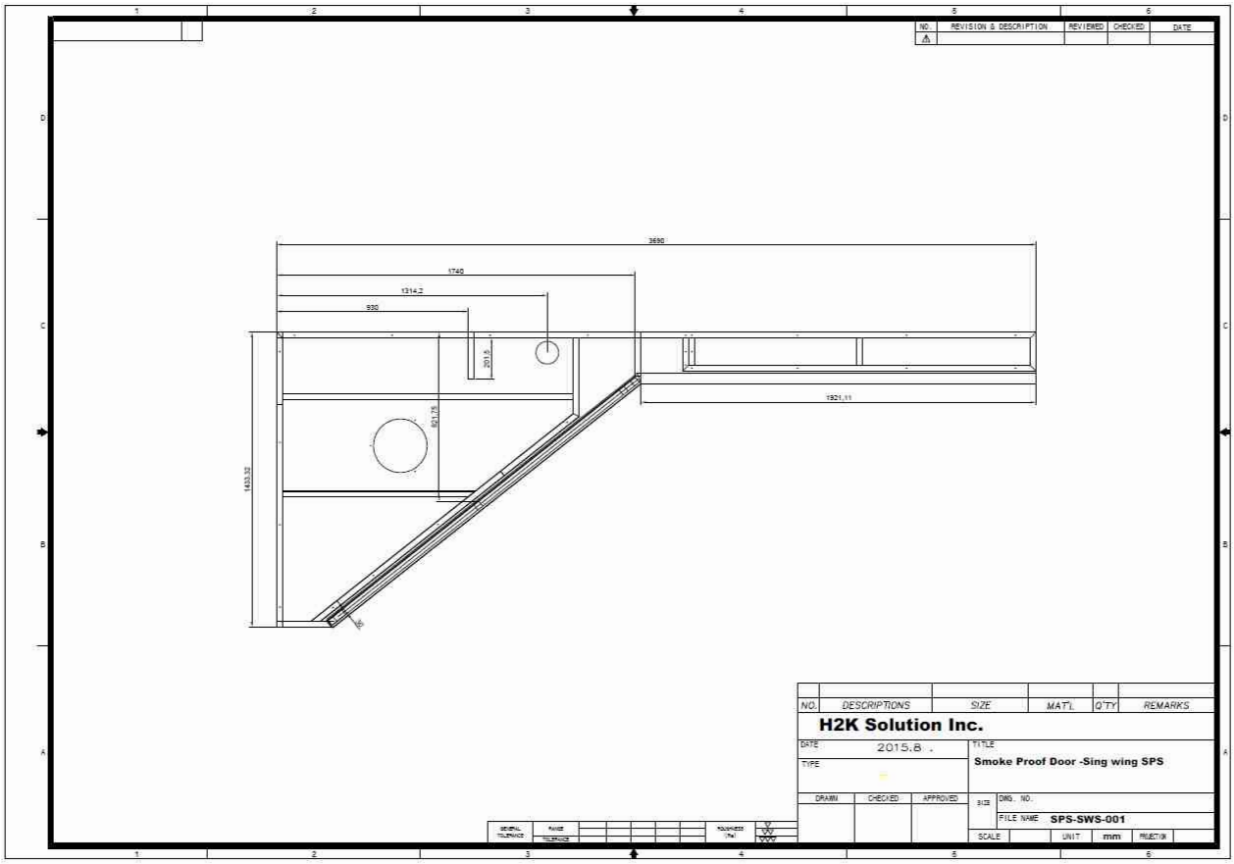

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE Smoke Proof Door -AC Gate
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-ACG-003
SCALE UNIT mm

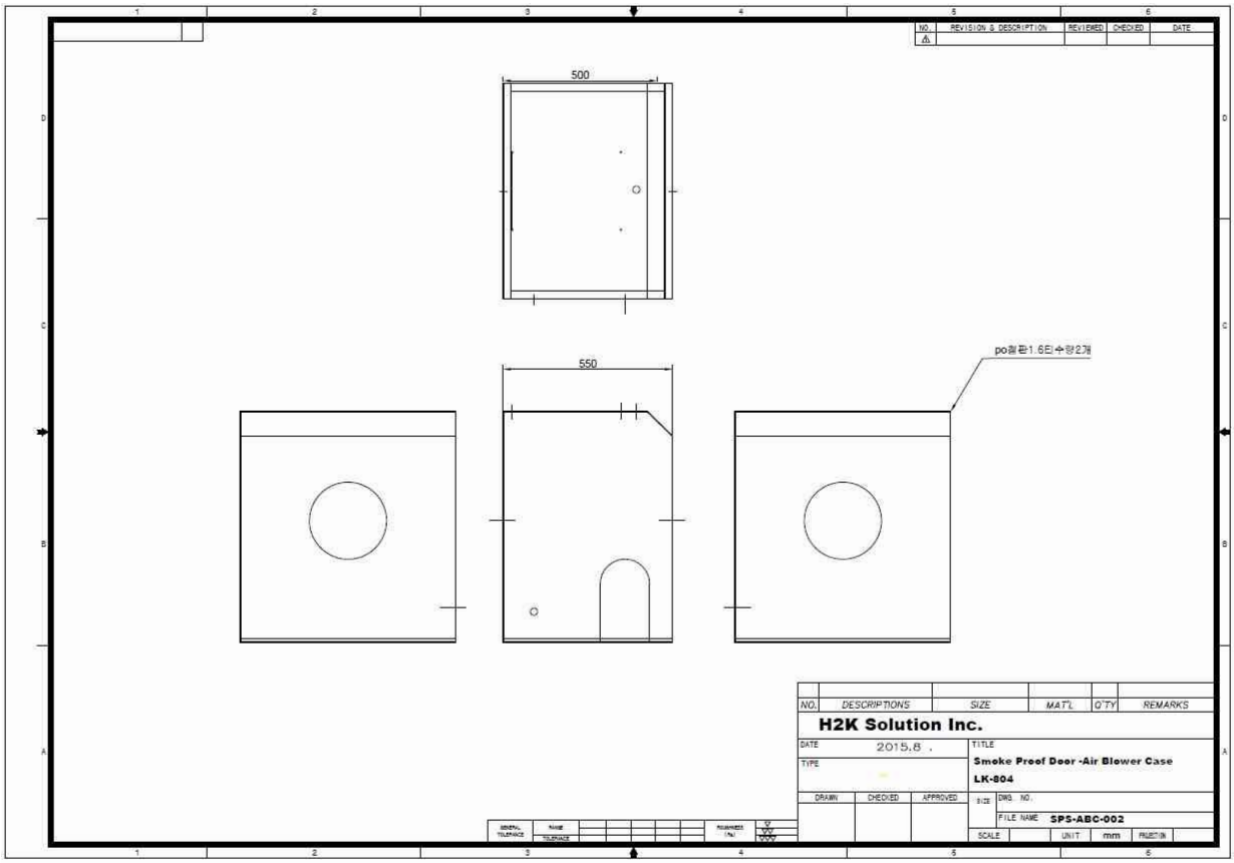

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
883
2116
2205
823
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -Double wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-003
SCALE UNIT mm PROJECTION

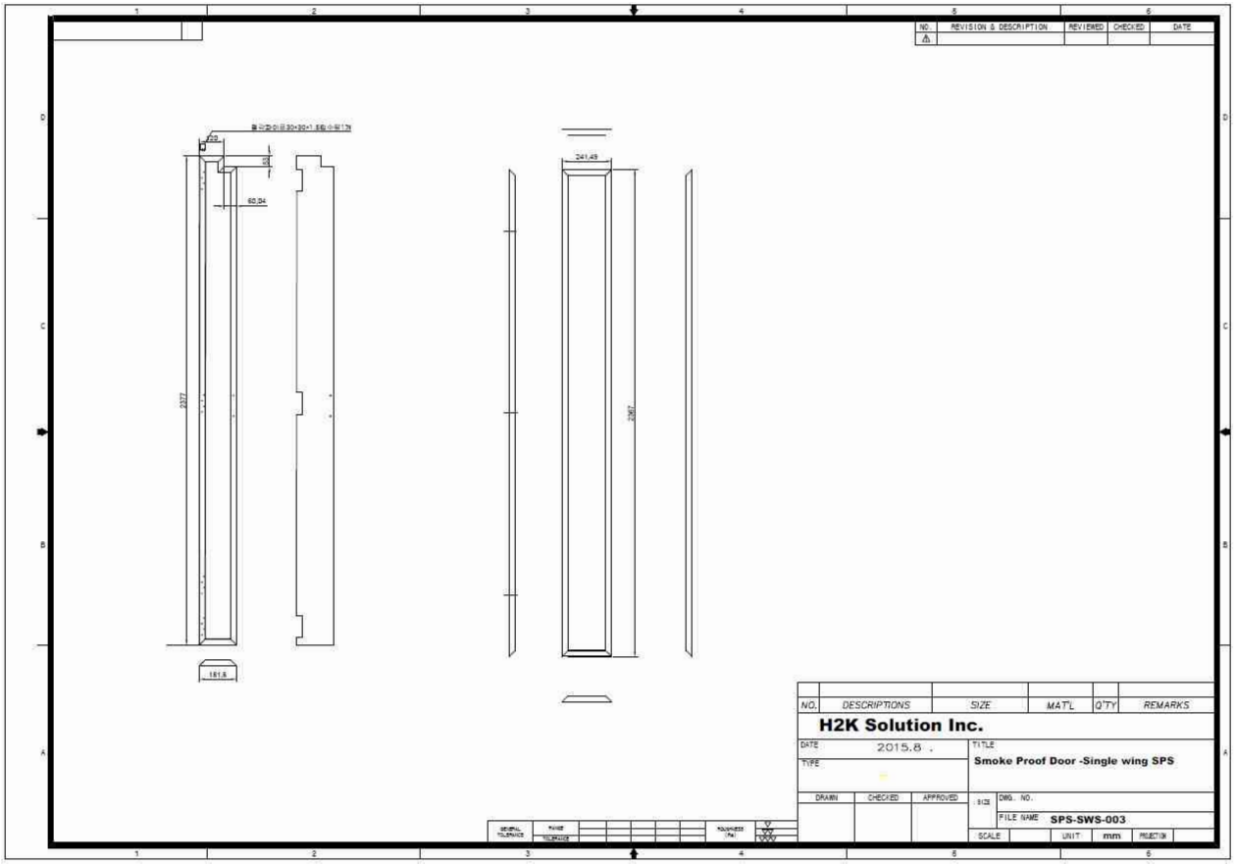

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
150
1000
1945
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -Double wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-002
SCALE UNIT mm PROJECTION

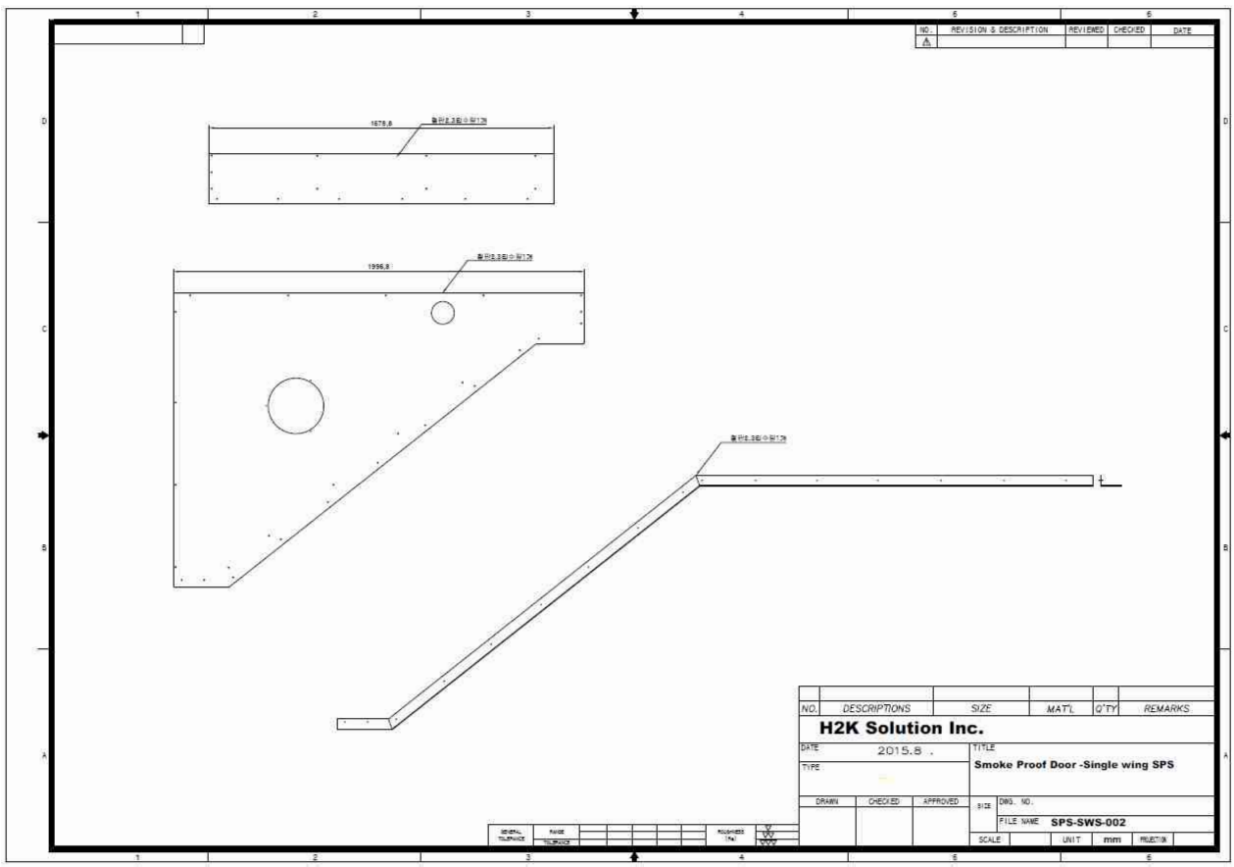

650
600
500
700
po철판1.6티+보강1개
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Smoke Proof Door -Air Blower Case
LK-803
SIZE DWG. NO.
FILE NAME SPS-ABC-001
SCALE UNIT mm PROJECTION

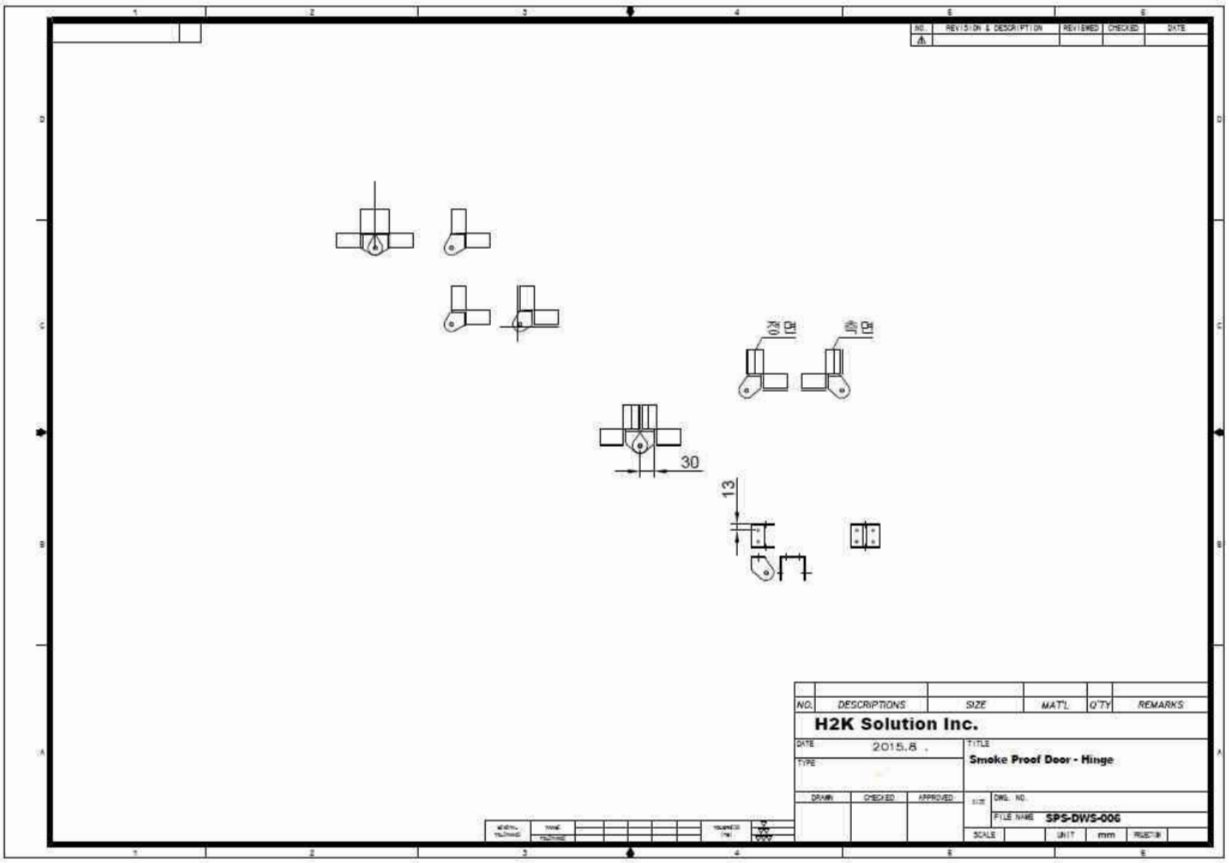

947
907
716
748
320
747.46
2146.06
863
903
655
903.16
2146
900
2000
40
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Smoke Proof Door -Double wing SPS
SIZE DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-004
SCALE UNIT mm PROJECTION

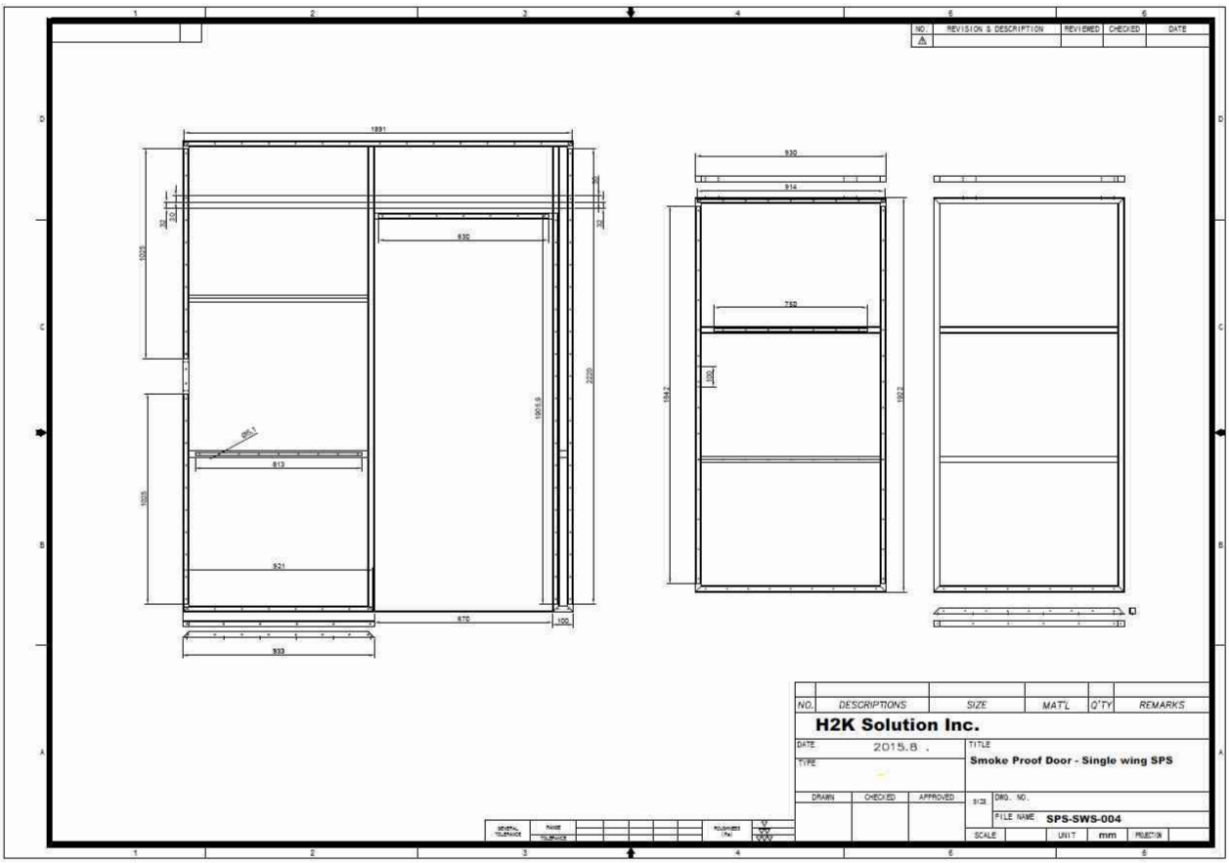

3690
1740
1314.2
930
201.6
1921.11
1433.32
601.75
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Smoke Proof Door -Sing wing SPS
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-SWS-001
SCALE UNIT mm PROJECTION

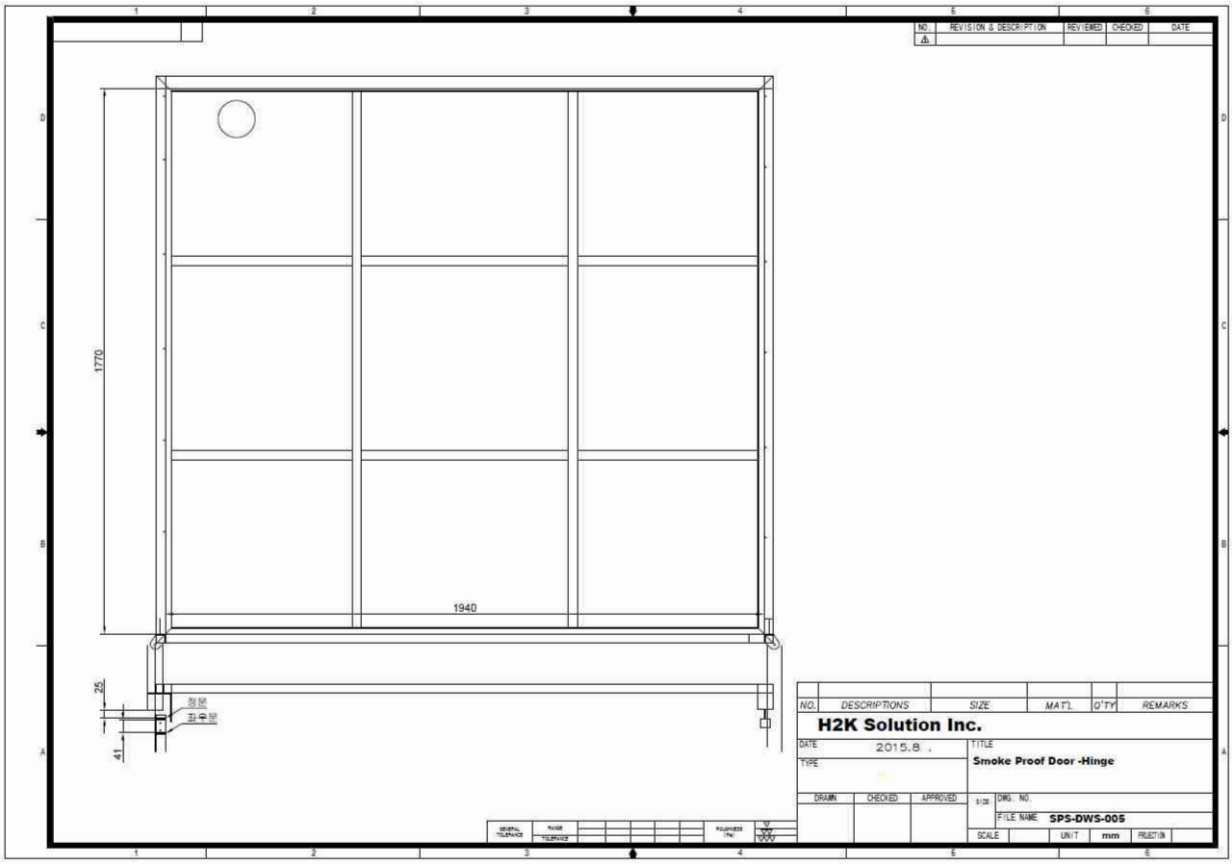

500
550
po철판1.6E)수량2개
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Smoke Proof Door -Air Blower Case
LK-804
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-ABC-002
SCALE UNIT mm PROJECTION

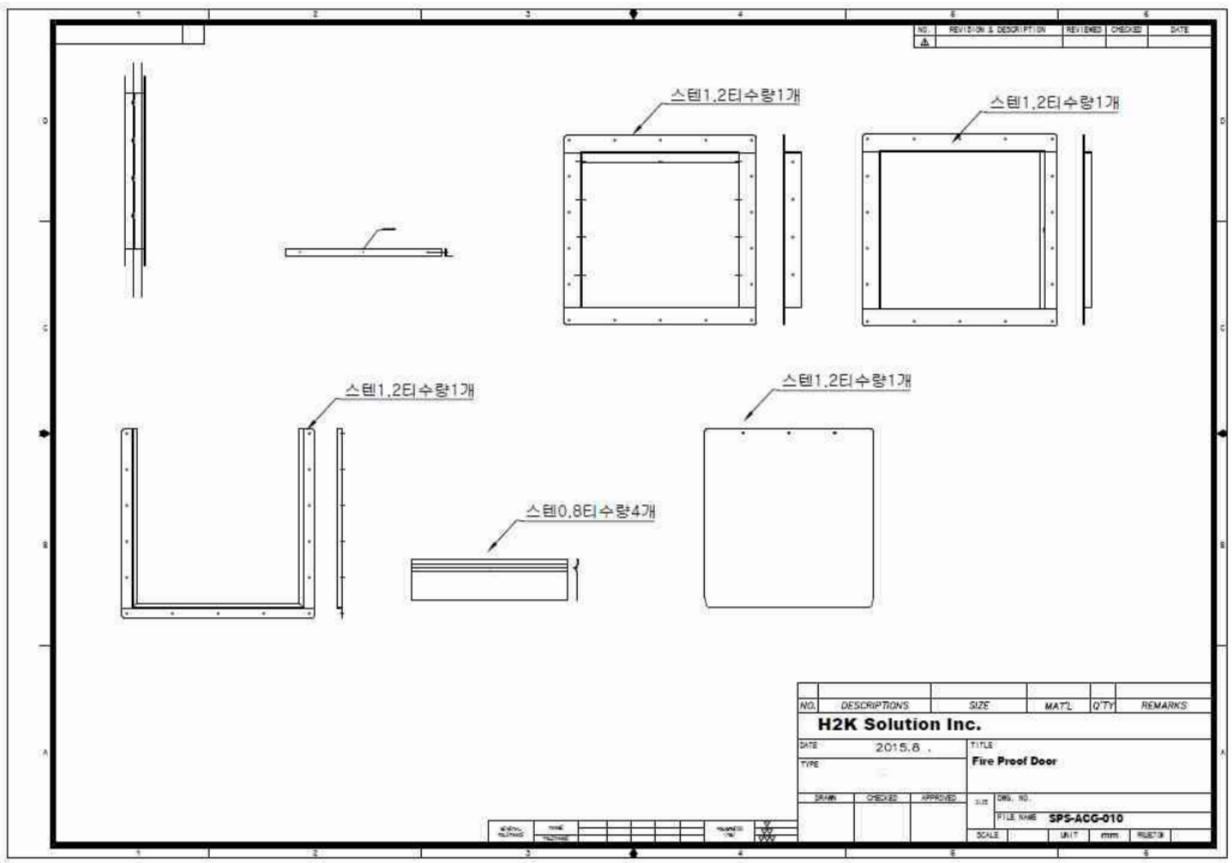

NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
241.49
2307
2327
181.8
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -Single wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-SWS-003
SCALE UNIT mm PROJECTION


NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
1676.8
1996.8
NO. DESCRIPTIONS SIZE MATL Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door -Single wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
SIZE
DWG. NO.
FILE NAME SPS-SWS-002
SCALE UNIT mm PROJECTION


30
13
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door - Hinge
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-006
SCALE UNIT mm


NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
TITLE
Smoke Proof Door - Single wing SPS
DRAWN CHECKED APPROVED
DWG. NO.
FILE NAME SPS-SWS-004
SCALE UNIT mm


1770
1940
25
41
청보
파수보
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Smoke Proof Door -Hinge
DWG. NO.
FILE NAME SPS-DWS-005
SCALE UNIT mm REVISION


스텐1.2티수량1개
스텐1.2티수량1개
스텐1.2티수량1개
스텐1.2티수량1개
스텐0.8티수량4개
NO. REVISION & DESCRIPTION REVIEWED CHECKED DATE
NO. DESCRIPTIONS SIZE MAT'L Q'TY REMARKS
H2K Solution Inc.
DATE 2015.8 .
TYPE
DRAWN CHECKED APPROVED
TITLE
Fire Proof Door
DWG. NO.
FILE NAME SPS-ACG-010
SCALE UNIT mm REVISION

라. 양문전개식 공간형 차연도어 차연 성능 시험

(1) 구조물 전개 시험

양문전개식 공간형 차연도어는 단문전개식 공간형 차연도어와 달리 공간을 많이 차지하여서 실제 만덕역사에 설치될 공간이 없었다. 이런 이유로 한국철도기술연구원의 특동에 위치한 철도시설화재실험실에 양문전개식 공간형 차연도어를 설치하였다. 양문전개식 공간형 차연도어가 피난승객 등에 의하여 구동될 경우 쉽게 구동되고, 견고한 구조를 유지하여야 한다. 이를 위하여 방연천구조체로 벽체를 쉽게 접고 펼 수 있었다. 양문전개식 공간형 차연도어의 공간 구성 전후 사진들은 위와 같다. 처음에 있는 사진들은 평상시에 화재가 발생하지 않았을 경우에 양문전개식 공간형 차연도어가 벽에 치부되어 있을 때의 모습이다. 양문전개식 차연장치 작동 전(평상시, 전실생성용 방화천구조 전개전)에 외부(화재실)에서 바라본 사진(문 열음)과 안전구역 내부에서 바라본 사진(문 닫힘, 열림)이다. 평상시에는 거주민(승객 및 승무원)들의 이동에 전혀 지장을 주지 않는다. 단지 본 시제품은 자체적으로 슬라이딩 방연천 구조물의지지 및 이동을 위한 천장 구조물을 지지하기 위해서 상하 지지대가 있는데, 실제 시공시에는 천장 또는 문이 부착되어 있는 벽을 이용(필요시 벽구조 보강) 상하 지지대를 제외시킬 수 있다.



그림 2.10.17 양문전개식 차연도어 시스템 작동 전(평상시, 전실생성용 방화천구조 전개전)
상좌: 외부(화재실)에서 바라본 사진(문 열음)
상우: 안전구역 내부에서 바라본 사진(문 닫힘)
하: 안전구역 내부에서 바라본 사진(문 열림

아래의 사진들은 화재발생시 양문전개식 차연도어 양문전개식 차연도어 시스템 작동 후, 즉 전실생성용 방화천 구조가 전개되어 전실이 생성된 모습이다. 왼쪽 위의 사진은 외부(화재실)에서 바라본 사진으로 문이 닫혀 있을 때이며, 오른 쪽 위의 사진은 외부(화재실)에서 바라본 사진이며 문이 열려있을 때이다. 아래의 사진은 안전구역 내부에서 바라본 사진이며 전실생성용 방화천구조 전개후 모습이며 화재가 발생한 구역의 방화문이 열려 있을 경우에라도 안전구역 내부와 차단될 수 있다. 현재의 시제품은 전체 수동이며, 예산이 더 투입되었을 경우 자동으로 전실이 생성 및 벽에 치부 될 수 있을 것으로 판단된다.



그림 2.10.18 양문전개식 차연도어 시스템 작동 후(전실생성용 방화천구조 전개후)
좌상: 외부(화재실)에서 바라본 사진(문 닫음)
우상: 외부(화재실)에서 바라본 사진(문 열음)
하: 안전구역 내부에서 바라본 사진(전실생성용 방화천구조 전개후, 전실 생성)

(2) 연기농도 측정결과 및 분석

양문전개식 차연도어의 연기 방연성능을 검토하기 위하여 아래와 같이 화재공간을 모사하기 위하여 비닐로 된 구조물을 제작하였다. 건물 전체에 연기가 퍼지도록 하면 발생된 연기가 양문전개식 차연도어의 방연성능을 평가할 수 없다. 실험 방법은 화재가 발생한 공간을 가정한 공간 안에서 연기를 발생하고 화재실과 양문전개식 차연도어 시스템 내의 연기농도를 비교한다.



그림 2.10.19 양문전개식 차연도어 시스템 연기차연 성능(연기농도계 이용) 실험 현황

제작된 연기농도 특정 센서 수신부에서 연기농도에 따라 전압값 V값이 발생한다. 사용된 연기밀도 센서는 주위의 광량에 반응하는 기준수신부가 있으며, 레이져의 에너지에 반응하는 연기농도 측정용 수신부가 공존한다. 실제로 측정되는 연기밀도는 두 수신부의 차이 전압 V로 계산될 수 있다. 전압을 아래와 같이 비율로 나타낸 값을 이용하여 아래 식에 의해 계산된 Optical Density(OD) 광학밀도 값으로 표현하였다.

$$OD = -\frac{1}{L} log_{10}(\frac{V}{V_0})(m^{-1}) \qquad \text{수식 2.10.1}$$

여기서 L은 송신부와 수신부의 거리(본시험에서는 1.4m)이며, V는 연기발생 후 출력 전압 V_0는 연기발생 전 출력전압이다. ($OD = 0.2m^{-1}$ 일 때, 연기감지기가 동작하는 것으로 보고된 바 있다.) 시험 진행 시간은 210초간 측정하였으며, Safe Zone(전실)과 Fire Zone(화재실)의 연기농도 센서 높이는 1700mm, 1100mm, 500mm 이다. 이에 대한 그림은 다음 페이지에 나와 있다. 화재실의 크기는 2850mm x 1400mm x 2600mm 이며 화재실 내부(Fire Zone) 차연도어로부터 1450mm 이격하여 연기농도센서를 설치하였다. 양문전개식 차연도어 전실(Safe Zone) 내부에는 차연도어로부터 1400mm 이격하여 전실내부에 센서를 설치하였다.
소방시설 등의 성능위주 설계 등에서는 광학밀도가 아닌 가시거리로 환산하여 평가한다. 이는 가시거리가 일반인들에게 더 친숙하기 때문이다. 광학밀도와 소멸계수 K는 다음과 같은 관계를 갖는다. [FDS USER MANUAL]

$$K = 2.3 \times OD \qquad \text{수식 2.10.2}$$

가시거리 S는 다음과 같이 정의된다.

$$S = C/K \qquad \text{수식 2.10.3}$$

여기서 상수 C는 발광 표시의 경우에는 8이며, 반사광 표시판의 경우는 3으로 정의된다. 본 연구에서는 두값의 평균인 5.5를 적용하였다.

시험은 [양문전개식 전실 생성 뒤 차연도어 시스템 작동 → 13초 화재실 연기발생 → 75초 화재실 연기 포화상태 → 210초 이후 시험 종료] 순으로 진행하였다. 시험이 시험동에서 진행되어 오픈된 공간이기에 양문전개전의 연기농도를 측정할 수 없어 양문전개 후(전실 형성)에만 연기농도 측정하였고 결과는 다음과 같다.



그림 2.10.20 양문전개식 차연도어 시스템 연기농도 측정센서 (좌.화재실 / 우.전실)

다음의 그림은 화재 시험 전후의 연기의 전파 상황을 양문전개식 차연도어 안에서 찍은 사진들이다.



그림 2.10.21 양문전개식 차연도어 시스템 전실 내부 (좌.시험 전 / 우.시험 중)



그림 2.10.22 화재실에서 전실(Safe Zone)로 들어오는 연기를 막고 있는 모습

앞의 그림은 화재실에서 발생한 연기가 양문전개식 차연도어에 연기가 침투하지 않는 상황을 보여주고 있다.

-양문전개식 차연도어 시스템 Safe Zone (전실) 측정결과

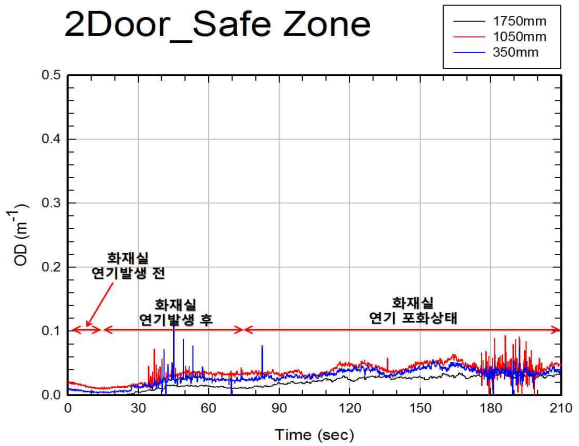


그림 2.10.23 양문전개식 차연도어 Safe Zone의 높이별 광학밀도

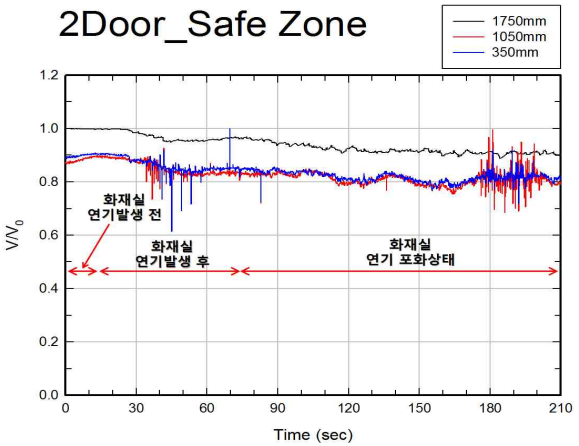


그림 2.10.24 양문전개식 차연도어 Safe Zone의 높이별 연기센서 전압비

-양문전개식 차연도어 시스템 Fire Zone (화재실) 측정결과

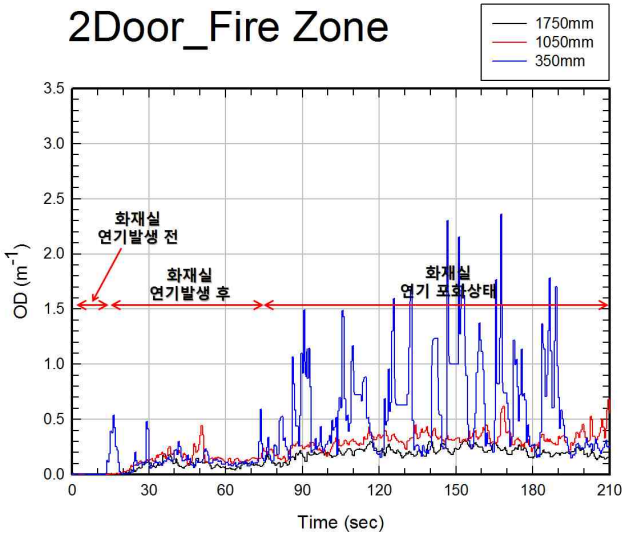


그림 2.10.25 양문전개식 차연도어 Fire Zone의 높이별 광학밀도

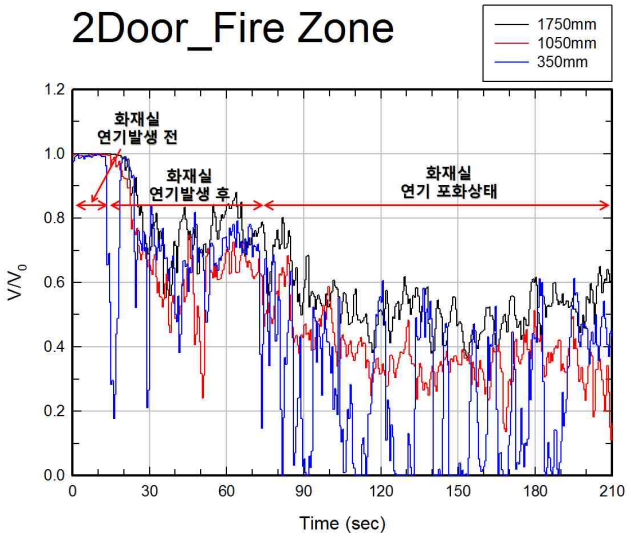


그림 2.10.26 양문전개식 차연도어 Fire Zone의 높이별 연기센서 전압비

표 2.10.38 양문전개식 차연도어 시스템 Safe Zone(전실)의 구간 평균 연기농도 및 가시거리

연기 발생 후	연기발생전 (0초 ~ 13초)	연기발생후 성장기 (13초 ~ 75초)	연기포화상태 (75초 ~ 210초)
V/V_0 Avg.	0.93	0.90	0.85
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.007	0.018	0.034
Visibility [m]	181.37	98.91	40.05

양문전개식 차연도어 시스템 Safe Zone(전실)의 연기농도를 1700mm, 1100mm, 500mm 높이에서 연기농도를 앞의 그림과 같이 각각 전압비와 Optical Density(이하 OD) 광학밀도로 나타냈다. 그래프상의 전압비가 0에 가까워질수록, $OD(m^{-1})$값이 증가할수록 연기농도가 짙어짐을 의미한다.

시험시작 후 13초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.93, 평균$OD=0.007(m^{-1})$이므로 연기가 없는 상태다. 13초~75초 구간에서는 전압비 평균=0.90, 평균$OD=0.018(m^{-1})$으로 미량의 연기가 지속적으로 유입되었으나 일정 농도이상 진행되지 않는 것을 알 수 있으며, 75초 이후에도 전압비 평균=0.85, 평균$OD=0.034(m^{-1})$으로 연기농도가 높지 않음을 보여주고 있다.

표 2.10.39 양문전개식 차연도어 시스템 Fire Zone(화재실)의 구간 평균 연기농도 및 가시거리

연기 발생후	연기발생전 (0초 ~ 13초)	연기발생후 성장기 (13초 ~ 75초)	연기포화상태 (75초 ~ 210초)
V/V_0 Avg.	0.99	0.71	0.39
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.001	0.112	0.366
Visibility [m]	1508.50	18.04	4.18

양문전개식 차연도어 시스템 Fire Zone(화재실)의 1700mm, 1100mm, 500mm 높이의 연기농도이다. 그래프는 Safe Zone그래프와 동일하다.

시험시작 후 13초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.99, 평균$OD=0.001(m^{-1})$이며 연기가 전혀 없는 상태다. 13초~75초 구간에서는 전압비 평균=0.71, 평균$OD=0.112(m^{-1})$으로 연기농도가 큰폭으로 증가하였고, 75초 이후 전압비 평균=0.39, 평균$OD=0.366(m^{-1})$으로 화재실 내부에 연기농도가 매우 포화된 상태이다.

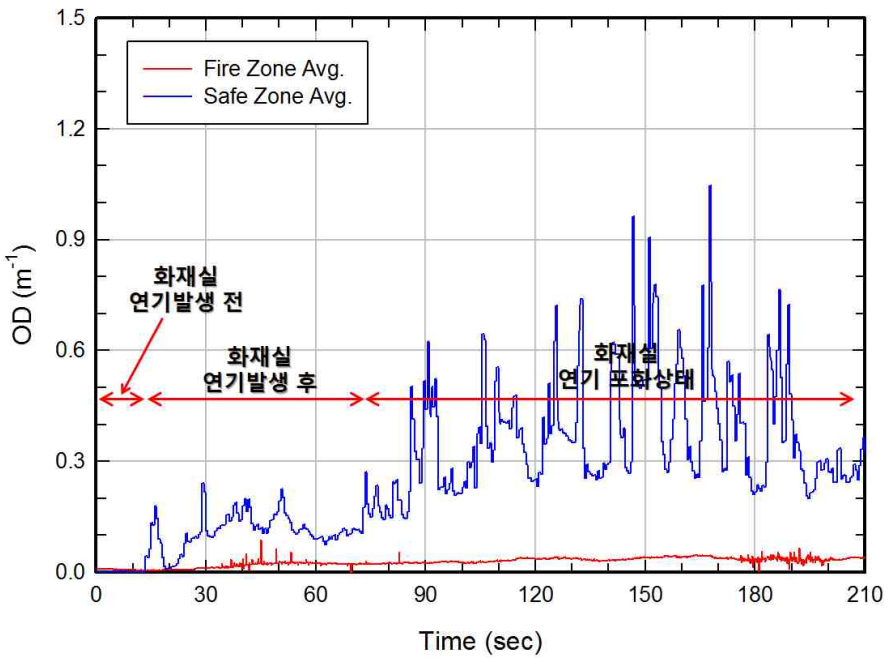


그림 2.10.27 양문전개식 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 비교 그래프

표 2.10.40 양문전개식 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 및 가시거리

상황 (시간)		연기발생전 (0초 ~ 13초)	연기발생후 성장기 (13초 ~ 75초)	연기포화상태 (75초 ~ 210초)
Optical Density [m^{-1}]	Safe Zone	0.007	0.018	0.034
	Fire Zone	0.001	0.112	0.366
Visibility [m]	Safe Zone	181.37	98.91	40.05
	Fire Zone	1508.50	18.04	4.18

위 그림과 표는 Safe Zone과 Fire Zone 센서의 평균 $OD(m^{-1})$값과 가시거리(m)를 비교한 표다. 시험 시작 후 13초 까지 Safe Zone과 Fire Zone의 평균$OD=0.007(m^{-1})$, $OD=0.001(m^{-1})$ 범위 이하로 센서의 미량 전압 발생으로 인한 수치로 보이며 연기발생이 없는 쾌적한 상태이다. 13초 이후 Fire Zone의 평균$OD=0.112(m^{-1})$로 급격하게 증가한 것을 볼 수 있다. 화재실 내부에 연기가 차기 시작하면서 연기농도가 짙어진 것이다. 그에 비해 Safe Zone의 평균 $OD=0.018(m^{-1})$로 미량의 연기가 투입되었지만 매우 쾌적한 상태로 유지되고 있다. 75초 이

후에는 Fire Zone의 연기농도가 높은 포화상태가 되어 평균$OD=0.366(m^{-1})$의 값을 나타내고 있다. 반면 Safe Zone의 평균$OD=0.034(m^{-1})$로 일부 미량의 연기가 유입되었지만 더 이상의 연기농도 증가가 없는 형상을 보이고 있으며 연기감지기 작동 수준인 $OD=0.20(m^{-1})$에는 못 미치며 Fire Zone에서 Safe Zone으로 침투하는 연기를 효과적으로 막아내고 있는 모습이다. 가리거리 결과로 보았을 때도 안전구역의 가시거리는 포화상태일 경우에도 40.05m 이상의 값을 보였다. 소방시설 등의 성능위주설계 방법 및 기준에 재실자의 사망을 처리하는 경우는 가시거리 5m 이하이다. 본 실험에서 Fire Zone의 가시거리는 인명손실이 예측되는 4.18m 이였지만 안전구역의 가시거리는 40.05m 로 설치된 양문전개식 공간형 차연 도어 시스템이 연기 전파를 차단하여 매우 안전한 것을 확인할 수 있었다.

또한 Safe Zone의 연기농도수치가 미량 증가한 이유는 오픈된 공간에서 연기시험이 진행되면서 화재실 외부로 나온 연기가 전실 외부에서 미량 유입되는 것으로 확인되었다. 이로 인해 안전구역의 가시거리가 소량 감소하였다.

따라서 양문전개식 차연도어의 성능시험은 매우 만족하는 측정결과 값을 보여주고 있으며 Safe Zone으로 투입되는 연기를 효과적으로 차단하여 실제화재시 피난에 매우 유리하게 적용될 것으로 생각된다.

(3) CO_2를 이용한 방연 효과 측정

양문전개식 차연도어의 Fire Zone 화재실과 Safe Zone 전실에 1100mm 위치에 다음 그림과 같은 CO_2 센서를 각각 1대씩 설치하였다. 측정 방법은 [가스방출 전 평상시 CO_2 농도를 측정 → 화재실에서 CO_2 가스 방출 → 화재실과 전실에 CO_2 포화상태가 되었을 때 농도 측정 → 차연도어 시스템을 작동 → Safe Zone 전실내 CO_2 농도측정] 순으로 진행하였다.



그림 2.10.28 CO2 측정센서



그림 2.10.29 CO2 측정센서 및 CO2 가스 설치

CO_2 농도측정결과는 다음과 같다.



그림 2.10.30 양문전개식 차연도어 평상시 Safe Zone 전실 CO2 농도



그림 2.10.31 양문전개식 차연도어 평상시 Fire Zone 화재실 CO2 농도



그림 2.10.32 양문전개식 차연도어 시스템 작동 전 Safe Zone 전실 CO2 농도



그림 2.10.33 양문전개식 차연도어 시스템 작동 전 Fire Zone 화재실 CO2 농도



그림 2.10.34 양문전개식 차연도어 시스템 작동 후 Safe Zone 전실 CO2 농도



그림 2.10.35 양문전개식 차연도어 시스템 작동 후 Fire Zone 화재실 CO2 농도

표 2.10.41 양문전개식 차연도어 시스템 CO2 농도 측정결과, ppm

차연도어 시스템	평상시	작동 전	작동 후
Safe Zone	500	2500	630
Fire Zone	690	3000	6390

앞의 표는 양문전개식 차연도어 시스템의 CO_2 농도 측정결과이다. 시험 전 실험실의 CO_2 농도는 화재실 690ppm, 전실 500ppm을 나타내고 있다. CO_2 가스 방출 후 전실 2500ppm, 화재실 3000ppm으로 CO_2 농도가 양쪽 모두 올라간 것을 알 수 있다. 차연도어 시스템을 작동한뒤 CO_2 농도가 전실 630ppm, 화재실 6390ppm으로 차연도어에 의해 CO_2 가 전실로 침투되지 못하고 90% 이상의 차단되는 것을 보여주고 있다. 결국 화재실에 CO_2 가 머물면서 화재실의 CO_2 농도가 차연도어 시스템 동작전보다 두배 가량 증가하고 전실의 CO_2 농도는 평상시의 CO_2 농도와 근사치를 보여주고 있다.

2. 부산 만덕역사 안전구역 시스템(차연도어시스템) 설치

가. 시범구축 역사 소개

- 국내 최대 심도(65m) 지하 9층에 승강장(섬식) 위치
- 비상대응매뉴얼에 화재발생시 터널 대피로 계획
  · 에스칼레이터 설치되어 있으나 사용안함
  · 평상시 엘리베이터로 대합실(지하1층), 승강장 운행
- 승강장 비상계단 활용이 매우 중요함

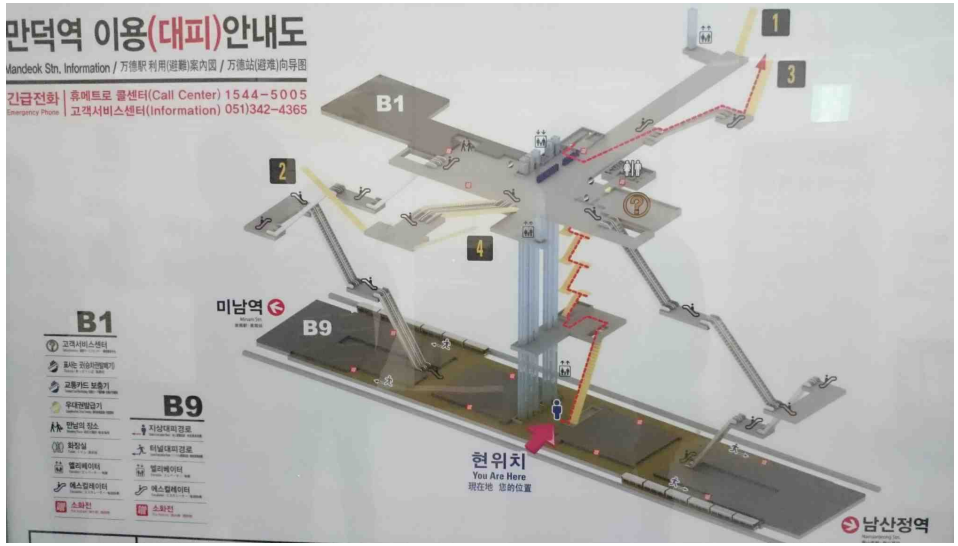


그림 2.10.36 만덕역사 이용 안내도

- 승강장과 대합실을 연결하는 에스컬레이터가 존재하나 이용하지 않고 있는 실정임



그림 2.10.37 승강장 에스컬레이터 입구(평상시 이용안함)

- 승강장에서 비상 탈출시 탈출로로 사용될 수 있는 공간은 아래와 같음
  · 승강장 중앙에 위치한 엘리베이터 4기



그림 2.10.38 승강장 엘리베이터

· 승강장 양단에 설치된 에스컬레이터 2기 (현재 사용 중단)
· 승강장 중앙에 설치된 비상계단
· 승강장과 연결되어 있는 터널



그림 2.10.39 승강장 비상계단

승강장과 연결되어 있는 터널로의 피난은 많은 위험성을 포함하고 있다. 또한 피난시 승강장 양단의 문을 개방하여야 하며, 원활한 피난을 위하여 이동형 사다리를 설치하는 번거로움이 있다. 터널 피난시 열차통행이 완벽히 금지되어야 한다. 또한 터널내부 선로위로 피난하기에는 피난로의 폭도 좁으며 이동시 통신회사 뿐만 아니라 여러 기기가 터널 벽에 부착되어 있어 어려움이 있다. 또한 엘리베이터도 화재시 법적으로 이용이 금지되어 있는 실정이다. 가장 중요한 피난로는 승강장에 설치된 비상계단이며, 이 경로의 안전확보를 위하여 안전구역 시스템의 주요구성품인 공간형 차연도어 시스템을 설치하도록 하였다.

(1) 상부부착형 차연도어 시스템
(가) 설치 위치
부산 만덕역 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단
(나) 장소 선택 이유
· 승강장과 지하8층을 연결하는 계단은 하나의 공간으로 구성된 계단실임.
· 이 공간은 현재 외부 화재 시 방화문 이외에는 연기를 차단할 아무런 대안이 없음.
· 하지만 이 계단은 공간형 차단장치를 설치할 공간확보가 불가능함.
· 그러므로 상부부착용 차연도어 장치 일체를 설치해야함.

(다) 시스템 개요

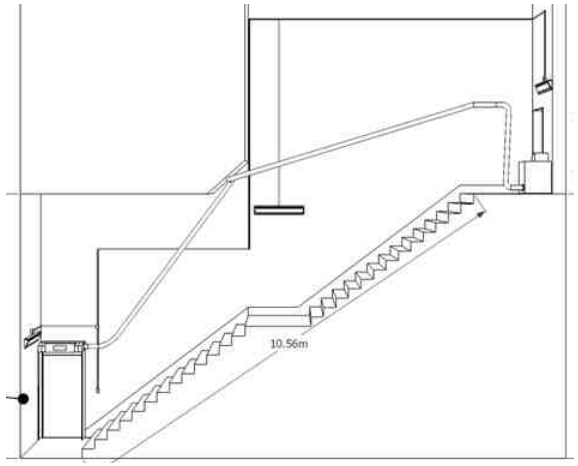


그림 2.10.40 만덕역 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단에 설치된 차연도어 시스템 개념도

위의 그림은 만덕역 승강장과 지하 8층을 연결하는 피난계단에 설치된 차연도어 시스템의 개념도이다. 이에 따라 설치된 시스템은 아래와 같다.



그림 2.10.41 만덕역 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단에 설치된 차연도어 시스템

차연도어 시스템의 상부부착용 차연도어 장치는 승강장 비상계단 안쪽에 설치가 되는데 상부부착형 차연도어 시스템의 개념도는 아래와 같다.



그림 2.10.42 상부부착형 차연도어 시스템의 개념도

실제로 설치 상부부착용 차연도어 장치는 아래의 사진들과 같다. 상부부착용 차연도어 장치는는 상부에 에어블로우 노즐과 이를 수용하는 케이스를 제작 설치하였으며, 이 케이스는 화재발생을 알려주는 LED 전광판을 설치하였으며, 문의 양옆으로 가이드를 설치하였으며, 제작은 철제도장을 하였다.



그림 2.10.43 상부부착형 차연도어 시스템 – I



그림 2.10.44 상부부착형 차연도어 시스템

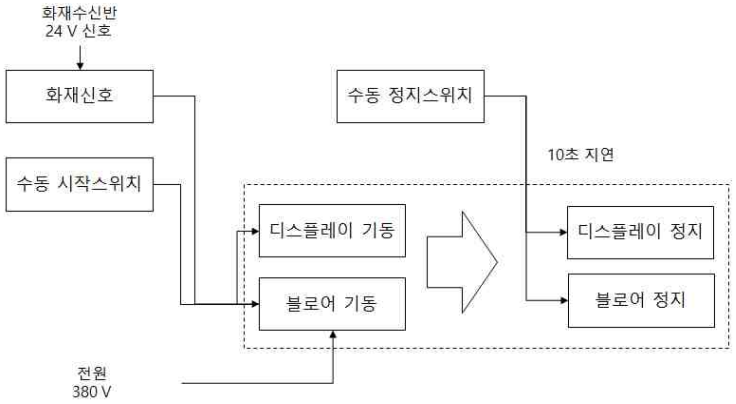


그림 2.10.45 컨트롤 패널의 동작 구성도

화재수신반에서 화재신호를 수신하거나 수동 시작 스위치로 시스템이 작동할 수 있다. 화재신호를 수신하면 상부부착형 차연도어 장치에 장착된 디스플레이가 기동하며 블로어가 기동한다. 수동정지스위치를 작동하면 디스플레이 및 블로어가 정지하게되며 위의 그림에서 컨트롤 패널

의 동작 구성도에 나타내었다. 사용된 송풍기의 용량은 아래와 같다.

- 입력 : 4,200 W
- 최대풍량 : 4,020 m^3h
- 최대정압 : 380 mmAq

송풍기 및 케이스 이를 제어하는 제어함의 설치된 사진들은 다음과 같다.



그림 2.10.46 송풍기 및 제어 시스템

앞에서 언급한 장치는 공기공급을 위해 금속재질의 공기공급관으로 연결하였으며, 계단실과 지하8층 연결 방화문은 공기흡입댐퍼를 설치하였다. 설치된 사진들은 아래와 같다.

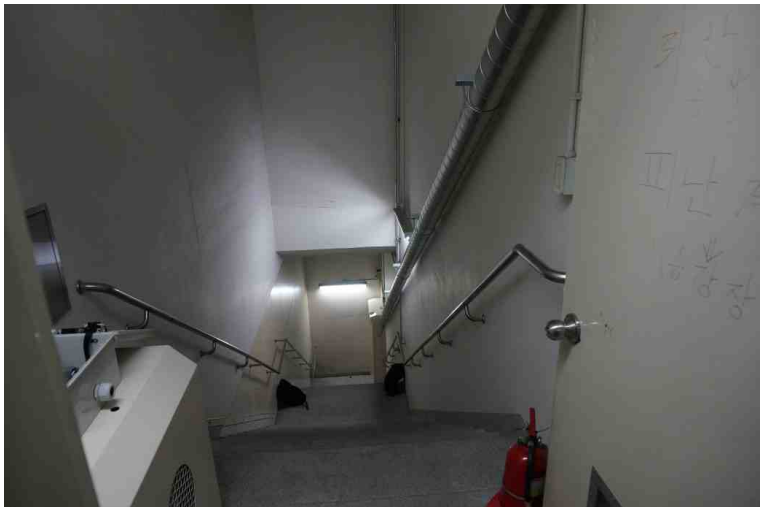


그림 2.10.47 공기공급관 연결 (8층에서 승강장으로 바라본 사진)

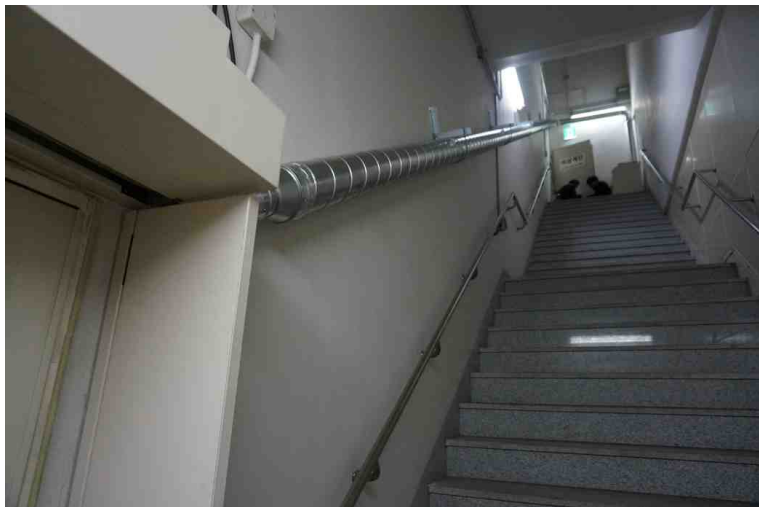


그림 2.10.48 공기공급관 연결 (승강장 층에서 바라본 사진)

(2) 단문전개식 공간형 차연도어 시스템

(가) 설치 위치

부산 만덕역 비상계단실 지하 8층과 지하7층을 연결하는 피난계단

(나) 장소 선택 이유

· 지하8층과 대합실을 연결하는 계단은 지하8층에 입출구가 있으며, 대합실까지 각 층마다 입출구가 있음. 설치는 지하8층 계단실을 대상으로 함.
· 이 공간은 현재 외부 화재 시 방화문 이외에는 연기를 차단할 아무런 대안이 없음.
· 이 계단실은 계단용 공간형 차단장치를 설치할 공간확보가 가능함.
· 그러므로 상부부착용 차연도어 장치를 포함한 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 일체를 설치해야함.

(다) 시스템 개요

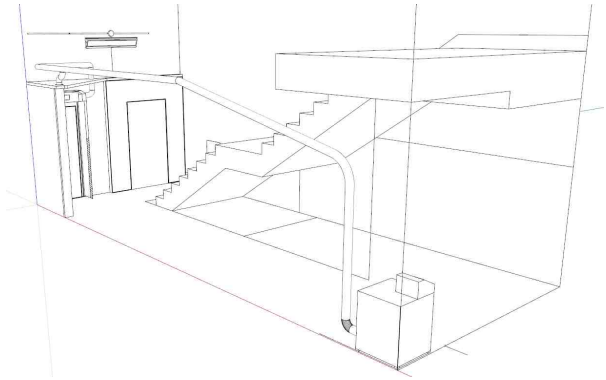


그림 2.10.49 지하8층과 지하 7층을 연결하는 피난계단에 설치된 차연도어 시스템 개념도

· 지하8층과 대합실을 연결하는 계단은 지하8층에 입출구가 있으며, 대합실까지 각층마다 입출구가 있음.
· 지하8층 계단실은 현재 외부화재 시 방화문 이외에는 연기를 차단할 아무런 대안이 없음
· 상부부착용 차연도어 장치장치는 지하8층의 연결된 방화문에 설치.
· 상부부착용 차연도어 장치장치의 공기 공급을 위한 에어블로우와 컨트롤 장치는 계단실 하부 근처 공간에 설치.
· 각 장치는 하나의 공기공급관에서 각각 분리하여 연결되며, 각 분기에는 댐퍼를 설치하여 수동으로 공기공급을 조절할 수 있도록 함.
· 에어블로우 수납함 및 컨트롤 패널과 공기공급관 설치는 앞의 설명과 같음.
· 컨트롤 패널의 동작은 앞의 설명과 같음.

위의 그림은 지하 8층과 지하 7층을 연결하는 피난계단에 설치된 차연도어 시스템의 개념도이다. 이에 따라 설치된 시스템은 다음과 같다.

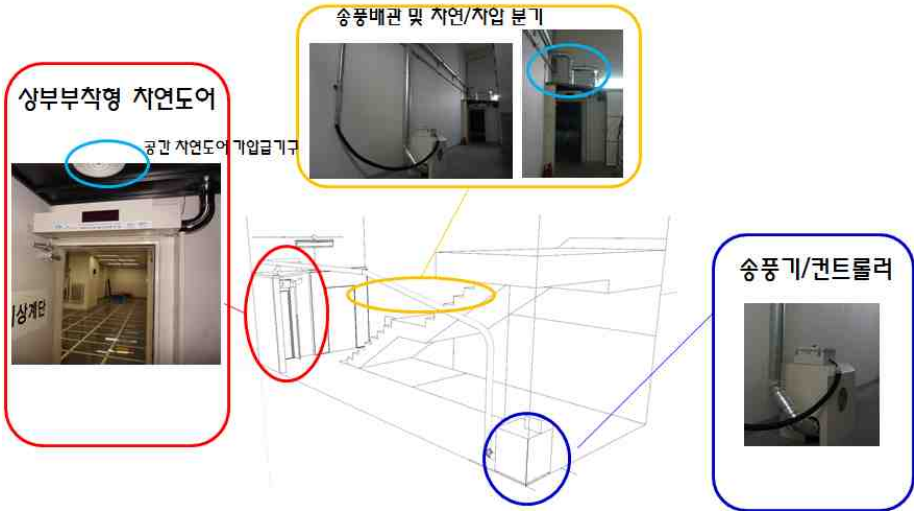


그림 2.10.50 만덕역 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단에 설치된 공간형 차연도어 시스템

공간형 차연도어 시스템은 상부부착형 차연도어 뿐만 아니라 특별피난 계단의 방화문과 연결되어 연기를 차단하기 위하여 필요한 전실개념의 공간을 창출한 것이 특징이다. 본 연구에서는 양문전개식 공간형차연도어와 단문공간형 차연도어를 개발하여 특허를 취득하였는데 지하 8층과 7층을 연결하는 피난계단에는 양문전개식 차연도어를 설치할 공간이 부족하여 단문전개식 공간형 차연도어를 설치하였다. 설치한 공간형 차연도어의 특징은 다음과 같다.

- 평상시에는 공간을 만들기 위한 방화천으로 막이 형성된 구조물이 벽에 부착되어 있다가 비상시 구조물을 수동조작하여 공간이 형성됨
- 새롭게 구획된 전실의 출입구는 여닫이문으로 제작하였음.
- 구획된 전실을 가압하기 위하여 상부부착형 차연도어 장치와 구획된 전실에 공기를 불어 넣을 수 있도록 송풍기와 연결된 송풍배관을 분기하였으며 분기된 송풍량을 조절할 수 있도록 댐퍼를 설치하였다.

아래의 그림은 공간형 차연도어의 공간을 생성하기 전후의 모습을 보여주고 있다. 평상시(공간생성전)에는 아래와 같이 문이 우측벽에 붙어 있다가 화재발생시(공간생성전) 벽에 부착된 막 구조물을 이동하여 공간을 형성하여 가압할 수 있다.

화재발생 상황이 아닌 단문전개식 공간형 차연도어에서 공간을 형성하기 전 일반 상황에서는 아래 사진과 같이 벽에 방연천이 부착되어 있다.

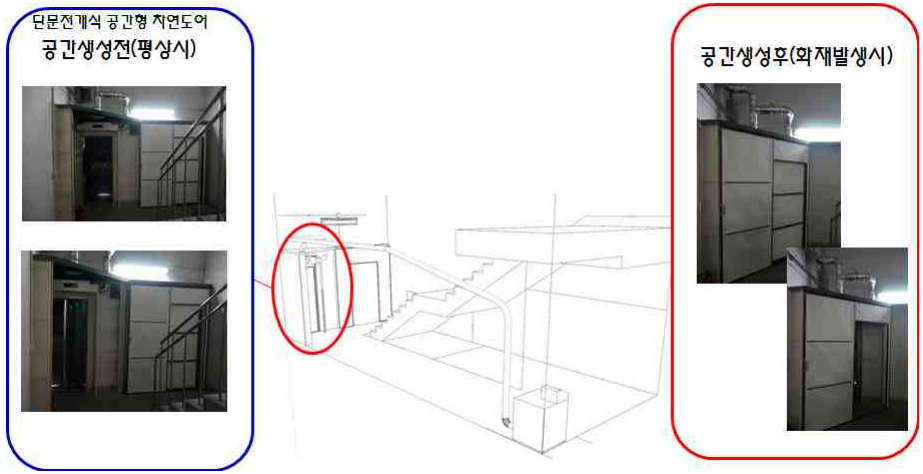


그림 2.10.51 단문전개식 공간형 차연도어 공간 생성



그림 2.10.52 전실 생성용 방연천 벽체 전개 전



그림 2.10.53 전실 생성용 방연천 벽체 전개 후

위의 사진은 전실 생성용 방연천 벽체를 전개후의 모습이다. 사진과 같이 비상문이 설치되어 있는 공간에 밀폐된 전실이 생성되게 되며, 가변형 전실의 가압 및 문이 개방되었을 경우에는 상부 부착용 차연도어 장치로 연기의 침입을 완벽하게 막을 수 있다. 아래 그림은 방연천 벽체 전개후 밀폐된 전실공간을 통하여 승객들이 대피할 수 있는 간이 문을 개방한 상태를 나타낸 것이다.



그림 2.10.54 전실 생성용 방연천 벽체 전개 및 문개방 후

설치된 상부부착용 차연도어 장치는 위의 사진과 같은데, 승강장 방화문에 설치된 장치와 동일하다. 다른 점은 사진에서 우측에 설치된 가이드는 피난방향과 같은 방향에 설치하여 승객들이 피난할 경우에 방해가 될 수 있다. 승객 이동의 저해되는 것을 최소화하기 위하여 우측 가이드가 접해지도록 설계 제작하였다. 아래 그림은 공간형 차연도어 상부를 보여주고 있는데, 위쪽에는 생성된 전실공간을 가압하기 위한 환풍구가 설치되어 있는 것을 볼 수 있다.



그림 2.10.55 공간형차연도어 상부



그림 2.10.56 공간형 차연도어 덕트 배관

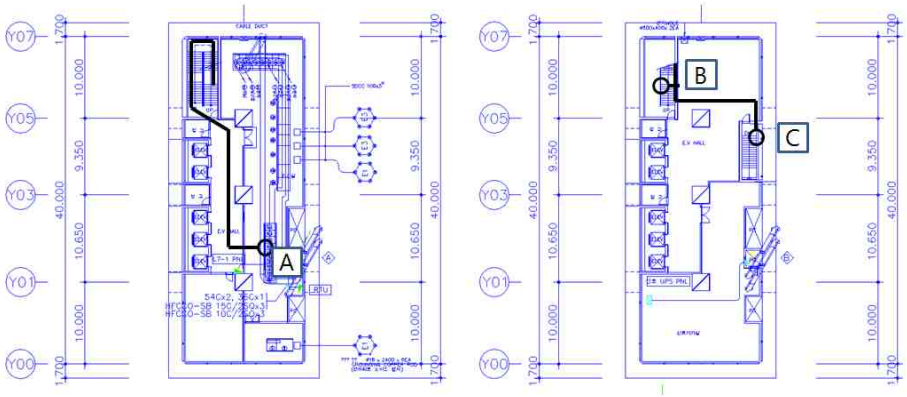
위의 사진은 공간형 차연도어 시스템 상부의 덕트 배관을 보여주고 있다. 사진에서와 같이 송풍기에서 불어넣은 공기는 상부부착형 차연도어 장치와 단문개방형 공간의 가압용으로 분기되어 넣어지는데 이를 댐퍼로 조정할 수 있다. 앞에서 언급한 장치는 공기공급을 위해 금속재질의 공기공급관으로 아래와 같이 연결하였다.



그림 2.10.57 지하8층 계단실에 위치한 송풍기와 연결된 공기공급관

(3) (공간형) 차연도어 시스템작동을 위한 전기 공사

부산 만덕역 지하7층 전기실로부터 380V 3상 전원을 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단과 지하8층과 대합실을 연결하는 피난계단까지 연결하는 하였으며, 지하 7층의 전기실에서 380V 3상 전원을 배전반으로부터 지하 8층의 다음 2개소까지 연결 공급하는 선로를 아래와 같이 설치하였다.



(가) 지하 7층 전기실 (나) 지하 8층 계단실

그림 2.10.58 지하7층과 지하8층의 선로연결 구간 및 위치

각 위치까지 다음의 조건으로 선로를 설치.

- 전선 : 16sq/4c
- 배관 : 아연도금 42mm 배관
- 벽구획 관통 : 4개소

3. 성능시험 수행

□ 지하역사 안전구역 시스템 지하역사 현장 시험 개요

○ 현장시험 설치된 단문전개식 지하역사 안전구역 시스템(차연도어시스템) 성능 시험 평가

○ 단문전개식 차연도어시스템 방연풍속 측정

○ 지금까지의 연막탄에 의한 실험과 달리 무독성 연기 생성기, 열풍기를 사용하며, 이에 따른 부력효과가 재현되므로 연기전파가 실제 화재상황과 근접함

○ 실제 화재연기의 부력효과가 고려된 연기발생 실험장치로 연기를 생성하여 차연성능 검토

□ 실험시행 일시

2015년 12월 15일 (화) ~ 19일 (토)

15일(화) : 실험 장비 부산 이동(화물로 만덕역사 송부)

16일(수) : 차연도어 시스템 검토

17일(목) : 개발 시스템 기술 세미나 및 방연풍속 측정 시험

18일(금) : 방연풍속 측정 시험

19일(토) 새벽 : 열부력 연기를 이용한 차연도어시스템 연기 차연성능 측정

□ 실험시행 장소

부산지하철 만덕역사

□ 추진체계

○ 주관기관 : 한국철도기술연구원

○ 협조기관 : 부산교통공사

□ 실험 항목

○ 방연풍속 측정 시험 (16일(수), 17일(목))

- 승강장 방화문(방연풍속)
- 지하 8층 방화문

○ 열부력 연기를 이용한 (공간형)차연도어시스템 연기 차연성능 측정시험

□ 준비사항

1. 스모크제너레이터
2. 열풍기
3. 캠코더×2
4. 디지털카메라×1
5. 데이터 측정용 노트북
6. 연기발생기용 질소 등

가. (공간형) 차연도어 방연풍속 측정

본 절의 차연도어 노즐의 최적 방연풍속측정 시험과 동일한 방법으로 풍속측정을 실시하였다. 규의 기준과 측정방법은 “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준 (NFSC

501A)" 제10조 방연풍속기준과 제25조 시험, 측정 및 조정 등에 따라서 측정하였다.

표 2.10.42 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준 (NFSC 501A) 제10조 방연풍속기준

-제10조(방연풍속) 방연풍속은 제연구역의 선정방식에 따라 다음 표의 기준에 따라야 한다

제 연 구 역		방연풍속
계단실 및 그 부속실을 동시에 제연하는 것 또는 계단실만 단독으로 제연하는 것		0.5㎧ 이상
부속실만 단독으로 제연하는 것 또는 비상용 승강기의 승강장만 단독으로 제연하는 것	부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 거실인 경우	0.7㎧ 이상
	부속실 또는 승강장이 면하는 옥내가 복도로서 그 구조가 방화구조(내화시간이 30분 이상인 구조를 포함한다)인 것	0.5㎧ 이상

-제25조 5항 (시험, 측정 및 조정등)
제4호의 기준에 따라 제연설비가 작동하는 경우 다음 각 목의 기준에 따른 시험 등을 실시할 것
가. 부속실과 면하는 옥내 및 계단실의 출입문을 동시에 개방할 경우, 유입공기의 풍속이 제10조의 규정에 따른 방연풍속에 적합한지 여부를 확인하고, 적합하지 아니한 경우에는 급기구의 개구율과 송풍기의 풍량조절댐퍼 등을 조정하여 적합하게 할 것. 이 경우 유입공기의 풍속은 출입문의 개방에 따른 개구부를 대칭적으로 균등 분할하는 10 이상의 지점에서 측정하는 풍속의 평균치로 할 것<개정 2008.12.15>

즉, 개구부를 대칭으로 균등분할하는 10개 이상의 지점에서 측정하는 풍속의 평균치가 0.7m/s 이상 나오면 규정에 만족하는 것이다..

○ 실험 세부계획
- 방연풍속 측정 시험(영업시간 中)
- 승강장 일부구간 (반경 1m 정도) 점유 측정
- 2개소 (지하9층 승강장, 지하8층 대합실), 1개소당 방연·하강 각각 20지점씩 측정

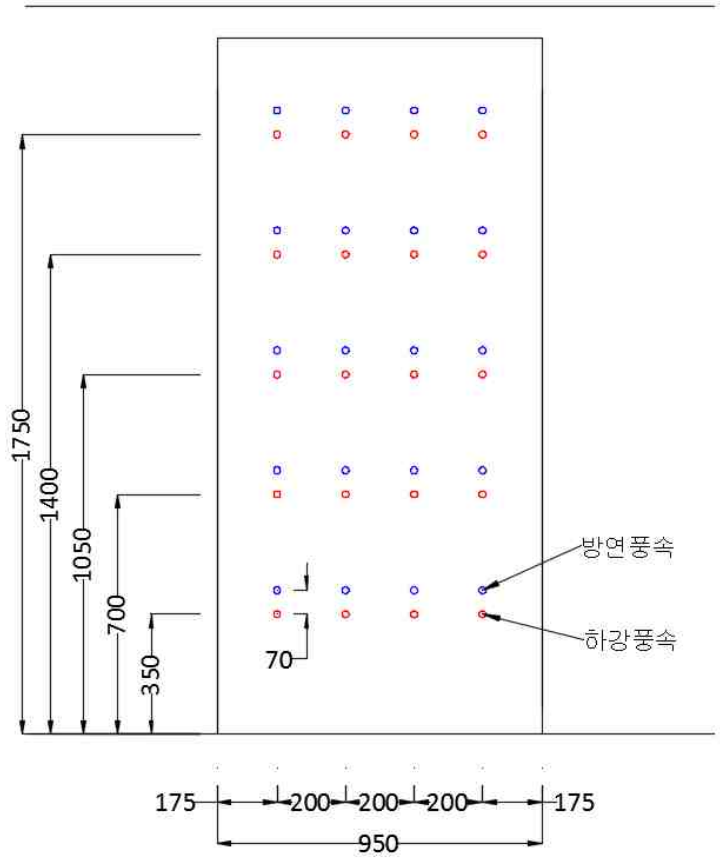


그림 2.10.59 방연풍속 센서 위치



그림 2.10.60 상부 부착형 차연도어 시스템 (왼쪽)와 공간형 차연 도어시스템 (오른쪽)의 방연풍속 센서 높이(빨간색 수평라인)



그림 2.10.61 센서 지그 및 방연·하강 풍속센서

지하9층과 지하8층 2개소의 방화문의 높이가 2030mm, 2080mm으로 지하9층의 방화문이 50mm 높다. 센서는 위 그림과 같이 바닥으로부터 350m, 700mm, 1050mm, 1400mm, 1750mm 5개의 각 높이마다 200mm 간격으로 4지점 같은 위치에서 수평·수직방향으로 부착하여 방연풍속과 하강풍속 각각 20지점씩 측정하였다. 이 값을 아래와 같은 식으로 나타냈다.

$$WS = \sqrt{H^2 + V^2}\ (m/s)$$ 수식 2.10.4

여기서, H는 하강풍속, V는 방연풍속이다.

(1) 상부부착형 차연도어 시스템 (지하9층 승강장-지하8층 설치) 방연풍속 측정결과

지하9층 승강장 방화문 차연도어의 측정케이스는 아래 그림과 같이 지하8층으로 가는 계단실 방화문이 열렸을 때(Case_01)와 닫혔을 때(Case_02) 두가지 Case에서 각각 3회 반복측정 하였다.



그림 2.10.62 상부부착형 차연도어 시스템 방연풍속 실험 조건

표 2.10.43 지하9층 상부부착형 차연도어 시스템 방연풍속 실험 조건

지하9층(승강장)	Case_01	Case_02
지하8층 방화문	열림	닫힘

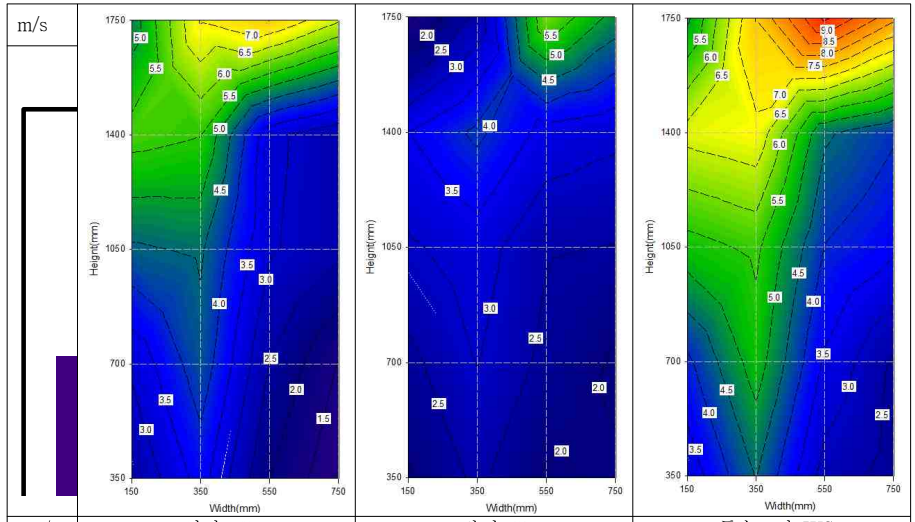


그림 2.10.63 지하9층 승강장 차연도어 방화문 방연풍속측정 모습-1



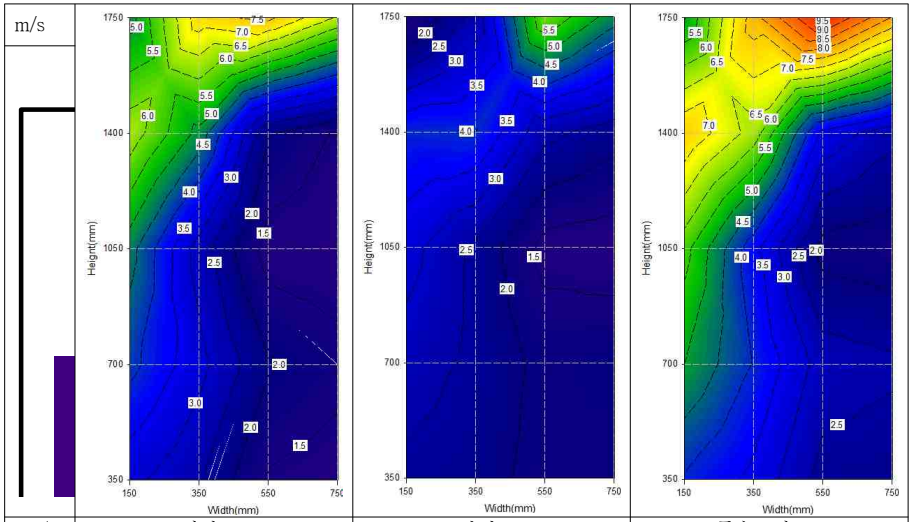
그림 2.10.64 지하9층 승강장 차연도어 방화문 방연풍속측정 모습-2

표 2.10.44 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_01-01 (지하8층 방화문 열림)



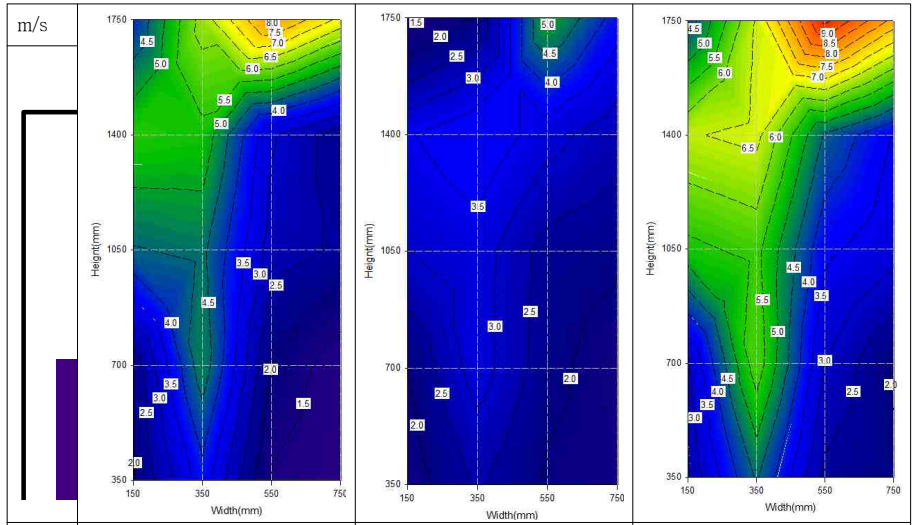
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	4.70	7.05	7.51	6.57	6.46	1.35	2.65	5.98	4.81	3.70	4.89	7.53	9.60	8.14	7.54
1400	5.69	5.52	3.15	2.60	4.24	3.49	4.11	3.33	3.12	3.51	6.68	6.88	4.58	4.06	5.55
1050	4.42	4.57	3.07	2.62	3.67	2.92	3.25	2.54	2.48	2.80	5.30	5.61	3.98	3.61	4.62
700	3.10	4.32	2.49	1.47	2.85	2.36	3.02	2.36	1.93	2.42	3.90	5.27	3.43	2.43	3.76
350	2.50	3.70	2.01	1.10	2.33	1.95	2.61	1.94	2.05	2.14	3.17	4.53	2.79	2.33	3.20
전체 평균	3.91					2.91					4.94				

표 2.10.45 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_01-02 (지하8층 방화문 열림)



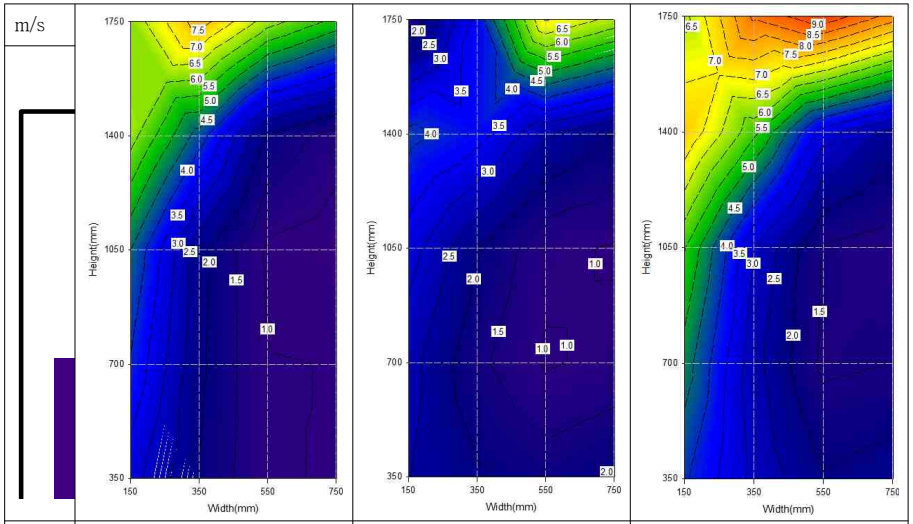
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	4.78	7.31	7.64	6.43	6.54	1.36	2.69	5.97	4.73	3.69	4.97	7.79	9.70	7.98	7.61
1400	6.32	4.84	2.04	1.43	3.66	3.94	4.01	2.66	2.23	3.21	7.45	6.29	3.35	2.65	4.93
1050	4.70	2.76	1.26	1.16	2.47	3.21	2.40	1.30	1.17	2.02	5.69	3.66	1.81	1.65	3.20
700	4.16	3.17	2.06	1.70	2.77	2.78	2.38	1.86	1.96	2.25	5.00	3.96	2.78	2.59	3.58
350	3.15	2.55	1.44	1.22	2.09	2.37	2.21	1.81	1.84	2.06	3.94	3.37	2.31	2.21	2.96
전체 평균	3.51					2.64					4.46				

표 2.10.46 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_01-03 (지하8층 방화문 열림)



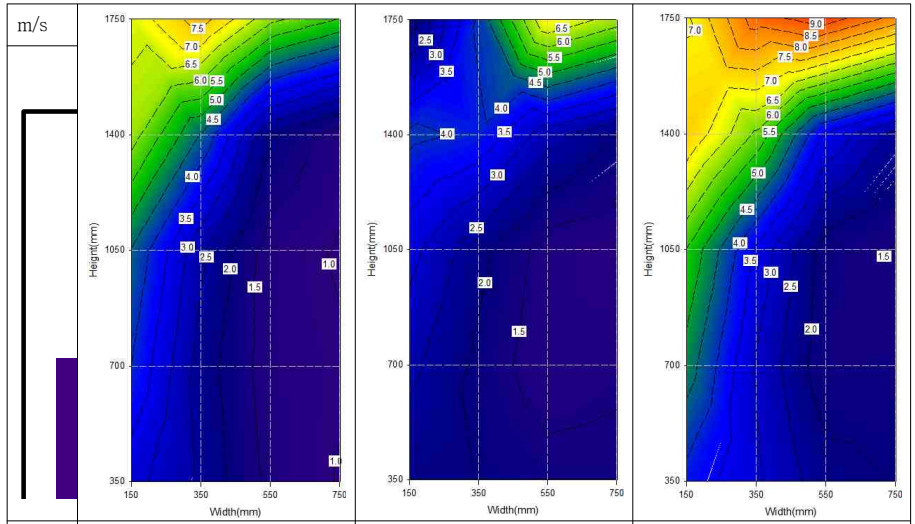
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	4.00	6.22	8.17	6.86	6.31	1.32	2.05	5.13	3.76	3.07	4.21	6.55	9.65	7.82	7.06
1400	5.45	5.36	3.06	2.21	4.02	3.45	3.93	3.21	2.68	3.32	6.45	6.65	4.43	3.47	5.25
1050	4.46	4.62	2.79	2.39	3.57	2.99	3.25	2.30	2.14	2.67	5.37	5.65	3.62	3.21	4.46
700	2.17	4.82	2.00	1.14	2.53	1.99	3.25	2.21	1.59	2.26	2.94	5.81	2.98	1.96	3.42
350	1.93	3.77	1.44	1.08	2.06	1.70	2.58	1.90	1.75	1.98	2.57	4.57	2.38	2.06	2.90
전체 평균	3.70					2.66					4.62				

표 2.10.47 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_02-01 (지하8층 방화문 닫힘)



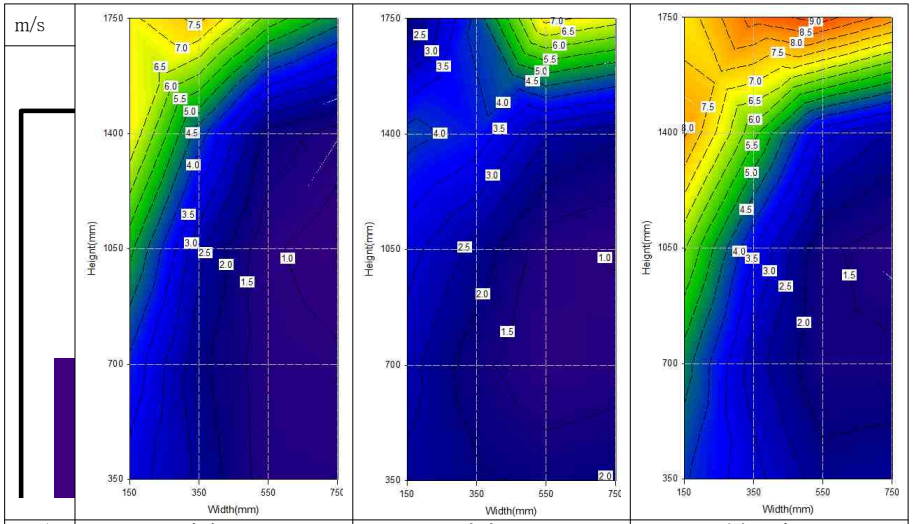
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	6.15	7.79	6.23	5.34	6.38	1.55	3.68	7.05	6.33	4.65	6.34	8.62	9.41	8.28	8.16
1400	6.22	4.26	1.93	1.22	3.41	4.16	3.71	2.59	1.99	3.11	7.48	5.65	3.23	2.33	4.67
1050	4.50	2.19	0.92	0.73	2.09	3.22	2.06	1.13	0.95	1.84	5.53	3.01	1.46	1.20	2.80
700	3.95	2.11	1.02	0.99	2.02	2.69	1.63	0.94	1.13	1.60	4.78	2.67	1.39	1.50	2.58
350	3.22	1.98	1.04	0.97	1.80	2.52	2.07	1.77	2.06	2.11	4.09	2.86	2.05	2.28	2.82
전체 평균	3.14					2.66					4.21				

표 2.10.48 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_02-02 (지하8층 방화문 닫힘)



m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	6.67	7.77	6.14	5.47	6.51	1.76	4.10	7.01	6.26	4.78	6.90	8.79	9.32	8.31	8.33
1400	6.24	4.46	2.04	1.22	3.49	4.13	3.89	2.72	2.02	3.19	7.48	5.92	3.40	2.36	4.79
1050	4.46	2.61	1.23	0.95	2.31	3.17	2.16	1.27	1.08	1.92	5.47	3.39	1.77	1.44	3.02
700	3.99	2.28	1.23	1.06	2.14	2.63	1.87	1.13	1.35	1.75	4.78	2.95	1.67	1.72	2.78
350	3.19	2.39	1.35	0.97	1.98	2.09	1.97	1.74	1.73	1.88	3.81	3.10	2.20	1.98	2.77
전체 평균	3.29					2.70					4.34				

표 2.10.49 지하9층 승강장 방화문 차연도어 풍속측정결과 Case_02-03 (지하8층 방화문 닫힘)



m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	6.88	7.66	5.80	4.74	6.27	1.95	4.17	7.18	6.74	5.01	7.15	8.72	9.23	8.24	8.34
1400	6.93	4.23	1.84	1.23	3.56	4.18	3.80	2.57	2.10	3.16	8.09	5.69	3.16	2.43	4.84
1050	5.14	2.64	1.08	0.71	2.39	3.20	2.33	1.21	0.96	1.93	6.05	3.52	1.62	1.19	3.10
700	3.87	2.16	1.19	1.08	2.08	2.71	1.68	1.00	1.18	1.64	4.72	2.74	1.55	1.60	2.65
350	3.28	2.38	1.23	1.21	2.03	2.41	2.10	1.88	2.05	2.11	4.07	3.17	2.25	2.38	2.97
전체 평균	3.26					2.77					4.38				

표 2.10.50 지하9층 상부부착형 차연도어 평균 방연풍속

Case		하강 (H)	방연 (V)	풍속크기 (WS)
		Avg. (m/s)	Avg. (m/s)	Avg. (m/s)
Case_01	test_01	3.91	2.91	4.94
	test_02	3.51	2.64	4.46
	test_03	3.70	2.66	4.62
Avg.		**3.71**	**2.74**	**4.67**
Case_02	test_01	3.14	2.66	4.21
	test_02	3.29	2.70	4.34
	test_03	3.26	2.77	4.38
Avg.		**3.23**	**2.71**	**4.31**

지하9층 승강장 방화문의 방연풍속 측정결과 Case_01(지하8층 방화문 열림)이 Case_02(지하8층 방화문 닫힘)보다 하강 0.46m/s, 방연 0.03m/s, WS 0.36m/s 전체적으로 높게 측정되었으나 방연효과상 큰 차이는 없을 것으로 예측되는 수치이며, Case_01, 02 모두 NFSC 501A의 기준 개구부 평균 방연풍속 0.7m/s을 만족하는 3.5배 이상 2.71m/s~4.67m/s로 측정되었다. 따라서 만덕역사 지하9층 승강장-지하8층 피난계단 차연도어 시스템의 방연풍속의 성능은 기준상으로나 실질적으로 화재시 방연을 하기에 적합한 방연풍속을 보여주고 있다.

(2) 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 (지하8층 방화문 설치) 방연풍속 측정

단문전개식 공간형 차연도어는 아래그림과 같이 완전개방(평상시, Case_03), 공간생성(화재시, Case_04), 공간생성 출입문열림(화재시, Case_05)에서 각각 3회 반복측정 하였다.

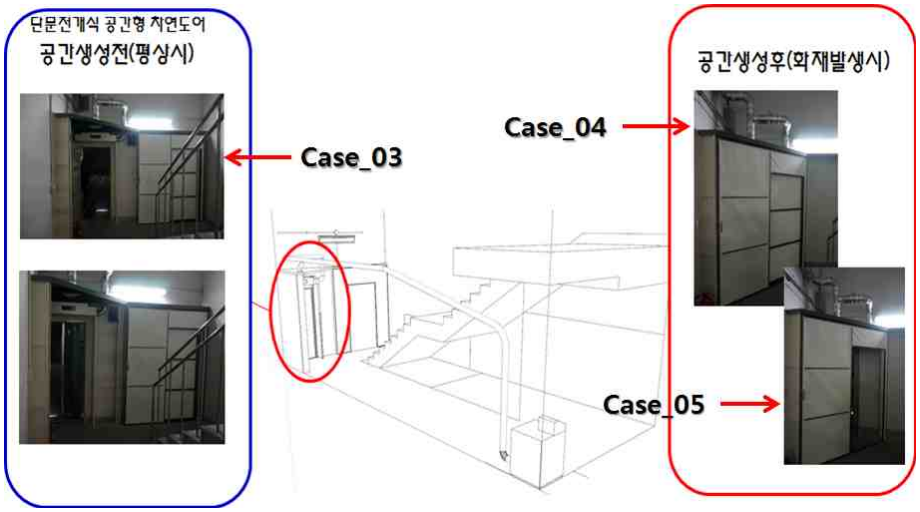


그림 2.10.65 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 방연풍속 측정 조건

표 2.10.51 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 방연풍속 측정 조건

지하8층	Case_03	Case_04	Case_05
단문전개식 공간형 차연도어	완전개방(평시)	공간생성(화재)	공간생성 출입문개방(화재)

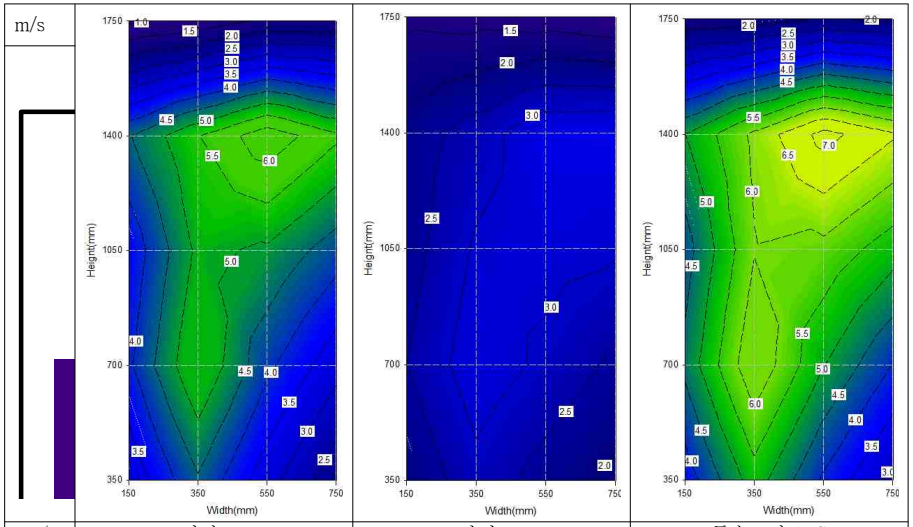


그림 2.10.66 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 방연풍속 측정모습-1



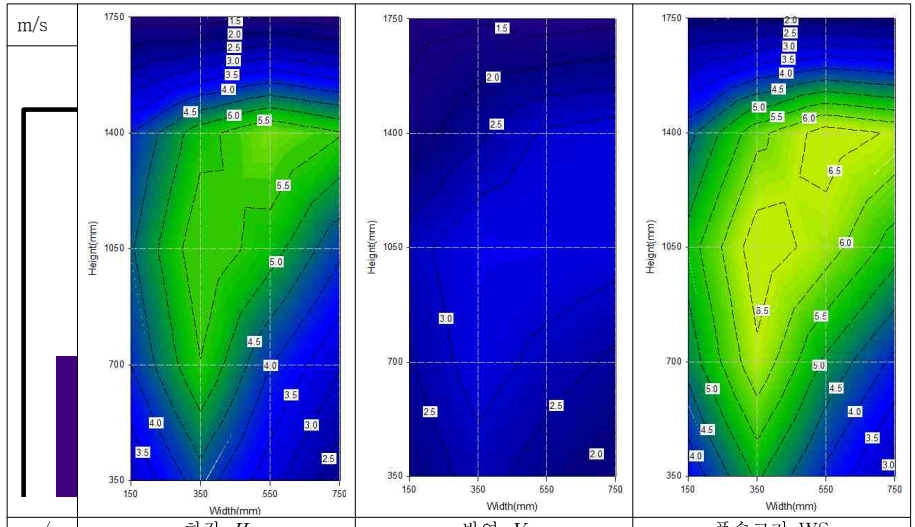
그림 2.10.67 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 방연풍속 측정모습-2

표 2.10.52 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_03_01 (완전개방)



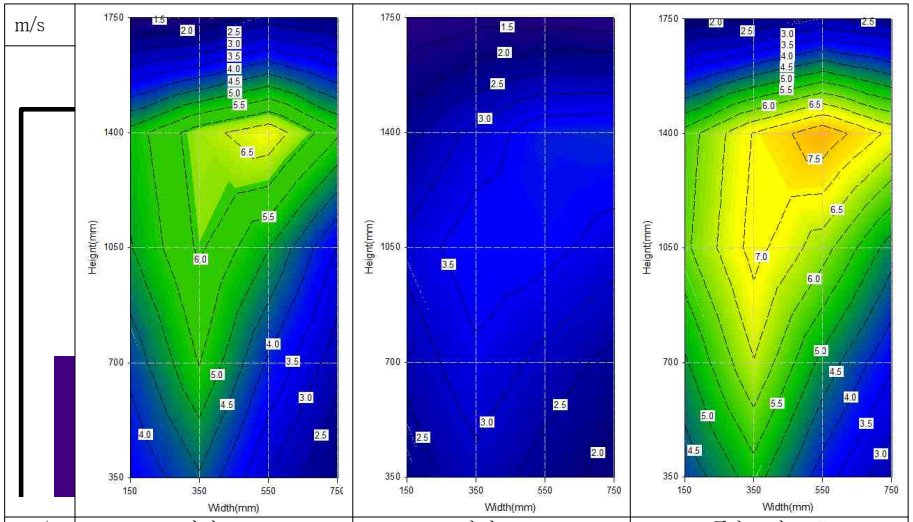
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	0.91	1.16	1.62	1.59	1.32	1.38	1.32	1.25	1.08	1.26	1.65	1.76	2.05	1.92	1.84
1400	4.46	5.48	6.34	5.60	5.47	2.22	2.73	3.39	3.43	2.94	4.98	6.12	7.19	6.57	6.22
1050	3.63	5.12	4.91	4.23	4.47	2.26	3.07	3.17	3.07	2.89	4.28	5.97	5.84	5.23	5.33
700	3.91	5.50	4.12	3.18	4.18	2.49	3.31	2.88	2.39	2.77	4.64	6.42	5.03	3.98	5.01
350	3.10	4.44	3.19	2.16	3.22	2.02	2.83	2.27	1.87	2.25	3.70	5.27	3.92	2.86	3.93
전체 평균	3.73					2.42					4.47				

표 2.10.53 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_03_02 (완전개방)



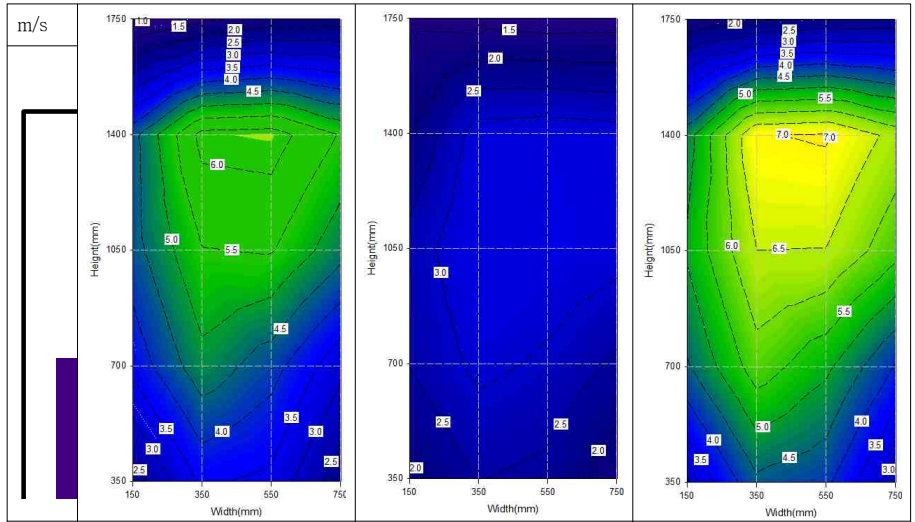
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	1.27	1.27	1.42	1.13	1.27	1.32	1.44	1.25	1.36	1.34	1.83	1.92	1.89	1.77	1.85
1400	3.98	5.31	6.00	5.54	5.21	1.69	2.42	3.10	3.27	2.62	4.32	5.84	6.75	6.43	5.84
1050	4.44	5.87	5.24	4.12	4.92	2.77	3.47	3.43	3.25	3.23	5.23	6.82	6.26	5.25	5.89
700	4.00	5.48	4.02	3.05	4.14	2.46	3.30	2.79	2.38	2.73	4.70	6.40	4.89	3.87	4.96
350	3.03	4.28	3.20	2.18	3.17	2.02	2.74	2.19	1.77	2.18	3.64	5.08	3.88	2.81	3.85
전체 평균	3.74					2.42					4.48				

표 2.10.54 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_03_03 (완전개방)



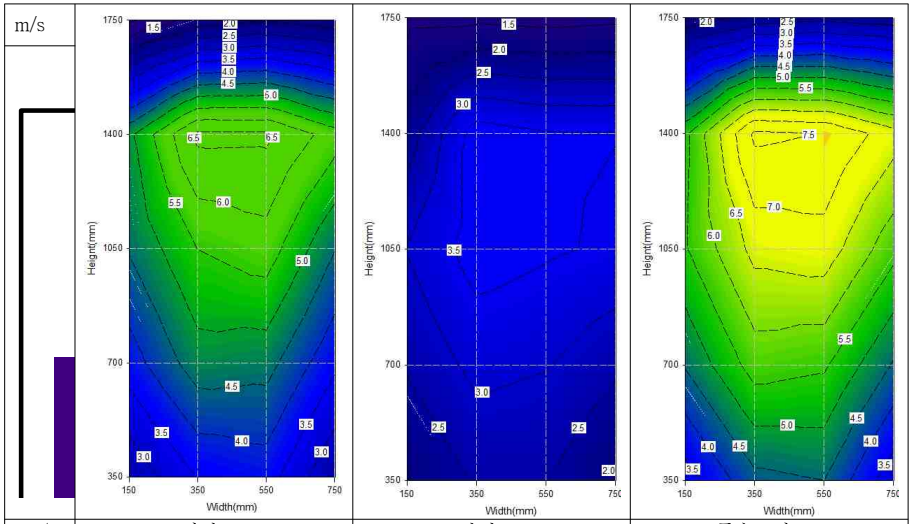
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	1.34	1.53	2.28	1.93	1.77	1.07	1.33	1.28	1.17	1.21	1.71	2.03	2.61	2.26	2.15
1400	5.22	6.29	6.85	5.59	5.99	2.34	3.16	3.87	3.96	3.33	5.72	7.04	7.87	6.85	6.87
1050	4.96	6.09	5.02	3.46	4.88	3.16	3.85	3.68	3.26	3.49	5.88	7.20	6.22	4.75	6.02
700	4.15	5.52	3.92	2.70	4.07	2.64	3.39	2.83	2.32	2.80	4.92	6.48	4.83	3.56	4.95
350	3.52	4.43	3.00	1.96	3.23	2.19	2.82	2.24	1.77	2.26	4.15	5.25	3.74	2.64	3.95
전체 평균	3.99					2.62					4.79				

표 2.10.55 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_04_01 (공간생성)



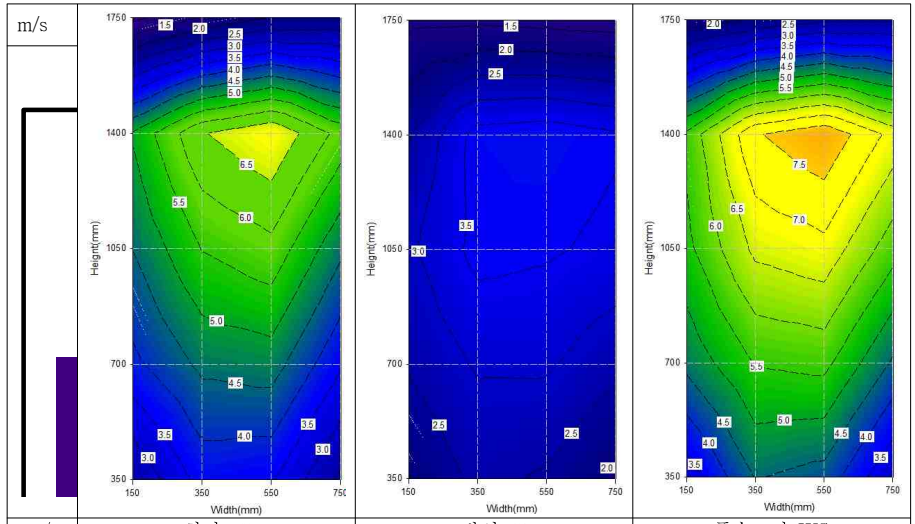
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	0.85	1.39	1.70	1.76	1.43	1.36	1.34	1.24	1.26	1.30	1.60	1.93	2.10	2.16	1.95
1400	4.34	6.17	6.24	5.46	5.55	2.00	3.24	3.29	3.20	2.93	4.78	6.97	7.05	6.33	6.28
1050	4.30	5.48	5.54	4.68	5.00	2.70	3.49	3.37	3.21	3.19	5.08	6.50	6.48	5.68	5.93
700	3.66	4.84	4.21	3.15	3.97	2.52	3.14	2.91	2.40	2.74	4.44	5.77	5.12	3.96	4.82
350	2.25	3.59	3.37	2.19	2.85	1.89	2.52	2.35	1.66	2.11	2.94	4.39	4.11	2.75	3.55
전체 평균	3.76					2.45					4.51				

표 2.10.56 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_04_02 (공간생성)



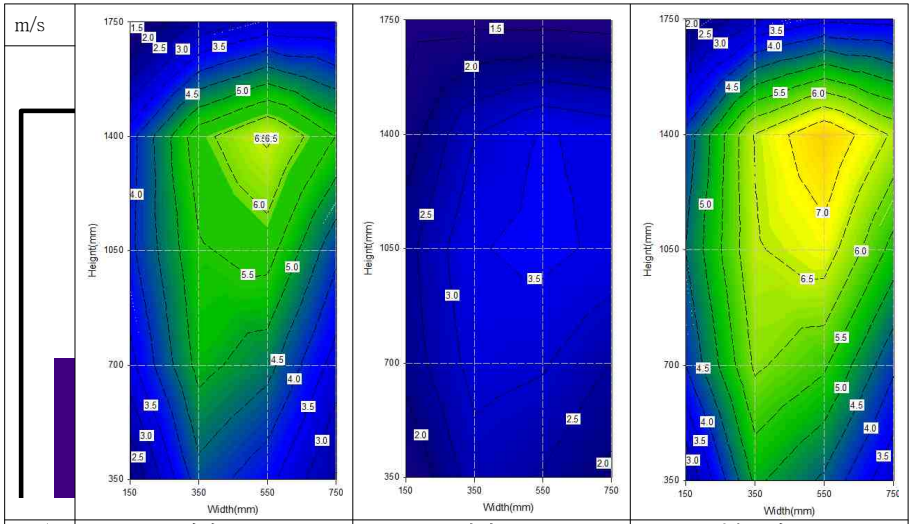
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	0.91	1.73	1.96	1.71	1.58	1.35	1.39	1.31	1.38	1.36	1.63	2.22	2.36	2.20	2.10
1400	4.89	6.62	6.60	5.74	5.96	2.25	3.74	3.54	3.51	3.26	5.38	7.60	7.49	6.73	6.80
1050	4.54	5.51	5.77	4.52	5.09	3.02	3.74	3.57	3.42	3.44	5.45	6.66	6.79	5.67	6.14
700	3.75	4.78	4.69	3.61	4.21	2.56	3.15	3.03	2.60	2.84	4.54	5.72	5.58	4.45	5.07
350	2.60	3.52	3.73	2.55	3.10	1.96	2.56	2.52	1.89	2.23	3.26	4.35	4.50	3.17	3.82
전체 평균	3.99					2.62					4.79				

표 2.10.57 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_04_03 (공간생성)



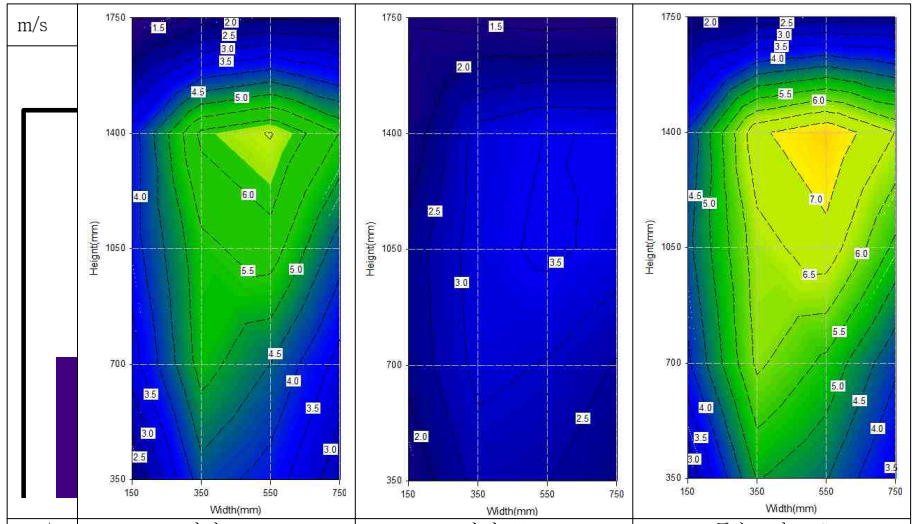
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	0.86	1.54	2.02	2.06	1.62	1.38	1.42	1.32	1.25	1.34	1.63	2.09	2.41	2.41	2.14
1400	5.06	6.46	6.96	5.82	6.08	2.46	3.70	3.80	3.57	3.38	5.63	7.44	7.93	6.83	6.96
1050	4.51	5.52	5.85	4.62	5.13	2.90	3.66	3.57	3.36	3.37	5.36	6.62	6.85	5.71	6.14
700	3.87	4.62	4.74	3.57	4.20	2.56	3.06	3.07	2.63	2.83	4.64	5.54	5.65	4.43	5.07
350	2.54	3.68	3.56	2.40	3.05	1.97	2.64	2.43	1.87	2.23	3.21	4.53	4.31	3.04	3.77
전체 평균	4.01					2.63					4.81				

표 2.10.58 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_05_01 (공간생성 출입문열림)



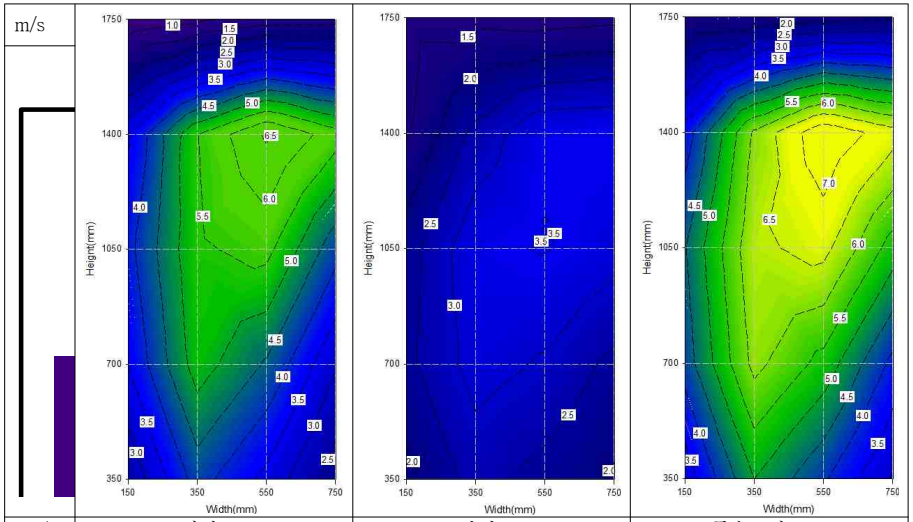
m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	1.20	2.62	3.15	3.08	2.51	1.29	1.35	1.32	1.24	1.30	1.76	2.95	3.42	3.32	2.86
1400	3.81	5.82	6.59	5.48	5.43	1.72	2.98	3.55	3.33	2.90	4.18	6.54	7.49	6.41	6.15
1050	3.87	5.44	5.72	4.13	4.79	2.32	3.45	3.67	3.35	3.20	4.51	6.44	6.80	5.32	5.77
700	3.35	5.18	4.67	3.27	4.12	2.19	3.21	3.06	2.48	2.74	4.00	6.09	5.58	4.10	4.95
350	2.00	4.30	3.66	2.45	3.10	1.50	2.75	2.45	1.86	2.14	2.50	5.10	4.40	3.08	3.77
전체 평균	3.99					2.45					4.70				

표 2.10.59 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_05_02 (공간생성 출입문열림)



m/s	하강 H					방연 V					풍속크기 WS				
거리 (mm)	175	375	575	775	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균	150	350	550	750	가로 평균
1750	0.84	1.66	1.95	1.86	1.58	1.42	1.36	1.28	1.32	1.35	1.65	2.15	2.33	2.28	2.10
1400	3.76	6.12	6.54	5.48	5.48	1.62	3.19	3.52	3.47	2.95	4.09	6.90	7.43	6.49	6.23
1050	3.75	5.36	5.78	4.24	4.78	2.20	3.28	3.63	3.31	3.11	4.35	6.28	6.83	5.38	5.71
700	3.27	5.22	4.49	3.30	4.07	2.13	3.17	2.96	2.45	2.68	3.90	6.11	5.38	4.11	4.87
350	2.03	4.27	3.77	2.69	3.19	1.62	2.68	2.52	2.03	2.21	2.60	5.04	4.53	3.37	3.89
전체 평균	3.82					2.46					4.56				

표 2.10.60 지하8층 단문전개식 차연도어 풍속측정결과 Case_05_03 (공간생성 출입문열림)



거리 (mm)	하강 H 175	375	575	775	가로 평균	방연 V 150	350	550	750	가로 평균	풍속크기 WS 150	350	550	750	가로 평균
1750	0.60	0.89	1.26	1.29	1.01	1.36	1.34	1.28	1.37	1.34	1.49	1.61	1.80	1.88	1.69
1400	3.43	5.49	6.57	5.74	5.31	1.45	2.65	3.43	3.50	2.76	3.72	6.10	7.41	6.72	5.99
1050	3.84	5.43	5.66	4.18	4.78	2.28	3.38	3.53	3.22	3.10	4.47	6.40	6.67	5.28	5.70
700	3.51	5.25	4.44	3.05	4.06	2.36	3.21	2.94	2.36	2.72	4.23	6.15	5.33	3.86	4.89
350	2.58	4.21	3.36	2.22	3.09	1.85	2.70	2.32	1.94	2.20	3.17	5.00	4.08	2.95	3.80
전체 평균	3.65					2.42					4.42				

표 2.10.61 지하8층 단문전개식 차연도어 시스템 평균 방연풍속

Case		하강 (H) Avg. (m/s)	방연 (V) Avg. (m/s)	풍속크기 (WS) Avg. (m/s)
Case_03	test_01	3.73	2.42	4.47
	test_02	3.74	2.42	4.48
	test_03	3.99	2.62	4.79
Avg.		**3.82**	**2.49**	**4.58**
Case_04	test_01	3.76	2.45	4.51
	test_02	3.99	2.62	4.79
	test_03	4.01	2.63	4.81
Avg.		**3.92**	**2.57**	**4.70**
Case_05	test_01	3.99	2.45	4.70
	test_02	3.82	2.46	4.56
	test_03	3.65	2.42	4.42
Avg.		**3.82**	**2.44**	**4.56**

지하8층-지하7층 피난계단 방화문의 방연풍속 측정결과 Case_04(단문전개식 공간형 차연도어 공간생성, 화재시)이 Case_03(단문전개식 공간형 차연도어 완전개방, 평상시)보다 하강 0.10m/s, 방연 0.08m/s, 풍속크기 0.12m/s, Case_05(단문전개식 공간형 차연도어 공간생성 문열림, 화재시)보다 하강 0.10m/s, 방연 0.13m/s, 풍속크기 0.14m/s 만큼 전체적으로 높게 측정되었으나 방연효과상 큰 차이는 없을 것으로 예측되는 수치이며, Case_03, 04, 05 모두 NFSC 501A의 기준 개구부 평균 방연풍속 0.7m/s을 만족하는 3.5배 이상 2.44m/s~4.70m/s로 측정되었다. 따라서 만덕역사 지하8층 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 방연풍속의 성능은 화재안전기준상으로나 실질적으로 화재시 방연을 하기에 적합한 방연풍속을 보여주고 있다.

지하9층과 지하8층 Case_01~05 모두 기준을 크게 만족하는 방연풍속을 나타냈으며 실제 연기 방연에도 효과적인 방연풍속으로 판단된다.

(3) 시작품과 현장에 설치된 시제품의 방연풍속 성능 비교

표 2.10.62 시작품 현장시험 방연풍속

Case	하강 (H)	방연 (V)	풍속크기	시제품 성능비	
	Avg. (m/s)	Avg. (m/s)	Avg. (m/s)	시작품 대비 풍속크기 (방연풍속)	NFSC 501A 기준 대비
시작품	3.05	2.12	3.71	–	**530% (302%)**
시제품 I (지하8층 설치)	3.92	2.57	4.70	**126.7% (121.2%)**	**671% (367%)**
시제품 II (지하9층 승강장 설치)	3.71	2.74	4.67	**125.9% (129.2%)**	**667% (394%)**

위 표는 현장설치 차연도어의 평균 풍속 값을 시작품 차연도어 평균풍속대비로 나타냈다. 만덕역사 지하8층 차연도어는 시작품 대비 126.7%, 만덕역사 지하9층 차연도어의 경우 성능시험 대비 125.9%의 성능을 보여주고 있으며 방연풍속이 25% 이상 증가했다. 또한 화재안전기준 NFSC 501A 방연풍속기준 0.7m/s 대비 시작품 530%, 시제품I 671%, 시제품II 667%의 효과적인 성능을 보여주고 있어 연기를 차단하기에 매우 효과적인 것으로 보인다.

나. (공간형) 차연도어 연기 모의시험

(1) 연기밀도 측정 센서 제작

안전구역 개발 제연설비의 성능 테스트 진행시 다양한 위치에서 실시간으로 연기밀도 측정이 필요하다. 하지만 일반적인 광소멸법을 이용한 표준장치는 고가의 장비이며 다양한 위치에서 동시에 측정하기에 한계가 있다. 따라서 적은 비용으로 실시간 측정 및 설치가 용이한 포터블 장치를 제작 하여 본 과제의 현장적용 실험에서 사용되었다. 저가형 연기밀도 측정장치의 원리는 다음그림과 같다[김봉준 등, 광학적 연기밀도 측정을 위한 저가형 장치의 개발에 관한 연구한국화재소방학회논문지 / v.29, no.4, 2015년]

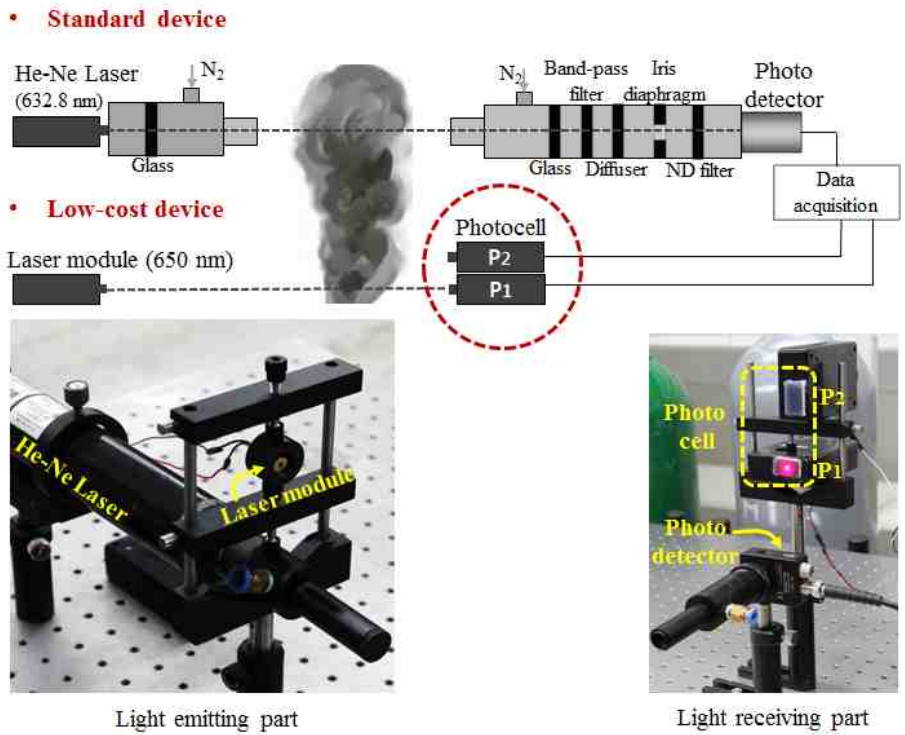


그림 2.10.68 광소멸법을 이용한 연기밀도 측정 표준장비와 개발된 저가형 장비 [김봉준 등, 광학적 연기밀도 측정을 위한 저가형 장치의 개발에 관한 연구한국화재소방학회논문지 / v.29, no.4, 2015년]

본 시험에서 위와 같은 개념을 도입하여 연기밀도 측정 장치를 제작하여 아래와 같이 설치하였다. 연기밀도 측정장치는 레이저 발신부와 수신부의 2파트로 나뉘어져 으며, 발신부에서 발신되는 레이저는 수신부에 설치된 2개의 포토센서중 1개에 에이밍되어 있으며, 연기의 농도에 따라 수신되는 레이저의 광량이 변경되어 전압으로 변환되며, 주변광량은 레이저가 에이밍되지 않은 포토센서로 측정되며, 이 값을 이용하여 실제 연기의 농도를 산출할 수 있다.



그림 2.10.69 제작하여 부착된 연기밀도 측정 센서 발신부



그림 2.10.70 제작하여 부착된 연기밀도 측정 센서 수신부

(2) 상부부착형 차연도어 시스템

○ 설치 위치 : 부산 만덕역 승강장과 지하8층을 연결하는 피난계단

○ 열부력 연기를 이용한 차연도어시스템 연기 차연성능 측정시험시 부산교통공사 협조사항
- 시험 중간 중간 연기 배출을 위한 터널 및 승강장 배기 모드 작동
- 연기화재시험시 연기감지기 OFF
- 승강장 조명 ON/OFF
- 화재발생시와 동일한 조건 구현(승강장 배기 모드)

○ 시험장비 세팅
- 승강장-지하8층 피난계단 연기농도 측정(내외부 3개씩 6세트)

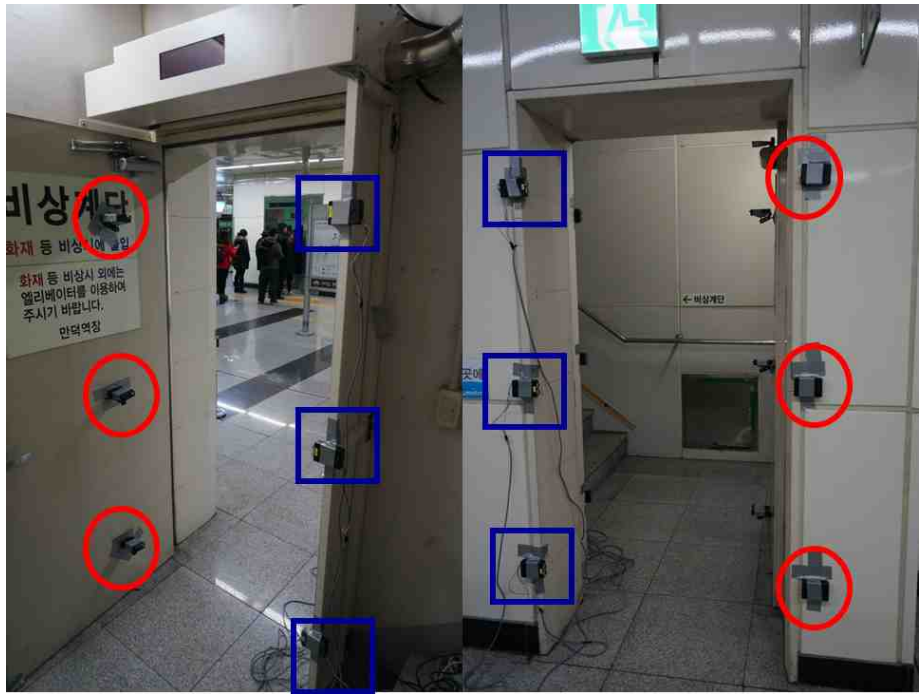


그림 2.10.71 승강장(화재발생구간, 왼쪽) 및 안전구역 (계단실, 오른쪽)에 설치된 연기농도 측정기 발신부 (빨간색 원), 수신부 (파란색 네모)

위의 그림은 승강장(화재발생구간, 왼쪽) 및 안전구역 (계단실, 오른쪽)에 설치된 연기농도 측정센서를 보여주고 있다. 높이별로 3개를 설치하였는데, 높이는 바닥에서부터 각각 350, 1050, 1750mm 이며, 수신부와 발신부의 거리는 950 mm 이다. 연기측정센서의 발신부는 빨간색 원으로 표시하였으며, 수신부는 파란색 네모로 표시하였다. 화재연기를 모사하기 위하여 아래와 같은 열풍기 및 고온 연기발생장치를 이용하였다.



그림 2.10.72 승강장에 설치된 연기발생기 및 열풍기 조작 모습



그림 2.10.73 가시화를 위하여 설치된 sheet laser

또한 연기 가시화를 위하여 위와 같이 쉬트레이져를 바닥에 장착하였다. 화재상황과 동일한 조건을 구현하기 위하여 승강장에서 화재발생시 제연모드로 역사의 송풍기들이 자동 운전하였다. 다수의 시험을 수행하였으며 가시화된 결과로는 연기가 안전구역 내로 거의 유입되지 않음을 확인하였다. 부산만덕 역사에 설치된 상부형 차연도어 시스템으로도 화재 연기를 충분히 잘 막을 수 있는 것을 알 수 있었다.



그림 2.10.74 상부부착형 차연도어시스템의 차연 성능 가시화



그림 2.10.75 안전구역(계단실) 내부에서 바라본 차연성능(좌: 작동, 우: 정지)

○ 연기농도 측정결과 및 분석

측정 데이터는 본 절 양문전개식 차연도어 시스템과 동일하게 전압비와 Optical Density(OD) 광학밀도, 가시거리(m) 값으로 표현하였다.

연기농도는은 3분간 측정하였으며 [지하8층 방화문을 닫고 시험시작 → 75초 지하8층 방화문 열림 → 210초 차연도어 시스템 OFF(시험종료) → 300초 측정종료] 순으로 진행하였다. 만덕역사 지하9층 승강장 피난계단 방화문의 연기농도 측정결과는 다음과 같다.

-지하9층 Safe Zone (차연도어 안쪽) 측정결과

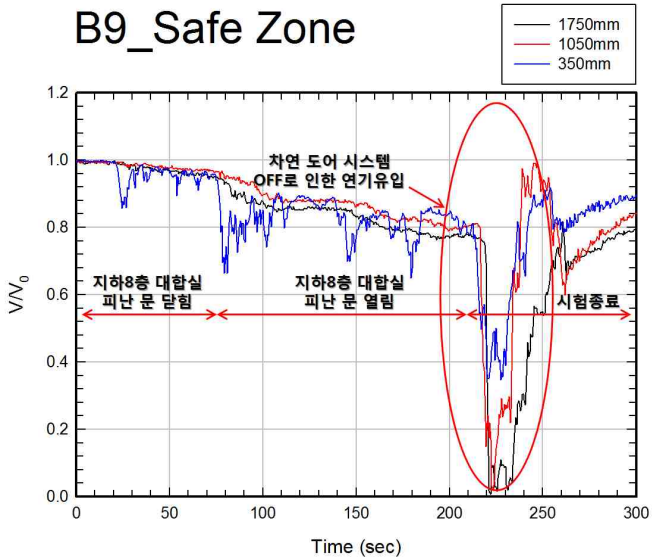


그림 2.10.76 지하9층 승강장 차연도어 Safe Zone의 높이별 광학밀도

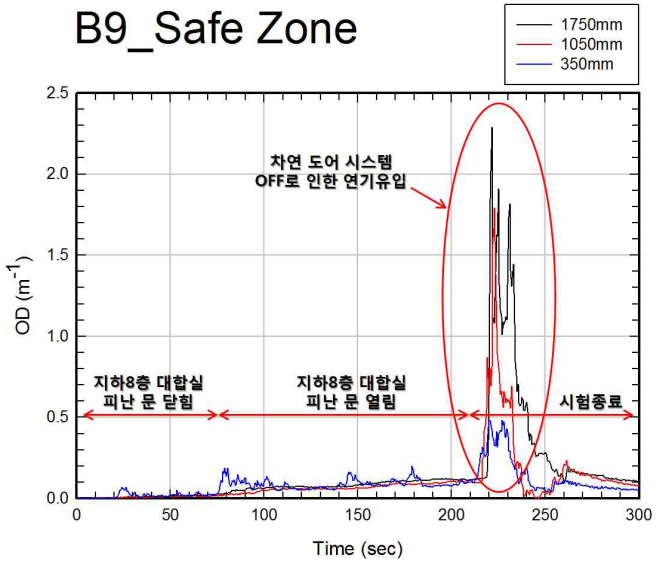


그림 2.10.77 지하9층 승강장 차연도어 Safe Zone의 높이별 전압비

-지하9층 Fire Zone (승강장쪽) 측정결과

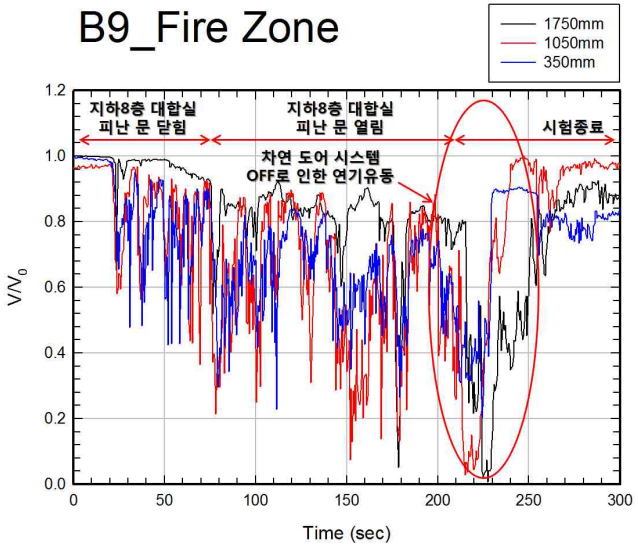


그림 2.10.78 지하9층 승강장 차연도어 Fire Zone의 높이별 광학밀도

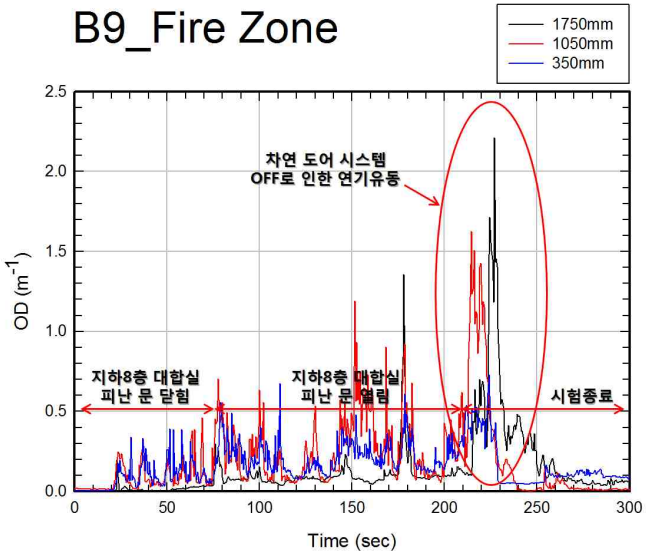


그림 2.10.79 지하9층 승강장 차연도어 Fire Zone의 높이별 전압비

표 2.10.63 지하9층 승강장 차연도어 Safe Zone 구간 평균 연기농도 및 가시거리

시험 진행 상황 및 시간	지하8층 방화문 닫힘 (0 ~ 75)	지하8층 방화문 열림 (75 ~ 210)	차연도어 시스템 OFF (210 ~ 230)
V/V_0 Avg.	0.97	0.84	0.39
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.01	0.08	0.62
Visibility [m]	213.76	17.28	3.67

지하9층 차연도어 Safe Zone(안전구역 안쪽)의 1750mm, 1050mm, 350mm 높이의 연기농도를 앞의 그림과 같이 각각 전압비와 Optical Density(이하 OD) 광학밀도로 나타냈다. 그래프상의 전압비가 0에 가까워질수록, $OD(m^{-1})$값이 증가할수록 연기농도가 짙어짐을 의미한다.
시험시작 후 75초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.97, 평균$OD=0.01(m^{-1})$이므로 연기의 유입 거의 없음을 알 수 있다. 76초~210초 구간에서는 전압비 평균=0.84, 평균$OD=0.08(m^{-1})$로 연기의 유입이 천천히 진행되고 있는걸 알 수 있으며, 211초 이후 차연도어 시스템 OFF됨과 동시에 연기가 급속도로 유입되면서 전압비 평균=0.38, 평균$OD=0.62(m^{-1})$까지 큰 폭으로 떨어지는 것을 알 수 있다.

표 2.10.64 지하9층 승강장 차연도어 Fire Zone 구간 평균 연기농도 및 가시거리

시험 진행 상황 및 시간	지하8층 방화문 닫힘 (0 ~ 75)	지하8층 방화문 열림 (75 ~ 210)	차연도어 시스템 OFF (210 ~ 230)
V/V_0 Avg.	0.89	0.68	0.31
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.06	0.20	0.70
Visibility [m]	70.26	8.34	1.91

지하9층 차연도어 Fire Zone(승강장 쪽)의 1750mm, 1050mm, 350mm 높이의 연기농도이다. 그래프는 Safe Zone그래프와 동일하다.
시험시작 후 75초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.89, 평균$OD=0.68(m^{-1})$이며 승강장 내 연기농도가 빠르게 증가하고 있다. 76초~210초 구간에서는 전압비 평균=0.68, 평균$OD=0.20(m^{-1})$으로 연기농도가 상당히 높은 수준으로 증가하였으며, 211초 이후 차연도어 시스템 OFF됨과 동시에 연기가 급속도로 방화문으로 유입되면서 방화문 앞 전압비 평균=0.31, 평균$OD=0.70(m^{-1})$까지 큰 폭으로 올라갔다.

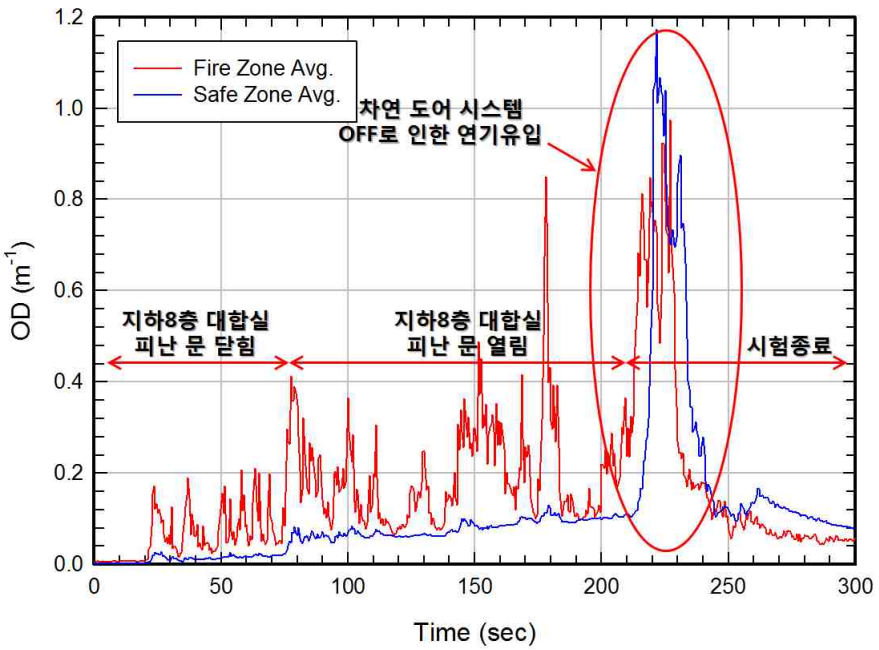


그림 2.10.80 지하9층 승강장 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 비교 그래프

표 2.10.65 지하9층 승강장 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 및 가시거리

상황 (시간)		지하8층 방화문 닫힘 (0 ~ 75)	지하8층 방화문 열림 (75 ~ 210)	차연도어 시스템 OFF (210 ~ 230)
Optical Density [m^{-1}]	Safe Zone	0.01	0.08	0.62
	Fire Zone	0.06	0.20	0.70
Visibility [m]	Safe Zone	213.76	17.27	3.67
	Fire Zone	70.26	8.34	1.91

위 그림은 Safe Zone과 Fire Zone 센서의 평균 $OD(m^{-1})$값을 비교한 그래프다. 시험 시작 후 75초 까지 Safe Zone의 평균 $OD=0.01(m^{-1})$범위 이하로 연기 유입이 거의 없는 쾌적한 상태인 반면 Fire Zone의 평균 $OD=0.06(m^{-1})$, 최대 $OD=0.20(m^{-1})$로 승강장 내 연기농도가 크게 증가하였으며, 75초 이후 지하8층 방화문을 개방하고부터 Safe Zone 평균 $OD=0.08(m^{-1})$로 증가하였고 시험종료 전까지 연기 유입이 점차 증가하는 모습을 보이고 있는데 이러한 현상은 지하73m의 지하9층 승강장과 지상1층 만덕역사의 온도차로 인한 굴뚝효과로 연기유입량이 지하

8층 방화문을 열기 전보다 증가한 것으로 보이나 평균 $OD=0.08(m^{-1})$값이 이므로 연기감지기 작동 수준인 $OD=0.20(m^{-1})$에는 못 미치며 시각적으로도 피난에는 지장이 없는 농도로 판단된다. Fire Zone의 연기가 일부 방화문으로 유동하면서 $OD(m^{-1})$값이 큰폭으로 증가했지만 잠시후 원래 연기농도로 되돌아 온 것을 볼 수있다. 이구간의 Fire Zone 평균 $OD=0.20(m^{-1})$으로 연기감지기 동작 수준에 이르게 된다. 210초 차연도어 시스템 OFF 한 이후에는 방화문으로 연기가 급속도로 빨려들어가면서 Safe zone과 Fire Zone 모두 평균 $OD=0.62(m^{-1})$, 평균 $OD=0.70(m^{-1})$ 으로 연기농도 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 가시거리 또한 차연도어 시스템을 작동시켰을 때 굴뚝효과에 의해 연기가 침투하였지만 Safe Zone에서의 가시거리는 17.27m 까지 유지가 되었고, 차연도어 시스템 OFF 뒤에는 인명피해가 발생할 수 있는 3.67m 까지 급격하게 떨어지는 것을 확인하였다.

따라서 지하 9층 승강장 방화문의 경우 변수가 많이 발생하는 구간임에도 불구하고 차연도어 OFF직전 210초까지 평균 $OD=0.08(m^{-1})$, 가시거리 17.27m로 피난이 가능한 연기농도를 유지할 수 있는 차연성능을 보여주어 피난에 유리하도록 도움을 주는 것으로 확인되었다.

(3) 단문전개식 공간형 차연도어 시스템

- 설치 위치 : 부산 만덕역 비상계단실 지하 8층과 지하7층을 연결하는 피난계단

○ 시험장비 세팅

- 지하8층-지하7층 피난계단 연기농도 측정(내외부 3개씩 6세트)

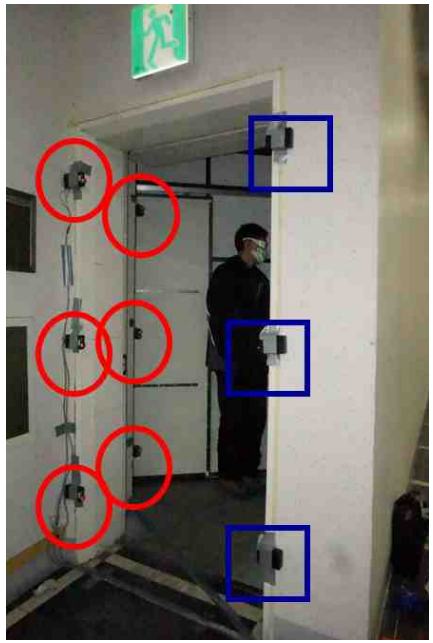


그림 2.10.81 지하 8층에 설치된 연기농도 측정기, 발신부 (빨간색 원), 수신부 (파란색 네모)

위의 그림은 지하8층(화재발생구간)에서 바라본 설치된 연기농도 측정센서를 보여주고 있다. 높이별로 3개를 설치하였는데, 높이는 바닥에서부터 각각 350, 1050, 1750mm 이며, 수신부와 발신부의 거리는 950 mm 이다. 연기측정센서의 발신부는 빨간색 원으로 표시하였으며, 수신부는 파란색 네모로 표시하였다. 열풍기에서 발생하는 기류로 인해 연기에 강한 모멘텀을 주어 연기 가시화가 어려워 열풍기를 작동하지 않고 고온 연기발생장치를 이용하여 고온연기를 모사하였다.



그림 2.10.82 고온 연기화재시 공간형 차연도어의 연기방호 성능
좌상: 화재구역, 8층 엘리베이터실
우상: 안전구역인 피난계단에서 바라본 사진(전실생성용 방화천구조전개전)
하: 안전구역인 피난계단에서 바라본 사진(전실생성용 방화천구조 전개후)

지하8층의 비상계단실에 연결된 승강장로비에 고온연기발생장치를 설치하여 연기를 발생시켰다. 다음과 같은 공간형 차연도어 상태에서 실험을 수행하였다.

- 상부부착용 차연도어 장치만 작동
- 상부부착용 차연도어 장치만 작동 + 전실생성용 방화천 구조 전개후

앞의 그림에서 알 수 있듯이 승강장에 설치된 상부부착용 차연도어와 같이 연기의 차단성능이 뛰어났다. 다만 약간의 연기의 유입이 있었는데 전실 생성용 방화천 구조 전개후 전실 생성후 연기가 피난계단 안쪽으로 유입되는 시간이 더 오래 걸렸다. 전실 생성용 방화천 구조가 현재 누기가 없게 설치되지 않았는데(예산상 이유), 추후 상용화되어 누기가 전혀 없을 경우 연기가 피난통로로 전혀 새어 나가지 않을 것이다.

○ 연기농도 측정결과 및 분석

측정 데이터는 본 절 양문전개식 차연도어 시스템과 동일하게 전압비와 Optical Density(OD) 광학밀도, 가시거리(m) 값으로 표현하였다.

지하8층의 단문전개 공간형 차연도어의 연기농도 측정은 240초간 측정하였으며, Safe Zone(차연도어 안쪽 피난계단)의 1050mm높이의 연기농도 센서에 오류가 발생하여 1750mm, 350mm의 높이만 연기농도를 측정하였다. Fire Zone의 센서는 이전과 동일하게 1750mm, 1050mm, 350mm 모두 측정하였다.

시험은 [단문개방형 전실생성 후 시험시작 → 125초 전실 출입문 열림 → 190초 전실 전체 열림 → 240초 이후 시험 종료] 순으로 진행하였다. 연기농도 측정결과는 다음과 같다.

-지하8층 Safe Zone (차연도어 안쪽 피난계단) 측정결과

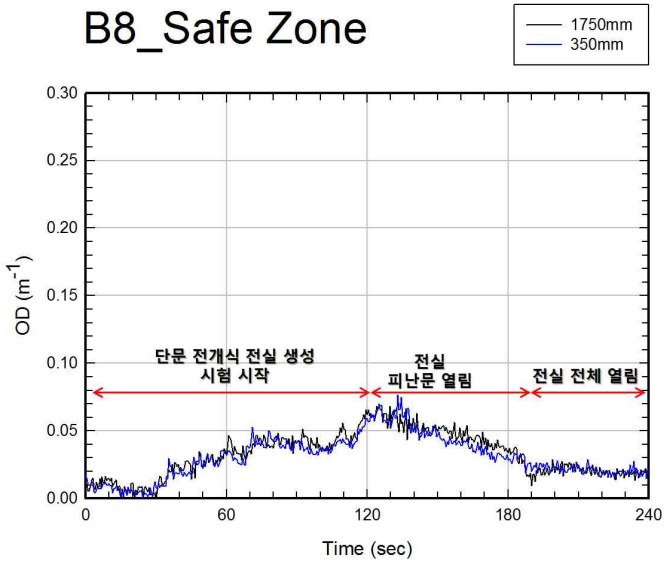


그림 2.10.83 지하8층 단문전개식 차연도어 Safe Zone의 높이별 광학밀도

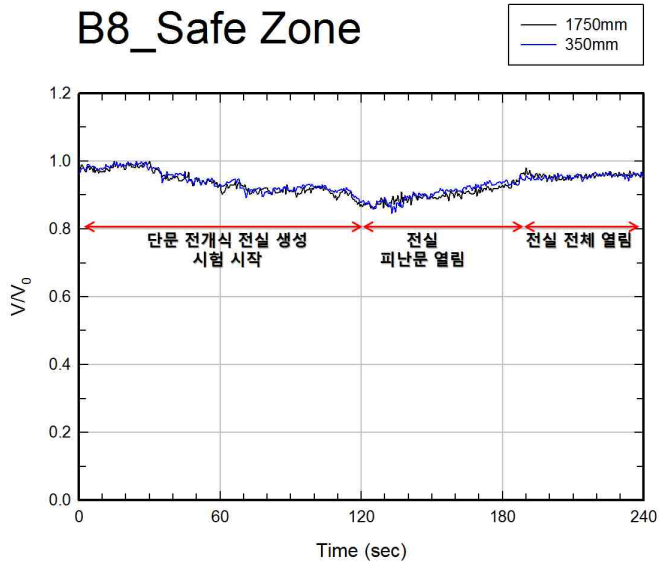


그림 2.10.84 지하8층 단문전개식 차연도어 Safe Zone의 높이별 전압비

-지하8층 단문전개식 공간형차연도어 Fire Zone 측정결과

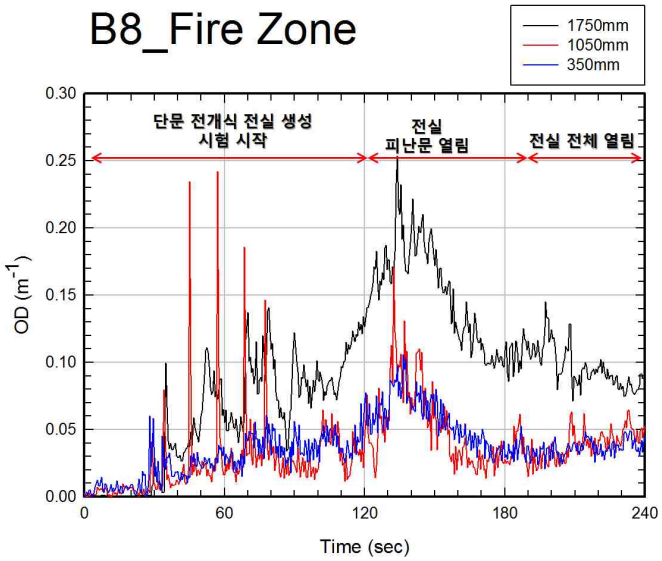


그림 2.10.85 지하8층 단문전개식 차연도어 Fire Zone의 높이별 광학밀도

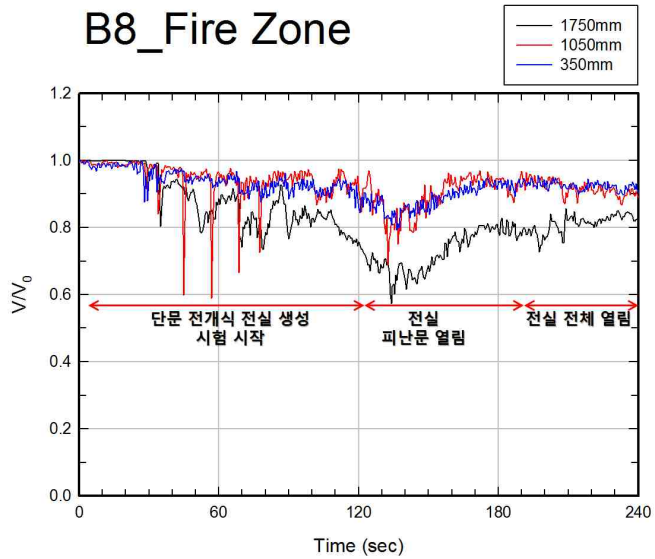


그림 2.10.86 지하8층 단문전개식 차연도어 Fire Zone의 높이별 전압비

표 2.10.66 지하8층 단문전개식 차연도어 Safe Zone 구간 평균 연기농도 및 가시거리

시험 진행 상황 및 시간	단문전개식 전실 생성 (0 ~ 125)	전실 출입문 열림 (125 ~ 190)	전실 전체 열림 (190 ~ 240)
V/V_0 Avg.	0.92	0.89	0.94
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.03	0.04	0.02
Visibility [m]	105.79	31.74	64.60

지하8층 단문전개 공간형 차연도어 Safe Zone(피난계단실)의 연기농도를 1750mm, 350mm 높이에서 앞의 그림과 같이 각각 전압비와 Optical Density(이하 OD) 광학밀도로 나타냈다. 그래프상의 전압비가 0에 가까워질수록, $OD(m^{-1})$값이 증가할수록 연기농도가 짙어짐을 의미한다. 시험시작 후 125초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.92, 평균$OD=0.03(m^{-1})$이다. 미량의 연기가 유입이 된 것을 알 수 있다. 125초~190초 구간에서는 전압비 평균=0.89, 평균$OD=0.04(m^{-1})$로 미량의 연기가 지속적으로 유입되었으나 일정 농도이상 진행되지 않는 것을 알 수 있으며, 190초 이후에도 전압비 평균=0.94, 평균$OD=0.02(m^{-1})$으로 전 단계와 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

표 2.10.67 지하8층 단문전개식 차연도어 Fire Zone 구간 평균 연기농도 및 가시거리

시험 진행 상황 및 시간	단문전개식 전실 생성 (0 ~ 125)	전실 출입문 열림 (125 ~ 190)	전실 전체 열림 (190 ~ 240)
V/V_0 Avg.	0.92	0.84	0.88
$OD(m^{-1})$ Avg.	0.04	0.08	0.06
Visibility [m]	146.40	17.21	23.03

지하8층 단문전개식 공간형 차연도어 방화문 Fire Zone의 1750mm, 1050mm, 350mm 높이의 연기농도다. 그래프는 Safe Zone그래프와 동일하다.
시험시작 후 125초까지 전체 센서의 전압비 평균=0.92, 평균$OD=0.04(m^{-1})$이며 센서 앞에 미량의 연기가 유동하고 있고, 125초~190초 구간에서는 전압비 평균=0.84, 평균$OD=0.08(m^{-1})$으로 연기농도 증가하였으나 미미한 수준이다. 190초 이후 방화문 앞의 전압비 평균=0.88, 평균$OD=0.06(m^{-1})$으로 Safe Zone과 마찬가지로 연기의 농도가 전 단계와 큰 차이가 없다.

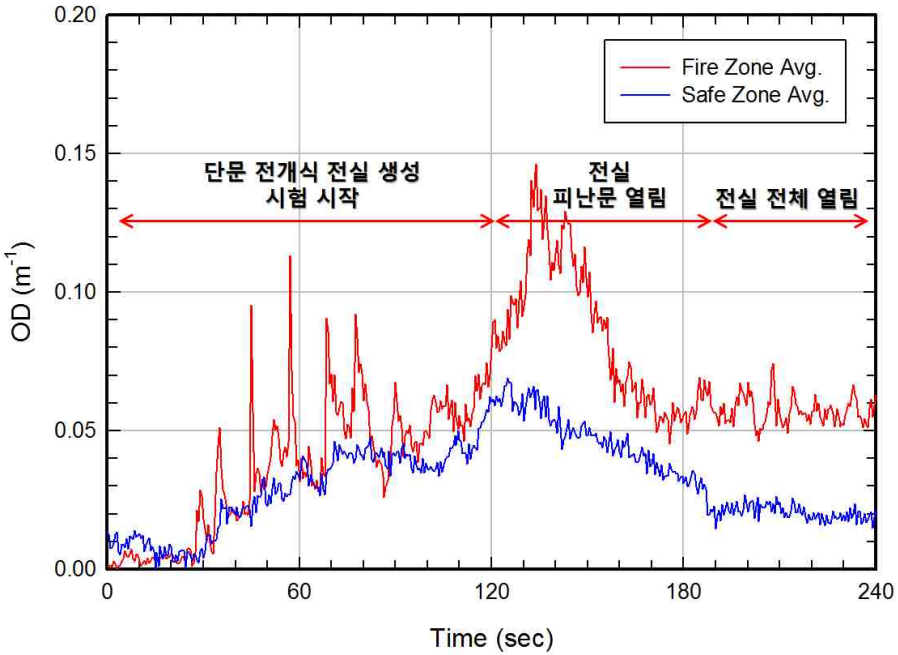


그림 2.10.87 지하8층 단문전개식 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 비교 그래프

표 2.10.68 지하8층 단문전개식 차연도어 Safe Zone과 Fire Zone의 평균 광학밀도 및 가시거리

상황 (시간)		단문전개식 전실 생성 (0 ~ 125)	전실 출입문 열림 (125 ~ 190)	전실 전체 열림 (190 ~ 240)
Optical Density [m^{-1}]	Safe Zone	0.03	0.04	0.02
	Fire Zone	0.04	0.08	0.06
Visibility [m]	Safe Zone	105.79	31.74	64.60
	Fire Zone	146.41	17.21	23.03

위 그림은 Safe Zone과 Fire Zone 센서의 평균 $OD(m^{-1})$값을 비교한 그래프다. 시험 시작 후 125초 까지 Safe Zone의 평균 $OD=0.03(m^{-1})$범위 이하로 미량의 연기가 유입이 되었느나 쾌적한 상태이다 Fire Zone의 평균 $OD=0.04(m^{-1})$로 쾌적한 상태로 보이지만 최대 $OD=0.13(m^{-1})$으로 지하8층 내 연기농도가 크게 증가하였으며, 125초 이후 단문전개식 전실 출입문을 열고부터 Safe Zone 평균 $OD=0.04(m^{-1})$로 일부 연기가 유입되어 연기농도가 소폭 증가한걸 알 수 있있으며 더 이상의 연기농도 증가가 없는 형상을 보이고 있으나 연기감지기 작동 수준인 $OD=0.20(m^{-1})$에는 못 미치며 시각적으로도 피난에는 지장이 없는 농도로 판단된다. 전실 출입문이 개방될 때, 굴뚝효과로 인해 Fire Zone의 방화문 연기가 유동하면서 $OD(m^{-1})$값이 큰 폭으로 증가했지만 차연도어 방연풍속에 의해 잠시 후 이전 연기농도로 되돌아 온 것을 볼 수 있다. 이구간의 Fire Zone 평균 $OD=0.08(m^{-1})$로 연기감지기 동작 수준에는 못 미치는 정도이다. 190초 이후 전실을 전체 개방하였을 때에는 방화문근처로 연기가 유동하였으나 Safe zone으로 유입은 되지 않았다. 이때 Safe Zone과 Fire Zone 모두 평균 $OD=0.02(m^{-1})$, 평균 $OD=0.06(m^{-1})$ 으로 높지 않은 연기농도를 보여주고 있다.

지하9층 차연도어 연기농도측정값에 비해서 Fire Zone이 Safe Zone과 큰차이없는 쾌적한 $OD(m^{-1})$값을 보여주고 있다. 이러한 측정값이 나온 이유는 다음 그림과 같이 지하8층 방화문 Fire Zone의 좌측이 벽으로 형성되어 있어 차연도어 작동시 방연풍이 벽면을 타고 방화문 앞쪽도 쾌적한 상태를 유지하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 방화문에 부착되어 있는 연기농도 센서에는 지하8층 내 가득 찬 연기농도가 측정되지 않았으나 다음 그림과 같이 육안 상으로 확인이 가능했으며, 지하8층과 같은 구조의 경우 지하9층 방화문의 구조보다 피난에 유리하게 차연효과가 형성되는 것으로 판단된다.



그림 2.10.88 연기가 가득찬 지하8층 단문전개식 방화문 앞모습



그림 2.10.89 연기가 가득 찬 지하8층 내부모습

제3장 최종연구성과 및 적용실적

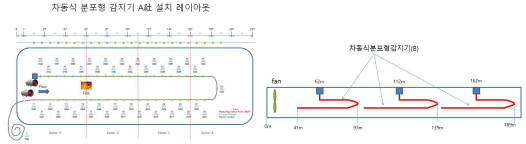
제1절 핵심성과별 세부내용

1. 철도터널 화재감지기 성능평가 기준 및 실대형 시험을 통한 검증

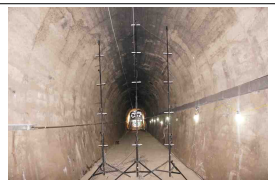
<table>
<tr>
<td>■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정</td>
<td>■ 현장 실험 시나리오 설정을 위한 수치해석

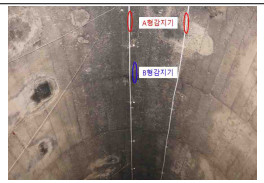
■ 화재감지기 성능평가를 위한 1차 및 2차 예비시험 시나리오 설정 및 시험 수행
– 다양한 화원조건(화재 크기 및 위치)에서의 화원
– 터널 규모별(단선터널 및 고속철도터널 급 단면) 시험 수행 절차 수립
– 터널 벽 단면 위치별 온도 측정 위치 설정
 
온동터널 예비시험 건기연 예비시험

■ 터널내 철도차량 화재규모 산정 수치해석
– 새마을호 차량 터널 화재치 화재규모 산출
– 지하철 차량 터널 화재치 화재규모 산출

■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장시험 시나리오 설정
– 철도 본선터널 자동화재탐지설비 성능시험 지침서
– 대표적인 터널용 화재감지기 2종(반도체식 감지기, 공기관식 감지기) 성능 평가 계획 수립

현장시험에 설치된 터널 화재감지기 설치도</td>
</tr>
<tr>
<td>■ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행</td>
<td>■ 기류발생용 송풍기 현장설치 및 터널 기류 생성
 
터널 기류발생용 송풍기 시스템 설치

■ 철도터널 화재특성 및 철도터널 감지기 성능평가를 위한 풍속/온도/화재크기(연료감소량) 측정 설비 및 터널 감지기 설치</td>
</tr>
</table>





■ 43회의 다양한 조건에서의 시험 수행



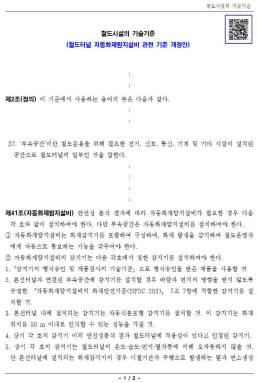


■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장시험 시나리오 검증

■ 시범설치한 감지기 모두 성능평가 기준에 합격

■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료
■ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의(3회)

■ 기준안 명 변경 (화재감지기 –> 자동화재탐지설비)



철도시설의 기술기준
(철도터널 자동화재탐지설비 관련 기준 개정안)

:

제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

:

37. "부속공간"이란 철도운송을 위해 필요한 전기, 신호, 통신, 기계 및 기타 시설이 설치된 공간으로 철도터널과 밀접한 것을 말한다.

:

제41조(자동화재탐지설비) 선진성 분석 결과에 따라 자동화재탐지설비가 필요한 경우 다음 각 호와 같이 설치하여야 한다. 다만 부속공간은 자동화재탐지설비를 설치하여야 한다.
① 자동화재탐지설비는 화재감지기를 포함하여 구성하며, 화재 발생을 감지하여 필요운영자에게 자동으로 통보하는 기능을 갖추어야 한다.
② 자동화재탐지설비의 감지기는 다음 각호에서 정한 감지기를 설치하여야 한다.
1. "감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것
2. 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것.
3. 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것.
4. 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기.
5. 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것.

- 1 / 2 -

철도터널 자동화재탐지설비 기준(안) 해설서

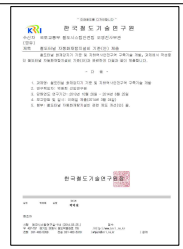
한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

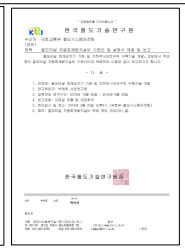
철도시설 기술기준 중 화재감지기 기준 개정(안) 및 해설서

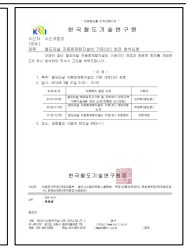
■ 화재감지기의 구체적 성능제시
– 「감지기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」으로 형식승인을 받은 제품을 사용할 것
– 본선터널과 연결된 부속공간에 감지기를 설치할 경우 바람과 먼지의 영향을 받지 않도록 규정한 「자동화재탐지설비의 화재안전기준(NFSC 203)」 7조 7항에 적합한 감지기를 설치할 것.
– 본선터널 내에 설치되는 감지기는 차동식분포형 감지기를 설치할 것. 이 감지기는 화재위치를 50 m 이내로 인식할 수 있는 성능을 가질 것.
– 상기 각 호의 감지기 이외 안전성분석 결과 철도터널에 적용성이 있다고 인정된 감지기.
– 상기 각 호의 감지기는 철도터널의 온도·습도·먼지·열차풍에 의해 오작동하지 않을 것. 단 본선터널에 설치되는 화재감지기의 경우 디젤기관차 주행으로 발생하는 열과 연소생성물 등에 의해 오동작하지 않을 것.

■ 연동되어 설치되는 감지기의 기준 제시

■ 국토부와 문서/면담/통화 협의 3건 이상

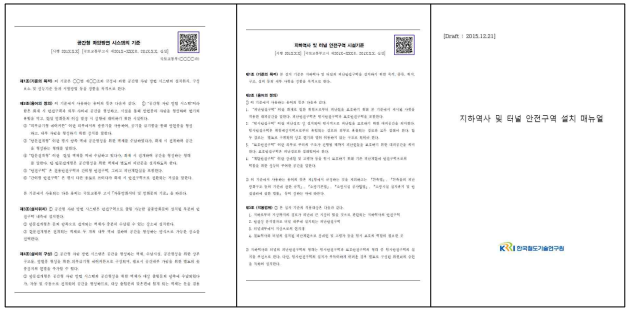




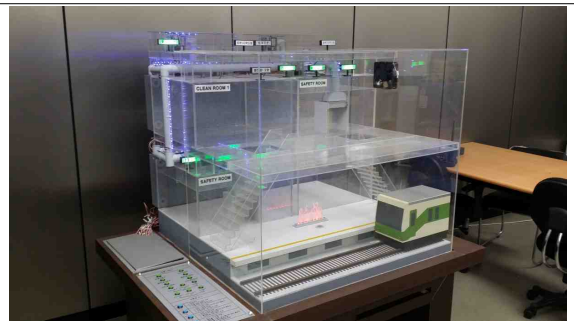


■ 세계적인 방재 컨설팅회사인 ARUP (San Francisco)에 기준 자문 수행

2. Safety-Zone(안전구역) 시스템 최종 시제품 및 성능검증

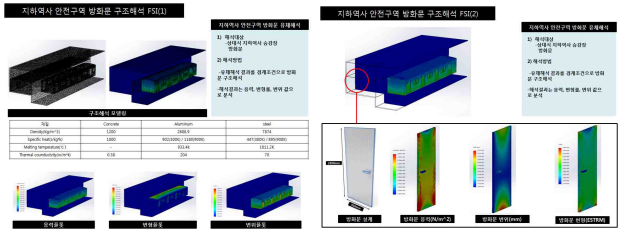
■ 역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) 등 제시	■ 지하역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) – 지하역사 및 안전구역 설치를 위한 기술기준(안) 작성 및 제시 – 안전구역을 3개, 임시안전구역, 보호안전구역, 계단안전구역으로 구분하고 각 구역의 특성과 활용 및 설치를 위한 기술 기준을 작성하여 제안 – 성능적 기술기준으로 각 상황에 맞게 안전구역을 설치할 수 있도록, 포괄적이지만, 명확한 성능요구조건을 기술 – 특히 장시간 체류가 예상되는 형태의 보호안전구역에 대한 면적, 필요시설에 대한 지침이 추가되어 실질적인 설치가 가능하도록 작성 ■ 지하역사 및 터널 안전구역 기술기준(안) 매뉴얼 – 상기의 기술기준에 대한 해설서 성격으로 제작 – 기술기준에서 표기하지못한 세부적인 사항에 대한 설명을 포함. – 대상 공간의 상황에 맞추어 설계요소를 설정해야 하는 부분에 대한 중요한 지침을 제공하도록 제작 – 장시간 체류에 대한 고려사항과 면적 산정 및 필요시설에 대한 세부적인 정보를 포함하여, 사용자위주의 편의성을 확보한 기술기준과 해설 매뉴얼이 되도록 제작 – 안전구역의 설계와 관리에 대한 해설도 추가 – 또한 공간형 가압차연도어에 대한 해설을 첨부하여 실질적인 해설 매뉴얼이 되도록 작성 ■ 개발제품 성능인증 기준(안) – 본 연구의 개발제품인 공간형 가압차연도어에 대한 기술기준을 작성 – 제품의 목적과 설비의 구성, 그리고 시험 성능기준에 관한 내용을 수록 – 제품에 대한 시험기관은 차후 선정해야 할 사항으로 설정  지하역사 및 터널 안전구역 설치 매뉴얼
■ 양문전개식 공간차연도어	■ 양문전개식 공간차연도어 제작 및 작동성능 확인

	 양문전개식 공간차연도어 (좌: 전개전, 우 전개후) ■ 연기농도 및 CO_2 측정을 통한 차연성능 확인 –가시거리 40m 이상 확보 – CO_2 630ppm 확보  연기농도 측정센서  차연도어가 연기를 막고 있는 모습
■ 단문전개식 공간차연도어	■ 단문전전개식 공간차연도어 제작 및 작동성능 확인  단문전개식 공간차연도어 제작 및 작동성능 확인
■ 축소모형을 이용한 지능형급기네트워크 시스템 검증	■ 실제역사 화재발생에 의한 제연 시스템 검토 ■ 지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증을 위한 축소모형 제작



지능형 급기 네트워크 시스템 효용성 검증을 위한 축소모형

■ 연기유입 방지조건 설정을 위한 FSI(Fluid & Structure Interface) 수치해석 검증



연기유입 방지조건 산출을 위한 수치해석

3. Safety-Zone(안전구역) 시스템 지하역사 현장 적용 시험

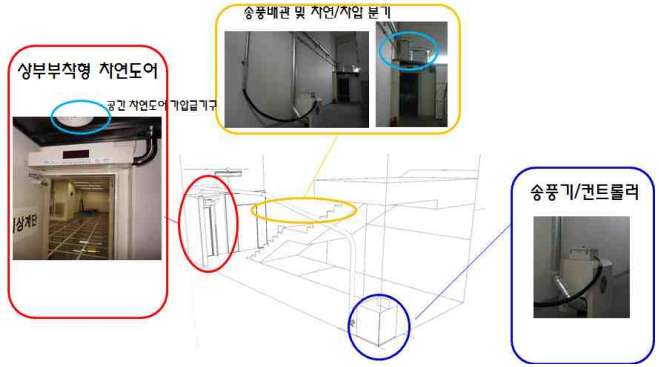
■ 부산교통공사 만덕역사 내 2개 위치에 차연도어시스템 설치

■ 승강장-지하8층 비상계단 차연도어시스템(상부 부착형) 설치
- 상부부착형 차연도어장치, 송풍배관, 송풍기/컨트롤러로 구성



만덕역사에 설치된 승강장-지하8층 비상계단 차연도어

■ 지하8층-지하7층 비상계단 차연도어시스템(공간형차연도어+상부부착형) 설치
- 상부부착형 차연도어장치, 공간형 전실 구조, 송풍배관, 송풍기/컨트롤러로 구성
- 단문전개형 공간형 차연도어 시스템 전실공간 형성 가능



만덕역사에 설치된 지하8층-지하7층 비상계단 차연도어시스템

■ 부산교통공사 만덕역사 성능평가 시험 수행

■ 열부력 연기를 이용한 차연 성능평가 (영상 취득 및 연기농도 측정)
- 2개 위치에서 모두 실험 수행
- 차연도어 방연풍속 측정 시험
- 열부력연기를 이용한 차연성능 평가 시험 수행



연기농도 측정 및 가시화를 위한 레이져 및 센서 설치

– 차연성능평가 확인



안전구역(계단실) 내부에서 바라본 차연성능(좌: 작동, 우: 정지)

■ 실운전시 만덕역사 공조시스템과 연동 운전할 경우 성능 극대화

4. 지하역사 Safety- Zone (안전구역) 설계 프로그램

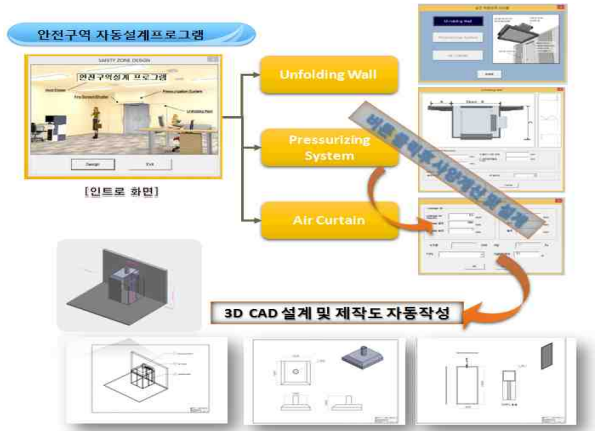
■ 지하역사 Safety-Zone(안전구역) 위치선정 프로그램 적용 사례 구축

■ 지하역사 안전구역 자동설계 프로그램 개발

– 차연도어 시스템 사양결정

– 결정된 사양에 따라 자동 3D CAD

– 3D CAD을 통한 설계 및 제작도 자동작성



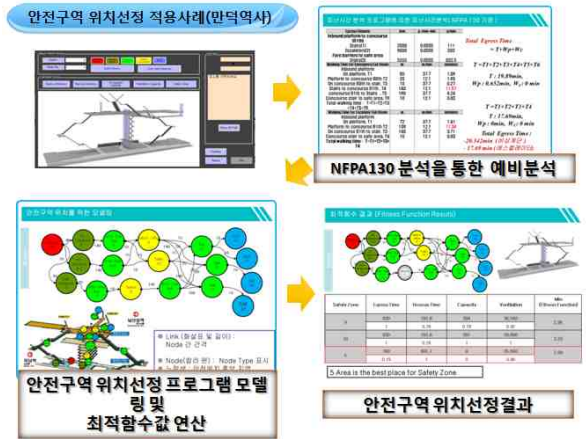
안전구역 자동설계 프로그램 개요

■ 지하역사 안전구역 위치선정 프로그램 고도화 및 프로그램 적용사례 구축

– 숭실대 역사 적용사례

– 만덕역사 적용사례

– NFPA 130 , 일본피난 분석법 적용한 피난분석 프로그램 개발



안전구역 프로그램 적용사례

제2절 주요 연구성과

1. 논문

○ 등재지 5건(SCI 1건 포함)

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013	Optimization of pyrolysis properties using TGA and cone calorimeter test	박원희	박원희	윤경범	Journal of Thermal Science	22(2)	국외	SCI
2014	철도차량 미분무수 소화설비 성능 평가	박원희	박원희	음푸른별 윤경범 이덕희	한국유체기계학회 논문집	17(1)	국내	등재지
2015	화원의 높이 및 화재크기별 터널 천장온도 측정 실험	박원희	박원희		한국유체기계학회 논문집	18(1)	국내	등재지
2015	터널 환경측정 시스템 개발 및 측정 Ⅰ : 개발 시스템 및 지하철터널 측정	박원희	박원희		한국산학기술학회 논문집	16(11)	국내	등재지
2015	수치해석을 이용한 화재감지기 철도터널화재 감지특성 연구	박원희	박원희		한국산학기술학회 논문집	16(12)	국내	등재지

2. 특허

○ 특허등록 6건

등록된 특허의 경우				
등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2013	간이제연장치	한국철도기술연구원 리트코	한국	10-1265585
2014	탱크연결형 측면결합 송수방식 철도차량 소화시스템	한국철도기술연구원	한국	10-1356658
2014	다중센서 지능형 저전력 철도 터널 환경 데이터 측정 시스템 및 방법	한국철도기술연구원	한국	10-1474408
2015	슬라이드식 간이형 계단부속공간 시스템	한국철도기술연구원, 주식회사 에이치투케이솔루션	한국	10-1556377
2015	측면가이드가 구비된 방연용 에어커튼 시스템	한국철도기술연구원, 주식회사 에이치투케이솔루션	한국	10-1549219
2014	공간형 차압 방연시스템	에이치투케이솔루션	한국	10-1556005

3. 소프트웨어 등록

등록연도	프로그램명	등록번호
2013	철도차량 화재 반응 속도 산출을 위한 TGA 결과 변환 프로그램	C-2013-001486
2013	터널환경 데이터 분석 프로그램	C-2013-19433
2014	차연 팬 소요동력 산출 프로그램	C-2014-012536
2014	철도터널 환경측정 프로그램	C-2014-028433
2015	세이프티존	C-2015-021963
2015	뉴에스에프디버전2.0	C-2015-022876
2015	피난시간분석프로그램	C-2015-024071

4. 기술실시

○ 기술실시 2건

- 철도환경 측정 프로그램, (주)JSC, 1,335,000원(부가세별도), 2014.12.09.
- 다중센서 지능형 저전력 철도 터널 환경 데이터 측정 시스템 및 방법, (주)JSC, 1,907,000원(부가세별도), 2015.01.25

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구목표 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
○ 실대형 시험을 통한 철도터널 화재감지기 기준 검증	100	■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ■ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ■ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)
○ Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성	100	■ 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성 ■ 위치선정 프로그램 개발 ■ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 ■ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행
○ 실대형 시험을 통한 철도터널 화재감지기 기준 검증	100	■ 철도터널 화재감지기 성능평가 현장 실험 시나리오 설정 ■ 실대형 시험터널에서의 성능평가 수행 ■ 철도터널 화재감지기 기준(안) 및 해설서 보완작성 완료 ■ 주무부처인 국토교통부와 감지기 기준 및 시험관련 문서/면담 협의 (3회)
○ Safety-Zone(안전구역) 시스템 제작설계 및 매뉴얼 작성	100	■ 역사 및 터널 Safety-Zone(안전구역) 구축 기준안 및 매뉴얼 작성 ■ 위치선정 프로그램 개발 ■ Safety-Zone 구성시스템 자동설계 알고리즘 개발 ■ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 제작설계 완료 및 도면화 - 공간 차연 도어 시스템 - 환기구 자동폐쇄 모듈 시스템 ■ 공간차연도어 시스템 동작 구조부 제작 및 방연성능 검증 실험 수행
○ Safety-Zone(안전구역) 주요 구성 시스템 시제품 제작 및 현장 시범구축	100	■ 안전구역 시스템 최종 시제품 - 단문전개식 공간형 차연도어 시스템 - 양문전개식 공간형 차연도어 시스템 ■ 양문전개식 공간차연도어 연기방호성능 검증 ■ 부산교통공사 만덕역사 내 2개 위치에 차연도어시스템 설치 - 승강장-지하8층 비상계단 차연도어시스템(상부 부착형) 설치 - 지하8층-지하7층 비상계단 차연도어시스템(공간형차연도어+상부부착형) 설치 ■ 부산교통공사 만덕역사 성능평가 시험 수행

제2절 연구개발 성과의 효과

1. 기술적 측면

- 화재 위험도 정량적 평가 기법에서 객관적이고 구체적인 데이터 제공 가능하므로 철도터널 화재 평가 기술 향상
- 지하 역사 피난 시스템의 평가 기술 향상
- 국내 실정에 적합한 피난 Safety-Zone(안전구역) 시스템 설계 기본 자료 활용
- 국내 자체적인 기술개발로 방재 시스템의 선진화 기대
- 과학적인 지하 역사 방재 설계 가이드 제공
- 본 시스템의 기술적 성과와 우수성은 다음과 같음.

· 지하역사 안전구역 시스템의 핵심기술로 공간형가압차연시스템과 지능형 급기시스템이 있음.

· 상기 2개의 시스템은 현재 국내외에 있어 제품화 되지 않은 것으로 현재까지 판명됨.

· 특히 본 연구의 공간형가압차연시스템은 3개의 국내 특허를 확보하고 있어, 그 독자성의 충분한 증거가 된다고 판단됨. 그러므로 선진국 대비 기술수준은 현재 선진국의 유사시스템을 찾기 어려우므로 비교할 수 없음.

· 구역을 보호하기 위한 기존 시스템은 주로 건물 구조적으로 전실공간을 만들고, 이에 가압 시스템을 설치하거나, 공간 자체를 모두 가압하는 형태임.

· 공간형가압차연시스템은 대상 출입문에서 효과적인 방연풍 형성이 가능하며, 간이형 전실 구조를 형성하여, 기존 건축물에도 적용하여 화재 및 피난 안전성을 높일 수 있음.

2. 경제·산업적 측면

- 철도터널 감기기에 대한 기준 및 안전구역 시스템 기술 마련으로 철도의 피난 안전성 마련
- 철도안전의 신뢰성 향상으로 안전성 불안에 따른 간접 비용 발생 차단함
- 화재에 의한 인명/경제적 손실의 저감
- 지하역사 관련 방재시스템의 기술 수입억제 및 기술/지식 기반한 수출 기대됨
- 안전구역시스템 기술 확보로 다양한 수송 형태에 적용할 수 있는 유연성 마련
- 과학적, 합리적인 피난 수단 개발로 화재 안전도에 대한 국제적 위상 높임
- 기존 전실구조를 형성한 기존 공사법 및 개발 시스템 적용 비용(만덕역사 기준, 위치 1개소 당 기준, 만덕 역사의 경우 최소 2개소 위치 필요)
  - ○ 기존 방식 - 190백만원
    - · 내화구조로 된 전실공간 (내회구조, 내화문, 소화설비 등 80백만원)
    - · 가압 방연을 위한 시스템을 설치(110백만원)
      급기시스템 설치를 위해 슬라브에 관통부 및 덕트 공사(30백만원)
      전실공간 전체 가압을 위한 대형 급기 팬을 설치(80백만원)
  - ○ 개발 시스템 적용 비용 - 80백만원
    - · 공간차연도어 시스템 및 필요시스템(50백만원)
    - · 급기시스템 설치를 위해 슬라브에 관통부 및 덕트 공사(30백만원)

○ 기존방식 적용 대비약 58 % 공사비 절감

- 전실공간을 만드는 것이 현장여건에 따라 불가능하거나, 기능적 불편함을 초래할 수도 있지만, 본 시스템은 간이형으로 설치되는 전실공간이 있어 별도의 공간 건축이 필요 없고, 계단실 내부를 급기공간으로 활용하거나 기존 관통부와 급기관을 연결할 경우 전용의 급기덕트 치를 위한 슬라브 등의 관통 공사가 필요 없는 등 공사비를 대폭 축소시킬 수 있다.

제5장 연구 성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용

○ 철도터널 화재감지기 분야

- 철도터널의 감지기 기준안은 마련으로 관련분야 종사자의 진입장벽 해소로 신산업 창출이 예상됨.
- 본 연구의 철도터널 감기지 기준안은 동 분야 제품제작사의 설계 방향 제시함
- 복합터널(도로/철도 복합터널, 철도/철도 복합터널, 대심도/해저/해중터널) 및 대심도 방재시설에 활용될 수 있음.
- 핸드폰 망을 통한 데이터 전송을 이용한 터널 및 인터넷 미연결 지역 전송기술
- 막대한 데이터전송을 위한 케이블 공사비용의 최소화 가능
- 철도터널 화재감지기 평가 기술 기존 대비 30% 향상

○ 안전구역 구축 기술 분야

- 안전구역 시스템은 향후에 화생방 상황에서 대피 안전구역으로 활용적용이 예상
- 대심도 지하역사에 비상 E/V의 전실 시스템 설계에도 응용되어 활용.
- 위험이 예상되는 각종 분야에 적용이 가능하며, 복합 건축물, 위험 발생이 예상되는 플랜트/원자력 발전등에서도 Safety-Zone(안전구역) 시스템 활용 가능
- 다양한 대규모 복합시설인 지하상가, 지하 4층이상의 주차 시설 및 지하 복합시설 등 지하의 밀폐된 공간 또는 지상으로의 피난시간 과다 소요되는 곳에 응용 적용이 가능
- 다양한 형태의 지하역사 또는 지하 복합 물류 시설(도로, 철도 터널 연결)등이 출현하여도 초기 화재 발견 및 피난대책 마련 가능
- 교통약자에 대한 대피 안전성능 향상
- 철도공사 및 기타 기관에 기술 및 제품 판매
- 지하역사 안전구역 평가 및 확보기술 기존 대비 50% 향상

○ 실용화 진행 및 추가 연구 진행

- 현재 안전구역 시스템은 건물의 기존 안전시설 중 자동화재탐지설비와의 연동을 통해 화재시 방연풍을 생성을 위한 에어커튼 부의 동작을 자동화했으며, 안전구역(피난계단 포함)으로의 피난유도안내 문자 표시 등의 동작을 동시에 수행함. (기존 피난유도시설과의 연계)

  차후 공간형성 자동화를 위한 연구가 필요함

- 철도터널 환경측정 프로그램 및 철도 터널 환경 데이터 측정 시스템 및 방법 등 기술 실시계약(2건)을 통한 기업의 실용화 추진
- 안전구역 제도/하드웨어/소프트웨어의 종합적 제시로 실용화 가능성을 극대화
- 저심도 지하구간에 건설되는 경전철의 경우에 안전구역 시스템의 필요성은 경감되나, 교통약자 구난에 대한 기능을 중심으로한 안전구역 시스템의 개량에 대한 추가 연구를 진행하여 개발시스템의 적용시장 확대

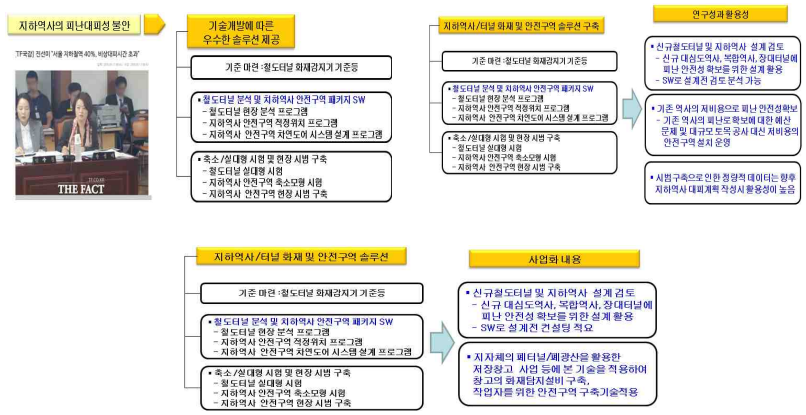


그림 5.1.1 지하역사 연구결과에 대한 활용성

- 위 그림과 같이 연구결과를 지하역사 피난에 대한 패키지 솔루션으로 활용 및 사업화가 가능할 것으로 판단됨
- 화재 피난 뿐만 아니라 다양한 재난에 대하여 방호시설의 필요성이 대두되고 있으며 이에 지하 복합역사를 방호시설로서 활용하려는 추세에 있음

  따라서 본 연구결과의 안전구역은 이에 적합한 시스템으로 지하역사에서 생존을 높이기 위하여 지상의 오염된 공기를 유입하지 않고 지하에서 오염되지 않은 공기를 활용할 수 있는 지능형 환기시스템을 구축함
- 만덕역사에 설치된 차연도어시스템은 향후 본 안전구역에 대한 홍보물로서 활용이 될 것으로 판단됨

제2절 추가연구 필요성

○ 지하역사 안전구역 구축 기술
현재까지 진행된 연구는 성공적이다. 현재까지 국내외에서 없었던 시스템을 개발하였기 때문에 단시간에 많은 부분을 완성하였으나, 추가적인 보완이 필요하다.

- 제품의 자동화에 대한 부분. 완전 자동으로 동작할 경우 더욱 그 활용성이 높아질 것으로 판단된다. 판매 제품화를 할 경우 수동과 자동식 동작이 필요하며, 자동화재탐지설비의 수신반과 함께 연동하여 벽체가 전개되도록 사용될 수 있도록 추가적인 성능을 확보해야할 필요가 있다. (에어 블로어는 연계되어 동작하도록 제작되었음.)

- 외부급기형 에어커튼 노즐에 대한 개발 필요성. 현재의 에어커튼 노즐에서의 분사 특성을 개량할 필요가 있다. 특히 노즐이 원형이어서 분사각도 조절이 노즐 자체를 회전해야 하는 부분과 노즐이 문으로부터 무조건 이격되는 특성이 생기므로 새로운 노즐단면에 대한 개발의 필요성이 크다.

- 벽체부분에 있어서의 방화스크린천과 그 결합부는 연기의 열을 견디고 착화가되는 것을 방지할 수는 있으나, 기존의 방화문과 같은 성능테스트에서 어떤 결과를 보일지에 대한 실험이 필요하다. 이는 제품의 사용에 있어 화재 발생 초기나 중기가 아니라 안전구역 내부로 화염확산이 우려되는 상황에서도 사용하고자 하는 경우에는 이 부분에 대한 인증실험이 필요하다. 하지만 이는 특정 시험기관에 의뢰해야하고 그 비용이 있어 이번 연구에서는 실시하지 못하였으며, 차후 추가적인 연구를 통해 시험을 수행하여 확인해야할 사항이라 할 수 있다.

○ 지하역사 안전구역 설계프로그램
- 상품화 연구필요성 : 피난분석 및 위치선정 및 안전구역설계 프로그램 통합 및 초기 입력을 위한 BIM(건축용 CAD) 연계 연구 필요
- 공학용 Tool의 평가능력 배양 : Fire and Optimal Positioning for Safety zone (FOPS Simulation) 개발을 통하여 다양하고 복합적인 역사에 대하여 화재변수를 연동하여 고려할 수 있는 종합 평가 Tool 개발 필요함

○ 부산지하철 만덕역사에 설치된 시제품에 대한 관리 및 이를 이용한 추가연구 진행추진
- 초기단계에서는 협동기관인 (주)H2K에서 만덕역사에 설치된 시제품을 관리 및 시스템을 개량하며, 최종적으로는 설치 시스템을 부산교통공사가 관리할 예정임
- 만덕역에 설치된 시제품을 이용한 지속적인 홍보(우리나라 가장 깊은 역사이므로 부산시 및 정부에서 많은 관심 두고 관리되는 역사임)를 통한 상용화 및 추가 연구 수행
- 지하역사 안전구역 시스템 실용화를 위한 가이드 북 제작 홍보를 통한 연구과제화 추진
- 지하역사 안전구역 요소기술에 활용 기업 지원 연구 진행 예정

참고문헌

[1] Fridolf, K., Nilsson, D., and Frantzich, H, Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research, Fire Technology, April 2013, v49, Issue 2, pp. 451-475.
[2] Gossard, W.H. Some Major Accident Investigations of Fires in Underground Rail Rapid Transit Systems, Fire Safety Journal, 8 (1984/85) 9 - 14.
[3] Purser, D. Application of human behaviour and toxic hazard analysis to the validation of CFD modelling for the Mont Blanc Tunnel fire incident, in: Presented at the Advanced Research Workshop in Fire Protection and Life Safety in Buildings and Transportation Systems, Santander, Spain, 2009.
[4] Purser, D.A. Toxicity Assessment Of Combustion Products. The Sfpe, Handbook Of Fire Protection Engineering (2nd Edition), Ed: DiNenno, P.J., Beyer, C.L., Custer, R.L.P., Walton, W.D., Watts, J.M.W., Drysdale, D., Hall, J.R. National Fire Protection Association,Quincy,Ma, pp (2-85)-(2-146),1996.
[5] Donald, I., Canter, D. (1990) Behavioural aspects of the King's Cross disaster. In: Donald I (ed) Fires and human behaviour, 4nd edn. David Fulton, London, pp. 15 - 30 Andersen T, Paaske BJ (2002) Railroad and metro runnel accidents.
[6] Fridolf, K., Nilsson, D. and Frantzich, H. Evacuation of a metro train in an underground rail transportation system: flow rate capacity of train exits, tunnel walking speeds and exit choice, fire technology, published online, 2015.
[7] Fridolf, K., Nilsson, D. and Frantzich, H. Evacuation of a metro train in an underground rail transportation system: flow rate capacity of train exits, tunnel walking speeds and exit choice, fire technology, published online, 2015.
[8] NFPA 130 Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail System, 2003. Edition, NFPA, Quincy, MA, 2003.
[9] Ronchi, E., Gwynne, S.M.V., Purser, D.A. and Colonna, P. 2013. Representation of the Impact of Smoke on Agent Walking Speeds in Evacuation Models, Fire Technology, 49, pp. 411-431.
[10] Ronchi, E., Nilsson, D., and Gwynne, S.M.V. 2012. Modelling the Impact of Emergency Exit Signs in Tunnels, Fire Technology, 48, pp. 961-988.
[11] Kinateder, M., Ronchi, E., Gromer, D., Maller, M., Jost, M., Nehfischer, M., Mahlberger, A. and Pauli, P. 2014. Social influence on route choice in a virtual reality tunnel fire, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 26, Part A, pp. 116.
[12] Fridolf, K., Ronchi, E., Nilsson, D. and Frantzich, H. 2013. Movement speed and exit choice in smoke-filled rail tunnels, Fire Safety Journal, 59, pp. 8.
[13] Bodart, X., Marlair, G., and Carvel, R . 2004. Fire in tunnels and life safety: Lessons to be learnt from minor accidents, Interflam, pp. 1517-1527.
[14] Rose, J. and Harding, B. Monitoring, 1993. Analysis and management of safe operations in a high-capacity tunnel metro, Engineering for Crowd Safety, Elsevier Science , pp. 351-359.
[15] Canter, D., Donald, I. and Chalk, J. 1995. Pedestrian behaviour during emergencies underground: The psychology of crowd control under life-threatening circumstances, Safety in Road & Rail Tunnels, 2nd Int. Conf, pp. 135-150.
[16] Proulx, G. and Sime, J.D. 1991. To Prevent 'Panic' in an Underground Emergency: Why Not Tell People the Truth? Fire Safety Science, pp. 843-852.
[17] Fraser-Mitchell, J.A.C., Charters, D. 2005. Human behaviour in tunnel fire incidents, Fire Safety Science - Proceedings of the Eighth International Symposium , pp. 543-554.
[18] Galea, E.R. and Gwynne, S. 2000. Estimating the flow rate capacity of an overturned

rail carriage end exit in the presence of smoke, Fire and Materials, 24, pp. 291-302.
[19] Galea, E.R., Lawrence, P., Blake, S., Gwynne, S., and Westeng, H. 2004. A Preliminary Investigation of the Evacuation of the WTC North Tower using Computer Simulation, pp. 167-180.
[20] Gwynne, S.M.V. and Boswell, D.L. 2009. Pre-Evacuation Data Collected from a Mid-Rise Evacuation Exercise, 19, pp. 5-29.
[21] Gwynne, S.M.V. and Kuligowski, E.D. 2009. Simulating a Building as a People Movement System, Journal of Fire Sciences, 27, pp. 343-368.
[22] Gwynne, S., Galea, E.R., Lawrence, P.J. and Filippidis, L. 2001. Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model, Fire Safety Journal, 36, pp. 327.
[23] Gwynne, S., Galea, E.R., Owen, M., Lawrence, P.J. and Filippidis, L. 1999. A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment, Building and Environment, 34, pp. 741.
[24] Gwynne, S.V. 2008. Helping People on Their Own Terms: Developing Inclusive Emergency Procedures, Fire Technology, 44, pp. 439-461.
[25] Jiang, H., Gwynne, S., Galea, E.R., Lawrence, P., Jia, F. and Ingason, H. 2003. The use ofevacuation simulation and experimental fire data in forensic fire analysis, proceedings of the 2nd international conference on pedestrian and evacuation dynamics, Fire Safety Engineering Group, CMS Press, University of Greenwich, UK .
[26] Burnett, J. (1984). Fire safety concerns for rail rapid transit systems. Fire Saf. J 8(1):3 - 7.doi:10.1016/0379-7112(84)90048-1.
[27] Proulx, G. Human Behaviour of Importance for Train and Train Station Egress, nternational Workshop on Train Fire Safety, 2008.
[28] FEMA 361 (2008). Design and Construction Guidance for Community Safe Rooms, or the ICC - 500 (2008). Standard for the Design and Construction of Storm Shelters.
[29] Proulx, G. The Pros and Cons of Protect-in-Place. NRCC-45668, National Research Council, 2002.
[30] Macdonald, J. Non-Evacuation in compartmental fire resistive buildings can save lives and makes sense, Proceedings of the International Conference on Building Use and Safety Technology, USA, 1985.
[31] Sekizawa, A. Vulnerable Populations in Residential Occupancies, Fire Protection Engineering, 2005.
[32] NEMA, SIP & DIP - Stay In Place & Defend In Place, Fire Protection Engineering. 2007.
[33] Kuligowski, E.D. and Hoskins, B.L. Elevator Messaging Strategies, National Institute of Standards and Technology (NIST), Fire Protection Research Foundation, 2011.
[34] Tubbs, B. Elevators and Egress, Building Safety Journal. June 2007.
[35] Ronchi, E. and Nilsson, D., Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research, Fire Science Reviews 11/2013; 2(7). DOI: 10.1186/2193-0414-2-7
[36] Hall, J. High-Rise Building Fires, NFPA, 2013.
[37] Zmud, M. (2007). Public Perceptions of High-rise Building Safety and Emergency Evacuation Procedures Research Project'. The Fire Protection Research Foundation. Quincy, USA

부록. 안전구역 시스템 지하역사 시스템 실용화를 위한 가이드 북

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.