

19TBIP
-C12722
6-03

플
랜
트

민
감
설
비
용

저
충
격

소
화
시
스
템

개
발

최
종
보
고
서

2020

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국
토
교
통
부

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(), 비공개()발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종 보고서(건고덕 13p)

R&D / 19TBIP-C127226-03

플랜트 민감설비용 저충격 소화시스템개발 최종보고서(안)

2020. 1. 22.

주관연구기관 / 진화이앤씨(주)
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
위탁연구기관 / 성균관대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘플랜트 민감설비용 저충격 소화시스템 개발’(연구개발 기간 : 2017. 04.01. ~ 2019.12.31.)
과제의 최종보고서(안)을 제출합니다.

2020. 1. 23.

주관연구기관명 : 진화이앤씨 (대표자) 박종원
공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한승환
위탁기관명 : 성균관대학교 산학협력단 (대표자) 추현승



주관연구기관책임자: 노고섭
공동연구기관책임자: 황인주
위탁기관책임자: 김운제

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C12 7226-03	해당 단계 연구 기간	2017. 04. 01 - 2019. 12. 31 (33 개월)	단계구분	(3)/(3)
연구사업명	중사업명	국토교통안전기술사업화			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	플랜트 민감설비용 저충격 소화시스템 개발			
	세부과제명	플랜트 민감설비용 저충격 소화시스템 개발			
연구책임자	노 고 섭	해당단계 참여연구원 수	총: 29 명 내부: 29 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 922,000 천원 민간: 695,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 1,617,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 52 명 내부: 52 명 외부: 명	총 연구비	정부: 2,177,000 천원 민간: 1,561,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 3,738,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)진화이앤씨 부설연구소			참여기업명	
공동연구	한국건설기술연구원				
위탁연구	성균관대학교				

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	◦ 일부 연구개발 내용에 대한 지재권 취득을 추진 중으로 연구개발 종료 후 12개월 수준의 일정기간 연구개발 보고서의 배포를 제한이 필요함
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	10	6				6					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수
---	--------

요약문

연구의 목적 및 내용	본 제안기술은 플랜트 민감설비 계통에서 공간화재시 피해를 최소화하기 위한 화재 안전기술을 개발하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위하여 해당 공간에서 화재 감시 및 진단 및 위치추적, 저충격 소화기술, 종합설계 관리프로그램 등을 개발 (1차년도) 발화점의 위치추적 오차를 최소화할 수 있는 센서구조 설계(상용 센서를 본 연구에서 개발하는 진단기법과 결합)하고, 민감계통에 영향을 미치는 압력, 충격음, 물 등을 최소화하기 위한 가스계, 폼계 소화시스템의 요소설계(저충격 노즐, 적용량 등), 위치추적모듈 Motion Analysis 기법, 설계프로그램 구조 등을 연동 설계 (2차년도) 발화지점 감지장치 Prototype 제작 및 평가하고, 위치추적기능을 가지는 저충격 소화시스템 Prototype 설계, 제작 및 평가, 용량 가변제어 및 시스템 통합제어 알고리즘 검증평가, 종합설계 및 자산관리프로그램 코딩 (3차년도) 시스템 및 부품 상세설계 및 시제품 제작, 회로설계 및 통합제어장치 견본품 제작, 개발 시제품을 실제 환경에서 사용적합성을 검증(공인기관 성능시험, 시험인증기준 등재방안 등) → 설계 및 관리프로그램 DB구축				
연구개발성과	- 발화위치 추적 및 자동 소화장치 개발 - 가스계 저소음 소화노즐 및 시스템 개발 - 화재진단 및 정보화 시뮬레이터 개발 - 소화 시스템 설계관리 환경 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(활용계획) · 발화위치 추적 및 자동소화시스템 → 발화위치의 좌표를 정확히 추적하고, 발화위치에 가스나 폼을 분사하여 화재를 소화하는 제품으로 사업화 활용 · 지능형 공간화재 진단기법 → 플랜트 민감설비의 능동 화재감시용 제품으로 활용, 민감설비의 화재·안전의 신뢰성 제고를 위한 응용설계, 사업화에 활용 · 저충격 용량형 저소음 노즐을 구비한 소화시스템 → 플랜트 민감설비 보호용 소화설비로 적용, 민감설비의 화재진압시 피해를 최소화하는 설계, 사업화에 활용 · 종합설계관리 프로그램 → 플랜트 시설 및 민감 설비 현장과 관련 기준 등을 종합 고려한 설계 및 자산관리, 사업화에 활용 (기대효과) · 플랜트 민감설비계통의 안전설비분야 독자기술 확보, 중소기업 역량 강화 · 관련기술의 국산화를 통한 수입대체효과 및 매출 창출, 신시장 진입 · 플랜트민감설비계통에 적합한 안전설비 적용으로 피해 최소화				
국문핵심어 (5개 이내)	플랜트	민감설비	화재진단	저충격	소화노즐
영문핵심어 (5개 이내)	plant	sensitive devices	fire diagnosis	low-impact	fire extinguishing nozzle

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

<제목 차례>

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 사업화 대상기술 정의	1
나. 사업화 대상기술 설명	2
다. 사업화 추진 배경	5
라. 사업화 대상기술 개발목표 및 내용	6
마. 사업화 기대효과	7
2. 관련 연구개발동향 조사·분석	8
가. 기술동향 조사·분석 개요	8
나. 소화시스템 논문 기술동향	13
다. 국내·외 관련 기술 동향	16
라. 기초·선행연구 성과현황	17
마. 소결	18
3. 연구수행내용 및 성과	19
가. 시뮬레이션 기반 소화노즐 최적화 설계	19
나. 저소음 소화노즐 시뮬레이션 및 실험 평가	36
다. K-Type 저소음 노즐 적용한 IG-100 소화 시스템 개발	64
라. 화재 발화위치 추적 및 자동소화 시스템	70
마. 발화진단 시뮬레이터 구현	79
바. 소화시스템 설계관리 프로그램	92

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	112
가. 최종목표	112
나. 목표달성여부	113
다. 개발성과물	114
라. 양적성과 및 기여도	119
마. 질적성과	121
바. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책	122
5. 연구개발성과의 활용계획	123
가. 개발성과 활용방안	123
나. 개발종료시점(현재) 사업성과 도출 현황	124
다. 사업화 세부전략 수립	125

부록 1. 기술동향 조사·분석보고서

부록 2. 특허기술 조사·분석보고서

부록 3. 개발기술사업화 전략수립 보고서

부록 4. 홍보용 제품 카탈로그

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 대상기술 정의

본 제안기관에서 보유하고 있는 대표기술은 ①저충격 분사노즐 기술(특허 보유, 화재의 규모(하중)에 따라 소화약제의 분사량과 분사각을 조절 가능), ②가스계 자동소화 기술(특허 보유, 청정계열 소화가스 등에 적합한 소화시스템)로서, 플랜트 민감설비*의 피해 최소화를 위한 사업화 제품 개발에 활용하고자 함

신청분야 (택 1)	중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화					
기술명	1) 저소음 분사노즐 기술 2) 가스계 자동소화기술					
과제분류	신제품개발(), 기존제품개선(○), 신공정/공법개발(), 기존공정/공법개선(○), 기타()					
권리구분	(특허권)					
지식 재산권명	1) 공기품혼합기와 이를 채택한 폼헤드 어셈블리, 특허 제10-0589037호 2) 전기배전반 및 패널용 자동소화장치, 특허 제10-0679672호					
권리자 (발명자)	성명	(주)진화이앤씨	법인등록번호	110111-0286892	비 고	
	주소	서울 서초구 방배천로4길 12(진화빌딩)				

* 플랜트 민감설비 : 제어운영센터, 동력설비, Data 통신 및 서버시설, 반도체 등은 외부 환경에 민감하며, 특히 약제 분사 시스템의 충격과 등에 의하여 기능상실로 피해가 증가함. 해외의 경우에 관련시설에 대한 보호가 적극적으로 수행되고 있으며, 관련 글로벌 기업에서 기술개발 및 적용이 확대되고 있음

본 기술은 3차원 공간에서 발화 이전에 징후를 신호로 감지하고, 발화시 화재 여부 및 정도를 판별하고, 발화위치 및 정도에 적응하는 저소음 저충격 방식으로 약제를 분사(저소음형/저충격 소화노즐), 이러한 전체 시스템을 현장에 적합하게 설계하는 프로그램 등의 기술적 내용으로 구성됨

이러한 기술은 진동이나 소음에 민감하게 반응하는 플랜트 시설을 보호하고 플랜트 가동 중단 및 파손을 방지하는데 효과가 매우 큰 기술로서, 신속성, 신뢰성, 효과성 등에서 물적, 인적 피해 최소화 실현이 가능함

본 개발제안에서는 보유기술을 토대로 참여기관의 개발 접근법과 기술적 노하우를 결합하여 사업화 실현을 목적으로 하고 있으며, 타겟시장과 수요처를 명확히 하고, 해외 제품과 기술 대비 우선 국내시장에서 형식승인을 통해 보급 확산을 추진하고, 2단계에 아시아권 시장(중국, 동남아시아 등)으로 진출을 계획하고 있음

나. 사업화 대상기술 설명

(1) 기술의 우수성

본 기술의 핵심은 플랜트 민감설비에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 충격파를 초래하는 가스계 노즐 분사시 충격음을 감쇄 조절하는 노즐 시스템을 적용하고, 폼계의 경우에 용량을 화재 규모에 적정하도록 저충격/저소음 노즐을 이용함으로써 화재의 위치나 규모에 적정한 대응이 가능함

- 개발수준 : 선진사와 동등 수준 이상의 가스배출 노즐 성능으로 개발 : 100 dB(A) 이하

Type of Sound Reduction Nozzles		Flow Rate of Nozzles	Sound Pressure Level (Frequency: up to 100kHz) * 2
For Nitrogen gas suppression system	Ceiling mounting type	90 m ³ /min	97dB
	Side wall mounting type * 1	90 m ³ /min	99dB
For Halon 1301 gas suppression system	Ceiling mounting type	5kg/sec	96dB
	Side wall mounting type * 1	7kg/sec	98dB

* Remark 1 : The above indicated nozzles are typical ones, and other nozzles having different flow rates are also available.

* Remark 2

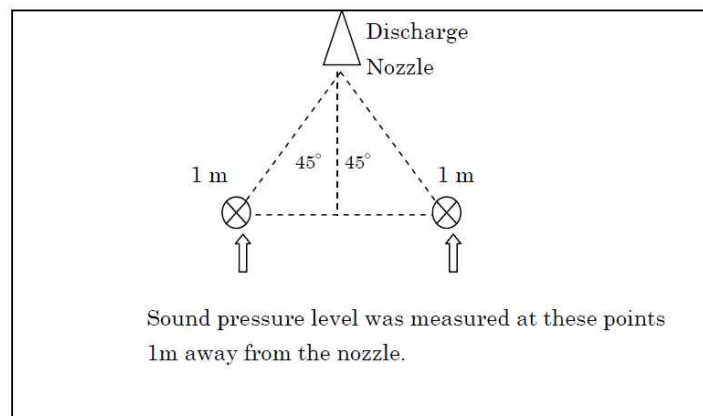


Fig. 1.2.1 Nohmi Bosai 사례

이러한 기술은 성능 중심의 안전기술에 해당하며, 소화용량은 가스계 질소 기준 90 m³/min 급 시스템 개발을 실현하고, 현장에 최적화 설계 및 설치를 위한 FEED(현장과 기술을 고려한 종합설계)을 지원하기 위한 선진기관의 엔지니어링 역량에 경쟁이 가능한 프로그램 기술을 확보함으로써 중견, 중소기업의 효율적인 엔지니어링 업무가 가능함

화재탐지에 있어 종래 기술인 센서를 응용(기존 연구개발 지원사례가 있어 이의 분석과 문제점을 파악하여 차별화 개선)하여 본 연구에서는 “화재감지 및 위치추적”에 중점을 두고 개발하여 기존 기술의 수준을 향상시키고자 하였음

(2) 기술의 독창성

제안기술은 본사에서 보유하고 있는 소화노즐, 가스소화 기술관련 지식재산권(특허)을

토대로 현장의 수요에 대응하여 필수개발 기능으로 ①저충격 소화노즐 기능, ②저소음 노즐 기능, ③화재분석기능, ④위치추적기능, ⑤종합설계기능 등을 설정하고 있음

- 이러한 기능은 기존 기술과 대비하여 개념적으로 아래와 같이 대별되며, 기존 특허분석(다음 기술동향에 제시된 결과 참조)을 통해 1차 차별성을 확보하였으며, 향후 과제로 채택시 심층분석을 통하여 고유기술로 개발하고자 함

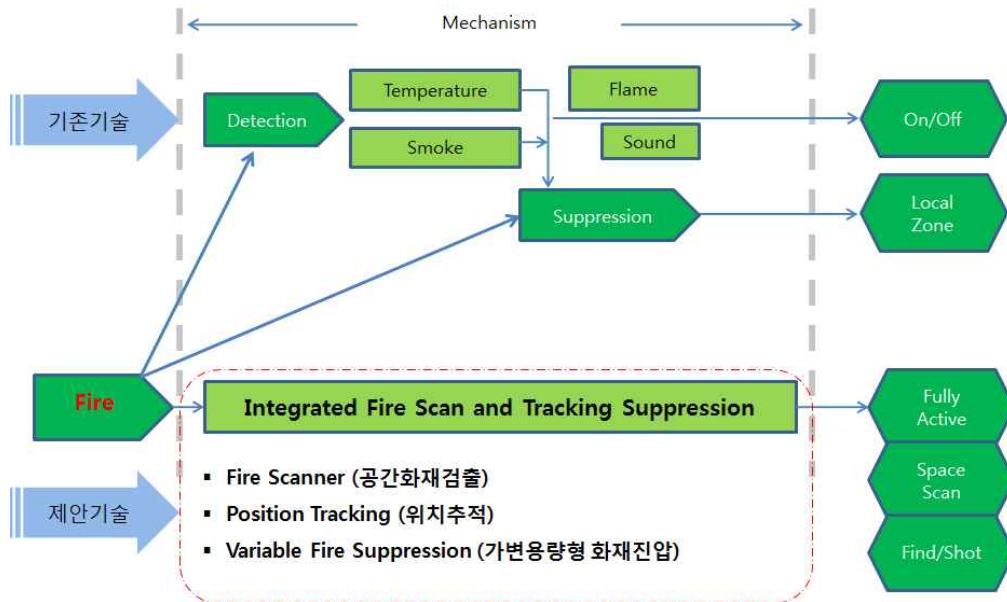
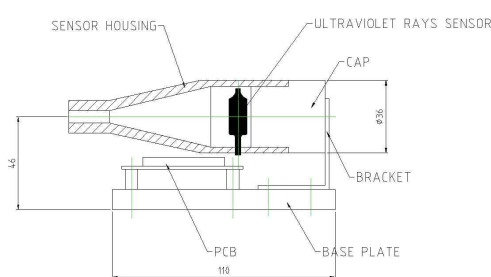


Fig. 1.2.2 기존 기술 대비 본 제안기술의 독창성 비교

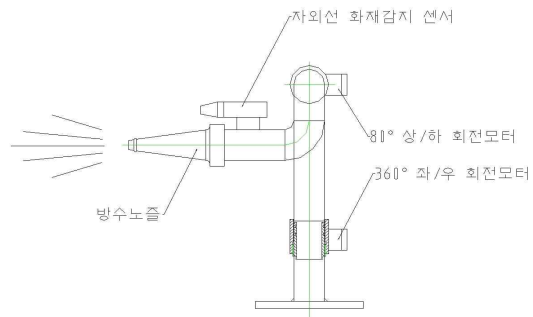
주요 차별성본 기술은 기존 기술 대비 화재 스캐너, 위치추적, 저소음 노즐 통합된 형태로써 기존 기술과 달리 제어가 가능하며, 특히, 저소음형 노즐은 화재가 발생범위에 따라 변형이 되어 분사 범위를 변경할 수 있어 기존 기술보다 효율적으로 화재를 진압할 수 있음

- 본 기술은 위치추적 시스템, 화재 진단 시스템이 추가되어 센서와 소화시스템을 일체화하여 해당위치에 신속히 정확하게 분사할 수 있어 신뢰성을 향상

- 현장의 특성과 관련 기준 등으로 고려하여 종합적인 안전시스템의 엔지니어링에도 화재규모에 따라 분사량과 각도를 데이터베이스로 구축하여 제어가 가능하도록 표준모델을 제시하고, 이를 설계프로그램에 반영



(a) 스캔 방식의 센서/판별유닛



(b) 용량 가변형 소화시스템

Fig. 1.2.3 공간 감시 및 위치추적 노즐 시스템 기본개념 예시

(3) 기술의 활용성

플랜트 시설의 안전분야에 대한 설계기술 및 시스템의 국산화로 수입대체효과를 거두며 신기술의 성능 및 신뢰성 확립으로 타 국가와의 경쟁우위 기반 마련, 또한 지적재산권 및 know-how의 확보로 소방·방재, 주유소, 물류창고, 각종플랜트 등등의 산업의 부가가치 증대 실천방안으로 활용

- 안전 분야에 대한 인식변화와 필요성 증대로 인하여 증가한 다양한 기술적 요구를 만족시키며, 대규모의 기반시설의 구축으로 인하여 첨단기술과 시스템 통합 및 관리기술의 개발을 촉진

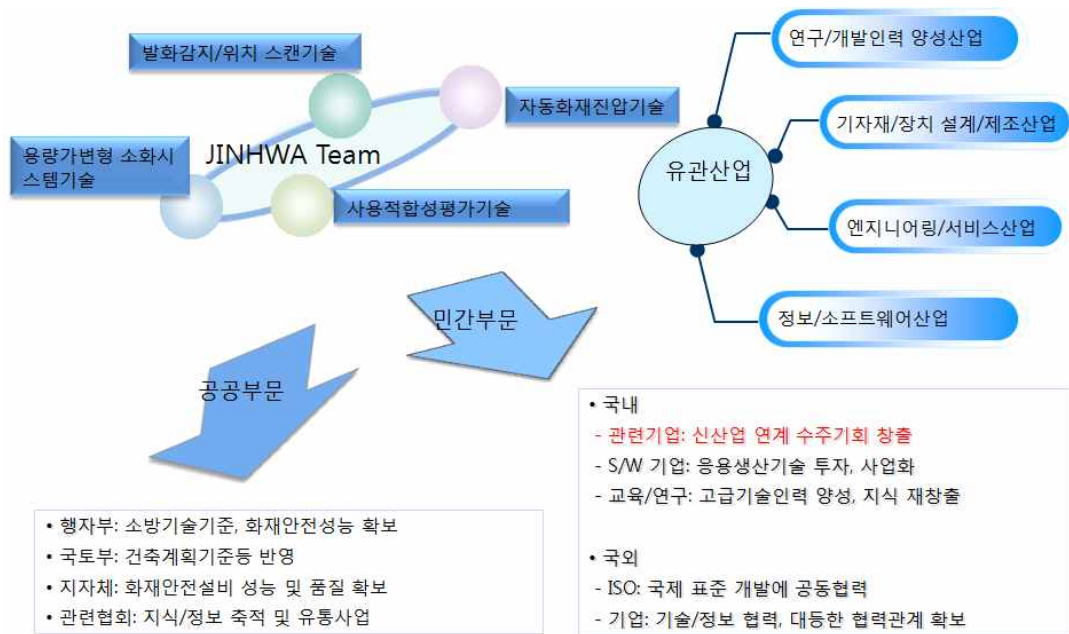


Fig. 1.2.4 국내외 기술개발지원 분야

성능기준에 근거한 방재·안전 시스템 설계를 위한 방재·안전에 영향을 미치는 물리적 현상 규명과 이의 모델링 및 시뮬레이션 기술, 타당성 평가기술 등을 정보기술과 연계하여 사업화에 활용

- 지능형 공간화재 진단기법 → 플랜트 민감설비의 능동 화재감시용 제품으로 활용, 민감설비의 화재안전의 신뢰성 제고를 위한 응용설계, 사업화에 활용

- 가변 용량형 저충격 노즐을 구비한 소화시스템 → 플랜트 민감설비 보호용 소화설비로 적용, 민감설비의 화재진압시 피해를 최소화하는 설계, 사업화에 활용

- 종합설계 및 자산 관리 프로그램 → 플랜트 시설 및 민감 설비 현장과 관련 기준 등을 종합 고려한 안전 설계, 사업관리 등에 활용

첨단화, 고충화, 다양화되어지는 시설뿐만 아니라 주유소, 물류창고, 각종 플랜트와 접근이 어려운 지하통신구와 전력구, 원자력 발전소 등의 중요한 국가 기간 시설물 등의 보호에 신뢰성 있는 화재감지 및 화재진압시스템 적용

다. 사업화 추진 배경

- 정부의 안전정책 강화와 국민들의 안전의식 수준 향상으로 다양한 기술개발 요구가 증가할 것으로 예측되고, 대규모 민감 시설 설치로 첨단기술과 시스템 통합 및 관리기술의 개발이 증가할 것으로 전망됨
- 안전산업은 소비자 및 수요처의 높은 요구 수준에도 불구하고, 현재 국내의 경우 해당 공간에서 감시 및 진단, 저충격 소화기술, 종합설계프로그램 구축과 같은 시스템이 요구특성에 부합하지 못하고 있는 실정이며 이로 인하여 소화기구, 경보기구 등의 제품을 연간 45억원 이상 수입에 의존하고 있는 실정임
- 국외 기업들은 민감 설비산업 분야의 고도로 축적된 기술력과 노하우를 기반으로 기술카르텔을 형성하고 국내 시장 점유율의 대부분을 차지하고 있으며, 국내 기업의 경우 체계적인 민감설비 소화장비 system설계 개발 및 내구성 기술력의 부재와 유관산업 개발이 미미한 관계로 기술개발이 전무한 실정임
- 기 보유기술의 사업화를 위해서는 현장에 적합한 조건에서 사용이 가능하도록 기능의 보완, 사용적합성 확보 등이 필수적이나 중소기업 여건에서 관련 시설투자 및 형식승인 등에 소요되는 기술적 자원을 확보하기에 애로가 있음



Fig. 1.3.1 제안기술의 현장 문제점 및 개선방안 개요도

라. 사업화 대상기술 개발목표 및 내용

· 최종목표

본 제안기술은 플랜트 민감설비 계통에서 공간화재시 피해를 최소화하기 위한 화재안전 기술을 개발하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위하여 해당 공간에서 화재 감시 및 진단 및 위치추적, 저충격 소화기술, 종합설계 프로그램 등을 개발하는 목표를 설정함

- 1) 공간 내 화재를 신속히 감지, 추적, 소화하는 장치
- 2) 평가된 화재규모에 따라 능동적으로 소화하는 가스계 저소음 소화노즐 및 시스템
- 3) 다양한 공간과 기준, 개발 시스템을 종합 고려한 설계관리 프로그램



Fig. 1.4.1 사업화 대상기술 개발목표 및 내용

· 연구내용

(1차년도) 발화점의 위치추적 오차를 최소화할 수 있는 센서구조 설계(상용 센서를 본 연구에서 개발하는 진단기법과 결합)하고, 민감계통에 영향을 미치는 충격을 최소화하기 위한 소화시스템의 요소설계(저소음 노즐 등), 위치추적모듈, 설계프로그램 구조 등을 연동 설계

(2차년도) 발화지점 감지장치 Prototype 제작 및 평가하고, 위치추적기능을 가지는 저충격 소화시스템 Prototype 설계, 제작 및 평가, 용량 가변제어 및 시스템 통합제어 알고리즘 검증 평가, 설계관리 프로그램 코딩

(3차년도) 시스템 및 부품 상세설계 및 시제품 제작, 회로설계 및 통합제어장치 견본품 제작, 개발 시제품을 실제 환경에서 사용적합성을 검증(공인기관 성능시험, 형식승인 등) → 설계프

로그래밍 DB구축 → 완제품 형태로 사용적합성 확인

마. 사업화 기대효과

1) 과학기술적 측면

- 물/분말/가스계 분사노즐 최적화 개발 및 화재를 평가하여 능동적으로 소화하는 variable fire suppression 개발 등의 용도 및 환경에 따른 제어 응용설계 기술력 확보 및 용도별 효과성 제고
- 환경제어기술 개발에 따른 제어기술 신뢰성 확보를 통한 기술적 경쟁력 향상 및 기술 노하우 축적에 따른 기술 선점

2) 사회·경제적 측면

- 플랜트 민감설비 설치공간의 화재감지 및 소화시스템 개발에 따른 지하/지상의 공간 활용도 증대 및 공간사용의 합리적 계획 수립
- 저소음 노즐을 구비한 소화시스템 등 관련 설계기술 및 시스템의 국산화로 수입대체효과
- 지적재산권 및 know-how의 확보의 산업적 효과에 따른 부가가치 증대
- 플랜트 설비 기술에 인재에 대한 안전성을 더하여 국가 고유 기술력을 확보하여 종래의 국내 플랜트 설비 시장과 침체된 소방 시장을 활성화시켜 국내 경제성장에 보탬이 될 것으로 전망됨

3) 정책적 측면

- 여러 성능기준에 근거한 기술 수준 및 산업 규모의 증가에 따른 전문인력양성 및 일자리 창출 효과
- 자동 감지 및 반응 기술에 대해 국가 주도 연구 수행을 통한 국가이미지 제고 효과
- 개발 기술의 확대 적용에 따른 산업 경쟁력 강화 및 산업 구조 개선

2. 관련 연구개발동향 조사·분석

가. 기술동향 조사분석 개요



Fig. 2.1.1 국내·외 소화시스템 기술동향

Table 2.1.1 국외 플랜트 소화시스템 기술동향

	기 술	국 가
수계 소화 시스템	Water mist	아일랜드, 미국, 일본
포 소화 시스템	압축공기포	독일, 미국
가스 소화 시스템	저소음 노즐	독일, 미국
자동 화재탐지시스템	GR형	독일, 미국

(1) 가스계 소화 시스템

○ 독일 Siemens 사의 플랜트 룸(Plant rooms) 소방에 관한 연구와 실험으로 건식 소화 시스템은 하드 디스크 드라이브의 오작동 발생과 기존 소화시스템의 높은 소음 수준이 하드 디스크 드라이브에 부정적인 영향을 주는 것으로 확인됨

- 민감 설비가 존재하는 곳의 하드웨어 및 케이블은 잠재적인 점화 위험이 존재하고 소

화과정에서 전기 장비가 물에 의한 손상이나 파괴되지 않아야함



Fig. 2.1.2 Siemens 민감 설비 소화시스템 실험 예

* 출처 : Siemens, Fire protection in plant rooms(2014)

- Siemens사 하드디스크 드라이브의 소화설비 가스방출 소음영향 테스트
- 민감설비가 구비된 서버(sever)실 장비가 있는 데이터 센터는 Insert 가스 소화 시스템을 적용하는 것이 좋음
- 여러 업체의 1 terabyte SATA 하드 디스크 드라이브를 테스트하고 모니터링 수행
- 데이터 전송 성능, access time, 연속 및 불규칙 접속 패턴에서 read rate를 테스트
- 220 mbar까지 압력을 상승시켜도 HDD의 성능에 영향은 없는 결과를 보이기 때문에, 소화 시스템에서 과압 방출은 하드 디스크 드라이브에 부정적인 영향을 주지 않음
- 일반적인 insert 가스 소화 시스템은 90 dB~ 120 dB 사이의 소음이 발생함
- 테스트에서 하드드라이브는 110 dB의 소음부터 부정적인 영향이 있는 것으로 확인되었으며, 500 Hz~8 kHz 또는 그 이상에서 소음에 대한 매우 민감한 것으로 확인됨

○ 선진기업 기술동향

- 국외 플랜트의 안전설계 및 해석기술에 필요한 세부 요소기술들은 성숙기에 도달했지만, 세부 기술들을 종합하여 시스템 수준에서 평가할 수 있는 안전설계 기술은 아직 도입기 수준임
- 미국과 유럽을 포함한 해외 선진국의 플랜트 업체는 자체 설계기술을 보유하고 있고 전 부품에 대한 직접 생산 가능함.

Table 2.1.2 선진기업 기술특징 요약

구분	특징	성능 수준
Siemens(독일) sinorix silent nozzle	2단계 가스 팽창으로 노즐 inlet부 오리피스를 통해 유압저항 조절로 노즐 유량을 정하게 되고 파이프에서 노즐로 1차 감압 및 팽창하면서 에너지를 방출하지만 확장 소음은 노즐 내부에 머무르며, 노즐에서 외부로 2차 감압 및 팽창하게 됨 Silent nozzle의 설계로 다수의 작은 discharge jets에 의한 전체 노이즈 발생은 소수의 큰 discharge jets에 의한 전체 노이즈 보다 작고, 방출 작은 jets의 스펙트럼은 높은 주파수로 영역이 이동됨	약 100dB 수준의 소음발생
ANSUL(미국) acoustic nozzle	iFLOW 화재 시스템을 기반으로 소음과 관련하여 민감설비를 보호할 수 있는 시스템을 구축함	약 105dB 수준의 소음발생
Fire Eater(덴마크) FSN Silencer Nozzle	내부 Inergen 가스가 소리를 감쇠시키는 긴 구간 매쉬를 통과하여 소음을 절감함	약 100dB 수준의 소음발생 (최대 25% 감소)
NOHMI BOSAI(일본) NN100 System	소화설비 전반의 장치들을 소음절감에 맞춰 설계함 설비 하우징 렉 소재를 변경하여 음향침투 및 진동에 의한 영향을 줄이는 방법 민감설비 자체의 음향 방지 성능을 향상 가스계 소화 설비에서 질소가스와 할론 1301가스 시스템을 공급	97~98dB 수준의 소음발생
SILVENT(스웨덴)	안전소음기 형태로 밸브 배출구에 적용하여 내부 필터로 유량과 소음을 억제함 소음기 특성 상, 배출구가 막힐 위험이 있어 경고 표시기를 내장함	30~45 dB 수준의 소음감소

(2) 자동 화재탐지설비

- 터널 및 지하공동구의 설계에 광센서 화재감지기를 반영하고 소화설비, 화재감지시스템, CCTV설비 및 보안설비 등 총체적인 안전설비를 통합하여 효율적으로 감시 및 제어하는 기술을 개발하고 있음

* 출처 : 화재감지 및 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구(2004)

- 미국의 경우 NFPA Code 제 72 (Fire Alarm)에서 화재감시방법의 하나로서 “Central Station”을 규정하여 감지기와 수신기간 통신 방법, 기기의 성능 검증 요구사항(UL) 등을 규정하여 네트워크 기반의 화재관리시스템을 구축하고 있음
- 일본과 중국 등 일부 국가에서는 불꽃감지에 의한 화점의 위치를 찾아내어 화재지역에 물 등의 소화약제를 방사하는 정도의 제품이 도입되고 있음
- 선진국에서는 시설의 규모나 중요성에 따라 적재적소에 온도 및 연기, 가스감지기, 환기시스템 등과 같은 첨단설비를 개발하여 적용
- 화재감지 및 화재진압시스템에 있어서는 소형에서 대규모 시스템에 이르기까지 광속단위의 신호검출, 이미지 전송 및 평가, GPS 및 GIS와 연계한 통합제어기술 등을 폭넓게 적용

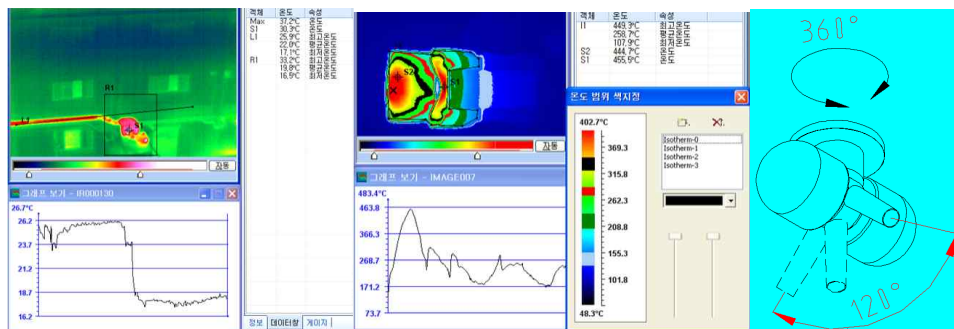


Fig 2.1.3 국외 화재감지 및 진압시스템 예

- 미국(Firestrike Industries)
 - Firestrike Industries사의 Phoenix는 고급 적외선 추적 시스템을 설계하여 화재를 감지하고 분말설비를 통한 구조물 소화시스템을 개발하였음
 - 모니터 모드 : 일반적인 상황에서 모니터 모드로 진행되며, 절대온도, 높은 상승률, 연기 등의 증가 감시
 - 스캐닝 모드 : 화재감지 시 스캐닝 모드로 변환하여 정확히 화재 발생지역 또는 화재 없는 구역을 찾아냄
 - * 타겟팅 짐벌(Gimbal)은 Phoenix의 핵심기술로, 억제제(suppressant) 노즐 하우징과

infra-red(IR) sensor를 포함하며, IR sensor를 이동시키기에 적합함

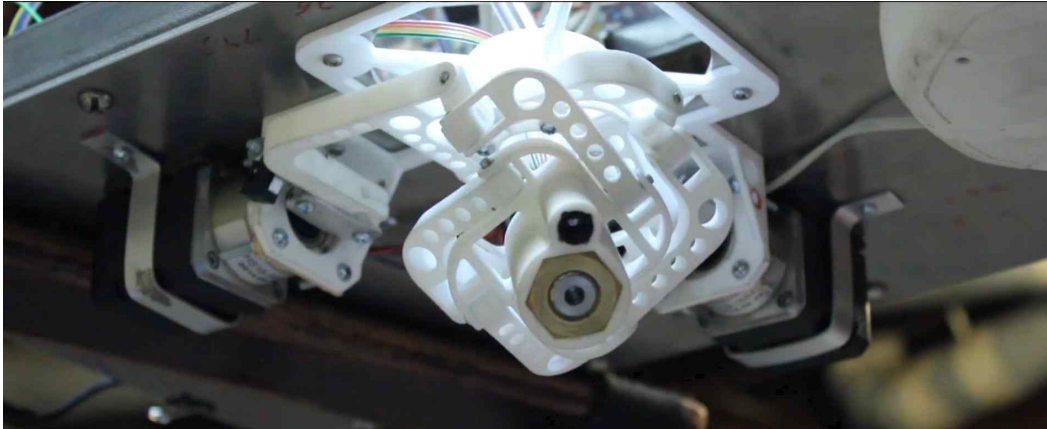


Fig 2.1.4 Phoenix 타겟팅 집벌

- * 화재 타겟팅 알고리즘은 중요한 기술로 기성품 적외선 센서를 사용하여 전체 공간 내 적외선 수준을 판독하여 화재위치를 찾아냄

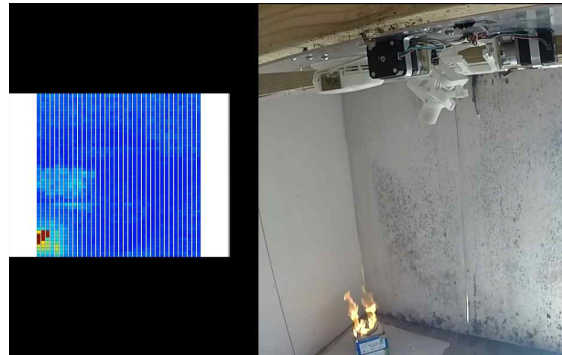
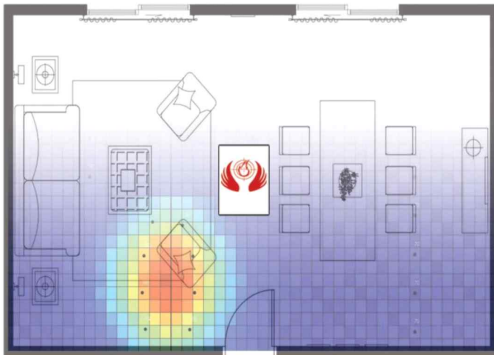


Fig. 2.1.5 Phoenix 화재 타겟팅

- * 화재 탐지 알고리즘은 화재 조건에 대해 현재 환경 조건(천장 온도, 천장 온도 증가율 및 적외선 수준 등)을 점검하여 화재 여부를 판단
- 활성화 모드 : 화재가 확인되면 활성화 모드로 전환되고, 일반 화재경보기와 동일한 경고 알림이 작동되며, 탑재된 소화약제를 직접 화재로 방출
- * 사이렌, 경고등, 문자, 메일 또는 외부로 화재를 통보하는 시스템
- * 3 gallon의 소화분말을 공급하며 물로 인한 손상 피해를 방지하지만, 수계, 폼계 및 가스계 소화설비에 사용하는데 기술적으로 문제가 없음
- * 화재온도가 가장 높은 구역에 집중적으로 소화약제를 방출하면서 지속적인 화재 모니터링으로 잔존 화재 없이 진압함

나. 소화시스템 논문 기술동향

- NDSL(National Digital Science Library)의 검색에서 ‘fire suppression systems’로 검색결과 총 773건 중 특허 333건, 논문 425건이 검색되었으며, 해외논문 350건, 국내논문 43건, 학위논문 32건으로 분류됨
- 논문 발행국 기타 미분류 152건, 미국 110건, 영국 73건, 한국 43건 순서이며, 기타 미분류 건을 고려하여도 미국이 가장 많은 논문을 발행함

Table 2.2.1 NDSL 논문 발행 국가별 동향

발행국	미국	영국	한국	중국	프랑스	일본	캐나다	기타
논문 수	110	73	43	5	3	3	2	152

Table 2.2.2 NDSL 논문 발행년도

발행년도	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
논문 수	23	20	24	13	19	21	16	19	30	6

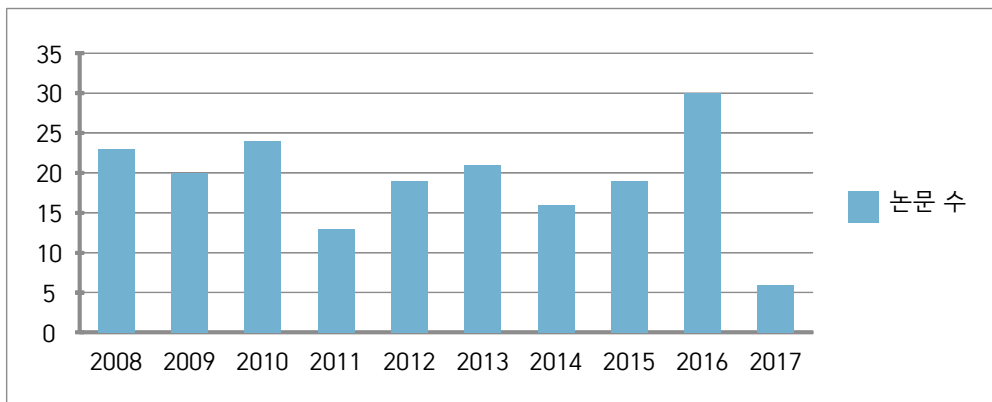


Fig 2.2.1 NDSL 연도별 논문발행

* 2017년 상반기 논문에 한함

- 전승태 등은 에어노즐의 소음저감 대책에 관한 연구를 제시하여, 에어 노즐의 형상과 공기량, 그리고 노즐과 반사판 사이의 거리를 시험변수로 하여 노즐의 소음을 최소화할 수 있는 최적조건을 찾기 위한 실험을 하였음
- 측정위치와 공기량에 따른 소음레벨의 경향, 직경비와 공기량에 따른 소음레벨의 경향, 길이비와 직경비에 따른 소음레벨의 경향, 반사판에 대한 소음레벨의 경향 및 반사판 유무에 따른 소음레벨의 경향에 대한 연구를 수행하였음

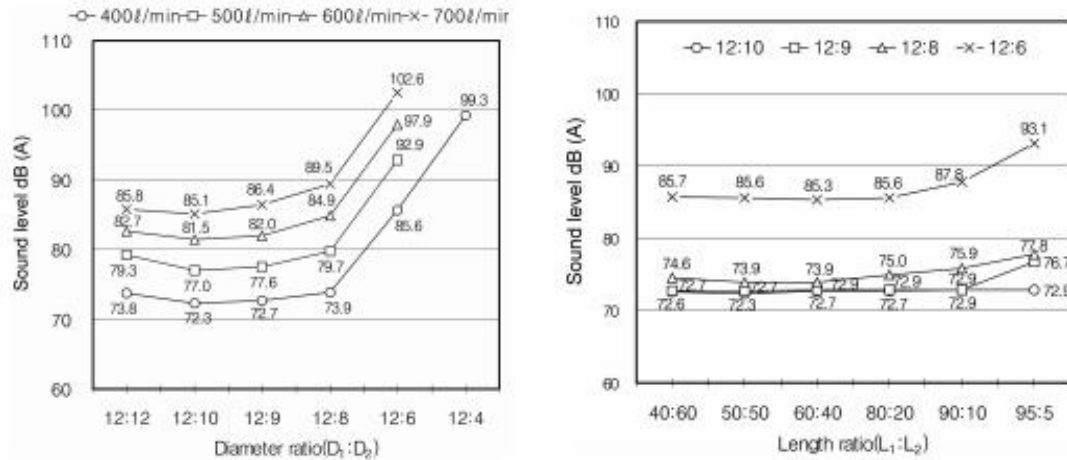


Fig 2.2.2 직경의 비(좌) 및 길이 비에 따른 음량측정

- 직경비에 따른 소음레벨의 변화는 직경비가 12:10일 때, 소음레벨이 가장 작은 것으로 나타났으며, 12:8을 초과하면 소음레벨이 10 dB(A) 이상 크게 증가하는 것으로 나타남
- 고소음이 발생한 원인은 직경비가 12:8을 초과하면, 노즐 팁 부분의 직경이 상대적으로 작아짐으로써 공기의 유속을 증가시켰으며, 또한 노즐이 축소되는 단차 부위에서의 와류형성이 커졌기 때문에 큰 난류흐름을 만들어 소음이 증가하였다고 판단됨

○ Philip J. Morris 등은 노즐 유체 인서트에 의한 소음속 제트 소음감소에 대한 연구를 수행하였음

- 수축확산노즐의 확산 구역으로 유체분출을 제어하도록 구성되어 있음
- OASPL에서 6 dB까지 혼합 노이즈의 확실한 감소와 함께 소음 감소를 달성하였으며, 이는 광역대 충격 관련 잡음 감소와 마찬가지로 피크 소음 방사 방향에서 혼합 소음의 감소를 확인함

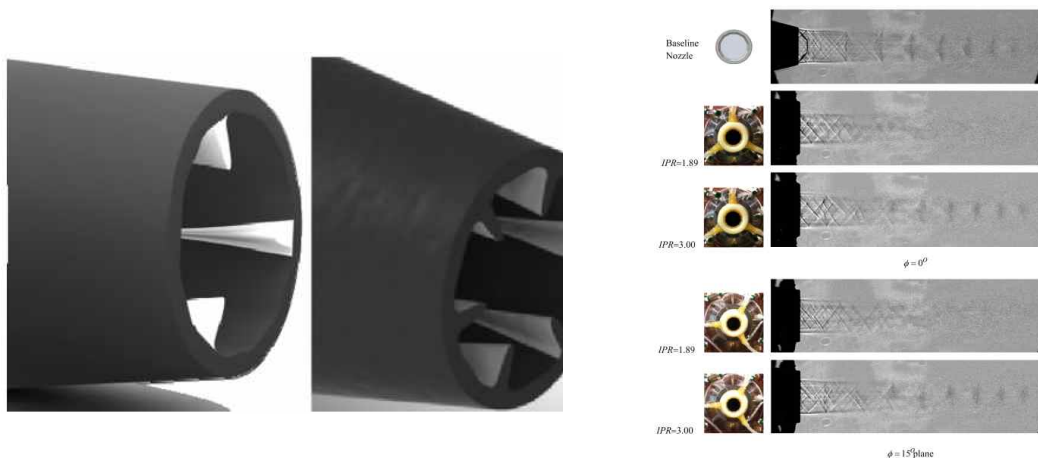


Fig 2.2.3 주름을 포함하는 노즐 개념(좌) 및 노즐 그림자 그래픽 시각화(우)

- 장주환 등은 인텔리전트 빌딩에 구축되어 있는 빌딩자동화시스템 및 소방시스템을 검토하여 화재 확대지연에 특화된 플랫폼 개발 연구를 수행하였음
 - 온도데이터를 이용한 화재 발생 감지 판단 알고리즘, 기존 건물에 설치된 RFID, CCTV, PIR(Pyroelectric Infrared Radial)센서 장비를 활용한 재실자 유무 판단 알고리즘, 공조시스템을 연계한 화재 확대지연 알고리즘, 공조, 조명 등 빌딩자동화시스템의 개별 빌딩관리시스템을 연계한 화재에 특화된 플랫폼을 개발하였음
 - 개발된 통합 플랫폼의 기대효과로는 실시간 신속한 화재 감지 및 방재대응, 재실자 유무 판단으로 인한 인명 피해 저감 및 환기구 개폐 연계를 통한 화재 확대지연 그리고 타 재난 안전설계 시스템 개발에 기여함

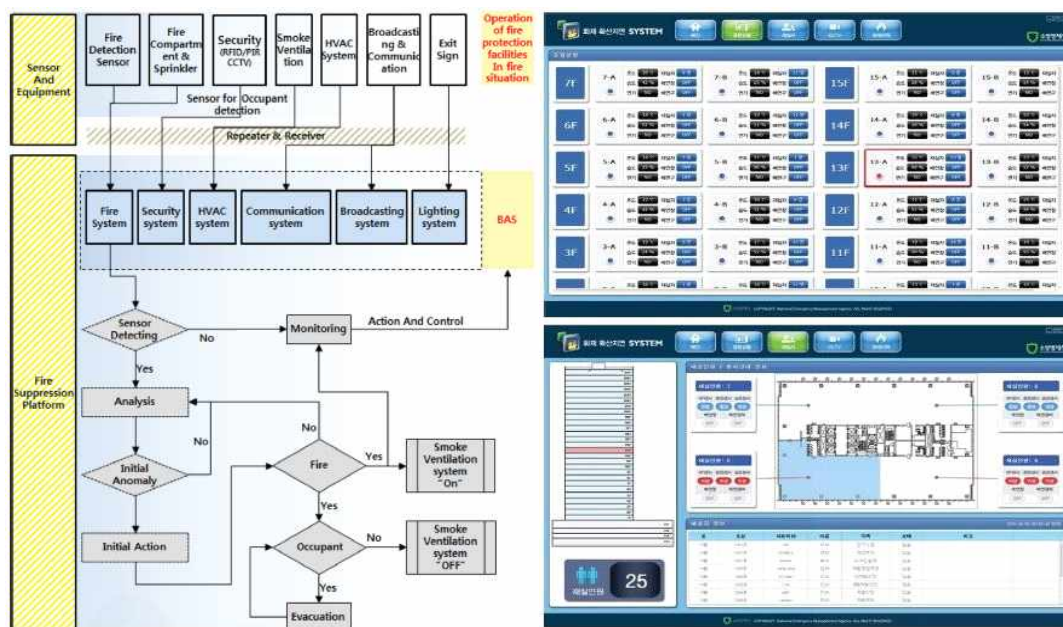


Fig 2.2.4 통합 플랫폼 프로세스(좌) 및 감지 시스템

- Kumarguru Poobalan 등은 이미지 처리기술을 이용한 화재감지 알고리즘을 연구하였음
- CCTV, UAVs 무선카메라 등과 같은 호환 가능한 감시 장치로 알고리즘은 RGB 색상 모델을 사용하여 붉은 색인 R의 강도에 따라 화재 색상을 감지함
- 화재확산은 sobel edge 감지기를 사용하여 감지되며, 화재의 ROI(Region Of Interest)를 판별하는 첫 번째 및 두 번째 기술의 결과를 기반으로 색상 분할기술이 적용됨
- 50개의 화재 시나리오 이미지를 분석한 결과, 알고리즘 테스트로 얻은 최종 정확도는 93.61 %였고 효율은 80.64 %임

다. 국내외 관련 기술 특허동향

: 부록 2. 특허기술동향 보고서 참조

라. 기초·선행연구 성과현황

- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)의 국가 R&D 정보 검색을 통해 국내 안전설비 및 소방설비에 대한 2002년~2016년까지의 연구개발 현황은 주로 시스템 및 센서 연구개발을 진행하였으며, 노즐에 대한 연구개발은 미미한 상태임

Table 2.4.1 선행연구 성과현황

단위: 백만 원

수행기관	과제명/프로그램 (연구개발 기간)	주요 내용 및 특징	지원부처 (총 연구비)
부산외국어대 학교 산학협력단	지능형 초고층 화재방호시스템 개발 (2016.05.02~2018.12.31)	- 초고층 건물관련 소방 활동 전 단계 (예방, 대비, 대응 등)를 포함하는 방재통합 시스템을 개발하여 시범 운영을 하고 향후 기술개발 방향성 제시 - 방재통합시스템 운영체계는 화재 예방활동의 감시, 화재 방호시스템 관리, 비상대응관리를 위한 데이터베이스생성, 상황별 시나리오에 따른 행동조치 구축	국민안전처 (147.24)
한방유비스 (주)	화재위험도 평가 및 보수·보강 기술개발 (2015.07.31~2020.06.30)	- 기존 건축물의 화재위험도 평가 기술개발 - 기존건축물의 화재위험도 평가 기술 개발을 토대로 평가 프로그램으로 개발하여 화재위험도평가 분야 시장 확대 - 주요 구조부·대형 화재구획설비·실대형 화재시험을 통한 건축물 마감재(내·외장재) 평가방법 개발 및 DB 구축	국토교통부 (543)
한국가스안전 공사	도시 안전을 위한 폭발/누출 입체적 감시를 통한 통합방재시스템 구축 (2006.09.01~2008.04.01)	- 가스 관련 시설물의 위험요인을 분석하고, 폭발 위험 해석 및 형가 알고리즘을 구축하여 이를 토대로 가스 누출, 폭발에 대한 위험완화/사고 대응 기술, 폭발/누출 안전 DB구축 - 관련 S/W (prototype)개발	소방방재청 (450)
(주)씨엔이지에 스	소방방재 시스템을 위한 무선감지기용 IC개발 (2004.12.01~2010.07.01)	- 소방방재 시스템의 필수품목인 감지기의 연기, 온도 등의 센서 기능과 Network 기능이 포함된 SoC 개발 및 SoC와 불꽃감지 sensor가 통합된 SoC개발 - Telemetrics와 소방(방재)연동 시스템 및 소방(방재)상황실 구축을 위한 통합방재 프로그램 개발	산업자원부 (280)
(주)씨플러스	원격제어형 다목적 방수포 개발 (2002.04.01~2003.03.01)	- 유압모터 또는 전기모터로 구동되고 상하 좌우 각도 제어량을 정확하게 원격 제어할 수 있으며, 사용자의 요구에 부응하는 유량(특히 대용량)의 노즐을 자체 설계 개발 - 폼(foam)과 해수 및 직수(jet)와 분무(spray)를 동시에 방출할 수 있는 다목적 방수포 개발	중소기업청 (98)

마. 소결

- 미국과 유럽을 포함한 해외 선진국의 플랜트 업체는 자체 설계기술을 보유하고 있고, 전 부품에 대한 직접 생산도 가능하며, 핵심 기자재 안전성과 신뢰성평가에 대한 기준도 비교적 명확하게 정립되어 있으나, 우수한 전문 인력은 매우 소수이기 때문에 대부분의 분야에서는 단편적 지식을 가진 인력이 안전성 및 신뢰성 분석 등을 담당하고 있으며 주로 수익성이 높은 분야에 핵심 역량을 집중하고 있음
- (국외 수계소화시스템)데이터 센터에 적용되는 할론가스 소화설비 시스템은 오존 붕괴와 관련하여 잠재적인 환경영향인자로 대처방안이 필요하며, 수계소화설비 시스템의 경우 물에 의한 장비손상으로 피해가 발생하여 이에 대한 대처방안을 미분무수로 보고 있음
- (국외 가스계소화시스템) 가스계 소화시스템은 오존층을 보호하기 위한 소화약제와 IT기술의 발전으로 인한 전기 장비 사용이 증가함에 따라 기존 가스계 소화 시스템에서 분사로 인한 피해를 줄이기 위한 소음을 저감하는 기술이 개발되고 있음
- (국외 자동 화재감지설비)화재감지 및 화재진압시스템에 있어서는 소형에서 대규모 시스템에 이르기까지 광속단위의 신호검출, 이미지 전송 및 평가, GPS 및 GIS와 연계한 통합제어기술 등을 폭넓게 적용
 - 안전설계 및 신뢰성 공학 기술의 국내 수준이 육상 플랜트 시스템분야에서는 국외 기술 의존도가 매우 높은 편이며, 국내 플랜트 산업은 부가가치가 높은 개념설계 및 FEED 패키지설계를 수행할 수 있는 설계 엔지니어링 시장에는 진입하지 못한 채 상대적으로 부가가치가 낮은 상세설계와 시공을 중심으로 성장해 왔음
- (국내 수계소화시스템)지하공간 전용 소방방재 시스템으로 미분무수 소화설비, 장대터널 물 분무헤드 설계 및 지하전용 소화설비 구축이 진행 중임
- (국내 가스계소화시스템)4차 산업이 플랜트, 대형건물 등 민감한 설비에 적용하기 위한 기술이 개발되고 있음에도 국내 소방산업의 가스계소화 시스템 분야는 이러한 민감 계통 설비에 대한 소음, 진동 등 변수에 대한 기술이 전무한 상태임
- (국내 자동 화재감지설비)화재 발생 징후를 예측해 사전에 차단하여 화재로 인한 피해가 생기지 않도록 하는 시스템 개발하여 서비스를 제공하도록 기술개발을 하고 있음

3. 연구수행내용 및 성과

가. 시뮬레이션 기반 소화노즐 최적화 설계

(1) 개요

신속한 화재 진압을 목표로 가스계 소화 시스템은 100 ~ 300 bar의 고압으로 소화 약제를 방출한다. 이에 따라, 가스계 소화 약제를 방출하면 약 140 dB이상의 높은 소음이 발생된다.

소음도가 130 dB를 초과하게 되면, 소음에 의해 발생하는 진동이 디스크 표면의 자기층(magnetic layer)에서 헤드 충돌을 야기할 수 있으며 헤드 충돌이 발생하는 과정에서 입자들은 빠르게 부딪혀 저장 장치의 샤시 구조에 균열을 일으킨다. 이는 전자 저장 장비인 HDD가 손상되어 복구 불능한 상태가 될 수 있다.

이에, 플랜트 민감설비 소화시스템 기술은 화재발생시 소화약제에 의한 진동이나 소음에 민감하게 반응하는 플랜트 시설을 보호하고 플랜트 가동 중단 및 파손을 방지하고자 한다.

가스계 소화 노즐에 사용되는 약제로는 청정소화약제, 할로젠 화합물 소화약제 등을 사용하여 가연물과 산소의 화학반응을 억제하고 냉각작용과 희석작용으로 소화한다.

본 연구에서는 친환경적이고 비전도성의 물리적 특성을 가진 질소 청정소화약제인 IG-100을 사용하였다. 이는 전기로 인해 발생된 C급 화재에 사용될 수 있으며, 자외선에 의해 염소원자가 붕괴되어 오존을 파괴하는 프레온 가스를 대신하는 약제로 환경에 치명적이지 않다. 또한, 대기권 잔존 년수, 지구 온난화 지수, 오존층 파괴지수가 없어 친환경적 약제로 판단되기 때문에 선정하였다.

가스계 소화설비의 유동소음을 줄이고자 수치해석 및 실험 연구를 수행하였다. 음향장은 고차원 비정상 유동해석인 LES를 통해 얻은 정보를 기반으로 전파방정식을 사용하여 해석하였으며, 신뢰성검증을 위해 실험을 수행하였다. 이후 실험계획법과 반응표면법을 적용하여 최적설계를 수행하였다.

(2) 이론적 배경

(가) 지배 방정식

① 연속 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (3.1.1)$$

② 운동량 방정식

$$\frac{\partial \rho \vec{v}}{\partial t} + [\nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v})] = -\nabla p + \rho \vec{g} + \nabla \cdot \tau \quad (3.1.2)$$

Newton의 제 2운동 법칙에 따르는 운동량 방정식은 표면력(surface force)과 체적력(body force), 그리고 유체 실험에 의한 유체 입자 가속도와 관련되며, 일정한 중력장을 가정하였다. 물리적 의미로는 외력이 없는 물체에서 모든 운동량의 합은 보존된다는 것이며, 여기서

g 는 중력 가속도이고, 응력 텐서(stress tensor) τ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right) \quad (3.1.3)$$

여기서, p 는 압력, μ 는 점성계수, 그리고 δ_{ij} 는 Kronecker delta 함수를 의미한다.

③ 에너지 방정식

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} - \alpha T \frac{Dp}{Dt} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \Phi + \rho H \quad (3.1.4)$$

$$H = h + \frac{1}{2}(u_i u_i) \quad (3.1.5)$$

위 식에서 H 는 총 엔탈피를 의미하는데, 정적 엔탈피(h)와 단위 질량당 운동에너지로 표현된다.

④ 나비에-스토크스 방정식:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \overline{u_i u_j}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (3.1.6)$$

식 (3.1.6)는 RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes equations)에서 사용되는 방정식과 유사한 모습이지만, 위 식에는 RANS 모델에서는 고려되지 않는 아격자 크기(subgrid-scale)의 Resynolds 응력항(Reynolds stress)이 고려된다. 이는 τ_{ij} 로 표기되며, 다음과 같이 정의된다.

$$\tau_{ij} = -\rho(\overline{u_i u_j} - \overline{u_i} \overline{u_j}) \quad (3.1.7)$$

식 (3.1.7)에서 $\overline{u_i u_j} \neq \overline{u_i} \overline{u_j}$ 이므로 0이 되지 않으며, 이는 계산격자보다 작기 때문에 제거되거나 계산하지 않는 에디(eddy)가 큰 규모의 에디에 영향을 주는 운동량이다.

(나) 음압레벨

소리는 인간의 귀가 감지할 수 있는 압력의 변동으로 매질을 통해 전달되는 것이다. 이러한 압력 변화의 크기를 음압(sound pressure)이라고 하며, 음의 세기를 나타낸다. 음압레벨(sound pressure level, SPL)은 어느 음의 음압이 기준 음압과 비교했을 때, 어느 정도의 크기를 갖는지를 상대적으로 비교한 척도이며 다음과 같이 정의된다.

$$SPL = 20 \log_{10}(p/p_0) \quad (3.1.8)$$

음압에 대한 비교는 사람이 들을 수 있는 최소 가청음을 기준으로 하며, 식 (3.1.8)에서 p_0 는 $2 \times 10^{-5} Pa$ 의 값을 갖는다. 또한 단위는 데시벨[dB]을 사용하여 그 크기를 나타낸다.

(다) 음향상사식

① Lighthill의 음향상사식

제트유동에서 발생한 유동소음에 대한 연구를 시작으로, 유동에 의한 소음메커니즘에 대해 첫 수학적, 물리적으로 이해를 가능하게 한 이론이다. 난류유동에서 멀리 떨어진 영역의 밀도섭동은 음향파처럼 거동해야한다고 가정하였으며, 경계가 없는 자유 유동장에서 연속방정식과 운동량방정식을 사용하여 새로운 방정식을 유도하였다. 이는 Lighthill 방정식으로 불리며, 다음과 같이 유도된다.

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - a_0^2 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x_i \partial x_i} = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad (3.1.9)$$

여기서 T_{ij} 는 Lighthill 응력으로 다음과 같이 정의된다.

$$T_{ij} = \rho u_i u_j + r_{ij} - a_0^2 \rho \delta_{ij} \quad (3.1.10)$$

Lighthill은 식 (3.1.9)에 우변 항들은 소음원(noise source)으로 정의하였으며, 좌변 항들은 파동방정식의 형태를 보이는 특징을 가진다.

② Ffowcs Williams & Hawkings 방정식

유동장 내에 움직이는 형상에 대한 경우 Lighthill의 음향상사식으로만은 부족한 부분이 있다. 이에 Ffowcs Williams와 Hawking은 Lighthill과 Curle의 음향상사식을 확장하여 물체가 움직이거나, 소음원이 움직이는 경우에도 적용할 수 있는 방정식을 유도하였다. 이들은 물체의 움직임 때문에 발생하는 도플러효과(Doppler effect)를 추가하여 방정식을 정리하였으며, 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} p'(x, t) = & -\frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_V \left[\frac{T_{ij}}{r|1-M_r|} \right] dV \\ & - \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \int_S \left[\frac{P_{ij} n_j}{r|1-M_r|} \right] dS \\ & + \frac{1}{4\pi a_0^2} \frac{\partial}{\partial t} \int_S \left[\frac{\rho u_i n_j}{r|1-M_r|} \right] dS \end{aligned} \quad (3.1.11)$$

식 (3.1.11)에서는 각각 사중극(quadruple), 쌍극(dipole), 단극(monopole) 소음원들에 의한 영향에 대한 항을 확인할 수 있다. 우변 항의 첫 번째 항은 사중극에 의한 난류소음을, 두 번째 항은 쌍극에 의한 하중소음에 대한 항이며, 마지막 세 번째 항은 단극에 의한 두께소음(thickness noise)에 대한 항이다.

③ 유동 소음원

음원은 음의 파워(power)를 극(pole)의 형태로 분류할 수 있는데, 크게 3가지로 분류한다. 작은 점에서부터 구면파를 이루며 방사하는 단극(monopole) 음원과 두 방향으로 전파되는 쌍극(dipole) 음원 그리고 사중극자(quadrupole) 음원이다(Fig. 3.1.1 참조).

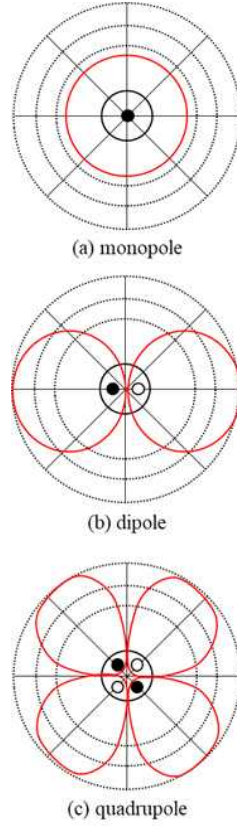


Fig. 3.1.1 Theoretical directivity patterns for far-field sound pressure levels.

㉔ 단극(monopole) 음원

점 음원이라고도 불리는 단극 음원은 음파의 파장에 비해 작은 운동을 하는 물체에 의해 방사되는 음장을 형성한다. 이는 가장 기본적인 음원으로 모든 방향으로 균일한 음을 방사하는 무지향성 음원이다. 따라서 단극 음원에 의한 음압장의 구성은 각도가 아닌 거리에만 의존하게 된다. 이러한 경우에 해당하는 파동 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 \varnothing}{\partial t^2} - \nabla^2 \varnothing = -q(t) \delta(x - x_0) \quad (3.1.12)$$

또한, 단극 음원의 음향파워는 질량유량 시간변화율의 평균 제곱으로 나타낼 수 있으며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$W = \frac{1}{4\pi Z_0} \left(\overline{\frac{\partial M}{\partial t}} \right)^2 \quad (3.1.13)$$

차원 해석을 식 (3.1.13)에 적용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$W^2 \sim M^4 \quad (3.1.14)$$

식 (3.1.14)에 기초하면 단극 소음원은 아음속 영역에 있어서 매우 효율적으로 전파되는 소음이며, 가장 대표적인 소음의 예시로는 폭발음, 연소음 등이 있다.

㉔ 쌍극(dipole) 음원

크기가 같고 반대의 두 위상으로 구성된 음원을 쌍극 음원이라고 하며, 이 때문에 발생되는 음장은 거리와 각도에 대한 영향을 받는다. 거리의 제곱에 따라 역수로 음압은 감소하게 되며, 쌍극음원이 전파되는 축에 수직인 방향으로 음파의 상쇄현상이 발생한다. 이에 쌍극자에 파동 방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = \frac{\partial}{\partial x_j} (f_j(t) \delta(x - x_0)) \quad (3.1.15)$$

또한, 쌍극자의 음향파위는 특정 방향으로 매체에 가해지는 힘의 시간변화율 평균 제곱으로 나타낼 수 있으며, 다음과 같이 표현된다.

$$W = \frac{3}{4\pi Z_0 c_0^2} \left(\frac{\partial F_z}{\partial t} \right)^2 \quad (3.1.16)$$

이러한 형태의 음향은 주로 실린더 주변 진동 순환에서 확인 할 수 있으며, 이는 파이프 모서리의 배기가 소용돌이 순환 고리를 형성함으로써 발생한다.

㉕ 사중극(quadrupole) 음원

단극 음원과 쌍극 음원과는 달리 사중극 음원은 세 개의 방향성과 음원에서 반경, 두 개의 각도에 대한 영향이 적용된다. 따라서 난류소음을 유발하며 파동 방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j} \quad (3.1.17)$$

사중극 음원은 여러 가지 방법으로 묘사 될 수 있다. 4개의 단극 음원과 2개의 쌍극 음원으로 묘사하는 것이 그 예시이며, 다양한 배치를 통해 여러 가지 형태의 사중극 음원이 묘사된다. 이는 속도 구배가 있는 유동에서 나타나며, 특히 고속 난류 유동에서 더욱 잘 발견된다.

④ 다공질(porous)형 흡음

직물 섬유재료, 유리섬유(glass wool)등과 같이 재료에 미세한 구멍이 많거나 틈이 많아 통기성이 있는 물질을 다공성 물질이라고 하며, 이러한 재료에 소리가 입사하여 음압을 낮추는 것을 말한다.

음파는 벽과의 마찰이나 점선저항 및 재료의 작은 진동에 의해 소리에너지가 열에너지로 소비되며, 이러한 현상에서 흡음이 일어나게 된다. 일반적으로 저음에서보다 고음에서의 효과가 크며, 흡음률은 완전 흡음일 경우가 1인 백분율로 나타내게 된다. 이러한 다공질형 흡음의 경우 마찰 저항이 큰 역할을 하고 있으며, 저항 손실은 유체 동압에 비례한다. 따라서 음파의 속도가 큰 위치에 다공질 재료를 설치할수록 흡음효과는 커지게 된다.

다공질형 흡음은 재료에 따라 다공성(porosity)이 정의되는데, 이는 외부에 통하는 기포 용적과 전체체적에 대한 비율로 다음과 같이 정의한다.

$$P = \frac{V_p}{V_t} (\%) \quad (3.1.18)$$

(3) 시뮬레이션(수치해석) 기법

(가) 시뮬레이션 모델

T형 커넥터에서 확장된 형태의 가스계 소화노즐을 기본모델로 선정하였으며, Fig. 3.1.2에 도시하였다. Table 3.1.1에는 각 치수를 방출구 직경에 대한 비율로 표기하였다. 기본모델은 배관연결부와 소화약제가 분배되는 T형 커넥터 그리고 40개의 방출구로 구성되며, 수치해석은 가스계 소화노즐이 배관에 연결되는 부분부터 소화 약제가 방출되는 외부 유동장까지의 도메인(domain)을 사용하여 진행하였다.

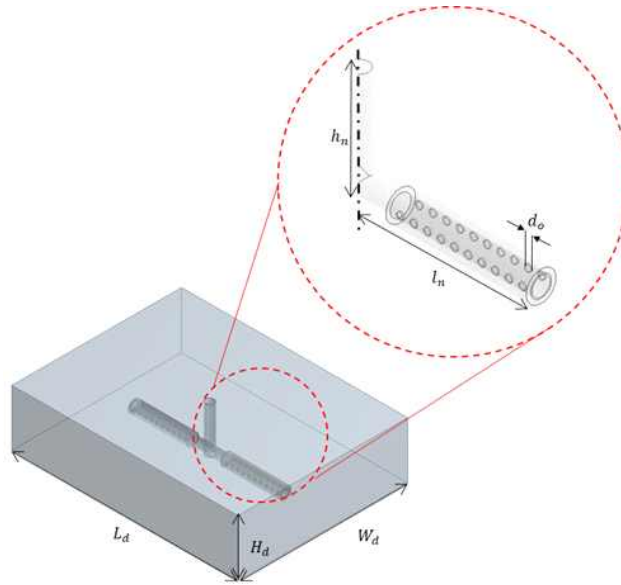


Fig. 3.1.2 Geometrical description of computational domain.

Table 3.1.1 Details of the description of the computational domain.

Description	Abbreviation	Value
The diameter of external outlet	d_o	1.3 d_0
Length of computational domain	L_d	80 d_0
Width of computational domain	W_d	60 d_0
Height of computational domain	H_d	20 d_0
Height of the fire-extinguishing nozzle	h_n	16 d_0
Length of the fire-extinguishing nozzle	l_n	26.7 d_0

(나) 경계조건 및 격자계 구성

시뮬레이션에서 사용된 소화약제는 불활성 소화가스인 질소(N_2)를 이용하였다. 입구조건으로는 1.334 MPa의 압력이 오리피스를 지나도록 설정하였으며, 대기압인 1 atm으로 분출하

도록 하였다(Table 3.1.2 참조). 또한 압축성 유동에 대한 수치해석을 위해 압력기반의 연성 해석을 수행하였으며(Fig. 3.1.3 참조), 작동유체는 이상기체의 운동과 온도변화에 따른 점도 변화를 고려한 Sutherland 법칙을 따르도록 설정하였다.

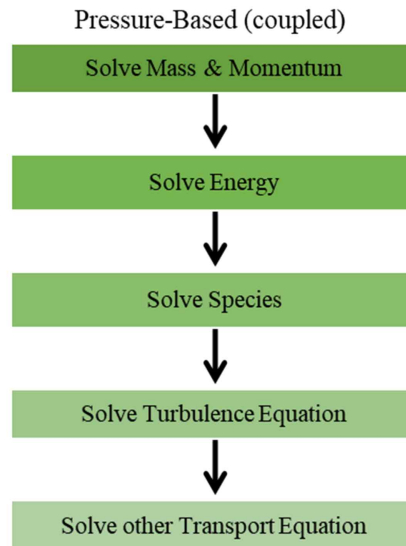


Fig. 3.1.3 Process of pressure-based coupled scheme.

각 계산격자에서 압력구배를 계산하기 위한 보간법으로는 큰 스윙유동(swirling flow)과 가파른 압력구배가 예상되는 흐름에 적합한 PRESTO!(the pressure staggering option) scheme 을 적용하였다.

Table 3.1.2 Boundary conditions.

Description	Value
Turbulence model	Large eddy simulation
Acoustic model	FW-H
Reference acoustic pressure [Pa]	2×10^{-5}
Far-field density [kg/m^3]	1.225
Far-field sound speed [m/s]	340
Inlet pressure [MPa]	1.334
Inlet temperature [K]	294

수치해석을 위한 격자는 ANSYS Meshing을 사용하여 구성하였으며, Fig. 3.1.4에 도시하였다. 비교적 속도가 빠르고 조밀한 곳에는 사면체(tetrahedral type)를 이용하여 구성하였으며, 외부 유동장은 육면체 격자(hexahedral type)를 이용하여 구성하였다. 총 격자수는 격자의존도시험을 통해 결정되었으며 약 626만개의 격자계가 선정되었다(Fig. 3.1.5 참조). 또한 셀 중심에서 인접 셀의 중심까지의 직교성(orthogonal quality)은 최대 0.10, 셀의 볼륨 편차를 나타내는 비대칭성은 최소 0.89의 값을 가진다.

(다) 난류처리기법

일반적으로 난류장 해석에 많이 사용되는 RANS 모델은 시간평균기법을 사용하여, 모든 비정상성은 평균화시키고 공학적 근사(engineering approximations)로 해결하기 위해 모델링하게 된다(Fig. 3.1.6 참조). LES 모델은 계산격자에 의해 해결할 수 있는 큰 기본 난류구조

를 직접 계산하며, 작은 난류들은 모델링하여 근사화 하는 방법을 말하며 Smagorinsky에 의해 처음 제안되었다.

본 수치해석에서는 이 두 가지 난류처리기법을 이용하여 유동해석을 진행하였다. RANS 모델은 $k-\varepsilon$ 난류 모델과 $k-\omega$ 난류 모델의 장점을 결합한 SST(shear stress transport) 모델을 사용하게 되는데, 이는 RANS 모델 중 난류 전단응력의 수송을 잘 모사하고, 역압력구배(adverse pressure gradient) 하에서 유동박리(flow separation) 시작과 크기를 가장 잘 모사하는 것으로 알려져 있다. LES 방법으로는 속도변동의 피크와 벽 압력의 실효치 분포 예측에 효과적인 DSM(Dynamic Smagorinsky model)을 사용하였다. 이후, 두 유동해석 결과를 기반으로 음향상사식을 이용하여 전파되는 음향에 대한 계산을 추가로 진행하여 결과를 비교하였다.

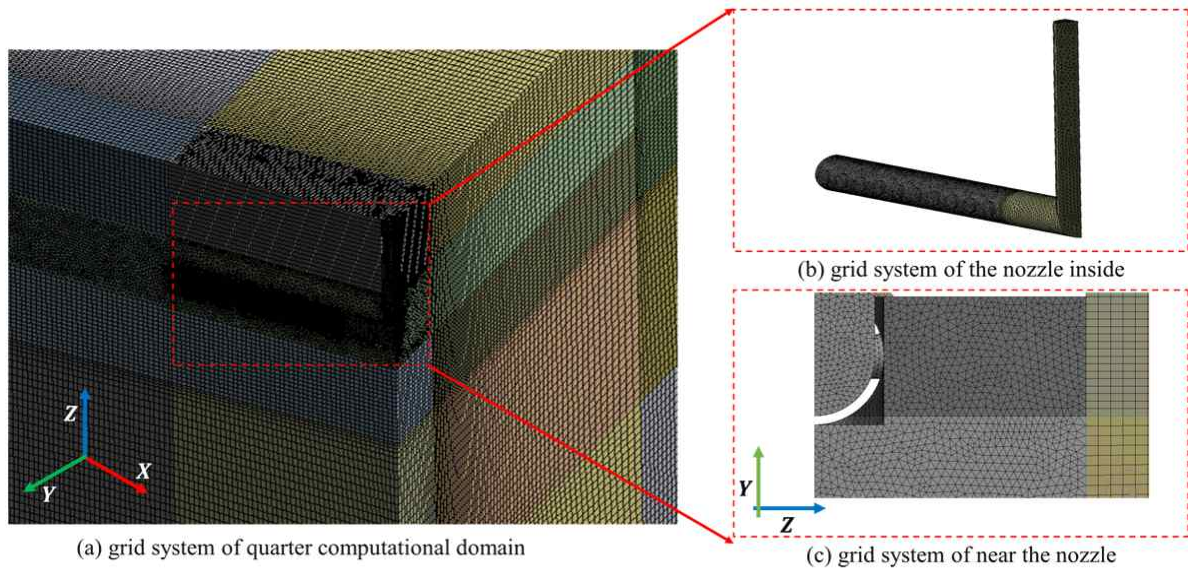


Fig. 3.1.4 Grid systems applied in this study.

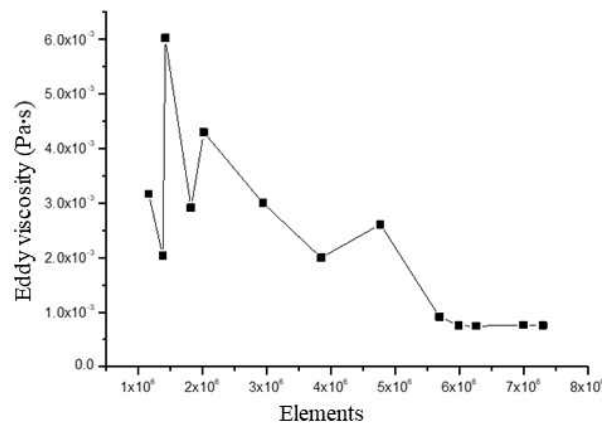


Fig. 3.1.5 The result of grid dependency test.

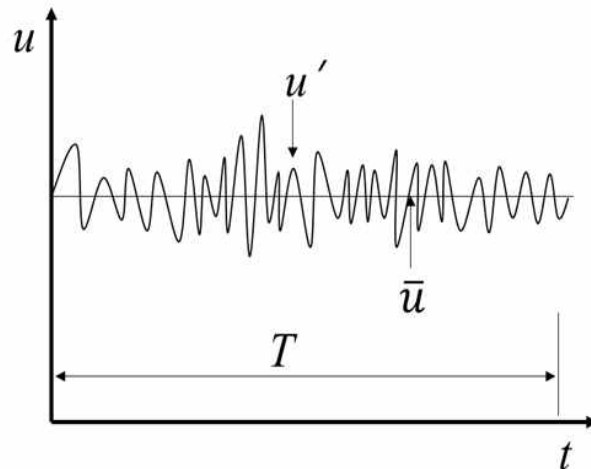


Fig. 3.1.6 Time averaging concept in turbulent flows.

(라) 기본모델 해석결과

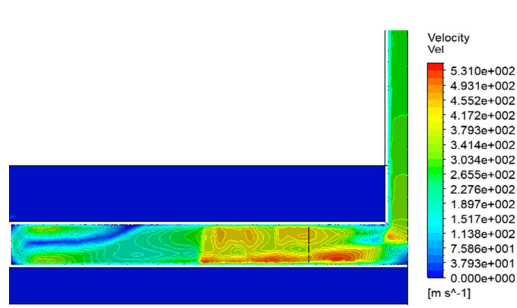
소화노즐 내부 속도와 압력분포를 RANS 모델과 LES 모델을 사용하여 각각 수치적으로 계산하였고, Fig. 3.1.7-Fig. 3.1.9에 도시하였다. 입구영역에서 계산된 속도는 RANS 모델의 경우 약 267.05 m/s이며, LES 모델의 경우 262.62 m/s로 약 1.69 %의 오차로 큰 차이가 없었다.

하지만 내부 간섭에 의한 속도분포는 조금 더 큰 차이를 보였다. LES모델의 경우 벽 근처의 경계층 효과에 의한 eddy형성이 RANS모델 보다 더 뚜렷하게 묘사되었다. 이러한 효과는 방출되는 유동에 영향을 끼쳤다. 그 결과, 외부로 방출되는 유동의 평균 속도는 RANS 모델의 경우 약 249.73 m/s로 계산되었고, LES 모델의 경우 약 262.30 m/s로 계산되었다.

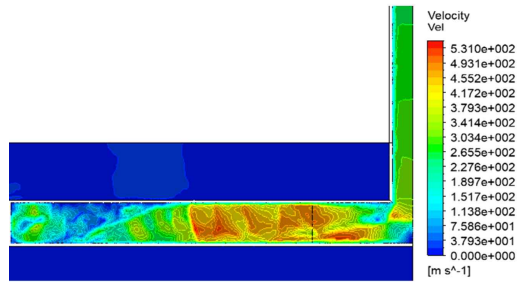
Figure 3.1.8은 소화노즐내부의 압력분포를 도시한 것이다. 속도분포에서 확인하였듯이, 노즐 내부에 존재하는 파동(fluctuation)의 형상을 LES 모델에서는 더 뚜렷하게 확인 할 수 있었다. 입구영역에서의 압력 값은 각각 RANS 모델과 LES 모델이 828.260 kPa과 842.487 kPa을 나타내었고, 출구 영역에서의 압력은 65.807 kPa과 58.033 kPa을 나타내었다.

소화 노즐 내부의 유동특성을 통해 유체의 온도변화를 예측할 수 있으며, Fig. 3.1.9에 계산된 온도분포를 도시하였다. 온도분포의 개형은 Fig. 3.1.7의 속도분포와 유사한 경향을 보였으며, 그에 따른 차이를 보였다. LES모델의 경우 노즐 끝단의 온도가 약 323 K까지 상승하며, 노즐 내부 온도변화가 잘 묘사되는 것을 알 수 있지만, RANS 모델의 경우는 노즐 끝단의 온도 상승이 크지 않고, 노즐 내부 온도변화가 상대적으로 적음을 보였다.

유동특성을 분석한 결과, 난류처리기법에 따른 입구영역과 방출영역에서의 속도, 압력 및 온도 값은 미미한 차이를 보였다. 하지만 eddy형성에 의한 유체의 파동모사에 의한 유동특성은 LES 모델이 더 뚜렷하게 나타내는 것을 확인하였다.

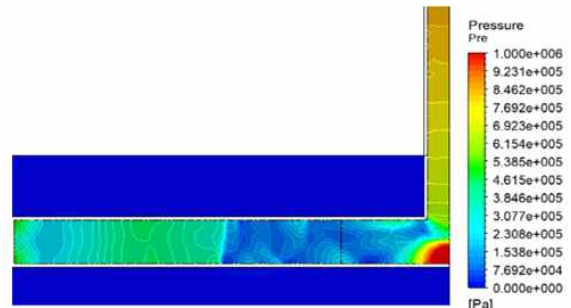


(a) RANS model

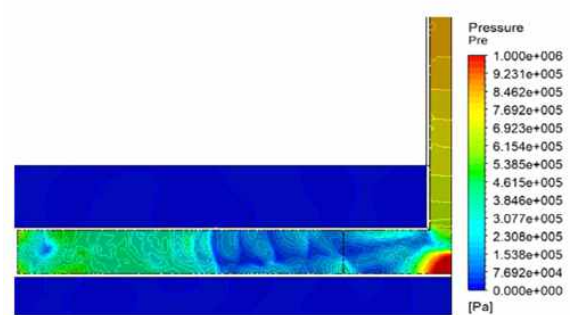


(b) LES model

Fig. 3.1.7 Comparison of velocity distributions between RANS and LES model.

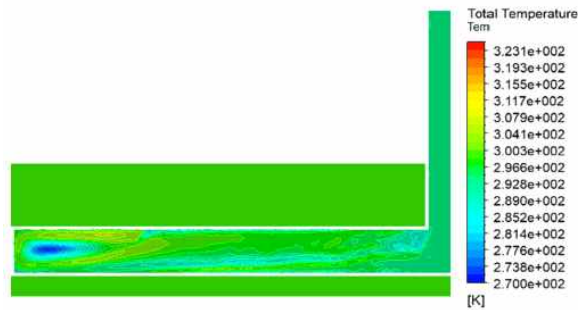


(a) RANS model

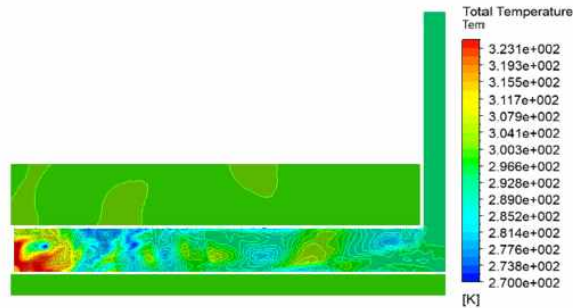


(b) LES model

Fig. 3.1.8 Comparison of pressure distributions between RANS and LES model.



(a) RANS model



(b) LES model

Fig. 3.1.9 Comparison of temperature distributions between RANS and LES model.

(마) 와동 점도

난류에 의한 운동량(momentum) 전달은 유체 내부의 마찰을 유발하며 이에 대한 정도를 와동 점도(eddy viscosity)로 표현할 수 있다. 이에 본 수치해석에서는 각 난류처리 기법에 대한 결과를 비교하였으며, 그 결과를 Fig. 3.1.10에 도시하였다. 와류를 검출하기 위해서는 속도 벡터와 와도 벡터의 내적을 절대값으로 나타낸 헬리시티(helicity)를 사용하였다. 시간 평균기법으로 난류응력(turbulent stress)항을 계산하는 RANS 모델의 경우 와동구조의 형태가 LES 모델과 비교하여 볼 때 뭉툭하며 모사되지 못하는 부분이 일부 존재함을 알 수 있다. 이는 LES 모델과 RANS 모델에 따른 난류 모사정도를 비교할 수 있으며, LES 모델이 난류를 더 세분화하여 넓은 영역에 분포한 것으로 모사함을 알 수 있다. 수치적으로는 헬리시티(helicity) 절대값이 RANS 모델의 경우 72040.9 m/s²로써 LES 모델의 116452 m/s² 보다 약 1.6배 정도 작게 계산되었다. 이 때문에 RANS 모델의 와동 점도는 일부 영역에 집중되어 LES 모델 보다 더 크게 계산됨을 알 수 있으며, 이러한 난류응력 계산의 차이는 소음도 주파수를 분석할 경우 차이를 보일 것으로 사료된다.

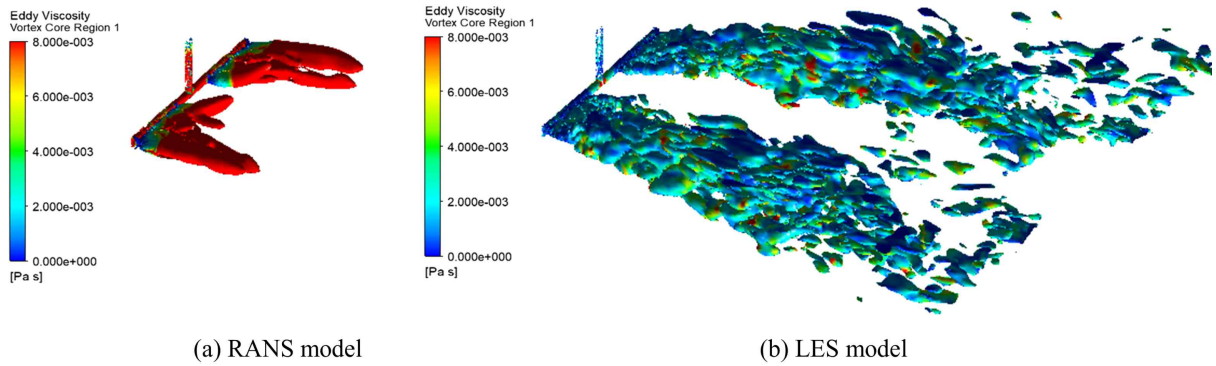


Fig. 3.1.10 Comparison of absolute helicity with eddy viscosity.

(바) 소음도

음향상사식에 의해 계산된 데이터는 FFT(Fast Fourier Transform)분석 방법을 사용하여 주파수 대비 소음도로 변환할 수 있다. 주파수 대역은 0~20 kHz까지 분석하였으며, SPL(sound pressure level)은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$SPL = 20 \log \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right) \quad (3.1.19)$$

여기서, p_{rms} 는 압력변동의 RMS(root mean square)값을 나타내며, p_0 는 기준 SPL 값인 2×10^{-5} Pa이다.

계산된 결과는 실험값과 비교되었으며, 각 데이터는 주파수 영역에 따라 도시하였다. Figure 3.1.11은 측정된 데이터의 신뢰성 검증을 위해 세 번의 실험 결과 값을 도시하였으며, 200 Hz미만의 결과를 제외한 모든 영역에서는 오차범위 5% 이내로 데이터가 측정됨을 확인하였다. 이에 본 수치해석에서는 200Hz 이상의 주파수 영역에서의 측정된 데이터를 평균화하여 수치해석결과 검증에 사용하였다.

주파수 영역에서의 소음도를 평균화하여 OSPL(overall sound pressure level)로 나타내었으며, 각 난류처리방법에 따른 결과와 실험값을 비교하여 Fig. 3.1.12에 도시하였다. LES값은

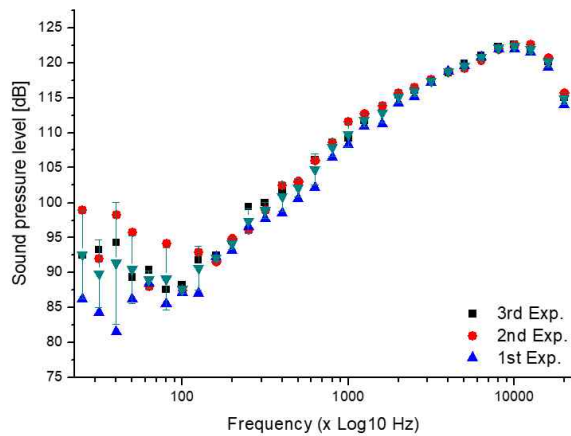


Fig. 3.1.11 Results of the experiments.

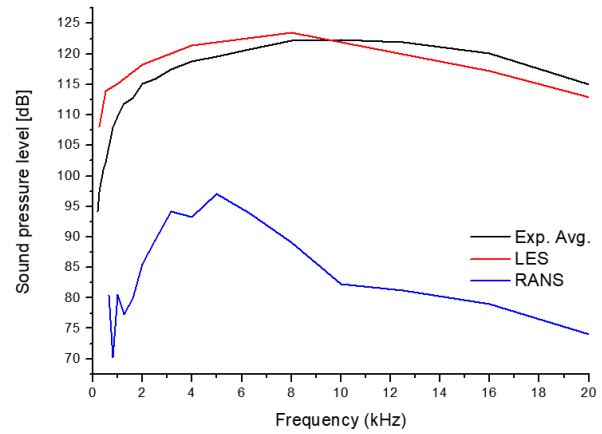


Fig. 3.1.12 Comparison of the results.

실험 평균값과 미비한 차이가 있으나, 서로 유사한 경향을 가지는 것에 비해 RANS모델은 다른 경향을 띄는 것을 알 수 있다.

실험에서 얻어진 OSPL 값은 130.1 dB이며, LES 모델과 RANS 모델은 각각 127.75 dB, 101.81 dB가 계산되었다. 이에 따른 오차 또한 Fig. 3.1.13에 도시하였는데, LES 모델결과와 실험 평균값은 약 1.8%의 오차를 보였지만, RANS 모델결과는 약 21.8%의 큰 오차를 확인할 수 있다.

이러한 이유는 RANS 모델의 경우 난류처리에 있어서 앞서 기술한 것과 같이 모든 난류에 대해 시간평균기법을 사용하여 모델링하게 되고, LES모델에 비해 난류 섭동을 자세하게 묘사하지 못하기 때문이다.

유체의 속도와 압력분포 예측에 있어서는 유사한 경향을 묘사하는 것을 확인하였지만, 난류 운동량과 점도에 있어서는 큰 차이를 보이는 것을 확인했다. 이는 RANS 모델이 유동의 파동과 eddy를 효율적으로 묘사하지 못하는 부분이 많아, 유동해석 및 소음해석에 반영된 결과로 사료된다. 이러한 결과는 RANS 모델은 LES 모델에 비하여 상당한 계산 절감 효과를 보이지만, 진폭 및 주파수 영역에 대한 예측을 올바르게 하지 못한다는 결과를 발표하였다.

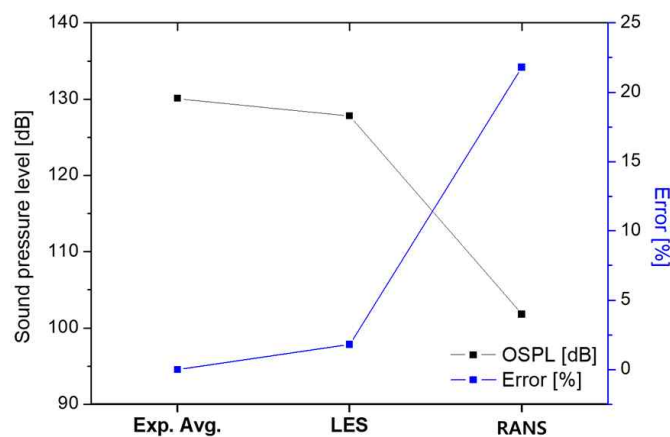


Fig. 3.1.13 Comparison of OSPL and error results.

(사) 결론

본 수치해석에서는 가스계 소화시스템의 소음도 계산과 소화 약제의 유동특성을 상용코드인 ANSYS FLUENT ver. 18.1을 이용하여 계산하였다. RANS 모델과 LES 모델을 이용하여 유동해석을 진행하였고, Ff-WH(Ffowcs Williams-Hawkins)음향상사식을 이용하여 소화 노즐의 배기소음을 수치적으로 계산하였다. 시간평균기법을 사용하는 RANS 모델은 LES 모델과 비교하였을 때, 전체적인 유동특성은 유사하게 모사가 가능하나, 국소적인 부분과 난류 운동량 및 점도에서 많은 차이를 보였다. 따라서 고해상도의 주파수 영역의 소음 에너지 분석을 위해서는 LES 모델이 더 효과적이며, 잘 예측하는 것을 확인하였다.

(4) 최적 설계

(가) 기본 개념

효율은 투자한 자원에 대비하여, 얻어지는 성과를 비율을 가지고 나타내게 되는데, 최적(optimum)이라는 것은 한정된 조건에서 발휘할 수 있는 최고의 효율을 갖는 것을 말한다. 따라서 최적설계(optimum design)는 시스템이 갖는 제약조건을 모두 만족하며, 최고의 성능을 발휘하도록 설계하는 것을 의미한다. 이 때문에 시스템이 가지고 있는 설계변수(design variable)가 성능지표에 미치는 영향력을 조사하는 것은 필수적이며, 이를 민감도 분석(sensitivity analysis)라고 한다. 민감도가 분석된 설계변수들은 수학적 모델을 통해 최적의 조합을 찾아지며, 이러한 과정을 최적설계라고 한다.

최적화 문제는 설계변수, 목적함수(objective function), 그리고 제약조건 형태로 구성되며, 수학적으로 형성한 일반적인 형식은 다음과 같이 정의한다.

$$\text{Minimize} : F(x) \quad (3.1.20)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to} : h_i(x) &= 0 \quad i = 1, \dots, m \\ &: g_j(x) \leq 0 \quad j = 1, \dots, p \\ &: x^L \leq x \leq x^U \end{aligned} \quad (3.1.21)$$

최적설계 문제에서 설계변수에 따른 목적함수와 제약조건식들이 모두 선형함수인 것을 선형계획문제(linear programming problem)라고 하며, 그렇지 않은 문제에 대해서는 비선형계획문제(nonlinear programming problem)라고 한다. 각각의 문제에서 최적해를 구하기 위한 알고리즘은 다양하게 개발이 되고 있으며, 다양한 영역에서 사용되고 있다.

일반적으로 엔지니어링 설계 문제는 허용 가능한 범위 내에서 최적의 설계점을 찾기 위해 매개변수연구(parameter study)를 수행하여 해결한다. 그러나 입력과 결과 간의 관계는 항상 선형적이지 않으며, 상호작용에 의한 영향 또한 고려해야 하기 때문에 매우 복잡한 경우가 많다. 따라서 그들의 관계를 수학적으로 정의내리기는 어려우며, 과거에는 실험을 통해 그들의 관계를 관찰하였다. 그러나 현대의 컴퓨터 개발로 인해 많은 영역에서 CFD(computational fluid dynamics)와 같은 컴퓨터 실험이 이러한 실험을 대체하는 데 사용되며, 시간과 비용을 줄이는 데 큰 도움이 된다. 이에 따라 최적설계 기법은 실험뿐 아니라 컴퓨터 실험과 결합되면서 점점 더 진화하게 되었으며, 이미 많은 분야에 있어서 활발하게 사용되고 있다.

본 수치해석에서 사용된 최적설계는 컴퓨터 실험을 사용한 최적설계로써, 그 과정을 Fig.

3.1.14에 도시하였다. 설계변수를 선정하고, 제약조건을 만족하도록 설계공간(design space)을 구성한다. 문제해결을 위한 목적함수를 정의하고, 구성된 설계공간에서 얻어진 정보를 분석하여 최적 설계안(optimal design)을 찾는다. 확보된 최적 설계안이 시스템 제한조건에 모두 만족하는지를 재검토하여 최종의 설계안이 선택하는 과정으로 최적설계를 진행하였다.

최소화된 목적함수는 유체의 충격파로부터 발생하는 충격소음을 저감하기 위해 압력차로 설정하였으며, 다음과 같이 정의된다.

$$F(x) = |p_{ref} - p(x)| \quad (3.1.22)$$

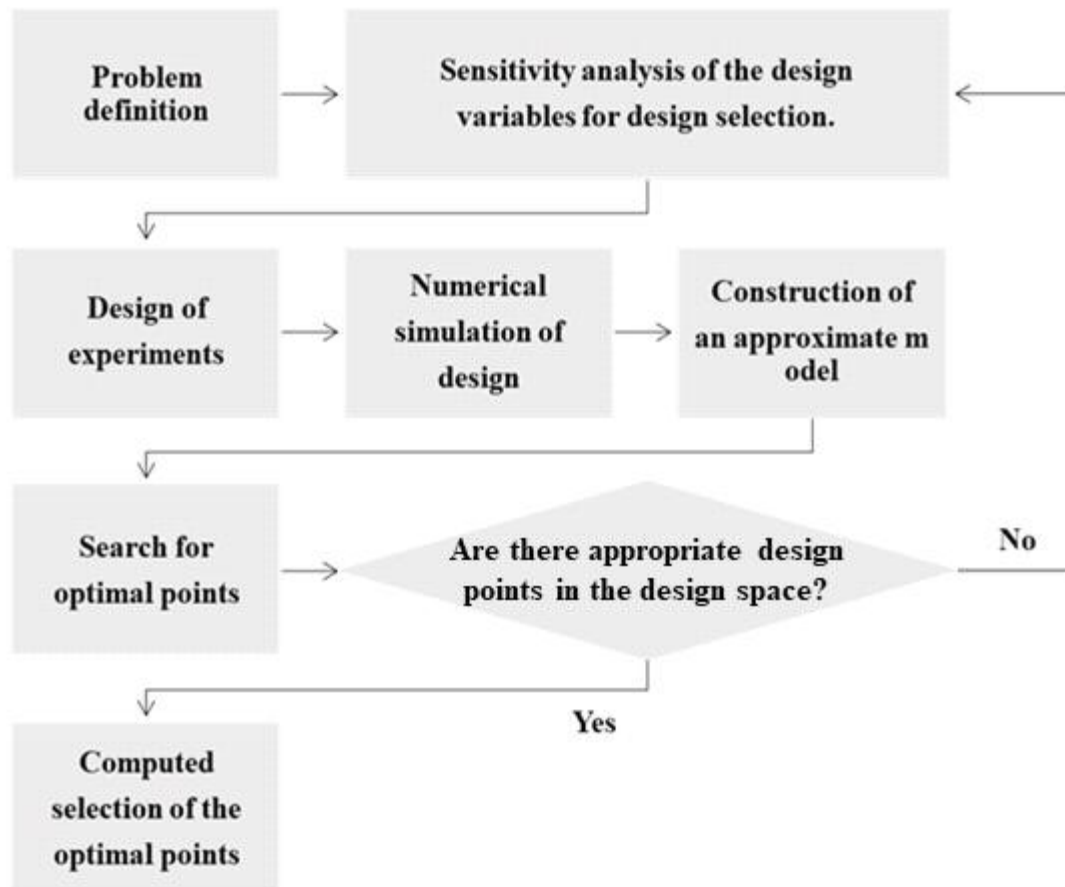


Fig. 3.1.14 Optimization flow chart in this study.

(나) 실험계획법

문제형성이 된 최적화의 첫 단계는 설계변수를 선정하는 것이며, 가능한 상호 독립적인 인자를 선택하는 것이 좋다. 이들은 반드시 설계공간에 존재해야하며, 결과에 대해 각각 다른 영향력을 갖는다. 설계공간이 제한되어 있기는 하지만, 포함할 수 있는 설계변수의 양은 무수히 많기 때문에, 이를 모두 조사한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

일반적으로 실험계획법은 불확실성 정량화(uncertainty quantification)로 불리며 많은 방법이 제안되었지만, 최근 공학실험 외에 전산응용공학(computer aided engineering)에도 적용되면서 전산실험을 계획하는 현대 실험계획법과 실제실험을 계획하는 고전 실험계획법으로 나누게 되었다. 현대 실험계획법의 가장 큰 특징은 전산실험을 기반으로 수행되기 때문에 무작위 오차(random error)에 대해 무시할 수 있다는 점이다. 실제 실험에서는 동일한 입력

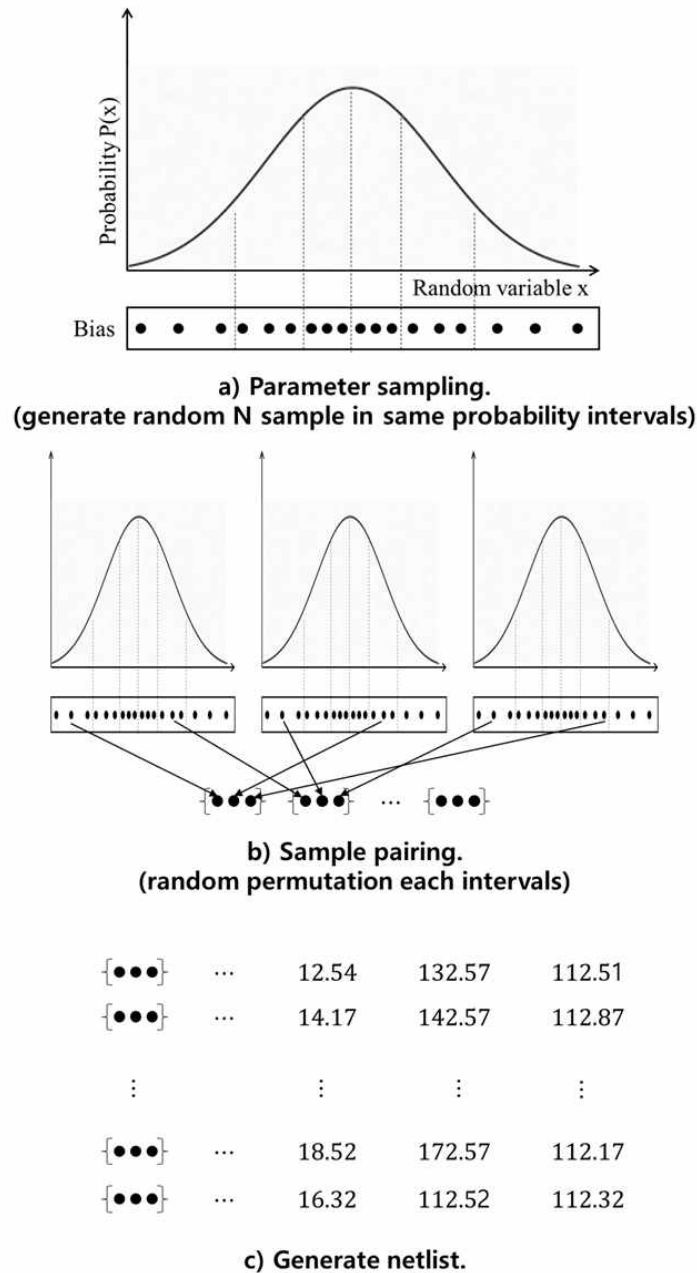
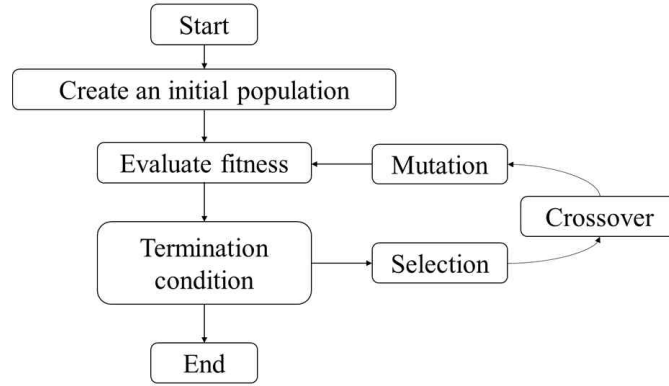


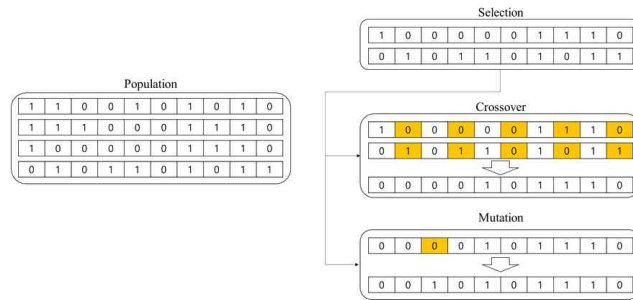
Fig. 3.1.15 Design of experiment process by Latin hypercube sampling.

에 대해 같은 결과를 얻을 수 있다는 확신이 없기 때문에 고려되어야 했던 점이나, 전산실험은 동일한 입력에 대해 같은 결과를 얻을 수 있기 때문에 이러한 차이가 생기는 것이다. 따라서 현대 실험계획법은 추세 정보를 정확하게 추출하기 위해서 설계 공간을 채우기 방식(space filling design)으로 구성이 되며, quasi-Monte Carlo sampling, orthogonal array sampling, and Latin hypercube sampling(LHS)과 같은 방식이다.

LHS는 pseudo-Monte Carlo sampling 방법의 대안으로 다차원 시스템에서 효과적인 분석을 하는 방법으로, 함수의 평균값을 기존의 샘플링 방법보다 정확하게 예측할 수 있는 기능이 있는 것이 특징이다. 설계공간은 설계변수에 따라 구성되는데, 다수의 설계변수로 이루어진 다차원의 공간을 hyperspace라고 하며, LHS는 이러한 공간을 동일한 크기로 나누게



a) Flowchart of genetic algorithm



b) Conceptual diagram of genetic algorithm

Fig. 3.1.16 Concept of genetic algorithm.

된다. 나뉜 hyperspace는 단위 hypercube로 구성되며, 각 단위에서 임의의 샘플을 생성하게 된다. 각각 독립적으로 생성된 hypercube와 샘플들은 조합 방법을 통해 조합이 구성되고 주어진 모든 차원에서 반복 실행된다(Fig. 3.1.15 참조).

(다) 유전자 알고리즘

실험계획법으로부터 얻어진 데이터 집단은 유전자 알고리즘(genetic algorithms)을 사용하여 반응표면을 구성하고 분석되었는데, 자연선택, 적자생존, 그리고 돌연변이 등 생물 진화 원리와 유전학의 법칙을 응용하여 알고리즘 한 것을 유전자 알고리즘이라 한다.

설계변수는 자연 유전학의 염색체에 해당하는 문자열(string)로 표기가 되며, 각 문자열의 적합성(fitness)을 평가하게 된다. 가장 좋은 평가를 받은 열은 짝을 이루며, 크로스오버(crossover)를 통해 자손을 생성한다. 적합성이 중간이상인 문자열들은 다음 세대까지 살아남게 되며, 반복되는 평가와 결합주기로 고품질의 특정 패턴들로만 구성된 세대가 남게 된다(Fig. 3.1.16 참조). 유전자 알고리즘을 사용한 반응표면은 다음과 같은 수식(ensemble)으로 정의될 수 있으며, 이는 가중 평균(weighted average)의 메타 모델 (metamodel)을 사용한다.

$$\hat{y}_{ens}(x) = \sum_{i=1}^{N_M} w_i \cdot \hat{y}_i(x) \quad (3.1.23)$$

$$\sum_{i=1}^{N_M} w_i = 1 \quad \text{and} \quad w_i \geq 0, 1 \geq i \geq N_M \quad (3.1.24)$$

가중 계수 값(weight factor values)을 최적화하기 위해 $\hat{y}_{ens}$ 의 RMSE(root mean square error)와 동일한 설계변수에서 $\hat{y}_{ens}(PRESS_{RMSE})$ 을 교차검증(cross-validation)을 기반으로 최소화 한다.

$$RMSE(\hat{y}_{ens}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y(x_j) - \hat{y}_{ens}(x_j))^2} \quad (3.1.25)$$

$$PRESS_{RMSE}(\hat{y}_{ens}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y(x_j) - \hat{y}_{ens-j}(x_j))^2} \quad (3.1.26)$$

$$\hat{y}_{ens-j}(x) = \sum_{i=1}^{N_M} w_i \hat{y}_{i,-j}(x) \quad (3.1.27)$$

Figure 3.1.17은 유전자 알고리즘을 사용한 반응표면을 도시한 것이다. 각 변수에 따라 다른 반응표면이 생긴 것을 확인하였으며, 생성된 반응표면으로부터 최적설계점(optimal point)을 도출하게 된다.

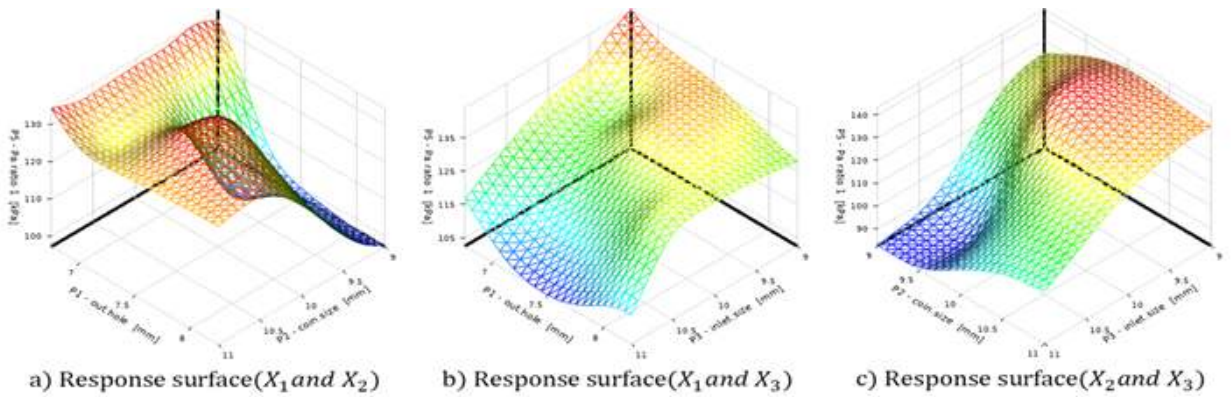


Fig. 3.1.17 3-D distributions of response surface.

나. 저소음 노즐 시뮬레이션 및 실험 평가

(1) 소음저감 방법

유동소음을 저감하기 위한 방법으로는 음의 에너지가 흡수에 의해 감소되는 흡음(sound absorption)과, 물체에 들어온 소리를 차단하여 투과시키지 않는 차음(sound insulation)으로 나눌 수 있으며, 선행 연구와 여러 산업분야에서 사용되고 있는 소음저감 기술을 다음과 같이 정리하였다.

(가) 흡음재의 두께 및 개수

흡음재를 이용한 소음저감 방법의 경우 유로의 벽면이나, 내부 혹은 방출구 외부에 금속 등 재료의 다공성 매체를 적용하여 기체의 운동에너지 및 음향에너지를 열에너지로 소산시키는 원리이다. 흡음재의 소음 감쇠량은 일반적으로 흡음재 두께와 길이에 비례하고, 중 주파수 및 고 주파수 영역에서 높은 소음저감 효과를 얻을 수 있다. 공간적인 제한이 적어 다른 소음저감 구조와 조합하여 사용되는 보편적인 방법이다.

(나) 공명기(resonator)구조

공명기 구조는 형성된 공동(cavity)에 의해 생성된 공명이 유동의 주파수 영역대와 서로 부합하여 에너지를 상쇄하는 원리로서 소음저감 효과가 뛰어나지만 주유동의 직경과 길이에 따라 공진 주파수가 변화하는 특징이 있고, 감쇠 성능을 증가시키기 위해서는 공진기의 체적을 증가시켜야 하는 단점이 있다. Frank, F.의 저서 “Foundations Engineering Acoustics” 에서 Side branch 공명기에 대한 소음 감쇠효과를 서술하고 있으며, 공명기에서 덕트로 공기가 진동하며 발생하는 저항은 넓은 공간에서의 공기 저항보다 효과가 높으므로, Fig. 3.2.1과 같이 더 큰 유효 대역폭의 소음 감쇠 곡선을 갖는다는 것을 확인하였다.

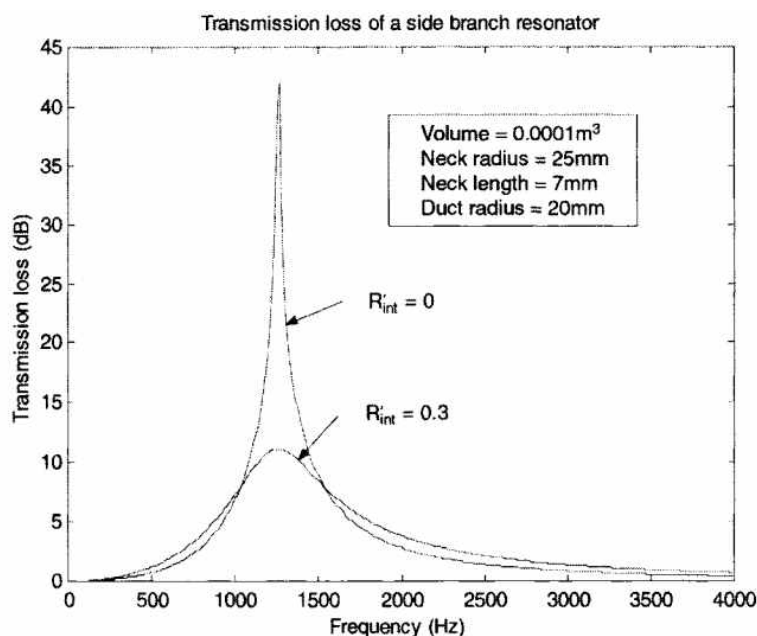


Fig. 3.2.1 Transmission loss produced by a side branch resonator.

출처: Frank, F. "Foundations of Engineering Acoustics" Academic Press, (2000): p. 211.

(다) 실린더 내부 배플

총기 소음기 등에 주로 사용되는 배플 구조물은 방출가스의 점진적 팽창을 유도하여 방출 소음을 저감하는 원리이다. Hafizur 등 은 3점의 배플(baffle)을 이용한 총포소음기를 수치적으로 분석하였으며, 그 결과 20 dB의 소음을 저감하는 것을 확인하였다. 또한 방출 압력은 약 90%가 저감되었으며, 이로 인해 충격 소음(impulsive sound) 저감효과가 있음을 확인하였다.

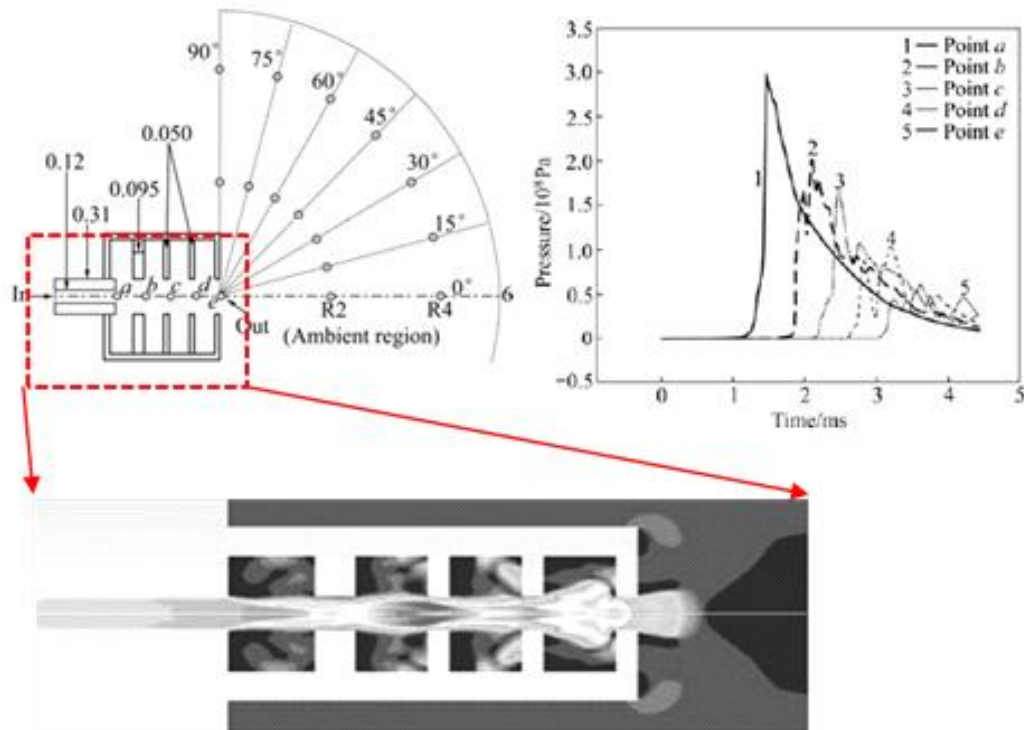


Fig. 3.2.2 pressure graph at five different points inside silencer and blast wave diagram

출처: Rehman, Hafizur, et al. "CFD analysis of sound pressure in tank gun muzzle silencer." Journal of Central South University of Technology 18.6 (2011): 2015-2020.

(라) 노즐관 직경비

일반적으로 노즐관의 직경은 유로의 면적변화로 인한 배압을 억제하고 난류발생으로 인한 기류소음 발생을 막기 위해 유로변경을 최소화 한다. 전승태, 김종현, 이근호의 “에어노즐의 소음저감 대책에 관한 연구” (2003) 에 따르면 노즐 구멍이 갑자기 작아지는 지점에서 큰 난류로 인해 많은 소음이 발생하고, 특히 직경 비율이 12:8보다 크면, 유동 속도가 급속히 증가하며, 소음 수준이 10 dB (A)이상 증가한다고 서술하고 있다. K. Sudarshan, et. al의 “Acoustic Impact of Fire Suppression Nozzles” 은 화재 진압 노즐의 음향 영향을 알아보기 위해 오리피스 제트 흐름에 대한 연구를 수행하였다. 직경 8mm의 출구 오리피스를 통해 압력비 3-10로 가스를 방출하며 유동소음을 측정된 결과, 압력비 3-9의 경우, 최대 130 dB 이상의 높은 소음이 측정되었으나, 압력비가 10일 때의 소음은 큰 폭으로 감소하여 약 118 dB 수준의 유동소음이 측정되었다. 이는 방출 압력비와 오리피스 크기에 따라 소음 수치가 달라질 수 있음을 의미한다.

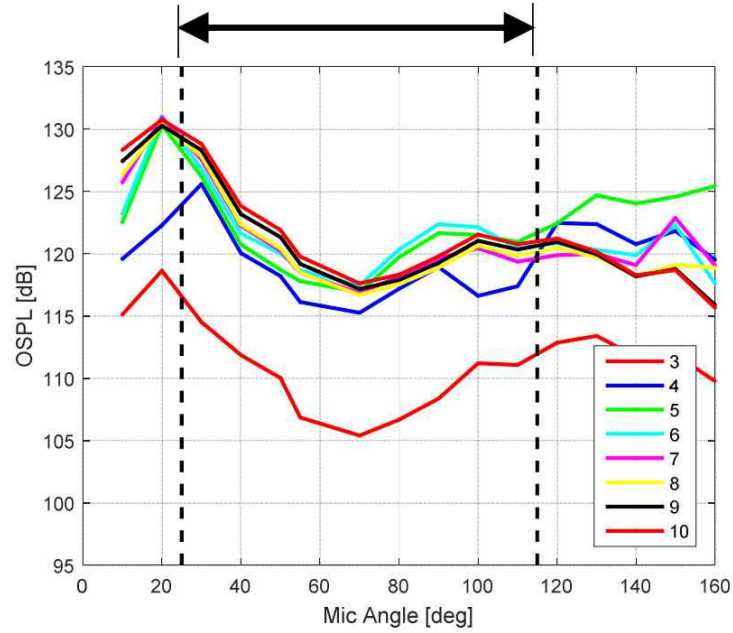


Fig. 3.2.3 Acoustic radiation from 8 mm orifice

출처: Koushik, Sudarshan, et al. "Acoustic Impact of Fire Suppression Nozzles." *The Suppression, Detection, and Signaling Research and Applications Conference (SUPDET 2017)*

(2) S-Type 소화 노즐 최적 설계

(가) S-Type 소화 노즐 시뮬레이션 1

유동소음 저감을 위한 대책으로는 소화노즐 내부에 가운데 구멍이 있는 격벽(baffle)과 흡음재(porous)를 설치하였으며, Fig. 3.2.4에 도시하였다. 설계된 모델은 T형 커넥터를 기준으로 한쪽에 10개의 격벽이 설치되어 총 20개의 격벽과 흡음재가 적용되었다. 격벽에는 소화 약제가 통과할 수 있는 구멍이 있으며, 구멍의 지름과 흡음재의 다공성(porosity)은 본 수치 해석의 매개 변수로 선정되었다. 변수에 따른 모델은 총 5개로 기본 모델과 비교되었으며, 각 모델에 대한 변수 값은 Table 3.2.1에 도시하였다.

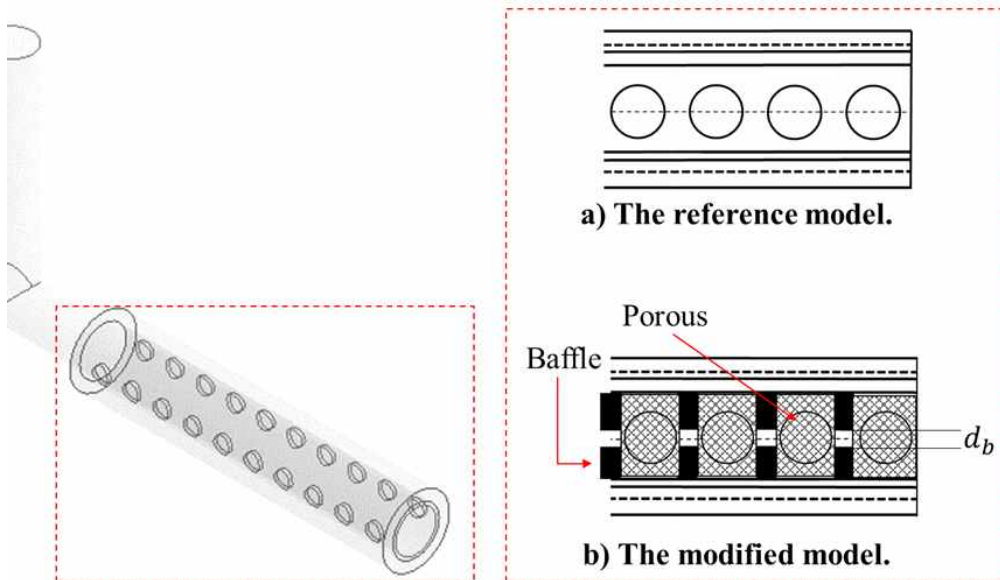


Fig. 3.2.4 Comparison of the geometry between reference and modified model.

Table 3.2.1 Design specifications of extinguishing models.

Description	Diameter ratio (d_b/d_0)	Porosity [-]
Reference model	1	X
Case 1	1.3	
Case 2	1	
Case 3	0.7	0.7
Case 4	1.3	
Case 5	1.3	
		0.4

① 속도벡터

Figure 3.2.5에는 기본모델과 각 case에 따른 속도 벡터분포를 도시하였다. 강한 압력의 소화 약제는 T형 커넥터에 의해 급격하게 운동 방향이 바뀌었으며, 노즐 내부 벽면의 경계층 효과와 결합하여 eddy가 형성되는 것을 확인하였다. 이에 따라 가스계 소화 노즐 내부에서 강한 파동변동이 눈에 띄게 확인되었으며, 방출구를 지남에 따라 서서히 감소하는 형

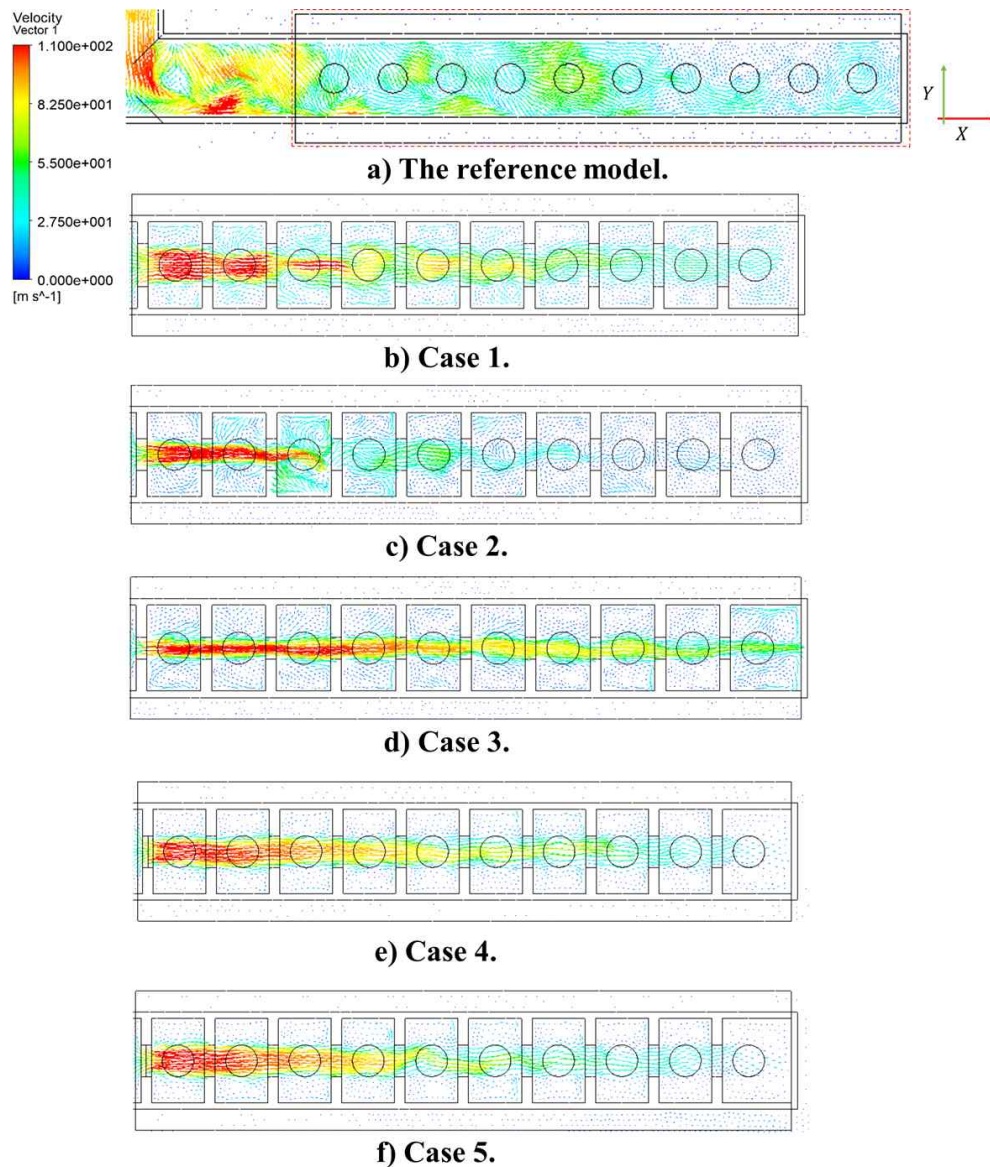


Fig. 3.2.5 The comparison of the velocity vector distributions with various cases.

태를 보였다. 이러한 유동특성은 유동소음의 원인이 될 수 있으며, 특히 사중극에 의한 난류소음에 원인이 될 수 있다.

격벽과 흡음재에 대한 영향을 비교해보면 격벽으로 인해 기본모델에서 나타났던 eddy는 감소함을 보였다. 하지만 속도에너지가 격벽 중심으로 집중되는 것을 확인하였으며, 흡음재는 격벽과 격벽 사이의 유동 방향을 고르게 형성시켰다.

② 온도구배

가스계 소화설비의 소화방법은 크게 질식효과와 냉각효과에 의해 작용되며, 특히 냉각효과와는 압축된 유체를 좁은 관이나 구멍을 통해 팽창시키는 쓰로틀링(throttling process)과정으로 인해 더욱 상승하게 된다. 이에 본 수치해석에서 사용된 여러 가지 case에 대한 온도구배를 Fig 3.2.6에 도시하였다.

기본 모델은 소화노즐 내부의 온도변화가 존재하기는 하지만, 크게 변함이 없는 것을 확인하였다. 이에 비해 case 1의 경우 소화노즐 내부의 설치된 배플(baffle)을 통과하면서 쓰로틀링 과정이 발생하게 되고, 이로 인해 소화약제의 온도가 저감됨을 알 수 있다. 하지만, case 4의 경우 case 1에 비하여 소화약제의 온도가 상승함을 확인할 수 있는데, 이는 소화

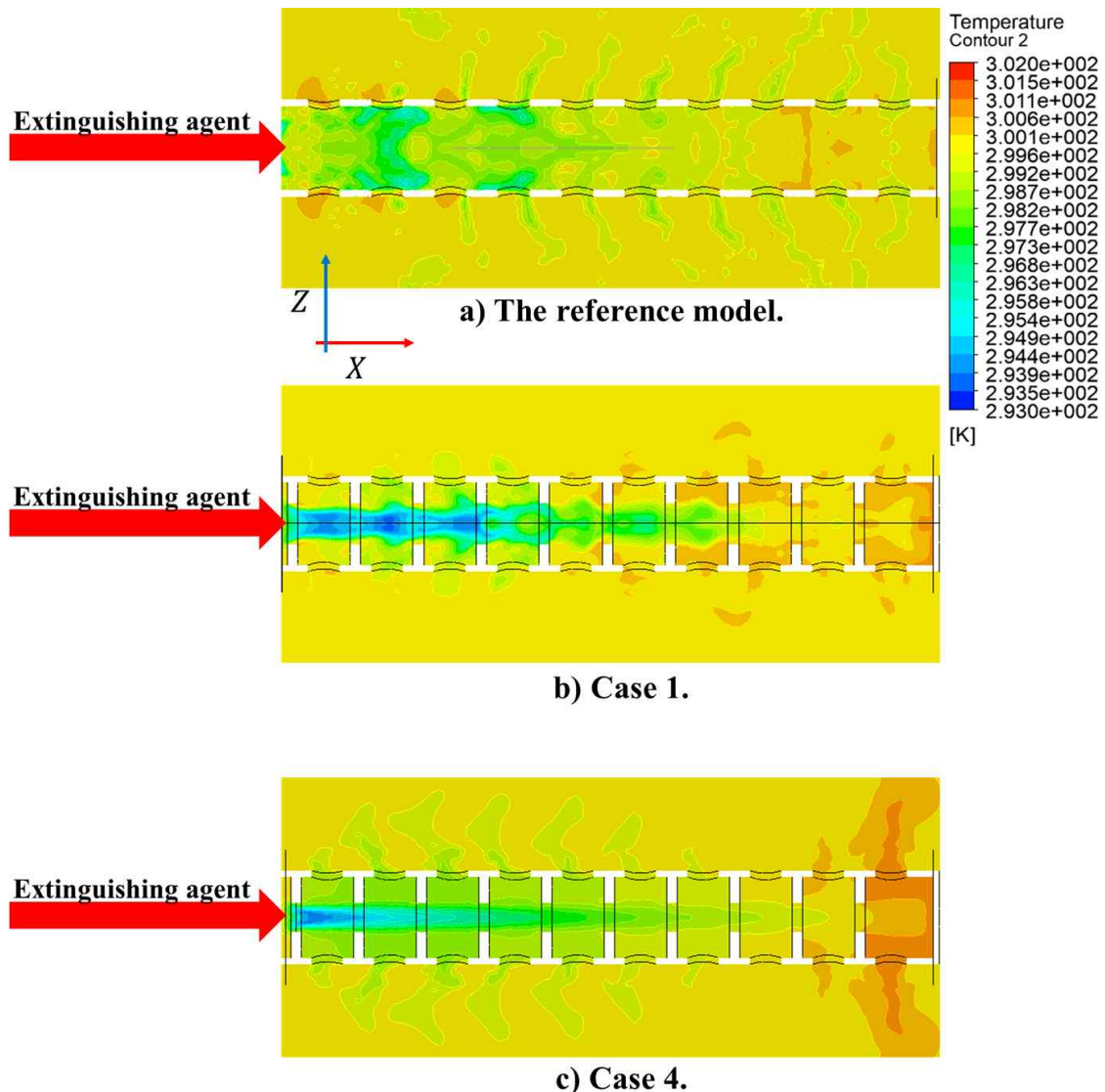


Fig. 3.2.6 The temperature distributions with various cases.

노즐 내부에 설치된 다공성 흡음재는 소화약제와의 마찰로 인해 진동 및 소음 에너지가 열 에너지로 전환되기 때문인 것으로 보인다.

③ 유동소음

FW-H모델로 전파된 유동의 소음을 예측하였으며, Fig 3.2.7에는 소음을 측정하기 위한 각 측정(measuring point)점을 도시하였다. T형 커넥터에 제일 가까운 부분부터 3점에 대해 압력과동 정보를 확보하였으며, 유동소음상사를 사용하여 소음을 예측하였다. 예측된 유동소음은 FFT(fast Fourier transform)를 사용하여 주파수 영역으로 변환되었으며, 정량적 수치는 SPL[dB]로 표기된다. 또한 관심 주파수 영역은 0-12.5 kHz이다.

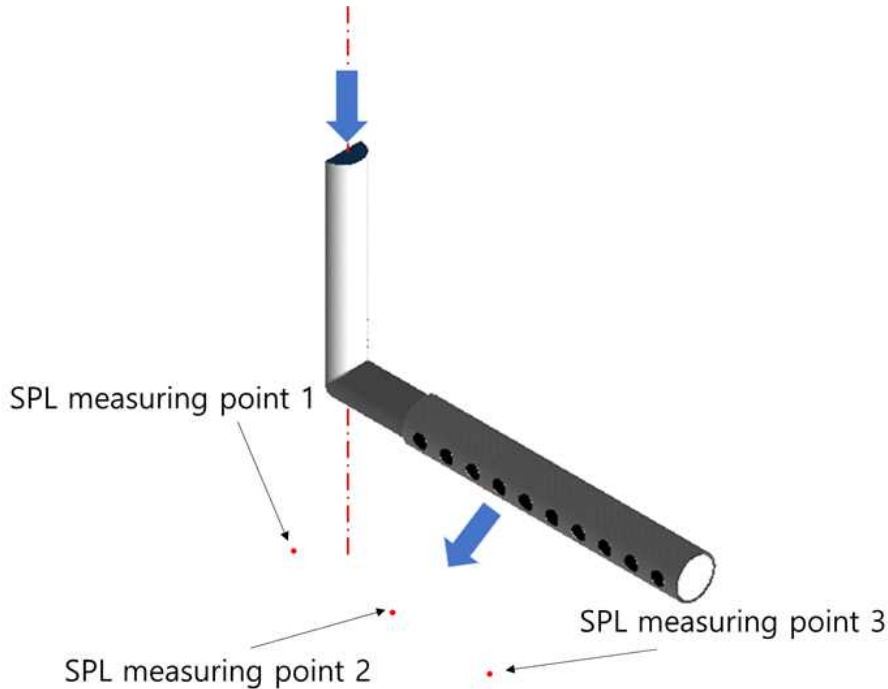


Fig. 3.2.7 The schematic of monitor points.

기본 모델 각 모니터 점에 따른 유동소음은 주파수 영역에 대해 Fig. 3.2.8에 도시하였다. 전체 소음의 양은 각 모니터 점에 따라 차이가 있긴 하지만 유동소음 특성은 세 점에서 모두 유사함을 확인 할 수 있었는데, 약 1.8 kHz 지점에서 모두 피크(peak) 소음을 띄는 모습을 보였다. 이는 유체의 충격과 난류 구조 사이에서 발생하는 충격소음(shock noise)임을 알 수 있다.

Figure 3.2.9에는 각 case별 유동소음을 주파수영역에 맞추어 도시하였으며, Fig 3.2.10에서 기본모델대비 각 case의 유동소음을 백분율로 나타내어 저감율을 확인하였다. 격벽에 의한 소음 저감은 case 3이 되어서야 큰 영향을 보였으며, 다공성에 대한 영향은 피크소음(peak noise)을 저감시키는데 큰 역할을 함을 알 수 있었다. Figure 3.2.11은 각 case에 대하여 스윙의 속도 구배 텐서의 판별 양수 값(swirling discriminant)으로 스윙에 흐름 패턴을 나타내었으며, 스윙속도 구배를 색깔로 나타내었다. 이는 격벽만으로 이루어진 case 1에서는 스윙의 형상이 변화는 있지만 큰 효과가 없는 것을 보이며, 다공성 매개체가 적용된 case 4는 눈에 띄게 저감된 것을 확인하였다.

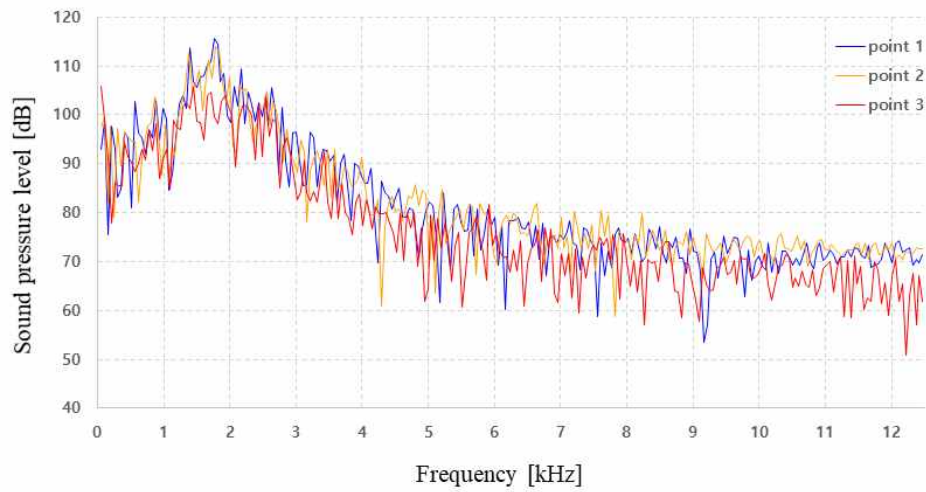


Fig. 3.2.8 The SPL distribution of monitor points with frequency.

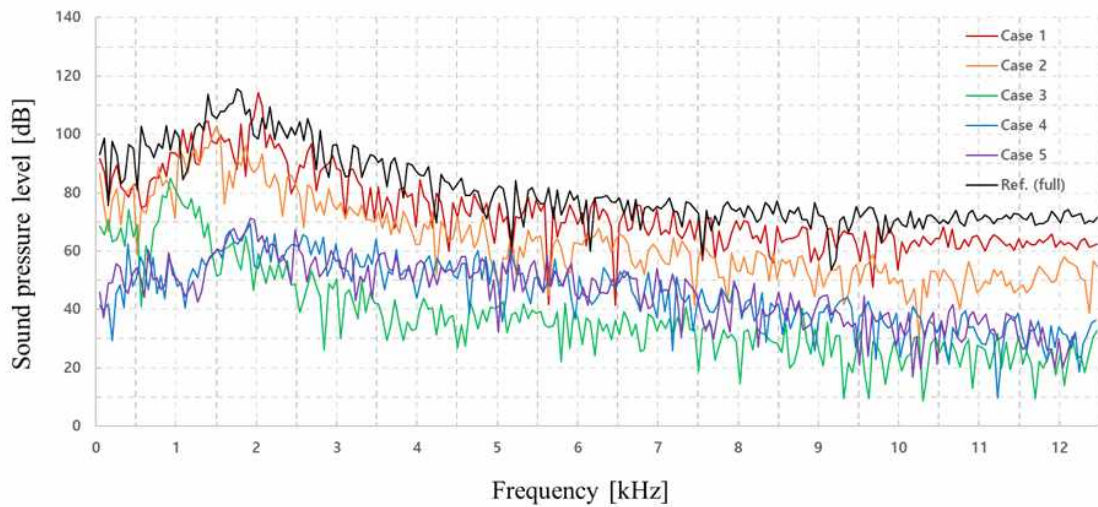


Fig. 3.2.9 The SPL distribution of various cases with frequency.

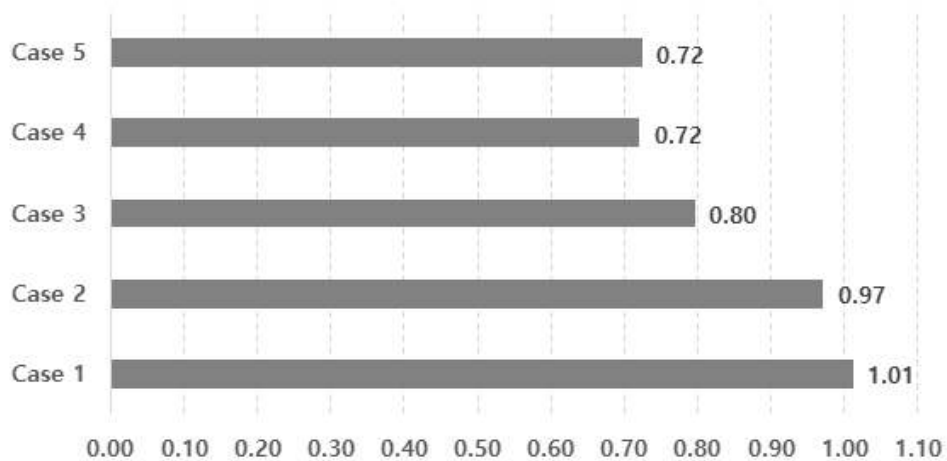
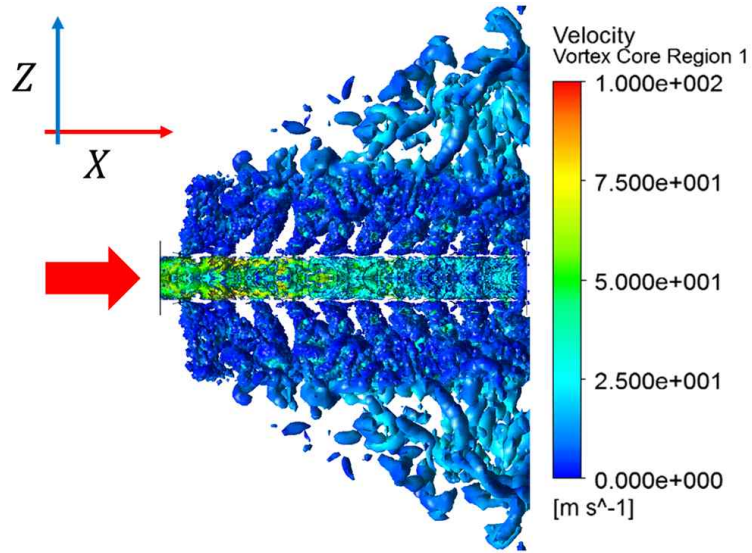
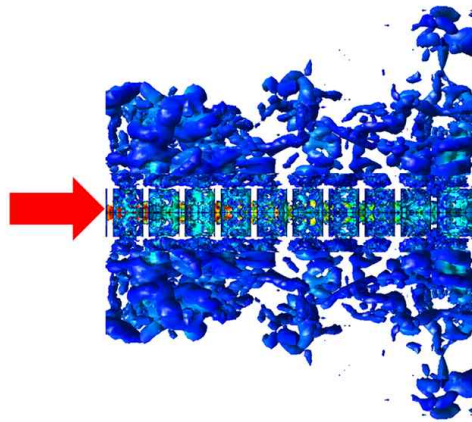


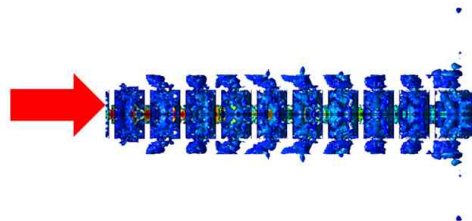
Fig. 3.2.10 The SPL value compared to the reference model.



a) The reference model.



b) Case 1.



c) Case 4.

Fig. 3.2.11 The swirling discriminant distributions with various cases.

(나) S-Type 소화 노즐 시뮬레이션 2

유동소음 저감을 위한 두 번째 대책으로 소화노즐 유입구와 방출구의 사이즈를 조절하였으며, Fig. 3.2.12 에 도시하였다. reference 모델의 방출구 직경은 7.5 mm이며, case에 따른 방출구 직경을 아래 표에 도시하였다. case 4의 경우, 노즐 유입구에 오리피스(orifice)를 적용하여 유입유로 면적 축소 및 배압 조정을 통해 유량을 조절하였다. 서술한 각 모델별 형상변수를 Table 3.2.2 에 정리하였다.

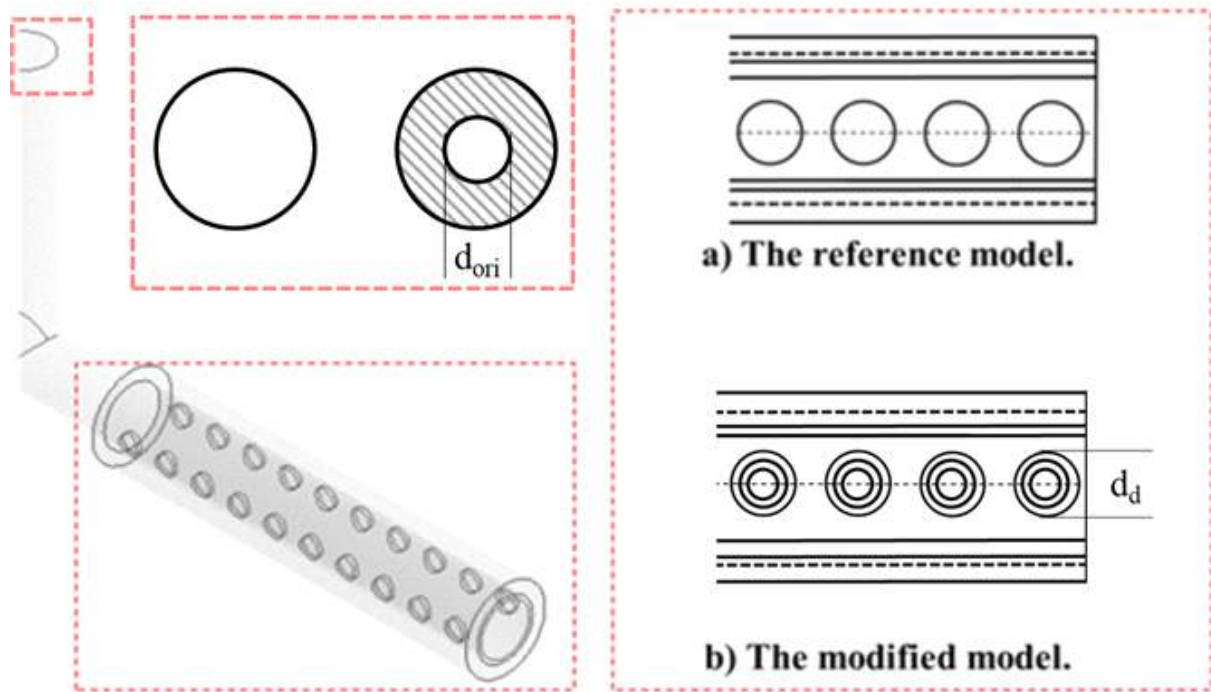


Fig. 3.2.12 Comparison of the geometry between reference and modified model.

Table 3.2.2 Design specifications of extinguishing models.

Description	Discharge hole diameter	Orifice diameter
Reference model	7.5	
Case 1	10	X (20mm)
Case 2	5	
Case 3	3	
Case 4	3	14 mm

① 속도벡터

Figure 3.2.13에는 기본모델과 각 case에 따른 속도 벡터분포를 도시하였다. 기준 모델에 비해 방출구가 커진 Case 1의 경우, 유동의 속도가 높은 부분이 증가하였음을 확인할 수 있고, Case2, 3의 경우, 방출구멍의 크기가 감소할수록 유동의 속도가 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 노즐 목 부분에 오리피스가 장착된 Case 4의 경우, 유동의 속도가 전체적으로 가장 느린 것을 확인하였다.

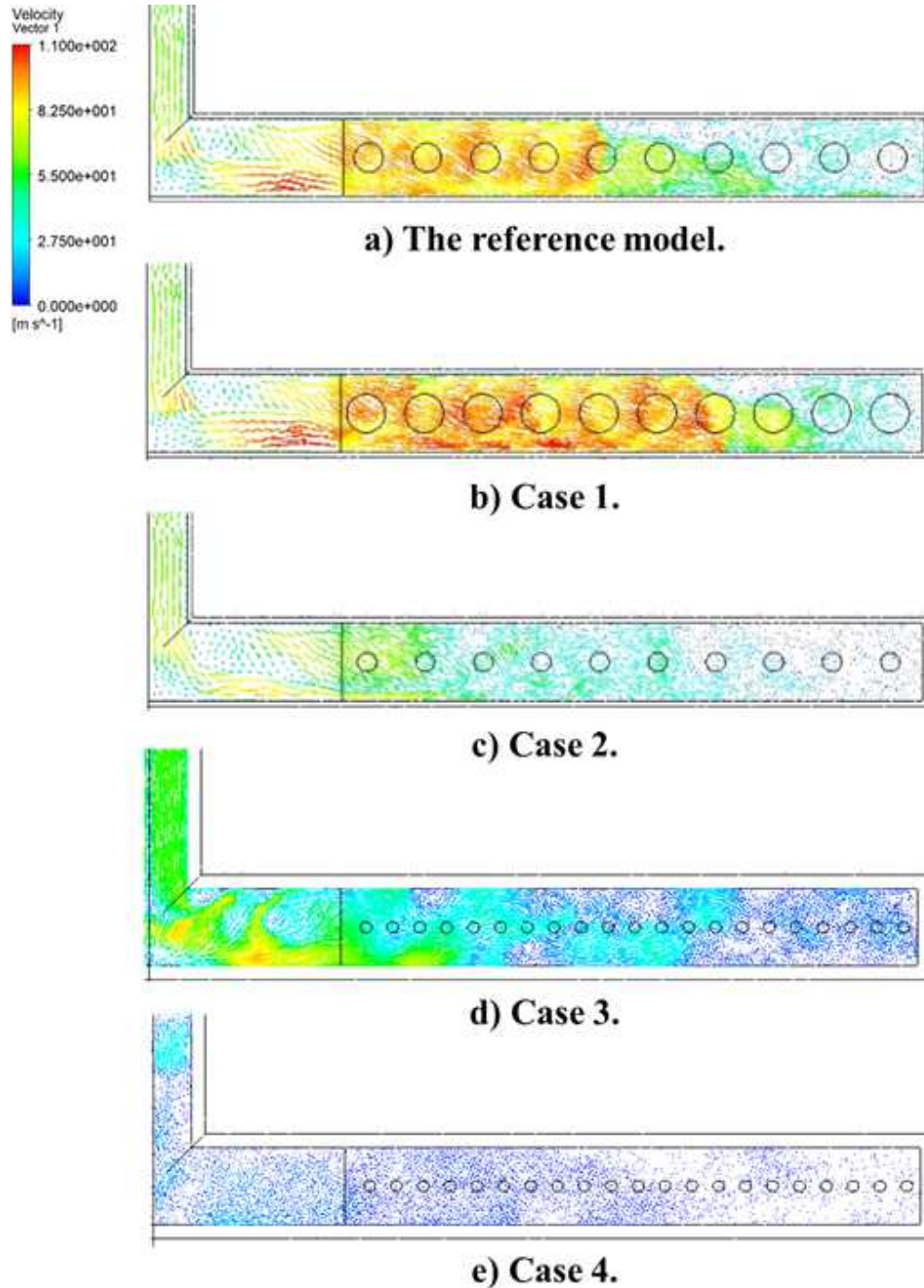


Fig. 3.2.13 The comparison of the velocity vector distributions with various cases.

② 유동소음

FW-H모델로 전파된 유동의 소음을 예측하였으며 Fig 3.2.14에서 기본모델대비 각 case의 유동소음을 백분율로 나타내어 저감율을 확인하였다. Case 2의 경우, 기준 모델보다도 더 높은 수치의 소음이 예측되는 것을 확인할 수 있으며, 오리피스가 적용된 Case 4의 경우 기준모델 대비 5% 정도의 소음저감 효과가 있음을 알 수 있다. 전체적으로 방출구의 크기와 오리피스 적용에 따른 유동속도의 큰 차이에도 예측된 유동소음의 경우에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

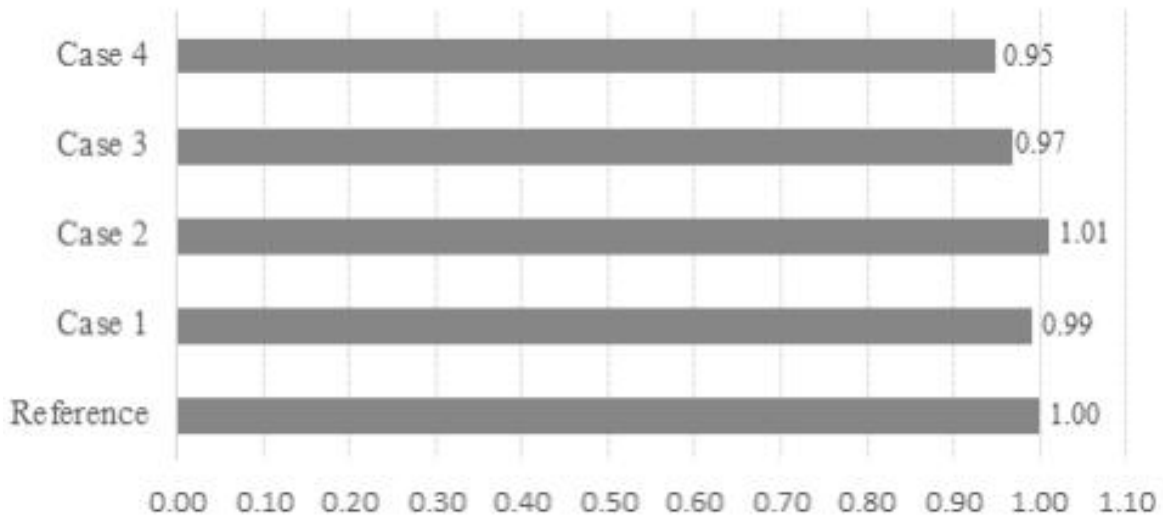


Fig. 3.2.14 The SPL value compared to the reference model.

③ 주파수별 소음도

Figure 3.2.15에는 각 case별 유동소음을 주파수 영역에 맞추어 도시하였다. 검정색으로 표시된 기준모델의 경우, 약 1.5 kHz 영역에서 피크 소음이 예측되었으나, Case 2, 3, 4의 경우 피크소음의 위치가 조금씩 다른 것을 알 수 있다. 피크소음 수준은 다소 감소하였으나, 전체적인 소음도가 상대적으로 증가한 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 예측된 유동소음이 케이스별로 차이가 크지 않은 것으로 판단할 수 있다.

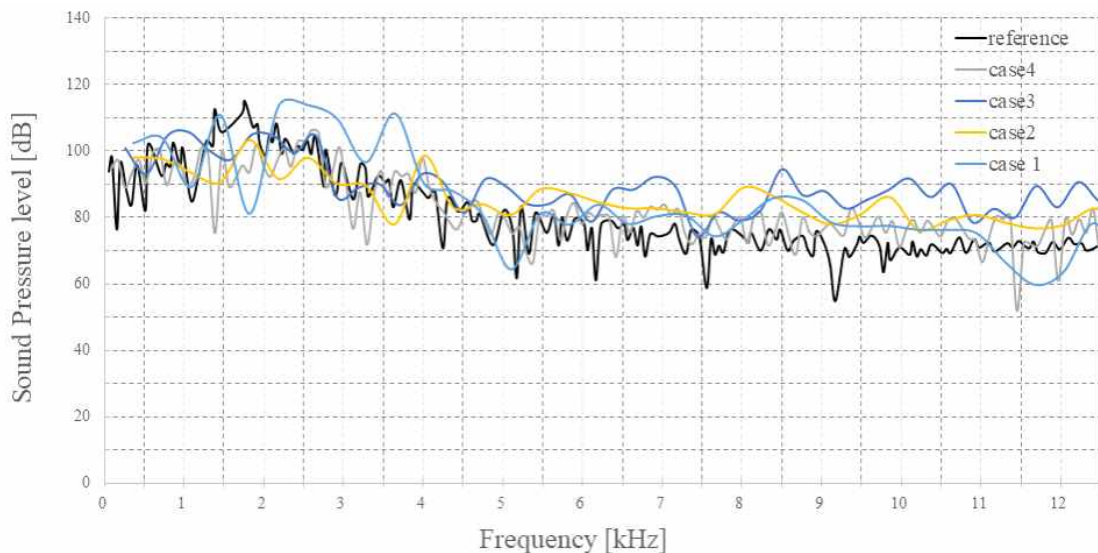


Fig. 3.2.15 The SPL distribution of various cases with frequency.

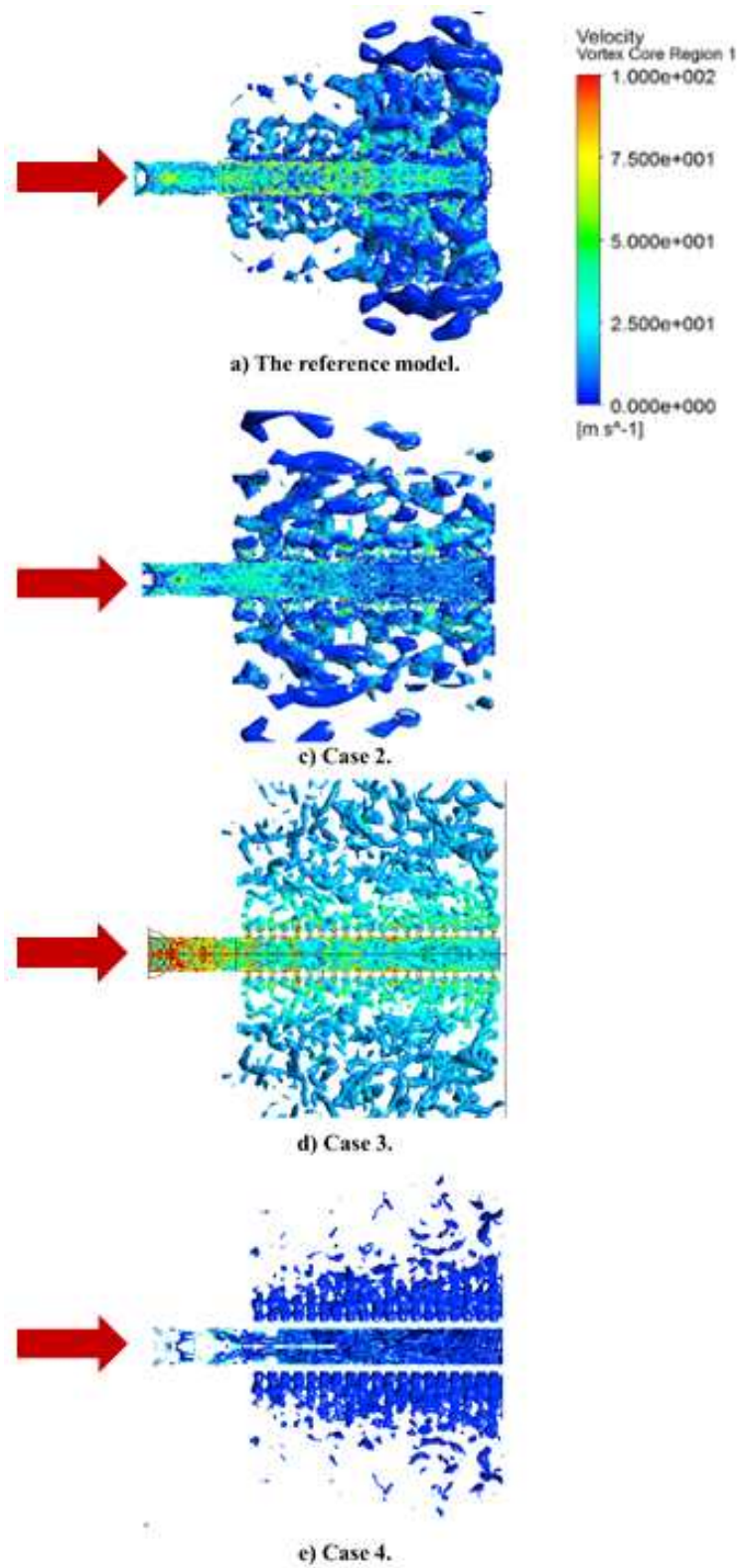


Fig. 3.2.16 The swirling discriminant distributions with various cases.

④ 스월 강도

Figure 3.2.16은 각 case에 대하여 스월의 속도 구배 텐서의 판별 양수 값으로 스월에 흐름 패턴을 나타내었으며, 스월속도 구배를 색깔로 나타내었다. 기준모델과 달리, case 2에서는 노즐 전체적으로 고른 스월의 분포를 확인할 수 있으며, 오리피스가 적용된 case 4에서는 스월의 강도가 상당히 저감된 것을 확인하였다.

방출구의 직경 변화와 오리피스 적용으로 인해 전체적인 유동속도는 큰 폭으로 변화하였으나, 유동소음의 경우 큰 차이가 발생하지 않았다. 모든 모델에서 소음 목표치를 만족시키지 못하였으며, Case 2, 3, 4의 경우 기준 모델 대비 방출 시간 증가가 예상된다.

(다) 시스템용 저소음 노즐 시험 방법

① 소화 약제 방출실험

실험 스테이션은 소방시스템의 소화약제 방출실험을 위해 구성되었으며, 저장용기, 컨트롤러, 밸브, 파이프, 노즐 그리고 압력 및 온도, 소음 측정 장치 등으로 구성된다. Fig. 3.2.17에는 실험 스테이션의 개략도와 사진을 도시하였으며, 측정된 결과는 개발되는 성능평가 및 수치 분석 결과의 검증을 위해 사용된다.

소화약제는 IG-100으로 한 실린더 당 충전압 28MPa, 80L 그리고 무게가 23kg의 재원을 갖는다. 이는 제어 밸브에 의해 열리고 닫히며, 파이프를 통해 실험 스테이션 천장으로 이송된다. 압력 및 온도 데이터는 시간에 따라 측정되며, 유동소음은 소화노즐로부터 45°, 1m에 떨어진 측정기(CESVA SC160)로 측정되어 컴퓨터로 기록한다.

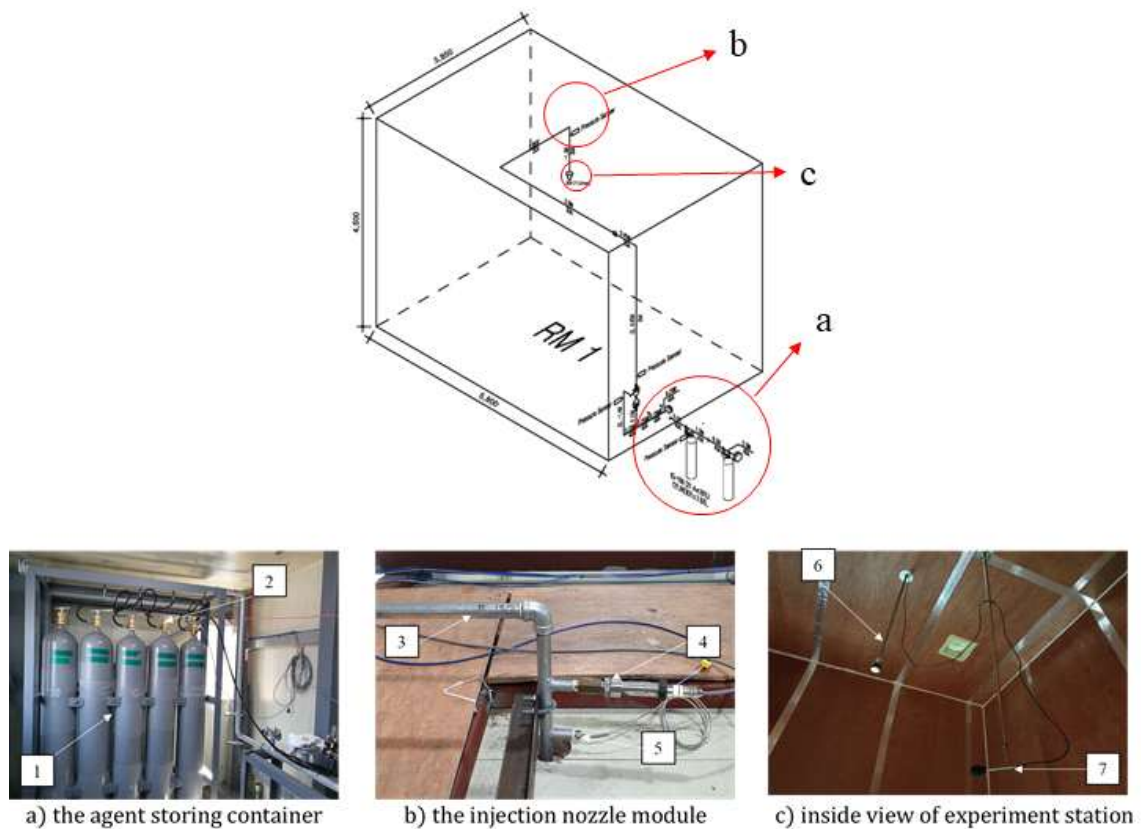


Fig. 3.2.17 Configuration of experimental station.

② 시스템용 저소음 노즐의 측정거리별 소음 측정

- 측정 위치별 소음 값을 비교하기 위해 측면, 하부, 대각 위치에서 동일한 노즐 및 배관 조건으로 소음을 측정하였다. 각각의 소음측정은 1회 수행하였고 2지점을 측정하였다.



Fig. 3.2.18 측면, 하부 1m 위치측정

Fig. 3.2.19 측면, 하부 2m 위치측정

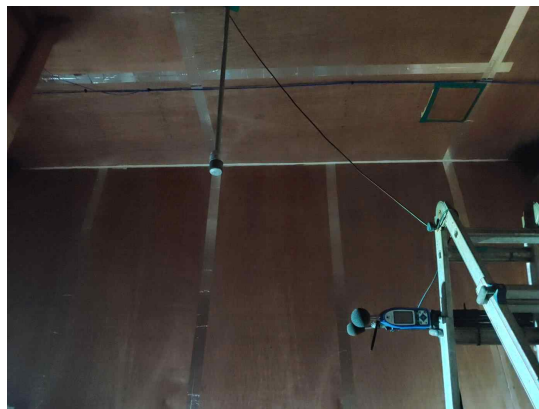


Fig. 3.2.20 대각 1m 위치측정

③ 측정거리별 소음 측정 테스트 결과

Table 3.2.3 측정 위치 별 소음 측정 결과

회차	실린더	노즐 정보			소음 측정값(LZFmax)					
		타입	사이즈	오리피스	측면		하부		대각	
					1m	2m	1m	2m	1m	
1	1	저소음	20A	6.0mm	101.5		101.1			
2	1	저소음	20A	6.0mm		100.1		101.0		
3	1	저소음	20A	6.0mm					99.3	99.9

- 측정 위치별 소음측정 결과 표준편차가 0.679로 위치별 소음 측정값이 유사한 것을 확인하였다. 진행되는 실험에서는 소음측정을 대각에 위치해두고 측정하였다.

(라) S-Type 시스템용 저소음 노즐 시험

① S-Type 저소음 노즐 형상

- 막대형 저소음 T자 형태로 소화 약제가 통과하는 유로 길이를 증가시킨 모델이다.
- 기본 S-Type 노즐의 입구는 20A이며, 총 노즐의 전체 길이는 400mm이다.
- 방출구는 양면 관통형으로 방출구의 지름 7.5mm이며, 방출구의 총 개수는 40개를 갖고 있다.
- 기본 S-Type 노즐은 내부가 비어있는 파이프 형상을 선정하였으며, 소음 저감을 위해 흐름 우회구조물, 내부 베플(baffle) 구조, 내부 흡음재를 추가하여 소음 저감에 미치는 영향을 분석하였다. 또한, 방출 유량이 소음 저감에 미치는 영향을 분석하기 위해 노즐 입구에 오리피스(지름 6mm) 유무에 따른 소음 평가를 하였다. 이러한 소음저감 인자의 영향을 파악하기 위해 기준 모델에서 각 소음저감 구조물들을 적용하여 실험 케이스를 만들었다.

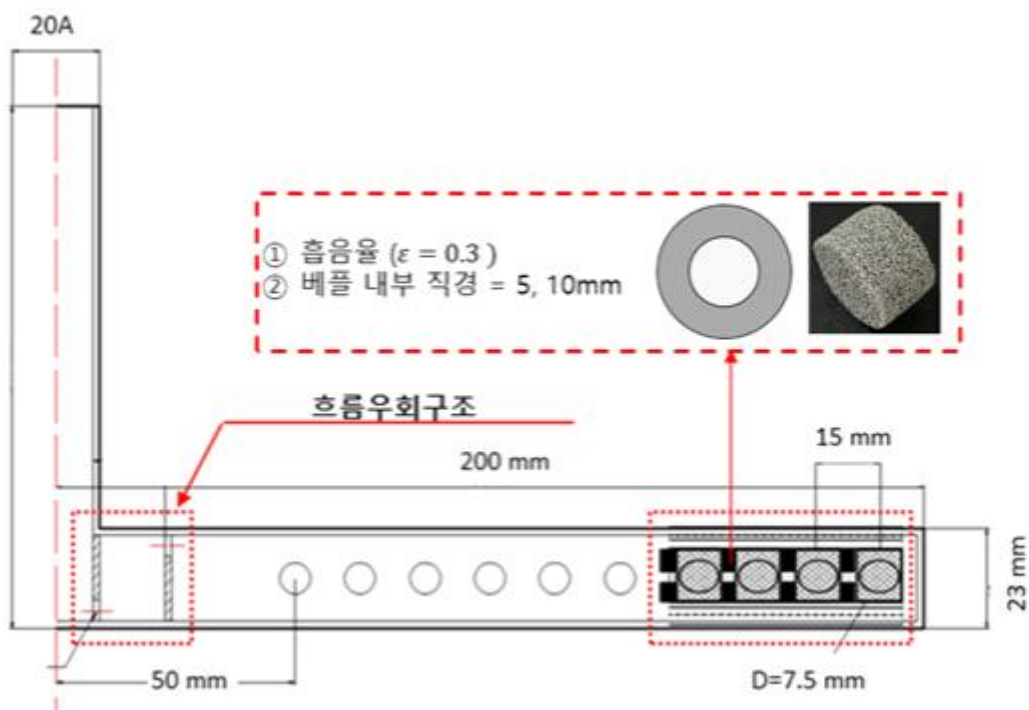


Fig. 3.2.21 S-Type 저소음 노즐 형상

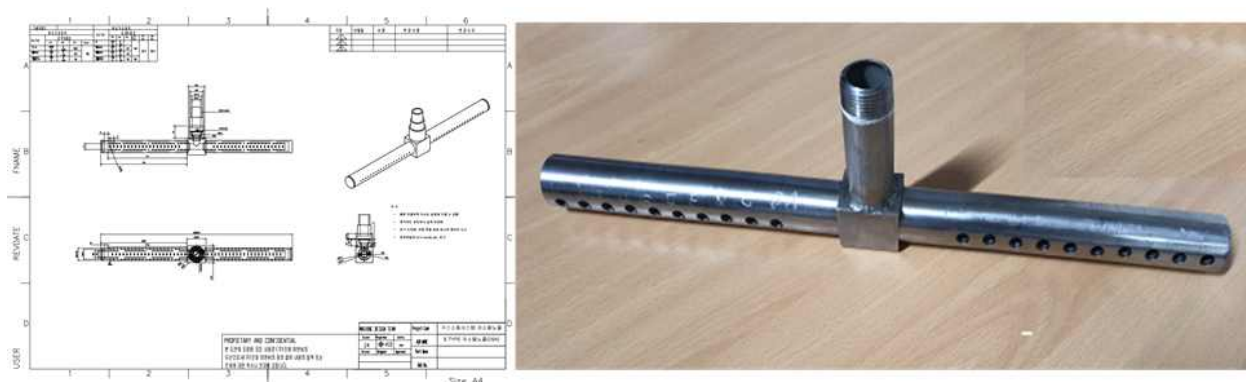


Fig. 3.2.22 S-Type 저소음 노즐 제작 도면 및 사진

② S-Type 저소음 노즐 시험 결과

Table 3.2.4 S-Type 저소음 노즐 시험 케이스 및 소음 측정 결과

막대형	노즐 정보	시험결과	
	타입	소음도	최대 압력
		대각선 1m [dB]	노즐 상류 [bar]
Case 1-1	기본	130.2	13.34
Case 1-2	기본	130.9	13.61
Case 1-3	기본	130.6	13.42
Case 2	기본, 오리피스	125.7	81.61
Case 3	흐름우회	127.9	80.08
Case 4	흐름우회, 오리피스	126.2	81.66
Case 5	5 mm 격벽	131.9	73.09
Case 6	5 mm 베플, 흡음재	127.9	77.43
Case 7	10 mm 베플, 흡음재	128.5	47.63
Case 8	10 mm 베플, 흡음재, 오리피스	123.7	82.11

- 기본 S-Type 노즐(case 1)은 소음 저감을 위한 구조가 없는 형상으로 3번의 반복 시험을 통해 시험의 값의 재현성을 확보하였다. 3번의 반복 시험은 평균 130.5dB, 표준편차 0.287로 시험에 대한 재현성을 확인하였다.
- Case 2는 기본 S-Type 노즐 입구에 오리피스(지름 6mm)를 추가하였다. 오리피스로 인한 노즐 입구의 압력은 증가하였지만, 소음은 125.7dB로 기본모델보다 5dB 저감 효과를 볼 수 있었다. 이는 노즐 입구가 좁아지면서 압력은 증가하지만, 유량이 감소하면서 소음이 줄기 때문이다.
- Case 3은 S-Type 노즐에 소음저감 인자로 흐름 우회 장치를 추가하였다. 흐름 우회 장치는 일직선인 내부 유로를 직각으로 두 번 선회하게 설계를 하였다. 기본 노즐 입구의 압력은 Case 2와 유사하게 증가하였으며, 127.9dB로 3dB 저감 효과를 볼 수 있었다.
- Case 4는 오리피스와 흐름우회장치를 적용한 Case로 1가지 소음 저감 인자를 적용하였을 때와 유사한 소음이 측정되었다. 두 가지 인자를 사용하였지만 효과는 미비하였다.
- Case 5는 소음 저감을 하기 위해 방출구 사이에 베플을 이용하였다. 노즐 입구 압력이 73.09 bar로 유량을 제어하는 효과를 볼 수 있었지만, 기본모델과 소음에서는 차이가 없었다.
- Case 6, 7은 베플과 흡음재를 소음 저감 인자로 적용하였음. 소음은 127.9dB로 3dB 저감 효과를 볼 수 있었다. Case 5에서 베플이 소음 저감 영향이 없었으므로 흡음재가 소음 저감에 영향을 미친 것으로 판단된다.
- Case 8은 베플, 흡음재와 오리피스를 적용하였으며, 시험한 case 중에 가장 낮은 123.7dB이 측정 되었다.

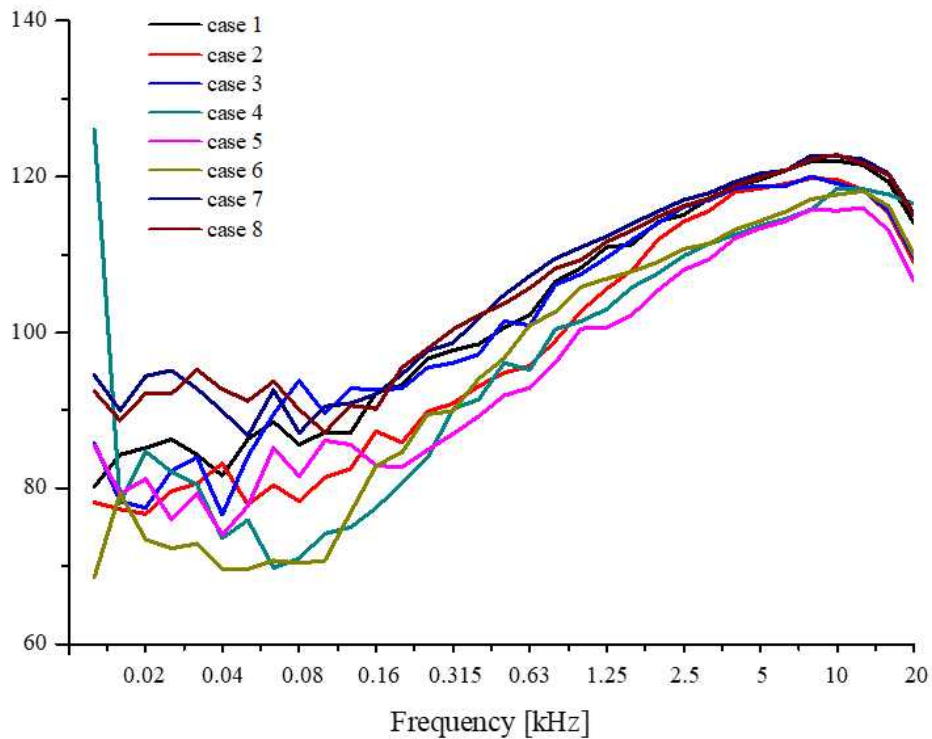


Fig. 3.2.23 S-Type 노즐의 주파수 별 소음도

- S-type 노즐의 주파수 소음도 분석결과 2 Hz부터 증가하는 추세를 보이다가 가장 높은 소음의 주파수 대역은 10 kHz 부근에 있으며 이후 감소하는 경향을 확인하였다.
- 하지만 모든 case에서 소음도가 120 dB 이상으로 저소음 노즐로 적합하지 않다고 판단되었다.

(3) K-Type 소화 노즐 최적 설계

(가) K-Type 소화 노즐 시뮬레이션

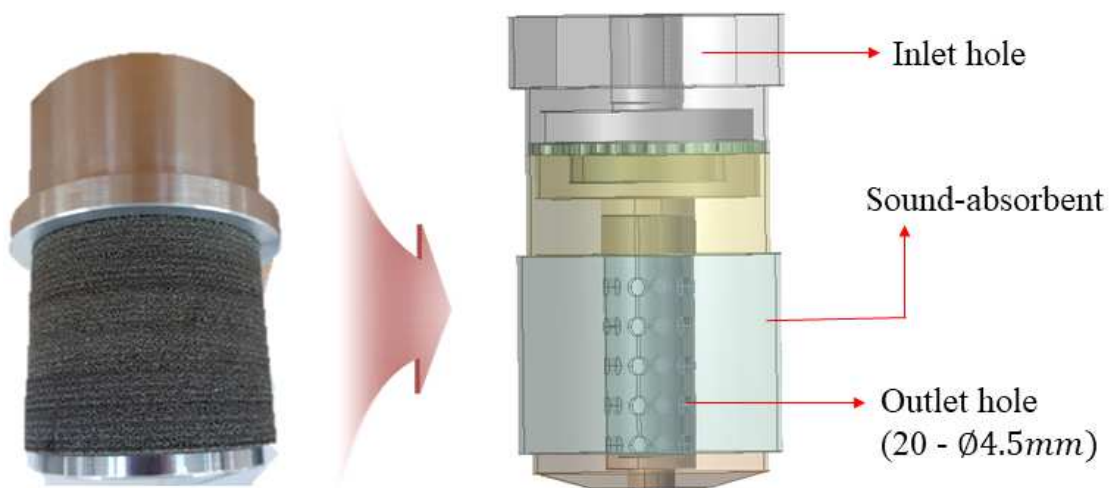


Fig 3.2.24 The 3D reference model of gaseous fire extinguishing nozzle.

앞서 기술된 수치해석 방법을 기반으로 음향해석이 수행되었다. 해석모델은 Fig. 3.2.24와 같은 모델을 사용하였으며, 경계조건은 Table 3.2.5과 같다.

Table 3.2.5 Boundary conditions.

Description	Value
Turbulence model	Large eddy simulation
Acoustic model	FW-H
Far-field density [kg/m ³]	1.225
Far-field sound speed [m/s]	340
reference acoustic pressure [Pa]	2×10^{-5}
Frequency range [kHz]	0~16
Inlet pressure [MPa]	5.95
Inlet temperature [K]	103.25

Figure 3.2.25에는 수치해석을 위한 격자계를 도시하였으며, 격자의존도 시험은 격자수에 따른 Eddy 점도의 변화가 측정되었다. 시험결과 약 614만개의 격자계로 선정되었으며, Fig 3.2.26에 그 결과를 도시하였다.

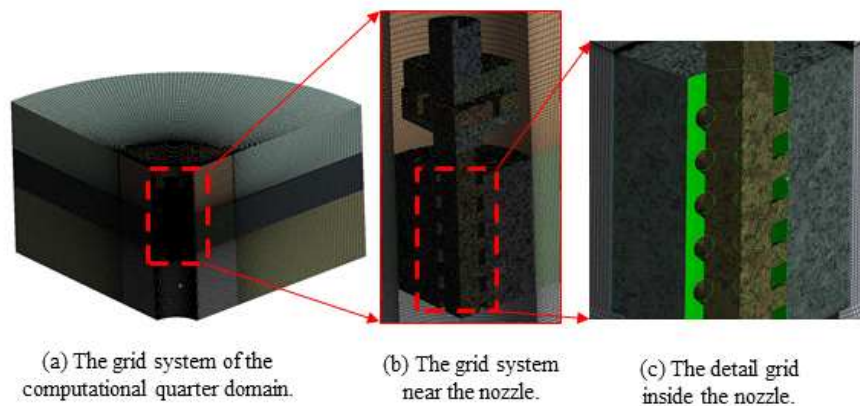


Fig 3.2.25 Grid system in this study.

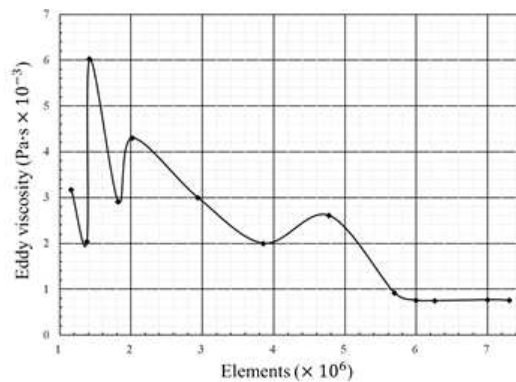


Fig 3.2.26 The result of grid dependency test.

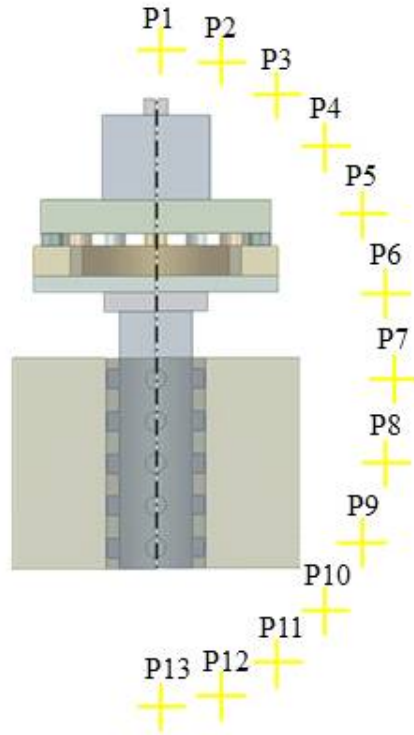


Fig 3.2.27 Schematic of the measuring points.

기본 모델의 소음은 구면 좌표계에서 반경 1m, 15° 씩 변한 총 13개의 모니터링 지점에서 음압 레벨로 계산되었으며, Fig 2.2.27에 도시하였다. P10(45°)에서 측정된 결과는 실험값과 비교하여 상대오차를 계산하였으며, 상대오차는 다음식과 같이 정의된다.

$$\left| \frac{\text{Exp.data} - \text{CFD data}}{\text{Exp.data}} \right| \times 100 (\%) \quad (3.2.1)$$

Table 3.2.6 Comparisons results between the experiment and CFD.

	N Type	K Type	K Type with baffle	
	CFD	CFD	CFD	EXP.
Inlet pressure [Mpa]	5.95	5.95	5.95	5.954
Inlet temperature [K]	294	294.0	294.0	291.667
OSPL [dB]	113.42	127.68	103.249	102.4

[note] 실험조건: 수치해석의 건전성을 파악하기 위한 소음측정 실험을 진행하였다. 방출소음 실험 조건의 경우, 나. (2). (다) 시스템용 저소음 노즐 시험 방법에 설명한 조건과 같다.

수치해석 값과 실험값을 비교하였으며, Table 3.2.6에 기술되었다. 입구 압력은 실험값의 경우 5.954Mpa, 수치해석 값은 5.95Mpa가 계산되었으며, 온도는 291.667K, 294.0K로 각각 계산되었다. 이에 따른 평균소음 값(overall sound pressure level)은 102.4dB, 103.249dB로 계산되었는데, 상대오차는 모두 1%미만으로 수치해석에 대해 검증을 하였다.

(나) K-Type 최적 설계

최적 설계를 위해 민감도 분석을 총 6개의 설계 인자를 선택하였으며, Fig. 3.2.28에 도시하였다. 각 인자에 대한 범위는 기준 값(level 2)을 기준으로 10% 가감되어 총 3단계로 구성되며 이는 Table 3.2.7에 기술하였다. 3단계로 구성된 인자는 실험계획법(design of experiment, DOE)을 사용하여 입력과 출력에 대한 상관관계를 밝히기 위한 집단으로 변환된다. 이러한 인과관계는 일반적으로 선형적이지 않고 매우 복잡한 관계를 갖기 때문에 수학적으로 정의하기 어려우며, 따라서 충분한 양의 실험이 요구된다. 본 최적설계에서는 실험의 양을 최소화하고, 가장 효율적인 실험설계를 위하여 실험계획법을 사용하였으며, 계획된 실험점은 실제 실험이 아닌 수치해석을 사용하기 때문에 고전 실험계획법에서 발전된 현대 실험계획법을 사용하였다.

Table 3.2.7 Design variables of the Ref. model.

Design variables	Description	Level 1	Level 2 (ref.)	Level 3
X_1	Upper nozzle diameter [mm]	22.5	25.0	27.5
X_2	Buffer layer diameter [mm]	15.3	17.0	18.7
X_3	Connector diameter [mm]	21.6	24.0	26.4
X_4	Lower nozzle diameter [mm]	15.3	17.0	18.7
X_5	Absorbent diameter [mm]	60.3	67.0	73.7
X_6	Output diameter [mm]	4.05	4.50	4.95

현대 실험계획법 중 하나인 LHS(Latin Hypercube Sampling)를 사용하여 설계점을 구성하였다. 이는 함수의 평균값을 기존의 샘플링 방법보다 정확하게 예측할 수 있는 기능이 있으며, 가장 큰 특징은 알고리즘이 생성해야하는 설계집단의 개수를 고전 실험계획법을 샘플유

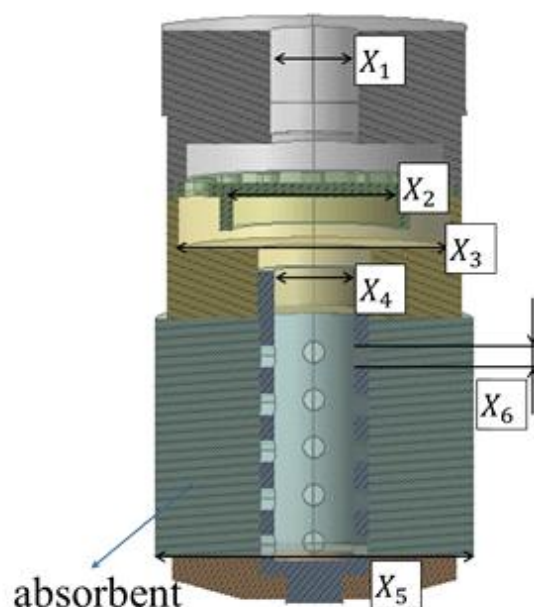


Fig 3.2.28 Description of the design variables.

Table 3.2.8 Design points of CCD

Name	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6		
1	25	17	24	17	67	4.5		
2	22.5							
3	27.5							
4	25	15.3					24	17
5		18.7						
6		21.6						
7		26.4						
8		17	15.3					
9			18.7					
10	17		60.3					
11			73.7					
12			67	4.05				
13				4.95				
14	23.55495	16.01736	22.61275	16.01736	63.12726	4.23989		
15	26.44505	16.01736				4.76011		
16	23.55495	17.98264				4.76011		
17	26.44505	17.98264				4.23989		
18	23.55495	16.01736				4.76011		
19	26.44505	16.01736				4.23989		
20	23.55495	17.98264	25.38725	17.98264	70.87274	4.23989		
21	26.44505	17.98264				4.76011		
22	23.55495	16.01736				4.76011		
23	26.44505	16.01736				4.23989		
24	23.55495	17.98264				4.23989		
25	26.44505	17.98264				4.76011		
26	23.55495	16.01736	25.38725	16.01736	70.87274	4.23989		
27	26.44505	16.01736				4.76011		
28	23.55495	17.98264				4.76011		
29	26.44505	17.98264				4.23989		
30	23.55495	16.01736				4.76011		
31	26.44505	16.01736				4.23989		
32	23.55495	17.98264	22.61275	16.01736	70.87274	4.23989		
33	26.44505	17.98264				4.76011		
34	23.55495	16.01736				4.23989		
35	26.44505	16.01736				4.76011		
36	23.55495	17.98264				4.76011		
37	26.44505	17.98264				4.23989		
38	23.55495	16.01736	25.38725	17.98264	70.87274	4.23989		
39	26.44505	16.01736				4.76011		
40	23.55495	17.98264				4.76011		
41	26.44505	17.98264				4.23989		
42	23.55495	16.01736				4.76011		
43	26.44505	16.01736				4.23989		
44	23.55495	17.98264	25.38725	17.98264	70.87274	4.23989		
45	26.44505	17.98264				4.76011		

Table 3.2.9 Design points of LHS

Name	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	24.33333	17.22667	23.78667	15.41333	72.36	4.58
2	25.33333	17.98222	26.13333	16.39556	61.64	4.64
3	22.55556	17.07556	23.14667	17.07556	66.70222	4.86
4	24.77778	15.73556	22.93333	16.47111	61.04444	4.36
5	22.77778	15.33778	23.36	17.60444	72.65778	4.3
6	27.11111	15.56444	24.64	16.24444	65.80889	4.94
7	24.66667	17.52889	22.4	16.62222	64.91556	4.24
8	27	18.05778	24	16.16889	72.06222	4.62
9	23.44444	17.30222	25.49333	17.30222	72.95556	4.78
10	23.11111	16.09333	24.96	18.20889	70.27556	4.6
11	23.77778	16.32	26.24	17.98222	67	4.66
12	23	17.60444	24.42667	15.79111	64.02222	4.52
13	24.22222	17.45333	21.97333	15.48889	67.59556	4.76
14	25.55556	16.24444	26.02667	18.05778	65.51111	4.16
15	23.66667	18.66222	22.61333	17.22667	70.87111	4.06
16	26.44444	15.41333	24.10667	15.33778	71.46667	4.18
17	26.22222	16.84889	25.81333	15.64	66.40444	4.8
18	25.22222	16.77333	21.65333	17.83111	73.55111	4.14
19	22.88889	18.36	23.68	18.36	66.10667	4.34
20	22.66667	16.01778	23.04	17.15111	68.48889	4.88
21	24.11111	18.13333	22.08	15.71556	63.42667	4.72
22	26.55556	16.92444	23.25333	17.37778	60.74667	4.22
23	27.22222	18.51111	22.82667	18.28444	68.19111	4.44
24	23.22222	16.54667	24.32	16.84889	62.83111	4.28
25	25.77778	18.58667	26.34667	16.77333	69.68	4.4
26	25.11111	17.37778	25.92	15.86667	71.16889	4.08
27	26.11111	15.94222	22.18667	16.01778	68.78667	4.56
28	25.44444	18.28444	25.70667	16.09333	62.53333	4.1
29	27.33333	15.79111	23.46667	18.43556	65.21333	4.46
30	23.88889	17	25.28	17.68	71.76444	4.2
31	25.88889	16.62222	23.89333	16.69778	63.12889	4.26
32	26.33333	16.39556	25.17333	15.56444	69.38222	4.5
33	24.44444	15.86667	25.38667	17.45333	70.57333	4.9
34	26.66667	16.47111	22.72	16.32	67.89333	4.38
35	24	17.55556	22.50667	18.13333	62.23556	4.74
36	23.55556	18.20889	24.85333	17.90667	64.61778	4.82
37	26.88889	17.83111	24.74667	18.58667	69.97778	4.42
38	26.77778	16.69778	22.29333	18.51111	73.25333	4.54
39	25	17.68	21.76	16.54667	61.93778	4.32
40	27.44444	17.90667	24.21333	18.66222	63.72444	4.92
41	24.88889	15.64	23.57333	17	64.32	4.68
42	24.55556	17.15111	21.86667	16.92444	67.29778	4.7
43	25.66667	16.16889	24.53333	17.75556	60.44889	4.48
44	23.33333	15.48889	25.6	17.52889	61.34222	4.12
45	26	18.43556	25.06667	15.94222	69.08444	4.84

형으로 선택하여 같은 개수의 설계점을 구성하는 것이다.

본 최적 설계에서 사용된 LHS 실험계획법은 고전 실험계획법인 CCD를 샘플유형으로 선택하였으며, Table 3.2.8에는 고전 방법인 CCD를 사용한 설계점을 기술하였다. 임의의 오차를 고려하였기 때문에 45개의 설계점에 중복되는 값이 형성되어있는 것을 볼 수 있다. Table 3.2.9에는 현대 실험계획법인 LHS를 사용한 설계점을 기술하였으며, 중복되는 설계인자가 없이 다양한 설계점을 갖는 것을 알 수 있다.

총 45개의 설계점을 사용하여 수치해석을 수행하였으며, 목적함수는 유동소음에 영향을 주는 eddy viscosity와 vorticity로 선택되었다. 계산된 45개의 결과는 반응표면법(response surface method, RSM)방법 중 하나인 유전자 알고리즘(GA)를 사용하여 분석되었다.

GA는 문제의 각 출력 매개 변수에 가장 적합한 반응 표면 유형을 선택, 구성 및 생성하는 프로세스를 자동화하며, 최종적으로 3개의 최적 설계 지점을 도출하였다(Table 3.2.10참조).

Table 3.2.10 Comparisons results between the experiment and CFD.

Name	Reference design	Optimum design 1	Optimum design 2	Optimum design 3
X1	25	24.439	22.638	26.978
X2	17	18.207	18.17	18.685
X3	24	21.6	21.662	23.777
X4	17	16.071	16.689	15.858
X5	67	73.7	72.613	72.233
X6	4.5	4.6391	4.4744	4.4122

도출된 3개의 최적설계 점은 모두 음향해석이 수행되었으며, Fig. 3.2.29에 그 결과를 도시하였다. 각 측정점에 따른 평균음압레벨은 세 번째 최적설계 점인 Optimum design 3에서 가장 큰 저감이 예측되었으며, 최종 최적 설계점으로 선택되었다.

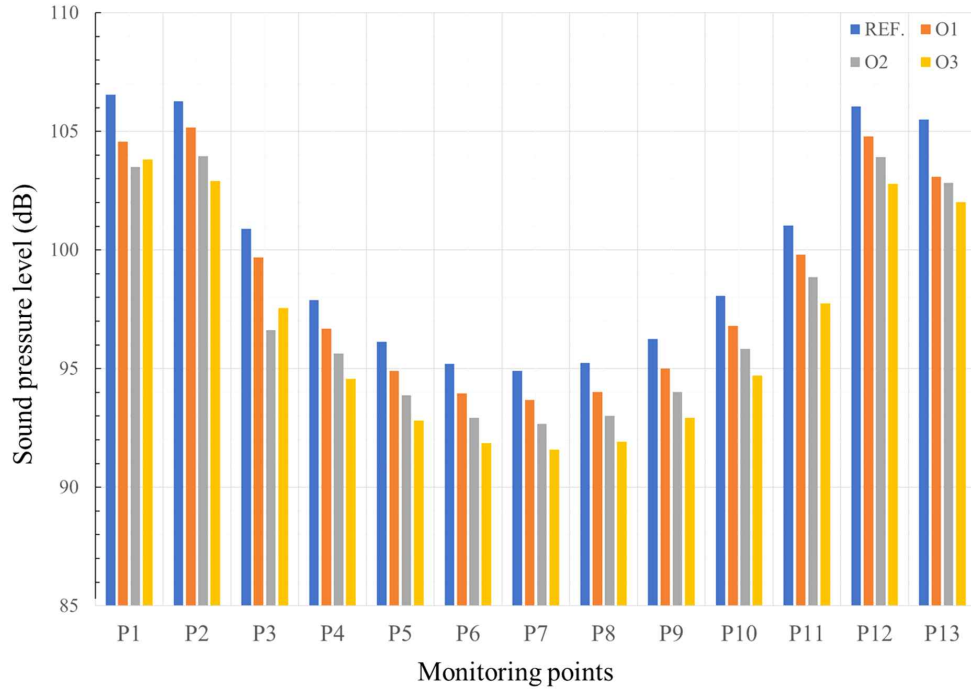


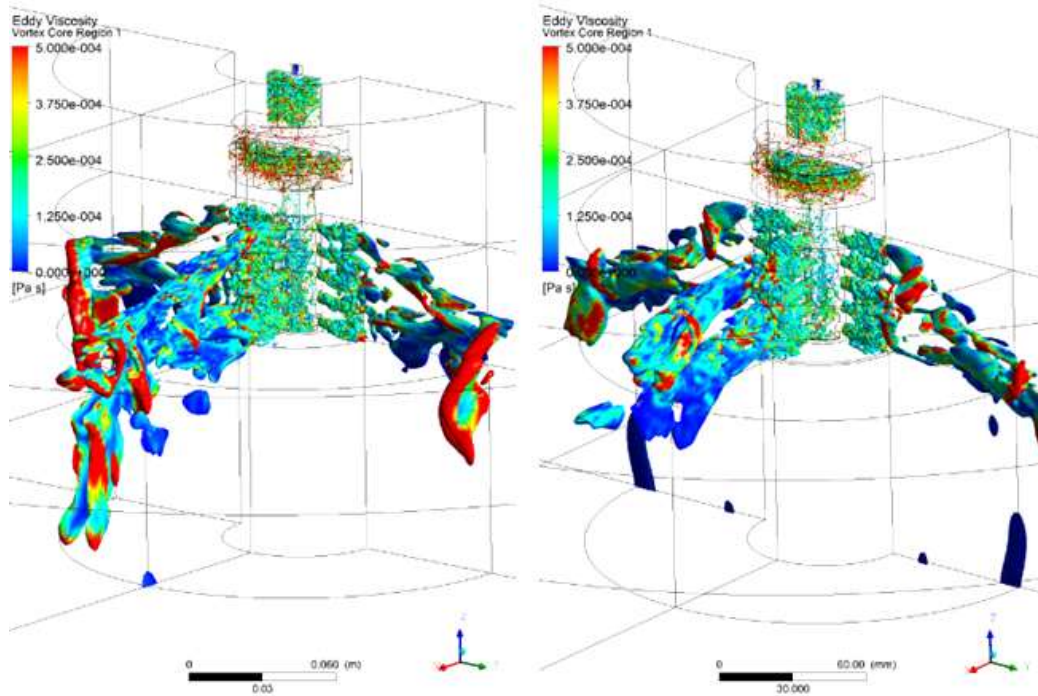
Fig 3.2.29 Description of the design variables.

Table 3.2.11에는 선택된 최적 설계점과 기본모델을 각각 비교하였으며, 변화율을 기술하였다. OSPL의 경우 기본모델은 103.249 dB을 갖는 것에 비해 최적 설계점은 5.521% 감소된 97.549 dB으로 계산되었다.

Table 3.2.11 Comparison of reference and optimum point.

Design variables	Reference model [mm]	Optimal design(O3) [mm]	rate of change [%]
X1	25	26.978	7.912
X2	17	18.685	9.912
X3	24	23.777	0.929
X4	17	15.858	6.718
X5	67	72.233	7.810
X6	4.5	4.4122	1.951
OSPL [dB]	103.249	97.549	5.521

이는 본 최적 설계의 형상변수 경계조건 안에서 목적함수로 선정된 eddy viscosity와 vorticity가 저감됨으로써 peak 소음과 난류소음이 가장 적은 형상을 찾은 것으로 판단할 수 있으며, 이 때 기준 모델과 최적화 모델의 eddy viscosity분포를 vorticity에 따라 Fig 3.2.30에 도시하였



(a) Ref. model

(b) Optimal design

Fig 3.2.30 Eddy viscosity distributions with vortex core.

다. 그림을 통해 비교해보면, 최적화 모델이 기준 모델에 비해 빨간색으로 표시된 eddy viscosity가 높은 영역의 크기가 더 적은 것을 확인할 수 있다.

(다) K-Type 시스템용 저소음 노즐 시험

① K-Type 저소음 노즐 형상

- K-Type 저소음 노즐의 소음 저감 정도를 비교하기 위해 현재 가스계 소화 노즐로 사용되고 있는 일반 노즐을 시험하였다.
- 배관의 입구 직경 20A이며, 일반노즐의 경우 노즐 길이 55mm, 끝단 각도 55도이며 총 16개의 방출구가 360° 일정한 간격으로 구성되었다. 이때 각 방출구 직경은 8mm이다(Fig. 3.2.31 참조).



Fig. 3.2.31 일반 노즐

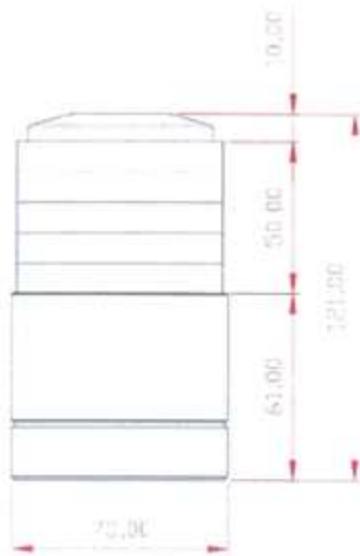
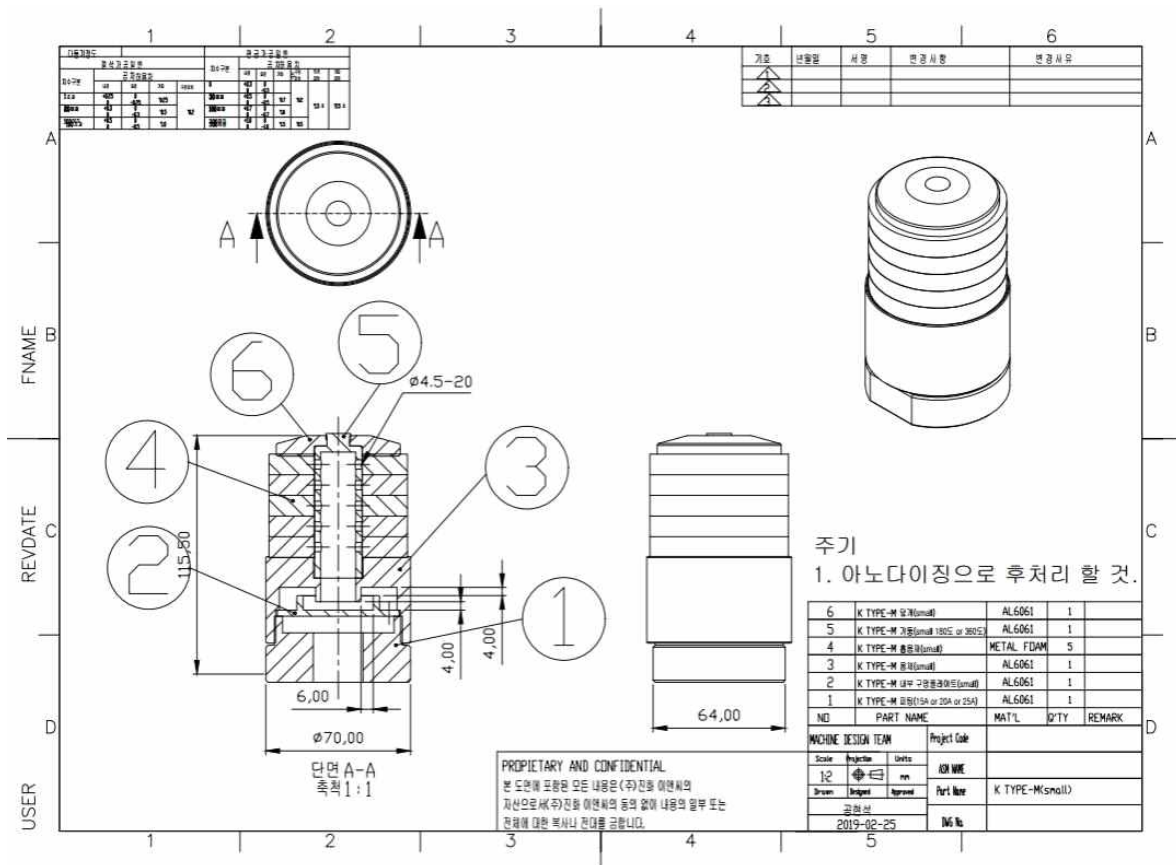


Fig. 3.2.32 K-Type 저소음 노즐 도면 및 사진

- 본 연구수행을 통해 설계된 K-Type 저소음 노즐의 경우, 노즐 길이 120 mm, 직경 8 mm 로 일정한 간격의 방출구멍 20개로 구성하였다.
- 메탈폼 재질의 흡음재를 적용하였으며, 소화 약제의 방출 속도를 조절하기 위해 일반노즐과 저소음노즐 모두 직경 6mm 오리피스를 적용하였다(Fig. 3.2.32참조).

② K-Type 저소음 노즐 시험 결과

- 기존 시중에 판매되고 있는 일반 노즐은 소음 131 dB 수준의 높은 소음이 발생하였다.
- 본 연구 과제를 통해 설계된 K-Type 저소음 노즐(case 3)의 경우 최대 소음 99.9 dB로 해외 선진사 제품(103.7 dB)보다 낮은 소음 값을 얻을 수 있었고, 개발 목표값인 105dB보다 낮은 값을 얻었다.

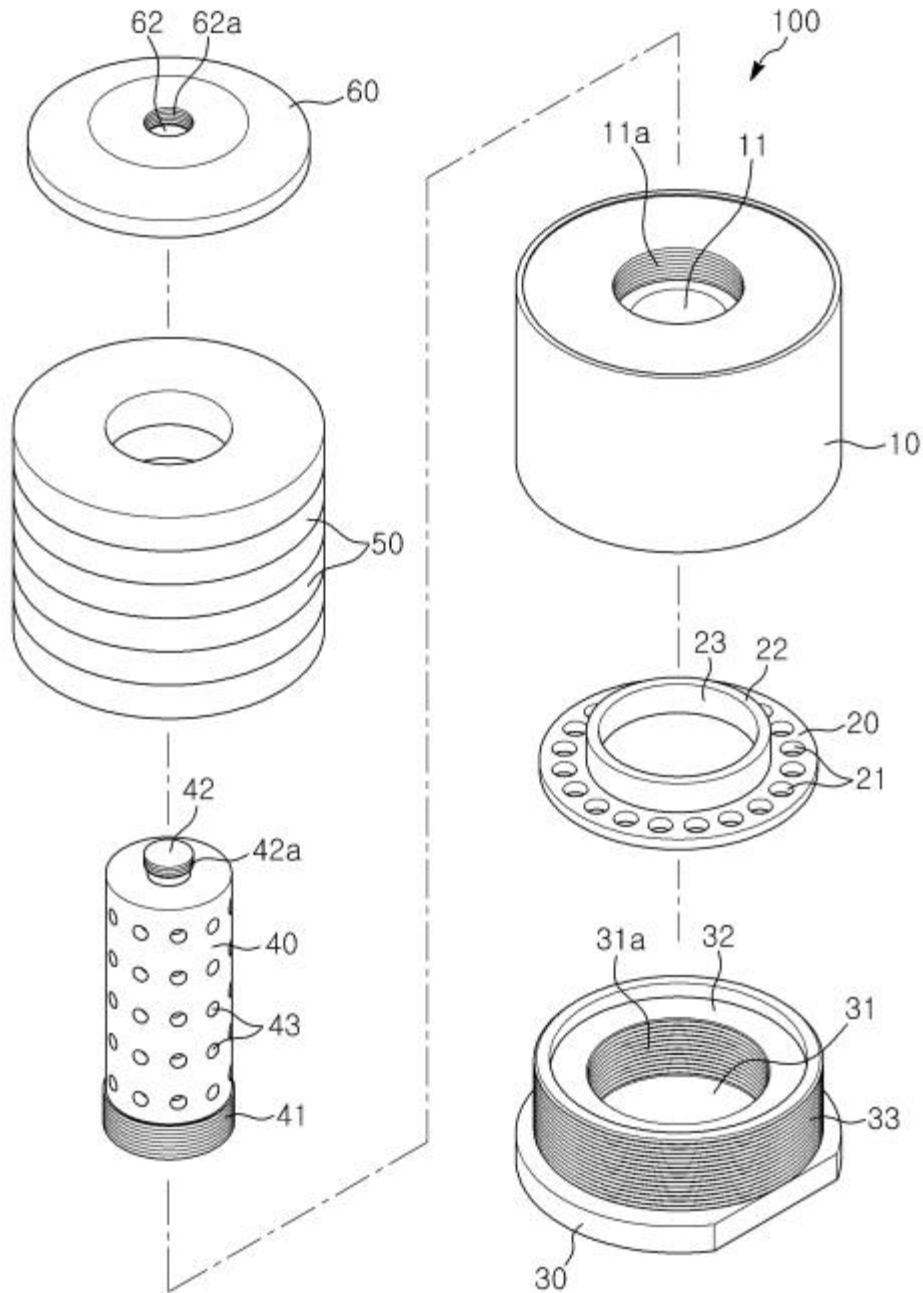


Fig. 3.2.33 K-Type 특허 도면(등록번호 10-2041950)

- 개발한 노즐의 소음을 저감 할 수 있는 요소로 소화 약제를 내부에서 선회할 수 있게 만든 흐름 우회 장치이다.
- 선회 장치의 경우, 노즐 입구에서 유입되는 소화 가스의 방향을 우회시켜 압력을 낮추어 방출속도를 조절하고 소음을 저감할 수 있게하였다.
- 흐름 우회 장치를 제외한 경우 시험결과 소음이 112 dB로 선회 장치가 있을 때보다 약 12.1dB의 높은 값이 발생하여 소음저감 효과가 있음을 확인하였다.
- 소음 저감 인자 중 흡음재의 영향을 확인하기 위해 Case 3과 4를 비교해보면 각각 99.9dB, 124.5dB로 증가 폭이 매우 커 흡음재에 의한 소음 저감 효과가 높음을 확인할 수 있었다.
- 흡음재의 직경을 2배로 늘린 Case 5의 경우, 최대소음 96.9 dB로 Case 3과 큰 차이가 없음을 확인하였다. 앞서 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 흡음재가 소음 저감에 큰 영향을 미치지만, 일정 수준 이상에서는 소음저감 영향이 미비한 것을 확인하였다.



Fig. 3.2.34 Case 4, Case 5

- 방출 시간에 따른 소음도를 보면, 방출 직후 높은 압력으로 인해 가장 높은 소음 수준을 보 이다가, 시간이 지남에 따라 점점 소음 수치가 감소하는 경향이 확인하였다.

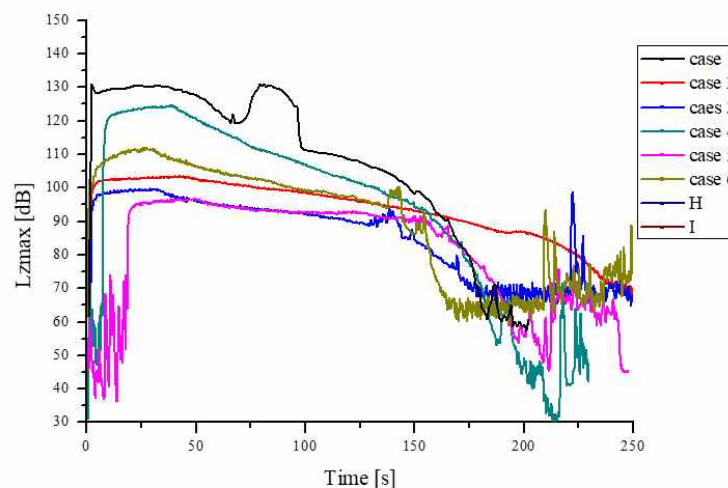


Fig 3.2.35 K-Type 방출시간에 따른 소음도

- 이는 실린더의 압력이 가장 높은 시기에 유속이 가장 빠르기 때문으로 예상됨. 하지만 저소음 노즐의 경우, 상대적으로 방사 시간에 따른 소음도가 크게 다르지 않은 것을 확인 할 수 있었다. 일반 노즐에 비해 압력의 급격한 변화가 없이 상대적으로 일정한 유속을 유도하는 흐름 우회 장치 때문이라고 판단된다.

Table 3.2.12 K-Type 저소음 노즐 시험 케이스 및 소음 측정 결과

몽치형 노즐	노즐 정보	시험결과	
	타입	소음도	최대 압력
		대각선 1m [dB]	노즐 상류 [Bar]
Case 1	일반	131.1	77.62
Case 2	N사 저소음	103.7	82.89
Case 3	K-Type	99.9	
Case 4	K-Type 흡음재 무	124.5	
Case 5	K-Type 흡음재 2배	96.9	
Case 6	K-Type 흐름우회장치 무	112	98.92

(4) S-Type & K-Type 결과 비교

- 노즐 타입 별 방출소음 시험 결과, S-Type의 경우 각 case 별 소음 감소 영향이 미미하고 소음 수준도 기준을 상회함을 알 수 있었다.
- K-Type 노즐의 경우, 노즐 내경의 감소 비와 흐름방향 유도형상, 흡음재 등 사용을 통해 정해진 방출시간 이내, 기준치 이하의 방출 소음 성능을 충족하였다.
- 따라서, K-Type 저소음 노즐을 저소음 노즐로 선정하였고 FILK 인증을 통해 신뢰성을 확보하였음.

(5) FILK 인증 시험

① 개요

- 시험 의뢰한 IG-100 불활성기체 소화설비(1식)에 대하여 의뢰자가 제시한 시험 방법에 따라 방출소음측정시험을 실시하여 저소음 노즐과 일반 노즐로부터 방출되는 소화 약제의 방출 소음을 비교 확인하였다.

② FILK 인증 시험 형상

- 방출 노즐 사양

1) 저소음 노즐

- 호칭 크기 : 20A(직경 70mm, 길이 121mm)
- 오리피스 크기 : 외경 20.7mm, 두께 4.2mm, Hole 직경 6mm
- 수량 : 1개

2) 일반 노즐

- 호칭 크기 : 20A(직경 35.2mm, 길이 45mm)
- 오리피스 크기 : 외경 20.7mm, 두께 4.2mm, Hole 직경 6mm
- 수량 : 1개

3) 소화약제 및 소화약제 저장용기

- 1) 소화약제 : IG-100 불활성기체
- 2) 소화약제 저장용기 : 87L, 1 Bottle
- 3) 소화약제 충전량 및 충전압력 : 25kg / 280 bar
- 4)기동용기(질소 충전) 방출압력 : 90 bar

③ FILK 인증 시험 결과

Table 3.2.13 FILK 인증 시험 결과

시험회수	시험노출	소음측정기(No.1) [dB]		소음측정기(No.2)(0.2~2.0)kHz[dB]
		LAFmax	LZFmax	
1차	저소음노출	max. 100.8	max. 101.3	max. 95 (12.5 kHz)
2차	일반노출	max. 127.0	max. 131.5	max. 129 (8.0 kHz)

[note]

- 1) 소음측정기(No.1) : SLM모드(음압) 사용, Cesva사, SC-160, Class 2, Max 137 dB(A)
- 2) 소음측정기(No.2) : RTA모드(주파수) 사용, Rion사, NL-52, Class 2, Max 138 dB(A)

– 64 –

(2) 방출테스트 방법

방출 테스트는 다음과 같은 절차를 통하여 진행하였다.

1) 방출시간 및 방출압력

- 온도 · 압력분포곡선을 구하는데 필요한 온도 또는 압력센서를 각 분사헤드의 노즐부 등에 설치할 것
- 온도와 압력센서의 입출력 신호를 초당 10회 이상 검지 · 기록할 수 있는 장비를 사용할 것
- 방출시간 또는 방출압력(평균방출압력을 포함한다) 등을 유효하게 측정 또는 산정할 수 없어 다른 시험방법을 적용할 때에는 이의 과학적인 근거와 내용 등을 충분히 파악하여 합당한 것으로 인정되는 경우에만 적용할 것

2) 방출량

- 방출량은 “가스계소화설비의 화재안전기준“에 규정된 시간내에 해당되는 농도를 방출할 수 있도록 하여 시험할 것
- 방출량시험은 소화시험에 적합한 경우 생략할 수 있다. 다만 비대칭 배관방식을 포함한 설계프로그램의 경우에는 비대칭 배관방식을 포함한 시험모델로 소화시험을 실시하여 적합한 경우에 한하여 방출량시험을 생략할 수 있음

3) 소화약제 도달 및 방출종료시간

- 소화약제 도달 및 방출종료시간의 측정은 제1호의 규정을 준용하여 시험할 것

2.2.2. 텍스트 영역

- Alpha Test : 일정한 크기에서 소도형체만을 추출한 텍스트
문 200~500

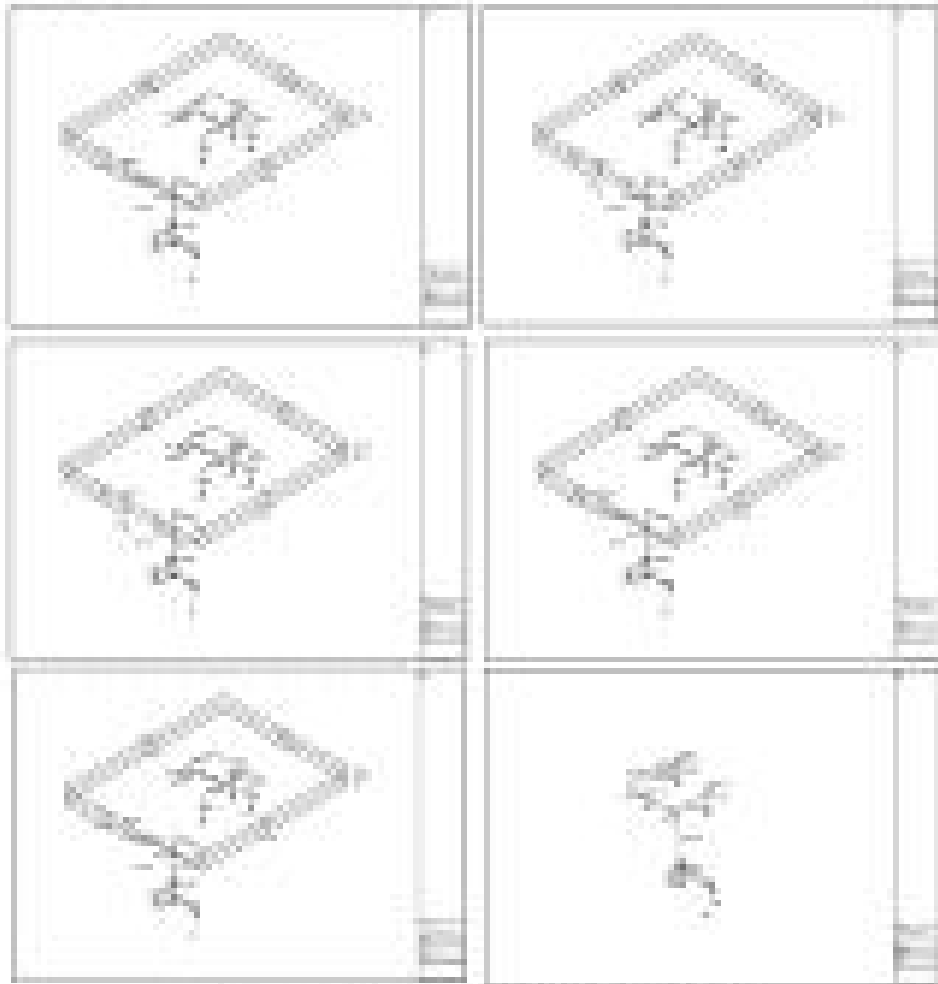


Figure 2.2.2-1: Type Extraction (Alpha Test 11/16 Size)

2.3. Alpha Test 결과

- Alpha Test 결과 : 200~500개의 텍스트
- 도형 : 200~500개의 도형, 문자 : 200~500개의 문자, 도형 : 200~500개의 도형, 문자 : 200~500개의 문자
- 도형 : 200~500개의 도형, 문자 : 200~500개의 문자, 도형 : 200~500개의 도형, 문자 : 200~500개의 문자
- Alpha Test 결과 : 200~500개의 텍스트, 도형 : 200~500개의 도형, 문자 : 200~500개의 문자

→ 가상요소모델에 일체프로그램을 적용한 경우 : 모델내임기(모델)에의 적용을 쉽게 받은 경우 : 일
 주하여 결과 출력 가능. 따라서 임기(모델)에 가상요소모델에 일체프로그램에 적용한 경우 : 일
 주하여 결과 출력 가능.

→ 가상요소모델에 일체프로그램을 위한 예상치않은 결과

1. 예상치않은

→ “1995-10-12 10:00pm”에서 “1995-10-12 10:00pm”까지의 가상요소모델의 결과물 “1995-10-12 10:00pm”과 “1995-10-12 10:00pm”의 결과물

2. 예상치않은 결과물

→ 가상요소모델의 결과물 “1995-10-12 10:00pm”에서 “1995-10-12 10:00pm”까지의 결과물 “1995-10-12 10:00pm”과 “1995-10-12 10:00pm”의 결과물

Table 1.1 가상요소모델의 결과물

Case	가상요소모델	결과물	
		가상요소모델의 결과물 (1995-10-12 10:00pm)	가상요소모델의 결과물 (1995-10-12 10:00pm)
Case 1	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm
Case 2	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm
Case 3	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm
Case 4	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm
Case 5	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm	1995-10-12 10:00pm

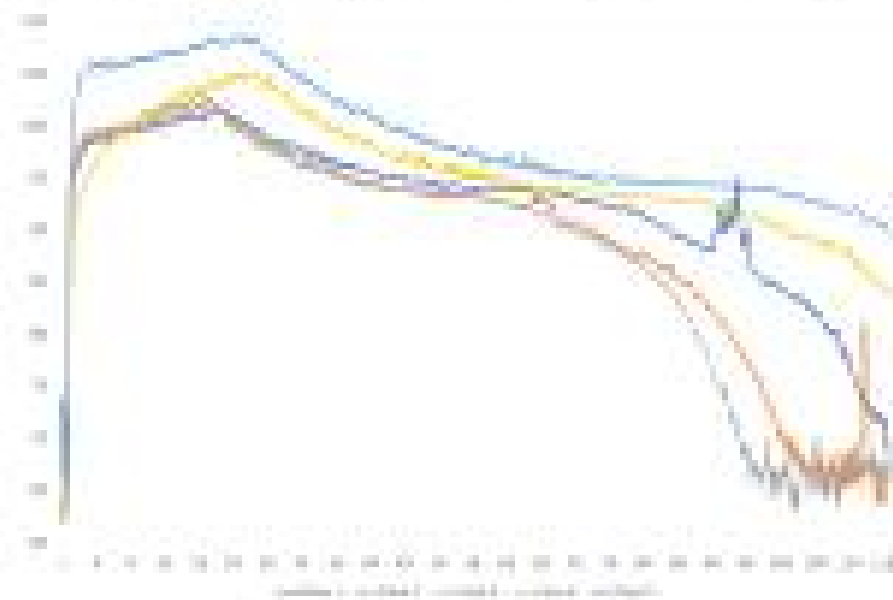


Fig. 1.1 가상요소모델의 결과물 (1995-10-12 10:00pm)

3. 정책효과고양에서의 의사소통량 변화

- 의사소통량의 변화 (고양에서 PeakPower에 있어 설득력 증가에서 120 이하까지 상당부분 감소추경향을 확인가능하다.
- 특히 고양집은 고양 퇴거의문 하에서 설득력 부족하여 정책 반영효과는 20% 정도 감소한 양을 확인 가능했다.
- 이에 반대로 설득 프로그램, 상담결과, 해당 반영도움을 받아내었으며 정책에 어느 정도 반영 가능하다.

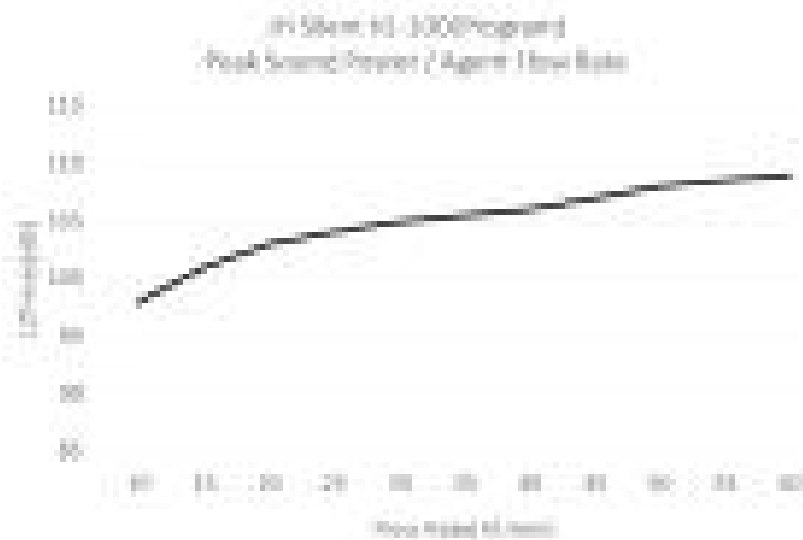


Fig 3.3.8 H1 Street 81-100 정책프로그램 고양집 -변화 추경향 그래프

라. 화재 발화위치 추적 및 자동소화 시스템

(1) 개요

무인실(Rack room, 전기실, 터널, 쓰레기 소각장등)에 화재 발생 시 화재위치를 2차원적으로 자동 추적하여 그 지점에 정확하게 소화 약제를 초기 또는 사전에 방사함으로써 조기에 화재가 확대되는 것을 차단할 뿐만 아니라 기존의 소화시스템이 과도한 양의 소화 약제를 방사함으로써 발생할 수 있는 2차 피해를 막도록 고안한 Fire extinguishing system이다.

플랜트 민감설비 계통에서 공간 화재시 피해를 최소화하기 위한 화재 안전 기술을 개발하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위하여 해당 공간에서 화재 감시, 진단 및 위치추적을 하여 대형 화재 및 소화에 의한 2차 피해를 방지하기 위함이다.

1) 공간 내 화재를 신속히 감지하는 fire scanner(반경 30 m, 센서는 기 개발품 활용 → 진단 및 위치정보 개발).

2) 평가된 화재규모에 따라 능동적으로 소화하는 variable fire suppression(저충격 저소음 소화노즐 및 제어기술 개발).

(2) 화재 발화 위치추적 및 자동소화 시스템 주요 구성품 설계·제작

(가) 20/40A 전동식 방수총(2017)



Fig. 3.4.1 40A 방수총

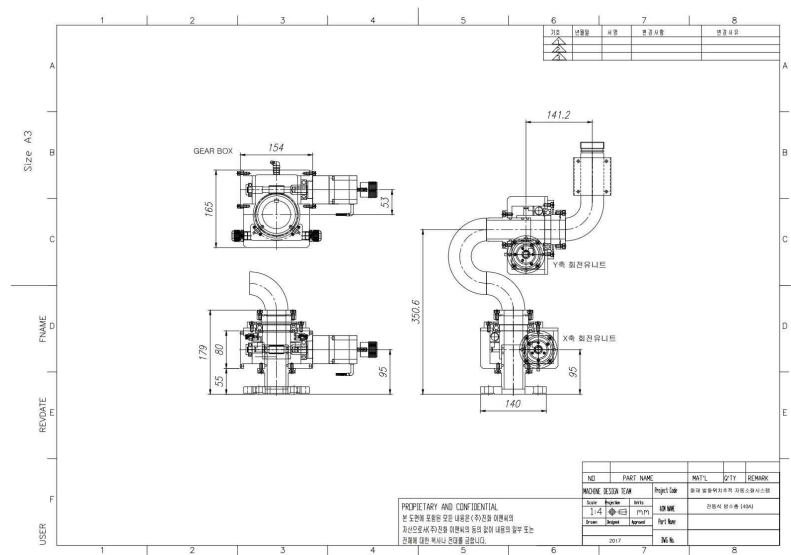


Fig. 3.4.2 40A 방수총 도면

고정형, 전동식 방식의 방수총이며 기어는 웜기어 구동으로 제작되었다. 주요 구성품인 배관은 SUS304로 제작되어 내구성 및 내식성이 강한 이점이 있는 반면 제품의 무게가 상당히 무거워서 X축 좌우 균형의 편차가 심하여 약제방사시 기구물의 진동을 잡지 못하였다. 또한 스테핑모터가 허용할 수 있는 토크와 부합되지 않다는 문제점을 보였다.

(나) 15A 전동식 방수총(2018)



Fig.3.4.3 15A 방수총

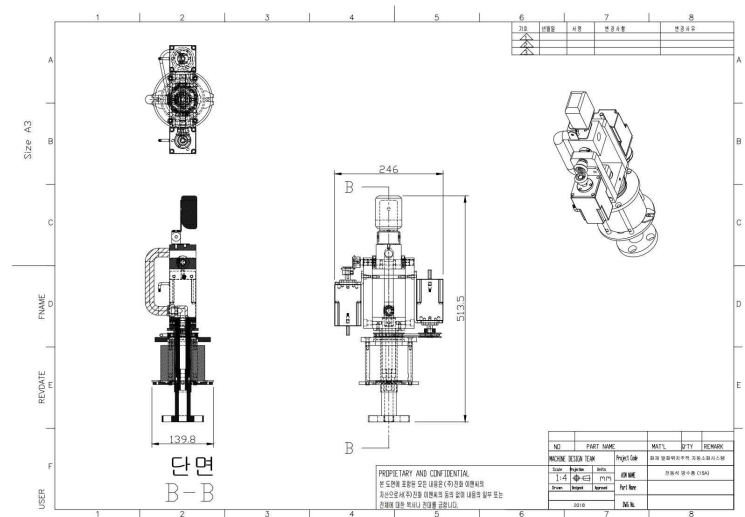


Fig. 3.4.4 15A 방수총 도면

2017년 개발되었던 방수총과 동일한 전동식 방수총으로, 크기를 최소화하여 무게를 경량화한 타입이다. 작년도 개발품과의 차이점은 배관을 금속이 아닌 일반 고무호스를 사용하여 기구물의 진동문제를 최소화하였으며, 슬립링을 이용하여 X축 회전시 배선의 꼬임현상이 보완된 제작품이다. 다만, X축 구동방식이 평기어로 변경되므로 인해 모터의 동력전달이 원활히 이루어지지 않다는 문제점이 있었다.

(다) 65A 전동식 방수총(2019)



Fig. 3.4.5 65A 방수총

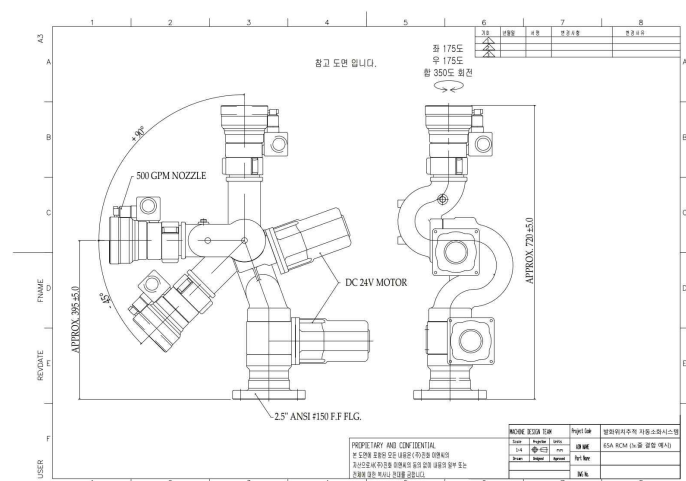


Fig. 3.4.6 65A 방수총 도면

2019 RCM은 바디재질을 AC4C 알루미늄합금 주물을 사용함으로써 배관 크기는 키움과 동시에 경량화를 이루었다. 배관구경을 확대하여 유효 방사 거리가 개선을 개선했다. 구동방식은 원기어 방식을 사용함으로써 안정적으로 구동을 구현하였고 X축 좌우 밸런스를 맞추어 설계하여 약제 방사시 진동문제를 해결하였다. 또한, 화재 위치포착의 정확도를 개선했고 열처리 바디를 사용하여 내구성을 강화하였다.

(라) 열화상카메라(TCeye-100)



Fig. 3.4.7 열화상카메라

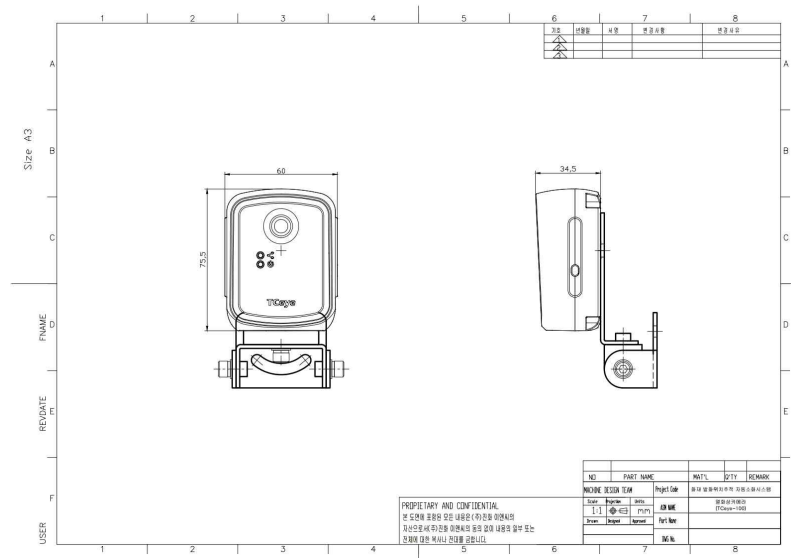


Fig. 3.4.8 열화상카메라 도면

시야각(FOV): $51^{\circ} \times 63.5^{\circ}$

초점: 고정식

대상온도범위: -10°C to $+150^{\circ}\text{C}$ (14°F to 302°F)

정확도: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (3.6°F) 또는 지시치의 $\pm 2\%$ ($+10 \sim +100^{\circ}\text{C}$ @ $+10 \sim +35^{\circ}\text{amb}$)

사용온도범위: DC48V(Input Range DC24~60V) / PoE지원

출력 기능: 2개의 OC출력(20mA max)

(마) 소화시스템용 컨트롤 패널



Fig. 3.4.9 스위치 박스



Fig. 3.4.10 컨트롤 유닛

① 컨트롤 유닛(제어부)

CPU: STM32F4 시리즈

메인 클럭: 160[MHz]이상

기능: PWM 출력, ADC, 이더넷 통신 등

② 스테핑모터 드라이버 부

구동 전압/전류: 220VDC/1.4A

최대 전류: 5A

분해능: 0.72°

입력 펄스 폭: 1us 이상

③ 스위치 박스

램프: 24VDC, 총 13개

스위치: 24VDC, 총 8개

추가 연결: 압력 스위치 입출력 각 1개, 감지 출력 1개, 기타 입출력 각 1개

(바) 이동식 엔진펌프



Fig. 3.4.11 이동식 엔진펌프

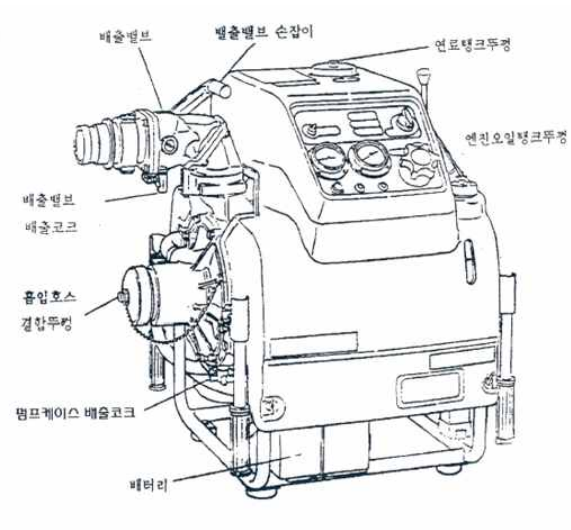


Fig. 3.4.12 이동식 엔진펌프 구성도

① 엔진

배기량: 617ml(cc)

상용출력: 40.8ps(30kw)

최대출력: 45.3ps(34kw)

냉각방식: 수냉식(냉각수회수시스템)

연료탱크용량: 18L

② 펌프

흡수구 직경: 3 "(76.2m/m)

토출구 직경: 2-1/2" (63.5m/m)

최대유량압력: 6kg/cm²(1550L/min)

공칭압력: 10kg/cm²(950L/min)

최대흡수능력: 9m

(사) 소화시스템용 소방엔진펌프



Fig. 3.4.13 소방엔진펌프

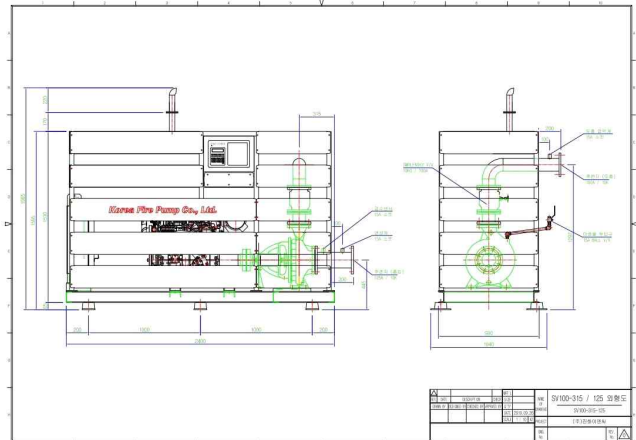


Fig. 3.4.14 소방엔진펌프 도면

유체: water

최대유량: 3000L/min

흡수능력: 120m

엔진속도: 2600rpm

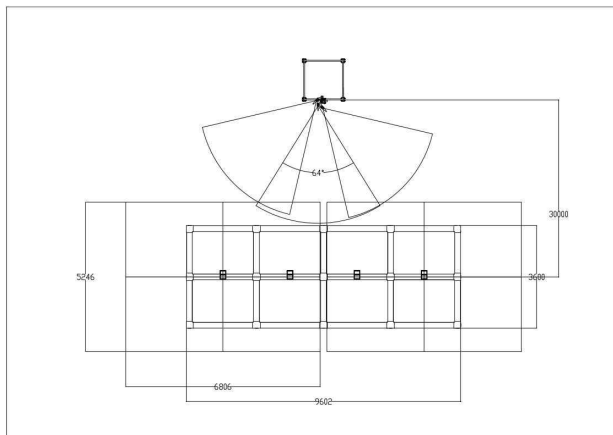


Fig. 3.4.15 화재 발화위치추적 자동소화시스템

시험 장치 구성 평면도

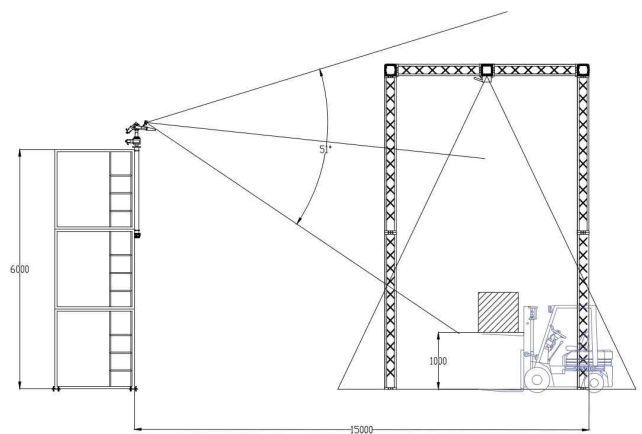


Fig. 3.4.16 화재 발화위치추적 자동소화시스템

시험 장치 구성 측면도

(3) 화재 발화 위치추적 자동소화 시스템 시험



Fig. 3.4.17 화재 발화위치추적 자동소화시스템 방사거리 30M 측면



Fig. 3.4.18 화재 발화위치추적 자동소화시스템 1M 높이 발열원 추적

(가) 시험방법

제품 구성: 방수총 65A, 메인 컨트롤 패널, PC, 방사타워, 시험장 모형

열화상카메라 5대, 발열원, 소방펌프, 전동밸브, 유량계, 압력계, 알람

(시험장 모형 사이즈: 3600 x 9600 x 5500mm)

(방사타워 사이즈: 1000 x 1000 x 6000mm)

- ① 메인 컨트롤 패널, 방수총, 열화상카메라 연결
- ② 방사타워와 발열원의 이격거리 30M 세팅
- ③ 소방펌프와 배관 연결
- ④ 방수총 열원 영점조절
- ⑤ 소방펌프 압력 10~15bar 세팅
- ⑥ 발열원을 위치를 이동시키며 열원 감지 및 추적 후 화재진압 시험 진행

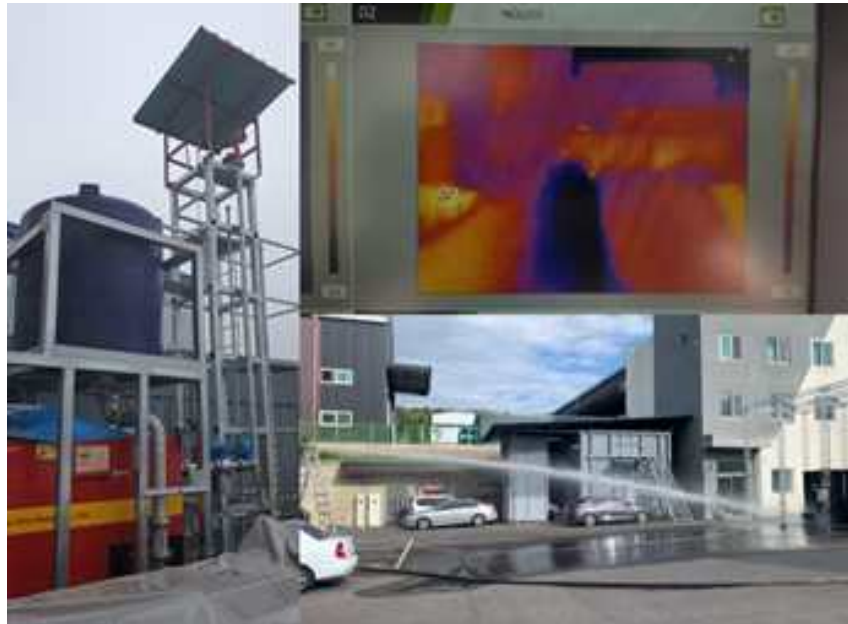


Fig. 3.4.19 화재 발화위치추적 자동소화시스템 시험 장면

(나) 화재진압 프로세스

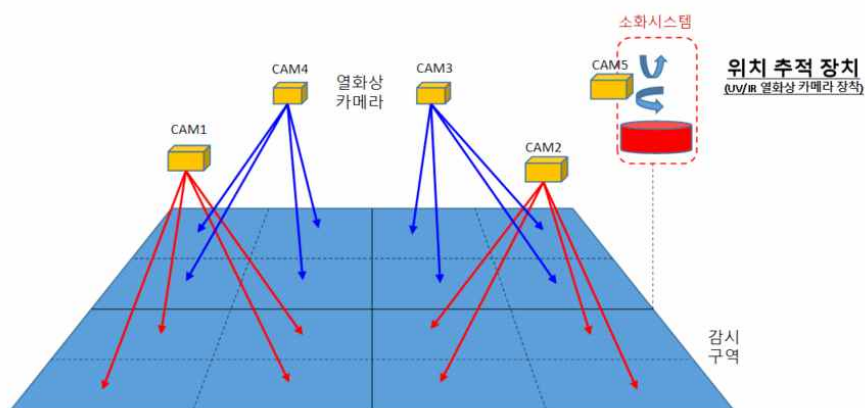


Fig. 3.4.20 화재진압 프로세스

- 열화상 카메라를 이용하여 특정 구역의 온도 모니터링($-10^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$)을 통한 1차 화재 발생 확인.
- 소화 시스템의 소화 노즐이 화재발생 좌표 값으로 방향이 전환되어 불꽃감지기로 2차 화재 확인(화재진단 : 온도 + 불꽃).

- 공간 화재 감시 및 식별

① 4개 카메라를 통한 공간 내 화재 감시 및 위치 좌표 식별

② 총 32개의 Spot 포인트 감시

③ 각 Spot에 대한 온도 설정 가능 및 설정 온도 초과 시 알람 출력

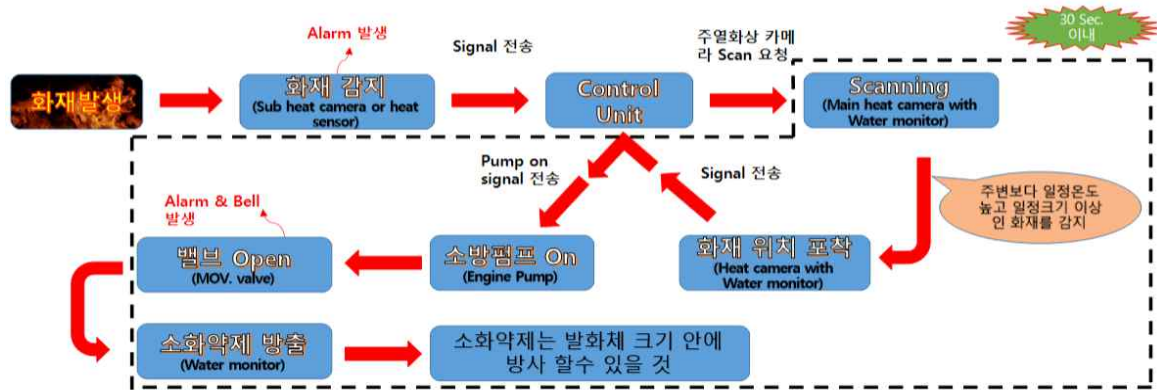


Fig. 3.4.21 발화위치추적 자동소화시스템

(다) 화재 발화위치추적 자동소화시스템 시험 결과

- 자동추적 장치의 Heat Scanner(Camera)가 화재 지점을 정확하게 찾아 내는지를 테스트 하였음. (주변 온도보다 100℃ 이상 발생 하는 지점을 화재 발생 또는 화재 발생 가능지점으로 파악함)

- 방수총 열원 추적속도는 30sec 이내로 열원을 포착하는 것을 확인함.
- 열원의 크기에 따른 위치추적 정확도 편차가 발생함.
- 열원 포착 후 약제 방사 타임리닝은 25sec, 이 후 열원 소실확인을 10sec를 반복하여 100% 화재진압 판단 후 자동 순찰모드로 이행함.
- 테스트 결과 100 % 발화 위치를 찾아내었음.
- 온도 측정 거리(FOV)

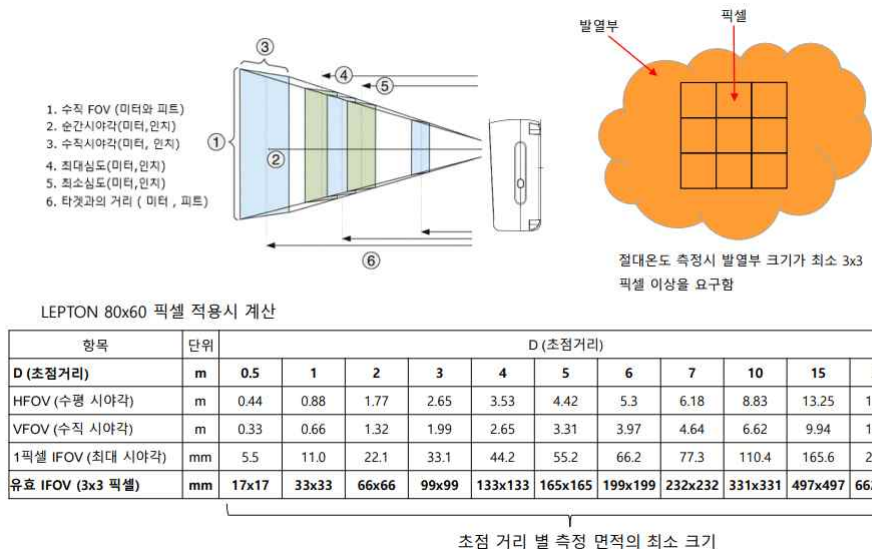


Fig. 3.4.22 온도 측정 거리

(4) 공인기관시험(FILK)

(가) 시스템설명

- 화재 발화위치추적 자동소화시스템은 열화상 카메라가 설치된 감시구역내에서 화재가 발생되면 열화상카메라가 자동적으로 화재 위치를 찾아내어 소방 기구를 화재가 발생한 위치로 안내하여 소화약제를 방사하는 시스템이다.

(나) Test 목적

- 열화상카메라가 얼마나 정확하게 화재위치를 찾아내어 소방기구를 그 위치로 안내 하는지를 체크하기 위함이다.

(다) Test 방법

- Test시에는 방사 물질로 물과 같은 소화약제를 사용하지 않고 Laser light를 이용하여 시스템 정확도를 체크 한다.

- 발화원(70cm x 70cm)의 목재화원으로 한다

- 발화원과 카메라의 이격거리는 30m 로 한다

- Test 횟수: 발화원(70cm x 70cm)을 0.2m높이에서 좌우로 이동시키며 총 4회를 실시하고 또한 1m높이에서 같은 방법으로 총 4회 실시.

- Laser light 가 발화원(70cm x 70cm)Area에 위치 하면 합격, 못하면 불합격으로 한다.

(라) Test 결과

Laser light가 8회 모두 발화원 내에 위치함.(별첨 참조: 공인기관시험결과보고서)



Fig. 3.4.23 FILK Test 장면

마. 발화진단 시뮬레이터 구현

(1) 기본개념

프로세스는 크게 상관관계를 이용하여 사례기반의 저장된 데이터와 실시간으로 들어오는 센서류들의 값들을 무차원화 시켜 유사도 비교를 하는 방법과 열화상 카메라의 열화점에 의한 온도와 열화상 카메라에 의해 측정된 이미지를 화재 가능성의 인자로 인식하는 딥러닝 방법을 병행하여 화재진단을 하도록 설계 개발이 진행되었다.

별도의 센서류의 임계치는 DB에 저장하여 설정에 의하여 저장 처리하여 유사도측정값과 열화상 카메라의 수치와 별도로 또한 화재진단은 진행이 되도록 처리했다. 즉 화재진단은 3가지의 병행처리에 의해 화재진단 및 초기 진압에 대한 정보를 알려준다.

- 규칙기반의 각 센서의 임계치를 벗어날 경우 예보, 경보의 단계를 통한 알림
- 사례기반의 화재성 데이터를 실시간으로 들어오는 데이터와의 무차원 비교
- 열화상 카메라 이미지를 통한 화재성 이미지파악 및 화점 온도를 도식화표시

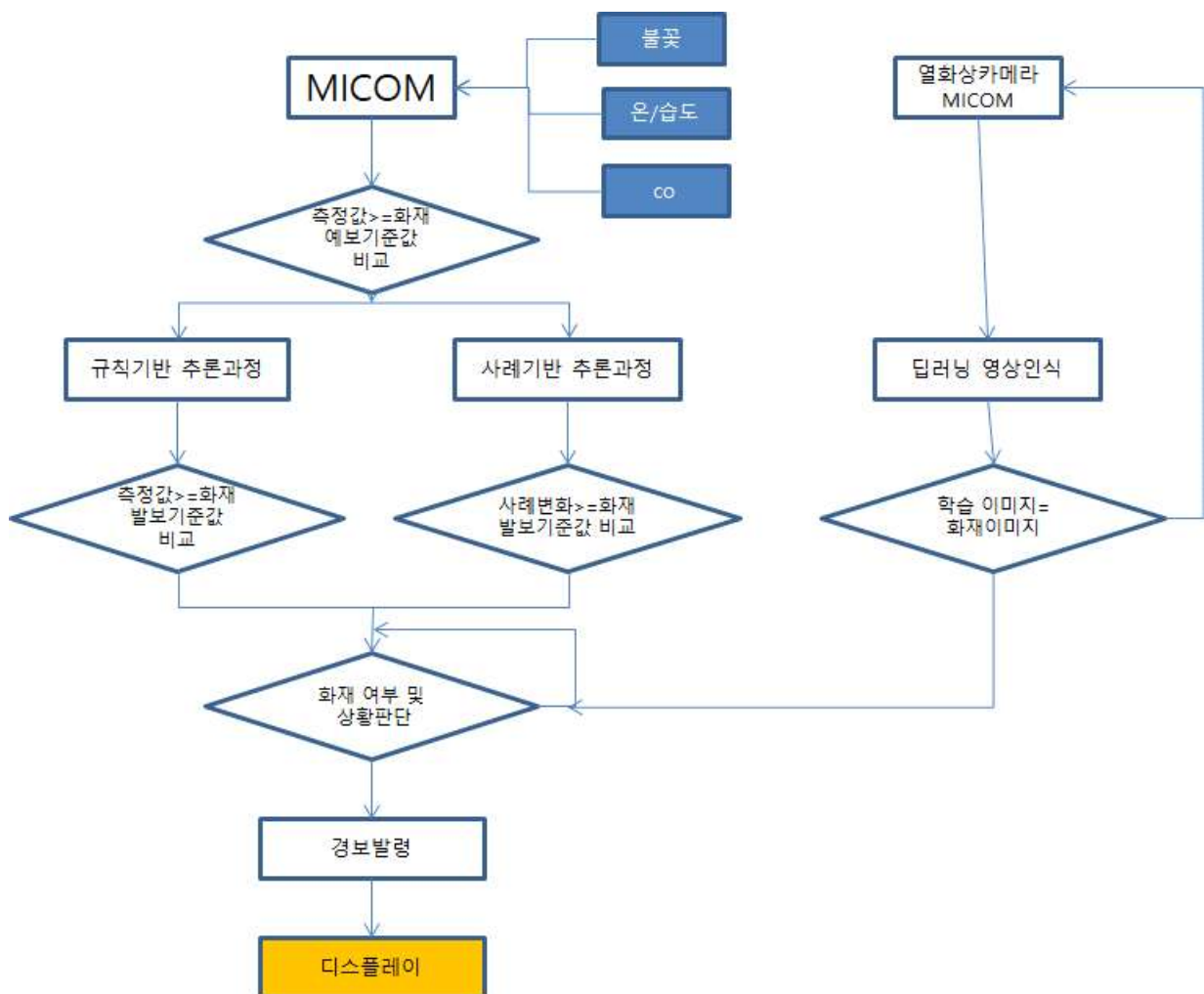


Fig. 3.5.1 발화진단 시뮬레이터 전체 프로세스

① OpenCV

현재 OpenCV는 컴퓨터 관련, 머신러닝(딥러닝)과 관련된 다양한 영상 정보 처리를 위한 라이브러리로, 오픈소스라는 점에 의해 상당한 장점을 제공한다. 또한 오픈소스기반을 가지고 접근이 가능하므로 개발차원에서 보다 유연하게 작업을 진행 할수 있는 장점이 있다. 이에 화재 이미지 처리에 대한 개발작업 시 OpenCV를 이용하여 검증할 수 있는 방법을 개발 적용 했다.

열화상카메라에서 들어오는 1차적인 이미지에서 화재의 가능성이 있는 불모양의 이미지를 최초 인식시키기 위한 객체감지를 이용한다면 1차 화재가능성에 대한 예보 성격으로 판독이 가능하다. 이를 통하여 2차 딥러닝 CNN 기법에 적용전에 정제된 이미지에 대한 제공 이미지 관독으로도 사용이 가능하다.

② 딥러닝

딥러닝은 인공신경망(Artificial Neural Network) 데이터 분석의 일종으로 Tensorflow를 이용하여 딥러닝을 진행하도록 했다.

기계학습의 성격상 많은 시간이 소모되지만, 개발 및 작업을 위주로 진행하기 위해 우선은 일반 워크스테이션 정도에서 진행을 해보았다. OpenCV에서 제공된 이미지를 2차 판별을 위하여 CNN 기법을 통한 정밀검사를 수행토록 진행을 했다.

③ 상관관계 기본원리 도입

등간척도 이상의 두 변수 중에서 한 변수의 변화가 다른 변수의 변화에 따라 어떤 변화가 일어나는지를 보여 주는 지표이다. 이를 통해 한 변수의 변화에 따른 다른 변수의 변화 정도와 방향을 예측하는 분석기법을 사용한다. 화재성을 가져다주는 화재의 이상유무 진행 정도등의 정보를 제공 가능하다,

무차원화 시킨 데이터 형태는 실시간으로 들어오는 형태의 데이터와 실시간으로 상호 비교하여 그 상관성 유사성을 분석하여 화재성 상태를 예보 경보 상태를 제공하도록 한다.

1) 상관관계 분석

- 사례기반의 화재 가능한 유사도 측정

2) 열화상 카메라를 통한 OpenCV를 이용한 이미지학습 AI 딥러닝

- 화재가능성 열화점 분포도를 이용한 화재 진단

3) 어플을 이용한 정보 전달

- 발화진단 시뮬레이터의 상황을 원격에서 감시 및 진단 가능

(2) 다중 화재징후 진단모듈

(가) 상관관계 분석 및 유사도 측정치 모델링

① 상관관계 분석

등간척도 이상의 두 변수 중에서 한 변수의 변화가 다른 변수의 변화에 따라 어떤 변화가 일어나는지를 보여 주는 지표이다. 이를 통해 한 변수의 변화에 따른 다른 변수의 변화 정도와 방향을 예측하는 분석기법을 사용한다. 화재성을 가져다 주는 화재의 이상유무 진행 정도 등의 정보를 제공 가능하다,

무차원화 시킨 데이터 형태는 실시간으로 들어오는 형태의 데이터와실시간으로 상호 비교하여 그 상관성 유사성을 분석하여 화재성 상태를 예보 경보 상태를 제공하도록 한다.

② 색인

사례기반 데이터에서의 대상 데이터를 추출하는 것은 상당히 중요한 문제이다.

색인은 추론에서 취급되는 대상의 효율적 검색을 위하여 유사도 측정 시 범위 및 사례에 대한 신중한 접근이 필요하다. 너무 상세한 색인 접근은 유사한 사례 파악이 어려워 질수 있는 가능성을 제기하며 너무 넓게 설정하면 유사도가 너무 많은 상황을 도출시킬 수 있다는 문제점을 가져올 수 있다.

이에 반복적이며, 구체적인 색인을 결정하여 사례기반으로 적용이 상당히 중요함을 인식해야 한다.

③ 유사도 평가

판단단계에서 새로운 사례에 대한 재사용을 위해서는 과거 사례가 현재 사례와의 차이점을 구분하여 어떤 사항이 새로운 사례에 적용이 가능하며, 전이될 수 있는지를 알아보아야 한다.

④ 가중치 적용

가중치 적용은 중요도에 따라 수치를 조정하여 적용하는 벡터를 찾는 것으로서 여러개의 가중치 판단 내용 중에서 후보 가중치 결정과 단계를 높은 순서대로 나열하는 것이 중요하다.

최적의 가중치 벡터를 찾기 위해서는 사례별 다양한 경험치와 데이터가 존재해야 한다.

탐색 방법에 따라서 최적의 가중치를 찾기 위한 전체 사례의 검색을 통한 가중치의 부여와 탐색비용을 줄이기 위한 무작위 탐색을 통한 가중치 부여방법이 있으며, 인공지능기법을 이용하는 사례도 증가하고 있다.

(나) 유사도 추론

피어슨 상관관계수 이용한 방법을 도입 한다. 여기서, r 은 두 변수 사이의 그래프상의 직선관계의 연동 강도를 나타낸다.

<상관계수의 성질>

- 상관계수의 값은 -1과 1사이의 범위에 있다.
- X와 Y사이에 상관이 없으면 상관계수 값은 0이다.
- 대체적으로 0.3 이상이면 상관관계가 있다고 결과

- r 값(상관계수 값) = 양수 → 양 상관관계수
- 한 변수의 값이 커질수록 다른 변수의 값도 커짐을 의미
- 한 변수의 값이 작을수록 다른 변수의 값도 작아짐을 의미
- r 값(상관계수 값) = 음수 → 음 상관관계수
- 한 변수의 값이 커질수록 다른 변수의 값도 작아짐을 의미
- 한 변수의 값이 작을수록 다른 변수의 값도 커짐을 의미

저장된 데이터로 부터 호출된 사례에 대한 데이터 변화 상태를 유사도를 평가하기 위해서 상관관계 분석이라는 통계학적 방법을 이용한다.

계산식에 있어서 아래 함수식을 적용한다.

$$R_c = \frac{S_{(cd)}}{\sqrt{S_{(dd)}S_{(cc)}}} = \sum_{i=1}^n \frac{(c_i - \bar{c})(d_i - \bar{d})}{n\sigma_c\sigma_d} \quad (3.5.1)$$

$$S_{(dd)} = \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)^2}{n} \quad (3.5.2)$$

$$S_{(cc)} = \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2 = \sum_{i=1}^n c_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n c_i\right)^2}{n} \quad (3.5.3)$$

$$S_{(cd)} = \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})(d_i - \bar{d}) = \sum_{i=1}^n c_i d_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)\left(\sum_{i=1}^n c_i\right)}{n} \quad (3.5.4)$$

(다) 다중 센서 데이터의 유사도 합성

다중의 센서로부터 평가된 유사도에 가중치를 적용하는 것을 고려하고 이를 합성하여 각 데이터별 특성을 판단 후 합리적인 가중치를 적용하는 것이 중요하다.

본 연구에는 각 센서별 data의 유사도에 가중치를 적용하는 현시값을 계산하고 이 개별 센서에 이 값을 다시 합하는 수식 방식을 적용하여 유사도를 생성한다.

유사도 합성을 위한 주요 계산식은 다음과 같다.

$$C.R_A = \sum_{i=1}^n (R_C \times f_w) \quad (3.5.5)$$

$$R_C = \max(RBR), \max(CBR) \quad (3.5.6)$$

여기서 $C.R_A$ 는 규칙 및 사례기반 추론결과의 합성치이며, i 는 감지기의 종류 및 수량이다.

R_C 는 RBR 과 CBR 은 최대값을 나타내며, 사례기반 추론내용과 규칙기반 추론내용의 결과 값이다. 그리고 f_w 는 감지기별 가중치로서 현재 실시간으로 저장 측정되고 저장되는 값이다.

사례기반 및 규칙 추론기법에 의한 감지신호의 결과 평가를 합성하는 방법으로 감지기의 사례기반 규칙기반 추론결과의 계산값을 이용하였으며, 다중 센서 감지기에서의 추론결과를 가중치를 사용하여 적용하는 방법을 이용한다.

1. 연기 감지기 발보 기준값(Ds)
2. 열 감지기 발보 기준값(Ds)
3. 변화율에 따른 연기 감지기 발보 기준값(dDs)
4. 변화율에 따른 열 감지기 발보 기준값(dDs)
5. 연기 감지기의 시스템 예보 기준값(As1)
6. 열 감지기의 시스템 예보 기준값(As1)
7. 변화율에 따른 연기감지기의 시스템 예보 기준값(dAs1)
8. 변화율에 따른 열 감지기의 시스템 예보 기준값(dAs1)
9. 상관계수
10. 유사사례 개수

*limit 45

*limit 70

*감지기무차원화 $S(\text{감지신호}) = (S - \text{발보 기준값}) / S_{\max} - S_{\min}$

*시간무차원화 $t(\text{감지신호}) = (t - t_{\min}) / t_{\max} - t_{\min}$

무차원화 이유는 모든 수치를 일반화하여 균등하게 비교하기위함(값은 $0 \leq X \leq 1$)사이임

*실시간 샘플데이터											
실제시간(초) AM 6:00 기준임	6:00:00	6:00:01	6:00:02	6:00:03	6:00:04	6:00:05	6:00:06	6:00:07	6:00:08	6:00:09	6:00:10
시간(초)-시작은 '0'으로 default 처리	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
연기감지기(%) - 0인 경우는 감지되는거 없는 경우임	0	0	0	0	4	7	9	12	15	34	36
열 감지기(°C)	24	26	30	35	38	55	58	62	65	70	77
*실시간 데이터에서 연기감지기를 무차원화 시킴											
무차원 시간	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.25	0.3125	0.375
무차원 연기 (A)	0	0	0	0	0.088888889	0.15555556	0.2	0.26666667	0.33333333	0.75555556	0.8
연기 변화율	0	0	0	0	4	3	2	3	3	19	2
무차원 연기변화율(dA)	0	0	0	0	0.266666667	0.2	0.13333333	0.2	0.2	1.26666667	0.13333333
*실시간 데이터에서 열감지기를 무차원화 시킴											
무차원 시간	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
무차원 열 (A)	0.3428571	0.371428571	0.4285714	0.5	0.542857143	0.7857143	0.8285714	0.8857143	0.9285714	1	1.1
열 변화율	0	2	4	5	3	17	3	4	3	5	7
무차원 열변화율(dA)	0	0.2	0.4	0.5	0.3	1.7	0.3	0.4	0.3	0.5	0.7

Fig. 3.5.2 센서 무차원화 데이터

Table 3.5.1 시뮬레이터 결과체크.

연기 감지기의 시스템 예보 기준값(As1)	시간 10초경, 무차원 0.375에 1차 경보 조건 만족
열 감지기의 시스템 예보 기준값(As1)	시간 2초경, 무차원 0.1에 1차 경보 조건 만족

변화율에 따른 연기 감지기의 시스템 예보 기준값(dAs1) : 0.45	시간 9초경, 무차원 0.3125에 1차 경보 조건 만족
변화율에 따른 열 감지기의 시스템 예보 기준값(dAs1) : 0.8	시간 5초경, 무차원 0.25에 1차 경보 조건 만족

- 결과(=화재주의 발령)

연기 감지기의 경우 : 9초에 화재주의발령

열 감지기의 경우 : 6초에 화재주의 발령

* 화재 주의 후에 사례기반에 준하여 화재경보를 요청하는 경우를 확인

* db에 저장되어 있는 화재사례 (예시)-화재주의 다음부터 유사도를 가지고 판단한다. 또한 비교를 위해 유사사례도 무차원화 시켜서 비교한다.

유사사례1												
시간	0	0.04	0.12	0.13	0.16	0.2	0.244	0.3	0.37	0.44	0.48	
연기감지기 무차원화	0	0.01	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.17	0.18	0.33	0.39	
열 감지기 무차원화	0	0.08	0.09	0.21	0.22	0.25	0.37	0.52	0.53	0.57	0.61	

Fig. 3.5.3 화재성 유사사례 데이터-1

시간	0.53	0.56	0.61	0.68	0.76	0.81	0.84	0.86	0.95	1	
연기감지기 무차원화	0.42	0.75	0.76	0.81	0.82	0.83	0.88	0.92	0.95	1	
열 감지기 무차원화	0.68	0.71	0.72	0.76	0.82	0.91	0.93	0.95	0.98	1	

Fig. 3.5.4 화재성 유사사례 데이터-2

* 위의 실시간 데이터관련 유사도를 체크해 보자	유사사례 데이터는 처음부터 화재가 발생된 것까지 저장된 데이터 사용한다. 유사사례가 갯수만큼 비교하여 유사도가 있는 경우로 유사도를 계산함 (그중에 유사도가 높은 경우 채택)										
실시간 데이터와 비교 유사사례1과의 연기 상관계수 계산	0.97456										
실시간 데이터와 비교 유사사례2과의 열 상관계수 계산	0.97769										
현재 유사사례와 비교해서 유사성(연기, 열)이 높은것으로 나온다	(데이터에 0.8 보다 높으면 유사성이 있다구 판단됨으로서)										
* 결과(=화재경보 발령)											
연기 감지기의 경우	유사도가 설정값보다 높게 나와서 화재경보 처리										
열 감지기의 경우	유사도가 설정값보다 높게 나와서 화재경보 처리										

Fig. 3.5.5 유사도 설정값에 준한 결과

(3) 딥러닝 기반 객체 탐지



Fig. 3.5.6 화재 감지 및 알림 서비스

- 사용자 측면

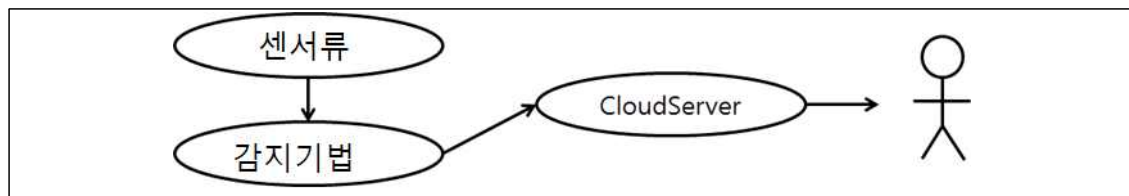


Fig. 3.5.7 사용자 측면

- 시스템 측면

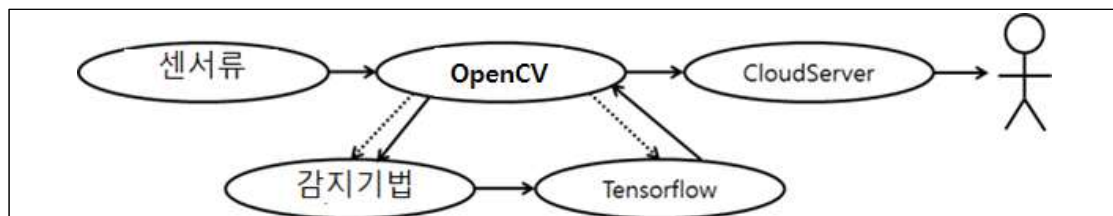


Fig. 3.5.8 시스템 측면

(가) OpenCV 와 머신러닝의 기능 병합

열화상이미지를 가지고 OpenCV 라이브러리를 이용하여 이미지 형식 변환, 필터 처리 같은 다양한 이미지 처리를 할 수 있다. 이미지를 머신러닝의 입력으로 전달하기 위해 이미지를 숫자 배열데이터로 변경한다.

이미지는 일반적으로 BMP, PNG, JPG 형식 등, 매우 다양한 형식으로 되어있다. 또한 이미지는 흑백이기도 하고 색상을 가지고 있기도 하며, OpenCV는 이러한 이미지의 형식을 가공하고, 색상을 맞추어 사용할 때 사용한다. 또한 머신러닝의 입력으로 데이터를 전달할 때는 이미지의 크기를 변환한다.

이러한 이미지의 크기 변환, 이미지의 자르기 등을 모두 OpenCV를 이용하여 처리가 가능하다. OpenCV 는 IoT 기기에서 동작한다. IoT 장비에서도 OpenCV를 사용할 수 있으므로, 기본적인 이미지 처리가 가능하고 이를 머신러닝의 입력으로 전달하여 활용이 가능하다. 즉 열화상카메라의 이미지 또한 변환 가능함을 의미한다.

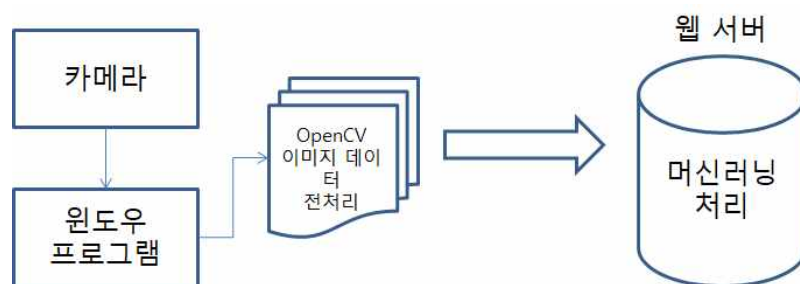


Fig. 3.5.9 IoT 장비와 서버를 이용한 머신러닝 시스템 구현도

(나) 열적외선 카메라에서 받은 데이터를 시각화 처리방법

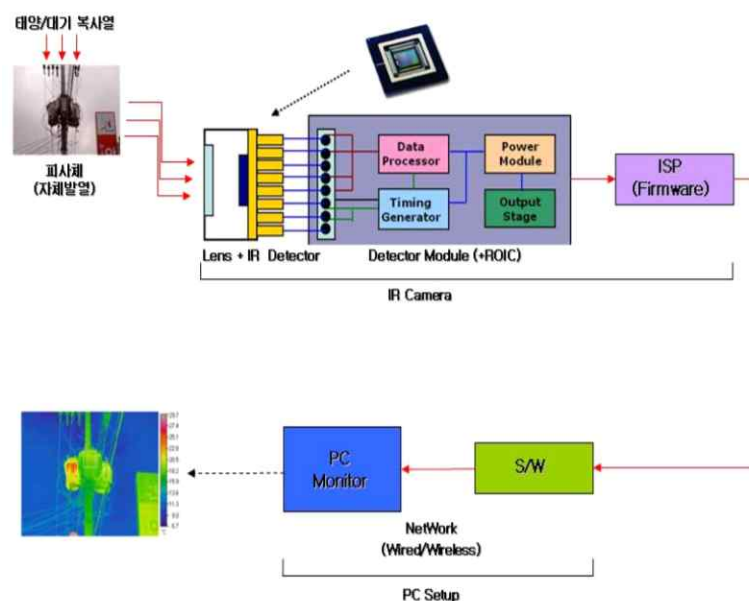


Fig. 3.5.10 열적외선 카메라 원리

이미지 데이터는 픽셀(pixel)이라고 하는 작은 이미지를 직사각형 형태로 모은 것이다. 각 픽셀은 단색의 직사각형이다. 전체 이미지의 크기를 표현할 때는 (세로 픽셀수 x 가로 픽셀

수) 형식으로 표현한다. 이미지 데이터를 저장할 때는 픽셀의 색을 표현하는 스칼라 값이나 벡터를 2차원 배열로 표현한다. 본 개발에서는 아래 예시와 같이 프로그램을 구현하였다.

In [1]:

```
import scipy as sp

img_gray = sp.misc.face(gray=True)
img_gray.shape
```

(768, 1024)

In [2]:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

sns.heatmap(img_gray[:15, :15], annot=True, fmt="d", cmap=plt.cm.bone)
plt.axis("off")
plt.show()
```

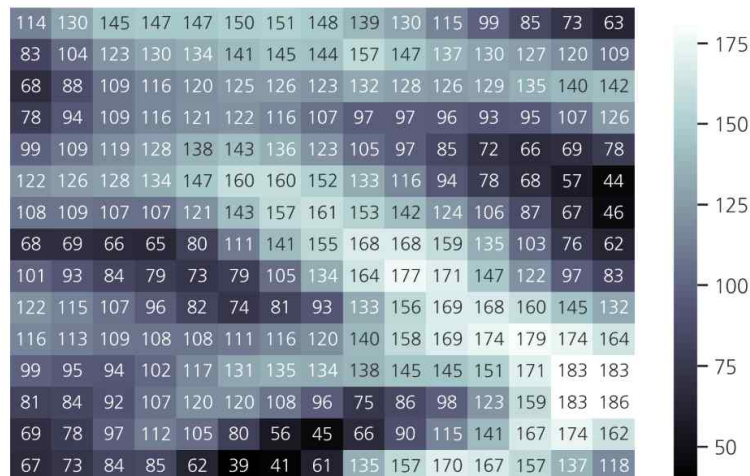


Fig. 3.5.11 이미지의 RGB 코드화 처리

- RGB

RGB 색공간에서 색은 적(Red), 녹(Green), 청(Blue)을 기준으로 명도값을 가지며 세 개의 색상이 벡터로 합쳐져서 표현된다. 8비트 부호없는 정수를 사용하는 경우 빨간색 (255, 0, 0), 녹색은(0, 255, 0), 청은(0, 0, 255) 이다.

픽셀 데이터가 스칼라가 아닌 벡터이므로 이미지 데이터는 (세로픽셀수 x 가로픽셀수) 형태의 2차원 배열로 표현하지 못하고 (세로픽셀수 x 가로픽셀수 x 색채널) 형태의 3차원 배열로 저장한다. 세번째 축을 색채널(channel)이라고 부른다.

다음 그림에서 붉은색은 R채널의 값이 크고 하늘은 푸른색이므로 B채널의 값이 큰 것을 확인할 수 있다.

In [3]:

```
from sklearn.datasets import load_sample_images

dataset = load_sample_images()
img_rgb = dataset.images[1]
img_rgb.shape
```

```
(427, 640, 3)
```

In [4]:

```
plt.figure(figsize=(10, 2))

plt.subplot(141)
plt.imshow(img_rgb[50:200, 50:200, :])
plt.axis("off")
plt.title("RGB 이미지")

plt.subplot(142)
plt.imshow(img_rgb[50:200, 50:200, 0], cmap=plt.cm.bone)
plt.axis("off")
plt.title("R 채널")

plt.subplot(143)
plt.imshow(img_rgb[50:200, 50:200, 1], cmap=plt.cm.bone)
plt.axis("off")
plt.title("G 채널")

plt.subplot(144)
plt.imshow(img_rgb[50:200, 50:200, 2], cmap=plt.cm.bone)
plt.axis("off")
plt.title("B 채널")

plt.show()
```

- HSV

HSV(Hue, Saturation, Value) 색공간에서는 색이 다음 세가지 값으로 표현된다. 색상 : 색상값 H는 가시광선을 주파수 별로 고리모양으로 배치했을 때의 각도이다. 0° ~ 360° 의 수치범위 갖고 360° 와 0° 는 빨강을 가리킨다.

채도값 S는 특정한 색상의 진함의 정도를 나타낸다. 가장 진한 상태를 100%이고 0%는 같은 명도의 무채색이다. 명도(Value): 명도값 V는 밝은 정도를 나타낸다. 순수한 흰색, 빨간색은 100%이고 검은색은 0%이다. 아래 코드는 채도가 100일 때의 색공간을 시각화 한 것이다.

In [8]:

```
# 명도(Value)  
HSV_S20[:4, :5, 2]
```

```
array([[0., 0., 0., 0., 0.],  
       [0.01010101, 0.01010101, 0.01010101, 0.01010101, 0.01010101],  
       [0.02020202, 0.02020202, 0.02020202, 0.02020202, 0.02020202],  
       [0.03030303, 0.03030303, 0.03030303, 0.03030303, 0.03030303]])
```

In [9]:

```
plt.subplot(211)  
plt.imshow(RGB_S100, origin="lower", extent=[0, 360, 0, 1], aspect=80)  
plt.xlabel("색상(Hue)")  
plt.ylabel("명도(Value)")  
plt.title("채도(Saturation) 100일 때의 색공간")  
plt.grid(False)  
  
plt.subplot(212)  
plt.imshow(RGB_S20, origin="lower", extent=[0, 360, 0, 1], aspect=80)  
plt.xlabel("색상(Hue)")  
plt.ylabel("명도(Value)")  
plt.title("채도(Saturation) 20일 때의 색공간")  
plt.grid(False)  
  
plt.tight_layout()  
plt.show()
```

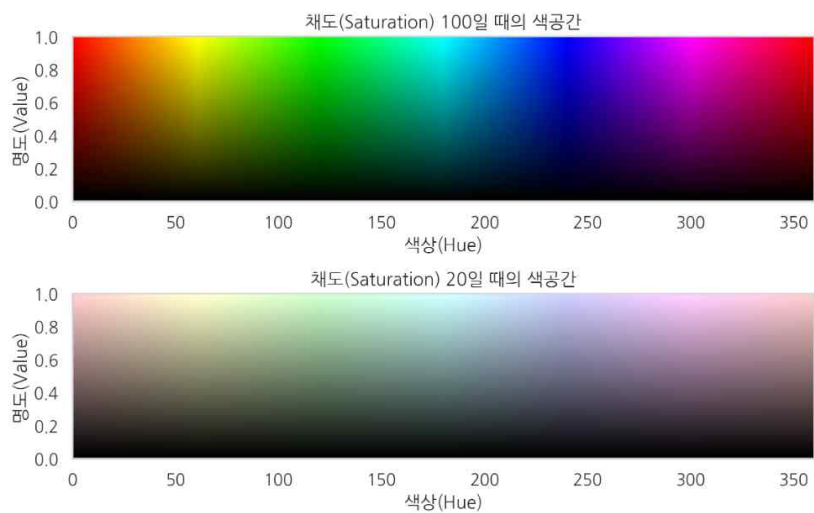


Fig. 3.5.12 채도와 색상명도 차이

- 유사도 이미지 검출하기

여기에 쓰이는 형태인식에는 Average Hash를 사용하게 된다. Average Hash는 이미지를 비교 가능한 해시 값으로 나타내는 것을 말한다. 해시 함수는 MD5, SHA256 등을 이용하여 데이터 값을 간단한 해시 값으로 변환할 수 있다.

In [5]:

```
from matplotlib.colors import hsv_to_rgb

V, H = np.mgrid[0:1:100j, 0:1:360j]
S = np.ones_like(V)

HSV_S100 = np.dstack((H, S * 1.0, V))
RGB_S100 = hsv_to_rgb(HSV_S100)
HSV_S20 = np.dstack((H, S * 0.2, V))
RGB_S20 = hsv_to_rgb(HSV_S20)

HSV_S20.shape
```

```
(100, 360, 3)
```

In [6]:

```
# 색상(Hue)
HSV_S20[:,4, :5, 0]
```

```
array([[0.      , 0.00278552, 0.00557103, 0.00835655, 0.01114206],
       [0.      , 0.00278552, 0.00557103, 0.00835655, 0.01114206],
       [0.      , 0.00278552, 0.00557103, 0.00835655, 0.01114206],
       [0.      , 0.00278552, 0.00557103, 0.00835655, 0.01114206]])
```

In [7]:

```
# 채도(Saturation)
HSV_S20[:,4, :5, 1]
```

```
array([[0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2],
       [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2],
       [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2],
       [0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]])
```

그리고 이런 해시값을 기반으로 같은 데이터를 검색 할수 있다.

- 1) 이미지 크기를 8* 로 축소한다.
 - 2) 색을 그레이스컬러로 변환한다.
 - 3) 이미지 각 픽셀의 평균을 계산한다.
 - 4) 각 픽셀의 어두운 정도가 평균보다 크면 1, 아니면 0 으로 입력한다.
- 이를 통하여 이미지의 유사도를 측정이 가능하다.

이 방법은 8*=64비트 해시값을 구할 수 있으므로 간단하게 유사한 이미지를 검색가능 하게 한다.

이미지를 다룰 때에는 파이썬의 이미지 라이브러리 Pillow를 사용한다.
사용할 이미지는 아래의 이미지 이다.

- 구현 소스는

```
import numpy as np
# 이미지 데이터를 Average Hash로 변환하기 --- (※1)
def average_hash(fname, size = 16):
    img = Image.open(fname) # 이미지 데이터 열기---(※2)
    img = img.convert('L') # 그레이스케일로 변환하기 --- (※3)
    img = img.resize((size, size), Image.ANTIALIAS) # 리사이즈하기 --- (※4)
    pixel_data = img.getdata() # 픽셀 데이터 가져오기 --- (※5)
    pixels = np.array(pixel_data) # Numpy 배열로 변환하기 --- (※6)
    pixels = pixels.reshape((size, size)) # 2차원 배열로 변환하기 --- (※7)
    avg = pixels.mean() # 평균 구하기 --- (※8)
    diff = 1 * (pixels > avg) # 평균보다 크면 1, 작으면 0으로 변환하기 --- (※9)
    return diff
# 이진 해시로 변환하기 --- (※10)
def np2hash(ahash):
    bhash = []
    for nl in ahash.tolist():
        sl = [str(i) for i in nl]
        s2 = "".join(sl)
        i = int(s2, 2) # 이진수를 정수로 변환하기
        bhash.append("%04x" % i)
    return "".join(bhash)
# Average Hash 출력하기
ahash = average_hash('fire.jpg')
print(ahash)
print(np2hash(ahash))
```

바. 소화시스템 설계관리 프로그램

(1) 기본 이론

(가) Hesson 유량계산 방정식

본 과제에서는 소화 배관을 따라 흐르는 소화제의 압력강하를 계산하기 위해 Hesson 유량 방정식을 사용하였다. 압축성 가스에 대한 다양한 계산식이 있지만 이는 배관 길이가 짧거나 상대적으로 단순한 배관 구조에 적합하고 복잡한 긴 구성의 배관에는 부적절하다. Hesson 방정식은 2상 유체 방정식으로서 압축성 2상 유체의 거동을 쉽게 표현하기 위해 베르누이 방정식을 기반으로 변경되었다. Hesson 유량 방정식은 할로겐 화합물 소화제 및 청정소화약제의 유량계산에 있어 가장 유용한 계산식으로 알려져 있다.

$$43.5 \cdot Q^2 \cdot f \cdot L - 7.97 \cdot Q^2 \cdot D \cdot \int_{P_0}^{P_f} \rho dP + D^5 \cdot \int_{P_0}^{P_f} \frac{d\rho}{\rho} \quad (3.6.1)$$

위 식에서 Q는 유량을 뜻하며, D와 L은 각각 배관내경, 배관의 등가길이를 뜻하고 P와 ρ 는 각각 배관 내 압력과 밀도를 뜻한다.

(나) 평균 저장압력 계산

소화배관 유동의 계산은 유량이 일정하고 배관 직경이 일정한 배관 구간별로 수행한다. 이를 위해 배관의 시작점의 압력을 산정하는 것이 우선적으로 수행되어야 한다. Hesson 방정식은 준 정상상태 유동(quasi-steady state flow) 중 발생하는 압력강하에 대하여 계산하는 방정식으로서 유량계산은 약제의 반이 노즐을 통해 방출 되었을 때의 저장용기의 평균 압력을 시작 압력으로 산정하여 계산이 수행되어 진다. 저장용기의 평균 압력은 방출시의 저장용기 내의 압력 강하와 배관 내의 약제의 비율에 의해 정해진다. Fig. 3.6.1은 Halon 1301 약제에 대한 압력-방출비율 선도를 나타내고 있다.

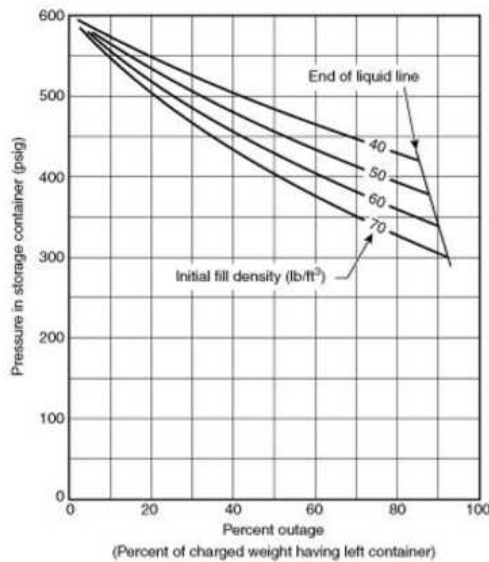
저장용기의 압력강하는 Fig. 3.6.1에서 볼 수 있듯이 초기 저장밀도에 따라 달라진다. 방출된 약제량에 비하여 배관 내의 약제량이 극도로 적을 경우 (배관의 길이가 짧은 경우) 50%가 방출된 지점의 압력을 평균 저장압력으로 볼 수 있으나 대부분의 설비는 배관길이가 길어짐에 따라 일정량의 약제가 배관 내에 존재하게 되므로 저장용기로부터 방출된 약제가 50%인 경우의 압력을 평균 저장압력으로 간주하지 못한다. 예를 들어 총 약제량 대비 배관 내의 약제가 20%일 경우 저장용기에서 70%의 약제가 빠져나간 시점의 압력을 평균 저장압력으로 보아야 한다. 이를 고려하여 평균 저장압력은 배관 내 약제비율에 의해 결정되며 아래의 Fig. 3.6.2는 Halon 1301 약제의 평균 저장압력-배관 내 약제비율 선도를 나타내고 있다.

(다) 배관 내 약제 비율 추정

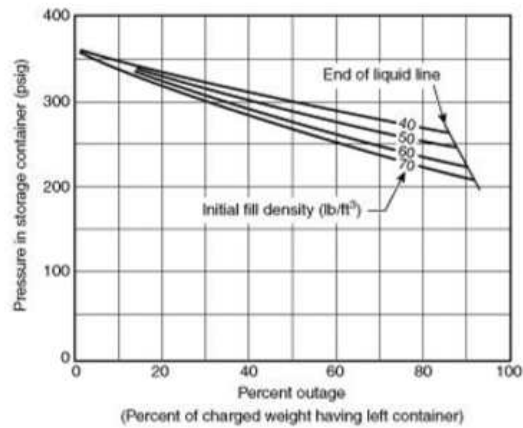
저장용기의 평균압력을 구하기 위해선 방출 시 배관 내의 약제의 양을 알아야 하는데 이는 배관의 체적과 약제의 평균밀도의 곱으로 계산할 수 있다. 하지만 소화제는 압축성 유체로서 말단 압력을 정확히 계산하기 전까지 평균밀도는 결정할 수 없다. 이에 대한 해답을 직접적으로 구할 수는 없지만 아래와 같은 방정식을 통해 추정할 수 있다.

$$\text{percent in piping} = \frac{K_1}{(W/V_p) + K_2} \quad (3.6.2)$$

여기서 W 는 초기 충약 중량이고, V_p 는 배관 내부 체적, K_1 와 K_2 는 배관 내 약제 비율 결정에 위한 상수이다.



(a) 600 psig



(b) 360 psig

Fig. 3.6.1 약제방출비율에 따른 저장용기의 압력강하 (Halon 1301)

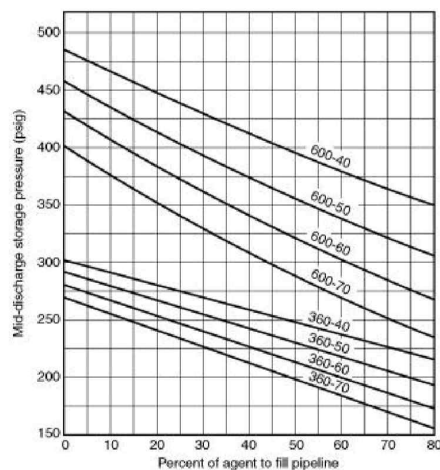


Fig. 3.6.2 배관 내 약제비율에 따른 평균저장압력 (Halon 1301)

(라) 오리피스 노즐 유량 계산식

오리피스 노즐을 통해 방출되는 유량은 노즐과 이어져 있는 파이프 배관의 말단 압력과 오리피스 노즐의 직경으로 정해진다. 질량보존 법칙에 따라 Hesson 방정식에서 사용되었던 유량과 노즐 유량계산식에 의해 계산된 유량이 일치하여야 하며 이를 위해 각 배관의 유량을 가정하고 이를 노즐 방출 유량으로 수렴시키는 반복계산이 필요하다. 노즐을 통과하는 압축성 가스 유동의 기본 계산식은 아래와 같다.

$$Q = C_d Y A \sqrt{\frac{2\rho_1(P_1 - P_2)}{1 - \beta^4}} \quad (3.6.3)$$

여기서 Q는 유량, C_d 는 송출계수로서 노즐의 형상에 의해 정해진다. Y는 팽창계수, β 는 파이프직경 대비 노즐 직경이고 A는 노즐의 면적이다.

(3) 프로세스 구현

- 방호구역 선정 및 체적 계산을 하고 이를 이용하여 필요 약제량을 계산하는 단계
- 배관 계통을 설계하고 배관 직경 및 분사노즐 직경을 선정하는 단계
- 노즐별 방출유량의 초기값을 배관 크기별 최대유량을 기준으로 선정하는 단계
- 설계된 배관을 기준으로 배관 체적을 계산하고 배관 내의 약제비율을 추산하는 단계
- 추정된 배관 내 약제비율과 저장용기 내 압력강하 특성을 이용하여 배관 시작점에서의 압력을 결정하는 단계
- 임의로 선정된 방출유량을 이용하여 배관 구간별 시작점과 끝점에서의 압력과 밀도를 계산하고 압력손실을 산정하는 단계
- 계산된 밀도와 배관 체적을 이용하여 배관 내 약제비율을 계산하고 초기 추산값과 계산값을 비교하여 일치하면 수렴한 것으로 하고, 일치하지 않을 경우, 두 값의 평균값을 배관 내 약제비율로서 재입력하여 반복 계산 하는 단계
- 반복 계산 후 최종 계산된 말단 압력과 분사 노즐 직경을 기준으로 노즐 유량 계산식을 이용해 계산한 유량과 압력계산에 사용된 초기 유량을 비교하여 일치하면 수렴한 것으로 하고, 일치하지 않을 경우, 두 값의 평균값을 초기 유량값으로서 재입력하여 반복 계산하는 단계
- 최종적으로 계산된 방출유량을 이용하여 방출시간을 산정하는 단계

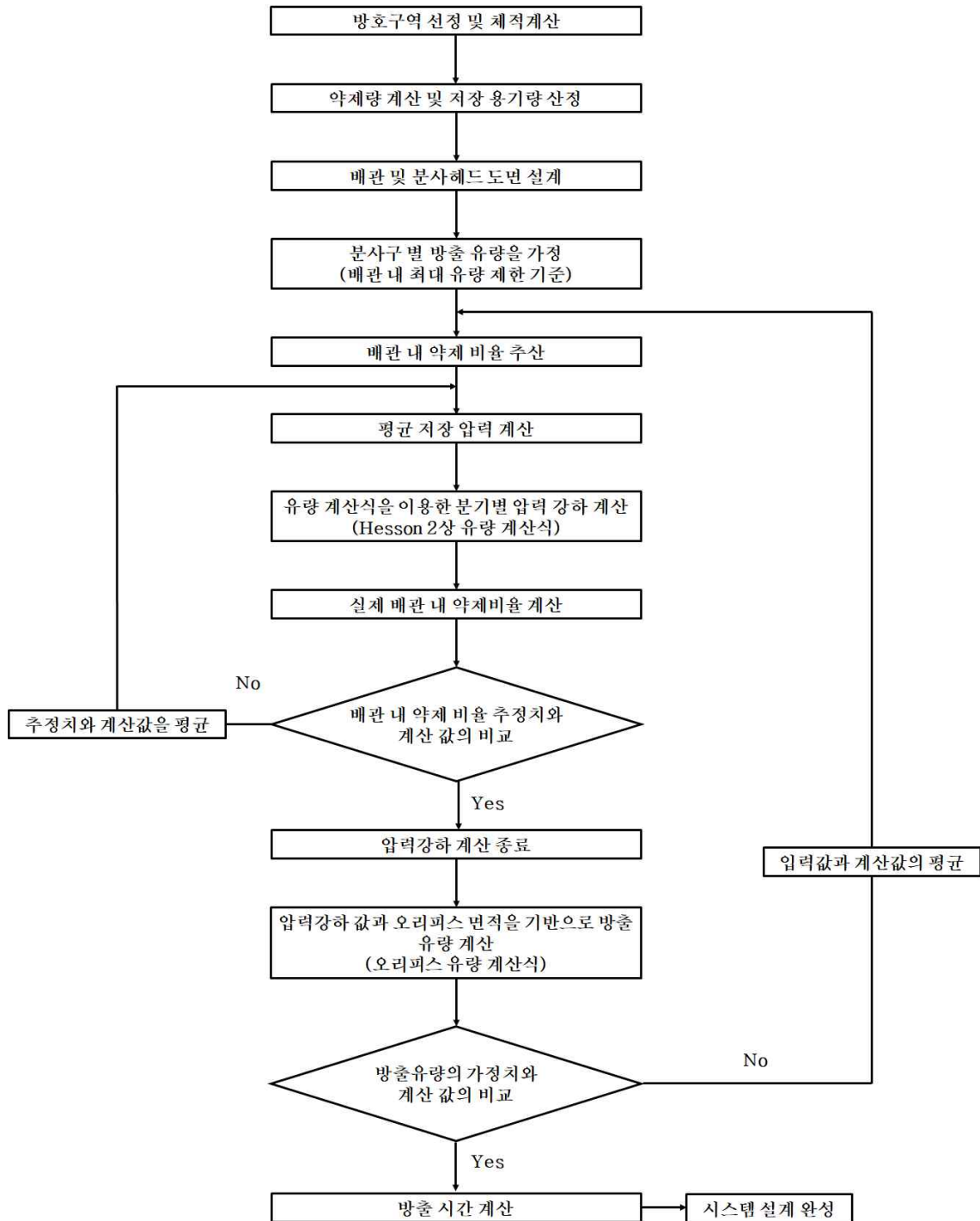


Fig. 3.6.3 소화 배관 유량계산 로직

(4) 필요 데이터

소화배관 유량계산을 위해 아래와 같은 데이터가 필요하다.

- 약제량
- 배관 별 등가길이
- 배관 별 최소 설계유량
- 배관 내 약제비율 결정을 위한 상수
- 저장압력-약제 방출량 함수
- Hesson 방정식 계산을 위한 Y 및 Z 계수
- 파이프내의 압력-밀도 함수

위 데이터들 중에서 배관 내 약제비율 결정 상수, 저장압력-약제 방출량 함수, 파이프 내의 압력-밀도 함수, Hesson 방정식 계산을 위한 Y 및 Z 계수 등은 현재 NFPA 12A에 Halon 1301에 대해서는 데이터가 일부 공개되어 있지만 IG-100에 대해서는 관련 데이터가 공개되어 있지 않은데 이는 주로 실험 혹은 열역학적 해석을 통해 데이터를 확보하게 된다. 이에 본 과제에서는 Halon 1301의 데이터를 활용하여 계산알고리즘을 구축 후 IG-100 관련 데이터베이스를 확보하여 프로그램에 반영하고자 한다.

(가) 약제량 계산

- 할론 1301

할로겐화합물 소화설비의 약제량 계산식은 아래와 같다.

$$W = \frac{V}{S} \times \frac{C}{100 - C} \quad (3.6.4)$$

여기서,

- W : 소화약제의 무게(kg)
- V : 방호구역의 체적(m³)
- S : 소화약제별 선형상수
- T : 방호구역의 최저예상온도
- C : 설계농도(%)

- IG-100

불활성가스 소화설비의 약제량 계산식은 아래와 같다.

$$X = 2.303 \times \frac{V}{S} \times \left(\log \frac{100}{100 - C} \right) \times V_s \quad (3.6.5)$$

여기서 ,

- X : 소화약제의 체적(m)
- V : 방호구역의 체적(m³)
- S : 소화약제별 선형상수
- C : 설계농도(%)
- Vs : 20℃에서의 소화약제 비체적(m³/Kg)
- T : 방호구역의 최저예상온도

(나) 배관 부속 등가길이

일반적인 강관의 소화 배관에 적용되는 배관 부속들의 등가길이를 Table 3.6.1에 나타내었다.

Table 3.6.1 배관 부속 등가길이

	15A	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A
45° 엘보	0.120	0.160	0.210	0.290	0.340	0.400	0.500	0.590	0.777	0.950	1.140
90° 엘보	0.240	0.320	0.410	0.580	0.680	0.790	0.990	1.170	1.540	1.900	2.270
Through T	0.320	0.430	0.550	0.770	0.910	1.060	1.320	1.560	2.050	2.530	3.020
Side T	0.970	1.290	1.630	2.310	2.710	3.160	3.960	4.690	6.140	7.600	9.060
유니언 · 플렌지	0.080	0.110	0.140	0.200	0.230	0.270	0.330	0.390	0.510	0.640	0.760

(다) 최소 설계 유량

2상 유체의 경우 설비의 적절한 유량계산을 위해 배관 내의 유체가 평형상태를 유지하는 동안 액상과 기체가 균일하게 혼합되어야 한다. 즉, 액상과 기상의 분리를 막기 위해 배관 내에서 강한 난류가 발생하여야 하며 이를 위한 각 배관 구경별 최소 유량을 Table 3.6.2에 나타내었다. 이는 초기 유량값을 가정하는데 사용된다.

Table 3.6.2 난류 형성을 위한 최소 설계 유량

배관 사이즈	최소 설계 유량(lb/sec)
15A	1.0
20A	2
25A	3.4
32A	5.8
40A	8.4
50A	13
65A	19.5
80A	33
100A	58

(라) 배관 내 약제비율 추산

소환 배관 설계 시 저장용기의 평균 저장압력을 산정하기 위해 배관 내 약제비율을 추산을 하여야 하는데 그 추산식은 아래와 같다.

$$\text{percent in piping} = \frac{K_1}{(W/V_p) + K_2} \quad (3.6.6)$$

여기서

W : 초기 충약 중량

V_p : 배관 내부 체적

K_1, K_2 : 배관 내 약제 비율 결정을 위한 상수

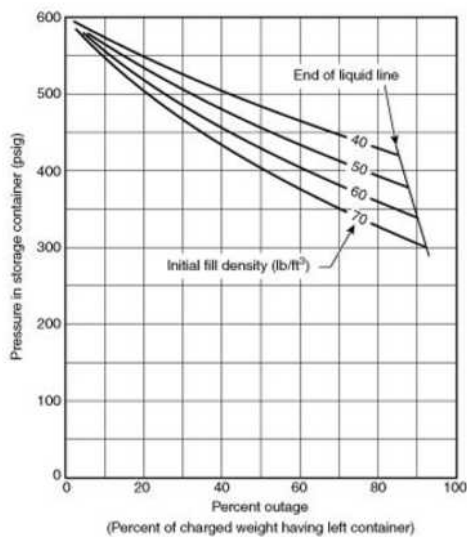
Halon 1301에 대한 배관 내 약제 비율 결정 상수를 Table 3.6.3에 나타내었다.

Table 3.6.3 배관 내 약제 비율 결정 상수

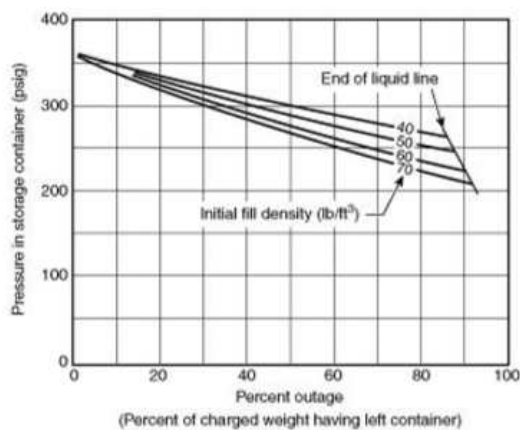
Constants to Determine Percent of Agent in Piping			
Storage (psig)	Filling Density (lb/ft ³)	K_1	K_2
600	70	7180	46
600	60	7250	40
600	50	7320	34
600	40	7390	28
360	70	6730	52
360	60	6770	46
360	50	6810	40
360	40	6850	34

(마) 저장압력-약제 방출량

배관 시작점에서의 압력을 평균 저장압력으로 간주하기 위해 저장압력-약제 방출량의 관계에 대한 데이터와 배관 내 약제비율 값이 필요하며 Halon 1301에 대한 저장압력-약제 방출량 선도는 Fig. 3.6.4에서와 같이 NFPA 12A에 제시되어 있다. 저장압력의 감소율은 저장 밀도에 따라 달라진다.



(a) 600 psig



(b) 360 psig

Fig. 3.6.4 약제방출비율에 따른 저장용기의 압력강하 (Halon 1301)

평균 저장용기의 압력은 약제 방출에 따른 저장용기 압력강하율과 배관 내 약제비율의 논리적인 함수로서 나타낼 수 있으며 Fig. 3.6.5와 같이 NFPA 12A에 제공되어 있다.

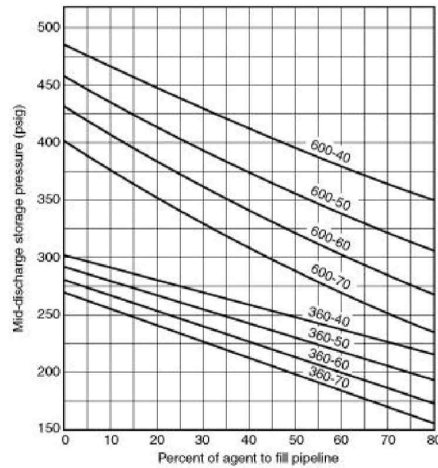


Fig. 3.6.5 배관 내 약제비율에 따른 평균저장압력 (Halon 1301)

본 과제에서는 프로그램 구축에 필요한 평균저장압력 산정을 위해 Fig. 3.6.5의 데이터를 일부 추출하여 지수함수 기반의 함수를 구축하였으며, 이는 아래와 같은 규칙의 공식으로 나타냈다.

$$\text{Mid-discharge pressure} = P_{50\%} \times e^{(-\rho_{fill} \times 10^{-3} \times r)}$$

여기서,

$P_{50\%}$: 저장용기에서 약제의 50%가 방출되었을 때의 압력

ρ_{fill} : 충전밀도(저장약제량/저장용기 체적)

r : 배관내 약제 비율

Fig. 3.6.6은 위 공식으로 다시 나타낸 배관 내 약제비율에 따른 평균저장압력 그래프이며 기존의 그래프와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

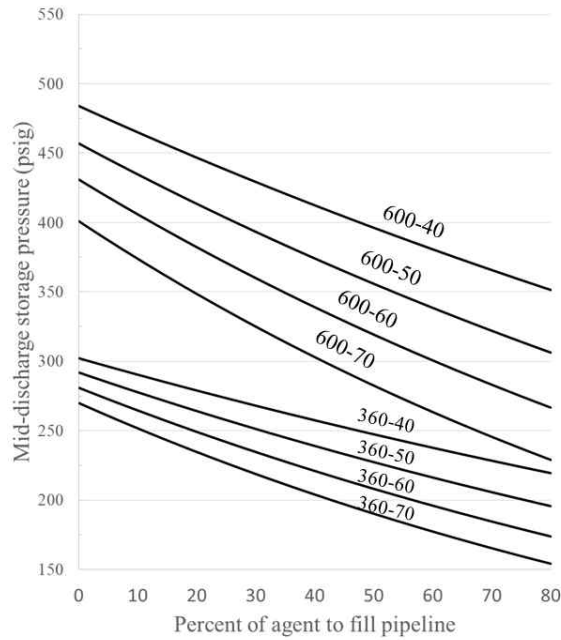


Fig. 3.6.6 구축된 함수를 이용한 평균저장압력 선도 (Halon 1301)

(바) Hesson 방정식 계산을 위한 Y 및 Z 계수

앞서 나타내었던 Hesson 유량 방정식의 경우 압력에 대하여 직접 계산하는 과정은 현실적으로 불가능한 일이며 따라서 이를 압력과 관계가 있는 Y에 대해 다시 정리 할 수 있다.

$$Y_2 = Y_1 + \frac{fBLQ^2}{D^5} + \frac{AQ^2(Z_2 - Z_1)}{D^4} \quad (3.6.7)$$

여기서,

$$A : \frac{17.6}{\pi^2 g}$$

$$B : \frac{96}{\pi^2 g}$$

f : friction factor

위 식을 다시 일반적인 강관에 대하여 나타내면 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$Y_2 = Y_1 + \frac{LQ^2}{C} + DQ^2(Z_2 - Z_1) \quad (3.6.8)$$

여기서,

$$C : 1.013D^{5.25}$$

$$D : 7.97/D^4$$

Y_1 : 구간 시작점에서의 Y 계수

Y_2 : 구간 끝점에서의 Y 계수

Z_1 : 구간 시작점에서의 Z 계수

Z_2 : 구간 끝점에서의 Z 계수

Y 와 Z 계수는 저장압력 및 충약 밀도 모두에 관계가 있고 각 저장조건에 대한 별도의 표가 필요하다. Halon 1301에 대한 Y 및 Z계수의 데이터는 NFPA 12A에 나타나 있으며 Table 4는 예로서 저장압력 600 psig, 70lb/ft³에 대한 Y 및 Z 계수를 나타내고 있다. 본 과제에서는 보간법을 이용하여 해당 데이터를 소화설계 프로그램에 반영하였다.

Y와 Z 계수를 이용한 Hesson 방정식의 계산방법은 아래와 같다.

1. 시작점에서의 압력(저장용기에 연결된 배관의 경우 평균 저장압력)을 기준으로 Y_1 및 Z_1 를 구한다.
2. Z는 매우 작은 값이기 때문에 초기 계산에서는 무시하고 Y_2 를 구한다.
3. 구해진 Y_2 에 해당하는 말단압력을 구하고 이를 이용하여 Z_2 를 구한다.
4. 구해진 Z_1 와 Y_1 및 Z_1 를 이용하여 최종적으로 Y_2 와 구간 끝점의 압력을 구한다.
5. 구해진 압력을 다음 구간의 시작압력으로 사용하여 최종 말단압력을 구한다.

Table H.1(e) Halon 1301 at 600 psig and 70 lb/ft ³ Y and Z Factors									
psig	Z	Y							
		0	1	2	3	4	5	6	7
400	0.006	290	194	97	0	0	0	0	0
390	0.028	1243	1149	1054	960	865	769	674	578
380	0.051	2176	2084	1991	1898	1806	1712	1619	1525
370	0.076	3086	2996	2906	2816	2725	2634	2543	2451
360	0.102	3974	3886	3798	3710	3622	3533	3444	3355
350	0.129	4838	4753	4667	4581	4495	4409	4323	4236
340	0.159	5678	5595	5512	5428	5345	5261	5177	5093
330	0.191	6492	6412	6331	6251	6169	6088	6007	5925
320	0.224	7281	7203	7125	7047	6968	6890	6811	6731
310	0.260	8042	7967	7892	7816	7741	7665	7588	7512
300	0.298	8776	8704	8631	8559	8486	8413	8339	8265
290	0.339	9482	9412	9343	9273	9203	9132	9062	8991
280	0.382	10158	10092	10025	9958	9891	9823	9756	9688
270	0.429	10805	10741	10678	10614	10550	10485	10420	10355
260	0.478	11421	11361	11300	11239	11178	11117	11055	10993
250	0.531	12007	11950	11892	11834	11776	11718	11659	11600
240	0.588	12561	12507	12453	12398	12343	12288	12232	12176
230	0.649	13084	13033	12982	12930	12878	12826	12774	12721
220	0.713	13575	13527	13479	13431	13382	13333	13284	13234
210	0.782	14034	13990	13945	13900	13854	13808	13762	13716
200	0.855	14462	14421	14379	14337	14295	14252	14209	14166
190	0.934	14859	14820	14782	14743	14704	14664	14624	14584
180	1.017	15225	15190	15154	15118	15082	15046	15009	14972
170	1.105	15561	15528	15496	15463	15430	15396	15363	15329

Fig. 3.6.7 Y 및 Z 계수 (600 psig - 70 lb /ft³)

(사) 계산된 압력값을 기준으로 배관 내 약제비 계산

초기값으로 주어지는 배관 내 약제비율은 추산식을 이용한 추정값일 뿐이며 유량 계산식을 이용하여 계산된 압력값을 기준으로 소화배관 내의 밀도를 알아야 소화 배관 내의 약제비율을 계산할 수 있다. 그리고 이를 초기 추정값과 비교하여 일치하지 않을 경우 두 값의 평균값을 재입력하여 두 값이 수렴할 때 까지 반복계산을 수행하여야 한다. 소화제는 주로 압축성 기체로서 압력에 의해 밀도가 변하게 되므로 배관 내에서의 압력-밀도의 관계를 알아야 한다. Fig. 3.6.9은 NFPA 12A에 제공된 Halon 1301의 파이프 내 압력-밀도 선도로서 본 과제에서는 아래의 그림에서 일부 데이터를 추출 후 4차 다항식을 이용한 함수를 구축하여 프로그래밍에 사용하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$a_1P_p^4 + a_2P_p^3 + a_3P_p^2 + a_4P_p + a_5 \quad (3.6.9)$$

Table 3.6.4 식 (3.6.9)에 대한 상수

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
600-40	2.0433E-09	-3.2240E-06	1.5937E-03	-6.7358E-02	6.8006E+00
600-50	3.1600E-09	-4.4404E-06	2.0265E-03	-1.1135E-01	8.6388E+00
600-60	3.5505E-09	-4.8118E-06	2.1378E-03	-1.0703E-01	7.8926E+00
600-70	1.7366E-09	-3.2185E-06	1.6731E-03	-3.6440E-02	4.7427E+00
360-40	2.7599E-09	-6.8812E-06	3.7906E-03	-3.3306E-01	1.7971E+01
360-50	3.5861E-09	-7.1847E-06	3.8066E-03	-3.0766E-01	1.5850E+01
360-60	5.3395E-09	-9.2609E-06	4.6565E-03	-4.2347E-01	2.1458E+01
360-70	-1.7426E-08	6.2225E-06	9.6957E-04	-3.5649E-02	6.7959E+00

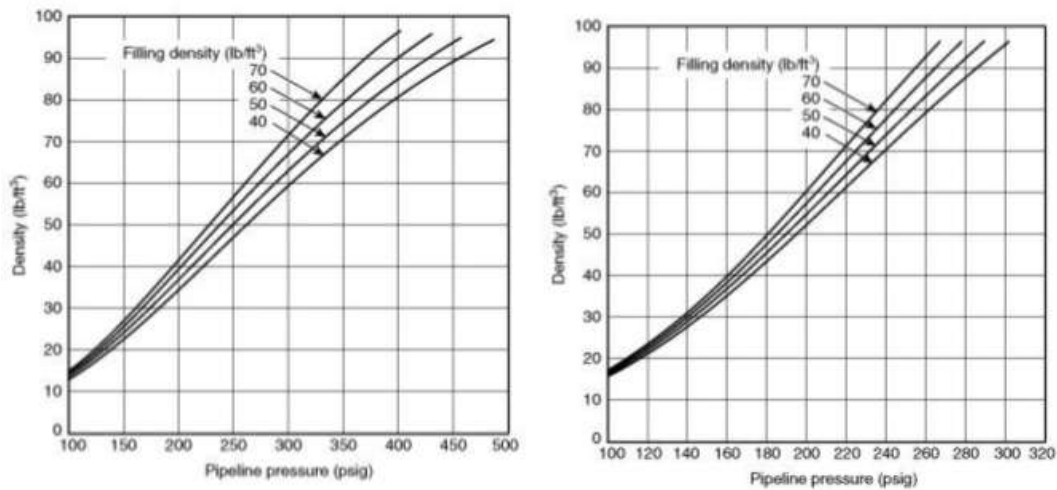


Fig. 3.6.8 배관 내 약제 밀도

Fig. 3.6.9은 위 공식으로 다시 나타낸 배관 내 약제밀도 그래프이며 기존의 그래프와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

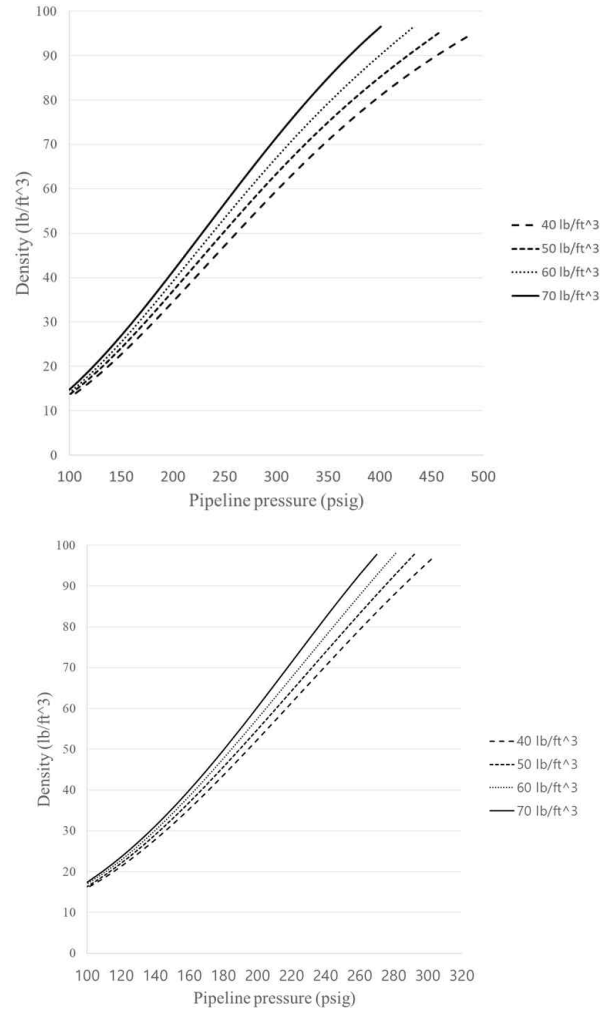


Fig. 3.6.9 구축된 다항식을 이용한 배관 내 약제밀도 선도

위 식을 통해 계산된 각 구간별 밀도와 아래의 계산식을 이용하여 배관 내 약제 비율을 계산할 수 있으며 계산된 약제비율과 추산식을 통해 추정된 약제비율을 비교하여 일치하면 수렴한 것으로 하고, 일치하지 않을 경우, 두 값의 평균값을 배관 내 약제비율로서 재입력하여 반복 계산을 수행하도록 프로그래밍 하였다.

$$\text{actual percent in piping} = 100 \sum \frac{(V_p)(\rho)}{W} \quad (3.6.10)$$

V_p = 배관의 각 부분의 내부 체적

ρ = 배관의 각 부분에서의 평균 약제 밀도

W = 초기 충약 무게

(5) 관리프로그램 기능모듈 구현

(가) 계획모듈 구성

통합솔루션 계획모듈은 소화시스템 설계 이전에 소방대상물의 용도, 규모, 수용인원, 화재위험요소를 고려하여 갖추어야 할 소방설비의 종류(소화기구, 자동소화장치, 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 옥외소화전설비)와 활용 가능한 소화약제를 결정하는 기능을 수행한다. 계획모듈에서 결정된 사항은 설계모듈에서 활용된다.

아래 그림은 소방설비 및 소화약제를 결정하기 위한 계획모듈의 알고리즘을 나타낸 것이며, 다음 장에 나타난 표는 소방대상물의 규모·용도·수용인원 등을 고려하여 갖추어야 하는 소방설비 선택 기준을 나타낸 것이다.

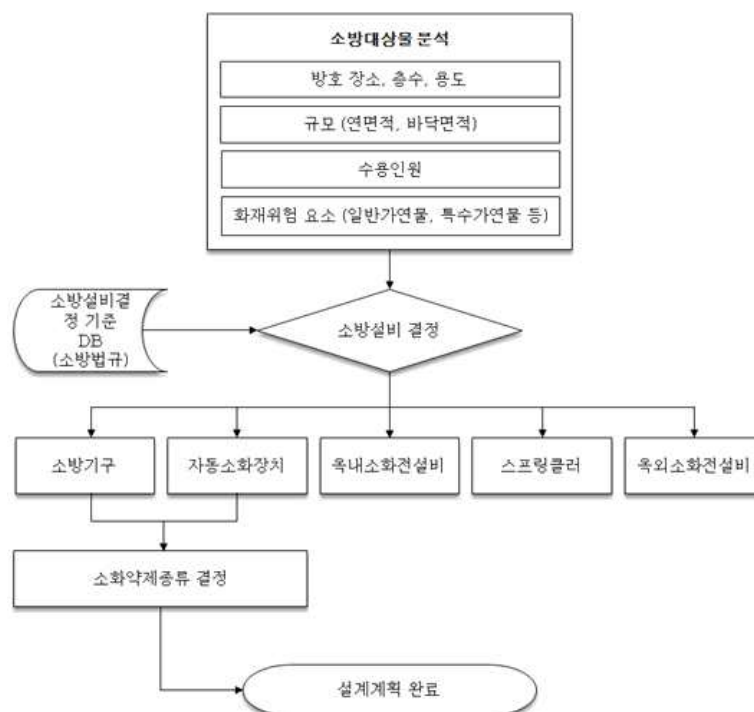


Fig. 3.6.10 소화설계 계획단계 프로세스

(나) 설계모듈 구성

본 과제에서 수행하는 민감설비용 소화시스템 설계에서 화재진압에 필요한 소화 약제량 및 약제방출시간, 약제공급을 위한 배관재료(배관, 밸브, 노즐 등), 배관의 압력손실 등을 최소화하는 최적설계인자들을 공학적인 근거를 바탕으로 결정하는 방식을 도입하였다. 설계인자 결정은 소화 시스템에 대한 기본적인 데이터 결정, 약제 농도와 양을 산정, 산정된 약제의 농도 및 양에 따라 약제 용기를 선택 및 수량을 산정, 그 용기로부터 약제가 방출되는 배관 선정, 선정된 배관을 통해 약제 용기로부터 이동된 약제의 방출시간, 방사노즐의 사이즈 및 수량 산정하는 과정을 포함한다. 이 소화시스템 설계에 대한 알고리즘은 아래 그림과 같다.

프로그램 실행에 앞서서 소화약제에 대한 물성 데이터가 구축되어야 하고 민감설비용 소화시스템을 설치할 방호구역을 선정 및 설계도면 작성이 1차적으로 요구된다. 방호구역 데이터와 설계도면에서 배관 길이, 배관 종류, 약제용기 등에 대한 데이터는 프로그램에서 입력조건으로 요구되고 소화약제 물성데이터는 설계 값 산정을 위한 온도, 압력, 밀도 등의

데이터이다.

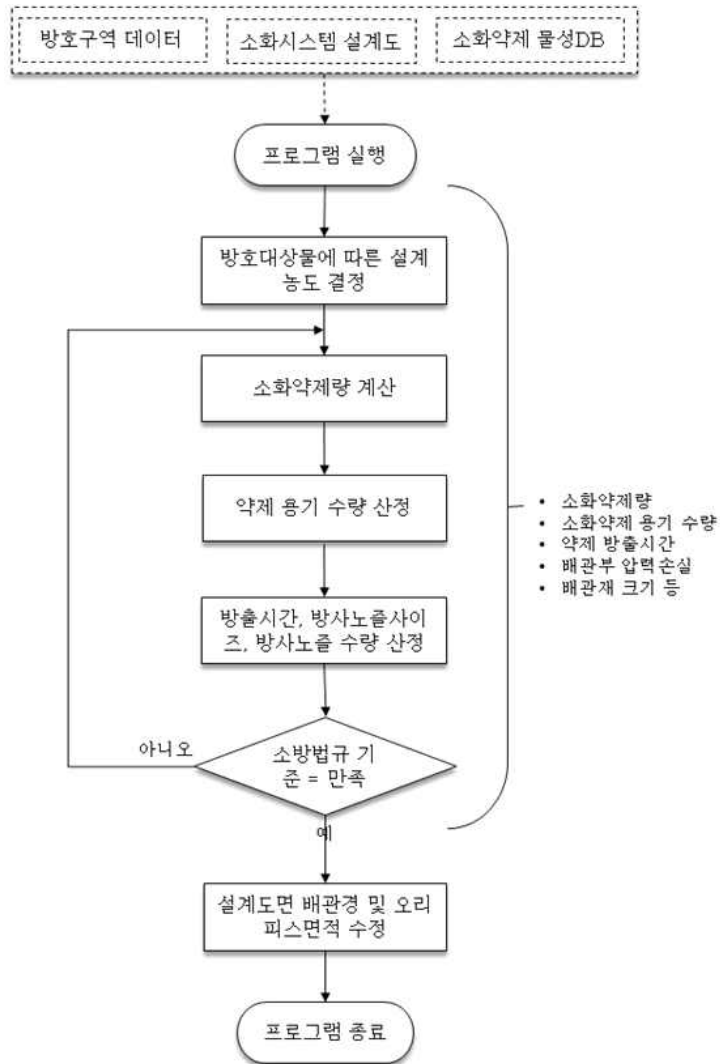


Fig. 3.6.11 소화설계 프로세스

방호구역 선정 및 설계도면 작성에 따라 프로그램을 운영하여 불활성가스 약제 종류, 농도 및 약제량을 계산한다. 약제 실린더의 수와 용기의 크기를 산정하고 약제방출시간 및 방사노즐을 산정한 후 소방법규에서 제시한 규정과 비교하여 만족되면 1차 작성된 설계도면의 배관재의 크기 및 오리피스의 크기를 그대로 사용하고 그렇지 않으면 재수정하여 설계 프로그램에 의해 다시 산정한다. 이 과정이 끝나면 시험을 통해 프로그램에서 산정된 설계인자들을 재확인하여 만족 여부를 판단하여 프로그램에 의해 설계인자를 다시 산정처리를 한다.

(다) 관리모듈 기본구성

소화설계부분에 추가로 각 기자재의 유지보수를 원활하게 하기 위한 기능을 추가 탑재를 통하여 단순히 소화설계를 통한 프로세스에 자산관리의 개념까지 포함이 되게 처리를 했다. 단순히 소화설계를 통한 작업으로 끝나게 되면 추후에 설계된 내용을 토대로 진행이 될 경우 기자재들의 위치나 정보를 별도로 구성을 해서 관리가 어려우므로 그것을 설계도면화 하여 소화설계 부분과 한 set 로 운영시 편리함을 가져 갈수 있다.

◆ 구현범위

- 각 기자재 이력내용을 등록 가능토록 한다.
- 소화설계의 도면을 그리듯 설계 후 각 선이나 노즐등에 이력내용 및 유지보수 날짜를 입력 및 관리가 가능토록 처리한다.

□ 유지보수 구간 구분

크게 집합관과 방호구역으로 해서 진행을 한다.

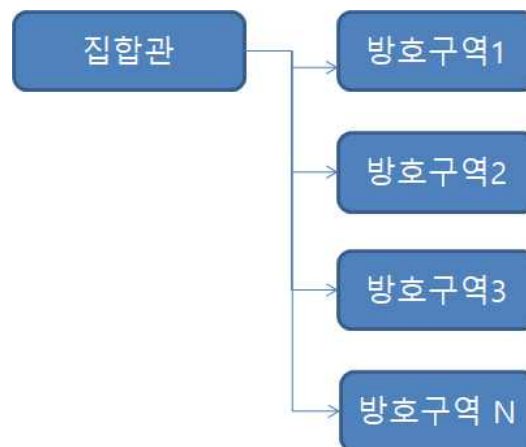


Fig. 3.6.12 유지보수 구간

■ 방호구역 정의

폐쇄형 헤드의 경우 밸브 1개당 담당구역을 방호구역이라 한다

여기서 밸브란 유수검지장치 시설의 일제개방형밸브(알람밸브)를 말한다

화재안전기준에서의 방호구역에 관한 정의 “스프링클러설비의 소화범위내에 포함된 영역을 말한다”로 규정한다.

결국 헤드를 설치하여 살수가 유효한 부분의 바닥면적을 방호구역이라 말 할 수 있다

또한 방호구역은 층별로 설치하는 것이 원칙이며 3,000㎡ 이내 이어야한다

예를 들어 전기실의 면적이 700㎡인 바닥면적 3,500㎡의 경우 방호구역은 2개가 아니다 헤드를 설치하지 않는 전기실의 면적을 뺀 바닥면적으로 계산하여 하므로 방호구역은 1개 이다.

한 개의 집합관에 여러개의 방호구역이 존재 가능하다.

이와 같은 형태로 프로그램은 집합관을 먼저 생성하고 거기에 방호구역을 위치하도록 처리 했다.

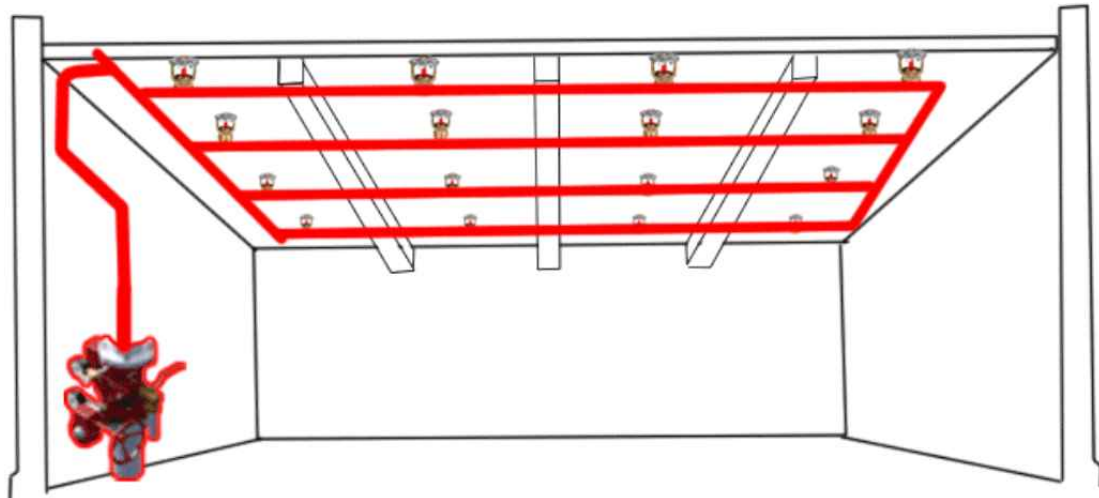
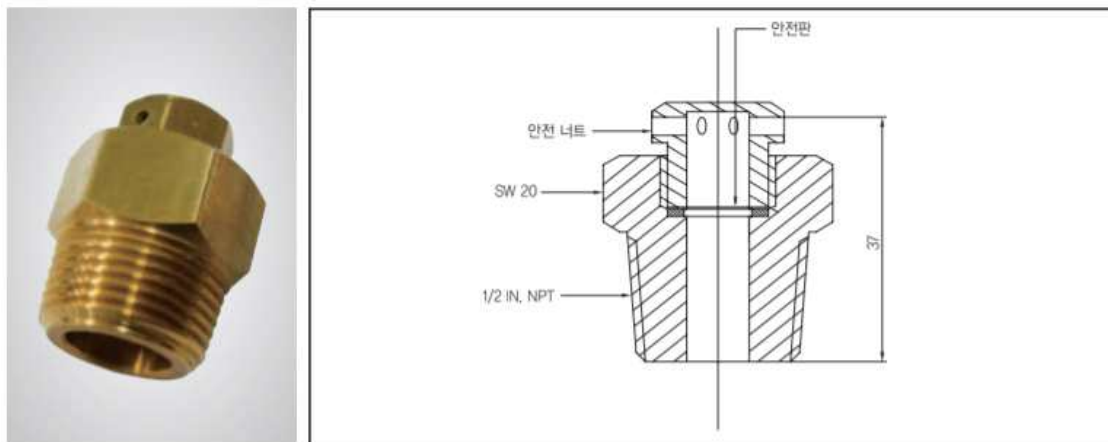


Fig. 3.6.13 방호구역 예시

위와 같이 집합관과 방호구역을 세트로 해서 거기에 들어가는 파이프와 노즐로 유지보수의 범위를 가져가는 것으로 한다.



■ 사양

- 주요 재질 : C3604 (KSD 5101)
- 작동 압력 : 4.8 ~ 5.4 MPa 이상
- 내압시험압력 : 25 MPa
- 집합관 연결 나사 : PT 3/4"

Fig. 3.6.14 유지보수 부품 예시

□ 유지보수 형태 예시

위와 같이 장비의 도면이나 상세내역을 작성하여 두면 유지보수의 경우 교체나 문제발생시 이력과 수리내용을 확인가능하다. 내용으로는 수리가 유지보수의 기간, 특이사항을 작성을 하게 된다.

Table 3.6.5 유지보수 내용

날짜	내용	작성자	파일

○ 소화설계 유지보수의 품목 정리

- ◆ 크게 집합관과 파이프, 노즐로 나누었음
- ◆ 집합관의 특징

“집합관”이란 분말소화설비의 가압용가스(질소 또는 이산화탄소)와 분말소화약제가 혼합되는 관을 말한다. 크게 아래와 같이 나누어 유지보수의 범위에 포함시켰다.

.저장용기

.용기밸브

.선택밸브

-가스계소화설비(이산화탄소소화설비, 할로젠화물소화설비 등) 분말소화설비에서 2개소 이상이 방호구역 또는 방호 대상물에 대해 소화약제 저장용기를 공용으로 사용하는 밸브로서, 자동 또는 수동으로 개방되어 여러 용기에 저장된 소화약제를 특정한 방호구역 및 대상에 공급하는 선택개폐 역할의 밸브.

.기동용기

.솔레노이드

-전자석의 자력을 이용하여 밸브시트를 여는 전기적 장치를 말한다.

.안전밸브

.플랜지

- ◆ 노즐의 특징

소화약제가가 공급되는 공급홀이 형성된 노즐몸체; 분사홀이 형성된 분사유닛; 및 상기 공급홀과 분사홀이 연통되도록 상기 노즐몸체와 분사유닛을 연결하며, 상기 분사홀을 통해 분사되는 상기 소화수가 충돌하면서 방향전환 및 미분화되도록 디플렉터가 형성된 연결유닛을 말한다.

- ◆ 파이프의 특징

소화약제가가 통과되는 약제량 공급과 더불어 약제량 이동통로로 일컬어진다. 노즐이 최종 소화 약제를 분출하는 것으로 파이프의 노후나 관리가 상당히 중요하다고 할 수 있다.

이와 같은 3개의 기자재의 특성을 관리하고 올바르게 관리가 되도록 하는데 그 취지가 있다. 이를 프로그램상에서 관리를 하는데 편하게 하기 위해서 시스템적으로 사용자가 로그인

시 해당 소화설계 도면을 열람가능토록 하며, 알림을 함으로써 주기적으로 어느 부분을 유지보수 해야 할지를 알려줄 수 있도록 한다.



Fig. 3.6.15 알림 서비스 프로세스

◆ 알림 서비스의 프로세스 구동원리

. init 데몬 실행

. crond 데몬 실행

/etc/crontab 파일을 읽어들이

-/etc/cron.hourly : 매시마다 수행될 내용들 수행함

-/etc/cron.daily : 매일 1회 수행될 내용들 수행함

-/etc/cron.weekly : 매주 1회 수행될 내용들 수행함

-/etc/cron.monthly : 매월 1회 수행될 내용들 수행함

. cron에 의해 수행되지 않은 작업 anacron에 의해 수행시도

. cron 로그 파일에 실행 기록 : /var/log/cron 처리

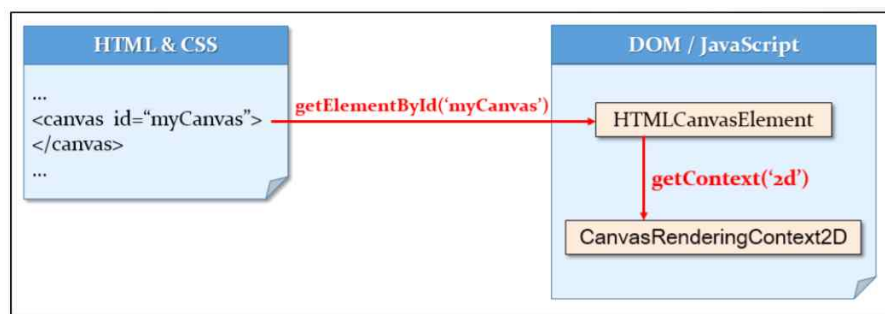


Fig. 3.6.16 드로잉 프로세스

□ 드로링 처리방법

1) 처리 프로세스

컨텍스트는 모든 그래픽 능력을 제공하며, 캔버스는 컨텍스트를 위한 컨테이너로서의 역할만 하고 실제 캔버스에 그리는 등의 기능들은 모두 컨텍스트를 통해서 처리함.

2) 구현 방법

브라우저에 그림을 그리기 위해서는 캔버스 요소를 사용하여 그림을 그리고자 하는 영역을 정의하고 실제 그림을 그리는 것은 자바스크립트를 사용하여 그린다.

■ 패스와 서브패스 그리기(선)

패스(Path) - 각 도형들을 이루는 선들의 집합

➤ 서브 패스 - 각각의 선

✓ CanvasDrawingStyles 인터페이스를 구현하는 객체는 단 한 개의 기본패스(path)를 가지고 있으며, 이를 현재 패스라고 부른다.

✓ 현재 패스는 여러 개의 서브 패스로 구성될 수 있고 각 패스는 0개 이상의 서브 패스의 목록을 가지고 있다.

context.beginPath()	현재 패스를 초기화한다.
context.closePath()	현재의 패스를 닫는다.
context.lineTo(x, y)	직선을 연결한다.
context.moveTo(x, y)	주어진 점으로 시작하는 새로운 서브 패스를 만든다.
context.stroke()	현재 패스 또는 주어진 패스의 서브 패스를 현재의 선 스타일로 그린다.
context.fill()	현재 패스 또는 주어진 패스의 서브 패스를 현재의 채우기 스타일로 채운다.
context.rect(x, y, w, h)	사각형을 그린다.

□ 유지보수 내용 등록처리 방법

유지보수 내용은 날짜 지정 및 관련 내용을 기재와 파일들을 upload 처리가 가능하다. 로그인시 등록되는 아이디로 저장이 이루어지며, 내용은 수정 및 삭제가 가능하다.

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 최종목표

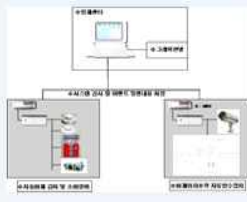
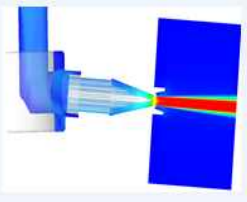
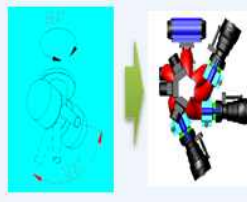
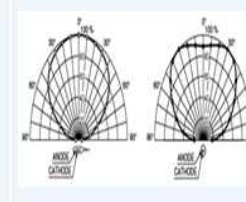
본 제안기술은 플랜트 민감설비 계통에서 공간화재시 피해를 최소화하기 위한 화재안전 기술을 개발하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위하여 해당 공간에서 화재 감시 및 진단 및 위치추적, 저충격 소화기술, 종합설계 프로그램 등을 개발하는 목표를 설정함

- 1) 공간 내 화재위치 추적 및 자동 소화 시스템(반경 30m, 센서는 기존 개발품 활용)
- 2) 평가된 화재규모에 따라 능동적으로 소화하는 저충격 소화노즐 및 제어기술 개발
- 3) 다양한 공간과 기준, 개발 시스템을 종합 고려한 설계 및 자산 관리 프로그램 개발

비전

플랜트 민감설비 저충격 소화시스템 시장선도

핵심 개발목표 플랜트 민감설비 공간화재시 피해 최소화를 위한 화재안전기술 개발

시스템	저충격 소화 노즐	위치추적장치	진단 및 설계프로그램
			
KFI 형식승인	105 dB	오차율 0.3%	신뢰성 98%

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		질적 목표 및 성과					
				성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	
A	플랜트 민감설비용 저충격 소화 시스템 및 설계 프로그램	A-1	저충격 소화시스템	① 형식승인	KFI 인증	KFI 인증	KFI 국가기술기준에 준함	KFI 형식승인서 제출	
				② 소음정도	105dB	101.3dB	소음도 측정	FILK 공인시험성적서 제출	
		A-2	위치추적시스템	① 오차율	0.3%	0%	기준점 대비 오차율 측정	FILK 공인시험성적서 제출	
				② 사용반경	15m	30 m	수계소화설비 방사거리 측정	FILK 공인시험성적서 제출	
				③ 방수총 KFI 인정	KFI인정	KFI인정	KFI 국가기술기준에 준함	KFI인정 접수증 제출	
		A-3	진단 및 설계관리프로그램	① 신뢰도	97%	97%	데이터 기반 통계 분석	보고서	
				② 사용반경	15m	30 m	위치추적 데이터 연계 진단평가	보고서, S/W 등록	

나. 목표달성여부

구분 (연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	달성도/성과물
1차 연도 (2017)	■ 플랜트민감설비능동감시 및 저충격안전설계기술 개발요건 확립	■ 공동연구기관 및 위탁기관에서 진단기법 및 설계기술요건 개발 ■ 이버드 특허컨설팅	■ 달성도 : 100% 완료 ■ 선행조사 및 분석보고서 ■ 기술사업성보고서 ■ 특허출원등록 각 2건 ■ 프로그램 등록 2건 ■ 시작품제작 : 3건
2차 연도 (2018)	■ 능동감시 및 저충격소화 시스템 제작 및 평가	■ 주관기업 공장내 부지를 활용한 시작품 제작 및 시험장치 구축 ■ 기술동향 및 마케팅 컨설팅	■ 달성도 : 100% 완료 ■ 특허등록 2건, 출원3건 ■ 프로그램 등록 2건 ■ 노즐요소설계(3D모델링) ■ 시작품제작 : 6건 ■ 기술 및 시장조사보고서
3차 연도 (2019)	■ 제품 및 시스템개발 ■ 시장진입 및 양산, 판로 개척	■ 개발 시스템(감지/추적, 소화) 자체검증/공인시험 ■ 현장설치 시범운영(실증) : 설계표준확립 ■ 기술전시회 참가/홍보 ■ 양산설비구축, 인력 채용 ■ 판로개척 : 사업화 전략 마련 : 국내매출달성	■ 달성도 : 100% 완료 ■ 개발 제품화 : 3건 ■ 특허출원 : 2건 ■ 특허등록 : 2건 ■ 프로그램 등록 : 2건 ■ FILK 등 공인시험 ■ KFI형식승인 ■ 사업화 매출 달성 ■ 사업화 전략 보고서 ■ 현장적용 및 판로개척
총괄	■ 발화위치 추적 및 자동 소화시스템 개발 ■ 가스계 저소음 소화노즐 및 시스템 개발 ■ 화재진단시스템 및 소화 시스템 설계관리 프로그 램 개발	■ 요소기술 개발 완료 ■ 장치/시스템 구축을 통한 검증 완료 ■ 공인시험, 형식승인 추진 ■ 사업화 전략 마련 ■ 적용현장, 수요처 발굴	■ 개발목표 : 정상 달성 - 계획기술 3건 완료 - 시제품 7건 완료(초과) ■ 정량목표 정상 달성 - 특허등록 6건 달성(초과) - 프로그램 6건 달성(초과) - 등재논문 10건 (SCI 1건 추가) - 인력양성 2명 - 신규고용 2명 ■ 최종 달성도 : 100% 완료

다. 개발성과물

연구개발 성과

☞ 개발 제품 설명은 부록 4. 제품 카탈로그 참조

(1) 시뮬레이션 기반 소화노즐 최적화 설계

- 소음저감 대책 조사 및 선정
- 소음저감 대책에 대한 영향도 분석
- 소음예측 및 최적화 시뮬레이션 개발
- SCI 1 편 포함, 국제 및 국내 논문 7편 게재 완료

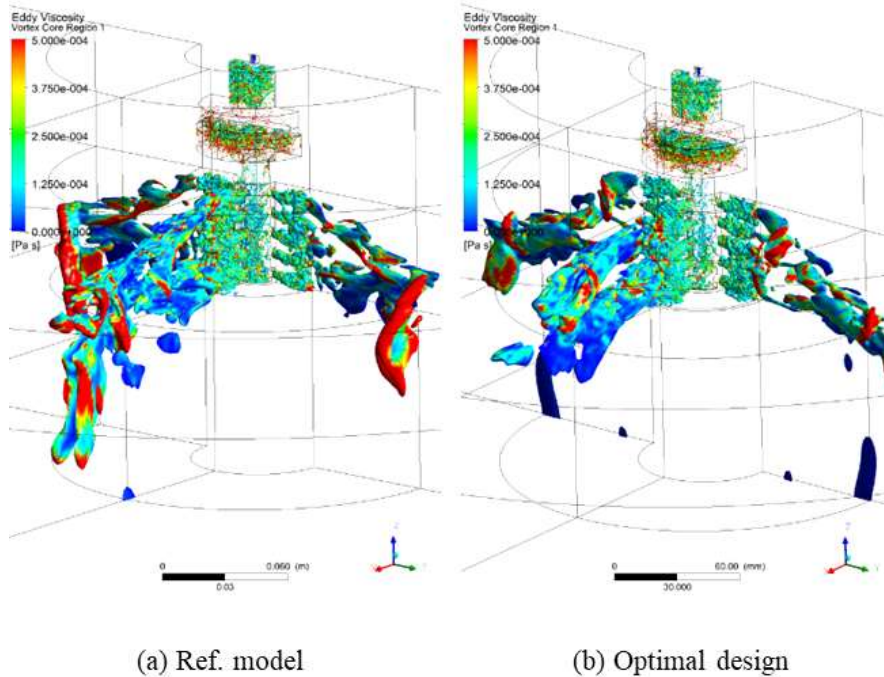


Fig. 4.3.1 저소음노즐 유동해석

(2) 저소음 노즐 제작 및 실험 평가

- 저소음노즐을 적용한 캐비닛형자동소화장치 KFI형식승인완료(캐19-1, 캐19-25)
- 저소음노즐을 적용한 IG-100 불활성기체 소화설비 KFI성능인증 접수
- FILK 시험성적서 발급완료(저소음노즐 방출소음 101dB 달성)

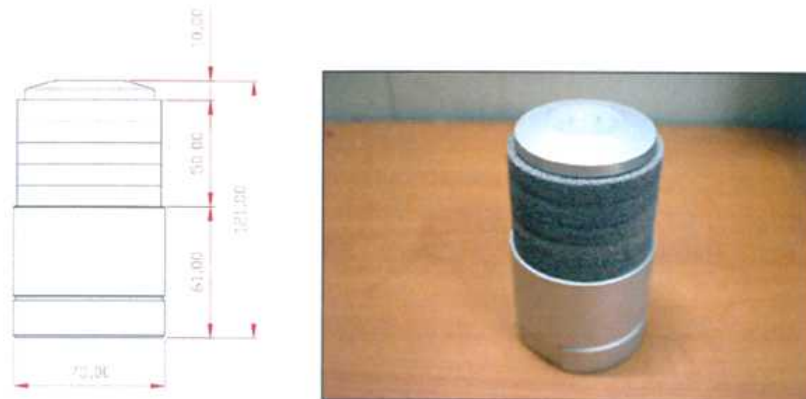


Fig. 4.3.2 J-Type 저소음 노즐 개발

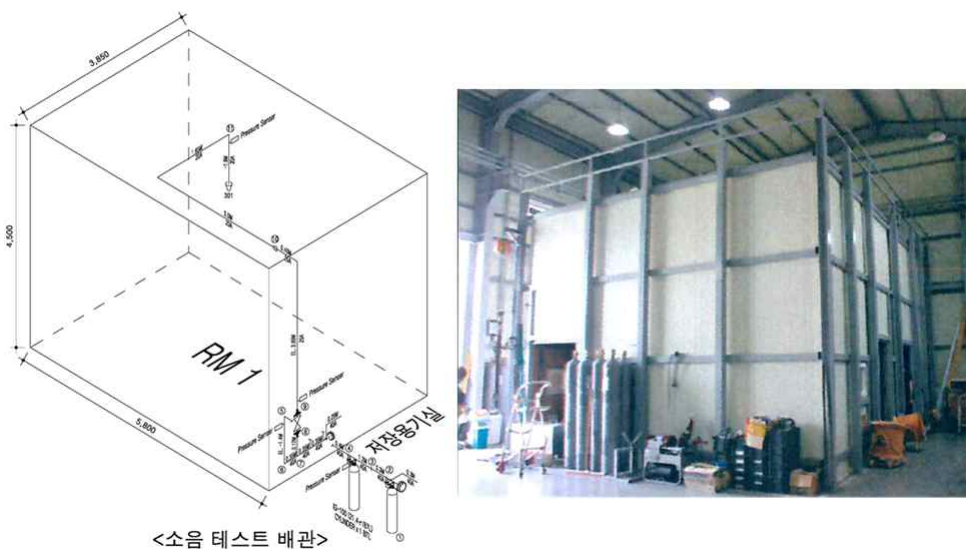


Fig. 4.3.3 실험시설 구축



Fig. 4.3.4 FILK 시험성적서, KFI형식승인서(캐19-1, 캐19-25)

(3) 발화위치 자동추적 시스템

- 30 m 화점인식 : 오차율 0%
- 전동방수총 KFI인정
- 30 m 방호체적 설비구성



Fig. 4.3.5 발화위치 자동추적 시스템 시험시설 구축 및 평가

시험 성적서				
한국화재보험협회 부설 방재시험연구원		성적서번호 : G2018-1105 페이지 1 (총 5)		
주) 13961 경기도 여주시 가남읍 정충대로 1050 TEL) 031-887-6000 FAX) 031-887-6001				
1. 의뢰인 ○ 업체(기관)명 : 주식회사 진화이엔씨 ○ 주 소 : 경기 고양시 일산동구 건달산로 360-44 (문봉동 115-20) ○ 접수일자 : 2018. 10. 16 2. 시험품목 (의뢰자 제시 사양) ○ 품명 : 발화위치 추적 시스템 ○ 모델명 : JRS-001 ○ 제조사 : 주식회사 진화이엔씨 3. 시험일자 : 2018. 10. 23 4. 시험용도 : 성능시험 5. 시험방법 : 의뢰자 제시 시험방법 6. 시험결과				
화재 발화 위치 정확도 시험	시험 항목	시험 결과		비고
	1. 발화위치	발화위치	발화위치	
	2. 위치소	3	발화	
	3. 위치 50 cm	6	발화	
	4. 위치 100 cm	5	발화	
	5. 위치 150 cm	10	발화	
	6. 위치 200 cm	9	발화	
	7. 위치 250 cm	5	발화	
	8. 위치 300 cm	7	발화	
	9. 위치 350 cm	7	발화	
	10. 위치 400 cm	100 %	발화	
* 이 성적서의 내용은 공인된 시험방법이 아닌 의뢰자가 제시한 시험방법에 의한 결과이며, 의뢰자에 의해 제공된 시료에 한하고 용도 이외의 사용을 금합니다.				
확 인	실무자 성명 : 박상태 (서명)	승인자(기술책임자) 성명 : 김기욱 (서명)		
한국화재보험협회 부설 방재시험연구원장				

FFD03-03A(6)

210x297(mm)



시험 성적서				
한국화재보험협회 부설 방재시험연구원		성적서번호 : R2019-0658 페이지 1 (총 7)		
주) 13961 경기도 여주시 가남읍 정충대로 1050 TEL) 031-887-6000 FAX) 031-887-6001				
1. 의뢰인 ○ 업체(기관)명 : 주식회사 진화이엔씨 ○ 주 소 : 경기 고양시 일산동구 건달산로 360-44 (문봉동 115-20) ○ 접수일자 : 2019. 08. 22 2. 시험품목 (의뢰인 제시) ○ 품명 : 발화위치추적 자동소화시스템 ○ 모델명 : JRS-001 ○ 제조사 : 주식회사 진화이엔씨 3. 시험일자 : 2019. 08. 09 4. 시험용도 : 성능확인 5. 시험방법 : 의뢰인 제시 시험방법 6. 시험결과				
화재 발화 정확도 시험	시험 항목	시험 결과		비고
	1. 발화위치	발화위치	발화위치	
	2. 위치소	3	발화	
	3. 위치 50 cm	6	발화	
	4. 위치 100 cm	5	발화	
	5. 위치 150 cm	10	발화	
	6. 위치 200 cm	9	발화	
	7. 위치 250 cm	5	발화	
	8. 위치 300 cm	7	발화	
	9. 위치 350 cm	7	발화	
	10. 위치 400 cm	100 %	발화	
* 이 성적서의 내용은 공인된 시험방법이 아닌 의뢰인이 제시한 시험방법에 의한 결과이며, 의뢰인이 의해 제공된 시료에 한하고 용도 이외의 사용을 금합니다.				
확 인	실무자 성명 : 박상태 (서명)	승인자(기술책임자) 성명 : 장우민 (서명)		
한국화재보험협회 부설 방재시험연구원장				

FPD08-02A(6)

210x297(mm)



Fig. 4.3.6 FILK 시험성적서(발화위치 10m, 30m)

(4) 발화진단시뮬레이터 개발

- 통합 micom 제작
- 다중화재징후 판별 및 정보화 및 경보 등 통합진단모듈 제작
- 어플(Mobile Application)을 이용한 실시간 데이터 복합감지장치 제작

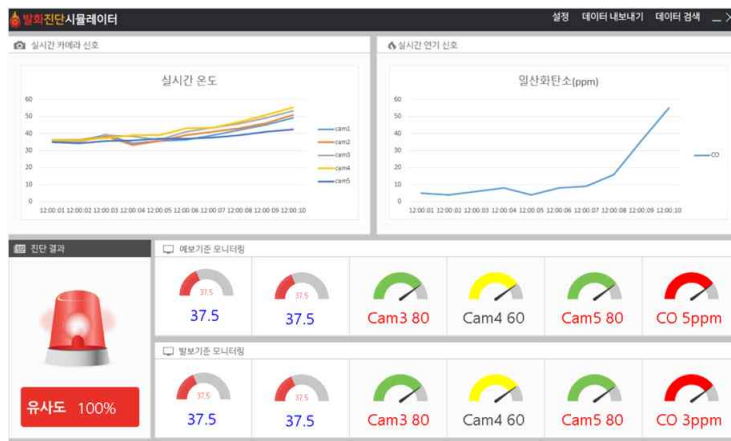


Fig. 4.3.7 발화진단 시뮬레이터 모니터링 화면

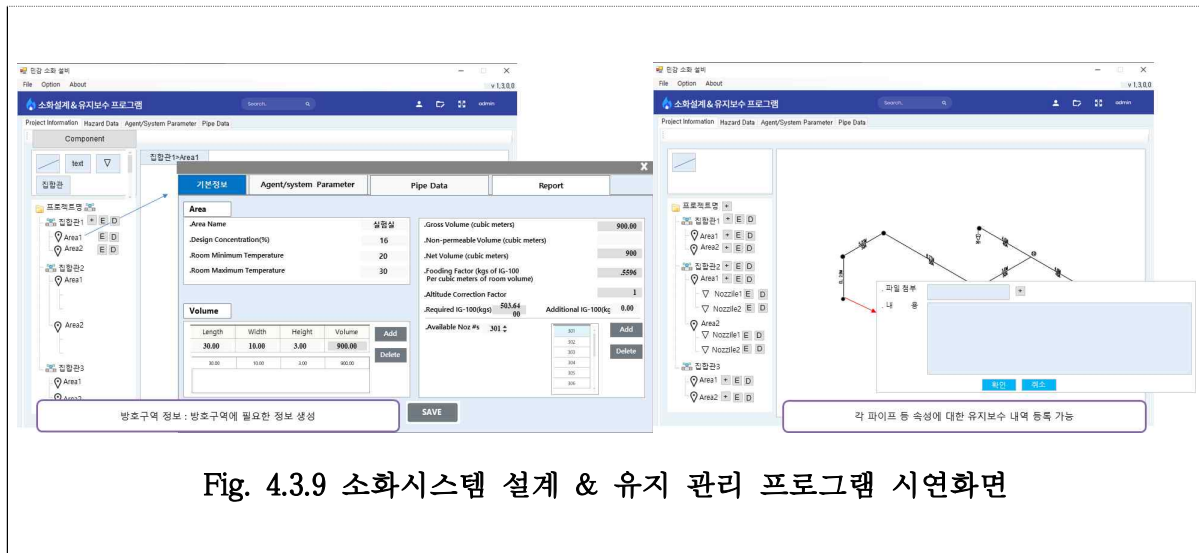


Fig. 4.3.8 발화진단 체크 MICOM

(5) 소화설계 프로그램 및 자산관리 프로그램

- 소화설계프로그램을 통한 기자재 유지보수 및 자산관리 프로세스 탑재
- 기본 소화설계를 통한 약제량 공급 및 이를 통한 소화약제의 유량
- 프로그램 시험성적서 발급완료





라. 양적성과 및 기여도

(1) 산업 기여도

- 특허출원 7건 : 1)특허명칭 : 소화시스템용 저충격 분사노즐(D타입)
출원번호 : 10-2019-0029283
2)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(A타입)
출원번호 : 10-2018-0167280
3)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(B타입)
출원번호 : 10-2017-0167274
4)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(C타입)
출원번호 : 10-2018-0106366
5)특허명칭 : 소화 시스템(A)
출원번호 : 10-2018-0119866
6)특허명칭 : 소화 시스템(B)
출원번호 : 10-2018-0110782
7)특허명칭 : 화재 발화 진단 방법 및 그 프로그램
출원번호 : 10-2020-0005255

- 특허등록 6건 : 1)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(A타입)
등록번호 : 10-1881533
2)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(B타입)
등록번호 : 10-1899380
3)특허명칭 : 소화시스템용 국소방출형 저충격 분사노즐(C타입)
등록번호 : 10-1951739
4)특허명칭 : 소화 시스템(A)
등록번호 : 10-1990977
5)특허명칭 : 소화 시스템(B)
등록번호 : 10-1951740
6)특허명칭 : 소화시스템용 저충격 분사노즐(D타입)
등록번호 : 10-2041950

- 프로그램 등록 6건 : 1)등록명칭 : 발화위치 공간 감지 소화시스템
제 C-2017-033265 호
2)등록명칭 : 저충격 소화시스템 통합관리 프로그램(베타버전)
제 C-2017-032356 호
3)등록명칭 : 민감설비 발화진단 시뮬레이터
제 C-2018-029948 호
4)등록명칭 : 소화설계프로그램
제 C-2018-029947 호
5)등록명칭 : 발화진단시뮬레이터 프로그램
제 C-2019-032500 호
6)등록명칭 : 소화설계&유지보수 프로그램
제 C-2019-032499 호
-

(2) 학술 기여도

학술등재 10건 :

- 김학선 외, Numerical Study on Noise Reduction of Gas Extinguishing Nozzle Using Adsorbent, International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, No. 3.33, pp. 152-156 (2018.07).
- 김학선 외, 흡음재 두께가 소화노즐 소음도 저감에 미치는 영향, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 33, No. 1, pp. 99-104(2019.02).
- 김학선 외, 가스계 다공성 소화 노즐의 방출 특성 연구, 한국유체기계학회 논문집, Vol. 22, No. 1, pp. 35-40(2019.02).
- 김요환 외, 소화 노즐 내부 다중격벽의 방출구 직경이 방출소음에 미치는 영향, 한국유체기계학회 논문집, Vol. 22, No. 4, pp. 29-36(2019.08).
- 김요환 외, 가스계 소화시스템 노즐 수축각이 방출소음에 미치는 영향, 한국화재소방학회 논문지, Vol. 33, No. 4, pp. 1-6(2019.08).
- 김요환 외, 난류처리기법에 따른 소화노즐 배기소음 예측연구, 한국유체기계학회 논문집, Vol. , No. , pp. (2019.10).
- Yo-hwan Kim 외, Noise Reduction of Extinguishing Nozzle Using the Response Surface Method, energies(2019.12, SCIE)
- 황인주 외, 제한공간에서 케이블 화재의 다중 감지특성의 정형화에 관한 연구, 융복합 지식학회 논문지 : 제6권 제1호(2018.1).
- 황인주 외, 플랜트 설비의 케이블 화재시 다중 감지기를 이용한 실시간 경보기법에 관한 연구, 융복합지식학회 논문지 : 제6권 제2호(2018.7).
- 황인주 외, 화재 시 실시간 데이터 유사도 추론결과의 민감도 분석에 관한 연구 , The Society of Convergence Knowledge Transactions Vol. 7, No. 2(2019.7)

학술논문 발표 8건 :

- 김학선 외, 흡음체 형상 변화가 소화노즐의 방출 특성에 미치는 영향, 2018 대한기계학회 유체공학부분 춘계학술대회
 - 김학선 외, Effects of Absorbent Configurations on the Performance of Gaseous Extinguishing Nozzle, The 4th International Integrated Convergence Academic
 - 김학선 외, 가스계 소화 노즐에 부착된 흡음체 공극률이 유동소음에 미치는 영향, 제10회 한국유체공학학술대회
 - 김학선 외, 난류 모델에 따른 소화 노즐의 유동 특성, 대한기계학회 2018년도 학술대회
 - 김학선 외, 다공형 가스계 소화 노즐 확산구 형상이 방출 성능에 미치는 영향, 2017 한국유체기계학회 동계학술대회
 - 김학선 외, 오리피스 단관 형상이 가스계 소화 노즐 방사 특성에 미치는 영향, 대한기계학회 2017 춘추학술대회
 - 김학선 외, 다공성 가스계 소화 노즐의 방출 특성 연구, 2017 한국유체기계 하계학술대회
 - 김요환 외, 스윙 강도가 제트 유동소음에 미치는 영향, 2018 한국유체기계학회 동계학술대회
-

마. 질적 성과

단위성과 (level2)		질적 목표 및 성과						
		성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가 중 치
A-1	저층격 소화시스템	①	형식승인	KFI인 증	KFI 인 증	KFI 국가기술기준 에 준함	KFI 형식승인서 제출	8
		②	소음정도	105 dB	101.3dB	소음도 측정	FILK 공인시험성 적서 제출	6
A-2	위 치추적시스템	①	오차율	0.3%	0%	기준점 대비 오차율 측정	FILK 공인시험성 적서 제출	5
		②	사용반경	15m	30m	수계소화설비 방사거리 측정	FILK 공인시험성 적서 제출	7
		③	방수총 KFI 인정	KFI인정	KFI인정	KFI 국가기술기준 에 준함	KFI인정 접수증 제출	4
A-3	진단 및 설계 관리프로그램	①	신뢰도	97%	97%	데이터 기반 통계 분석	보고서, 등재논문	7
		②	사용반경	15m	30m	위치추적 데이터 연계 진단평가	보고서, S/W 등록	3

No.	요소기술 구분	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관
K-1	1-가	캐19-1	캐비닛형자동소화장치 형식승인(50kg)	20190213	한국소방 산업기술원
K-2	1-가	캐19-25	캐비닛형자동소화장치 형식승인(100kg)	20191113	한국소방 산업기술원
K-3	1-나	약19-1	소화약제 형식승인(IG-100)	20190702	한국소방 산업기술원
K-4	1-나	G2019-0616R	IG-100 불활성기체 소화설비 방출소음측정 시험성적서	20190911	방재시험연구원
K-5	1-나	인증 진행중	가스계소화설비 설계프로그램 성능인증(JH Silent IG-100)	접수완료	한국소방 산업기술원
K-6	1-다	G2018-1105	발화위치 추적 시스템 화재발화위치 정확도 시험성적서	20181113	방재시험연구원
K-7	1-다	인증 진행중	방수충	접수완료	한국소방 산업기술원
K-8	1-라	201912-VSW-180-R	소화설계프로그램 v. 1.0	20191219	(주)와이즈스톤

바. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책

해당 없음.

5. 연구개발성과의 활용계획

가. 개발성과 활용방안

- 최종 개발결과의 활용성 평가

- ① 화원 감지 및 위치추적 기술 : 열화상(온도분포), 유해가스 센서 등과 융합적으로 결합하여 플랜트 민감설비뿐만 아니라, 다양한 공간의 화재위치를 감지하여 소화시스템에 연동하여 소화약제 방출방향을 자동 추적하도록 함. 시설의 무인화, 자동화 추세에 따라 신뢰성이 확보된 자동화 기술의 적용을 통해 사업모델의 부가가치를 높일 수 있을 것으로 사료됨.

- 특허등록 확보, 공인시험, 형식승인 등 완료

- ② 저소음 소화노즐 및 시스템 기술 : 다양한 민감설비 보호용 소화설비로 적용, 민감설비의 화재진압시 피해를 최소화하는 설계, 사업화에 활용이 가능함.

- 특허등록 확보, 공인시험, 시제품 제작, 형식승인 등 완료

- ③ 화재진단 및 소화 시스템 설계 관리 기술 : 다양한 정보의 제공을 통하여 시설관리의 안정성을 확보할 수 있으며, 점진적으로 고도화되고 있는 시설관리 기능과 결합하여 사업성을 높일 수 있음. 소화시스템 공급시에 의무적으로 활용 및 평가가 필요한 사업모델로서, 대부분 국외 프로그램을 사용하고 있어 이의 개선이 시급하며, 신뢰성 확보를 통하여 사업화가 가능함.

- 특허출원, 공인시험 완료, 상기 ① 및 ② 성과와 결합되는 사업모델임

- 본 개발성과는 특허등록, 공인시험, 형식승인 획득 등 사업화 기본요건을 확보하였으며, 시제품으로 설계 및 제작을 통해, 수요처와 다양한 기술협의를 진행하고 있음. 자체 현장적용 등을 통해 최종 사업화 활용성이 매우 우수한 것으로 자체 평가함

- 외부 용역을 통한 기술가치 평가 및 사업화 전략 수립(보고서 별첨 부록 3 참조)

- 첨단화, 고층화, 다양화되어지는 시설뿐만 아니라 주유소, 물류창고, 각종 플랜트와 접근이 어려운 지하통신구와 전력구, 원자력 발전소 등의 중요한 국가 기간 시설물 등의 보호에 신뢰성 있는 화재감지 및 화재진압시스템 적용은 확대될 것임.

나. 개발 종료시점(현재) 사업성과 도출 현황

구축 사례 확보 및 매출 실적

구분	내용	
고객사	한국중부발전(주)	에스티엠
공급 솔루션	발화위치추적 소화시스템	저소음 노즐
구축 현장	서울복합 1,2호기	세종시 교육정보원
공급가액	1,921,818,182원	1,400,000원
공사 기간	2018년 11월 ~ 2019년 06월	2020년 1월

구매 의향서 확보

구분	내용
고객사	Microsoft 사
공급 솔루션	IG-100 84L 소화약제 적용 저소음 노즐
구축 현장	PUS04 프로젝트의 가스계 소화설비
요구 사항	Microsoft 사의 글로벌 표준에 따른 소음기준을 만족할 수 있는 노즐 준비

잠재 고객 발굴

구분	고객	활동
IG-100 불활성기 체 소화설비	삼성 SDS	동탄에 신규 데이터센터 구축에 따른 저소음 IG-100 설비 제안 설명회 실시
	Equinix(전 세계적으로 200 여 DataCenter 운영업체)	SL2 데이터 센터 개축에 따른 소화설 비 적용에 대한 업무 협조 중
발화위치추적 자 동소화시스템	부산컨테이너터미널 (BCT)	Yard 방호용 자동소화설비 제안
	한전 수색변전소	옥외 변전소 변압기 방호설비 적용을 위한 현장 실사 및 적용 방향 협의

다. 사업화 세부전략 수립(세부사항은 부록 3. 사업화 전략 보고서 참조)

(1) 고려사항

- 현재 소방시장에서 아직 민감설비에 필히 적용해야하는 소음에 대한 기준이나 내역이 제시되어있지는 않는 실정임
 - 국내의 경우 저소음 노즐의 필요성과 화재진압 사각지대에 관한 필요성에 대한 안전을 건의해볼 필요가 있음
 - 해외 역시 민감설비에 영향을 주는 소음에 관련된 연구들이 제시되어 있지만, 관련 법적제도는 마련되어 있지 않는 상태임

Table. 5.3.1 국가별 정책/제도 현황 검토

국가	특징	접근 전략
대한민국	- 소방기본법, 소방시설공사업법 등 - KFI, FILK 등 기관에 형식인증 및 시험인증이 필요함	- 소방안전기준 내역 중 소음에 관한 민감설비 장비에 맞는 소방규격의 필요성을 강조해야함
	- 국가화재안전기준 (NFSC) - KFI - FILK	
미국	- 민간주도형으로 직접 주 정부에서 화재안전규정을 제정하지 않음 - 각 주마다 건축법규는 통일되어 있지 않음	- 각 지방정부에 건축 기준을 제정 시행하기 때문에 지방정부에 맞는 조건들을 숙지해야함
	- NFPA (전미방화협회) - UL 규격 - ANSI 규격	
중국	- 국무원의公安부가 중국 전체 소방산업 관련 업무의 실시 및 관리감독을 진행함	- 인증규격 강제조건을 승인받은 후 저충격 소화시스템 기술에 대한 어필이 필요함
	- 강제인증 (CCCF) - 형식인증 (형식허가인증기관)	

- 4차 산업혁명으로 컴퓨터시스템이 생산설비와 네트워크로 연결되면서 플랜트 산업에도 대규모 민감설비를 도입. 이러한 민감설비는 소음, 진동, 화재에 취약하여 장비를 보호 가능한 효율적인 소화시스템 개발이 요구됨.
- 선진국도 안전기반을 한 설계기술은 진입단계이므로 우리나라도 민감설비용 소화시스템 설계 수준을 확보 시 경제적인 고부가 가치창출이 기대 가능함. 이를 뒷받침하기 위해서는 국가적인 차원에서 국제적인 품질 및 인증규제에 맞는 법 개정과 인프라 제공이 요구됨
- “호주, 캐나다, 미국, 유럽 일부선 소방 특정 사용처 HFC 사용 제한 “ 몬트리올 의정서 당사국 제28차 회의에서는 소위 ‘키갈리 수정안’ 에 의해 HFC 가스감축 합의. 조치로 인해 오존층을 파괴하지 않으면서도 2100년까지 0.5도 까지 기온상승 억제효과가 기대됨
- IG-100 자동소화설비는 설계 여유율이 높지 않아 인체에 무해하며 소화능력을 발휘하기 위해 정밀한 설계프로그램이 필요함. 또한 방출 진동 및 소음이 높아 민감한 설비에 고장을 유발할 수 있음. 민감설비의 고장을 방지하기 위해 저소음 노즐 및 방음장치의 연구개발이 필요함

Table. 5.3.2 PEST 분석

P (정치적 측면)	E (경제적 측면)
• 국제적인 품질 및 인증규제에 맞는 법, 제도 개정 필요 • 수출유망 지역 벤더등록 정책적 지원 필요	• 우리나라의 플랜트기자재 외화 가득률이 선진국 수준의 60% • 안전기반 설계기술은 선진국도 진입단계 이므로 플랜트 저충격 소화설계 확보 시 고부가 가치 창출이 가능함
S (사회적 측면)	T (기술적 측면)
• 사회적으로 정부의 안전정책 강화 및 국민들의 안전의식 수준 향상으로 관리 기술 개발이 증가하는 추세임 • 플랜트 사고 발생 시, 대형의 재난사고로 이어져 경제적, 사회적 및 환경적 피해가 발생함	• 4차 산업혁명으로 컴퓨터시스템이 생산설비와 네트워크로 연결되어 플랜트 산업에도 대규모 민감설비 도입 • 소음, 진동, 화재 취약한 민감설비 소화시스템의 기술적 대책이 필요함

(2) 수요처 세분화

- 기존 소화 설비 수요처에 더 나아가 제어운용센터(서버, 통신), 플랜트, 반도체 공장, 발전소, 병원 등의 중요 민감설비 시설물에 배치. 더불어 국소 소화가 가능한 장소에도 배치 가능
- 저충격 소화시스템을 활용하여 데이터 센터에 가해지는 피해를 방지할 수 있음을 홍보하고 플랜트 민감설비 외의 수요처도 확장해야함
- 플랜트 민감설비 사각지역에 캐비넷 형태의 발화위치 추적 설비를 구비하여 조기화재를 진압할 수 있음을 홍보전략으로 세워야 함
- 법령 개정 내역을 활용하여 지하,공동구에 적용 가능한 발화위치 추적 시스템 제품을 개발해야함
- 개발기술인 ‘발화위치 추적 시스템’은 센서를 이용해 화재를 감지하고, 화재원인에 빠르게 물을 분사하여 국소부위에 초동진압을 홍보하여 플랜트 민감설비 외 수요처를 확장할 수 있음

Table. 5.3.3 수요처 응용분야

진화이앤씨 기존 수요처	개발 기술	미래예상 수요처
- 공동주택 및 주상복합 - 숙박 및 판매, 업무시설 - 공장 및 플랜트 - 교육 및 의료시설 - 기타산업시설(지하철, 주차장) - 자재납품	가스계 저충격 노즐 시스템	- 데이터 제어운용센터(서버, 통신) - 반도체, 자동화 공장 (민감설비) - 병원 (정밀의료기기) - 저유소, 지하공동구(국소 진압가능) - 옥외중요시설
	발화위치 자동감지 및 진단 시스템	

(3) 시장점유 목표 설정

◦ 예상 점유율 검토

- 품계 소화설비 시장 규모
 - 전체 시장규모 : 약150억원
 - 정유소 및 변전소 등의 민감 플랜트 설비 신규시장 진입 가능
 - 예상 점유율 : 20% 이상 가능
- 가스계소화설비 시장 규모
 - 전체 시장규모 : 약600억원
 - 민감설비 등의 2차 물리적 피해방지 가능 설비로 신규시장 및 차별화 가능
 - 예상 점유율 : 20% 이상 가능 (단위 : 백만원)

◦ 연도별 판매예측

- 정부의 재난안전예산 규모가 2015년 8078억원 → 2016년 9563억원 → 2017년 1조 385 억원으로 연평균 14% 내외로 확대되며 지속적으로 증가할 것으로 예상됨
- 본 연구의 핵심기술인 화재 감지 및 소화설비 기술은 국민 재난 안전의 핵심기술로 소방산업 수요 증가에 부합하는 사업화가 가능할 것으로 사료됨
- 현재까지 국내 시설 별 가스계소화설비와 자동화재탐지설비 양호율(각각 75.4%, 56.7%)이 매우 낮아 양호율을 높일 수 있는 본 기술에 대한 수요가 급증할 것으로 판단되며, 기술개발이 완료되는 2020년 이후부터 본 기술 개발이 국내·외 소화·경보시설을 대체할 수 있을 것으로 판단됨
- 2011~2021년 까지 세계 안전산업은 2,537억 달러 → 4,940억 달러으로 약 2배 이상 증가할 것으로 예측됨.
- 특히 대규모 쇼핑몰 화재를 겪은 UAE를 필두로 중동국가들은 정부 차원에서 가연성 건축자재 사용을 금지하여, 안전에 대한 인식개선등의 이유로 소방장비 시장이 급성장하는 추세임.
- 본 연구개발 사업을 통해 시장선도기술을 개발하고 유럽이 점유하고 있는 세계소방산업 시장 진출의 교두보를 마련할 수 있음
- 국내 소방 산업 시장에서 본 기술 관련(저소음 노즐, 능동형 화재감지, 민감설비 소화) 시장 규모는 60%이상이며, 2016년 기준 재난 안전 예산 중 5800억 이상을 차지함.
- 기술 개발 후 국내 가스계 소화설비 시장 점유율 2% 이상의 매출 성장을 달성할 예정임. 이는 세계시장 점유를 매출 예상에서 제외한 결과로 2026년 가스계 소화약제 규제와 국제 기술경쟁력 및 유관 인증 확보 시, 가파른 매출 증가가 예상됨

(4) 단계적 추진방안

◦ 사업화 초기 : 저충격 노즐 및 발화위치 추적 기술의 지속적인 연구로 기술고도화

- 가스계 저충격 분사노즐, 발화위치 감지제품과 관련 기술의 지속적인 연구를 통해 시장진입을 위한 기술고도화. 발화진단 시뮬레이터, 용량 가변형 노즐 개발 등 제품화 관련 기술에 대한 추가 연구개발 활동을 통해 제품의 사업화와 시장진입을 위한 기반 마련
- 연구자재비 및 R&D 연구시설 유지비를 확장하여 저충격 노즐, 발화위치 진단시스템, 소화진단 시스템 기술고도화를 추진해야함
*시설유지비 연 1억 원, 연구자재비 연 0.3 억 원 예상
- 신기술 개발을 위한 R&D인력을 추가 편재하여 빠른 연구개발을 진행해야함
*R&D 인력 2명 (저소음 소화시스템 1명, 발화위치 진단시스템 1명) 고용 예상
- 사업화 기술개발 (2017-2019년)
 - 국의 안전한 삶을 영위할 수 있는 우수한 제품 개발
 - 안전기반 첨단기술 설계 적용 선정
 - 국제 경쟁력 확보
 - 현장설치 시범적용
 - 특허 등 지식재산권 추가 획득
 - 국가화재안전기준에 적합한 국가형식인증 추진

- 사업화 중기 : 제품 성능 향상 및 제품 포트폴리오 다양화로 초기 제품 사업화
 - 제품 성능의 향상, 제품 포트폴리오 다양화 등 고도화된 기술이 적용된 초기 제품 사업화, 추가적인 연구개발 활동을 통해 고도화된 기술을 적용하여 제품의 성능을 향상 시키고 다양한 종류의 제품을 개발하여 제품의 사업화 추진 및 파급시장(데이터센터, 병원)으로 영역확대
 - 양산기반 구축 (2020~2025년)
 - 국내 수요 발굴(대체시장 및 신규시장)
 - 판매제품 가공 및 조립 라인 구축
 - 가격 경쟁력 갖춘 제품 생산체계 구축
 - 추가기술 이전 및 실시 모색
 - 파급시장에 적용가능한 제품 연구개발
- 사업화 장기 : 국내 시장에서 검증된 제품의 해외 수출을 통한 수익 극대화
 - 국내 시장에서 검증된 제품의 해외 수출을 통한 시장 확대 및 수익 극대화, 해외 인증 취득으로 민감설비 소화시스템에 대한 신뢰성 확보, 글로벌 협력사 확보를 통해 해외 판로 개척 및 해외 네트워크 확대
 - 민감설비 제품의 경쟁제품 생산을 예상하여 고부가 가치의 제품개발로 차별화된 기술로 시장독점을 위한 연구개발이 필요함
 - 해외 수출을 위한 해외 영업인력 및 기술개발 인력 투자
 - 고속성장 도약기 (2026-2030년)
 - 국내시장 판매 (신제품 개발을 활용한 적극적 기술영업)
 - 해외시장 판로 개척 및 확보(대상국가 : 미국, 중국 등)
 - 고부가 가치 제품개발 투자
 - 양산 체계 구축
 - 고용창출 및 확대

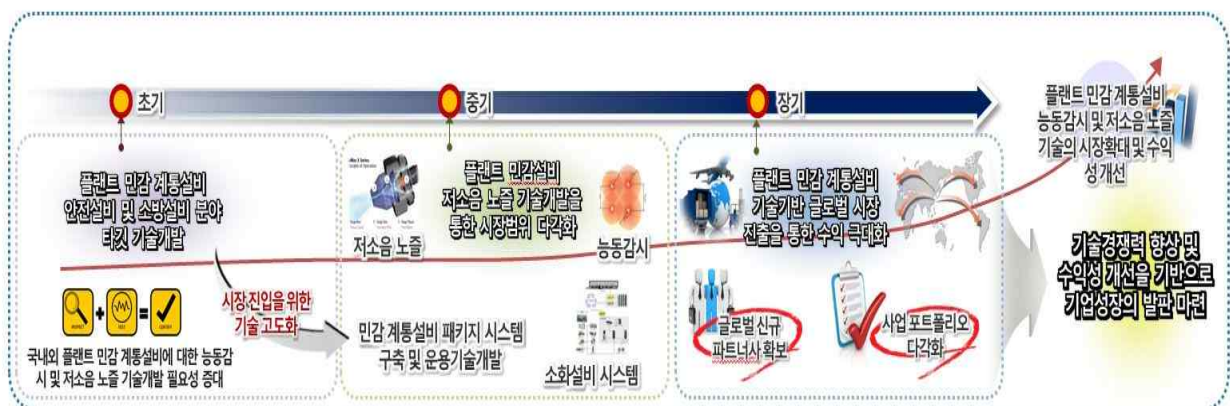


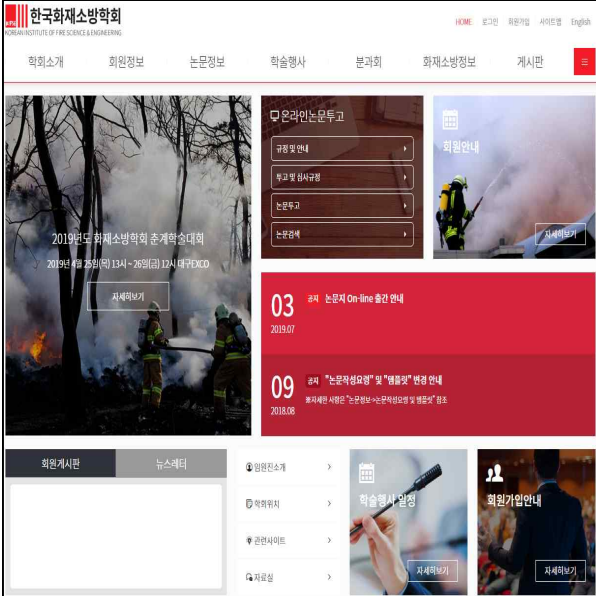
Fig. 5.3.1 사업화 단계적 추진방안

(5) 마케팅 및 홍보 전략

Table. 5.3.4 단계별 마케팅 전략

1단계	2단계	3단계
체계적인 시장분석 및 전략수립	마케팅전략 실행을 통한 브랜드 인지도 제고	민감설비 소화시스템 활성화
- 저충격 소화 노즐 시스템 : 저충격 노즐 사용으로 인한 2차 피해 감소를 다른 소방설비와 다른 특징을 강조 - 발화위치 자동감지 추적 시스템 : 옥외중요시설 및 지하공동구에 적용 가능하여 초동진압이 가능함을 강조 - 시장환경, 기업역량 등을 고려한 체계적인 단계별 전략 및 중장기 비전 수립	- 민감설비 소화시스템 관련 기업의 공동 브랜드 도입. 브랜드의 통합 관리를 통한 브랜드 가치 제고 - 다양한 신제품 개발을 통한 민감설비 소화시스템에 대한 이미지 제고 - 과급시장에 필요성 제고	- 민감설비 소화시스템 가치 강화를 통한 매출 확대 - 시장 내 지속성장 가능성 확보 - 소비자 신뢰성 확보 및 재구매율 증대를 위한 적극적인 마케팅 및 고객관리

● 홍보 다변화 전략

국제소방 안전박람회 전시 참여	한국화재소방학회 학술논문 기재																
 <table border="1"> <tr> <td>개회기간</td><td>2019년 4월 24일(수)~26일(금)/3일간</td></tr> <tr> <td>개회장소</td><td>EXCO(엑스코) 실내외 전시장</td></tr> <tr> <td>전시규모</td><td>250업체 1,000부스</td></tr> <tr> <td>주최</td><td>소방청 대구광역시</td></tr> <tr> <td>주관</td><td>exco KFI 한국소방안전기술협회 kotra</td></tr> <tr> <td>후원</td><td>산업통상자원부 국토교통부 중소벤처기업부</td></tr> <tr> <td>공식미디어파트너</td><td>Daily</td></tr> <tr> <td>동시개최행사</td><td>- 제17회 소방제품 품목별 구매상담회 - 제8회 1:1 비즈니스 수출상담회 - 소방청 전문 세미나 - 소방산업기술원 국제 세미나·소방교육 등 30여건</td></tr> </table> 	개회기간	2019년 4월 24일(수)~26일(금)/3일간	개회장소	EXCO(엑스코) 실내외 전시장	전시규모	250업체 1,000부스	주최	소방청 대구광역시	주관	exco KFI 한국소방안전기술협회 kotra	후원	산업통상자원부 국토교통부 중소벤처기업부	공식미디어파트너	Daily	동시개최행사	- 제17회 소방제품 품목별 구매상담회 - 제8회 1:1 비즈니스 수출상담회 - 소방청 전문 세미나 - 소방산업기술원 국제 세미나·소방교육 등 30여건	
개회기간	2019년 4월 24일(수)~26일(금)/3일간																
개회장소	EXCO(엑스코) 실내외 전시장																
전시규모	250업체 1,000부스																
주최	소방청 대구광역시																
주관	exco KFI 한국소방안전기술협회 kotra																
후원	산업통상자원부 국토교통부 중소벤처기업부																
공식미디어파트너	Daily																
동시개최행사	- 제17회 소방제품 품목별 구매상담회 - 제8회 1:1 비즈니스 수출상담회 - 소방청 전문 세미나 - 소방산업기술원 국제 세미나·소방교육 등 30여건																
그림 1. 국제소방안전박람회 2020 행사개요	그림 2. 한국화재소방학회 웹사이트																
파급시장 홍보	기업홍보 자료																
- 대부분의 장비가 첨단장비인 데이터센터에 저충격 노즐에 관하여 집중적인 홍보 - 병원, 백화점 등에 사용되는 첨단장비에 소방설비에 의한 2차 충격을 막을 수 있는 저충격 소화 시스템을 홍보 - 문화재, 저유소 등 인적이 드문 옥외중요시설에 발화위치 추적 시스템을 설치하여 조기에 화재 진압할 수 있음을 홍보	저충격 노즐 및 발화위치 추적 시스템 카탈로그 제작 																
민감설비 플랜트 시장 홍보																	
- 국내·외 플랜트 민감 계통 설비 수주 및 판매: 개발기업, 건설사 등 - 국내·외 플랜트 건설부문 및 공사부문의 소화설비 수주 및 판매: 건설사, 소화설비 업체 등 - 개발 제품의 강점인 저충격 노즐을 홍보하여 저충격 소화 장비의 필요성 어필																	