첨단도시개발사업

05건설핵심C12

# 다중 융합센서를 이용한 터널화재 고속탐지시스템 개발

2008. 7. 28

주관연구기관 / 목포대학교 산학협력단

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

# 제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "다중 융합 센서를 이용한 터널화재 고속 탐지 시스템 개발"의 최종(중간·단계) 보고서로 제출합니다.

2007 . 08 . 24 .

주관연구기관 : 비티컨설턴트(주)
대표이사 최 인 혁
협동연구기관 : 세종대학교
산학협력단장 이 경 태
위탁연구기관 : 홍익대학교
산학협력단장 김 홍 택

---

| | | | |
|---|---|---|---|
| ■ 총 괄 연 구 책 임 자 | / 수석연구원 | 최인혁 | 협동총괄 |
| ■ 주관연구기관 참여연구원 | / 수석연구원 | 최인혁 | 주관총괄 |
| | / 수석연구원 | 함형진 | 통합운영프로그램 작성 |
| | / 연 구 원 | 이준호 | 시스템설계 |
| | / 〃 | 송 범 | 통합운영프로그램 작성 |
| | | 이영규 | 시스템설계 |
| | / | 권태원 | 프로그램개발 |
| | / | 채은옥 | 프로그램설계 |
| | / 〃 | 조용현 | 프로그램설계 |
| | / | 이정훈 | 연구보조 |
| | / | 황규민 | 연구보조 |

---

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ■ 협동연구기관 참여연구원 | / | **수석연구원** | 한동일 | **협동총괄** |
| | / | **연구보조원** | 이병무 | **영상처리** |
| | / | 〃 | 최민수 | **영상처리** |
| | / | 〃 | 신동진 | **영상처리** |
| | / | 〃 | 이정훈 | **영상처리** |
| | / | 〃 | 정재형 | **영상처리** |
| ■ 위탁연구기관 참여연구원 | / | **수석연구원** | 김기수 | **위탁총괄** |
| | / | **선임연구원** | 정 철 | **시스템설계** |
| | / | 〃 | 조성규 | **광섬유개발** |
| | / | **연 구 원** | 박성훈 | **소프트웨어개발** |
| | / | 〃 | 조형식 | **하드웨어개발** |
| | / | **연구보조원** | 이규호 | **연구보조** |
| | / | 〃 | 성태석 | **연구보조** |
| | / | 〃 | 김영민 | **연구보조** |

# 요 약 문

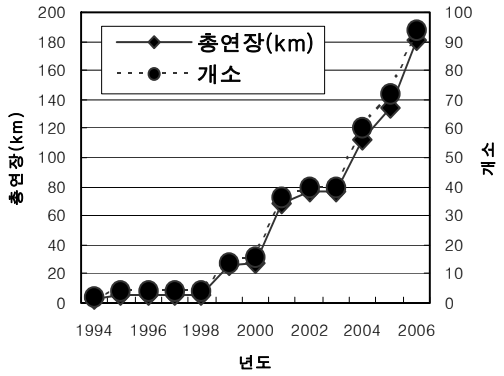
## Ⅰ. 제 목

다중 융합 센서를 이용한 터널화재 고속 탐지 시스템 개발

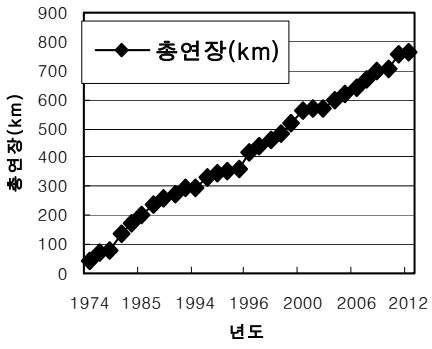
## Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

### 1. 연구개발 개요

■ 대도시 가용 공간 확보, 도로/철도의 성능향상 등을 통한 교통수요충족 등을 위해 장대 도로 및 철도터널, 도시철도 등 지하 공간 개발이 활성화되고 있음.




국내 장대도로터널 건설현황




국내 도시철도 건설현황

■ 터널의 화재발생시 고온의 온도상승과 함께 배연의 제약으로 유독성 연기의 정체로 인하여 피난과 소화활동에 제약을 받아 대규모 인명·재산상 피해의 가능성이 다분히 존재하고 있어 막대한 사회적·경제적 손실이 발생할 수 있음.



터널 내 화재 발생 사례

■ 화재에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 화재발생 초기 단계에 이를 탐지하여 신속한 조치를 취하는 것이 중요하다. 따라서 화재에 의한 피해발생을 최소화하기 위해서는 자동화된 조기 화재 탐지기술의 확보가 필수적임. 지하공간개발의 오랜 역사를 보유하고 있는 선진국에서는 이러한 점을 감안하여 지하 공간 내 화재 발생 시 효과적인 대응을 위한 조기 화재 탐지기술의 개발에 심혈을 기울이고 있음.

■ 국내의 경우 이러한 조기 화재 탐지 기술은 선진국에 비해 상당히 낙후되어 있을 뿐만 아니라 현재 장대 터널에 설치되는 화재 탐지 시스템의 많은 부분을 수입에 의존하고 있어 이를 국산화할 수 있는 기술개발이 절실히 필요함. 특히 선진국의 경우 화재를 좀 더 조기에 탐지하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있으며 몇몇 기술은 이미 상용화 단계에 접어들고 있어 국내에서도 이러한 첨단 기술 분야에 대한 연구개발이 절실히 필요함.

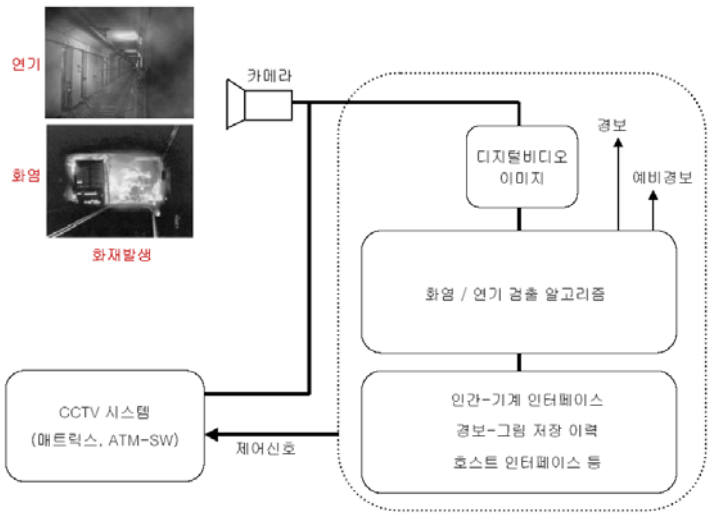
■ 일반적으로 화재가 발생 성장하는 단계는 크게 화재발생의 초기 단계인 연기화재와 화재가 급격히 성장하는 개방화재로 구분된다. 연기화재의 경우 이온화식, 광전식, 연기복합식 등의 탐지기법이 존재하나 센서 비용이 고가이고 탐지 범위가 제한되어 있음.

■ 이러한 문제점을 극복하기 위한 대체 기술로서 선진국에서는 최근 연기화재 발생시 CCTV 등의 영상자료를 사용해 화재를 탐지하는 기술을 개발하여 상용화 단계에 있다. 따라서 본 연구에서는 **CCTV 등을 통해 수집되는 터널내의 영상정보를 사용하여 영상처리기법을 통해 고속으로 연기화재를 탐지할 수 있는 시스템을 개발하고자 함.**

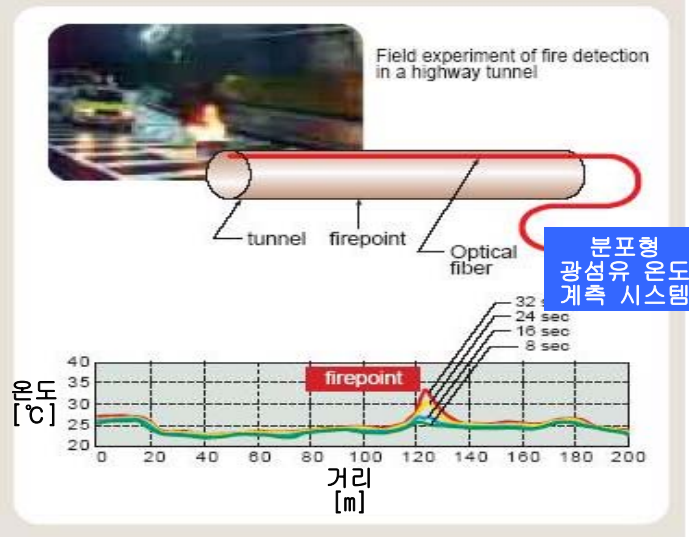
■ 또한 현재 개방화재 탐지를 위해 가장 보편적으로 적용되고 있는 선형 열탐지 기법중 가장 신뢰성이 높은 것으로 알려진 광센서를 사용한 열탐지 시스템은 고가의 외국산 장비를 수입하여 사용하는 실정임. 따라서 **본 연구에서는 이러한 광센서 열탐지 시**

**스템을 국산화 화여 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템과 연동하여 고속으로 정확한 화재 탐지가 가능한 상용화 시스템을 개발하고자 함.**

■ 실시간 영상처리 기술 및 영상 내에 존재하는 연기나 화염과 같은 텍스쳐 정보의 고속 검출 기술 등 본 연구와 관련된 핵심 기술은 이미 기존의 연구를 통하여 본 연구팀에서 확보하고 있어 이러한 기초기술을 복합 응용하여 고속 화재 탐지 시스템을 개발하고자 하며, 1차년도 시작품 제작, 2차년도 시작품 검증 및 보완, 3차년도 실제 상용화 제품 생산 및 판매 등을 목표로 연구를 구성하였음. 본 연구가 성공적으로 완료될 경우 터널 화재의 조기 탐지와 관련한 분야의 기술을 선진국 수준으로 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라 연간 약 100억 이상의 수입품 대체 효과가 기대됨. 또한 브릴루앙 산란광 측정 제품 및 관련 센서류 등은 국외수출도 가능하여 연간 약 86억 달러로 예측(Frost and Sullivan 자료인 Sensors Market and Sourecebook (1995년판))되는 광섬유 센서 시장의 한 부분을 선점할 수 있을 것으로 기대됨.




o 영상처리를 이용한 연기 및 화염 탐지 알고리즘




o 분포형 광섬유 온도 센서를 적용한 터널 계측 측정 예

| 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 |
|---|---|---|
| ➢ 제1 과제<br>– 카메라를 이용한 연기와 화염의 고속탐지 기법 개발<br>– 카메라를 이용한 합성 영상 및 자료 영상을 통한 알고리즘 검증<br>– 화재 탐지 시작품 개발<br>➢ 제 2과제<br>– 기존 연구 사례 기술조사<br>– 분포 광성유 온도 시스템 설계 및 시작품 제작<br>– 광섬유 온도 인가 장치 제작 | ➢ 제1 과제<br>– 모의 터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료 축적<br>– 실험자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가<br>– 성능 개선<br>➢ 제 2과제<br>– 모의 화재실험을 통한 온도 계측<br>– 모니터링 프로그램 작동여부 검증<br>– 성능 개선 | ➢ 제1 과제<br>- 카메라를 이용한 고속탐지 시스템 시제품 개발<br>- 시제품 보급 확대를 위한 사업기반 구축<br>➢ 제 2과제<br>- 분포형 광섬유 온도 시스템 최종 설계 및 시제품 제작<br>- 지적 재산권 확보 및 소방관련 형식승인 추진<br>➢ 시스템 통합<br>- 영상기법과 광섬유센서를 동시에 운영할 수 있는 시스템 개발<br>- 방재시스템 설계 및 구축, 사업기반 구축 |



## 2. 연구개발의 중요성

(1) 기술적 측면

(가) 비디오 영상정보를 이용한 초기 연기화재 탐지 시스템 개발

■ 화재가 발생되어 개방화재로 진행되기 이전 연기화재 단계에서 정확히 이를 탐지할 수 있다면 보다 신속히 화재 진압 및 대피 등이 가능하므로 가장 바람직하다 할 수 있음. 그러나 연기화재 단계에서 이를 정확히 탐지하기 위해서는 화재 감지 장치의 성능이 매우 중요한 역할을 수행하게 됨.

■ 기존의 감지 장치들은 비화재 상황에 대한 감지기의 동작 및 경보 발생으로 인한 신뢰성이 떨어지는 것이 가장 큰 문제점으로 지적되어 왔으며 화재 감지기에 대한 신뢰성 향상을 위한 꾸준한 연구 개발이 진행되어 왔음. 그러나 현재 개발된 우수한 감지기들은 가격이 상당히 고가이므로 초기 설치 가격이 상승되는 것이 단점임.

■ 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 연기화재 탐지 기술은 기존의 터널에 설치되는 CCTV의 비디오 영상을 사용하여 영상처리 기법으로 화재발생 여부를 감지하는 기술로서 별도의 센서 등이 필요하지 않음. 또한 최근에는 CMOS 카메라의 개발 및 성능 개선으로 인하여 CCTV보다 저가의 시각처리 시스템을 구성할 수 있으며 영상 처리 기법을 통한 연기, 화염의 발생을 초기에 검출할 수 있음.

■ 이와 동시에 터널 내부 상태에 대한 시각 정보를 실시간으로 제공하기 때문에 관리자로 하여금 빠르고 정확한 상황 판단을 가능하게 하는 이점이 있음. 따라서 일상적인 상황에서는 터널 내 상황에 대한 모니터링 경우와 녹화 기능을 수행함과 동시에 영상처리 기법을 이용하여 지속적으로 화재 발생 상황을 자동적으로 탐지를 수행하게 함. 그리고 화재 상황 발생 시 관리자가 이를 인지하지 못하는 경우라 할지라도 시각 탐지 시스템이 이 상황을 검출하고 이를 관리자에게 실시간으로 알려 주고 최종적인 판단은 관리자가 모니터를 통해서 확인하게 함으로써 보다 정확하고 고속의 탐지를 가능하게 함.

(나) 광센서를 사용한 개방화재 탐지 시스템 국산화 개발

■ 터널내 온도변화를 감지하여 화재발생 여부를 판단하는 선형 열탐지 시스템은 주로 개방형 화재를 탐지할 수 있는 기법으로서 화재탐지의 정확성 및 안정성은 센서의 종류에 따라 크게 달라짐.

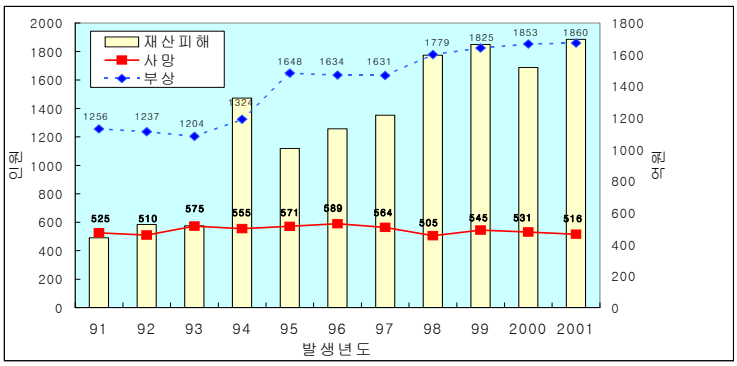
■ 최근 국내에서 많이 적용되고 있는 광섬유 온도 감지 센서의 경우 기존의 전자 센서 및 부품 대신 빛을 이용한 측정 그리고 이 측정신호를 빛으로 전송한다는 것이 가장 큰 특징임. 이로 인하여 전기가 통하는 전도체가 포함되어 있지 않으므로 주변의 여러 장치에서 발생할 수 있는 전자파 장애에 의한 잡음이 없고, 전기적인 접지, 누전, 감전 등의 염려가 없음. 또한 크기가 작고 가벼우며, 거의 모든 종류의 물리량 측정에 이용할 수 있음.

■ 뿐만 아니라 통신의 경우와 마찬가지로 광손실이 적고 정보전송 대역폭이 넓어 많은 수의 센서를 광섬유 한가닥에 연결하여 동시에 측정할 수 있는 분포형 센서로 응용이 가능하함. 이는 수십 km 떨어진 거리에서도 원격측정을 할 수 있고, 위치에 따른 온도의 분포 또는 물리량을 측정하는 분포 계측이 가능함. 이에 따라 센서와 유지계측 관리소 사이의 거리가 원거리 일지라도 신호의 왜곡이나 변형이 매우 적게 나타나기 때문에, 여타 다른 센서에 비해 기술적으로 우수한 특성을 가지고 있음.

■ 이와 같이 광섬유 온도감지 시스템은 기존의 전자 시스템에 비해 기술적으로 많은 장점이 있으나 국내에서는 이러한 광센서 시스템에 대한 상용화 기술이 확보되지 않아 전량 수입에 의존하고 있으며 시스템의 가격이 고가이기 때문에 널리 확산 보급되지 않고 중요 터널에 한정되어 설치되고 있음. 따라서 이러한 광센서 열탐지 시스템을 국산화할 수 있는 상용기술의 개발이 시급한 실정임.

(다) 경제·산업적 측면

■ 선진외국의 경우 최근 10년간 화재피해의 증가가 멈추고 있으며, 특히 미국의 경우에는 1991년대에 비하여 최근 11.7%의 화재피해 감소추세에 보이고 있음. 그러나 국내의 경우는 오히려 화재발생건수가 지속적으로 증가(최근 10년 동안 연평균 8.6%씩 화재 증가)하여 인명 및 재산피해도 계속 증가('2001년 인명피해 2,376명, 재산피해 1700억원)하고 있음.




시설물 화재로 인한 연도별 피해 현황

○ 국내외 대표적 지하 공간 화재피해 현황

| 년도 | 사고 | 피해상황 |
|---|---|---|
| 2007년 | 호남고속도로 원덕터널 차량 추돌사고 | ·사상자 5명 |
| 2005년 | 달성터널 미사일 추진체 화제사고 | ·교통 마비로 인한 물류피해 발생 |
| 2003년 | 서울 홍은동 홍지문 터널 차량 추돌사고 | ·중경상 48명 |
| 2003년 | 대구지하철 방화사건 | ·346명 인명손실(198명 사망)<br>·재산피해 7,053억원(직접손실 1,352억원, 간접손실 7,053억원, 현대경제연구원 추정치) |
| 2000년 | 오스트리아 산악열차화재 | ·153명 사망, 터널 내 연기질식 |
| 1999년 | 오스트리아 Tauern 터널 화재 | ·72명 인명손실(12명 사망)<br>·보수비 87억원, 통행료 손실 250억원 |
| 1999년 | 프랑스-이탈리아 Mont Blac 터널화재 | ·39명 사망 |
| 1995년 | 아제르바이잔 지하철화재사고 | ·340명 사망 |

■ 특히 지상건축물에서는 화재1건당 평균 0.07명의 사상자가 발생한 반면, 터널과 같은 지하공간은 수십 명의 인명피해가 발생한 것으로 조사되는 등, 지하공간은 낮은 화재 발생빈도에도 불구하고 재난발생에 따른 인적·경제적 피해가 크므로 화재예방과 피해최소화를 위한 대책이 시급히 요구됨.

■ 도로터널과 도시철도와 같이 국가의 핵심교통체계를 구성하는 지하시설물의 경우는 소화와 피난의 어려움으로 대형인명피해가 발생함은 물론, 화재 시 터널손상에 따라 일정기간 폐쇄가 불가피하여 국가물류체계에 큰 혼란을 유발할 수 있음.

■ 이러한 재난을 방지하기 위해서는 화재발생을 근본적으로 차단하는 것이나 현실적으로 이는 불가능하기 때문에 화재 발생 초기에 이를 탐지하여 신속히 대처하는 것이 최선의 대책임. 그러나 화재 조기 탐지분야의 국내 기술수준은 선진국 대비 30~40% 정도로 평가되고 있으며, 주요 탐지시스템은 수입에 의존하고 있어 국내의 독자적인 기술 확보를 위한 연구개발이 필요함.

■ 본 연구 개발을 통하여 터널 화재 고속 탐지 시스템의 개발이 성공적으로 완료되면

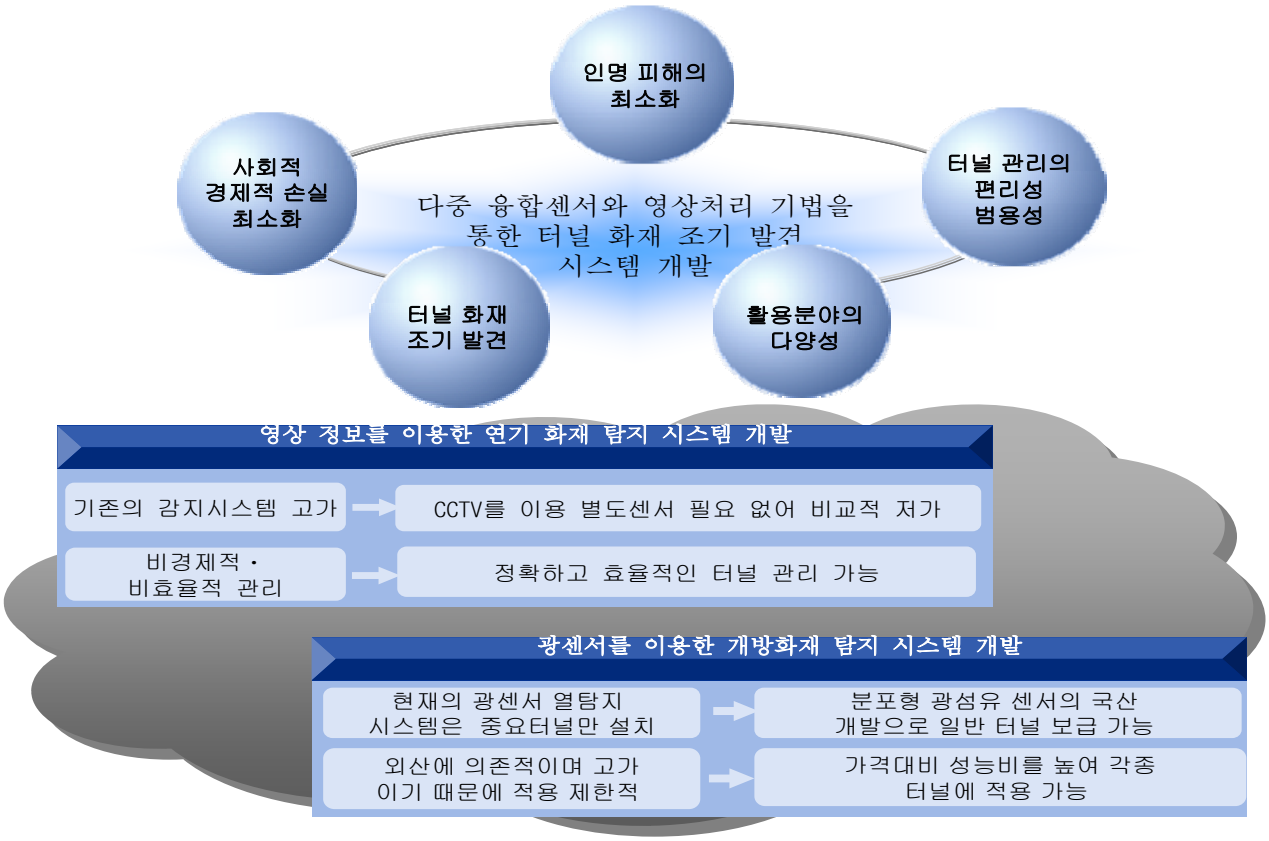
터널 내 사고로 인한 화재 발생 시 늦장 대응으로 발생할 수 있는 엄청난 인명 피해와 재산 손실은 물론 화염에 의한 구조물의 강도 저하 등 2차적 피해를 최소화 할 수 있음.

(라) 사회·문화적 측면

■ 도로터널과 도시철도와 같이 국가의 핵심교통체계를 구성하는 지하시설물과 이를 이용하는 운송 수단으로 인하여 전국이 일일 생활권에서 반일 생활권으로 바뀌고 있고 이로 인한 사회적 파급효과도 매우 큰 것으로 판단됨.

■ 도로터널과 도시철도가 장대화, 대형화되고 사용 빈도도 증가함에 따라서 만약의 사태로 터널 내에 차량 사고 및 기타 다양한 사고로 인하여 화재가 발생 시 대형 사고의 가능성이 커지고 있으며 이에 따라서 경제적인 손실뿐만이 아니라 대형 인명 사고의 가능성도 높아지고 있음.

■ 이러한 상황에서 따라서 터널 내 화재의 조기 경보 시스템은 자칫 발생할 수 있는 대형 인명 피해를 미연에 방지할 수 있는 장점이 있음.



## Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 연구개발 내용이 두개로 나누어져 있다. 세부과제의 연구내용을 구체적으로 다음과 같이 정리 할 수 있다.

1. 제1연구분야 : 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 연 구 범 위 | 연구수행방법<br>(이론적·실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 실제터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료축적 | 건설기술연구원 방재실험동의 모의 화재 실험 | 건설기술연구원 방재실험동내에서 모의 화재실험 실시 및 캠코더, 디지털카메라, CMOS 카메라, CCTV등을 이용한 영상 획득 |
| 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | 모의 화재 실험 시 개발 알고리즘을 이용한 실시간 테스트 | 모의 화재 실험 시 CMOS 카메라를 이용하여 영상을 입력받아서 알고리즘 적용 및 평가 |
| 성능개선 | 모의 화재 실험을 통해 얻어진 영상을 이용한 성능 개선 | 획득한 영상을 이용하여 모의 화재 실험의 문제점을 파악하고 개선 |

2. 제2연구분야 : 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 연 구 범 위 | 연구수행방법<br>(이론적·실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 분포 광섬유 온도 시스템 설계 및 시작품 제작 | 1차년도에서 완료한 개발 시제품을 랩 실험을 통하여 계속적으로 업그레이드 및 보완 | ▪ 시작품 시스템 설계<br>▪ 고출력 광원 조립<br>▪ RF 신호 발생기 구동<br>▪ 광 수신기 조립<br>▪ 신호 취득장치 구현<br>▪ 프로그램 작성 |
| 광섬유 온도 인가장치 제작 | 광섬유에 해상도를 1℃ 내외와 최대 길이를 20Km까지 인가할 수 있는 시스템 제작 | ▪ 광섬유에 부분적으로 온도를 인가할 수 있는 장치 구현<br>▪ 시스템 평가 |
| 성능개선 | 모의 화재 실험을 통해 얻어진 영상을 이용한 성능 개선 | 획득한 영상을 이용하여 모의 화재 실험의 문제점을 파악하고 개선 |

## Ⅳ. 연구개발결과

### 1. 연구성과

#### 1) 영상 정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 연도 | 세부연구목표 | 가중치 | 평가의 착안점 및 척도 |
|---|---|---|---|
| 2차 연도 (2007) | ㅇ터널에 시스템 설치 및 모의 현장 테스트 | 10 % | ㅇ 모의 터널에서의 동작 여부 |
| | ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 검증 | 10 % | ㅇ 화재 탐지 판단 결과의 정확성 |
| | ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 보완 | 20 % | ㅇ 화재 탐지 판단 결과의 정확성 |
| | ㅇ초기 연기 검출 시간 - 5 초 | 20 % | ㅇ 연기 발생 후 최대 검출 지연 시간 |
| | ㅇ초기 화염 검출 시간 - 5 초 | 20 % | ㅇ 화염 발생 후 최대 검출 지연 시간 |
| | ㅇ상시 측정 프로그램 동작 여부 | 20 % | ㅇ 장시간 측정 및 상시 진단 프로그램 동작 여부 확인 |

| 평가의 착안점 | 자 체 평 가 |
|---|---|
| ㅇ터널에 시스템 설치 및 모의 현장 테스트 | 100% 달성 : 모의 화재 실험 영상 획득 및 알고리즘 실시간 적용 |
| ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 검증 | 100% 달성 : 문제점 파악 |
| ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 보완 | 90% 달성 : 파악된 문제점의 성능 개선 |
| ㅇ초기 연기 검출 시간 - 5 초 : 연기 발생 후 최대 검출 지연 시간 | 100% 초과 달성<br>: 초기 연기 검출 시간 - 5 초 이내(실시간) |
| ㅇ초기 화염 검출 시간 - 5 초 : 화염 발생 후 최대 검출 지연 시간 | 100% 초과 달성<br>: 초기 화염 검출 시간 - 5 초 이내(실시간) |
| ㅇ상시 측정 프로그램 동작 여부 | 100% 달성 : 모의 화재 실험을 통한 실시간 검증 |

논문 게재(4건)

- Development of Early Tunnel Fire Detection Algorithm Using the Image Processing (ISVC 2006, LNCS 4292 pp39-48)

- Real-Time Fire Detection and Verification Algorithm Using Feature Extraction and Merging (ITC-CSCC 2007 Accepted)

- Real-Time Fire Detection Using Camera Sequence Image in Tunnel Environment (ICIC 2007 Accepted, LNCS)

- 터널 내 감시 카메라 영상을 이용한 실시간 화염 및 연기 탐지 기법의 개발 (대한 전자 공학회 하계 종합 학술대회 2007 Accepted)

- 특허 2건 : 작성 중, 6월 중 출원 계획

2) 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 연도 | 세부연구목표 | 가중치 | 평가의 착안점 및 척도 |
|---|---|---|---|
| 2차 연도 (2007) | ㅇ터널에 시스템 설치 및 모의 현장 테스트 | 20 % | ㅇ 모의 터널에서의 동작 여부 |
| | ㅇ거리 분해능 1m 온도 분해능 1℃ 내 | 20 % | ㅇ 연기 발생 후 최대 검출 지연 시간 |
| | ㅇ측정거리 25km, 스캔 속도 200 Sec | 20 % | ㅇ 화염 발생 후 최대 검출 지연 시간 |
| | ㅇ상시 측정 프로그램 동작 여부 | 20 % | ㅇ 장시간 측정 및 상시 진단 프로그램 동작 여부 확인 |
| | ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 보완 | 20 % | ㅇ 화재 탐지 판단 결과의 정확성 |

| 평가의 착안점 | 자 체 평 가 |
|---|---|
| ㅇ터널에 시스템 설치 및 모의 현장 테스트 | 100% 달성 : 모의 화재 실험 영상 획득 및 알고리즘 실시간 적용 |
| ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 검증 | 100% 달성 : 문제점 파악 |
| ㅇ모의 화재실험을 통한 시스템의 보완 | 90% 달성 : 파악된 문제점의 성능 개선 |
| ㅇ거리분해능 및 온도 분해능 달성 | 100% 달성 : 거리분해능과 온도 분해능의 목표치는 달성하였음. |
| ㅇ온도 측정 정확도 | 80% 달성 : 모든 분해능은 만족하고 있지만 정확도가 다소 미흡 |
| ㅇ상시 측정 프로그램 동작 여부 | 100% 달성 : 모의 화재 실험을 통한 실시간 검증 |

## Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

차년도 연구개발 과정에서는 개발 기술의 현장 검증 과정을 통한 기술보완을 수행하여 최종 연구개발 결과를 도출해낼 것이다. 본 연구를 통하여 얻어지는 최종 연구개발 결과의 활용계획은 아래의 내용과 같다.

- ■ 대형 건물 내의 고속 화재 탐지 시스템
  - 대형 공연장 등의 문화 시설
  - 대형 공장 등의 산업 시설
  - 시청, 구청 등의 공공 기관
  - 체육관 등의 체육 시설
  - 대형 아파트 단지
  - 공원 문화 시설 등의 고속 화재 탐지 시스템
- ■ 저가형으로 구성 시 가정용 고속 화재 탐지 시스템
  - 단독, 연립 주택
  - 소형 사무실에서의 야간 화재 탐지
- ■ 도로터널, 지하철, 철도터널
  - 차량화재 위치 파악 가능으로 조속한 대책 수립
  - 온도 변화를 추적, 감시 가능하므로 피해 확산 최소화
  - 화재의 크기 및 화재 진행 방향에 대한 정보제공으로 효과적인 화재진압
- ■ 다중 저장 시설
- ■ Cable trays or ducts
  - 지하 통신구에서 발생 할수 있는 고압케이브, 통신케이블등의 화재를 미연에 방지
  - 실시간 통신구의 온열환경을 지속적으로 감시하는 체계구축
- ■ Coal conveyors
- ■ Floating roof tanks
- ■ 핵폐기물 저장시설 등
- ■ 댐등의 국가 주요시설
  - 댐등의 콘크리트 균열 누수를 조기에 탐지 가능
- ■ 대형 건축물 내부
- ■ 기타 대중 이용 시설(극장, 공연장등)
- ■ 원자력 발전소 터빈 온도감시

# Summary

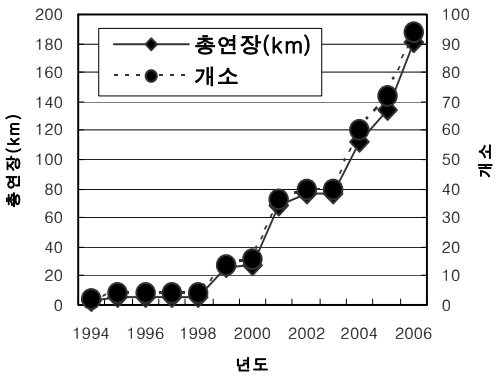
## Ⅰ. Title

Development of high-speed tunnel fire detection system using multi fusing sensors

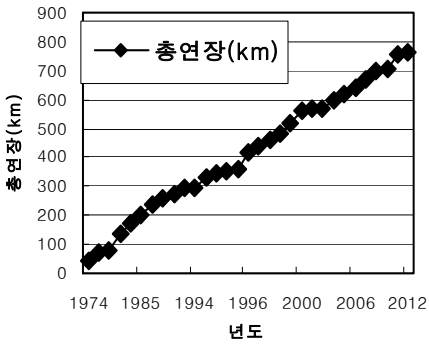
## Ⅱ. Purpose and necessity of R&D

### 1. Summary of R&D

■ Underground spaces such as long road, railway tunnel, and urban tunnel are actively developed to meet the traffic demand through preparation of useable spaces in large cities and improvement of the performance of road/railway.




Situation of domestic long road construction




Situation of domestic urban railway construction

■ At occurrence of tunnel fire, huge amount of social and economical loss may be produced as the possibility of large scale human and asset damage exists caused

by limited fire-fighting activity due to the accumulation of toxic smoke as the result of high temperature elevation and limited exhaust of smoke.



Examples of occurrence of tunnel fire

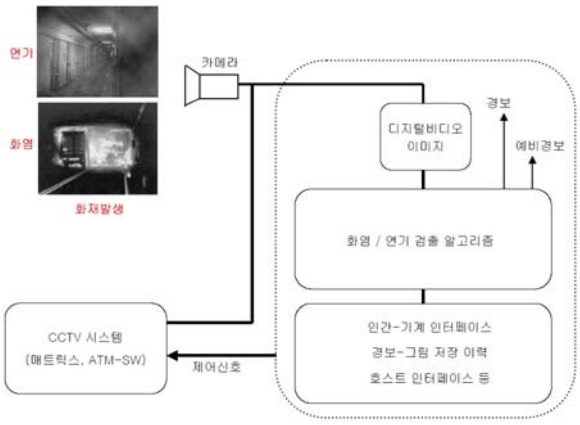
- To minimize the damage from fire, it is important to detect the fire at initial stage of occurrence and to rapidly take the measure. Therefore, possession of early fire detection technology is necessary to minimize the damage from fire. In the advanced countries having long-history of underground space development, they make efforts in development of early fire detection technology to make efficient measures against occurrence of fire in the underground spaces.

- In case of our country, such early fire-detection technology is significantly backward compared to that of advanced countries and, as many parts of fire detection system currently installed in long roads, development of domestic technology to substitute such parts is necessarily required. Especially, in case of advanced countries, various studies are conducted for earlier detection of fire and some technologies are at the stage of commercialization; in case of our country also, development of such advanced technologies is necessarily required.
- In general, the stages of development of fire are divided into smoke fire that is the initial stage after occurrence of fire and open fire that fire is rapidly grown. In case of smoke fire, detection methods such as ionization method, optical method, and smoke-complex method are available but the sensors are expensive and detection range is limited.

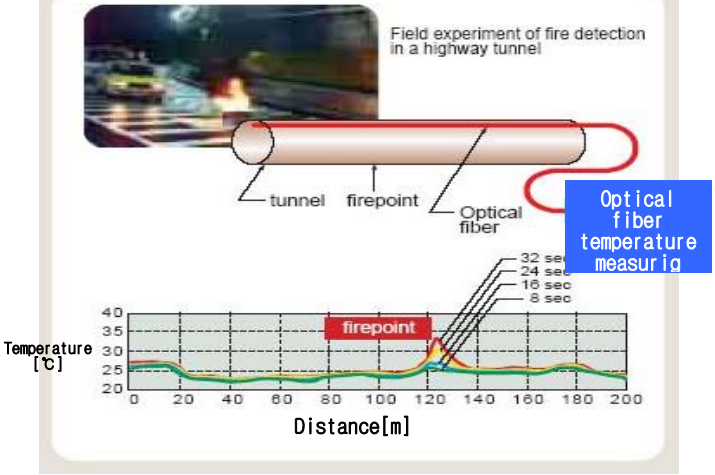
■ As the substitutive technology to overcome such problems, advanced countries developed the fire detection technology using video data such as CCTV at occurrence of smoke fire and such technology is at the stage of commercialization. Therefore, it was intended in this study to **develop the system to rapidly detect smoke fire through video processing technology with use of tunnel video informatio collected through CCTV etc.**

■ Also, in case of linear heat detection system using optical sensors that is known to have the highest reliability in the linear heat detection technologies commonly applied in detection of open fire, high-priced foreign equipment is imported and used. **In this study, it was intended to develop the commercialized system for possible high-speed and accurate detection of fire in connection with the smoke fire detection system using video information through localization of such heat-detection system. .**

■ As the core technologies, such as the high-speed detection technology of texture information such as the smoke or fire existing in the real-time video processing technology and video, are possessed by this research team through the review of preceding studies, development of high-speed fire detection system is intended with complicated application of such technologies and the study consisted of manufacture of pilot product in the first year, verification and supplementation of pilot product in the second year, and production and sales of actual commercialized products in the third year. If this study is successfully completed, the technology related to early detection of tunnel fire may be improved to the level of advanced countries and app. 10 billion won of import-substitution effect is expected a year. Also, the products for detection of Brillouin scattering light and related sensors may be exported and is expected to pre-occupy a part of optical fiber market that is expected to be 8.6 billion won a year (Sensors Market and Sourecebook by Frost and Sullivan, 1995).




o Smoke and flame detection algorithm using video processing




o Example of tunnel measurement with application of dispersed optical thermo-sensors

## 2. Importance of R&D

A. Technological aspect

(1) Development of initial smoke fire detection system using video information

- Accurate detection of smoke fire before developing to open fire after occurrence of fire is desirable because rapid fire fighting and sheltering is possible. However, for the accurate detection at the smoke fire stage, the performance of fire detection apparatus is very important.

- In case of previous detection apparatus, the most frequently indicated problem was low reliability due to the movement and warning in no-fire situation and the R&D has been continued to improve the reliability on fire detector. However, currently developed detectors are expensive and the demerit is that the installation expense is high.

- However, the smoke fire detection technology developed in this study is the technology to detect the occurrence of fire by video processing technology using CCTV video images and requires no sensor. Also, as the result of development of CMOS cameras and improvement of the performance of them, visual processing system may be constituted at lower price than CCTV and occurrence of smoke or flame may detected at early stage through the video processing technology.

- Not only this, the time information on the situation in the tunnel may be provided at real time and the operator may rapidly make an accurate decision. Therefore, in usual situation, monitoring and recording of tunnel situation is done and fire occurrence situation is automatically and continuously performed with use of video processing technology. Even the case that the operator does not recognize the

occurrence of fire, visual detection system detects such situation and notice the fact to the operator so that the operator makes a decision after checking of such situation through monitor.

(2) Localization of open fire detection system using optical sensors

- The linear heat detection system to make decision on the occurrence of fire with detection of temperature change in the tunnel has the technology to mostly detect open fire and the accuracy and stability of fire detection largely differs by the kind of sensors.

- In case of the optical temperature detection sensor that are recently domestically applied in many cases have the property that detection is made with use of light rather than existing electronic sensors and that such detected signal is sent through light. Therefore, as no conductor for flowing of electricity is contained, there is no noise caused by the electronic waves produced from various kinds of surrounding apparatus and the risk caused by grounding, leakage, or electric shock does not exist. Also, the size is small and the weight is light; they may be used in the measurement of all kinds of physical amount.

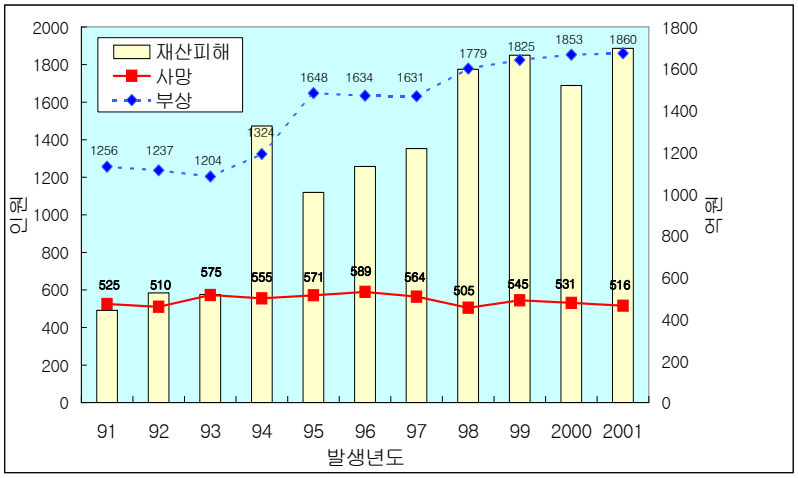
- Not only this, like the case of communication, optical loss is low and information transmission bandwidth is wide; application of dispersion sensor is possible by using one stripe of optical fiber containing many sensors. Remote measurement from a place having several km of distance is possible and distribution measuring to detect temperature distribution or physical amount by the position is possible. Therefore, distortion or deformation of signal is small although the distance between the sensors and maintenance/measurement office is long and this method superior technological property compared to other sensors.

- As above-described, optical fiber temperature system has many technological

strong points compared to existing electronic system but the country does not have the commercialization technology of such optical sensor system and all of them is depended upon imddport; as the system is high priced, it is now widely distributed and limited to major tunnels only. Therefore, development of technology for localization and commercialization of such technology is necessarily required.

B. Economical and industrial aspect

■ In case of advanced countries, the growth of damage with fire has been stopped for recent 10 years and the USA shows 11.7% of fire damage reduction compared to 1991. However, in case of our country, the cases of occurrence of fire have continuously been increased (during last 10 years, yearly 10.8% of increase of fire) and human and asset damage have also been increased (in 2001, 2,376 persons and 170 billion won).




Damage in each year caused by facility fire

○ Situation of damage with representative underground fire in the country

| Year | Accident | Damage |
|---|---|---|
| 2003 | Daegu subway fire | ·346 human damage (198 died)<br>·705.3 billion of asset damage (135.2 billion of direct loss and 705.3 billion won of indirect loss, expectation by Hyundai Research Institute) |
| 2000 | Mountain train fire in Austria | ·153 died from suffocation in the tunnel smoke |
| 1999 | Tauern tunnel fire in Austria | ·72 human damage (12 died)<br>·8.7 billion won of repaire expenses and 25 billion won of loss with passage money |
| 1999 | Mont Blac tunnel fire between france and Italy | ·39 died |
| 1995 | Azerbaijani subway fire | ·340 died |

■ In case of structures on the ground, average 0.07 person of human damage is produced for one case of fire but, in case of tunnel or underground spaces, tens of human damage is produced; although underground spaces have low incidence of fire, resulted human and asset damage is large and the measures to minimize the occurrence of fire and damage is urgently required.

■ In case of the underground structures, such as road tunnel and urban railway, consisting the core traffic system of the country, large human damage is produced due to the difficulty in fire fighting and sheltering and closing of the space for a certain period of time is unavoidable resulting in a large confusion in national distribution system.

- Essential blocking of occurrence of fire is needed to prevent such disaster but is impossible in practical situation; therefore, the best method is the early detection of fire and rapid taking of measures. Domestic technological level in early fire detection area is appraised as 30-40% of those of advanced countries and major systems are deepened upon import; therefore, R&D for possession of own domestic technology is needed.

- When the development of the system for detection of high-speed detection of tunnel fire is finished in this study, secondary damage such as weakening of the strength of structure caused by flame will be minimized as well as the large human and asset damage caused by delayed action after occurrence of fire in the tunnels.

C. Social and cultural aspect

- The country is being changed from one-day life territory to half-day life territory with the transportation means using underground facilities constituting the core traffic system of the country such as road tunnel and urban railway and the social influence is also expected to be very large.

- Road tunnels and urban railway become long and large and the frequency of use of them is also increased; therefore, there is a large possibility of large accident at occurrence of fire caused by traffic accident and other various accidents in the tunnel and possibility of resulted economic damage and large scale of human damage is also elevated.

- Depending upon the situation, the early fire warning system in case of tunnel fire may prevent the possible large scale of human damage.

## Ⅲ. Contents and range of R&D

The contents of the R&D consist of two parts. The contents of detailed tasks may be arranged as shown below:

### 1. 1st Research Area : Development of smoke fire detection system using video information

| Target of Research | Contents of Major Researches |
|---|---|
| ▪ Development of technology for high-speed detection of smoke and flame with use of cameras | ▪ Study on the extraction technique of global feature using steerable pyramid<br>▪ Study on the compaction technique of optimum video data with use of PCA (Principal Component Analysis) technique<br>▪ Development of technology for high-speed detection of smoke and flame with use of Texture extraction technique |
| ▪ Verification of algorithm through computer graphic synthesized image and data image | ▪ Collection of various images on orad tunnel, urban tunnel, long tunnel, and subway<br>▪ Creation of smoke fire and flame image through computer graphic synthesization and collection of fire images<br>▪ Verification of algorithm on the various fire images |
| ▪ Development of fire detection pilot product | ▪ Test and verification of high-speed detection function on the normal status and smoke fire status in various tunnel environment<br>▪ Test and verification of high-speed detection function on the normal status and flame images in various tunnel environment<br>▪ Development of fire detection pilot product using cameras |

**2. 2nd Research Area : Development of open fire detection system using optical fiber**

| Target of Research | Contents of Major Researches |
|---|---|
| ▪ Design and manufacture of dispersed optical fiber temperature system | ▪ Design of pilot product system<br>▪ Assembling of high-output optical source<br>▪ Driving of RF signal generator<br>▪ Assembling of optical receiver<br>▪ Manifestation of signal receiving apparatus<br>▪ Preparation of program |
| ▪ Manufacture of optical fiber temperature connection | ▪ Manifestation of the apparatus for partial connection of temperature to optical fiber<br>▪ System appraisal |

# 목 차

**제 1 장 서 론 ····· 1**
제 1 절 연구개발 목표 및 평가의 착안점 ····· 1
1. 당해연도 연구개발 목표 ····· 1
2. 연구개발결과 평가의 착안점 ····· 2

**제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 3**
**제 1 절 국내 기술 및 산업 동향 ····· 3**
**제 2 절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 5**

**제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 6**
제 1절 개발할 시스템의 원리 및 구성 ····· 6
1. 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발 ····· 6
2. 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발 ····· 13
3. 모의화재 실험을 위한 시스템 구현 ····· 30
4. 모의화재 실험 데이터를 활용한 시작품의 현장 적용성 평가 ····· 35
5. 실험 자료를 이용한 시작품의 적용성 평가 ····· 40
6. 성능개선 ····· 43
7. 결론 ····· 50

**제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 51**
제 1 절 연구개발 수행 진도율 ····· 51
1. 영상 정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발 ····· 51
2. 영상 정보로 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발 ····· 51
제 2 절 연구목표 및 연구내용(총괄) ····· 52
제 3 절 연구성과 ····· 54
제 4 절 연구목표치 대비 실적치 ····· 56
제 5 절 연구개발 주요내용 ····· 57

**제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 58**
제 1 절 연구 성과의 활용방안 ····· 58

제 2 절 연구 성과의 기대효과 ·····58
1. 기술적 측면 ·····58
2. 사회 · 경제적 측면 ·····59
제 3 절 연구 성과의 기업 활용방안 ·····60
1. 참여 기업의 현황 분석 ·····60
2. 참여 기업별 연계방안 및 추진전략 ·····60
3. 타 산업에 미치는 효과 ·····60
4. 정부 정책과의 연계방안 ·····60
5. 관련 후속 연구 개발의 전망 ·····60

**제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ·····62**

**제 7장 참고 문헌 ·····63**

**별 첨 ·····68**

# 제 1 장 서 론

## 1절. 연구개발 목표 및 평가의 착안점

### 1. 당해연도 연구개발 목표

■ 본 연구사업은 크게 연기화재 감지를 위한 영상정보를 이용한 화재탐지 시스템개발과 개방화재 탐지를 위한 광센서 온도감지 시스템 개발의 두 개 연구 분야로 구성되어 있으며, 각 연구 분야별 세부 연구목표는 다음과 같음.

■ 모의화재 실험을 통한 2차년도 연구개발 결과를 현장 점검하고 문제점 및 개선방향을 도출하여 효율적이고 적용성이 우수한 시작품을 제작하고자 함.

■ 1차년도 개발한 제품보다 기능적 성능적으로 보완될 수 있도록 시스템 재구성.

**다중센서를 이용한 터널 화재 고속 탐지 시스템 개발**

**가. 제1연구분야 : 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발**

- ○ 모의 화재실험을 통한 자료축적
- ○ 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가
- ○ 성능개선, 실제 터널에 적용, 온도 계측
- ○ 모의 화재 실험
- ○ 장비 및 상시 진단 프로그램 작동여부 검증 및 보완

**나. 제2연구분야 : 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발**

- ○ 광섬유 케이블은 내구성이 크기가 작고 내구성이 우수한 제품으로 개발
- ○ 시작품 개발을 위한 제품의 안정성 점검
- ○ 완성도 있는 시작품을 제작하기 위한 각 개별 Unit 점검
- ○ 화재 검출 분석 소프트웨어 개발
- ○ 2차년도 연구개발 결과를 바탕으로 3차년도 연구개발 계획 수립

## 2. 연구개발결과 평가의 착안점

■ 2차년도에서는 모의화재 실험을 통하여 각각의 시스템을 운용하고 측정오차를 최소화하고 적용성과 성능이 우수한 제품을 만들기 위한 시스템 중간 점검 단계임

■ 모의화재 실험 결과를 통한 보완해야할 사항과 향후 연구개발 계획 수립

■ **영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발**

| 년도 | 세부연구목표 | 평가의 착안점 및 척도 |
|---|---|---|
| 2차년도 (2006~ 2007) | ◦모의터널에 시스템 운영 | ◦모의터널에서의 동작 여부 |
| | ◦모의 화재실험을 통한 시스템의 검증 및 보완 | ◦화재 및 연기 검출 알고리즘의 적용성 검증 |
| | ◦상시 측정 프로그램 동작 여부 | ◦장시간 측정 및 상시 진단 프로그램 동작 여부 확인 |

■ **광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발**

| 년도 | 세부연구목표 | 평가의 착안점 및 척도 |
|---|---|---|
| 2차년도 (2006~ 2007) | ◦분포형 광섬유 온도 센서 시스템 시제품 개발 적용성 검증<br>- 거리분해능 - 1m<br>- 온도 측정 분해능 - 1℃<br>- 샘플링 속도 - 200 sec<br>- 측정 거리 - 25Km | ◦거리분해능과 온도 측정 분해능에 대한 측정결과 검증<br>◦각 개별 유닛에 대한 시스템 성능 점검<br>◦시스템 통합한 시작품의 운용성 점검 |

# 제 2 장 국내·외 기술개발 현황

## 1절. 국내 기술 및 산업 동향

■ 국내의 경우 최근까지 터널내 화재의 소방방재 분야에 대한 연구는 극히 미미하였으나 2003년 대구 지하철 방화사건이 발생한 이후 국가적으로 터널내 화재 방재 시스템의 구축 필요성 대한 인식이 확산되고 있으며 관련 연구도 활발히 진행되고 있음. 그러나 기존의 연구는 대부분 터널내 화재발생시 방재설비의 설치 기준이나 규정을 수립하기 위한 연구와 환기 및 방재 설비 설계기술 개발 등에 국한되어 연구가 진행되고 있으며 화재 탐지 시스템 분야에 대한 연구는 미미한 실정임.

■ 특히 본 연구에서 개발하고자 하는 카메라와 광섬유를 포함한 다중센서를 이용한 터널 화재 감시 시스템과 같은 첨단 화재탐지 시스템에 대한 상용화된 기술개발은 전무한 상태임.

■ 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 고속 화재 탐지 시스템의 핵심기술이라 할 수 있는 영상처리 기술 및 조명이나 환경 변화에 강인한 패턴 추출 기술, 고속 영상 처리 하드웨어 제작 기술, 연기나 화염과 같은 텍스쳐 기반 영상 처리 기술, 광섬유 센서 시스템 및 광섬유 설치기술 등은 본 연구팀에서 수년에 걸쳐 연구 개발하여 관련 특허 등의 원천기술을 확보하고 있는 상태로 이미 상당한 수준의 기술을 축적하고 있음. 따라서 본 연구에서는 이러한 기초기술을 고속 화재 탐지 시스템개발에 복합 응용할 경우 실질적으로 상용화된 제품을 개발할 수 있을 것으로 기대됨.

### 가. 국내 시장 현황 및 예측

| |
|---|
| 현 국내에서는 유사개발 사항이 없음. |

나. 국내 주요 관련 업체

| 업체명 | 업체별 능력 | 비 고 |
|---|---|---|
| (주)탑시스템 | 역무자동화(AFC), 교통장비 시스템, 교통통신장비, 지하철 및 철도차량 화재감지시스템, 자동검침시스템 | |
| 화재(환경)안전 연구그룹 | 화재를 재현, 분석하여 이를 토대로 화재안전 시스템을 구축하기 위한 실물화재 실험 방법론 및 상사법칙을 토대로 한 축소모형 실험 방법론 개발 | |
| (주)신화 전자 | 인천국제공항의 자동화재탐지 설비 및 방재시스템의 일괄 구축사업의 성공적인 수행을 가능 | |

다. 국내 전문가 및 연구기관 현황

| 항목 | 전문가 | 소속기관 | 기술개발현황 | 수준 (국외대비) |
|---|---|---|---|---|
| 장대터널 화재 안전 | 김동현 | 한국철도기술 연구원 | 초장대터널 구난역의 화재안전에 대한 축소모형 실험 | |
| | 박원희 | 한국철도기술 연구원 | 초장대터널 구난역의 화재안전에 대한 축소모형 실험 | |
| | | | | |
| 화재 감지 및 소방방재 | 장영남 | (주)우당기술 산업 | 화재 감지 및 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구 | |
| | 박동하 | (주)신화전자 | 화재 감지 및 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구 | |
| | 이창언 | 인하대학교 | 화재 감지 및 소방방재 통합시스템 구축에 관한 연구 | |
| 세부기술 또는 산업 기술 | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

라. 국내연구 인프라 수준

| 기술분야 | 인프라 항목 | 선진국 대비 인프라 수준 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 부족 | 다소부족 | 동등 | 우월 | 보다우월 |
| 장대터널 화재 안전 | 전문~인력 보유정도 | | 0 | | | |
| | 인프라 구축정도 | | 0 | | | |
| 화재 감지 및 소방방재 | 전문~인력 보유정도 | | 0 | | | |
| | 인프라 구축정도 | | 0 | | | |

마. 국내 기술개발 수준

| 세부기술 내용 | 국외 현황<br>(주요선진국명) | 국내 개발 현황 | 수준<br>(국외대비) |
|---|---|---|---|
| 장대터널 화재 안전 | Politecnico di Milano<br>(영국, 이탈리아 등 유럽) | 한국철도기술연구원 | 70% |
| 화재 감지 및<br>소방방재 | Politecnico di Milano<br>(영국, 이탈리아 등 유럽) | (주)우당기술산업 | 70% |

## 2절. 국외 기술 및 산업 동향

- 화상처리기술을 갖춘 연기 및 화재탐지시스템은 1994년 영국회사들에 의해 처음으로 개발되었으며 현재 상용화 수준에 도달한 것으로 판단됨. 훨씬 전부터 이용되었던 독일의 다른 시스템들은 특수필터가 있는 적외선 카메라들을 이용함. 이들 시스템들은 야외의 개방된 지형에서의 감시에는 그 효용성을 입증하였으나, 움직이는 열차와 사람, 변하는 불빛과 반사광들 등의 상이한 교란 요소를 갖는 터널 내에서의 적용에는 실패하였음.
- 비디오 화상처리는 연기와 화염의 탐지를 위한 터널 내의 적용에서 그 기술적 효율성을 증명하였음. 비디오 화상처리기술은 교통흐름을 살피기 위한 터널 내의 CCTV 시스템에 기반하고 있으며 비디오 신호는 그래버(Grabber)에 의해 포착되고 수치화되며 이후에는 화염과 연기에 대한 알고리즘에 의해 평가됨. 화상처리결과는 사전경보 혹은 경보로 화재경보시스템에 보내져 사용될 수 있도록 만들어지며 모니터 위의 특정 카메라가 자동 작동할 수 있도록 제어신호가 CCTV로 보내짐.
- 화상처리시스템은 시각성이 주는 중요한 한계들로 인해 화재경보시스템 전체를 대체할 수는 없을 것으로 판단됨. CCTV 카메라에는 보이지 않는 숨겨진 화재 혹은 부족한 조명, 먼지, 불투명함과 안개 등으로 인한 CCTV 카메라의 불확실한 시계로 인하여 성능은 한계를 가질 수밖에 없음. 아직까지 국제적인 표준이 없기 때문에 현재로서는 화상처리에만 의존하는 화재경보시스템을 위한 승인의 인증과 획득은 불가능한 상태임.
- 광섬유의 브릴루앙 산란 현상을 이용하는 센서는 세계적으로도 상용화된 수준으로 개발된 나라는 스위스의 Smartech사와 일본의 NTT, 히다찌 전선에서 제품화 하였으며, 이를 이용한 시범 적용이 이루어지고 있음. 또한 많은 대학과 연구소에서 이를 이용한 적용성에 대한 연구를 진행하고 있다. 현재 광섬유 센서 시장의 규모는 연간 약 86억 달러로 예측(Frost and Sullivan 자료인 Sensors Market and Sourcebook (1995년 판))됨. 본 연구가 성공적으로 완료될 경우 국내 시장 뿐만 아니라 해외의 광섬유 센서 시장의 한 부분을 선점할 수 있을 것으로 기대됨.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 1절. 개발할 시스템의 원리 및 구성

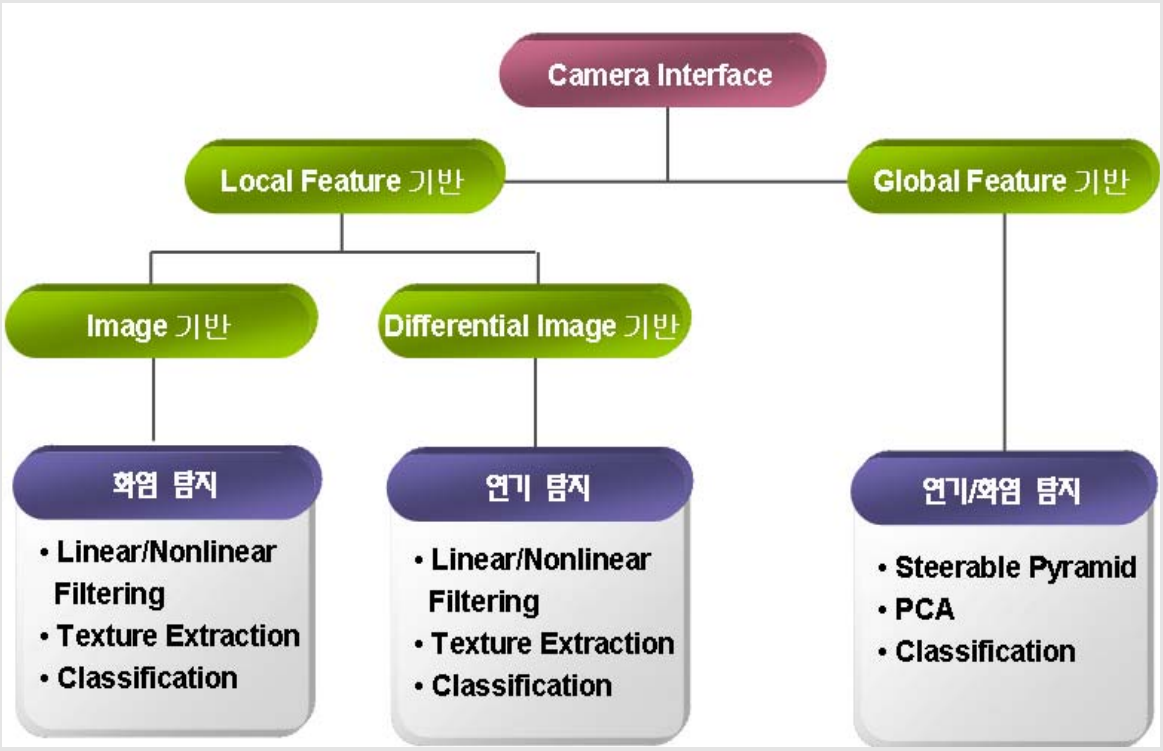
1. 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

■ 본 연구에서 개발하고자 하는 터널 내 화염 및 연기 고속 탐지 시스템은 “환경 변화에 강인한 Global/Local feature 기반 Robust pattern recognition 기법의 개발”을 통해 터널 내의 차량, 인간의 이동, 차량 배기 가스나 터널 내 조명 등 다양한 잡음이나 조명등의 변화에 강인하게 터널 내의 화염 및 연기 화재의 고속 탐지 결과를 제공한다. 이를 위하여 본 연구에서는 카메라 영상으로부터 입력되는 다양한 패턴 영상을 인식하는 컴퓨터 비전 기술을 이용한다. [그림 3-1]은 시스템에 대한 전체 개략도를 나타낸다.




[그림 3.1] 터널 내 화염 및 연기 고속 탐지 시스템에 대한 개략도

■ 환경 변화에 강인한 Global/Local feature 기반 Robust pattern recognition 기법에 대한 알고리즘의 전체 개략도는 [그림 3-2]와 같다.

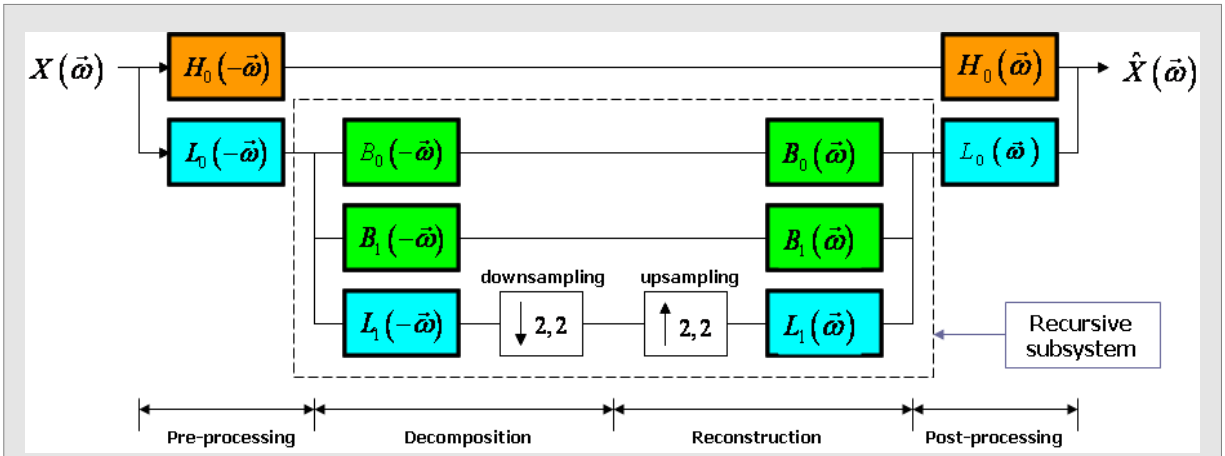



[그림 3-2] 알고리즘에 대한 전체 개략도

각각의 블록별로 그 기능을 설명하면 다음과 같다.

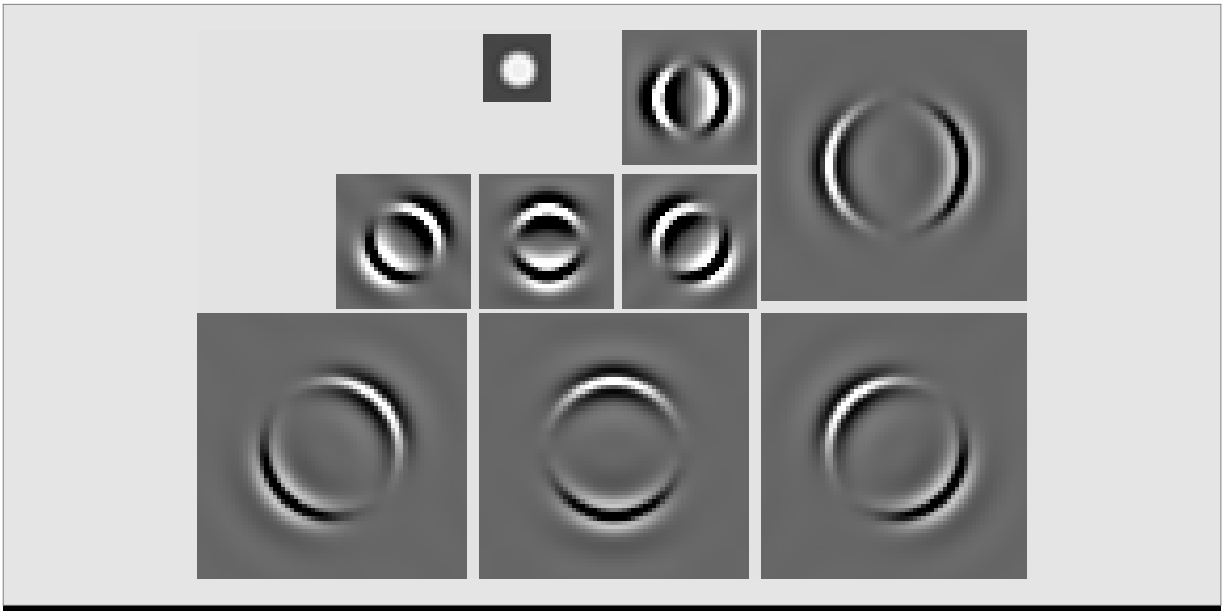
① Steerable Pyramid를 이용한 Global feature 추출 기법 연구

■ Global Feature 기반의 알고리즘은 영상 내에 존재하는 화염이나 연기 성분을 효과적으로 검출하기 위하여 Steerable Pyramid 기법을 도입하였다. Global Feature 기반의 알고리즘은 영상을 다양한 해상도와 다양한 방향성분으로 분리하는 기법인 Steerable Pyramid 알고리즘 [그림 3-3]을 이용하여 얻어진 영상을 PCA기법으로 압축하여 정상상황과 화염 및 연기 상황을 비교하여 검출을 하는 방법이다.

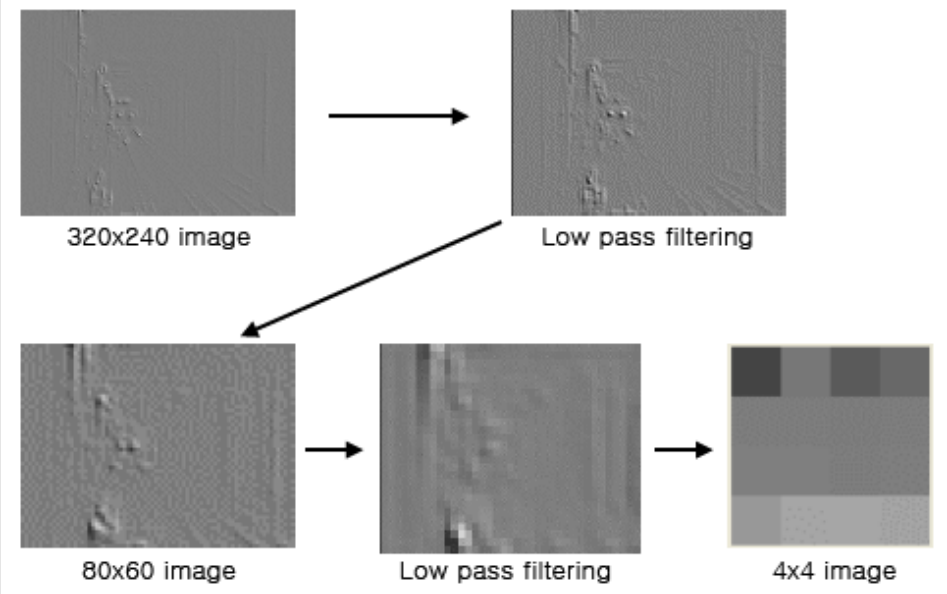



[그림 3-3] steerable pyramid 알고리즘

■ [그림 3-4]는 원판 모양의 원영상에 대해서 2가지의 크기의 4방향을 갖는 steerable pyramid를 추출한 예시를 보여준다. 실제 터널 영상에 대해서 4가지의 크기의 6방향을 갖는 Steerable Pyramid 영상을 추출하고 이 영상을 down sampling하여 24개의 영상을 4X4 해상도의 영상으로 변환한다. [그림 3-5]는 24개의 영상을 4X4 해상도의 영상으로 변화 시 총 384바이트의 정보로 표현함으로써 영상 해상도의 감축 효과와 영상 내의 잡음이나 조명의 변화에 거의 무관한 영상을 얻을 수 있는 장점을 가지게 된다.



[그림 3-4] steerable pyramid 사용 예시




[그림 3-5] steerable pyramid 영상을 down sampling 하는 과정

Steerable Pyramid 추출 과정에서 영상 데이터 정보의 중복성이 존재하게 되면 이를 효과적 으로 제거하기 위하여 PCA 기법을 도입하였다.

② PCA(Principal Component Analysis) 기법을 이용한 최적 영상 데이터 압축 기법 연구

■ Principal Component Analysis(PCA)는 영상의 주요 성분만 추출함으로써 영상 데이터를 압축하는 기법으로 고유치, 고유벡터를 추출하여 고유치가 큰 순서대로 영상을 나열하며 이렇게 나열된 영상들을 정상 상황과 비교하여 화재를 검출하는 기법이다.

③ Texture 추출 기법을 이용한 연기 및 화염의 고속 탐지 기법 개발

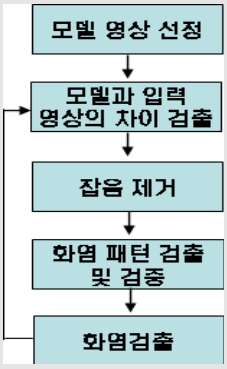
■ Global Feature 기반 알고리즘의 경우 초기 단계 화염 검출이 어려운 문제점을 가지고 있기 때문에 이에 대한 새로운 알고리즘이 필요하다. 이 문제점을 보완하기 위한 Local Feature 기반의 알고리즘은 초기 단계의 화재에서 위치 검출 및 경보가 가능하다는 장점을 가지고 있다. Local Feature 기반의 알고리즘의 화염 검출 방법은 기존의 정상 상황의 컬러 영상과 현재프레임 영상간의 차이를 이용하여 검출한다. 두 컬러영상에 대하여 특정 값 이상의 값만으로 표현된 이미지를 추출 후 두 영상간의 차이를 구한 후 노이즈를 제거한다. 그리고 영상 내 화재가 검출된 영역정보에 대해 처리를 하여 위치를 얻을 수 있다. [그림 3-6]은 실험에 사용된 모델 영상과 Local

Feature 기반의 알고리즘의 화염 검출에 대한 개략도를 보여준다.

■ Local Feature 기반의 알고리즘의 연기 검출 시 전 프레임과의 차이 영상으로 얻어진 이미지에 대한 모멘트 값의 변화를 이용한 검출 방법이다. 차영상에 대하여 NxN 마스크 크기에 대한 모멘트를 구하고 이에 대해 노말라이즈시킨 영상은 모멘트 의 차수에 의해 다르게 보여 진다. 이 알고리즘에서 사용한 texture 검출 기법은 영상이나 영역의 히스토그램에 대한 통계적 모멘트로 영상의 질감을 서술함으로 연기의 질감 검출 시 최적의 효과를 얻을 수 있었다.

■ 1차년도의 결과로 Global Feature 기반 알고리즘의 경우 초기 단계 화염 검출이 어려운 문제점을 가지고 있기 때문에 이 문제점을 보완하기 위하여 Local Feature 기반의 화염/연기 탐지 알고리즘을 개발하고 시작품을 구성하였다. Local Feature 기반의 알고리즘의 경우 화염 검출 방법은 기존의 정상 상황의 컬러 영상과 현재프레임 영상간의 차이를 이용하여 검출한다. 두 컬러영상에 대하여 특정 값 이상의 값만으로 표현된 이미지를 추출 후 두 영상간의 차이를 구한 후 노이즈를 제거한다. 그리고 영상내 화재가 검출된 영역정보에 대해 처리를 하여 위치를 얻을 수 있다. [그림 3-6]은 실험에 사용된 모델 영상과 Local Feature 기반의 알고리즘의 화염 검출에 대한 개략도를 보여준다.



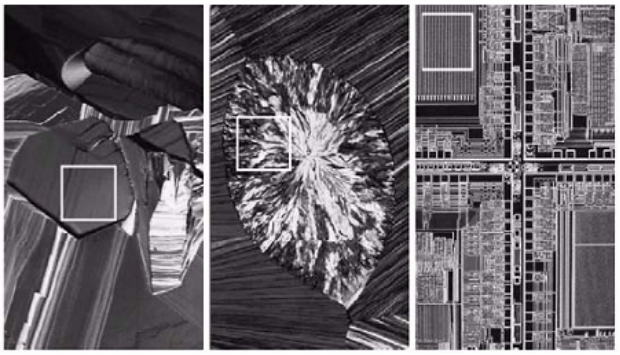




**[그림 3-6] 실험에 사용된 모델 영상(좌)과 Local Feature 기반의 알고리즘의 화염 검출에 대한 개략도(우)**

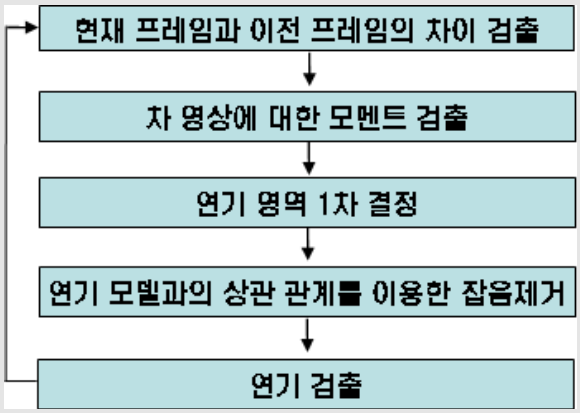
■ Local Feature 기반의 연기 검출 알고리즘은 전 프레임과의 차이 영상으로 얻어진 이미지에 대한 모멘트 값의 변화를 이용한 검출 방법이다. 차영상에 대하여 NxN 마스크 크기에 대한 모멘트를 구하고 이에 대해 정규화시킨 영상은 모멘트의 차수에 의해 다르게 보여 진다. 이 알고리즘에서 사용한 texture 검출 기법은 영상이나 영역의 히스토그램에 대한 통계적 모멘트로 영상의 질감을 서술함으로 연기의 질감 검출 시 최적의 효과를 얻을 수 있었다. [그림 3-7]은 부드러움, 거침, 규칙적임과 같은 특성을

계측한 예시를 보여주며 [그림 3-8]은 Local Feature 기반의 알고리즘의 연기 검출에 대한 개략도를 보여준다. 또한 [그림 3-9]는 화재 탐지를 위해 만들어진 시작품으로 GUI기반의 화재 검출 프로그램 테스트 예를 보여준다. 이 프로그램을 통해 다양한 터널 환경에서 정상 상태와 연기 화재 상태 및 화염 영상에 대한 고속 검출 기능 테스트를 하였다.

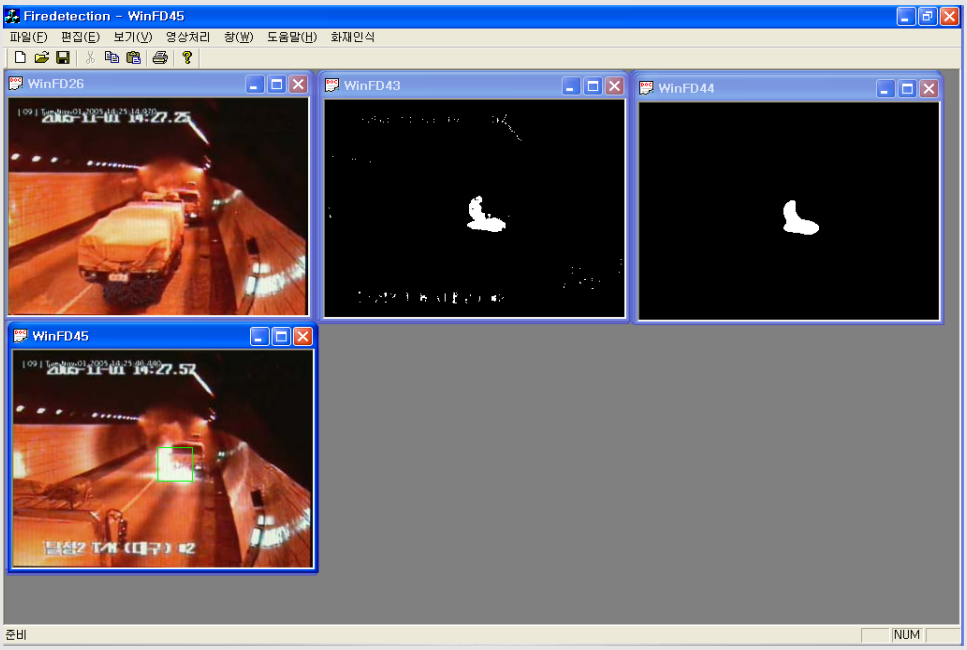
| Texture | Mean | Standard deviation | $R$ (normalized) | Third moment | Uniformity | Entropy |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Smooth | 82.64 | 11.79 | 0.002 | −0.105 | 0.026 | 5.434 |
| Coarse | 143.56 | 74.63 | 0.079 | −0.151 | 0.005 | 7.783 |
| Regular | 99.72 | 33.73 | 0.017 | 0.750 | 0.013 | 6.674 |



[그림 3-7] 질감 서술에 대한 예




[그림 3-8] Local Feature 기반의 알고리즘의 연기 검출에 대한 개략도




[그림 3-9] GUI기반의 화재 검출 프로그램 테스트 예

하지만 2차년도의 목표인 모의 화재 실험 영상획득 및 적용성 평가를 위하여 실시간으로 영상을 받아 처리하여 문제점을 파악하고 성능을 개선시키기 위한 실시간 시스템을 구현하였다. 또한 기존의 테스트 영상(달성 제2터널 화재)을 테스트한 결과를 통해 실시간으로 동작하는 것을 확인하였다. [그림 3-10]은 실시간 테스트 결과를 보여주고 있다.




[그림 3-10] 실시간 테스트 결과영상
(왼쪽영상: 입력 영상, 오른쪽 영상: 알고리즘 결과 영상)

## 2. 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

### 가. 분포형 광섬유센서의 기술 동향 및 연구배경

■ 분포형 광섬유 센서는 광섬유의 모든 위치에서 측정을 수행할 수 있으며 광섬유 길이 방향에 대한 위치의 함수로 측정 값을 얻을 수 있기 때문에 측정대상 전체에 대한 물리량 분포를 확인할 수 있다. 분포형 광섬유 센서의 측정 길이는 수 km에 이르며 하나의 센서를 이용하여 규모가 큰 구조물의 거동을 감시할 수 있기 때문에 지능형 구조물에 적합한 특성을 가지고 있다.

■ 분포형 광섬유 센서 시스템을 형성하기 위해서는 다음의 세 가지 조건을 고려해야 한다. 먼저 측정하고자 하는 물리량이 전파 광의 경로에 영향을 줄 수 있도록 광섬유를 설계, 제작해야 된다. 두 번째로 측정 물리량에 의해 광섬유에서 발생하는 투과광이나 산란광에서의 변화를 감지할 수 있어야 한다.
세 번째는 측정량의 위치를 알아내기 위해 감지된 투과 혹은 산란광을 거리의 정보로 변환할 수 있어야 한다.

■ 광섬유에서는 일반적으로 탄성 산란인 레일리 산란과 비탄성 산란인 브릴루인, 라만 산란 등이 발생하며 이를 이용하여 변형률, 온도, 화학 성분 등을 측정할 수 있다. 특히 분포형 광섬유 온도센서는 터널을 비롯한 지능형 구조물 적용에 관련된 연구가 많이 진행되고 있으며 앞으로의 활용에 대한 많은 잠재성을 지니고 있다.

#### (1) 분포형 광섬유 센서의 기본 개념

■ 분포형 광섬유 센서는 연결된 부분이 없는 일정하게 연속된 광섬유에 의해서 구성된다. 광섬유를 따라 빛이 투과 혹은 산란 될 때 발생하는 시간 지연을 이용하여 진행광에 영향을 주는 측정량의 위치를 결정하게 된다.

■ 광섬유 내에서 진행하는 빛의 시간 지연은 진행 방향의 반대쪽에서 신호를 관찰할 때 가장 크게 나타난다. 이를 이용한 가장 간단한 예가 OTDR(optical time-domain reflectometer)이다. OTDR에서는 펄스광이 광섬유의 한쪽 끝으로 입사 되어 광섬유의 같은 쪽으로 돌아오는 후방 산란을 이용한다. 관찰되는 신호가 후방산란을 일으키는 위치 z는 신호가 도달하는 시간 2t에 대해 다음의 식으로 간단하게 계산된다.

$$Z = t V_g \qquad (1)$$

위의 식에서 Vg는 광섬유 내에서 진행하는 빛의 그룹 속도이다. OTDR 기법은 광섬유의 한쪽에서 입사광과 출력광을 다루기 때문에 센서 시스템의 구성이 간단해지며 센서 연결부가 단순해진다.

후방산란을 이용하는 OTDR은 그 산란광의 크기가 매우 작다. 하지만 실질적인 센서 구성에서는 일정한 출력을 내보내는 프로브 광원과 펄스 출력을 내보내는 펌프 광원을 이용하여 보다 큰 측정 신호를 얻을 수 있다. 이러한 구성에서는 두 진행광이 교차할 때 비선형 상호 작용을 발생시킨다. 광 검출기에서 확인되는 프로브 광원의 신호 변화를 이용하여 광섬유의 길이방향에 대한 위치 정보를 알 수 있게 된다.

이러한 센서 시스템과 같이 전방으로 진행하는 빛의 신호만을 이용하여 위치의 정보를 결정하는 경우 진행광이 최소 두개의 모드를 갖는 광섬유를 이용해야 한다. 각 모드는 서로 다른 그룹 속도로 진행한다. 그림 3에서와 같이 측정하고자 하는 물리량이 광섬유에 전달되면 모드 간에 에너지 전환이 일어나게 되며 물리량이 전달된 위치 이후의 광섬유에서는 이전과는 다른 모드의 빛이 진행하게 된다. 광 검출기에서는 물리량 전달 위치 이후의 모드 간의 진행 속도 차에 의해 발생하는 진행 지연의 작은 차이를 감지할 수 있어야 한다. 이러한 변화량은 매우 작기 때문에 일반적으로 간섭계 방법을 이용한다.

(2) 탄성 레일리 산란을 이용한 일반적인 OTDR 기법

- OTDR은 1976년 처음 보고된 이후 현재 광섬유 시험에 많이 사용되고 있는 기법이다.

- OTDR의 주요 응용 대상은 광섬유 통신망에서의 결함을 찾거나 진행광의 감쇄를 감시하는 작업이다. OTDR은 앞에서 언급한 바와 같이 펄스 광원으로부터 광섬유로 입사된 빛의 후방산란을 이용한다. 광섬유를 진행하는 빛은 광섬유 코어의 굴절률 미세한 변동으로 인해 레일리 산란을 일으킨다. 또한 광섬유의 불연속 지점, 연결부, 끊어진 곳 등에서 빛의 반사가 일어난다. 그림 1과 같은 OTDR의 구성에서 후방산란광의 출력 P(z)는 광섬유에서 산란이 일어난 지점의 위치 z에 대해서 식(2)와 같이 기술된다.

$$P(z) = \frac{1}{2} S(z) \alpha_s(z) V_g \exp\left[ -\int_0^z \left\{ \alpha_f(z) + \alpha_b(z) \right\} dz \right] \qquad (2)$$

위의 식에서 S(z)는 산란광 중 후방산란되는 비율을 의미하며 αs(z)는 광섬유의

감쇄계수이다.

Vg는 빛의 그룹 속도이며 αt와 αb는 각각 광섬유의 전후방 방향으로의 감쇄 계수로 일반적으로 같은 값을 갖는다. (αf = αb = α)앞에서도 언급한 바와 같이 위치 z는 신호의 도달 시간 2t에 대해서 식(1)과 같은 관계를 갖는다.
감쇄 계수와 후방산란 비율이 일정할 때 감지되는 후방산란광의 출력은 다음과 같이 시간에 대한 지수함수 형태로 나타난다.

$$P(t) = A_1 exp(-B_1 t) \qquad (3)$$

광섬유의 상태가 일정한 경우 A1과 B1은 상수 값이다.
OTDR은 산란계수 αs와 후방 산란 비율 S가 일정할 때 감쇄계수 α의 변화를 감지할 수 있다. 이러한 조건 하에서 감지되는 후방산란광의 출력은 식(4)와 같다.

$$P(z) = A_2 exp\left[-\int_0^z \alpha(\acute{z})\, d\acute{z}\right] \qquad (4)$$

위의 식에서 A2는 상수이다.

감지신호의 변화율은 감쇄계수에 비례한다. 또는 α와 S가 일정할 때 다음 식과 같이 αs의 변화를 확인할 수도 있다.

$$P(z) = A_3 \alpha_s(z) exp(-B_3 z) \qquad (5)$$

엄밀하게는 α값이 일반적으로 αs에 대해 변화하는데 식(4)의 지수함수 내부의 적분 값이 작다면 그 오차는 줄어들게 된다.
수 cm 정도의 점진적인 광섬유 굽힘에 의해서는 광 감쇄가 적게 나타나지만 매우 작은 영역에서의 굽힘이나 꺾임과 같은 미소굽힘에서는 단일모드, 다중모드 광섬유 모두에서 뚜렷한 광 손실이 감지된다.
단일모드 광섬유에서의 미소굽힘 손실은 주모드에서 만의 에너지 손실을 계산하면 되므로 이론적인 해석이 가능하다. 따라서 간단히 단일모드 광섬유의 광 감쇄량을 측정하게 되면 굽힘 변형 형상을 정량적으로 알 수 있게 된다. 반면 다중모드 광섬유는 그 굽힘 손실 거동을 알기가 어렵다.

따라서 굽힘 손실형 광섬유 센서를 이용한 OTDR 분포형 광섬유 센서 시스템을 구성하기 위해서는  측정량이 광섬유의 굽힘 손실을 발생시킬 수 있도록 별도의 장치가 필요하게 된다. 광섬유에 온도에 민감한 굽힘을 가하기 위해서  광섬유의 바깥쪽에 온도에 따라 쉽게 팽창이 되는 고분자재료 섬유를 스프링 형태로 감겨 놓으면 가능하다. 이러한 구성의 케이블은 튜브로 감싸져 있어서 외부로부터 광섬유 케이블의 수직 방향으로 압력이 가해졌을 때 고분자 섬유로 인해 내부 광섬유에 주기적인 굽힘이 발생하게 된다. 다중모드 광섬유에서는 굽힘 주기가 광섬유의 최고차 모드에 의한 지그재그 경로의 피치와 일치할 때 상당히 큰 굽힘 손실을 일으킨다. 그러나 정성적인 정도의 계측치만을 제공하고 정량적인 정확한 온도값을 주는 것은 불가능하기 때문에 정확한 온도를 알아야 분석이 가능한 고급의 시스템에는 적용이 불가능하다.

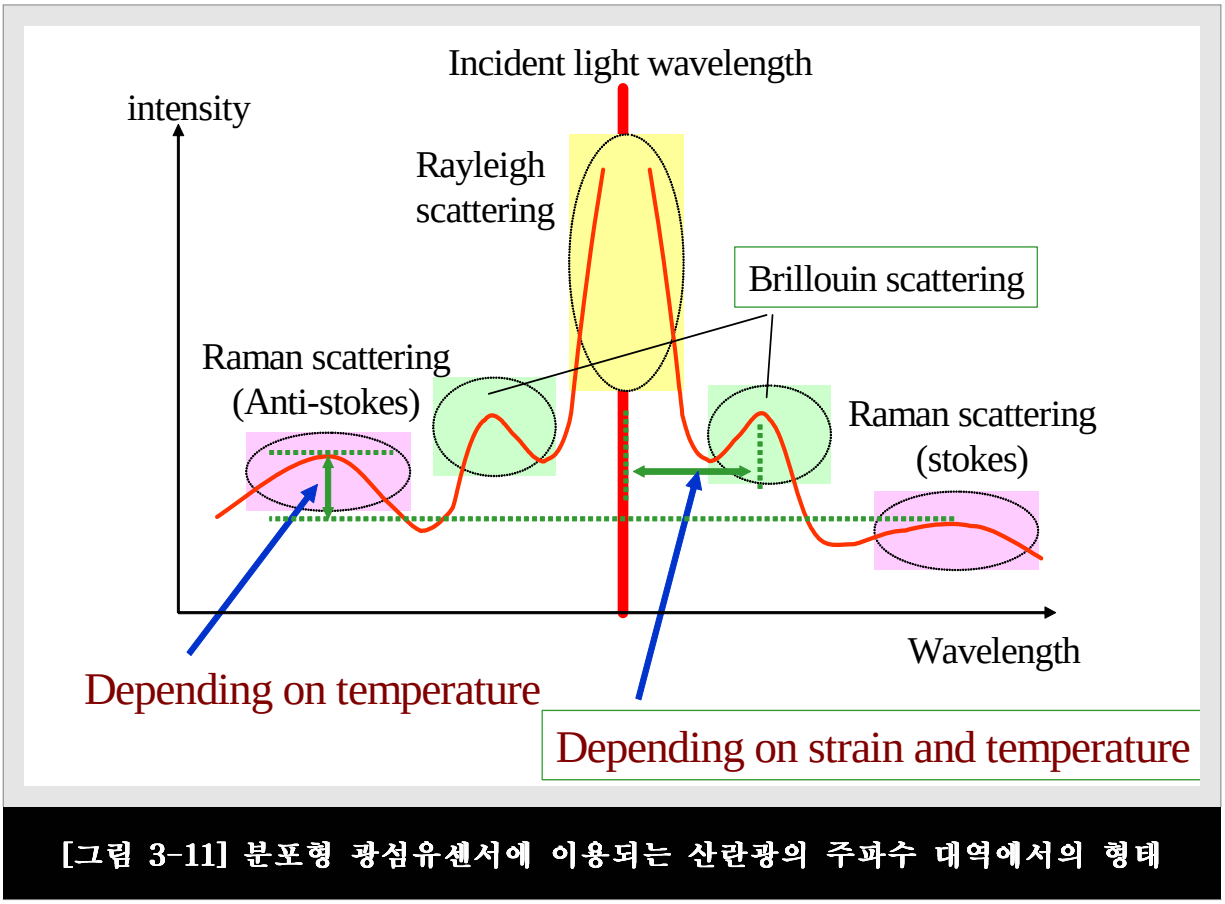
이러한 굽힘에 민감한 광섬유 케이블은 온도센서가 아닌 정성적인 측정을 수행하는 분포형 광섬유 센서로 활용할 수 있는데, 예를 들어 이러한 케이블을 바닥에 매설하여 발자국의 압력을 감지, 안전 지역에 대한 감시에 이용할 수 있다.
구체적 예로 위험한 설비나 공작 기계와 같은 지역에 사람이 출입할 때 전원을 차단하거나 제한구역에 대한 침입자를 감시하는데 적용이 가능하다. 많은 측정 시스템에서는 단순히 투과되는 광을 이용하기도 하지만 OTDR을 이용하면 거리에 대한 정보를 알 수 있기 때문에 훨씬 유용한 측정을 할 수 있게 된다.
굽힘 민감형 광섬유 센서를 이용하는 분포형 광섬유 센서 시스템은 발자국 압력 감시 뿐만 아니라 토목 건축물의 안전성을 감시하는 센서로써 사용할 수도 있다. 굽힘에 민감한 광섬유 케이블과 같이 신뢰도가 높은 형태로 만들어지게 되면 광섬유 센서 시스템은 지능형 구조물의 측정부로써 변형률을 측정할 수 있다.

본 연구에서 주된 관심사인 온도를 측정하는 분포형 광섬유 센서는 Hartog에 의해서 1982년 처음으로 시도되었다.
이 광섬유 센서는 액체로 채워진 섬유를 이용하는데 이는 빛을 전달하는 코어 대신 높은 굴절률과 낮은 흡수 특성을 갖는 액체를 실리카 유리 튜브에 채워서 만들어졌다.  온도 증가에 따른 액체의 분자 운동은 밀도를 변동시키며 액체의 산란계수 αs에 영향을 준다. 따라서 산란광과 온도의 관계를 만들어낼 수 있다.

일반 광섬유에서는 밀도변동이 제작될 때 고정되므로 어느 정도의 온도 증가에서는 변하지 않는다. 액체로 채워진 섬유에서의 산란 특성은 OTDR 신호에 의해서 관찰된다. 이러한 광섬유 센서는 처음으로 온도의 분포를 측정해 낼 수 있었지만 액체 섬유를 이용하기 때문에 폭넓은 분야에 대한 적용에 있어서는 실용적이지 못한 단점을 가지고 있다. 그 후 Nd3+, Ho3+ 이온이 첨가된 광섬유를 이용한 온도 측정 연구가 수행되어 이러한 단점을 어느 정도 극복할 수 있게 되었으나 아직도 어느 정도의 한계를 가지고 있기 때문에 널리 이용되고 있지 못하다.

(3) 비탄성 브릴루앙 산란과 라만 산란

앞에서 언급한 후방산란을 이용하는 기법은 탄성 산란을 이용한 것이다. 탄성산란에서는 산란광의 파장이 입사광의 파장과 동일하게 나타난다. 일반 OTDR에서의 레일리 산란은 탄성산란의 한 예이다. 반면 몇 가지 물리적인 과정에 의해 산란광의 파장이 변화하는 경우가 있다. 양자 이론에 의하면 산란 광자(photon)가 생성될 때 입사 광자에 의해 에너지의 손실이나 증가가 발생하게 된다. 이로 인한 산란광에서의 에너지 변화로 비탄성 특성이 나타나게 된다. 비탄성 과정의 주파수 특성은 [그림 3-11]과 같다. 이 그림에서의 비탄성 특성을 이용하여 분포형 광섬유를 구성할 수 있다.




**[그림 3-11] 분포형 광섬유센서에 이용되는 산란광의 주파수 대역에서의 형태**

특히 브릴루앙 산란은 고전적인 모델에 의하면 음파로 굴절률의 변동이 발생하여 빛이 회절하는 현상으로 설명된다. 광섬유를 따라 전파되는 빛에서는 음파 이동의 결과로써의 도플러 편이(Doppler shift)가 발생하게 된다. 도플러 편이는 온도와 압력의 함수인 음파 속도의 특성이다. 더 정확하게는 브릴루앙 산란은 양자 모델에 의해 산란 광자의 에너지 변화를 유발하면서 음파 포논(phonon)으로부터 입사 광자가 산란되는 현상으로 설명된다. 이러한 광자에서의 에너지 변화는 도플러 편이에 상응하는 주파수 변화를 의미한다. 브릴루앙 산란에서의 주파수 이동은 12GHz 정도로 라만 산란에 비해 매우 작기 때문에

일반적인 광학 필터로는 감지하기가 어렵다. 하지만 브릴루잉 산란의 광강도는 라만 산란에 비해 최소한 수배는 높기 때문에 센서로써의 이용에 충분한 가능성을 가지고 있다.

브릴루앙 산란의 감지에는 원래의 레이저 광원으로부터 주파수 이동되는 빛을 산란 신호와 섞는 헤테로다인(heterodyne) 기법이 이용된다.
브릴루앙 산란의 센서로써의 유리한 점은 온도나 변형률 변화와 같은 측정량에 대한 반응이 산란광의 주파수 변화로써 나타난다는 것이다. 광학 헤테로다인 기법에 의해 다루기 편한 전자적인 주파수로 변환된다. 브릴루앙 산란은 아직까지는 센서로써의 검증 단계의 연구만이 보고되었을 뿐 실제 사용할 수 있는 센서로는 개발되지 못했다. 하지만 최근 들어 온도와 변형률을 측정하는 센서로써 많은 연구 결과가 나오고 있으며 앞으로 주목 받는 센서가 될 것으로 보인다.

현재 브릴루앙 산란을 이용한 분포형 광섬유 센서는 레일리 산란을 이용한 OTDR 기법에 비해 복잡한 구성과 거리분해능에 대한 제한이 가장 큰 문제가 되고 있다. 브릴루앙 산란 분포형 광섬유 센서의 거리분해능은 수십m 정도로 규모가 큰 구조물에 사용하여 전체적인 거동을 감시하는 데에는 큰 무리가 없지만 국부적인 손상을 감지하기에는 어려움이 있다. 브릴루앙 산란은 주파수 변화가 작아서 일반적인 방법으로는 감지하기 어려운 반면 라만 산란은 주파수 변화가 상대적으로 크게 나타난다. 라만 산란은 광학 필터를 장착한 OTDR 장비를 이용하여 광섬유 통신망에 분포된 온도를 측정하는데 사용된다. 각각 파장 λa-s와 λs를 갖는 라만 산란광의 Stokes와 anti-Stokes의 광 강도 비인 R은 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.
$\Delta\upsilon$는 이동된 주파수의 값으로써 Stokes와 anti-Stokes의 파장은 중심 파장으로부터 같은 크기만큼 이동되어 있다.

$$R(T) = \left(\frac{\lambda_s}{\lambda_{a-s}}\right)^4 exp\left(-\frac{hc\Delta\upsilon}{KT}\right) \qquad (6)$$

식(6)에서 h는 Planck 상수이며 c는 진공에서의 광속, K는 Boltzmann 상수, T는 절대온도이다.
따라서 광 강도비인 R은 입사광이나 산란광의 강도, 입사조건, 광섬유의 형상과 재질에 상관없이 매질의 절대온도를 나타내게 된다. 라만 산란을 이용한 광섬유 센서는 산란광의 크기가 작은 단점을 가지고 있다.

일반적으로 anti-Stokes 라만 산란은 레일리 산란에 비해 20~30dB 정도 작게 나타난다. 라만 산란을 이용한 분포형 온도 측정은 Dakin에 의해 1985년 처음으로 수행되었는데

이러한 광섬유센서도 빛의 intensity 변화를 측정하기 때문에 신호의 drift가 장기간의 온도분포를 정밀하게 측정하는데는 문제가 있다.

광섬유에서의 산란광을 이용하는 분포형 광섬유 센서는 현재 급격히 발전하고 있는 분야이고 특히 브릴루앙 산란을 이용하는 BOTDA 센서는 광섬유 내에서의 펄스 펌핑 광과 CW 프로브 광과의 상호작용을 이용하여 광섬유에 가해지는 외부 물리량을 측정하는 장치이다. 펄스 펌핑 광과 CW 프로브 광의 주파수 차이가 광섬유의 고유 브릴루앙 천이 주파수와 근접하면, 유도 브릴루앙 산란이 발생하게 된다. 광섬유 브릴루앙 천이 주파수는 외부 물리량, 즉 변형률이나 온도에 따라 변하는 특성을 가지고 있다. 따라서 광섬유의 어느 특정 위치에 외부영향이 작용하면, 그 위치에서의 광섬유 유도 브릴루앙 산란은 다른 값을 가진다. 또한 펄스 펌핑 광으로써 펄스를 사용하기 때문에, 되돌아온 산란신호를 시간적으로 해석하여 정확한 온도와 광섬유의 변형 위치 정보를 알 수 있다.

(4) BOTDA의 원리와 구성

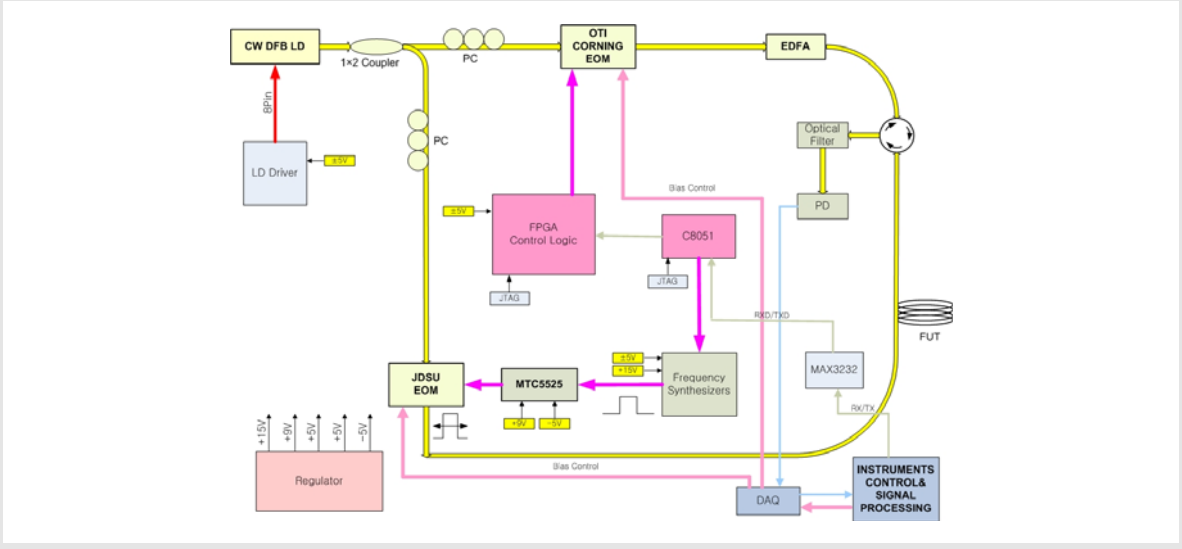
광섬유에서 브릴루앙 산란은 레이저 광이 광섬유에 전파하는 임의의 음파와 상호작용하여 입사광의 주파수와 다른 주파수로 산란하는 현상으로 이 주파수의 차를 브릴루앙 주파수 천이라고 하며, 이 주파수는 광섬유의 재료에 크게 의존할 뿐 아니라 광섬유에 인가되는 변형률(압력)과 주위온도에 따라서도 변화한다. 문제는 브릴루잉 산란된 빛에서는 온도에 기인한 주파수 천이와 압력에 기인한 주파수 천이를 구분할 수 없기 때문에, 이를 구분하여 필요한 데이터를 산출할 수 있는 방법이 필요하다. 이 문제를 해결하기 위해 브릴루잉 시간영역 반사계법(Brillouin time-domain reflectometry technique)을 사용하였다. 이 방법은 광섬유의 여러 부분들에서 반사된 빛의 펄스들이 검출기로 되돌아온 시간에 의해 구분되며, 브릴루잉 주파수 천이와 세기에 대한 독립적인측정으로, 이들 광섬유 길이 방향에 따른 압력과 온도 모두를 계산할 수 있다. 보통 광 통신용으로 사용되는 석영계 단일모드 광섬유(Single Mode Fier-28)에서는 입력광원의 파장이 1.32 ㎛ 일 때 인가되는 변형률이 없으면, 주파수 천이는 12.68 ㎓이며 변형률과 온도의 변화에 따른 주파수의 변화는 각각 5㎒/0.01%, 1㎒/1 ℃로 알려져 있다.

따라서 광섬유의 브릴루앙 산란에 의한 주파수의 변화를 측정하면 광섬유에 인가되는 변형률과 온도의 크기와 위치의 분포상태를 확인하는 것이 가능하다. 또한 브릴루앙 고유 주파수 천이값이 외부의 침입자가 광섬유를 건드려서 인장이 발생하면 변화하므로 시간영역에서 산란신호를 연속적으로 비교 검토하면 침입탐지도 가능하다.

광섬유 BOTDA 센서의 구성은 아래의 그림과 같이 설계하였다. 위에서 설명한 설계의 방향을 고려하여 광원을 단일광원으로 하여 광 주파수 안정화 문제를 제거하였다. 또한

광펄스의 펄스폭을 50nsec 이하로 하기 위하여 펄스 발생기와 EOM1을 두어 외부 변조에 의하여 펄스 광원을 발생시키도록 하였다. 센서의 요구사양인 탐지 감시 거리 25Km를 감당하기 위한 광원의 출력을 얻기 위한 CW 프로브 광원. 즉, 프로브 광원의 편광을 조절하기 위한 편광 조절기를 두었으며, 프로브 광원과 펄스 펌핑 광원의 Brillouin 천이 주파수 차이를 발생시키기 위하여 RF신호 발생기를 통하여 EOM2를 제어하면서 프로브 광의 주파수를 제어하도록 하였다. 따라서 약 25Km의 광섬유를 진행하는 프로브 광과 펄스 펌핑 광은 유도 Brillouin 광 에너지 천이 형상을 겪게 됨에 따라 광 검출기에서는 Brillouin 산란 신호를 광섬유 길이 전체에 걸쳐서 얻을 수 있게 된다. 광 검출기에서의 신호는 펄스 발생기 트리거 출력 신호에 의하여 A/D변환기에서 취득이 되며, 신호 처리 소프트웨어에서 설정된 횟수만큼 평균화 처리를 수행하게 된다.

본 연구에서 개발한 BOTDA 시스템의 구성은 [그림 3-12]와 같다. 시스템은 크게 펄스 광원부, CW 프로브 광원부, 그리고 Brillouin 산란신호 취득부로 구분할 수 있으며, 수집된 데이터를 처리하기 위한 컴퓨터로 구성된다.




[그림 3-12] Block Diagram of the BOTDA system

(5) 시스템 성능 향상

① 광펄스폭 향상

BOTDA 운영 프로그램의 펄스 제어 부분을 다양하게 조정하여, 펄스발생기가 BOTDA 운용에 필요한 적당한 RF 펄스신호를 만들어 광변조기에 입사시킴으로써, 펄스발생기의 펄스패턴과 동일한 광 펄스 패턴을 만들 수 있다. 2차 년도에 구현된 펄스발생기는 최소

1㎲ ~ 최대 1000㎲의 주기를 갖도록 설정하도록 수정했으며, 펄스폭은 10ns ~ 1000ns의 사이로 가변이 가능하도록 수정하였다.

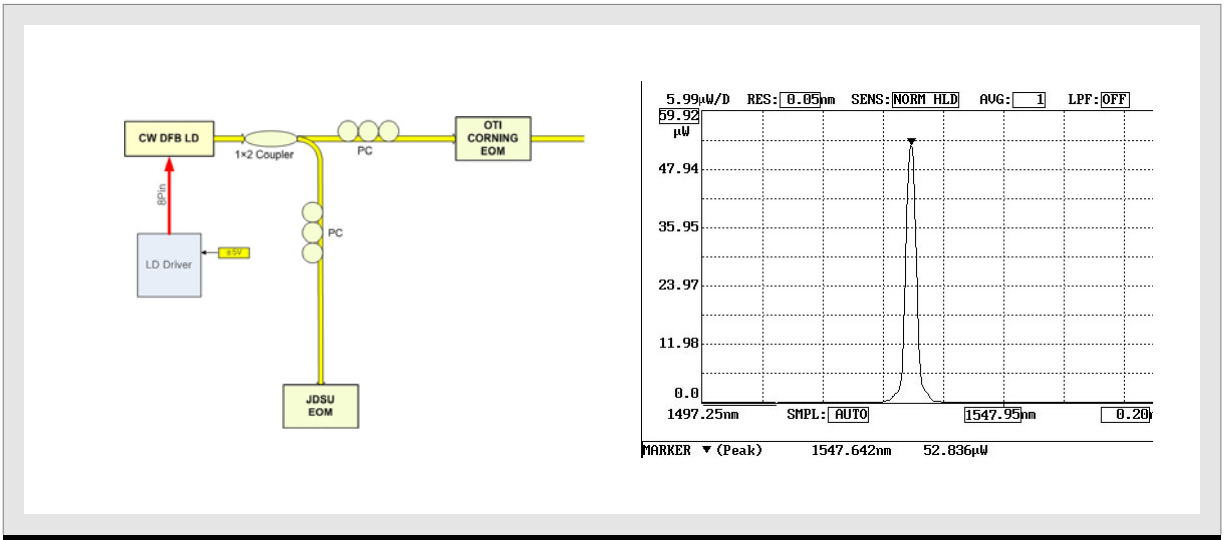
② 측정 가능한 최장 거리 측정

2차년도 계획의 최장 거리 측정(25Km)을 위한 성능 향상을 위해서, 25mW의 광출력을 가지는 고출력 DFB Laser Module로 광원을 교체하였으며, 고출력 EDFA로 교체하여 출력 부분을 강화하였다. BOTDA 시작품의 측정 거리 테스트는 측정 가능한 최장 거리 측정을 하기 위해 펌프단의 19Km 더미 스풀과 프로브단의 5Km 더미 스풀을 연결하여, 총 길이 24Km 정도의 길이의 광섬유를 사용여 브릴루잉 산란광 발생 및 검출 유무에 대한 실험을 진행하였다. 그리고 보다 정확한 데이터를 얻기 위한 테스트로 펌프단의 5Km 더미 스풀과 프로브단의 2Km 더미 스풀을 연결하여, 총 길이 7Km 정도의 길이의 광섬유를 사용한 실험과 펌프단의 1.5Km 더미 스풀과 프로브단의 500m 더미 스풀을 연결하여, 총 길이 2Km 정도의 길이의 광섬유를 사용한 실험으로 크게 나누어 실시하였다. 또한 측정 가능한 최장 거리 측정을 간단히 알아보기 위하여, 펌프단의 더미 스풀과 프로브 단의 더미 스풀의 광섬유가 서로 다른 이종 파이버를 접합하여, 이종 파이버 결합에 의해 발생된 브릴루잉 산란광을 별도의 온도 가열 테스트 또는 압력을 가하는 테스트 없이 간편하게 확인하는 실험도 진행하여 약 24㎞ 길이를 가지는 광섬유에서 브릴루잉 산란광을 확인하였다.

나. 개선된 시작품

① DFB 레이저 다이오드(Distributed feedback laser diode)

1차 년도에 사용된 광원은 광량이 1㎽ 광원을 사용하여 Probe단의 신호가 작아 신호의 변별력이 떨어졌으나, 2차년도 시작품에서는 광원의 광량이 25㎽(약 8dBm)를 가지는 고출력의 DFB 레이져 모듈로 교체하여 프로브단에서의 신호 변별력을 크게 향상 시켰다. DFF LD에서 나온 광원은 1X2 Coupler를 거쳐서 펌프단과 프로브 단으로 나누어 들어가게 된다. 이 신호들이 각 각의 EOM(Electro optic modulator)을 통해 들어온 펄스신호와 결합하여 프로브광과 펄스 펌핑광이 생성된다. [그림 3-13]은 레이저 다이오드의 출력 파형이다.




[그림 3-13] Laser diode signal

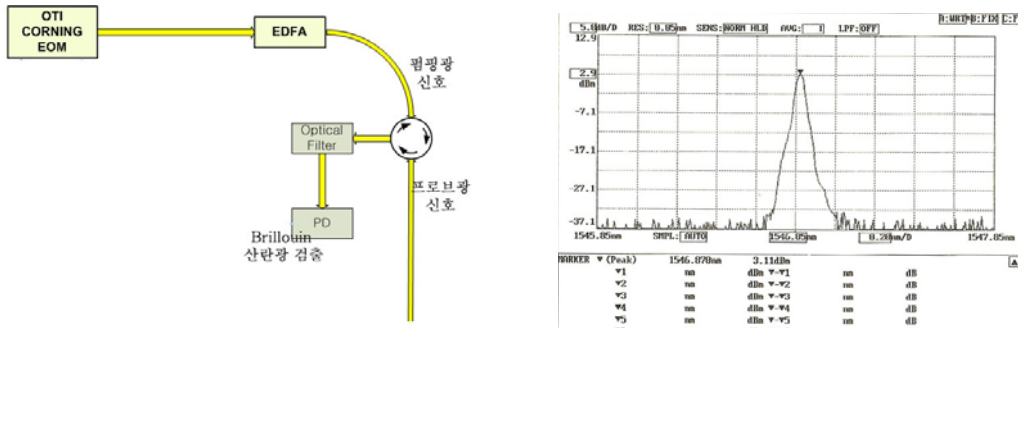
표 3.1 DFB Laser Module

| 파라메터 | 값 |
|---|---|
| Threshold Current | 11.1 mA |
| Operating current | 169 mA |
| LD Forward Voltage | 1.4 V |
| PD Current | 955 mA |
| Peak Wavelength | 1547.27 nm |
| Linewidth | 0.4 MHz |
| Fiber Output Power | 25 mW |

② EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)

광섬유는 손실 특성으로 인한 중계 거리 제한과 분산 특성으로 인한 전송 대역폭의 제한을 받는다. EDFA는 어븀이라는 특수한 물질을 광섬유에 도핑하고, 레이저로 펌핑하여 약한 광 신호를 직접 증폭하게 되는데, 1550nm대의 광이 erbium-doped fiber를 지나가면 흥분된 전자가 가지는 방출된 준위 에너지가 입사된 광으로 전달됨으로써 입력된 광을 증폭하게 되는데, 1차 년도에는 19dBm의 출력(power)을 가지는 EDFA를 사용하여 펌프단에서의 출력 (power)이 작아 Brillouin 신호를 검출하는데 어려움이 있었으나, 2차 년도에서는 편광 의존 손실이 향상되고, EDFA의 출력 파워가 33dBm을 가지는 하이 파워 앰프를 사용하여 Brillouin 신호가 크게 향상되었다. 또한 MPL 드라이버를 추가로 설치하여, EDFA의 안정적인 동작을 위한 일정한 전류와 일정한 파워 그리고 레이져 다이오드의 변조된 동작들을 안정적으로 동작하고, EDFA에 의한 증폭률을 제어하기 쉽도록

시스템을 구성하였다.



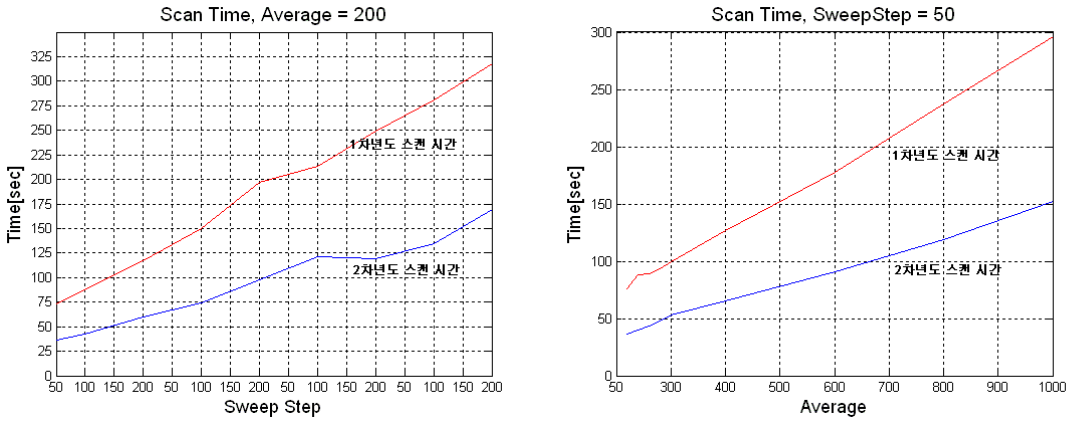

[그림 3-14] Amplified light signal by EDFA

표 3.2 Specifications of EDFA

| | |
|---|---|
| 최대출력 | 33 dBm |
| Noise Figure | 〈 6 dBm |
| 게인 평탄도 | ± 0.5 dB |

③ 1회 측정 시 소비된 시간

2차년도 시스템에서는 데이터 수집 시스템을 100MHz 대역폭 범위를 실시간으로 100MS/s 샘플링, 2.5GS/s 랜덤하게 인터리빙된 샘플링이 가능하도록 시스템을 향상 시켰으며, 데이터 수집 시, 채널당 메모리 용량을 32MB로 늘려서 1차 년도의 1회 측정 시에 소비되는 시간 목표치 200sec 보다 약 2배 정도 빠르게 스캐닝을 할 수 있게 되었다. 1차년도 스캔 측정 시간인 200sec 안에 더욱 많은 데이터를 보다 정확하고 빠르게 스캔할 수 있어서 데이터 수집 성능도 향상되었다.




[그림 3-15] Sweep Step과 Average 값에 따른 Scan Time 그래프

④ BOTDA 시작품

④-1 BOTDA H/W

1차 년도에서 실험한 장비에서 광학 필터를 추가하여 광섬유 스캔시 발생되는 레일리 산란광 및 필요 없는 대역의 노이즈를 제거하였고, 광원(Laser Diode)과 광원 드라이버 그리고 EDFA 파트의 성능이 더욱 향상된 부품을 사용하여 2차 년도의 시작품을 완성하였고, 다음 사진은 BOTDA를 구성하는 주요 부품이다. 시작품은 주요 대부분의 광부품이 장착이 되는 메인 PCB 보드와 광원 전용의 PCB 보드 그리고 각 구성부품에서 사용되는 전원을 분리해 주는 전원 분배부 PCB로 나누어져 있으며, 만능기판에서 실험되었던 구성부품을 BOTDA 시작품 전용으로 만든 PCB에 조립하였다. BOTDA 시스템 중 가장 중요한 부품 중에 하나인 EDFA는 주기판 아래에 커플로&써큘레이터 박스와 함께 위치된다. 시스템의 고유 노이즈 레벨을 최소화하기 위해 각 구성부품에서 사용되는 팬(fan) 전원을 따로 분리 하여 시작품을 완성하였다. 시작품의 크기는 가로 52㎝, 세로 50㎝, 높이 18㎝이다. BOTDA 시스템은 시작품 외에 시작품의 제어와 광섬유로부터 얻은 데이터를 처리하는 메인 PC와 함께 BOTDA 시스템을 구성하게 된다.



BOTDA 시작품




BOTDA 시작품 앞패널
전원스위치, Probe단자, Pump 단자 위치




BOTDA 시작품 뒷패널
- 전원, DAQ, PC 케이블 연결단자 위치



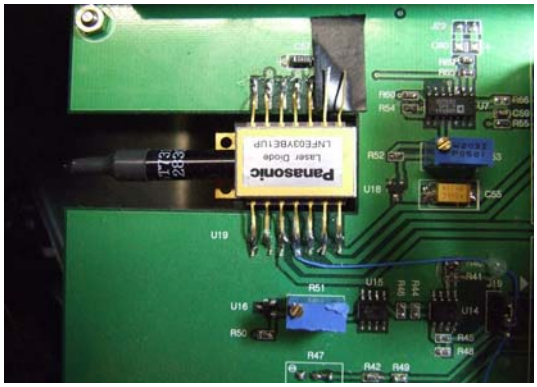
주 전원부(220V 공급)



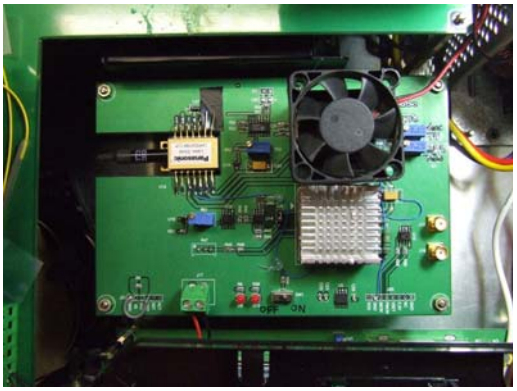
전원 분배부 - 광부품 및 전자 부품에 사용되는 전원 ±5V, +15V, +9V 공급



팬(fan) 전용 전원부(+5V, +12V)



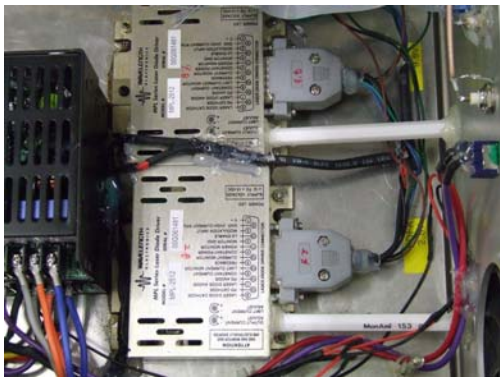
DFB LD Module - 1550nm 대역에서 25mW 출력을 갖는 Laser Diode



LD 드라이버 - LD의 안정적인 동작을 위해 온도 및 전류 제어하는 부분



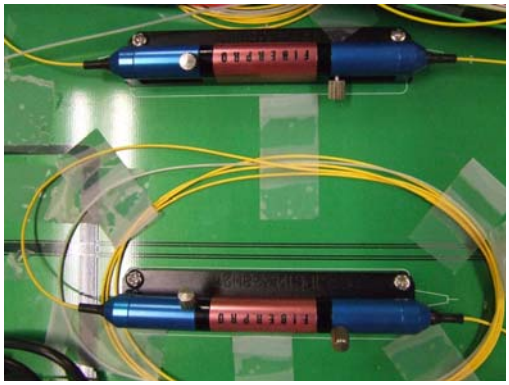
33dBm EDFA - 펌핑광 증폭 앰프



EDFA controller - EFDA 증폭율 조정



Coupler & Circulator Box - Pump 광원을 광섬유로 전송시켜 브릴루잉 신호를 수신단으로 전달시키는 소자와 Probe 신호를 PD로 신호를 보내주는 부품



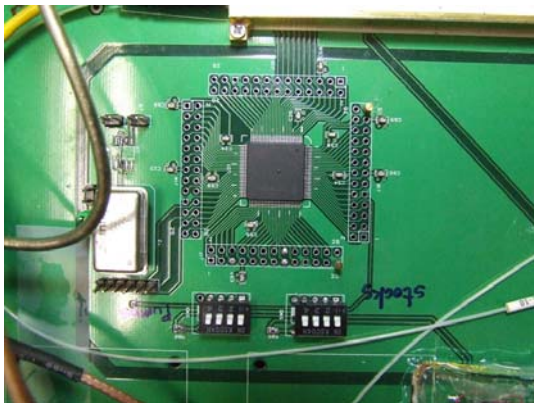
Polarization controller - 광원의 편광을 조절하여 펌프, 프로브의 바이어스를 조절하는 부품



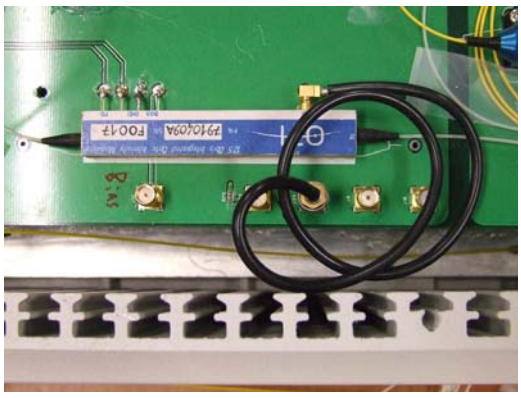
Synthesizer - 브릴루잉 검파 및 Probe 광원 발생하는 부품



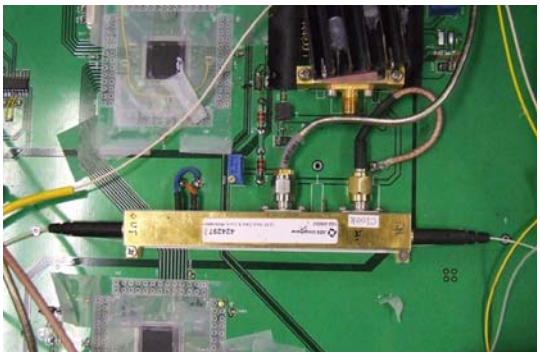

MTC5525 - 거리 분해가 가능하도록 펄스를 발생하는 부품



Pulse Generator - S/W를 통해 펄스를 생성할 수 있는 파트



EOM(Electro Optic Modulator) - 광신호에 전압 레벨을 인가하여 바이어스를 조절하는 부품



EOM(Electro Optic Modulator) - 광신호에 전압 레벨을 인가하여 바이어스를 조절하는 부품



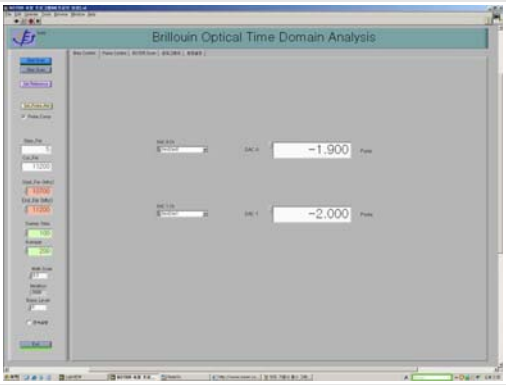
Photo Detector - Circulator를 통해 들어오는 브릴루잉 산란 신호 검출 부품



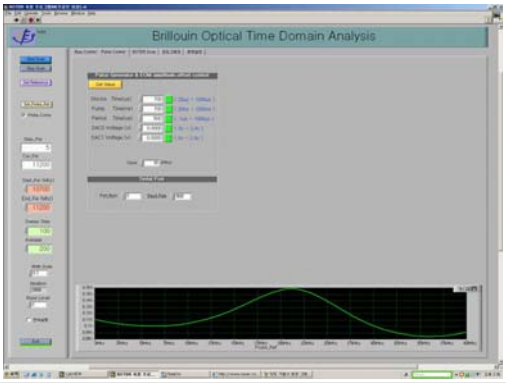

1550nm 대역의 BPF - 1530~1560nm 파장만 통과 시키는 밴드 패스 필터바이어스를 조절하는 부품

④-2 BOTDA S/W

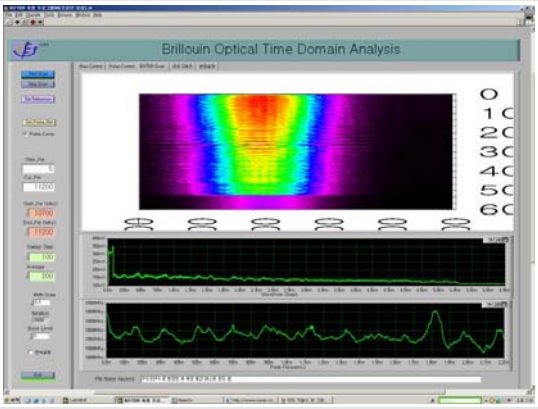
2차년도 BOTDA 시작품의 소프트웨어는 5부분으로 세분화하여 제작하였다. 첫 번째는 바이어스(펌프, 프로브) 조정화면, 두 번째는 펄스 생성 조정화면과 시스템 교유 특성값을 표시하는 화면, 세 번째는 포설된 광섬유로부터 얻은 데이터를 거리와 중심주파수 그리고 전압 레벨 값으로  표현한 3D그래프와 온도 변화를 알아 볼 수 있는 중심주파수, 웨이브폼 전용 그래프 화면, 네 번째는 포설된 광섬유 온도를 나타낸 그래프, 마지막은 시스템의 환경 값을 설정해주는 화면으로 구분하였다. 사용된 광섬유의 중심주파수에 따른 주파수 스캔 범위를 조정할 수 있으며, 온도 분석화면에서는 포설된 광섬유가 지정된 온도 이상으로 온도가 올라갈 경우 그 지점의 위치와 온도 값을 디지털 값으로 표시하도록 하였고, 포설된 광섬유로부터 얻은 데이터 값은 텍스트 파일로도 저장되도록 정하였다.



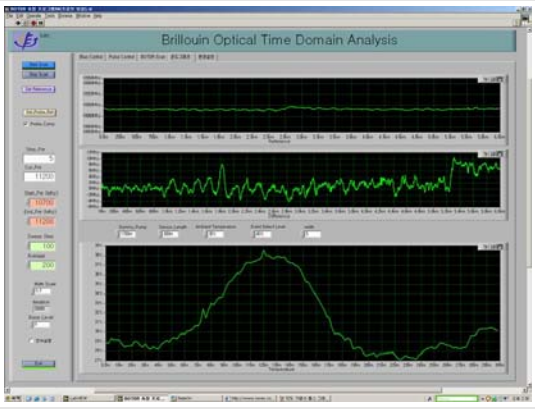

전압 바이어스 조정화면 - Pump, Probe 바이어스 조절하여, 광원의 on/off 성능을 조절하는 역할을 한다.



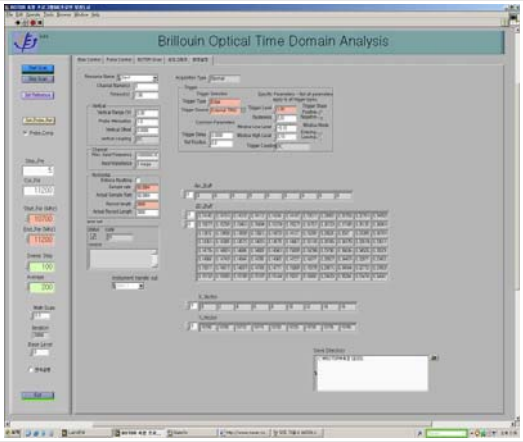

펄스 생성 설정화면 - 거리 분해능을 조정할 수 있는 펄스폭 조정, 하단의 그래프는 시스템 고유 주파수 특성을 나타낸 그래프




상단 : 포설된 광섬유의 스캔된 주파수, 거리에 대한 전압 레벨의 3D 그래프, 중단 : 거리-전압 레벨 스캔된 그래프, 하단 : Peak freq 그래프로 주파수 이동과 온도 변화를 알 수 있다.




광섬유 온도 분석화면 -
상단 : 레퍼런스 온도 그래프
중단 : 스캔된 주파수에 관한 이동 그래프
하단 : 관찰 구간 범위의 변화된 온도 그래프




시스템 설정화면 - H/W 설정, 스캔 거리, 에러 메시지 출력 설정 화면

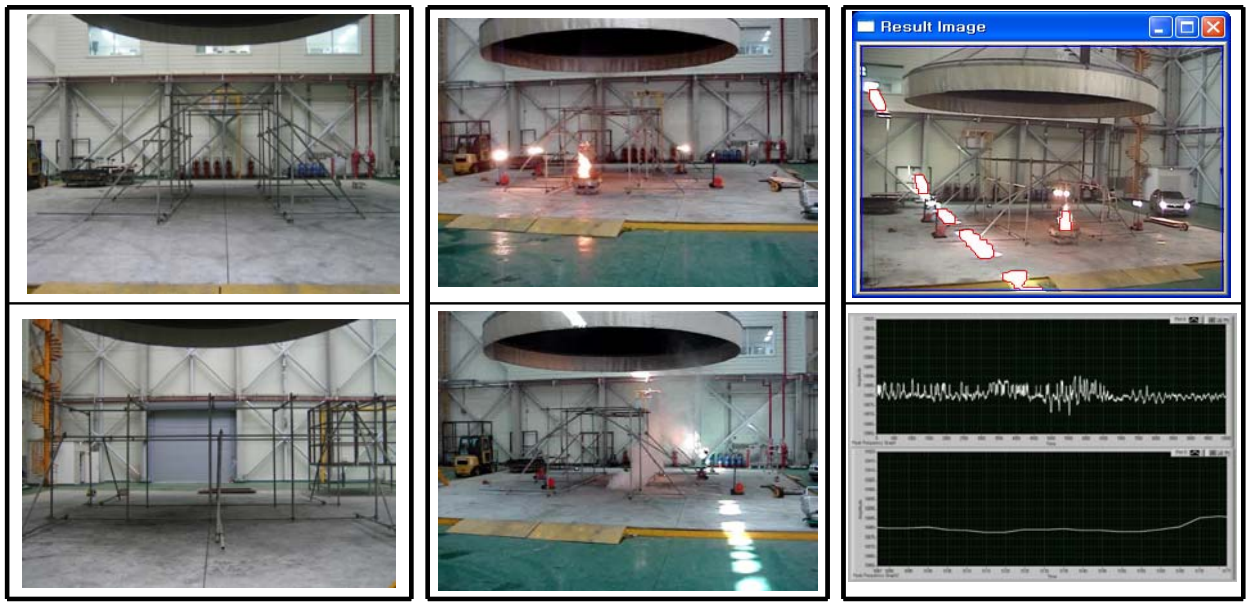
3. 모의 화재 실험을 위한 시스템 구현

모의화재 실험운영은 구조물제작과 모의화재 시나리오를 구성하고 이에 따른 실험결과 분석 단계로 수행할 예정이다.

구조물은 건설기술연구원 내의 화재 방재 실험동을 대여하여 실험하였으며, 비계를 이용하여 터널 모형의 뼈대 구조물만 제작하였다. 뼈대 구조물에 광섬유 케이블을 포설하여 실험하는데에 있어서의 문제점이 없도록 하였고 화재와 연기에 대하여 실험 시나리오를 구성하여 실험을 수행하였다.

실험한 데이터를 분석하여 검증해야 할 사항과 보완해야 할 사항을 점검후에 시스템의 성능을 향상시켜 재차 실험을 통한 2차년도 목표치에 근접한 시제품을 제작하고자 한다.

| | |
|---|---|
| 구조물 제작 | • 광섬유 센서의 시작품 운영 테스트와 영상 자료 취득을 할 수 있는 시스템 구축<br>• 모듈 테스트를 효율적으로 운영하기 위한 구조물 제작 |
| 모의화재 시나리오 | • 시제품을 효과적으로 검증하기 위하여 총 6개 시나리오를 구성하여 단면별 화재 발생 및 연기 발생<br>• 터널 환경과 유사하게 만들기 위하여 고정 조명 및 차량 조명 적용 |
| 실험 결과 분석 | • 실험을 통한 문제점을 분석하여 보완후 2차 모의화재 실험 적용 |

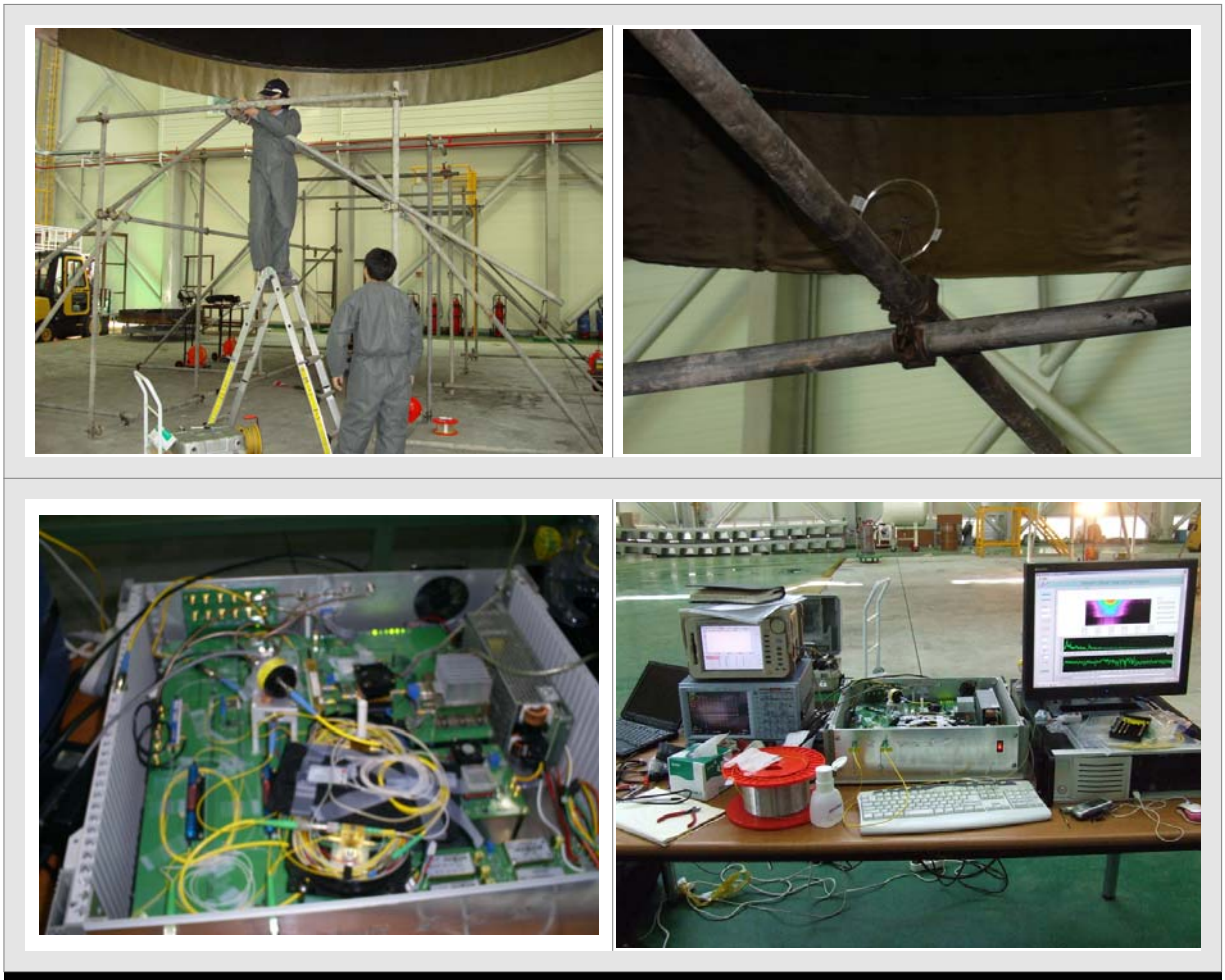


가. 모의화재 실험을 위한 구조물 제작 및 실험 장비 셋팅

경기도 화성에 위치한 건설기술연구원 방재실험동에서 6가지의 시나리오를 가지고 모의화재 실험 영상 획득을 위하여 8mm 디지털 캠코더 2대, 디지털 카메라 1대, CMOS 카메라 1대를 이용하여 영상을 획득하였다. 실제 터널의 CCTV 위치를 고려하여 실험위치보다 지상에서 2m~3m 정도 높게 설치하였다. [그림 3-16]은 영상 획득 장비및 실험 위치를 보여준다.



[그림 3-16] 영상 획득 장비 및 실험 위치



[그림 3-17] 광섬유 케이블 포설 및 시스템 구성 화면

나. 모의 화재 실험을 하기위한 실험 시나리오

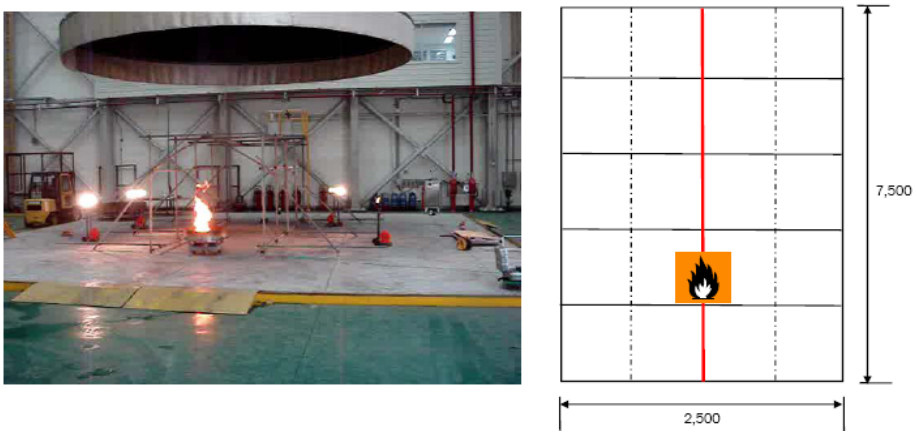
건설 기술 연구원 화재방재 실험동에서 실시한 이번 모의 화재 실험을 위하여 모의 화재 대상 구조물을 설치하였고 구조물 안에서 화재를 발생시켜 이에 따른 영상을 실험하였다. [그림 3-18]은 모의 화재 실험 시 설치한 모의 화재 대상 구조물을 나타낸다. 또한 6가지 실험 시나리오를 작성하여 터널 내에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황에 대비할 수 있는 실험 영상 획득을 목적으로 실험하였다. 전체적으로 화염 발생 5건과 연기 발생 3건을 일으키는 시나리오 5건을 이루어졌으며 시나리오의 형태는 다음과 같다.

✓ 화염 1 ✓ 화염 2 ✓ 화염 3 ✓ 연기 ✓ 연기-화염 ✓ 화염-연기

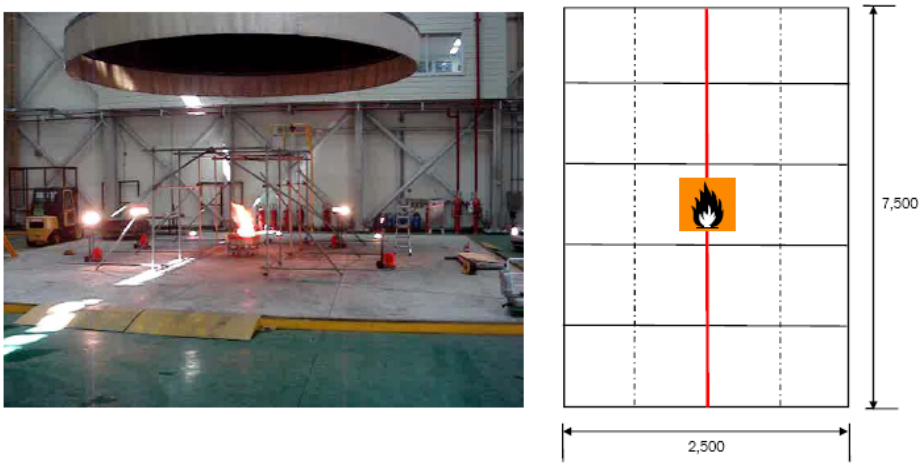
위와 같은 시나리오는 [그림 3-19]의 도면과 실영상을 통하여 자세히 설명하고 있다.



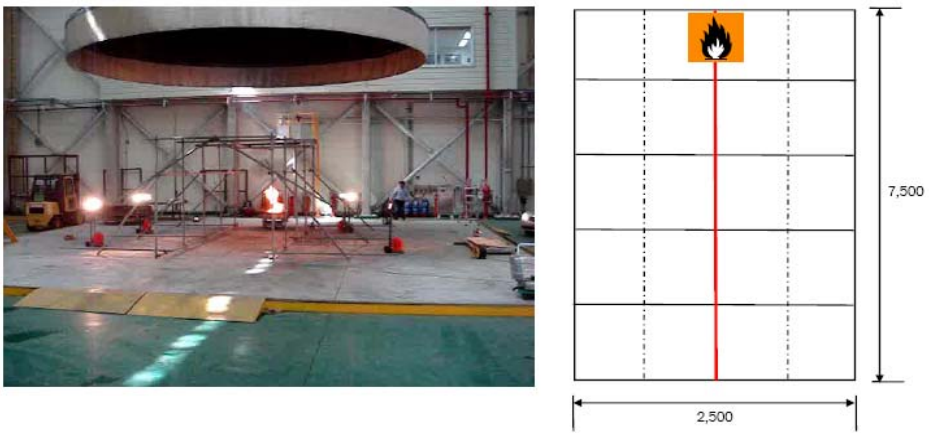
[그림 3-18] 모의 화재 대상 구조물(정면, 측면)



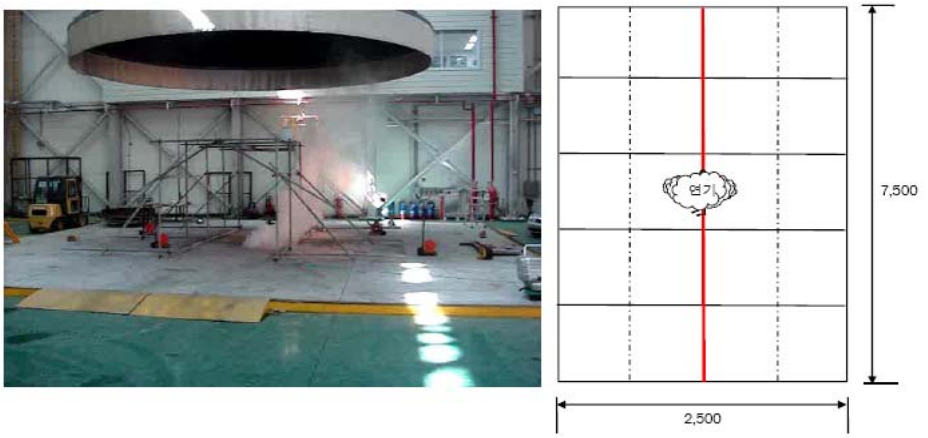

(a) 화염 1



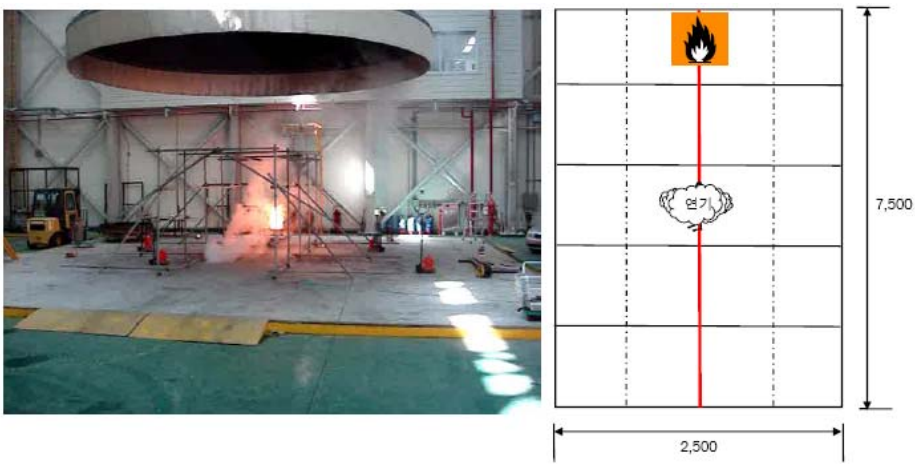

(b) 화염 2



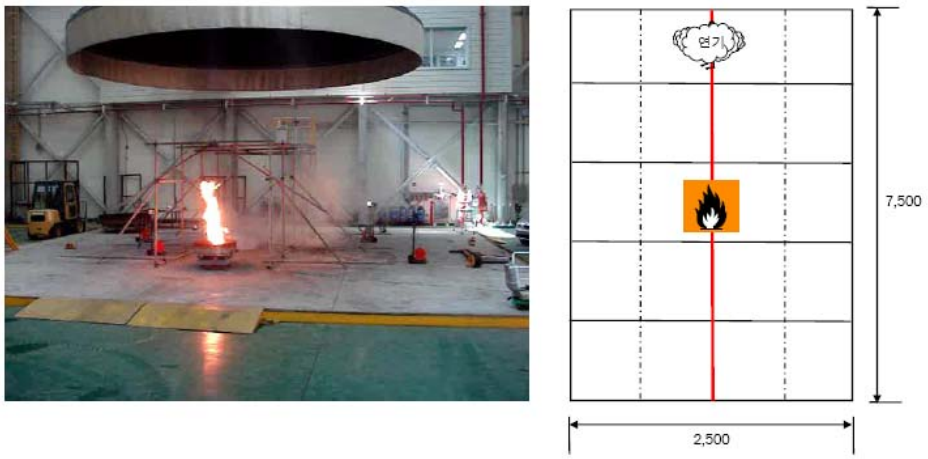

(c) 화염 3




(d) 연기




(e) 연기-화염




(f) 화염-연기

[그림 3-19] 모의 화재 실험을 위한 시나리오 및 영상

4. 모의화재 실험 데이터를 활용한 시작품의 현장 적용성 평가

가. 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발



[그림 3-20] 현장 테스트를 하기 위한 장비

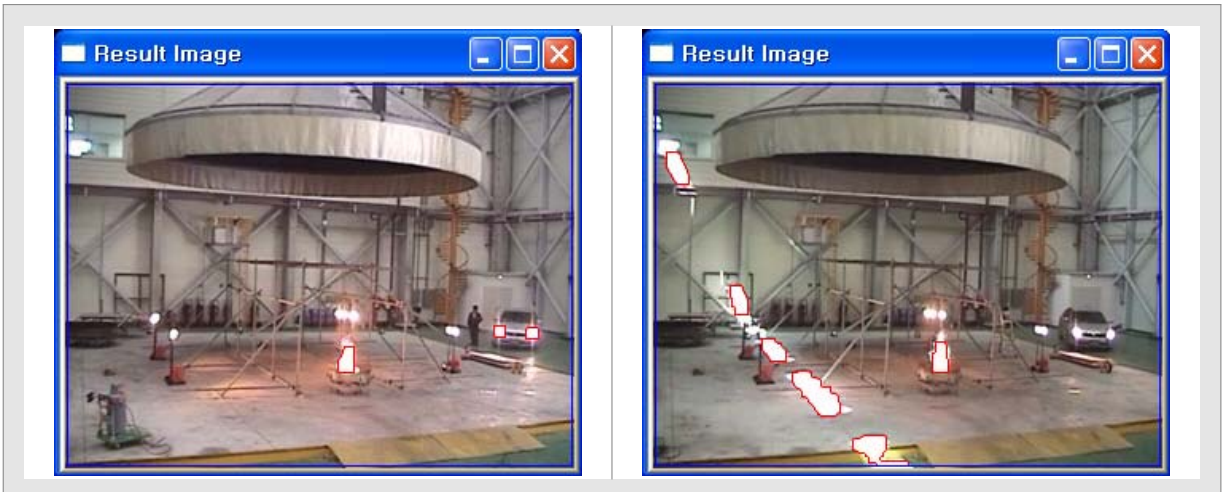
시작품의 현장 적용성 평가를 위하여 실시간 입력을 통한 알고리즘 수행을 할 수 있도록 노트북과 CMOS 카메라를 사용하여 영상 획득과는 별도로 현장에서 실험을 하였다. [그림 3-20]는 현장 테스트를 하기 위한 장비를 보여주고 있다.

모의 화재 실험을 통하여 얻어진 영상을 기반으로 실험 시 기존 테스트 영상(달성 제2터널 화재)에서 생기지 않았던 여러 가지 문제점이 나타났다. 기 개발된 알고리즘의 경우 달성 제 2터널 화재 시 촬영된 영상에 대해서 개발된 관계로 전혀 다른 조명과 카메라 환경을 가진 모의 화재 실험에서는 일부 다른 결과를 가져 왔다.

화염 탐지의 경우 달성 화재 영상으로 개발된 알고리즘이 모의 화재 수행 시 대부분의 경우 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 즉 실시간으로 동작하면서 영상 내의 화염 부분을 정확하게 검출함을 확인할 수 있었다. 그러나 달성 화재시에서 존재하지 않았던 자동차의 전조등 부분과 외부 자연광으로 인하여 매우 밝게 빛나는 부분에서는 화염으로 오인지하는 문제가 발생하였다.

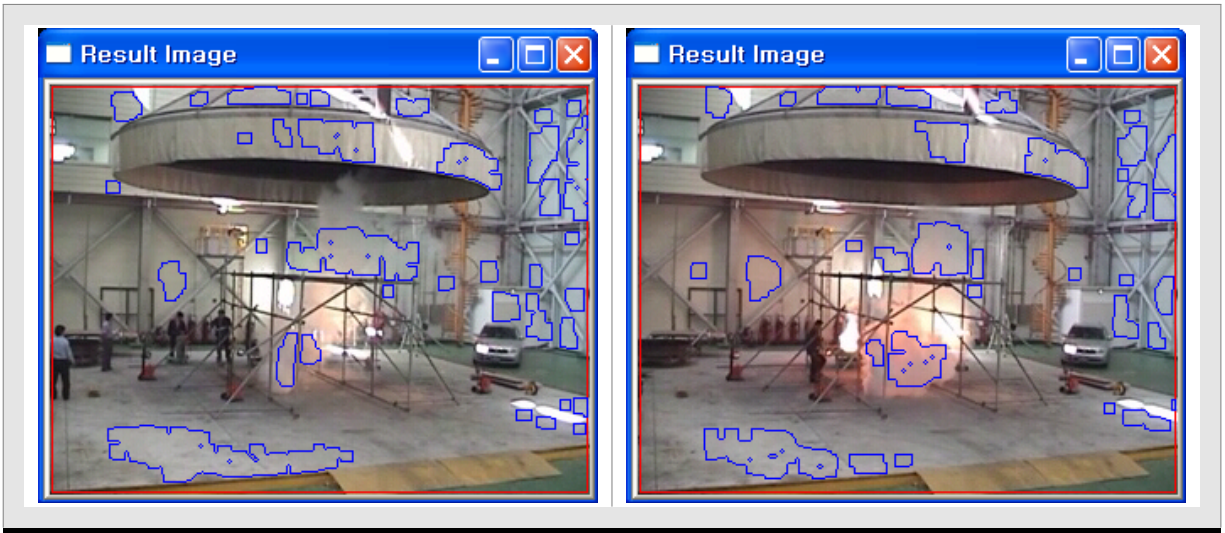
차량 전조등 실험의 경우는 실험을 위해서 일부로 자동차를 화염 방재 실험장에 배치하여 전조등 실험을 실시한 것이며 3차년도 실제 배치 시에 발생할 수 있는 여러 가지 상황들을 미리 가정하고 이에 대처하기 위하여 실시한 실험이다.

정리하면 화염 탐지 기법에서는 화염 영역을 미스하는 경우는 없었으나 외부 조명(햇빛)에 의한 오검출과 자동차의 전조등에 의한 오검출과 같은 false alarm 문제점을 가지고 있었다. [그림 3-21]은 현장 평가 시의 화염 탐지 기법의 문제점을 보여준다.




[그림 3-21] 화염 탐지 기법의 문제점

연기 탐지 기법에서는 달성 터널 화재 영상을 기준으로 한 연기 탐지 알고리즘을 직접 모의 실험에 사용한 결과 배경에 의한 전반적인 오검출 및 조명이나 화염에 의한 변화 시 검출 성능 저하를 가져오는 문제점을 알게 되었다. [그림 3-22]는 연기 탐지 기법의 문제점을 보여준다.




[그림 3-22] 연기 탐지 기법의 문제점

달성 터널 화재 영상의 경우 매우 어두운 조명 환경이었으며 이로 인하여 인간의 눈으로도 연기 영역임을 잘 검출하기 어려운 영상들로 구성되어 있다. 따라서 연기 탐지를 위하여 여러 가지 변수들이 매우 낮은 값에도 연기 탐지로 설정되어야 했는데 이러한 변수들을 직접 현장 모의 실험에 적용한 결과 연기 영역뿐만이 아니라 그 이외의 많은 부분이 연기 영역으로 검출되었다.

따라서 달성 터널 화재 영상 기준으로 한 연기 탐지 알고리즘을 직접 모의 실험에 사용한 결과 배경에 의한 전반적인 오검출 및 조명이나 화염에 의한 변화 시 검출 성능 저하를 가져오는 문제점을 알게 되었다. [그림 3-22]는 연기 탐지 기법의 문제점을 보여준다.

• 실험을 통한 개발한 알고리즘 검증 및 문제점 도출

| 연 구 내 용 | 연 구 결 과 |
|---|---|
| • 모의 화재 실험을 통한 자료 축적 | 모의 화재 실험을 통하여 6가지의 실험 시나리오 영상을 디지털 캠코더 2개, 디지털 카메라 1대, CMOS 카메라 1대, CCTV 로 받아 획득하였음 |
| • 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | 기존 알고리즘을 기반으로 실시간 시스템을 구현하였고 모의 화재 실험 시 실시간으로 적용하여 문제점 및 보완점을 확인 |
| • 성능 개선 | 실시간 적용을 통해서 얻어진 문제점을 중심으로 알고리즘 수정 및 보완하여 성능을 개선 |

나. 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

광케이블을 가터널 구조물의 상부에 설치하고 화재 발생시에 온드를 측정하기 위한 모듈과 연결해서 실시간으로 데이터를 처리하기위한 GUI 프로그램을 가지고 운영하게 된다.

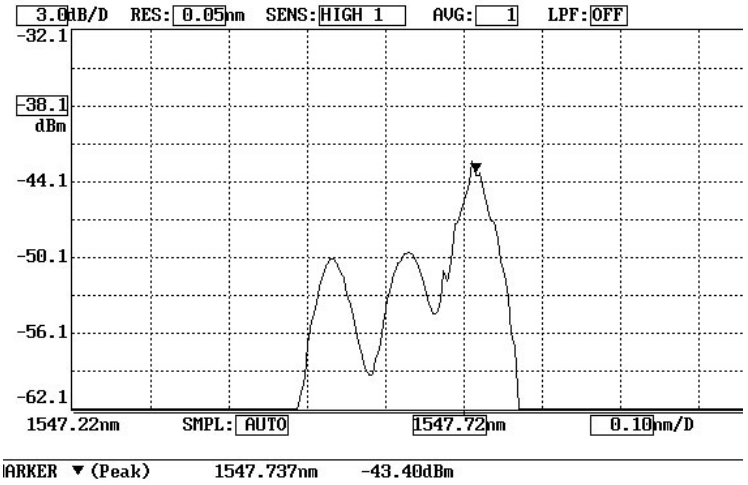
(1) 실험 장비

BOTDA 시작품(ICES), 신호 분석 및 데이터 수집을 위한 PC, 화원과 주변의 온도 측정을 위한 Electric Logger(KYOWA), TMA201(ICES), 브릴루잉 산란광 분석 장비인 Optical Spectrum Analyzer(Ando), Wave Runner(LeCroy), 광커넥터의 단면 검사를 위한 Microscope가 실험에 사용되었다.

(2) BOTDA 시스템 파라미터 셋팅값및 환경

A. 각 지점에 위치한 광섬유 길이 : 약 1m
B. 광섬유의 구간별 거리 차이 : 10m
C. 광섬유 가열 기구 및 화원의 온도 : 햅탄을 이용한 직접 가열 방식의 화원
 - 온도 : 60°C 내외
 - 화원의 유지 시간 : 5분
D. 시작품 시스템 셋팅 파라메터
 ① Pump dummy length : 1.78Km, Probe dummy length : 3.51Km
 ② Sweep Step : 100, Average : 200
 ③ DAQ0 : -1.9[V], DAQ1 : -2.030[V]
 ④ EDFA mornitor : 9.8V 파트 476[mV], 2.8V파트 371[mV]
 ⑤ LD Source Power : -41.5 [dBm]
 ⑥ PulseWidth : 700

E. 시스템의 브릴루잉



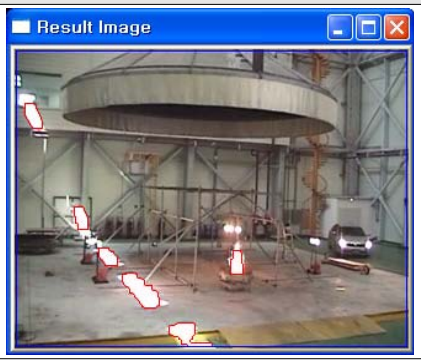
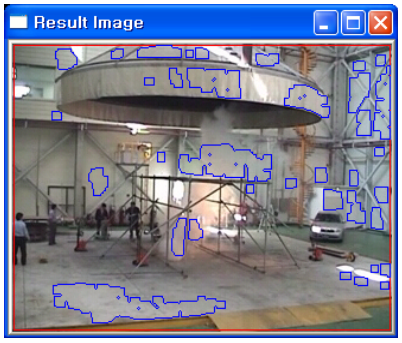
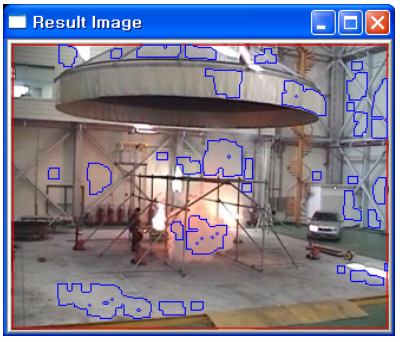

[그림 3-23] OSA를 이용하여 확인한 브릴루잉 산란광

구조물에 광섬유를 포설, 시스템의 파라미터 값을 설정한 후에 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 현재 시스템이 브릴루잉 산랑광을 발생하고 있음을 확인한 그래프로 1547.737nm 파장에서 고정되어 나타나고 있으며, -43.40dBm의 파워를 가지는 브릴루잉 산란광이 발생되고 있음을 OSA로 확인하였다.

## 5. 실험 자료를 이용한 시작품의 적용성 평가

### 가. 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

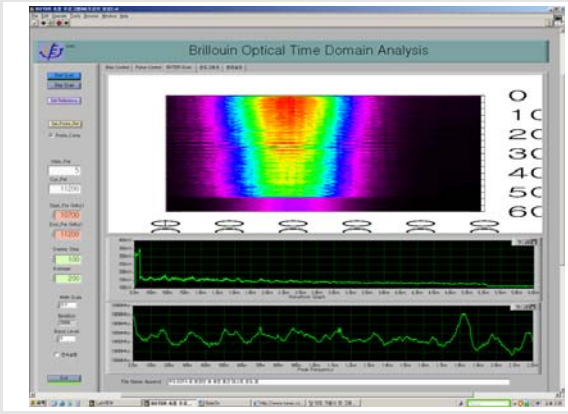
영상 처리 기반 화재 탐지 실시간 시스템을 구현하여 모의 화재 실험에 적용하였다. 입력을 받아 처리 하는 노트북의 성능이 낮음에도 불구하고 실시간을 처리가 가능한 성능을 가지고 있었다. 하지만 기존 테스트 영상에서 나타나지 않았던 알고리즘의 문제점들이 나타났다. 문제점들을 다시 요약하면 다음과 같다.

<table>
<tr><th colspan="4">화염 탐지 기법</th></tr>
<tr><td>외부<br>조명에의한<br>오검출</td><td> 
</td><td>차량<br>전조등에<br>의한<br>오검출</td><td> 
</td></tr>
<tr><th colspan="4">연기 탐지 기법</th></tr>
<tr><td>배경의<br>전반전인<br>오검출</td><td> 
</td><td>조명이나<br>화염에<br>의한 검출<br>성능 저하</td><td> 
</td></tr>
</table>

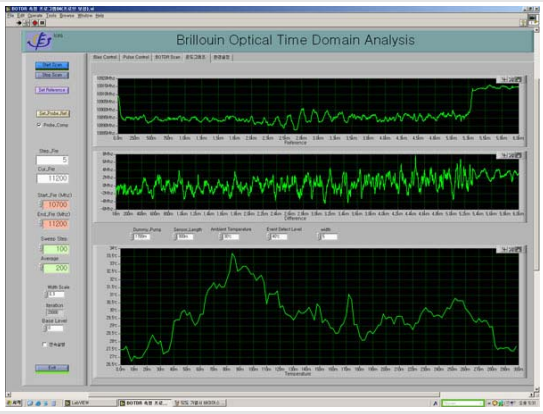
### 나. 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

[그림 3-24] ~ [그림 3-26]은 모형 터널의 시나리오 1에서 화원의 발화에 의해 나타난 광섬유의 주파수 및 온도 특성 변화를 나타낸 그래프이다. 실험에 사용된 더미 파이버를 포함한 광섬유의 총 길이는 약 5.3㎞이며, 구조물 안에 설치된 광섬유의 길이는 총 23m이며, 각 시점, 중앙, 끝단 지점마다 1m의 파이버가 감겨져 있고, 각 구간(시점-중간 구간, 중간-끝단 구간)의 거리 차이는 10m로 설치하였다. 모의 화재를 위한 실험 장소의 온도는 27℃였다. [그림 3-24]의 상단의 그래프는 포설된 광섬유의 거리, 주파수에 대한

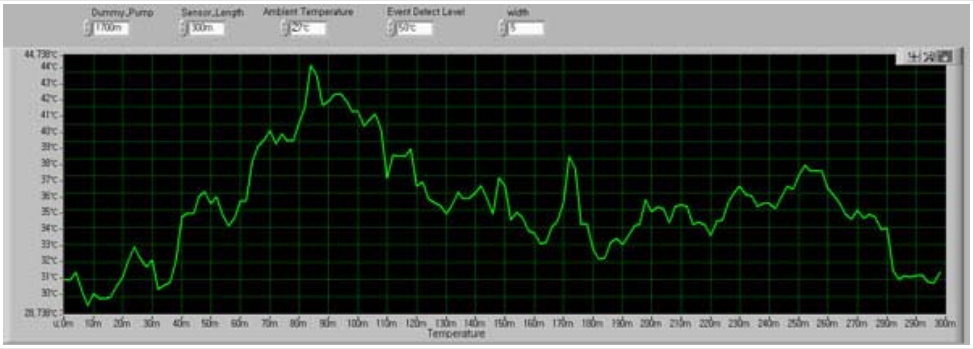
전압 레벨값을 표시한 3D 화면으로 브릴루잉 산란광의 주파수 이동을 눈으로 직접 확인할 수 있도록 만들었으며, 구간 확대, 축소 기능을 이용해 주파수 이동을 살펴 볼 수 있다. 그림의 중단의 그래프는 거리에 따른 전압 레벨값을 나타낸 그래프와 하단의 거리에 따른 중심 주파수의 변화량을 나타낸 그래프를 통해서 포설된 광섬유의 상태를 알아 볼 수 있도록 하였다. [그림 3-25]는 온도 변화에 대한 그래프를 출력하는 화면으로 화면 상단의 그래프는 시스템의 고유 레퍼런스 주파수를 나타내는 그래프이며, 중단의 그래프는 광섬유를 스캔한 상태의 그래프로 열원에 의해 변화던 주파수 천이를 나타낸 그래프이다. 하단의 그래프는 측정 범위 설정, 현재 온도, 허용 기준 관리 온도를 기입하여 관찰 구간의 온도 변화(관찰 지점의 온도)와 거리 정보를 알아 볼 수 있는 그래프이다.




[그림 3-24] 3D 그래프와 Peak freq 그래프(A지점)




[그림 3-25] 가열 구간(1.78㎞)의 온도 그래프(A지점)




[그림 3-26] 가열 구간(A 지점)을 확대한 온도 그래프

(1) 시점부 화재 발생 결과 - (그림 3-24 ~ 3-26)

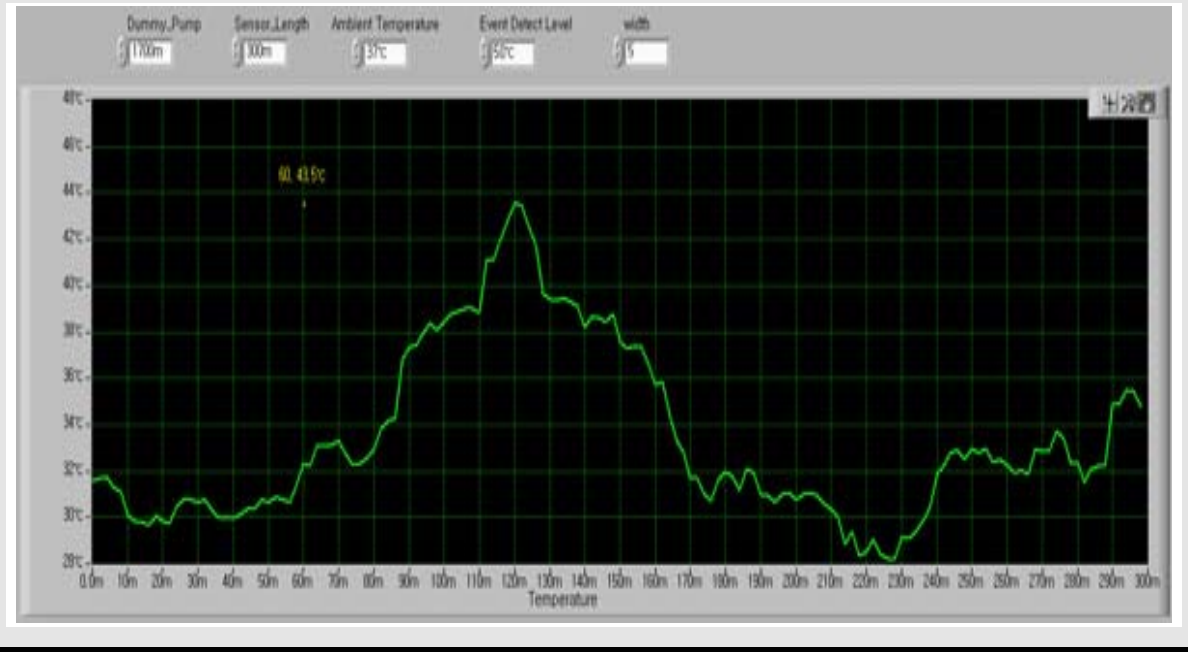
- ▸ 화원의 온도 : 58℃ 전후( 전기식 온도 Logger, TMA 측정)
- ▸ 실험 장소의 온도 : 27℃

▸ BOTDA 시작품 측정 데이터 - A 지점의 온도 : 43℃

- 포착된 A지점의 위치 : 1.784㎞ 부근

▸ 온도 오차 : 15℃ (화원의 온도와 BOTDA 측정 온도 차이)

(2) 모형 터널의 중간 지점에서 화재 발생




[그림 3-27] 가열 구간(중간)을 확대한 온도 그래프

▸ 화원의 온도 : 58℃ 전후( 전기식 온도 Logger, TMA 측정)

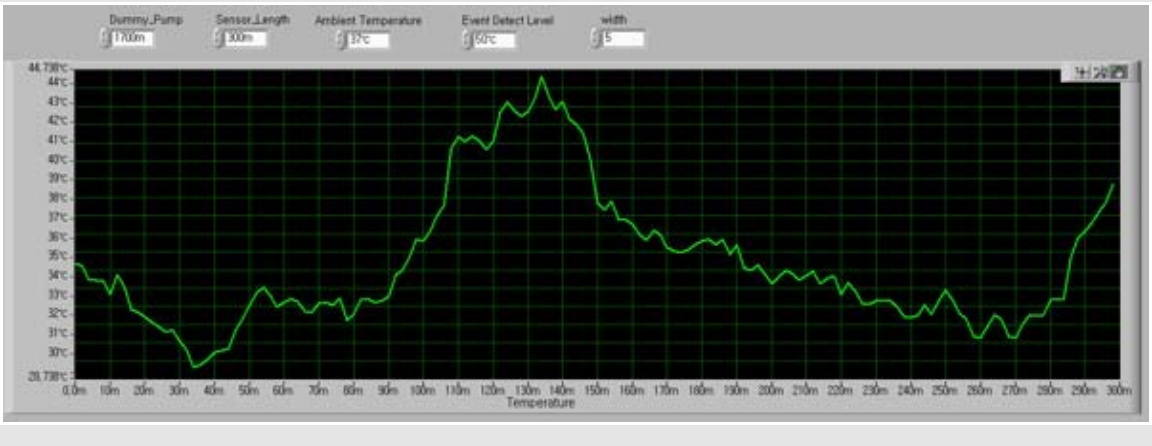
▸ 실험 장소의 온도 : 27℃

▸ BOTDA 시작품 측정 데이터 - A 지점의 온도 : 43.5℃

- 포착된 A지점의 위치 : 1.82㎞ 부근

▸ 온도 오차 : 14.5℃ (화원의 온도와 BOTDA 측정 온도 차이)

(3) 모형 터널의 끝단 지점에서 화재 발생




[그림 3-28] 가열 구간(끝 지점)을 확대한 온도 그레프

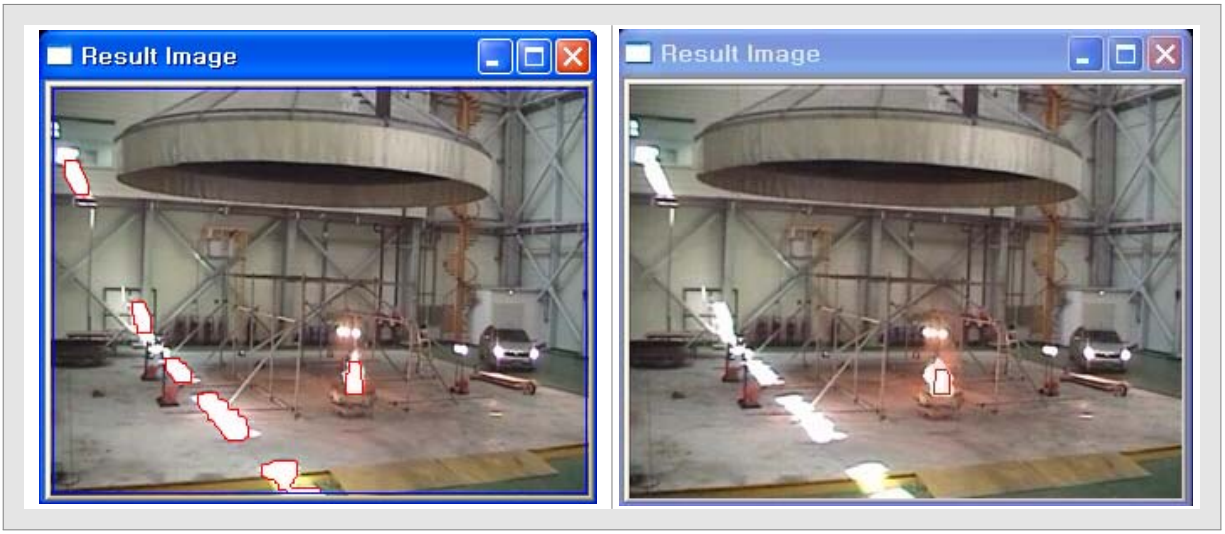
- ▸ 화원의 온도 : 59℃ 전후( 전기식 온도 Logger, TMA 측정)
- ▸ 실험 장소의 온도 : 27℃
- ▸ BOTDA 시작품 측정 데이터 - A 지점의 온도 : 42.4℃
  - 포착된 A지점의 위치 : 1.83㎞ 부근
- ▸ 온도 오차 : 16.6℃ (화원의 온도와 BOTDA 측정 온도 차이)

6. 성능 개선

가 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

현장 적용성 평가에서는 달성 터널 화재 영상에서는 얻을 수 없었던 다양한 연기와 화염 화재 영상을 고의적으로 발생시키고 이를 통하여 개발된 알고리즘의 문제점들을 가능한 한 많이 도출하도록 노력하였다. 이를 통하여 3차년도 시제품의 성능을 극대화 할 수 있도록 노력하였다

노출된 문제점들 중에서 화염 탐지 기법에서의 문제점인 자동차의 전조등이나 외부의 빛과 같은 경우 화염과는 다르게 크기가 일정하고 변화가 없기 때문에 이와 같은 특징을 이용하여 쉽게 제거 가능하였으며 [그림 3-29]와 같이 성능을 향상시킨 것을 확인하였다.




외부 조명에 의한 오검출에 대한 성능 개선



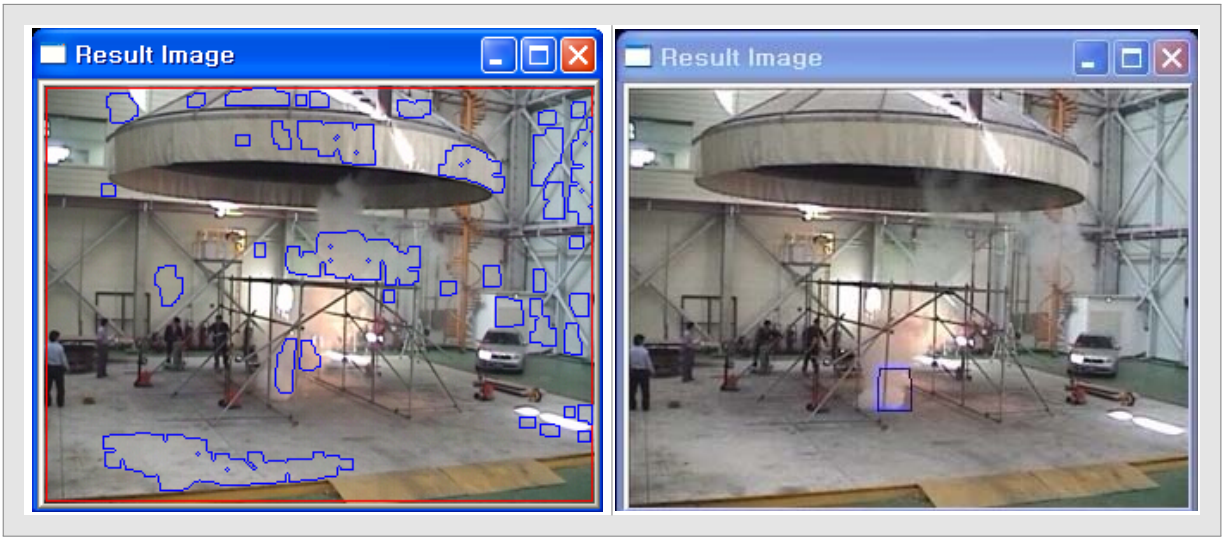

자동차의 전조등에 의한 오검출에 대한 성능 개선

[그림 3-29] 화염탐지기법의 문제점과 성능 개선(왼쪽: 기존 알고리즘, 오른쪽: 개선된 알고리즘)

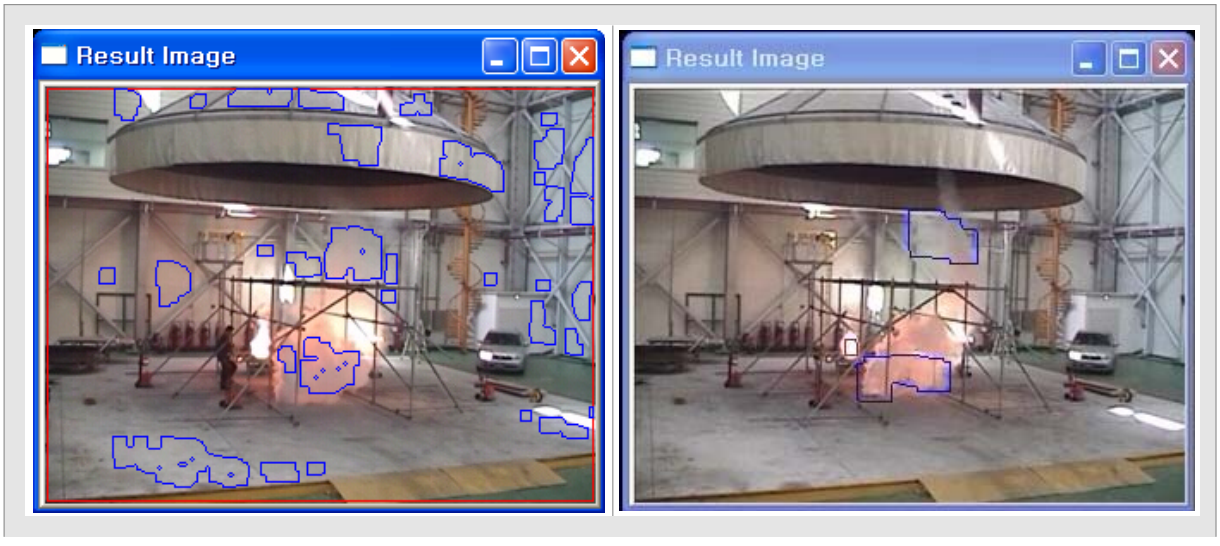
노출된 문제점들 중에서 연기 탐지 기법에서의 문제점들은 기존의 연기 검출 기법 개발 시 제한된 영상(달성 제2터널 화재)만을 가지고 실험을 해서 영상 자체의 주변 컬러 값에 의존도가 높기 때문에 나타난 현상으로 파악되어 참조 배경 영상을 생성 및 적용시켜 수정하였으며 많은 성능 향상을 가지고 왔다.

다만 오검출을 모두 제거하도록 변수들을 수정한 경우 연기의 검출에는 문제가 없으나 검출되는 연기 영역이 작아지는 문제점이 발생하였다. 이 경우 연기 검출에는 문제가 없

으나 정확도 부분에서 약간 미진한 부분이 있으며 이에 대한 보완이 요구된다. 이 부분은 지속적으로 보완이 필요한 부분이나 3차년도에 시작품 제작 이전에는 완벽히 해결 가능할 것으로 예측된다. [그림 3-30]과 [그림 3-31]은 현장 적용서 평가 시 발생한 연기탐지기법의 문제점에 대한 개선된 성능을 나타내었다.

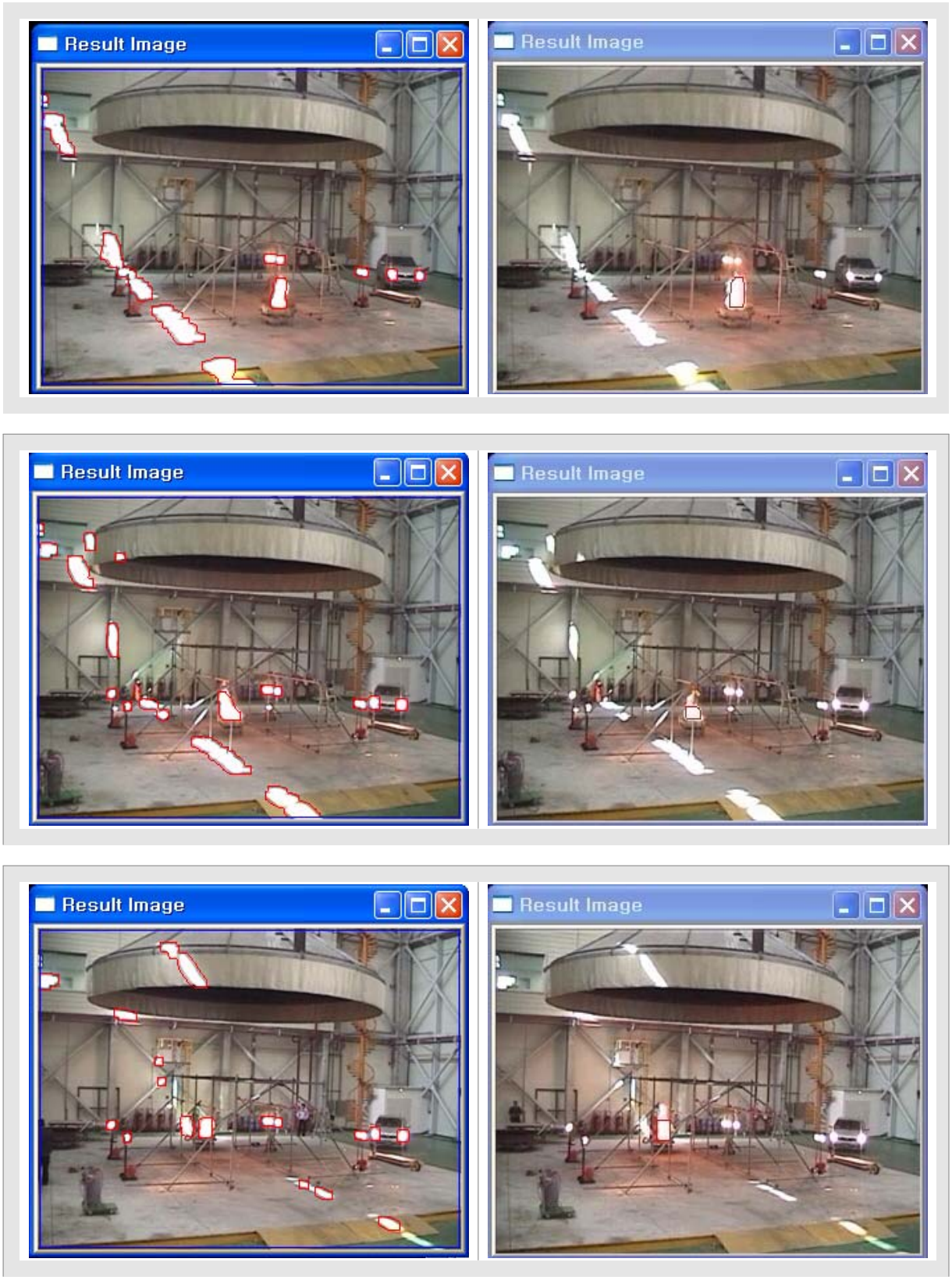


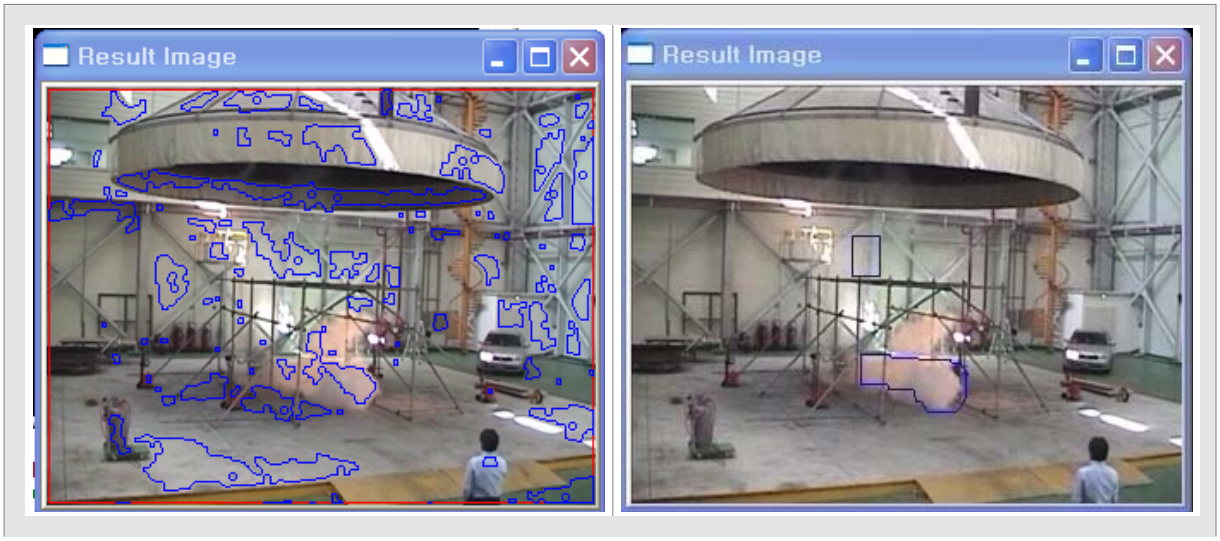

**배경의 전반적인 오검출에 대한 성능 개선**

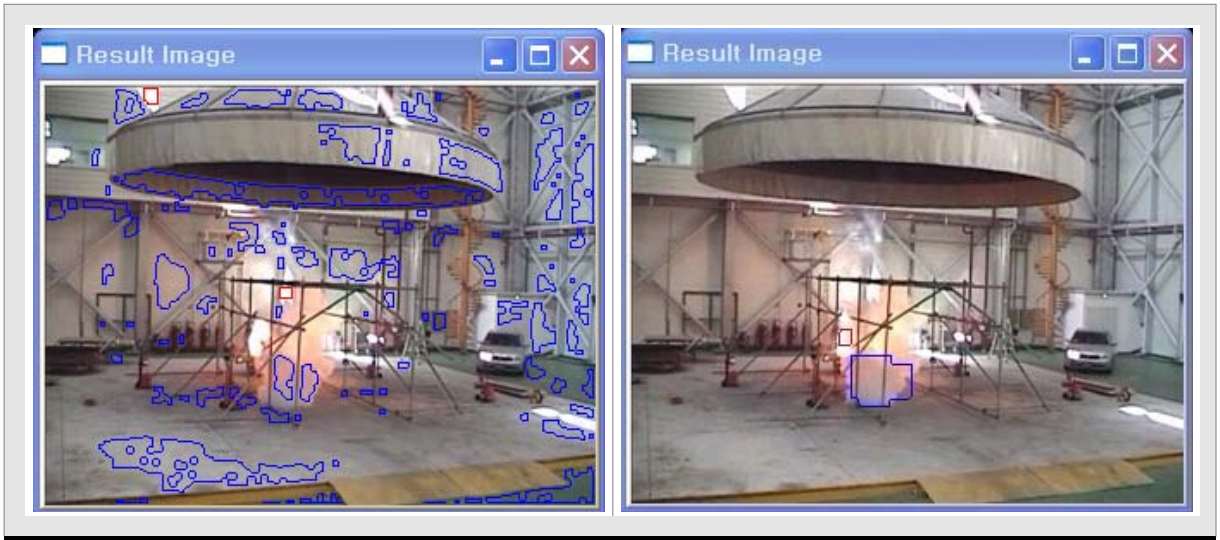



**조명이나 화염에의한 검출 성능 개선**

**[그림 3-30] 연기탐지기법의 문제점과 성능 개선(왼쪽: 기존 알고리즘, 오른쪽: 개선된 알고리즘)**


Result Image
Result Image
Result Image
Result Image
Result Image
Result Image




[그림 3-31] 알고리즘 성능 개선 최종 결과
(왼쪽: 기존 알고리즘, 오른쪽: 개선된 알고리즘)

나 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

본 실험에서 광섬유 센서를 이용한 화재탐지 기법에서는 몇가지의 문제점이 노출 되었다. 온도 측정에 대한 오차 요인에 대하여 분석하였고 차기 실험에서 똑같은 문제점이 발생되지 않도록 해야 할 것이다.

▸ 폐쇄된 공간이 아닌 완전히 개방된 구조에 광섬유가 설치되어 외부 영향을 많이

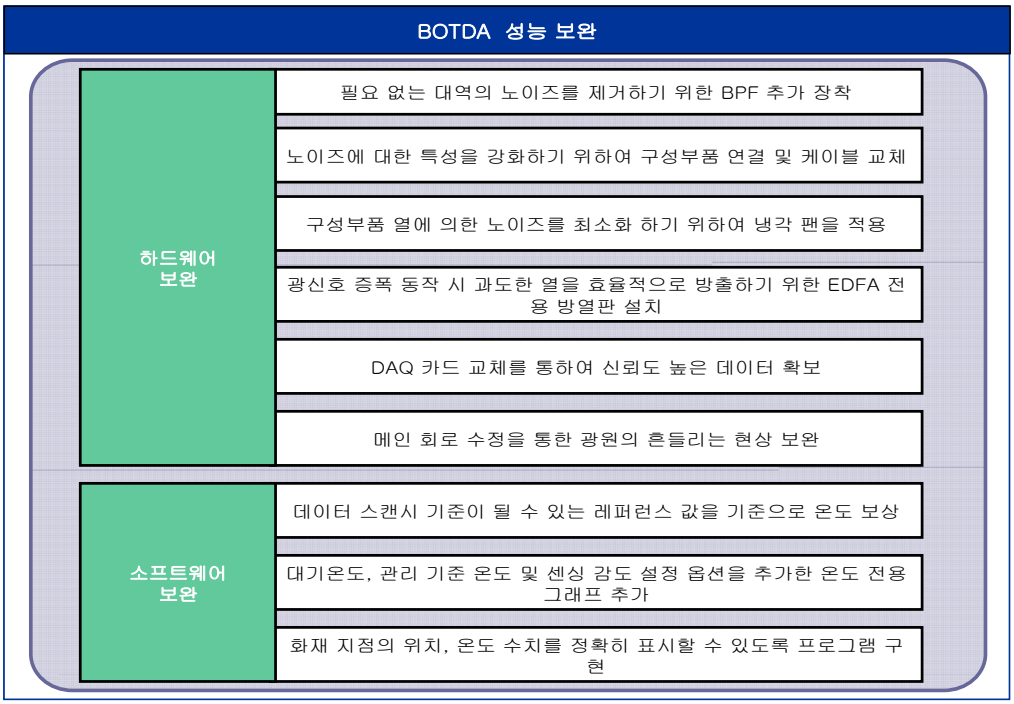
받음 - 외부 영향 요인 : 천장에 설치된 연기 집진기(환풍 시스템)

- 집진기에 의해 발생된 바람에 의해 설치된 광섬유가 움직이면서 흔들림에 의한 광섬유의 변형 불규칙적으로 일어남. 집진기에 의한 소용돌이 현상 발생

- 집진기에 의해 발생된 바람에 의해 화원의 열이 광섬유로 온전히 집중 되지 못하고, 주변으로 열이 퍼짐.

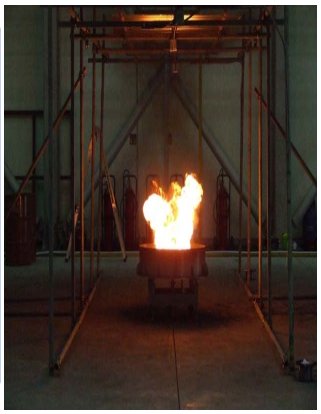
- 광섬유의 재질인 석영계 유리(광섬유의 코어 부분)의 변형(온도 변형에 의한 산란)에 필요한 충분한 온도 변화를 주지 못했고, 석영계 유리가 가지는 온도 내열성에 대한 파라메터 값을 고려하지 못했음.

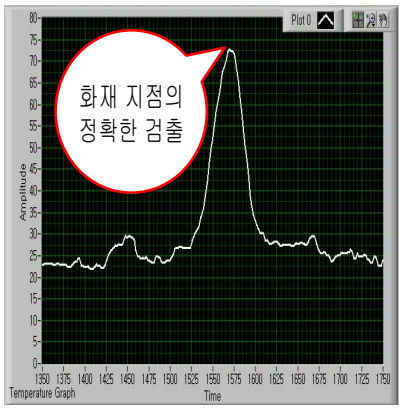
- 가 구조물에 포설한 광섬유를 보호 할 수 있는 보호 자켓이나 보호용 금속 파이프를 고려하지 못했음.
- 전기식 센서와 파이버 내부 온도(코어 내의 온도) 편차가 발생할 수 있음을 예측하지 못함

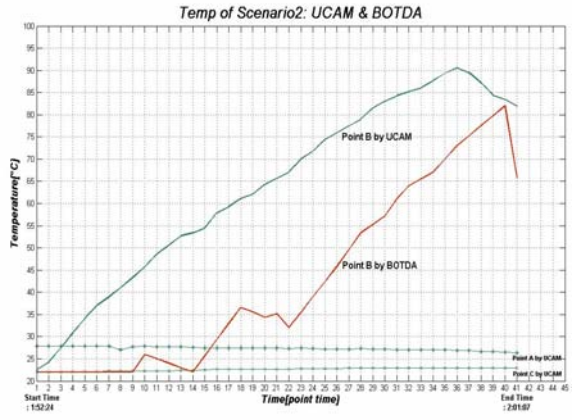


□ 측정시간 : 10 분
□ 획득한 온도 포인트 갯수
- U-CAM : 41개 온도 포인트
- BOTDA : 8개 온도 포인트
- Sweep Step : 100, Average : 400
□ 비교 시스템 측정 최고점 온도
- U-CAM : 90.6℃
- BOTDA : 82℃
□ 시스템간의 최고점 온도 오차
- 8.6℃
□ 시스템간의 평균 온도 오차
- 9.1℃
□ 피크 온도 포인트 위치 : 1.575km








□ 획득한 온도 포인트 갯수
- U-CAM : 41개 온도 포인트
- BOTDA : 8개 온도 포인트
- Sweep Step : 100, Average : 400
□ 비교 시스템 측정 최고점 온도
- U-CAM : 90.6℃
- BOTDA : 82℃
□ 시스템간의 최고점 온도 오차
- 8.6℃
□ 온도센서와 광섬유 센서의 온도차이가 다소 발생하나 측정위치 차이로
인하여 발생
□ 화재 발생지점 정확히 검색 가능

## 7. 결론

모의화재 실험 장소가 실제 터널이 아니었기 때문에 터널의 환경적 변수를 모두 적용시키지는 못하였다. 그래서 실험 결과에 대하여 100% 신뢰도를 가질 수 없으나 현재까지의 시스템은 2차년도 목표치에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 수행해야 할 연구로는 실제 터널환경에서 실험할 수 있도록 실험 장소를 섭외하는 것이 연구 과정에서 중요한 부분이 될 것이다. 실제 터널에 시스템 적용하기 이전까지는  많은 시행착오와 데이터 확보가 중요하기 때문에 2차년도와 같은 여러변수를 고려한 모의화재 실험을 수행해야 할 것으로 판단된다.

제1연구과제에서는 연기화재와 화염 화재에 대한 에러 인식률이 다소 많이 발생하였으나 확보한 데이터를 바탕으로 알고리즘을 수정하여 매우 정확한 검색율을 보였다. 그리고 제 2연구과제에서는 거리분해능과 온도분해능의 목표 값인 1m, 1℃에 만족하는 결과를 보였으나 정확도 면에서 80% 정도의 신뢰성을 얻는데 그쳤다. 실내에서 진행된 실험과 현장에서 진행된 모의 화재 실험의 가장 큰 차이점은 포설된 광섬유에 온도의 안정적인 인가의 여부이다. 실험을 진행하면서, 실외 실험에 대한 환경 요인을 충분히 고려하지 못하여, 온도 측정 값에 대한 정확성이 만족하지 못하는 결과가 나왔으나, 향후 보다 많은 화재실험을 수행하여 시제품의 거리 및 온도 측정 정확도에 대한 성능을 더욱 향상시킨 제품을 제작하고자 한다, 앞으로 진행될 실재 장대 터널 현장 실험에서도 2차 년도의 목표 값인 거리 분해능과 온도 분해능에 상응하는 결과를 얻을 것이다. 2차 년도에 진행된 모의 화재 실험의 결과와 경험을 바탕으로 시스템 성능 평가 및 모의실험을 보다 완성도 있게 진행 될 수 있을 것으로 기대한다.

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1절. 연구개발 수행 진도율

1. 영상 정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 구분 / 개발내용 | 연구개발기간 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 진도(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 실시간 적용을 위한 시스템 구축 | | | | | | | | | | | | | |
| 장대 터널 조사 및 답사<br>- 실험 가능한 터널 선정 | | | | | | | | | | | | | |
| 모의 화재 테스트 실행<br>- 탐지장비 설치<br>- 모의 화재실험 | | | | | | | | | | | | | |
| 시스템 운영 및 구동<br>- 실제 운용<br>- 성능 보완 | | | | | | | | | | | | | |
| 전체 시스템 테스트<br>- 통합 테스트<br>- 성능 보완 | | | | | | | | | | | | | |
| 결과검토<br>- 성능 평가 | | | | | | | | | | | | | |
| 종합보고서 작성<br>- 보고서 작성 | | | | | | | | | | | | | |
| 총 진도율 | | | | | | | | | | | | | |

2. 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 구분 / 개발내용 | 연구개발기간 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 진도(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| • 시스템 성능 개선 | | | | | | | | | | | | | 100 |
| • 개선된 시스템의 시작품제작 | | | | | | | | | | | | | 100 |
| • 모의 실험 | | | | | | | | | | | | | 100 |
| 총 진도율 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 100 |

····· 당초계획

———— 실 적

## 2절. 연구목표 및 연구내용(총괄)

■ 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 연차 | 연구 내용 | 연구 결과 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ◦ Steerable Pyramid 를 이용한 Global feature 추출 기법 연구 | ◦ 연기나 화염 화재가 발생하여 카메라의 대부분이 연기나 화염으로 차게 될 경우 정확한 검출 특성 제공. 따라서 초기 화염과 연기 탐지에는 부적합 한 결과 제공 |
| | ◦ Local feature 를 이용한 연기 및 화염 검출 기법 | ◦ Global feature 기법의 문제점을 보완하기 위해서 개발한 방법으로 초기 화염과 연기 탐지에 우수한 성능을 발휘하고 화염과 연기의 위치 정보도 제공 가능한 장점이 있음 |
| | ◦ Texture 추출 기법을 이용한 연기 및 화염의 고속 탐지 기법 개발 | ◦ 연기나 화염 탐지에 Texture 를 검출하는 방법이 효과적이었으며 위의 두 가지 기법을 혼합함으로써 더욱 효과적인 화재 탐지가 가능 |
| | ◦ 컴퓨터 그래픽 합성 영상 및 자료영상을 통한 알고리즘 검증 | ◦ 도로, 터널 및 도시철도, 장대터널 및 지하철에 대한 다양한 영상 입수 및 촬영<br>◦ 컴퓨터 그래픽 합성을 통한 연기화재 및 화염 영상 생성 및 실제 화재 영상 입수<br>◦ 다양한 화재 영상에 대한 알고리즘 검증 |
| | ◦ 화재 탐지를 위한 GUI 구현 소프트웨어 개발 (시작품) | ◦ 다양한 터널 환경에서 정상 상태와 연기 화재에 상태에 대한 고속 검축 기능 테스트 및 검증<br>◦ 다양한 터널 환경에서 정상상태와 화염 영상에 대한 소속 검출 기능 테스트 및 검증<br>◦ 카메라를 이용한 화재 탐지 시작품 개발 |
| 2차년도 (당해연도*) | ◦ 영상처리 화재탐지 시스템 시작품의 현장 적용성 평가 및 성능 개선 | ◦ 모의터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료축적<br>◦ 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가<br>◦ 성능개선 |

■ 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요연구내용 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ▪ 분포 광섬유 온도 시스템 설계 및 시작품 제작 | ▪ 시작품 시스템 설계<br>▪ 고출력 광원 조립<br>▪ RF 신호 발생기 구동<br>▪ 광 수신기 조립<br>▪ 신호 취득장치 구현<br>▪ 프로그램 작성 |
| | ▪ 광섬유 온도 인가 장치 제작 | ▪ 광섬유에 부분적으로 온도를 인가할 수 있는 장치 구현<br>▪ 시스템 평가 |
| 2차년도 (2007) | ▪ 시스템 성능 개선 | ▪ 광원의 성능 개선<br>▪ 광섬내 유도산란이 개선된 시스템 구성<br>▪ 향상된 광 수신기 조립 및 신호 취득 장치 프로그램 구현 |
| | ▪ 모의화재 실험 운영 | ▪ 제작한 시스템의 현장 적용성 평가와 제품의 성능을 검증하기 위한 모의화제 테스트운영<br>▪ 문제점 도출 및 분석 |
| | ▪ 개선된 시스템의 시작품제작 | ▪ 시스템 설계기술 확립<br>▪ 개선된 계측 시스템 현장 적용 시험<br>▪ on-line 상시 계측 가능성 검토 |

## 3절. 연구성과

■ 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요연구성과 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ◦ 카메라를 이용한 연기와 화염의 고속 탐지 기법 개발 | ◦ 여러가지 기법을 적용하여 보다 효과적인 화재탐지기법 개발 |
| | ◦ 컴퓨터 그래픽 합성 영상 및 자료 영상을 통한 알고리즘 검증 | ◦ 컴퓨터 그래픽 합성을 통한 연기 화재 및 화염 영상 생성<br>◦ 실제 화재 영상(대구 달성 제2 터널 화재 영상)을 입수 |
| | ◦ 화재 탐지 시작품 개발 | ◦ 다양한 터널 환경에서 정상 상태와 연기 화재에 대한 상태 및 화염 영상에 대한 고속 검출 기능 테스트를 하고 검증 |
| 2차년도 (당해연도*) | ◦ 실제터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료축적 | ◦ 건설기술연구원 방재 실험동에서의 모의 화재 실험을 통한 자료의 축적 및 개발 알고리즘을 이용한 실시간 검증 |
| | ◦ 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | ◦ 모의 화재 실험을 통한 실시간 테스트 |
| | ◦ 성능개선 | ◦ 모의 화재 실험을 통한 알고리즘 수정 및 보완 |

■ 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 연 차 | 연구목표 | 주요연구성과 |
|---|---|---|
| 1차년도 | ◦분포 광섬유 온도 시스템 설계 및 시작품 개발 | ◦거리 분해능 - 10m<br>◦측정 거리 - 25Km<br>◦온도 측정 분해능 - 5℃<br>◦샘플링 속도 - 200 sec |
| | ◦광섬유 온도 인가 장치 제작 | ◦온도 인가 장치 |
| 2차년도 (2007) | ◦시스템 성능 개선 | ◦광원의 성능 개선<br>◦광섬유내 유도산란이 개선된 시스템 구성<br>◦향상된 광 수신기 조립 및 신호 취득 장치 프로그램 구현<br>◦모의화재 실험을 통한 제품의 성능 평가 |
| | ◦개선된 시스템의 시작품 제작 | ◦시스템 설계기술 확립<br>◦개선된 계측 시스템 현장 적용 시험<br>◦on-line 상시 계측 기술가능성 검토 |

## 4절. 연구목표치 대비 실적치

■ 영상정보를 이용한 연기화재 탐지 시스템 개발

| 연구목표 | 성과지표 | 목표치 | 실적치 | 성과물 명칭 |
|---|---|---|---|---|
| ◦ 실제터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료축적 | 자료 축적 | - | - | 사진, 동영상 자료 축적 |
| ◦ 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | 화염 검출 시간 | 5초 | 5초 | 응답속도 |
| | 연기 검출 시간 | 5초 | 5초 | 응답속도 |
| | ROC 검출 성능 | Excellent | Not bad | 성능 |
| | 인식율 | 90% | 85% | 인식율 |
| | 오인식율 | 10% | 15% | 인식율 |
| ◦ 현장 적용성 평가 후 성능 개선 결과 | ROC 검출 성능 | Excellent | Good | 성능 |
| | 인식율 | 95% | 96% | 인식율 |
| | 오인식율 | 5% | 4% | 인식율 |
| ◦ 연구 성과물 | 특허 출원 | 2건 | 2건 예정 | 특허 |
| | 학술회의 발표 | 2건 | 4건 | 논문 |

■ 광센서를 이용한 개방화재 탐지 시스템 개발

| 연구목표 | 성과지표 | 목표치 | 실적치 | 성과물 명칭 |
|---|---|---|---|---|
| ◦ 시스템 성능 향상 | 광 펄스폭 측정 | 100ns 미만의 Pulse 광 발생 | 완료 | 거리분해능 - 1m |
| | 측정 가능한 최장 거리 측정 | 25Km 지점의 온도 측정 및 분석 | 완료 | 측정거리 - 25Km |
| | 브릴루앙 주파수 천이 resolution | 전기식 온도 센서와 비교 실험 | 완료 | 온도 측정 분해능 - 1℃ |
| | 1회 측정시 소비된 시간 | PD Module의 주파수 응답 속도 특성을 10MHz로 구현 | 완료 | 샘플링 속도 - 200 sec |
| ◦ 개선된 시스템의 시작품 제작 | 현장에 적용할 수 있는 시스템 구현 | 현장 적용이 가능도록 향상된 성능의 목표 달성 | 완료 | 시작품 제작 |
| ◦ 모의 실험 | 부분적으로 모의 화재 발생 및 결과 검증 | 1℃의 온도 분해능이 가능하도록 구현하고 온도 데이터 값 분석 | 부분적 완료 | 모의 화재 실험 구현 |

## 5절. 연구개발 주요내용

• 연구 범위 및 연구 수행 방법

| 연 구 범 위 | 연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법) | 구체적인 내용 |
|---|---|---|
| 모의 터널에서의 모의 화재실험을 통한 자료축적 | 건설기술연구원 방재실험동의 모의 화재 실험 | • 건설기술연구원 방재실험동내에서 모의 화재실험 실시 및 캠코더, 디지털카메라, CMOS 카메라, CCTV등을 이용한 영상 획득<br>• 모의화재실험을 위한 가조립 터널을 만들어서 광성유 센서 포설하고 시스템 현장 적용 |
| 실험 자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | 모의 화재 실험 시 개발 알고리즘을 이용한 실시간 테스트 | • 모의 화재 실험 시 CMOS 카메라를 이용하여 영상을 입력받아서 알고리즘 적용 및 평가<br>• 광섬유센서로부터 데이터를 취득하여 현장 측정시스템의 점검 |
| 성능개선 | 모의 화재 실험을 통해 얻어진 자료을 이용한 성능 개선 | • 모의 화재 실험을 통하여 얻어진 데이터를 활용하여 현시스템의 문제점을 도출하고 성능개선을 위한 알고리즘 수정 및 시스템 수정 |

# 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

## 1절. 연구성과의 활용방안




## 2절. 연구성과의 기대효과

1. 기술적 측면

- 현재 개발되는 시스템의 경우 터널 내에 장착되어 화재 탐지에 사용되나 향후 차량이나 이동용 로봇 등에 장착되어 화재 탐지 및 비상 상황 탐지에 관한 능동형 탐지 시스템으로의 발전이 가능할 것으로 판단됨.
- 브릴루잉 산란에 따른 광섬유의 브릴루잉 산란 주파수 등을 측정할 수 있는 기술 및 관련 장비 개발을 하여 국산화 및 상용화 시킬 수 있다.
- 분포형 광센서의 설치 및 유지 관리 기술 보유할 수 있다.

## 2. 사회・경제적 측면

- 2006년도 기준으로 국내 장대 터널은 90개소 총 180KM에 이르고 있으며 이에 따른 화재 발생의 가능성이 높아지고 있고 화재로 인한 사회, 경제적 손실의 가능성이 커지고 있다. 예를 들어 2003년 대구 지하철 참사 시 346명의 인명 손실, 7,053억원의 재산 손실이 발생하였다는 현대경제연구원의 추정치를 고려해보면 본 시스템의 개발 및 설치로 인한 재산 손실의 감소는 매우 큰 의미를 가지는 것으로 파악된다.
- 현장 적용성 실험 결과 고가의 CCD 카메라를 이용하지 않고 저가의 CMOS 카메라를 이용하여 화염 및 연기 화재의 탐지를 가능하게 하였으며 전체적인 시스템 비용을 최소화 할 수 있도록 하였다.
- 본 기술의 완성 이후 향후 터널 내 화재 탐지 기술을 활용한 산불 탐지, 건물 내 화재 탐지 등 다양한 산업 현장에 확대 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 방재 장비 종류는 여러 가지가 있으나 향후 가장 많이 수입 할 것으로 판단되는 OTDR/OFDR만을 기준으로 산정하였음.
- 터널 1km를 설치 할 경우를 기준으로 작성 하였으며, 현재 모두 수입제품이나 일반 물가정보지등의 가격을 조사하는 기관들에는 가격이 등재 되어 있지 않아 수입 업체에서 수입한 순수 운영 설비 및 운영프로그램 가격임.
- 연간 설치 수량은 도로터널, 지하철, 철도터널만을 기준으로 추정 산정한 값(약180억)이고, 추가적으로 건축물, 지하 공동구, 기타주요시설 등의 수량을 합하면 더욱더 클 것(약 300억 이상)으로 예상됨.
- 브릴루앙 산란광 측정 제품 및 센서류 등의 제품은 수출이 가능한 품목으로서 연간 약 86억 달러로 예측(Frost and Sullivan 자료인 Sensors Market and Sourecebook (1995년 판))되는 광섬유 센서 시장의 한 부분을 선점할 수 있을 것으로 기대됨.

| 수입 장비종류 | 적용대상 | 수입 단가 (1km/억원) | 국내공급단가 (1km/억원) | 년간 설치 수량(예상치) | 수입 대체 효과(억원) | 국내 시장 (억원) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OTDR /OFDR | 도로터널 철도터널 지하철 | 2.6 | 4.5 | 40km | 104 | 180 |

## 3절. 연구성과의 기업 활용방안

1. 참여기업의 현황분석

※ 참여기업의 업종, 매출액, 고용현황, 생산성현황 등을 평가하여, 본 과제에 참여한 결과를 통해 기업이 얻을 수 있는 부가가치, 혁신역량과 앞으로의 발전전망 등을 정성적으로 평가 기재

※ 참여기업이 없을 경우에는 '참여기업 없음'으로 표기

2. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

※ 과제 종료시 성과물에 대한 참여기업과의 연계 방안을 기술

| 번호 | 기업명 | 과제에 대한 기업 관심영역 | 연계방안 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 기업 활용 | 장비 활용 | 교육 연계 | 기술 상담 | 정보 제공 | 기술 지도 | 기술 이전 | 공동 연구 | 창업 지원 |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 합계 | | | | | | | | | | | |

※ 협력방안에는 사업을 추진하는 기관과 이루어질 협력방안 세부항목을 중복하여 V표로 체크. 협력방안에 관련된 세부항목이 없는 경우 별도로 추가 가능

3. 타 산업에 미치는 효과

※ 당해 기술의 개발에 따른 타 산업에의 파급효과를 구체적으로 기술

4. 정부 정책과의 연계 방안

※ 법·제도·시방서 등의 제정·개정을 위해 추진해야 할 업무 및 홍보전략, 정부 및 관련 공공기관과의 협조방안, 정부 담당자 및 국회의원 등에 대한 설득 방안 등을 구체적으로 제시

5. 관련 후속연구개발의 전망

■ 터널 내 화재 탐지 시스템이 성공적으로 개발될 경우 이 기술을 이용하여 대형 건물이나 공공 기관의 화재 탐지 시스템으로 응용 개발이 가능할 것으로 판단됨.

■ 또한 화재 탐지 기능뿐만 아니라 보안감시 장치로 동시에 사용할 수 있는 장점이 있어 향후 그 응용 분야가 확대될 것으로 예측됨.

- 비디오 영상 처리 기법 및 분포형 광섬유 센서를 이용한 외부 침입 등의 감시 장비 제품 연구
- 비디오 영상 처리 기법을 이용한 교량 상부 및 주요 외부 시설물에 대한 화재 방제 시스템 연구
- 분포형 광섬유 센서를 이용한 교량 및 건축물의 변형률, 처짐, 온도변화 등의 다양한 센서류 제품 개발
- 터널 이외의 적용 대상 시설물 및 기계류의 화재 및 열 탐지 기술의 실제 현장 적합성 연구

■ 본 연구 개발을 통하여 개발되는 분포형 광섬유 센서는 피측정물의 온도 분포뿐만 아니라, 다른 물리량을 측정할 수 있어 다양하게 응용이 가능함. 특히 전자파 장애가 많은 환경인 교량, 지하철, 발전소, 변전소, 송전탑, 고전압, 대전력을 사용하는 공장 등에서 다양하게 응용이 가능함. 또한 고온 다습 고압력의 환경, 폭발위험이 있는 환경 등이 있는 곳에 광섬유 센서는 특별한 어려움 없이 사용될 수 있음. 이러한 장점들을 바탕으로 광섬유 센서는 지난 20여 년 간 꾸준히 발전해 왔으며, 지금은 주로 군사용, 산업용, 그리고 의료용을 중심으로 그 사용이 비약적으로 늘어나고 있고, 앞으로 방대한 시장을 형성할 뿐 아니라 다른 산업에의 파급 효과도 매우 클 것으로 기대됨.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

아래의 내용처럼 산불 탐지와 터널 내 화재 탐지 내용의 연구 사례등이 검토 되었다. 터널과 산불 탐지의 알고리즘 전화 다른 개념을 가지고 있기 때문에 적용성에 관한 연구는 필요 없을 것으로 판단된다. 터널내 화재에 대한 연구는 몇 사례에서 검토되었으나 아직은 실제 탐지 가능성 미약 및 상용화의 가능성이 없는 것으로 나타났다.

| 기존연구 사례 | 산불 탐지 | 터널 내 화재 탐지 |
|---|---|---|
| 기존연구 | • An Intelligent Real-Time Fire Detection Method Based on Video Processing : T.-H. Chen, C.-L. Kao, S.-M. Chang<br><br>• An Intelligent System for Automatic Fire Detection in Forest : V. Cappellini, L. Mattii, A. Mecocci | • Method Fire Detection in Tunnels Using an Image Processing Method : S. Noda, K. Ueda<br><br>• Road and Railway Tunnel Fire Hazard: a New Measurement Method for Risk Assessment and Improvement of Transit Safety : A. Cigada, D. Ruggieri, E. Zappa<br><br>• Integrated Traffic Flow Monitoring System in a Large-Scale Tunnel |
| 알고리즘 개요 | • 컬러 컬러 정보를 이용하여 녹색의 숲과 적색의 산불을 탐지<br><br>•이전 필드와의 차이 영상을 이용하여 빠르게 발생하는 연기 등을 탐지 | • Histogram을 추출한 후 정상 상태와 화재 상태와의 차이 비교<br><br>• 터널로 진입하는 차량이나 열차의 비정상적인 과열 징후 탐지<br><br>• 터널 내의 비정상적인 상황을 모니터링 하는 시스템 |
| 특징 | • 탐지 산불 감지 시스템의 경우 일반적으로 각 프레임 간의 움직임이 거의 없는 정지 영상<br><br>•조류의 움직임 등은 그 크기가 매우 작아 무시 가능<br><br>• 컬러 정보를 이용할 경우 녹색의 숲과 적색의 화염이 쉽게 탐지 가능<br><br>• 야간의 경우 화염을 쉽게 탐지 가능 | • 터널 내의 빠른 차량 움직임에 대한 대처 미약<br><br>• 차량의 매연 등에 대한 대처 미약<br><br>• 차량의 전조등, 후미등에 의한 잘못된 화염 화재 탐지 가능성 |
| 결과 | • 가능 산불 탐지와 터널 내 화재 탐지는 전혀 다른 문제로 독자적인 알고리즘의 개발이 요구됨 | •터널 내 화재의 실제 탐지 가능성 미약 및 상용화 가능성 없음 |

## 제 7 장 참고문헌


[1] S. Maciocia, "Fire detection technologies for tunnel safety," Safety in road and rail tunnels, pp. 249-260, 1998.

[2] J.-P. Emch and S. Maciocia, "The role of the fire alarm system within the safety concept of a tunnel," Tunnel and underground station fires, pp. 305-314, 2000.

[3] S. Maciocia, "Early fire detection technologies for tunnel safety," Safety in road and rail tunnels, pp. 305-314, 2001.

[4] E. P. Simoncelli and W. T. Freeman, "The steerable pyramid : A flexible architecture for multi-scale derivative computation," *2nd IEEE Intl. Conf. on Image Porcessing,* 1995.

[5] E. P. Simoncelli and Hany Farid, "Steerable Wedge Filters for Local Orientatino Analysis," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 5, no. 9, pp. 1377-1382, September. 1996.

[6] J. Portilla and E. P. Simoncelli, "A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelets coefficients," *Intl. Journal of Computer Vision*, 40:49-71, 2000.

[7] A. Oliva and A. Torralba, "Modeling the shape of the scene: a holistic representation of the spatial envelope," *Intl. Journal of Computer Vision*, 42(3):145-175, 2001.

[8] K. Murphy, A. Torralba, and W. Freeman, "Using the forest to see the trues: a graphical model relating features, objects and scenes," AIM-2003, 2003.

[9] A. Torralba and P. Sinha, "Recognizing indoor scenes," *Technical report*, MIT AI Lab, 2001.

[10] T. Starner, B. Schiele, and A. Pentland, "Visual contextual awareness in wearable computing," *Intl. Symposium on Wearable Computing,* pages 50-57 1998.

[11] A. Torralba and P. Sinha, "Contextual priming for object detection," *Technical report*, MIT AI Lab, 2001.

[12] J. Wolf, W. Burgard, and H. Burkhardt, "Robust vision-based localization for mobile robots using an image retrieval system based on invariant features," *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics & Automation(ICRA)*, 2002.

[13] A. Torralba and P. Sinha, "Statistical context priming for object detection," *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 763-770, 2001.

[14] A. Torralba, K. Murphy, W. Freeman, and M. Rubin, "Context-based vision system for place and object recognition,"

[15] T. M. Strat and M. A. Fischler, "Context-based vision: recognizing objects using information from both 2-D and 3-D imagery," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 13, no. 10, pp. 1050-1065, 1991.

[16] Meacham, B. J., "International Developments in Fire Sensor Technology," *J. of Fire Protection Engineering*, 6 (2), 89-98, 1994.

[17] Morgan, A., "New Fire Detection Concepts with Fibre Optics Technology," *Fire Safety Engineering*, 35-37, 2000.

[18] Iida, O., Onoda, D., Kono, S., Hshiba, K. and Ohsawa, S., "Expansion of Measuring Range for a Fiber-Optic Distributed Temperature Sensor and Applications to Commercial Plants," IMTC'94, May 1994, Hamamatsu, Japan.

[19] Wang, A., Liu, W., Li, X., Yue, C., Wang, Y., Wang, Q., and Cai, X., "Distributed Optical Fiber Temperature Detecting and Alarm System," 12th International Conference on Automatic Fire Detection, March 2001, Gaithersburg, USA.

[20] Maegerle, R., "Fire Protection Systems for Traffic Tunnels Under Test," 12th International Conference on Automatic Fire Detection, March 2001, Gaithersburg, USA.

[21] Ericsson Network Engineering AB, Sundbyberg, Sweden, "Distributed Temperature Measurement Using Optical Fibres," System Document, 1994.

[22] Basnett, T. and Barber, S. J., "Distributed Temperature Measurement with Optical Fibres," System document, Cossor Electronics Ltd, Harlow, Essex, 1994.

[23] Culverhouse, D., Farahi, F., Pannell, C.N., and Jackson, D.A., "Potential of Stimulated Brillouin Scattering as Sensing Mechanism for Distributed Temperature Sensors," Electronics Letters, Vol. 25, No. 14, 1989.

[24] Bao, X., Webb, D. J., and Jackson, D. A., "32-km Distributed Temperature Sensor Based on Brillouin Loss in an Optical Fiber," Optics Letter, Vol. 18, No.18, September 1993, pp.1561-1563

[25] Thevenaz, L., Nikles, M., Fellay, A., Facchini, M. and Robert, P., "Truly Distributed Strain and Temperature Sensing Using Embedded Optical Fibers," SPIE proceedings, 3330:301-314, 1998.

[26] Bao, X., Dhilwayo, J., Heron, N., Webb, D. J., and Jackson, D. A., "Experimental and Theoretical Studies on a Distributed Temperature Sensor Based on Brillouin Scattering," J. of Lightwave Technology, Vol. 13, No. 7, 1995.

[27] Fellay, A., Thevenaz, L., Facchini, M., Nickles, M., and Robert, P., "Distributed Sensing Using Stimulated Brillouin Scattering towards Ultimate Resolution," Optical Fiber Sensors, Vol. 16, 324-327, 1997.

[28] Smith, J., "Characterization of the Brillouin Loss Spectrum for Simultaneous Distributed Sensing of Strain and Temperature," M. Sc. Thesis, University of New Brunswick, 1999.

[29] Bao, X., Brown, A., DeMerchant, M. and Smith, J., "Characterization of the Brillouin-Loss Spectrum of Single-Mode Fibers by Use of very Short (<10-ns) Pulses," Optics Letters, Vol. 24, No.8, 510-512, 1999.

[30] Garus, D., Gogalla, T., Krebber, K., and Schliep, F., "Brillouin Optical-fiber Frequency Domain Analysis for Distributed Temperature and Strain Measurements," J. of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 4, 1997.

[31] DeMerchant, M., "Distributed Strain Sensing for Civil Engineering Applications," Ph.D. Thesis, University of New Brunswick, 2001.

[32] Abramowitz, M., and Stegun I., Handbook of Mathematical Functions, Dover, 228-269, 1965.

[33] Bao, X., Webb, D. J., and Jackson, D. A., "Distributed Temperature Sensor Based on Brillouin Loss in an Optical Fiber for Transient Threshold Monitoring," Canadian Journal of Physics, Vol. 74, 1-3, 1996.

[34] Hasegawa T and Hotate K 1999 Measurement of Brillouin gain spectrum distribution along an optical fibre by direct frequency modulation of a laser diode *SPIE Fibre Optic and Laser sensors and Applications (Boston)* 3860-44 pp 306-16

[ 붙 임 1 ]

# 자체평가의견서

## Ⅰ. 연구개발 실적

| 평 가 항 목 | 가중치 (A) | 평가척도(B) 수 5 | 우 4 | 미 3 | 양 2 | 가 1 | 득점 (A×B) | 평 가 의 견 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **연구수행** | | | | | | | | |
| ① 연구개발 결과의 우수성 및 창의성 | 2 | 5 | | | | | 10 | 본 건과 관련하여 해외 학술지에 2건, 국내 및 해외 학술대회에 논문이 각 1건 게제. 총 4건의 논문이 게재되는 등 연구 결과의 창의성을 인정 받음 |
| ② 연구개발 수행노력의 성실도 | 2 | 5 | | | | | 10 | 2차년도 연구 기간 동안 매주 개발회의 및 세미나를 실시하면서 진도 확인 및 아디디어 교류, 연구 개발을 진행함 |
| ③ 연구개발 결과에 대한 활용가능성 | 2 | | 4 | | | | 8 | 시제품의 성공적인 개발에 좌우될 것으로 판단됨 |
| ④ 연구개발 결과의 파급효과 | 2 | 5 | | | | | 10 | 성공적인 개발 시 장대 터널 뿐만 아니라 산불 감시용 등 다양한 활용이 가능할 것으로 판단됨 |
| ⑤ 공개 발표된 연구개발 성과(논문 게제 또는 산업재산권 출원 및 심사 가능성, 발표회개최 등) | 2 | | 4 | | | | 8 | 논문은 계획대비 200%의 실적을 올렸으나 특허는 현재 준비 중으로 6월 중에 출원 예정임 |
| **연구목표 달성도(연구개발계획서상에 기술된 연구목표)** | | | | | | | | |
| ⑥ 모의 화재실험을 통한 자료 축적 | 3 | 5 | | | | | 15 | 건설기술연구원 방재실험동의 모의 화재 실험을 통하여 영상 처리를 이용한 화재 인식에 필요한 모든 자료를 축적 |
| ⑦ 성능개선 | 3 | | 4 | | | | 12 | 모의 화재 실험을 통하여 다양한 자료를 축적하였으며 이를 통한 성능 개선 작업을 진행 중임. 3차년도에서는 성능 개선 작업이 완료될 예정임 |
| ⑧ 실험자료를 이용한 시작품의 현장 적용성 평가 | 4 | 5 | | | | | 20 | 성능 개선을 통하여 건설기술연구원 방재실험동의 화재 실험 영상에 대한 화재 탐지 성능을 극대화 시킴 |
| 소계 전문가 평가점수 (100점 만점) | 20 | | | | | | 93 | |

## Ⅱ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

제1 연구과제는 2차년도 연구 기간 내내 매주 연구 개발 진행 상황 확인 및 연구 개발 세미나를 진행하면서 본 연구 과제 개발을 충실히 진행하였고 본 연구의 연구 목표를 일부 항목들은 초과 달성하는 등 성공적인 연구 개발을 진행하였다.
또한 1차년도 연구의 경우 대구 달성 터널 화재 영상 및 그래픽 영상을 통한 제한적인 알고리즘의 개발에 머물렀으나 2차년도 연구의 모의 화재 실험을 통해 실제 터널 화재 상황을 재현해 내고 이를 통하여 본 연구 개발 결과의 타당성을 검증하였다.

제2 연구과제의 경우 국내에서는 아직 제대로 구현하지 못하고 있는 BOTDA의 신호처리시스템을 구현하였으며, 이의 검증을 위한 온도 부가 실험 결과 온도 분해능은 목표치인 1℃/1㎒에는 약간 못 미치는 결과를 나타내었으나, 각 측정 지점에서의 거리분해능은 2차년도의 거리분해능 목표 값인 1m에 어느 정도 만족하였다. 그리고 이 시스템의 현장적용을 위한 실내실험과 건설기술연구원 화재실험동에서의 모의화재 실험은 전반적으로 잘 시행되었으며, 이에 대한 후속으로 실질적인 연구가 필요하며, 성능 개선의 필요성이 있다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

제1연구과제의 2차년도 연구 세부 목표로서 터널 모의 화재 실험을 통해서 개발된 알고리즘의 타당성을 검증하고 또한 문제점을 도출하여 이에 대한 성능 개선을 도모하고자 하였으며 본 2차년도 연구 기간 동안 계획했던 연구 목표를 충실히 수행하였다. 또한 터널 모의 화재 실험 시 발생했던 문제점(대부분 본 연구 개발자에 의해서 여러 가지 상황을 만들어 내고 고의적으로 유발 시킨 문제점들임)들은 성능 개선 단계에서 대부분 해결되었으며 이에 대한 평가가 반영되어야 할 것으로 판단된다.

제2연구과제의 2차년도에는 실질적인 시작품을 구현하기위하여 광원(Laser Diode)과 광원 드라이버 그리고 EDFA 파트의 성능이 더욱 향상된 부품을 사용하고, 메인 PCB 보드와 광원 전용의 PCB 보드 그리고 각 구성부품에서 사용되는 전원을 분리해 주는 전원 분배부 PCB로 구성되는 BOTDA 시작품 전용으로 만든 PCB에 조립하여 특성을 평가하였다. 시작품의 크기는 가로 52㎝, 세로 50㎝, 높이 18㎝이다. 이와 같이 PCB보드에 부품을 구성하여 제품화한 BOTDA 시작품은 현재 국내에서는 최초로 시도되는 것이고, 현 위탁과제는 시작품을 제작하는 것이 주된 목적이므로, 상당 부분의 목적은 당성한 것으로 평가되어져야 하며, 성능향상은 이 이후 고려되어져야할 적은 부분으로 시제품의 형태가 갖추어지는 것에 대하여 상당 부분 평가되어져야 하며, 성능의 평가는 이후 서서히 진행되어 질 수 있음을 고려해야한다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

2006년 말 기준으로 국내 장대 터널은 90개소 180KM에 이르고 있다. 터널 환경의 경우 차량 사고 발생 시 대형화되기 쉽고 차량 사고 시 발생할 수 있는 터널 화재의 경우 엄청난 재산 및 인명 피해를 유발하게 되며 사회적, 경제적인 손실이 발생되게 된다. 따라서 본 연구가 기간 내에 완성되어 시제품이 개발되고 실제 터널 내에 장착되어 터널 내에 발생되는 연기 화재나 화염 화재를 조기 탐지하게 되면 이로 인한 파급효과는 매우 크리라 판단된다. 또한 본 기술을 응용하면 향후 건물 내 화재 발생을 감지하거나 산불 감지 시스템의 개발에 적용할 수 있는 등 많은 응용 제품의 개발에 일조할 것으로 판단된다.

제2연구과제는 현재 만들어진 시작품을 실제 현장에 적용하여 성능을 평가하고 특성을 파악할 필요가 있으며, 화재감지 성능을 평가하여 터널 및 대형 구조물의 화재감시 시스템에 적용을 고려해 볼 필요가 있다. 특히 철도 및 지하철의 터널에서 발생되는 화재 감시 및 온도 모니터링뿐만이 아니라, 설비 열화 온도 및 누수 측정, 변전실 전력설비 열화 측정 감시, 발전 · 배전설비의 특고압 출력부 감시, 대규모 저장 시설의 온도 측정, 댐 등의 국가 주요시설, 변압기 내부 이상 과열 감시, 대형 건축물 내부, 탄광 방재 관리, 대중 이용 시설(극장, 공연장등), 원자력 발전소 터빈과 같은 연속 운전 기기의 온도 감시, 원자력 발전소 해수 온도 감시, LNG 누출 검출 시스템의 온도감시등에 활용할 수 있도록 시스템의 성능향상에 이어 BOTDA에 의한 온도 측정에 대한 표준화가 필요한 것으로 판단된다.

편집순서 6

C O N T E N T S
( 영 문 목 차 )

편집순서 7

## 본 문 작 성 요 령

1. 본문의 순서는 장, 절, 1, 가, (1), (가), ①, ② 등으로 하고
   - 조판프로그램 : HWP
   - 글씨규격 : 신명조(11P)
   - 자간 : 0
   - 줄간격 : 200
   - 여백 : 위쪽 -34, 아래쪽-34, 왼쪽-33, 오른쪽-28, 머리-0, 꼬리-0
   - 출력규격 : A4 로 한다.
2. 장은 원칙적으로 페이지를 바꾸어 시작한다.
3. 한글 전용을 원칙으로 하되 단어의 의미를 분명히 전달하기 위해 필요한 경우에는 한문 또는 원어를 병행하여 작성토록 한다.(이름, 지명, 전문기술용어 등)
4. 참고문헌(reference) 인용의 경우 본문중에 사용처를 반드시 표시한다.
5. 뒷면지 하단에는 <편집순서8>을 넣는다.

**주 의 사 항**

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ **문의처 : 한국건설교통기술평가원** TEL 031)381-6311
**비티컨설턴트(주)** TEL 02)3452-7214

R&D / 05건설핵심C11

**다중융합센서를 이용한 터널화재 고속탐지 시스템 개발 연구보고서**

■ **발행일 / 2007. 08. 24.**
■ **발행처 / 비티컨설턴트주식회사**
**서울특별시 강남구 역삼동 706-25번지**
TEL : 02-3452-7214(대)
■ **인쇄처 / (주)하이베스트문구**

[ 부 표 ]

## Ⅰ. 인쇄제작 사양

가. 규 격 : 국배판(A4크기, 가로21㎝×세로29㎝)

나. 제 본 : 좌 무선철

다. 용 지 : 표지 - 250g/㎡ 양면 아트지(라미네이트 코팅)

내지 - 80g/㎡ 모조지

라. 색 상 : 표지 - 별색바탕 : C50, M20, Y59, K0

* 표지는 **무광**으로 처리

내지 - 검정 1도(내용에 따라 별도 색상 첨가도 가능)

마. 인 쇄 : 표지 - 옵셋 인쇄

내지 - 마스터 인쇄

## Ⅱ. 편집순서

1. 표지(앞면)
2. 제출문
3. 요약문
4. SUMMARY
5. 목차
6. CONTENTS
7. 본문
8. 뒷면지
9. 표지(뒷면)