

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호()

국토교통기술사업화지원사업 제4차 연도 최종보고서

R&D / 19TBIP-C111209-04

음향신호 처리 기반의 터널 교통사고 자동검지시스템 개발 최종보고서

2019. 09. 26.

주관연구기관 / 에이엔제이솔루션(주)
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
광주과학기술원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'음향신호 처리 기반의 터널 교통사고 자동검지시스템 개발'(연구개발 기간 : 2016. 04. 27 - 2019. 06. 30.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 09. 26.

주관연구기관 : 에이엔제이솔루션(주)

공동연구기관 : 광주과학기술원

공동연구기관 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 신영달

공동연구책임자 : 김홍국

공동연구책임자 : 장진환

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C111 209-04	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. ~2019.06.30.	단계구분	(4단계) / (총 4단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명	국토교통 안전기술 사업화분야			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	음향신호처리기반의 터널교통사고 자동검지시스템 개발			
연구책임자	신영달	해당단계 참여연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 138,000천원 민간: 92,200천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 230,300천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 31명 내부: 31명 외부: 명	총 연구비	정부: 1,246,000천원 민간: 832,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 2,078,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)에이엔제이솔루션			참여기관명	한국건설기술연구원 광주과학기술원
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 (보안과제로 분류할 사항 없음)
-------------------------	----------------------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록· 기탁 번호	10	2				5					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약 매년 터널에서 발생하는 600여 건의 교통사고 자동검지를 통한 2차사고 예방을 위해 터널 내 음향데이터(충돌, 스키드)를 자동으로 분석하여 터널 내 교통사고를 즉시(5초 이내) 검지할 수 있는 시스템 개발	보고서 면수 쪽 71
---	----------------

요약문

연구의 목적 및 내용	매년 터널에서 발생하는 600여 건의 교통사고 자동검지를 통한 2차사고 예방을 위해 터널 내 음향데이터(충돌, 스키드)를 자동으로 분석하여 터널 내 교통사고를 즉시 검지할 수 있는 시스템 개발(성능목표 : 검지율 90%, 오검지율 10%, 검지시간 5초)				
연구개발성과	- o 터널 음향신호 처리 알고리즘 개발 - 터널 음향신호 변환, 필터링 등 전처리 알고리즘 개발 - 전처리 음향신호의 패턴분석을 통한 교통사고음 분류 알고리즘 개발 - o 터널 음향신호 수집장치 개발 - 터널 내 음향 데이터 수집을 위한 특수 마이크로폰 개발 - 음향신호 디지털라이징, 압축, 실시간 전송을 위한 제어부 개발 - o 터널 음향 데이터 DB 구축 - 터널 음향 데이터 수집을 위한 음향신호 수집장치 현장 설치·운영 - 터널 음향 데이터 분석을 위한 최적 DB 설계 및 구축 - o 개발시스템 성능평가 및 효과분석 - 개발시스템 성능평가 방법론 정립 및 실도로 수집 데이터 기반 평가 - 개발시스템 경제성 분석을 통한 효과분석				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- o 국토교통부 “도로터널 방재시설 설치 및 관리지침”에 의거하여 의무설치 규정된 1km 이상의 장대터널(시장규모 약 346억 원)에 적용 - o 2015년 착공한 서부간선도로, 계획 중인 경부고속도로 서울구간 지하화 사업 등 도시부 지하도로에 적용 - o 음향의 산란현상이 최소화 되는 터널의 특성을 고려한 기술개발로 개발 제품 성능 극대화 구현 용이 ※ 기존 영상 기반의 장비의 경우, 터널 내의 매연, 먼지, 입·출구 섬광 등으로 성능저하 현상 발생 - o 국내 최초(세계 2번째) 음향분석 기반 터널 교통사고 검지기술 개발 - o 음향신호 기반임에 따라 교통사고 발생 시 즉각적인 검지가 가능하여 2차사고 예방에 효과적임 - 검지시간 단축에 따라 사망률 27% 절감 가능 - o 기존 영상 기반 장비에 비해 저가의 음향센서를 활용함에 따라 효율적 터널안전 인프라 구축 가능 - 음향 센서는 영상 센서에 비해 약 60% 비용절감이 가능함				
국문핵심어 (5개 이내)	터널	교통사고	음향신호	자동검지	2차사고

< 목 차 >

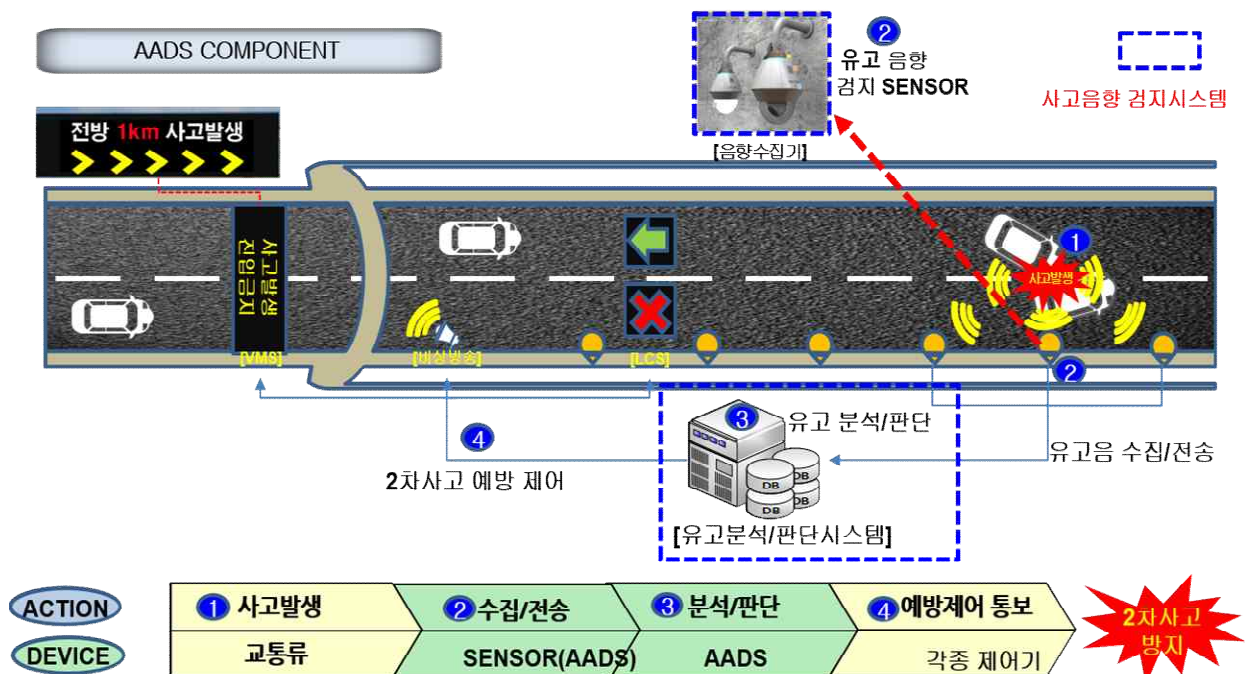
1. 연구개발과제의 개요	1
가. 개발기술요약	1
나. 기술개발필요성	2
다. 동향분석	5
2. 연구수행내용 및 성과	15
가. 터널 음향신호 처리 알고리즘 개발	15
나. 터널 음향신호 수집장치 개발	27
다. 터널 음향 데이터 DB 구축	34
라. 개발시스템 성능평가 및 효과분석	41
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	61
4. 연구개발성과 활용계획 및 기대효과	63
가. 활용계획	63
나. 기대효과	64
다. 사업화실적	65
라. 연도별 마케팅 전략	71
참고 문헌	74

1. 연구개발과제의 개요

가. 개발기술 요약

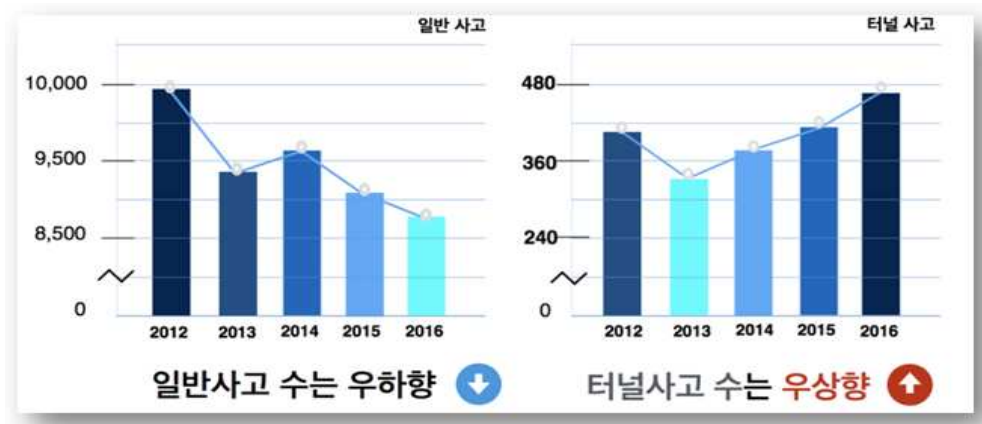
구분	사업화 기술
과제명	음향신호 처리 기반의 터널 교통사고 자동검지시스템 개발
사업화 기술 및 분야	■ 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화
지식재산권	(특허번호) 제 10-1312547 호 (특 허 명) 음향신호 처리 기반의 터널 내 사고 상황 인식 또는 판별을 위한 기기 (권 리 자) (주)에이엔제이솔루션
우수성	- 음향신호 처리 기반의 터널 내 교통사고 검지기술은 국내 최초 개발기술임에 따라 비교대상 기존기술 없음 - 검지시간 2초 이내의 신속한 사고검지 - 영상유고검지시스템 등 유사기술과의 차별화 내용은 다음 장 설명

- 터널에서 돌발상황(충돌, 스키드) 발생 시 이를 즉시 검지하여 후방차량에게 알려 줌으로써 2차 사고를 예방하는 첨단교통관리시스템(국토부 도로터널 방재시설 및 관리지침에 의거 장대터널에 의무설치 대상)
- 개발시스템은 현장에 설치하는 음향 수집 장치와 센터에 구축하는 음향신호 분석 DB로 구성



나. 기술개발 필요성

- 매년 600여 건(2011년 기준)의 크고 작은 교통사고가 고속도로 터널 내에서 발생하고 있는데, 터널 내 사고 상황에서는 사고를 빨리 감지하는 것이 무엇보다 중요하기 때문에, 신속하게 사고를 감지하여 후방차량에게 정보를 제공하는 등 방법으로 2차 사고를 예방하는 터널교통관리시스템 도입이 필요함



- 우리나라는 산지가 많은 지형특성 때문에 도로 건설시, 터널 시공이 불가피한 경우가 있으며 터널 수가 매년 증가하는 추세인데, 2003년도에 603개소(연장 390km) 이었던 것이 2011년 말에는 1,465개소(연장 1,053km)로 증가하여, 최근 8년 동안, 터널 수는 2배 이상, 연장은 3배 이상 증가

<국내 터널 현황>

연도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
터널개소	603	667	817	932	1,064	1,152	1,287	1,382	1,465
터널연장(km)	390	432	551	648	755	806	910	974	1,053

- 터널의 구조적 특성상 운전자 시야가 한정되어 있어 터널 밖 도로형태를 인지하기 어렵고, 터널 통과 직후 급한 내리막 경사나 급커브가 있는 경우 속도를 갑자기 줄이게 되는데 이 때문에 교통사고의 위험이 높아짐
- 또한 터널은 일반도로보다 공기저항이 높기 때문에 차로변경 시, 평소보다 더 좌우로 움직이게 되어 일반도로보다 사고 가능성이 높아질 뿐만 아니라 사고 발생 시 터널 길 어깨가 좁기 때문에 차량을 대피시키기 어려워 2차 사고로 이어질 확률이 높아 대형사고의 위험이 큼
- 실제로 최근 5년간 터널 내 사고가 31.2% 증가한 것으로 나타남

<터널 내 교통사고 발생현황>

연도	2007	2008	2009	2010	2011
발생건수	497	520	586	572	652

출처 : 경찰청 교통사고통계

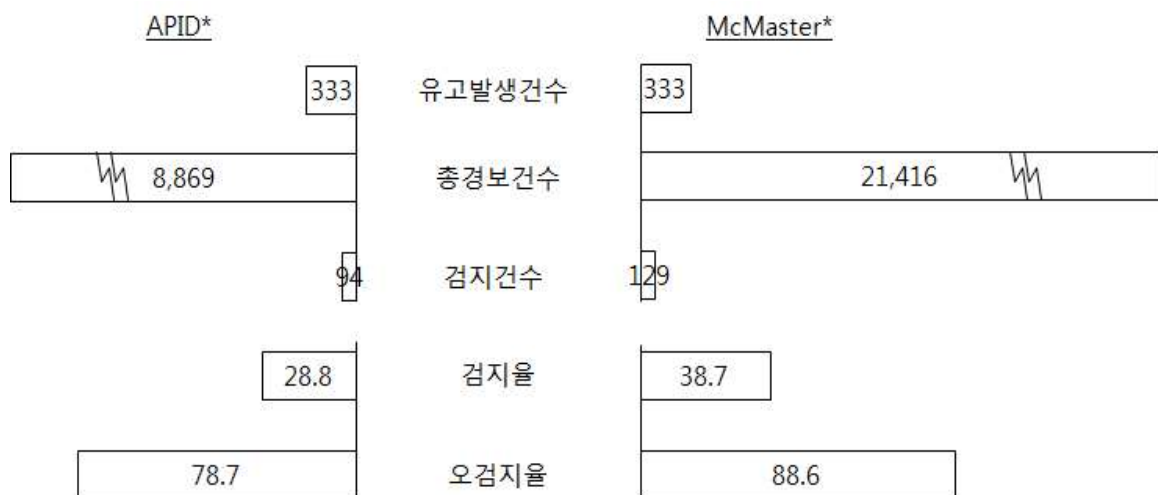
- 국내 터널 화재사고에 인적 물적 피해 현황을 살펴보기 위해 고속도로 터널의 최근 5년간 화재사고 현황을 분석한 결과, 총 60건의 화재사고가 발생하였으며, 사망자는 3명, 부상자는 5명으로 총 8명의 사상자가 발생한 것으로 조사됨
- 연평균 12건의 화재사고가 발생하여 연간 사상자수는 1.6명, 물적 피해는 0.16억 원이 발생함

<터널 내 화재사고 발생 현황>

연도	발생건수	사망자수	부상자수	피해액(천원)
2010	10	2	0	469,585
2011	10	0	3	13,612
2012	20	1	2	450,430
2013	9	0	0	10,000
2014	11	0	0	25,900
합계	60	3	5	969,527

출처 : 한국도로공사

- 물적 피해액이 가장 큰 사고는 2007년 발생한 대전~통영간 고속도로의 통영 2터널 (1,628m)의 미사일 추진체에 의한 화재사고가 있었으며, 재산피해액은 약 9.1억 원으로 최근 5년간 평균 피해액의 55배의 비용이 발생함
- 국내에서는 터널 교통사고를 감지하기 위해 차량검지기 데이터 기반 돌발상황 자동검지시스템, 영상유고감시설비, 육안감시를 위한 CCTV 등을 운영 중임
- 차량검지기 데이터 기반 돌발상황 자동검지시스템은 서울시, 도로공사 등에서 운영 중이지만, 감지율(detection rate)이 낮고, 오검지율(false-alarm rate)이 높아 활용성 저하 문제점 발생



<차량검지기 데이터 기반 돌발상황 자동검지시스템 평가결과>

- 영상유고감시설비의 경우, 국토교통부 도로터널 방재지침 연구용역에서 36개 국도터널에 설치된 장비를 조사한 결과, 오작동이 많은 것으로 파악됨
- CCTV의 경우 터널 교통사고 및 화재사고의 초기 인지수단으로 가장 정확한 정보를

수집할 수 있지만, 운영자가 직접 육안으로 관측해야하기 때문에 많은 인력 활용비용이 소요됨

- 이러한 기존 기술의 터널 교통사고 검지성능 저하는 국내뿐만 아니라 미국 등 선진국에서조차 구축된 전체 돌발상황 검지시스템 중 약 12%만이 실제로 운영되고 있는 것으로 조사됨



<터널 돌발상황 검지시스템 문제점>

다. 동향 분석

(1) 정책동향 분석

- 터널의 교통관리시스템 관련 규정인 ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’은 2004년에 처음으로 제정·공포되었으며, 2009년에 개정을 통해 현재의 행정규칙(예규)으로 승격되어 재공포 되어 있는 상태임
- ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’은 도로터널 사고예방, 초기대응, 피난대피, 소화 및 구조 활동, 사고 확대 방지를 기본 목적으로 국토교통부에서는 “도로터널 방재시설 설치 및 관리지침”을 마련하여 터널 방재시설의 계획·설계·시공 및 관리 시 적용해야 할 최소한의 기술기준을 규정함
- 방재시설설치를 위한 터널등급은 터널연장을 기준으로 하는 연장기준등급과 교통량 등 터널의 제반 위험인자를 고려한 위험도지수 기준 등급으로 구분

<터널 연장 기준 방재 등급의 범위>

등급	터널연장(L) 기준등급	위험도지수(X) 기준등급
1	3,000m 이상	$X > 29$
2	1,000m 이상, 3,000m 미만	$19 < X \leq 29$
3	500m 이상, 1,000m 미만	$14 < X \leq 19$
4	연장 500m 미만	$X \leq 14$

- 터널 위험도지수는 주행거리계(터널연장×교통량), 터널제원(종단경사, 터널높이, 곡선반경), 대형차 혼입률, 위험물의 수송에 대한 법적규제(대형차통과대수, 위험물수송차량에 대한 감시시스템, 위험물수송차량에 대한 유도시스템), 정체정도(터널 내 합류/분류, 터널전방 교차로/신호등/TG), 통행방식(대면통행, 일방통행)을 잠재적인 위험인자로 하여 산정
- 방재시설의 종류 중 본 연구와 연관된 터널 돌발상황 검지와 관련한 설비의 설치기준은 다음과 같음

<터널 교통사고 검지설비 설치기준>

구분	1등급	2등급	3등급
CCTV	○(기본)	○	△
영상유고감지설비	△(권장)	△	△

<터널 교통사고 검지설비 설치기준>

구분	설치위치 및 방법	설치 간격
CCTV	터널측벽설치(피난대피시설 및 터널전 구간 감시가 가능하도록 설치함)	- 터널내: 200~400m - 터널외부: 500m
영상유고감지설비	터널 전 구간 감시가 가능하도록 설치 간격을 정함	- 100m 간격

- 2001년 스페인 몽블랑 터널에서 트럭 전복에 따른 화재사고로 인한 30여 명 사망사고 이후, 전 세계적으로 터널 교통사고의 자동검지 기술 개발을 적극적으로 추진
- 미국의 교통공무원협회인 AASHTO는 터널 안전관리방안 마련을 위한 워크숍을 개최하여 다음의 사항을 결정함
- 효과적인 터널 화재 및 교통사고 자동검지시스템 기술 개발
- 기존 터널 돌발상황 자동검지시스템 평가
- 차량검지기 데이터를 이용한 터널 돌발상황 검지 알고리즘 개선
- 기존 영상을 대체할 수 있는 효과적인 터널 돌발상황 검지기술 개발

Guidelines for Existing and New Tunnels	Automatic Incident Detection Systems & Intelligent Video
• Need AASHTO tunnel guidelines - Planning, design, construction, maintenance, inspection, and operations Note: AASHTO Subcommittee on Bridges and Structures created Technical Committee for Tunnels, T-20	• Automatically detects, tracks, and records incidents.* • Tells operator to observe event in question. • Allows operator to take appropriate action. • This concept can also be applied to detect other activities and incidents in areas besides tunnels, from terrorist activities to accidents, vandalism and other crimes, fires, vehicle breakdowns, etc.

<미국의 터널 안전관리정책>

- 유럽의 경우 1999년 몽블랑 터널 화재사고로 39명이 사망한 이후, 터널에 관한 안전성 강화를 위해 전 유럽이 참여하는 지침서(Recommendations for the enhancement of preventive tunnel safety)를 작성하였으며, 터널 돌발상황 자동 검지와 관련한 지침 내용은 다음과 같음
- 터널의 돌발상황 검지는 루프검지기, 레이더검지기, CCTV를 기반으로 이루어짐
- 루프검지기는 100m 간격(스페인 500m, 독일 300m)으로 설치되어 지점의 교통량, 점유율, 속도 데이터를 검지하고, 검지된 데이터와 돌발상황 검지 알고리즘을 이용하여 돌발상황을 신속하게 검지하는 장비로써, 이는 침두시 교통량이 많을 경우 돌발상황을 신속히 검지하지만, 교통량이 적은 비침두시에는 돌발상황 검지율이 저하되는 단점이 있음
- 레이더검지기는 프랑스, 독일, 스페인 등지에 설치되어 있는데, 이는 차량에 의해 반사되는 레이더파의 도플러 효과를 이용하여 교통량, 속도 등을 검지하고 이를 이용해 돌발상황 여부를 검지하는 장비로써, 이는 터널상황에 적합한 튜닝작업이 어렵다는 단점이 있음
- CCTV는 예전에는 터널 돌발상황을 육안으로 모니터링 하는 용도로만 이용되었지만, 최근에는 영상 처리 기술 발전에 힘입어 수집 영상의 디지털화 및 알고리즘을 이용하여 터널 돌발상황을 자동으로 검지하는데, 문제점은 터널의 매연 먼지, 벌레, 터널 입출구부 및 차량의 전조등에 따른 빛 반사 등의 영향으로 오검지율이 높다는 단점이 있음

Safety equipment in road tunnels

Ventilation systems
In the event of a fire the ventilation system either extracts smoke from the tunnel or pushes smoke in a single direction. In this first case you should face the airflow and walk to the nearest emergency exit.

Emergency exits are clearly marked by appropriate signs and lights. In the event of a fire, always leave your vehicle immediately and follow emergency lights showing the escape route to the emergency exit. Emergency exits have fireproof and smokeproof doors.

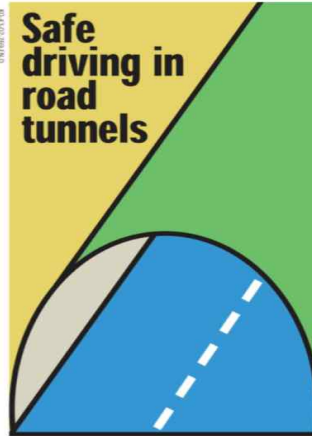
Emergency lanes or lay-bys
There are emergency lanes or lay-bys at regular intervals for vehicles that have broken down. Lay-bys are equipped with emergency stations.

Tunnel lighting
The lighting systems enable the human eye to adapt quickly to the reduced visibility in tunnels. Emergency exits and stations are fitted with continuous emergency lighting.

Traffic radio
Signs indicate the radio frequency for traffic information. Tune in your radio to the station before entering the tunnel. Listen to announcements and follow the instructions given by the tunnel operator.

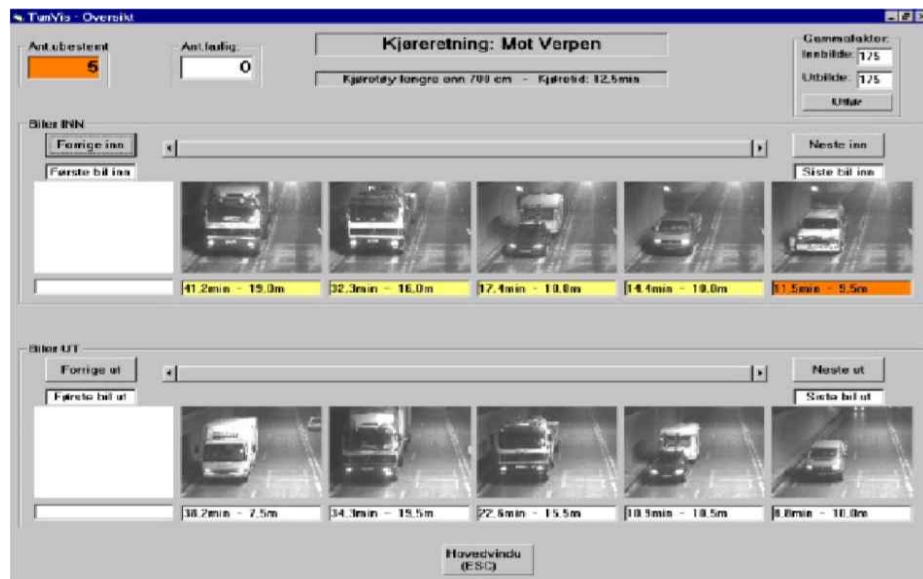
Traffic surveillance
If an emergency call comes from inside the tunnel, the images from the camera in that particular section appear automatically on the monitor in the tunnel operator's control room.

Emergency stations are located in the tunnel at frequent intervals. They are equipped with:
• emergency phones connected to the tunnel control room
• fire extinguishers
• push-button alarms.



European Commission Energy and Transport DG • 16-10489 Brussels
http://energy.ec.europa.eu/energy_transport/index_en.html
Produced by European Commission Directorate General for Energy and Transport

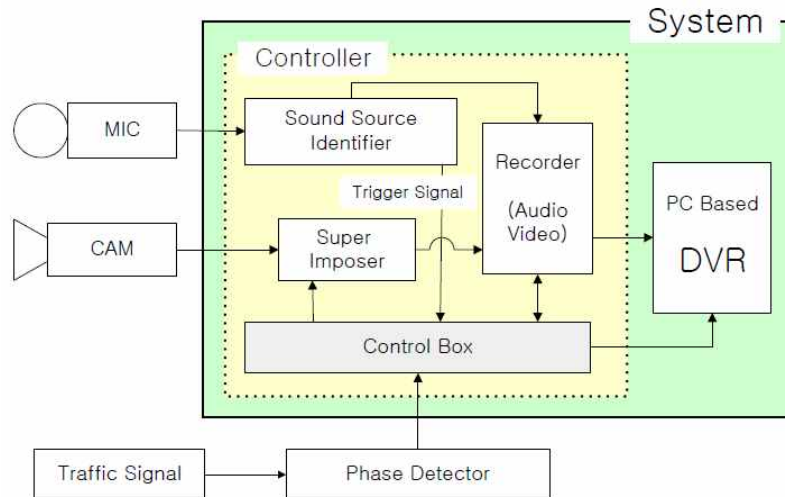
<유럽의 터널 안전관리지침>



<유럽의 터널 돌발상황 검지시스템>

(2) 기술동향 분석

- 동신대학교에서는 교통사고 발생 시 사고음 시뮬레이션기술을 통해 객관적인 분석과 판별이 가능하고, 교통사고음을 분석할 수 있는 사례별 사고음 데이터 확보와 분석으로 판별기준을 정량화하기 위해 교차로 교통사고 자동감지를 위한 사고음 DB 구축 및 음향인식시스템 개발함



<사고음 자동 감지 시스템 블록도>

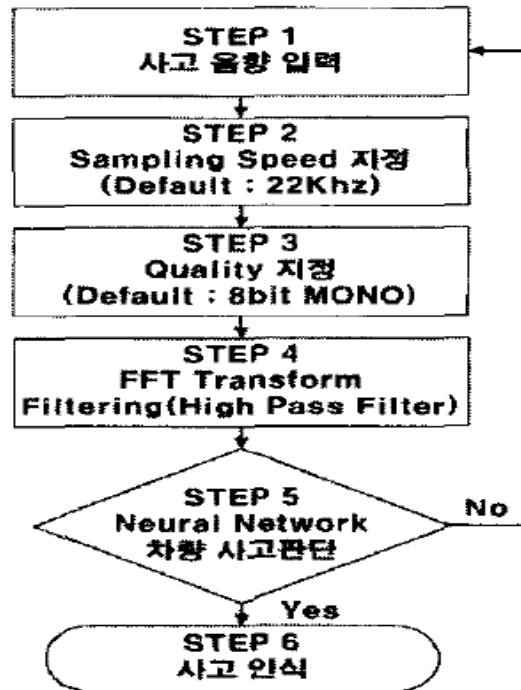


<사고음 자동 감지 시스템>

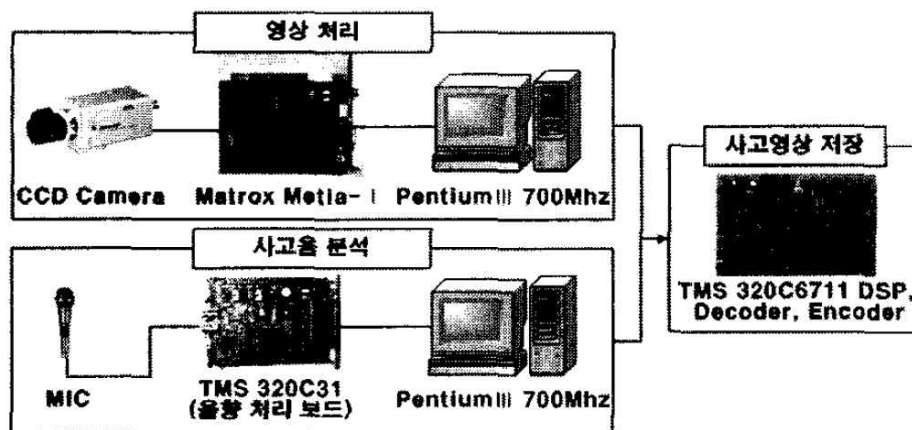
- 개발 내용은 교통사고음의 주파수 특성분석으로 사고발생 시점 인식률 등 영상데이터와 상호 보완적인 사고음 분석과 DB 구축
- 사업성과는 사고음 데이터 분석시 연구실 단계의 특정 DSP 보드를 활용하지 않고 상용화된 PC 기반의 DVR(Digital Video Recorder)에 마이크 설치와 소프트웨어 추가만으로 사고음 분석이 용이한 시스템 개발
- 이형석 등은 교차로 교통사고 자동검지를 위해 영상과 음향 기반의 교차로 내 교통사고 검지시스템을 개발하였는데, 개발시스템은 음향 데이터 수집을 위한 마이크

와, 음향처리를 위한 DSP(Digital Signal Processor)로 구성됨

- 작동 원리는 교차로에 설치된 마이크로로부터 들어오는 아날로그 음향을 음향처리보드에서 FFT(Fast Fourier Transform) 형태의 디지털 데이터로 변환 후 음향분석을 통해 사고를 판단함

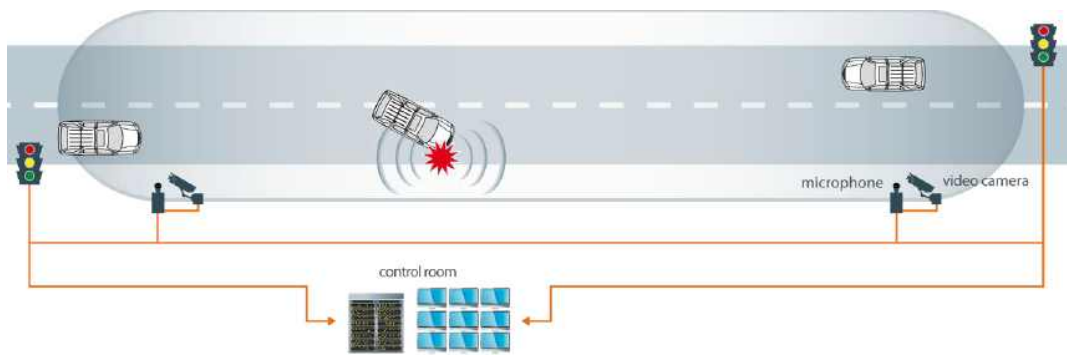


<사고 검지 음향 처리 알고리즘>



<사고음 분석 및 영상 저장을 위한 개발 환경>

- 오스트리아의 Joanneum 연구그룹에서는 터널 음향 분석 기술을 이용한 돌발상황 검지 시스템을 개발하여 현재 오스트리아 다수의 터널에 설치·운영 중임
- 개발 시스템은 터널에서 발생하는 차량 타이어 펑크음, 충돌음, 스키드음 등을 판별하여 약 150m 이내에서 발생하는 터널내 돌발상황을 감지



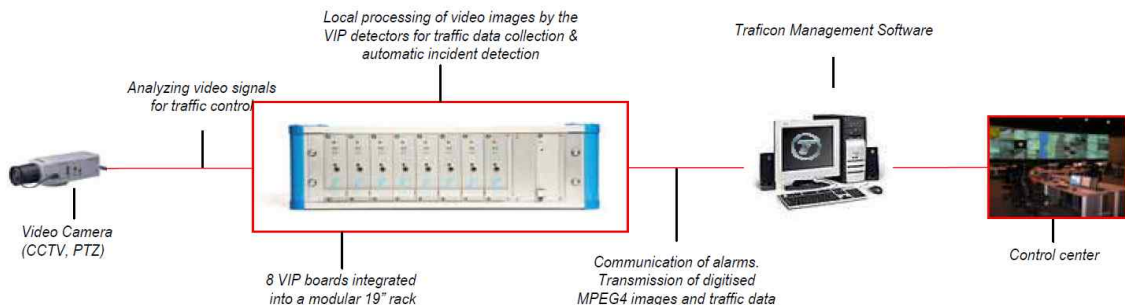
<Joanneum 연구그룹에서 개발한 터널 돌발상황 감지시스템>

- 개발 시스템의 주요 구성품은 터널 음향 수집을 위해 특수 제작된 마이크로폰과 터널의 구조 및 시설물에 대한 영향이 없도록 제작한 광케이블 패널이고, 분석 S/W의 경우에는 센터의 서버에 탑재되어 운영됨



<마이크로 폰 및 광케이블 패널>

- Traficon사는 터널에 설치된 CCTV에 적용할 수 있는 영상 기반의 터널 돌발 감지 시스템을 개발하여 현재 전 세계 다수의 터널에 구축됨
- 돌발상황 감지 항목은 정지 차량, 역주행 차량, 저속 차량, 보행자, 낙하물, 연기 등이 있고, 돌발상황 이외에 속도, 구간점유율 등의 데이터 수집도 가능함



<Traficon사의 터널 돌발상황 감지시스템>

- 국토교통부 연구사업인 “스마트 하이웨이” 사업단에서는 레이더 센서를 이용 하여 노상 낙하물, 노면상태를 검지할 수 있는 기술을 개발함



<레이더 센서 기반 돌발상황 검지기술 개념도>

- 스마트 하이웨이 사업단에서 수행 한 “Multi-Device를 이용한 자동 돌발 검지 시스템 개발” 연구에서는 1km 검지 영역을 설정하고 영상과 레이더검지기를 활용하여 검지 구간 내 돌발상황을 검지하는 기술 개발



<Multi-Device를 이용한 자동돌발검지 시스템>

- Citilog사에서 영상 기반의 터널 돌발상황 검지시스템을 개발하여 사업 수행 중임
- Citilog사 시스템은 팬/틸트를 이용하여 운영 중인 CCTV에 대해서도 운영 가능하다는 장점이 있고, 차량의 궤적을 추적하는 알고리즘을 이용하여 돌발상황을 검지함



<Citilog사의 터널 돌발상황 검지시스템>

- 일반적으로 영상 기반의 시스템의 경우에는 터널 내의 먼지, 벌레, 조명 반사 등으로 인해 오검지률(False Alarm Rate)이 증가하고, 이에 따라 운영자가 해당 시스템을 off 상태로 운영하는 등 문제점이 발생하는 것으로 알려져 있음
- 이러한 기존의 영상 기반 시스템의 문제점 해결을 위해 Navitech사에서는 환경 변화 등에 영향이 적은 레이더 센서 기반의 터널 돌발상황 검지시스템을 개발함
- 개발 시스템은 현장에 설치된 레이더 센서의 신호(6Mb/s)를 센터로 전송하고 센터에서는 전송된 레이더 신호를 처리하여 저속 차량, 정지 차량, 역주행 차량, 보행자, 낙하물 등을 검지하고, 검지된 돌발상황은 운영자 관리 시스템으로 전송되어 운영자에게 경고 메시지를 전달함



<Navitech사의 레이더 센서 기반 터널 돌발상황 검지시스템>

(3) 시장동향 분석

- 본 연구 개발 결과 산출되는 사업화 항목은 터널 내에 설치하는 음향신호 수집장치와 터널 교통관리센터 DB에 탑재하는 음향신호 분석 기반 터널 교통사고 검지 소프트웨어로 구성됨
- 음향신호 수집장치는 ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’에 의거하여 100m(유고감지설비 설치기준) 간격으로 설치한다고 가정함
- 소프트웨어는 터널 관리동(교통관리센터)이 있는 국내 장대터널을 대상으로 관리동별 1식을 도입한다고 가정함
- 상기의 가정과 2013년 기준 국토교통부 통계 자료에 의거한 국내 터널 현황 자료를 기반으로 시장 규모를 산출한 결과, 고속도로는 약 185억원, 전체도로 약 346억원의 시장 규모가 있는 것으로 산출됨
- 최소 시장규모는 현재 주관기관이 운영 중인 고속도로 터널 교통관리시스템을 대상으로 하였고, 확대시장은 전국 도로에 건설된 장대터널을 대상으로 산정함

국내 장대터널 시장		확대 시장			
● 346억 시장규모 (근거: 국토교통부 통계)		국내 장대터널 교통관리시스템 시장규모(억원)			
구분	장대터널 개수(양방향)	터널연장 (m)	교통사고 검지 소프트웨어 (1식*1억/터널)	음향수집장치 (1대*0.05억 /100m)	합계(억 원)
고속도로	80	209,000	80	105	180
일반국도	32	101,000	32	51	67
지방도	12	46,000	12	23	29
시도	16	53,000	16	27	35
합계	140	483,000	140	206	346

최소 목표시장		최소 시장			
● 185억 시장 창출 (근거: 고속도로 통계)		주관기관 운영 중인 고속도로 터널 교통관리시스템 시장규모(억원)			
구분	센터 수 (장대터널 수)	터널연장 (m)	교통사고 검지 소프트웨어 (1식*1억/터널)	음향수집장치 (1대*0.05억 /100m)	합계(억 원)
경기, 강원권	24	73,000	24	37	61
충청권	3	12,000	3	6	9
호남권	32	82,000	32	41	73
경상권	21	42,000	21	21	42
합계	80	209,000	80	105	185

<국내 시장규모 분석>

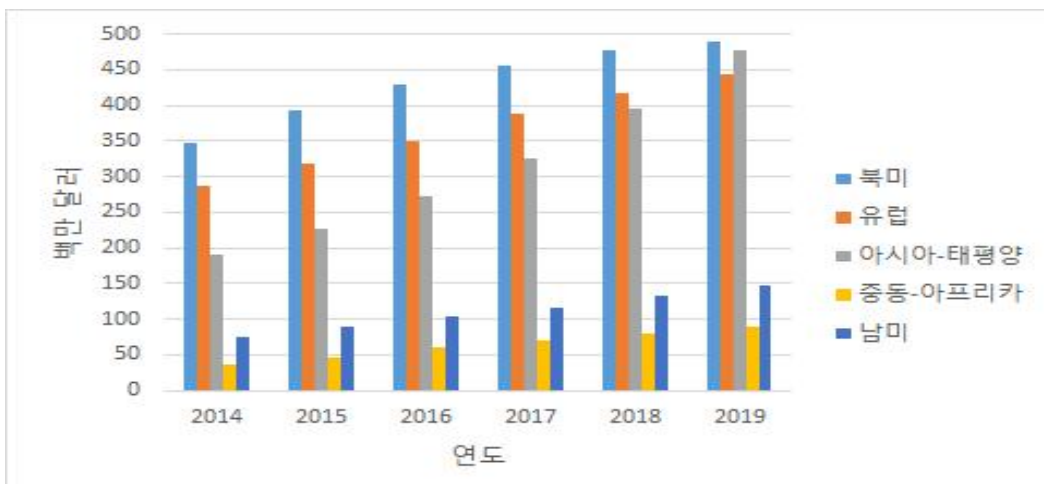
- Markets and Markets의 자료(Smart Highway Market Global Forecast 2019, 2014)에 따르면 본 연구 개발내용과 유사한 돌발상황 검지시스템의 경우 북미 및 유럽을 중심으로 시장이 형성되어 있으며, 최근 들어 아시아-태평양 지역의 시장규모도 점차 증가하는 추세임
- 돌발상황 검지시스템(Incident Detection System)는 연평균 12% 증가하여 2019년에는 약 16억4천6백만 달러의 글로벌 시장의 형성될 것으로 전망함

〈글로벌 시장규모〉

단위 : 백만 달러

지역	2014	2015	2016	2017	2018	2019	평균성장률
북미	347.1	392.2	429	455.6	477.4	489.6	7.1%
유럽	286.9	317.7	350.6	387.9	417.2	443.3	9.1%
아시아-태평양	191.4	227.4	271.5	326.3	394.5	476.3	20.0%
중동-아프리카	35.2	47	60.3	70.3	79.4	89.4	20.5%
남미	73.9	89.3	102.8	116.7	132.2	147.7	14.8%
합계	934.5	1073.6	1214.2	1356.8	1500.7	1646.3	12.0%

출처 : Smart Highway Market Global Forecast 2019, Markets and Markets, 2014.



- 최근 서울시 지역을 중심으로 지하도로 건설이 추진 중이거나 계획 중임에 따라 지하도로의 교통관리 중요성이 크게 부각되고 있음
- 개발 기술은 이러한 지하도로 건설사업에 적극 활용이 가능함
- 최근 서울시에서는 경부고속도로 지하화 사업을 위해 대심도 복층터널을 고려중임에 따라 개발기술 시장 확대 예상

서울 서부간선로 지하화 본격 추진

성안대로 남단~안양천로 11km 구간
상반가중 구체적 계획안 내놓기로
최사장, 정부선 철도 지하화는 산중

서울시가 상반 가중로 부설을 맡고 있는 서부간선도로를 지하화하는 사업을 본격적으로 추진한다.
2019년 말에 착공을 예정하고 있는 서부간선도로는 서울 서부지역을 연결하는 중요한 도로로, 현재는 상반가중로로 지칭되고 있다. 이 구간은 2019년 말에 착공을 예정하고 있는 서부간선도로와 연결될 예정이다.
서울시와 서울교통공사는 서부간선도로 지하화 사업을 위해 2019년 말에 착공을 예정하고 있는 서부간선도로와 연결될 예정이다.



을 통해 도심의 혼잡을 완화하고 교통사고를 줄일 것으로 기대된다.
이 사업은 "서울시와 서울교통공사는 서부간선도로 지하화 사업을 위해 2019년 말에 착공을 예정하고 있는 서부간선도로와 연결될 예정이다."
서울시와 서울교통공사는 서부간선도로 지하화 사업을 위해 2019년 말에 착공을 예정하고 있는 서부간선도로와 연결될 예정이다.



2. 연구수행내용 및 성과

가. 터널 음향신호 처리 알고리즘 개발

(1) 터널 음향신호 전처리 알고리즘 개발

(가) 터널음향 잡음감쇄에 적합한 전처리 알고리즘 개발

- 터널음향은 항상 존재하는 차량 주행음과 간헐적으로 발생하는 사고음, 그리고 이들의 터널내 반향음이 혼재하는 복합음향으로 정의함
- 터널음향에서 사고음만을 정확히 분별하여 사고 여부를 파악하기 위해서는 차량 주행음과 터널내 반향음과 같은 잡음 및 잔향에 대한 전처리가 필수적으로 선행되어야 함
- 상용화된 전처리 기술들은 주로 모바일 음성인식이나 통화를 위한 배경소음 감쇄 기술이 주를 이루는데, 이러한 기술들은 상대적으로 큰 음량과 비정상적인 주파수 특성을 지니는 터널음향신호를 처리하는 데 적합하지 않았음
- 따라서 본 과제의 1차년도에서는 수집된 터널음향 감쇄 등의 전처리를 위해 정상/비정상 터널잡음을 효과적으로 감쇄하기 위한 학습기반의 잡음감쇄 기술을 제안하고 개발하였음
- 제안된 전처리 알고리즘은 다중 센서(다중 마이크로폰)의 사용을 고려하여 다채널 잡음감쇄 방식을 근간으로 개발하였음
- 보다 구체적으로, 제안된 전처리 알고리즘은 학습기반의 다채널 잡음감쇄 기술인 비음수텐서분해(nonnegative tensor factorization, NTF)를 기반으로 하여 스테레오 포맷으로 입력된 터널음향에서 배경잡음을 감쇄하고 단일 채널의 사고음만을 분리하는 기능을 수행하도록 하였음
- 비음수 텐서분해 알고리즘 적용에 앞서, 먼저 입력된 i 번째 프레임의 다채널 입력 신호 $y_i^c(n)$ 는 다음과 같이 구성됨

$$y_i^c(n) = d_i^c(n) + \sum_{e=1}^E s_i^{c,e}(n)$$

- 여기서 c 는 채널 L 혹은 R 을 의미하고, e 와 E 는 사건 클래스와 전체 사건의 수를 각각 의미함. 또한, d_i^c 와 $s_i^{c,e}$ 는 c 번째 채널에서의 배경 잡음과 e 번째 사건 신호를 각각 의미함
- 수식에 K -point 푸리에 변환을 적용한 후, magnitude spectrum, Y_i^c 를 얻을 수 있음. 이때, 스테레오를 합쳐서 얻는 $2K$ 차원의 벡터를 Y_i 라 할 때, M 개의 프레임을 연속시켜 만든 행렬 Y_i 는 다음과 같이 표현됨

$$Y_i = [|Y_{i-M+1}| \cdots |Y_{i-m}| \cdots |Y_i|]$$

- 위 수식에서 $\mathbf{Y}_i$ 는 시간과 주파수의 진폭응답이며 비음수 텐서분해의 정의에 따라서 시간과 주파수를 표현하는 행렬의 외적으로 근사화할 수 있음

$$\mathbf{Y}_i \approx \hat{\mathbf{Y}}_i = \sum_{j=1}^J \mathbf{C}_{i:j} \circ \mathbf{B}_{i:j} \circ \mathbf{A}_{i:j}$$

- 여기서 $\circ$ 와 J 는 각각 벡터의 외적 연산자와 기저의 개수를 의미함. 그리고 $\mathbf{A}_{i:j}$, $\mathbf{B}_{i:j}$ 와 $\mathbf{C}_{i:j}$ 는 i 번째 프레임의 $(M \times J)$ 차원의 기저행렬, $(K \times J)$ 차원의 기저행렬, 그리고 $(2 \times J)$ 차원의 채널 이득행렬의 j 번째 열벡터를 의미함. 또한, $\mathbf{B}_i$ 행렬은 E 개의 사건 클래스와 배경 잡음으로 사전에 학습된 주파수 기저 행렬 $\mathbf{B}_i^{e,S}$ 와 $\mathbf{B}_i^D$ 로 다음 식과 같이 구성됨
- 각 파라미터는 아래의 수식에 의해 갱신되어 잡음 분리에 적용됨

Update

$$\bar{\mathbf{C}}_i^{(h)} \leftarrow \bar{\mathbf{C}}_i^{(h-1)} \circ \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \mathbf{p}_{ic,k,m}^{(h-1)} \cdot \bar{\mathbf{B}}_{ik,r} \cdot \bar{\mathbf{A}}_{im,r}^{(h-1)}}{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \bar{\mathbf{B}}_{ik,r} \cdot \bar{\mathbf{A}}_{im,r}^{(h-1)}} \quad \bar{\mathbf{A}}_i^{(h)} \leftarrow \bar{\mathbf{A}}_i^{(h-1)} \circ \frac{\sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K \mathbf{p}_{ic,k,m}^{(h-1)} \cdot \bar{\mathbf{C}}_{ic,r}^{(h)} \cdot \bar{\mathbf{B}}_{ik,r}}{\sum_{c=1}^C \sum_{k=1}^K \bar{\mathbf{C}}_{ic,r}^{(h)} \cdot \bar{\mathbf{B}}_{ik,r}} \quad \text{where}$$

$$\mathbf{p}_{ic,k,m}^{(h)} = \frac{\mathbf{Y}_{ic,k,m}}{\hat{\mathbf{Y}}_{ic,k,m}^{(h)}}$$

Pre-trained

$$\bar{\mathbf{B}}_i = [\mathbf{B}_i^X \mathbf{B}_i^D]$$

$\mathbf{B}^X, \mathbf{B}^D$: Dictionaries of speech and BG training data

< NTF 기반 사고음 분리 및 학습에 대한 핵심 수식 >

여기서,

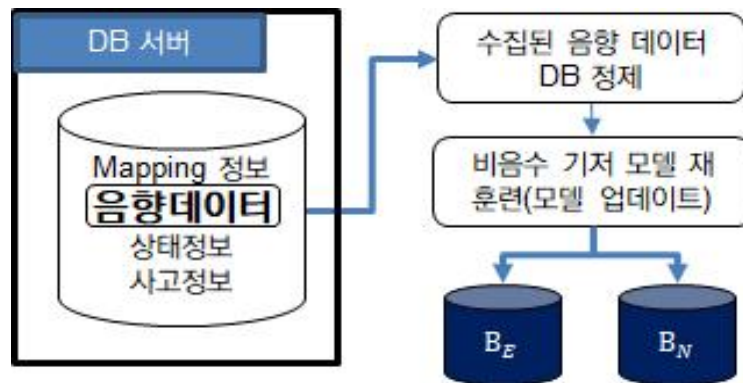
- $\bar{\mathbf{C}}_i^h$: 채널 이득 행렬 (i 번째 프레임, h 번째 iteration, $\bar{\mathbf{C}}_i = [\bar{\mathbf{C}}_i^X, \bar{\mathbf{C}}_i^D]$)
- $\bar{\mathbf{B}}_i$: 미리 훈련된 NTF 기저 행렬 ($\bar{\mathbf{B}}_i^X$: 사고음 기저, $\bar{\mathbf{B}}_i^D$: 터널 배경음 기저)
- $\bar{\mathbf{A}}_i^h$: 활성화 행렬 (i 번째 프레임, h 번째 iteration, $\bar{\mathbf{A}}_i = [\bar{\mathbf{A}}_i^X, \bar{\mathbf{A}}_i^D]$)
- $\mathbf{Y}_{i;c,k,m} / \hat{\mathbf{Y}}_{i;c,k,m}^h$: 원 신호/ h 번째 iteration의 NTF 파라미터 기반의 추정된 신호 3차원 행렬 (i 번째 텐서, c 번째 마이크, k 번째 FFT, m 번째 프레임)

- 다음으로, 각 사건 신호 및 배경 잡음은 $\hat{\mathbf{C}}_i$ 와 $\hat{\mathbf{A}}_i$ 의 해당 벡터를 외적하여 각 음향 사건 신호 $\hat{\mathbf{S}}_i^e$ 및 배경 잡음 신호 $\hat{\mathbf{D}}_i$ 로 분해됨

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{S}}_i^e &= \hat{\mathbf{C}}_i^{e,S} \circ \mathbf{B}_i^{e,S} \circ \hat{\mathbf{A}}_i^{e,S} \\ \hat{\mathbf{D}}_i &= \hat{\mathbf{C}}_i^D \circ \mathbf{B}_i^D \circ \hat{\mathbf{A}}_i^D \end{aligned}$$

(나) 비음수 기저 행렬 재훈련 및 갱신 알고리즘 개발

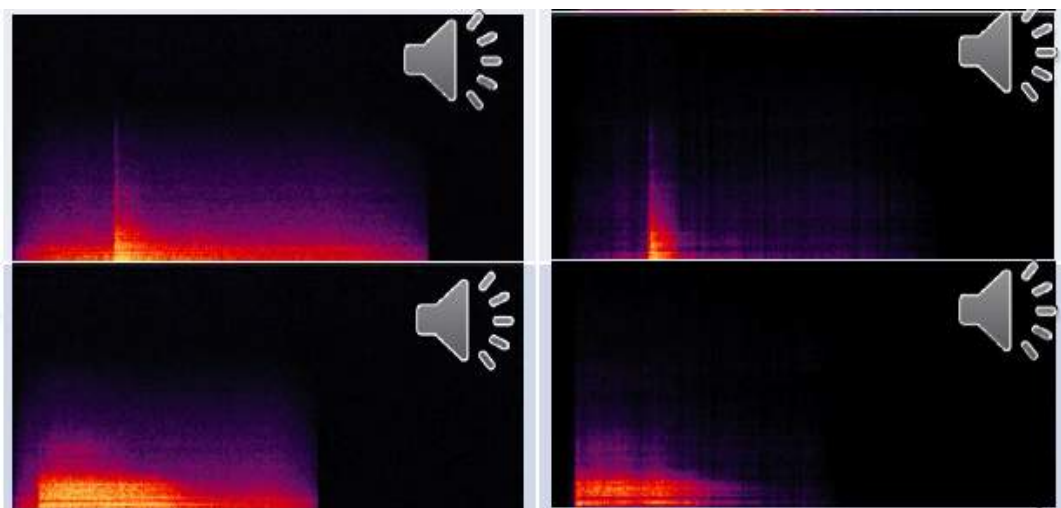
- 터널의 특성이 공간의 특성에 따라 다양하므로, 각 터널에서 녹음된 배경음 및 돌발 사고음에 대해 비음수 기저 행렬 재훈련 및 갱신 알고리즘 개발이 필요함
- 각 터널에서 수집된 음향 데이터들이 아래 구성도와 같이 DB 서버를 통해 터널별로 관리될 수 있도록 설계하였음
- 해당 음향별로 구성된 DB를 구축하고, 각 음원을 바탕으로 해당 음향에 대해 비음수 기저 모델을 재훈련(업데이트 및 갱신)하는 방법으로 설계하였음



<비음수 기저행렬 재훈련 구성도>

(다) 전처리 알고리즘의 SW 구현

- 상기 설명된 수집된 데이터에 적용된 NTF 기반 전처리 알고리즘을 SW 형태로 구현되고 그 동작을 자체적으로 검증하였음
- 구체적으로, 제안된 전처리 알고리즘은 1차적으로 Mathwork社의 Matlab SW를 통해 programming language로 prototyping된 후, 이의 동작 여부를 정성적으로 판단하도록 하였음



< 전처리 알고리즘의 SW 구현 동작 결과>

(상: 충돌음, 하: 스키드음, 50m 거리)

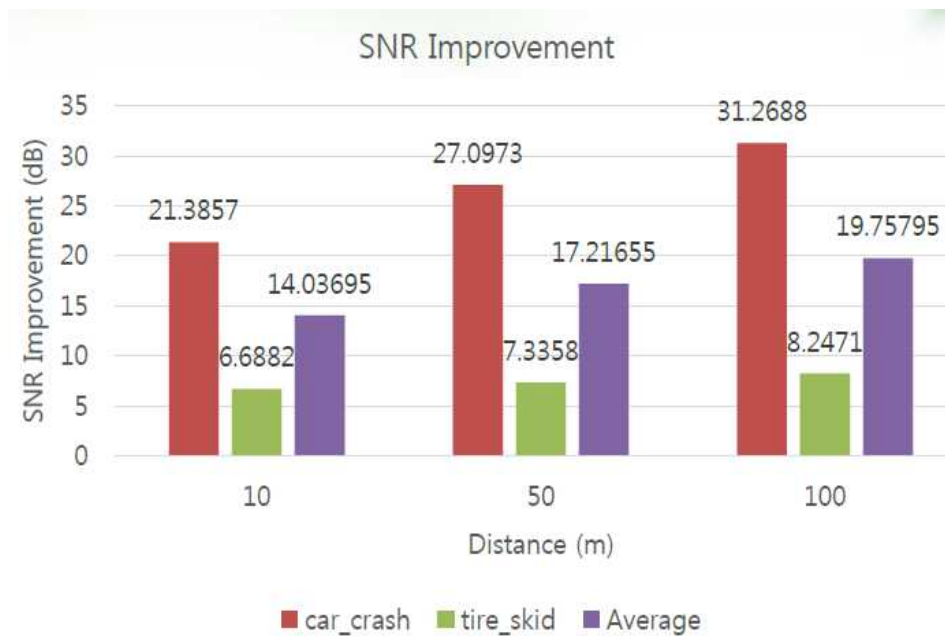
- 개발된 전처리 알고리즘의 Matlab SW를 근간으로 하여 C++ 기반의 SW API 형태로 확장하여 개발하였음
- 최종적으로, C++ 기반의 전처리 알고리즘 SW를 개발함으로써, 본 과제의 터널 교통사고 자동검지시스템 시제품에 자유롭게 탑재가 가능하도록 하였음
- 개발된 C++ 기반의 전처리 알고리즘 SW의 자체검증을 위해 다음과 같은 시뮬레이션 방법을 고안하고 자체 평가를 진행하였음
- 전처리 알고리즘의 SW에 대한 자체검증 지표로써 신호대잡음비(SNR) 개선률을 활용하였는데, 이는 전처리 전의 터널음향과 전처리 후의 터널음향 간 사고음 발생 구간에서의 사후 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 개선폭(improvement)을 측정하는 것을 의미함

$$SNR_{Improve} = 10\log_{10}\frac{P_{\hat{Y}}}{P_{\hat{D}}} - 10\log_{10}\frac{P_Y}{P_D}$$

여기서,

■ $P_{\hat{Y}}, P_{\hat{D}}$: NTF 기반 추정된 신호 와 잡음의 신호 전력

■ P_Y, P_D : 처리 전 신호와 잡음의 신호 전력



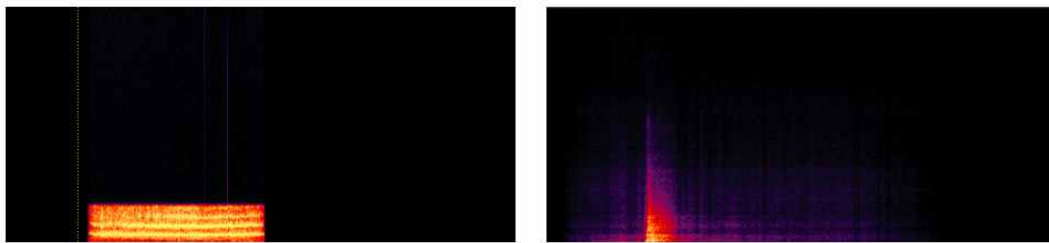
< 거리 별 전처리 SNR 개선치 >

- 개발된 전처리 알고리즘 SW 기준으로 모의 생성된 거리 및 사고음 종류 별 SNR 개선치 성능을 측정한 결과, 최소 평균 14 dB 이상 SNR 개선률을 보였음.
- 실제 터널환경에서 수집된 음원 중 광암터널 내에서 확보된 105개의 음원을 기준으로 처리 전/후 대비 12.97 dB SNR 개선을 확인하였음

(2) 교통사고음 분류 알고리즘 개발

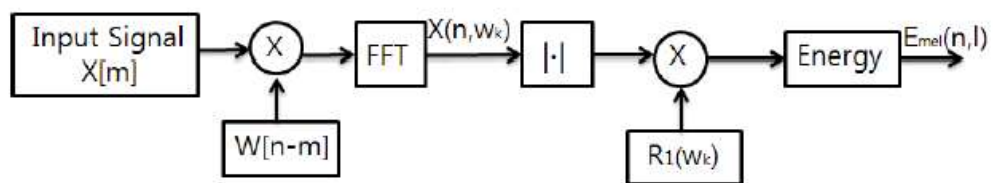
(가) 돌발상황의 음향특성 정의, 학습 및 분류 기술 개발

- 터널 내 돌발상황 중 종래의 영상유고검지로 파악이 어려웠던 충돌과 스키드 상황에서의 음향특성을 분석 및 정의하였음
- ① 타이어스키드: 일정시간에 걸쳐 균일한 tonal 주파수 성분으로 구성됨
- ② 충돌: 매우 짧은 시간동안 큰 에너지가 발생했다가 소멸되는 형태로써, 전 대역에 에너지가 분포하며 주로 저주파에서 고주파로 갈수록 그 크기가 급격히 낮아짐



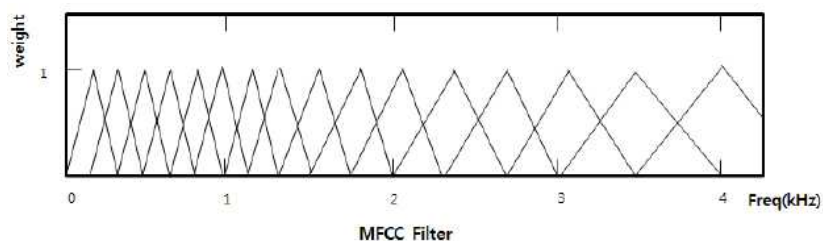
<터널음향의 시간-주파수 스펙트로그램 비교: 좌) 타이어스키드, 우) 충돌>

- 터널 내 돌발상황 분류를 위한 특징벡터 추출 기법에는 일반적으로 음성인식 특징벡터로 널리 사용되는 MFCC 추출기법을 활용하였음



< MFCC 특징 파라미터 추출 과정 >

- 그림에서 보는 바와 같이, 입력 신호에 윈도우를 씌워서 프레임 단위로 나눈 후 FFT (fast Fourier transform)을 이용하여 주파수 영역으로 변환함. 그 후 주파수 대역을 여러 개의 필터뱅크로 나누고 각 필터뱅크에서의 에너지를 구함
- 여기서, 주파수로 변환된 $X(n, w_k)$ 의 크기는 필터 시퀀스의 주파수 응답에 의해 가중화되고 이런 필터 시퀀스는 저주파수(1000 Hz 이하)에서는 중심 주파수와 대역폭이 선형적이지만, 고주파수(1000 Hz 이상)으로 갈수록 로그 스케일로 증가하는 특성을 가지고 있음. 이는 인간의 귀가 가지는 비선형적인 특성으로 저주파 영역의 신호에서는 민감한 반면 고주파로 갈수록 민감해지지 않은 특성을 적용



<Mel-scale 필터뱅크>

- 상기와 다른 음향특성들에 대한 범용적인 정의 및 학습을 위해 통계기반 훈련기법을 기반으로 돌발분류 알고리즘을 설계하였음
- 멜-스케일 1번째 필터뱅크의 주파수 응답을 $R_l(w_k)$ 라고 하면, n번째 음향 프레임에 대한 Mel 에너지는 아래의 식으로 표현됨

$$E_{mel}(n,l) = \frac{1}{A_l} \sum_{k=L_l}^{H_l} |R_l(w_k)X(n,w_k)|^2$$

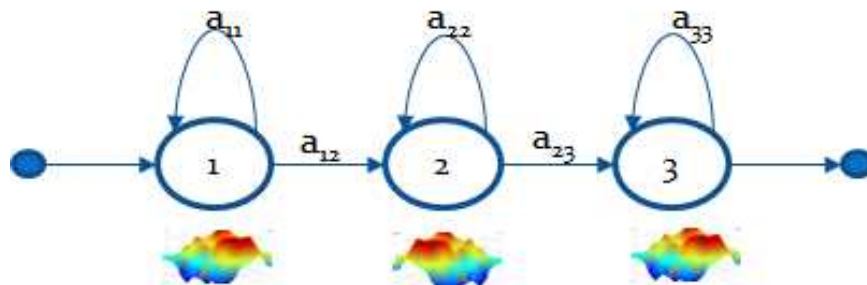
- 여기서, L_l 과 H_l 는 1번째 필터에서 0이 아닌 주파수 영역의 상한값과 하한 값을 각각 의미함. 이로부터, 아래 식을 이용하여 다양한 대역폭을 갖는 필터들이 균일한 스펙트럼을 갖도록 정규화하여 적용됨

$$A_l = \sum_{k=L_l}^{H_l} |R_l(w_k)|^2$$

- 다음으로, Mel 에너지에 DCT (discrete cosine transform)를 적용하여 멜-스케일 에너지를 무상관된 M차의 차수로 변환됨. 아래 식을 이용하여 R개의 필터로 구성된 필터뱅크 중 n번째 음향 프레임에 대한 m번째 MFCC 계수를 계산됨

$$C_{mel}[n,m] = \frac{1}{R} \sum_{l=0}^{R-1} \log E_{mel}(n,l) \cos\left(\frac{2\pi}{R}lm\right)$$

- 본 과제에서 사용한 GMM-HMM 기반의 음향모델은 음향신호의 통계적 특성을 나타내기 위해 HMM (hidden Markov model)을 사용하였음.
- HMM은 통계적 신호 모델에 근거하여 음향 신호를 표현하는 모델임
- 그림에 보는 바와 같이, 음향모델은 3개의 상태로 이루어진 left-to-right 구조를 주로 사용하고, HMM의 파라미터는 상태(state), 상태 사이의 천이(transition), 그리고 각 상태에서 출력 값을 나타내는 출력분포(output probability)로 구성되어 있음
- 일반적으로 출력분포 함수는 가우시안 mixture 연속밀도 함수가 사용되며, 이를 CDHMM (continuous density HMM) 혹은 GMM-HMM으로 정의됨



<음향모델링에 사용되는 일반적인 HMM 구조>

- 길이 T 개의 동등하고 독립적으로 분포된 관측 벡터 열 $X=(x_1,...,x_T)$ 가 주어진 경우 GMM-HMM의 관측 확률분포는 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$f_j(x|\lambda) = \sum_{k=1}^K w_{jk} N(x|\mu_{jk}, \Sigma_{jk})$$

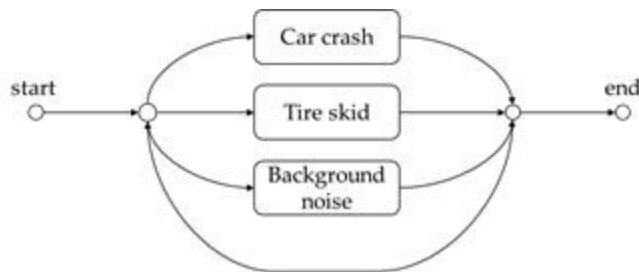
- 여기서, w_{jk} 는 상태 j 에서의 혼합성분 k 에 대한 가중치이며, $\sum_{k=1}^K w_{jk} = 1$ 을 만족함
 $N(x|\mu_{jk}, \Sigma_{jk})$ 는 d 차원의 평균벡터 μ_{jk} 와 $d \times d$ 차원의 공분산 행렬 Σ_{jk} 을 갖는 다변수 가우시안 분포임. GMM-HMM의 파라미터 벡터는 $\lambda = \lambda_j = \{w_{jk}, \mu_{jk}, \Sigma_{jk}\} (j=1, \dots, N, k=1, \dots, K)$ 이며, 일반적으로 HMM 파라미터는 관측열 X 의 우도(likelihood)를 최대가 되도록 하는 최대우도(ML: Maximum Likelihood) 기준으로 다음과 같이 추정됨

$$\hat{\lambda}_{ML} = \operatorname{argmax}_{\lambda} f(X|\lambda)$$

- HMM의 은닉 상태 열과 혼합성분 열 때문에 ML 추정에 대해 닫힌 해를 구하기가 어려움. 이를 해결하기 위해, 반복적으로 파라미터를 갱신하여 추정하는 expectation-maximization (EM) 알고리즘을 사용함
- HMM에 대한 EM 알고리즘을 Baum-Welch 알고리즘이라고도 불리며, ML 기준에 의해 추정된 상태 j 에서의 혼합성분 k 에서 GMM-HMM의 평균 벡터는 다음과 같이 추정됨

$$\hat{\mu}_{jk} = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j,k) x_t}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j,k)}$$

- 미리 학습된 음향모델, 사고 검색 네트워크에 의해 구성된 검지 네트워크가 생성되고, 사고 검지 네트워크는 아래의 그림과 같이 구성될 수 있음

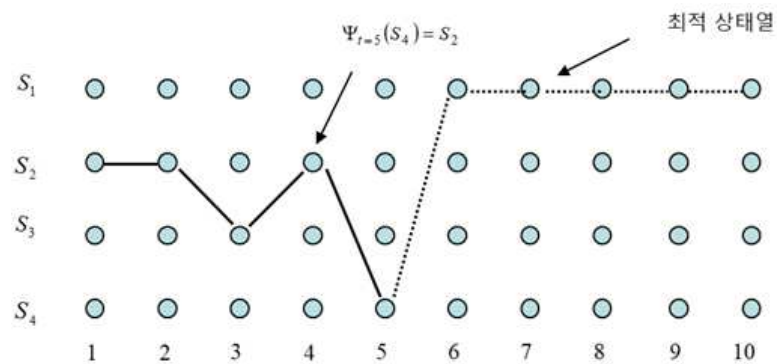


<사고 검색 네트워크>

- 이렇게 주어진 검지 네트워크상에서 앞서 설명한 MFCC 특징에 의해 구해진 해당하는 최적의 사고검지 정보를 얻기 위해 탐색과정을 수행하며 일반적으로 사용되는 탐색 알고리즘은 비터비(Viterbi) 알고리즘임
- 비터비 알고리즘은 관측열, 즉 MFCC가 주어졌을 때, 즉, $X=(x_1, \dots, x_T)$, 이러한 관측열을 발생시키는 최적 상태열, $q=(q_1, q_2, \dots, q_T)$ 을 찾는 알고리즘임. 상태열을 추적하기 위한 변수 $\delta(t)$ 는 시간 t 에서 관측열 X 에 대해 상태 q 에서 끝나는 path에서 가장 확률이 큰 스코어임

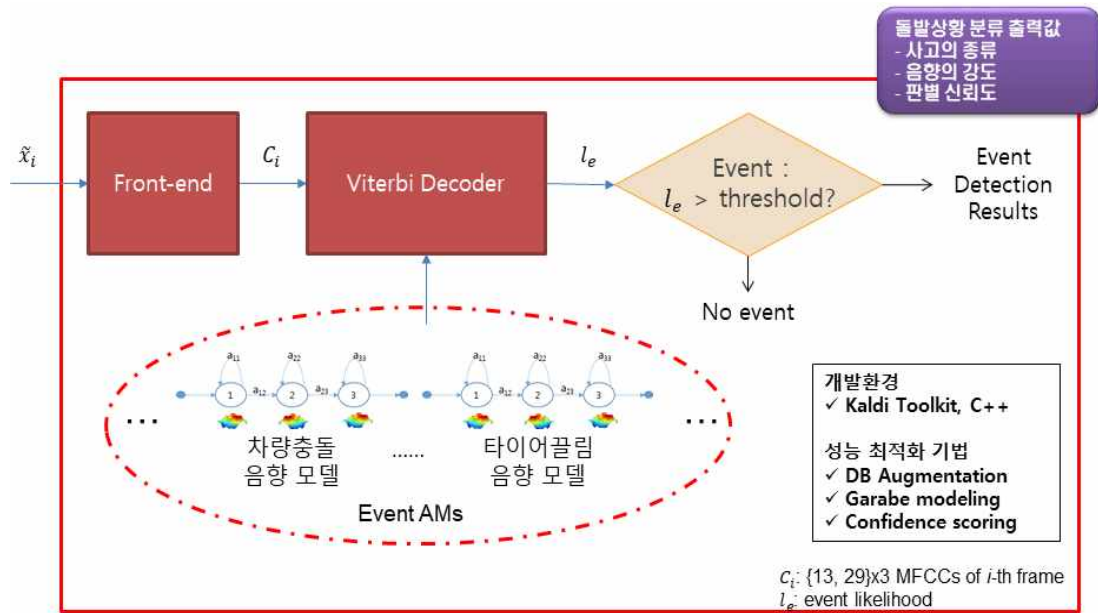
$$\delta(t) = \max_q (p[q_1, q_2, \dots, q_T])$$

- 비터비 알고리즘은 총 4단계로 이루어짐. 1 단계에서는 비터비 알고리즘을 수행하기 위해 각 변수를 초기화시키고, 2 단계에서는 시간 T 까지 모든 N 개의 상태에서 각 관측열이 머물 확률을 구함. 3 단계에서는 시간 T 에서 가장 높은 확률을 가진 상태를 선택하며, 4 단계에서는 3 단계에서 선택된 상태로부터 시작하여 최적 상태열을 역추적함

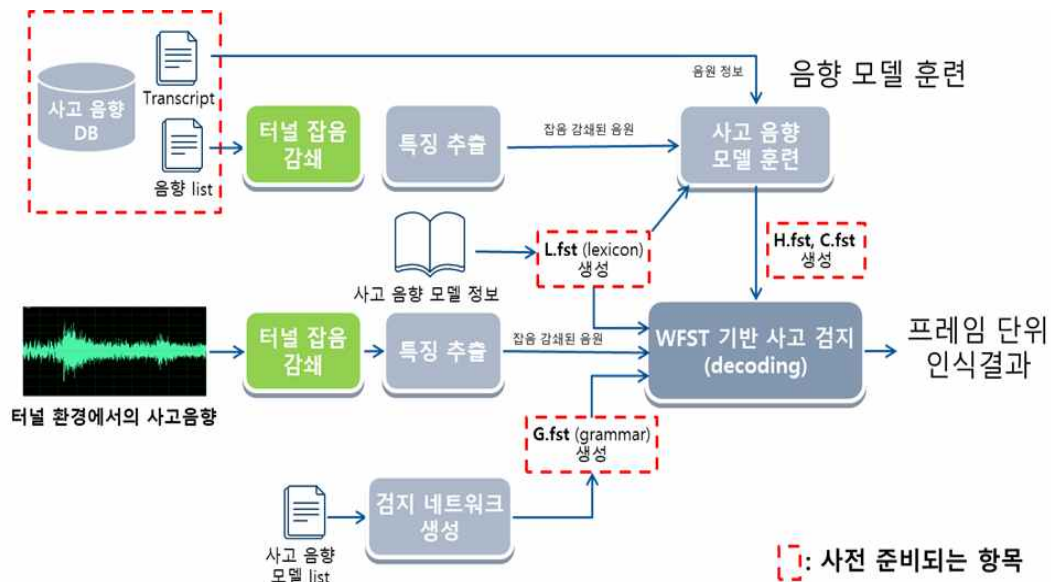


<비터비 알고리즘 역탐색 과정>

- 4단계 역탐색의 예를 보여줌. 1단계에서 3단계까지 거친 뒤, $t=10$ 에서 선택된 상태는 S_4 임. 최적 상태열을 찾기 위해 Ψ_t 를 참조함. 즉, $t=5$ 일 때, S_4 에 있을 확률이 가장 높으며, 이때 $t=4$ 일 때, 가장 높은 확률을 가지고 있는 상태는 $\Psi_{t=5}(S_4) = S_2$ 임
- 판별 결과에 대해서 다음의 세 가지 정보를 제공하도록 설계하였음: {사고의 종류, 음향의 강도, 판별 신뢰도}
- 모델 훈련은 WFST(Weighted Finite State Transducer)를 기반으로 Kaldi speech recognition toolkit을 활용하여 가우시안 혼합모델 및 은닉 마코프 모델을 활용한 실시간 검지 프로그램을 작성하였음
- 사고 음향모델 훈련 시 음향모델과 평가 음원의 조건을 일치시키기 위해 훈련 데이터 및 평가 데이터 모두에 잡음감쇄를 적용하여 훈련하였음
- 가우시안 혼합 모델 훈련 시 가우시안 개수를 조정하여 훈련에 활용



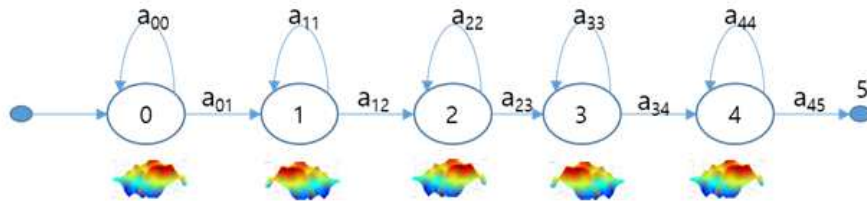
<돌발 분류 알고리즘 세부 구성도>



<kaldi 기반의 터널 내 사고음향 모델 훈련 및 검지 과정>

- 각 사고음향 모델은 6개의 hidden state를 갖고, 각 state는 left-to-right 구조로 연결되고, 관측 확률을 혼합가우시안 모델로 구성하였음
- 알고리즘 개발 세부사항은 다음과 같음
 - ① 터널 잔향환경의 RIR(Room Impulse Response) 필터 기반 잔향이 섞인 사고음을 확보함
 - ② 생성된 사고음과 페터널에서 수집한 터널 잡음을 합성하여 음원을 확보함
 - ③ 총 4시간 분량의 데이터에 대해, 2시간 분량의 배경잡음을 활용하여 오탐을 측정하고 나머지 2시간 분량에 대해 음원발생의 정확도를 측정할 수 있도록 데이터를 구성함

- ④ 2시간 분량의 음원 발생구간은 10m, 30m, 50m 거리별 모의실험 데이터 확보를 위해 두 배의 거리마다 6dB씩 감쇄하도록 적용하여 각기 다른 거리별 데이터를 구축함
- ⑤ 각 거리마다 10초단위로 총 240개의 사고음향을 구성함



</ForPhones>

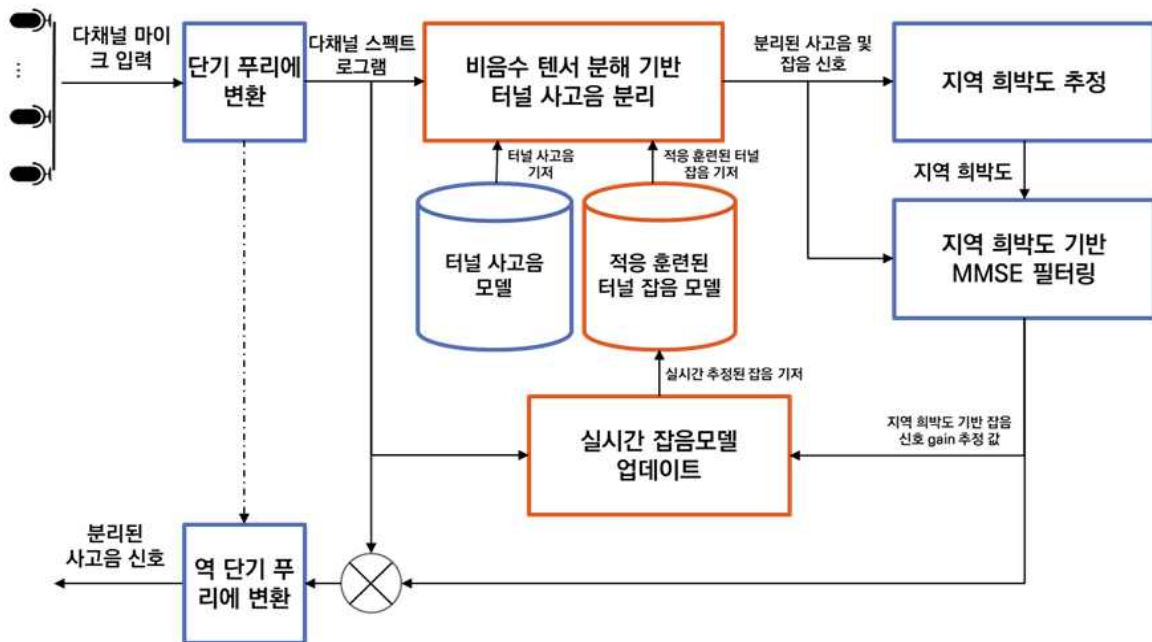
```
<State> 0 <PdfClass> 0 <Transition> 0 0.75 <Transition> 1 0.25 </State>
<State> 1 <PdfClass> 1 <Transition> 1 0.75 <Transition> 2 0.25 </State>
<State> 2 <PdfClass> 2 <Transition> 2 0.75 <Transition> 3 0.25 </State>
<State> 3 <PdfClass> 3 <Transition> 3 0.75 <Transition> 4 0.25 </State>
<State> 4 <PdfClass> 4 <Transition> 4 0.75 <Transition> 5 0.25 </State>
<State> 5 <PdfClass>
  <Transition> 5 0.75 <Transition> 6 0.25 </State>
<State> 6 </State>
```

<사고음향 모델 prototype>

(3) 개발 알고리즘 API 구현

(가) 전처리 알고리즘 API 개발

- 음향분석 SW 통합을 위해 터널에서 수집된 터널 음향에서 관심사고음 및 터널 환경잡음 분리 API를 개발하였음
- 터널 내 관심사고음 분리를 위해 본 연구과제에서는 다중 마이크로폰의 입력을 근간으로 NTF 알고리즘을 활용하였음
- 보다 구체적으로, 아래 구성도에서 보는 바와 같이, 먼저 전처리 알고리즘은 다채널로 입력된 음원에 대하여 푸리에(Fourier) 변환을 통해 처리된 스펙트럼을 기반으로 NTF 알고리즘을 활용하여 사고음을 분리하였음



<비음수 텐서 분해 기반의 전처리 알고리즘 구성도>

(나) 음향분석 SW API 통합관제서버 내 구현

- 터널 음향으로부터 사고음 및 터널 환경 잡음을 분리한 후, 분리된 사고음을 입력으로 돌발분류 알고리즘을 통해 돌발사고 검지가 가능하였으며, 본 기술의 API 개발을 통해 음향분석 SW에 통합하였음
- 돌발의 정의와 관련된 연구자료를 토대로 음원의 재생 음압을 결정하였음 [W. Neale, et al., 2008]. 결과적으로 다음과 같이 돌발음원에 대해 터널잡음과 합성하였음
 - ① 타이어 마찰음: 약 90~100 dB-SPL(sound pressure level)의 음압으로 산정하였음
 - ② 차량 충돌음: industry/weaponary 환경의 충돌음을 바탕으로 음압을 약 110~130dB SPL로 산정하였음

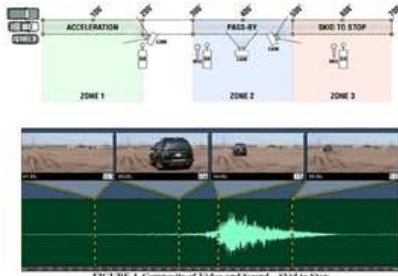


FIGURE 4. Composite of Video and Sound - Skid to Stop



FIGURE 2. Vehicles involved in Testing

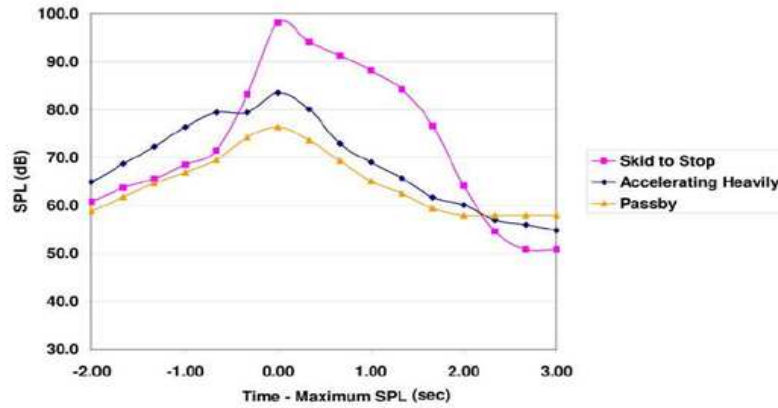
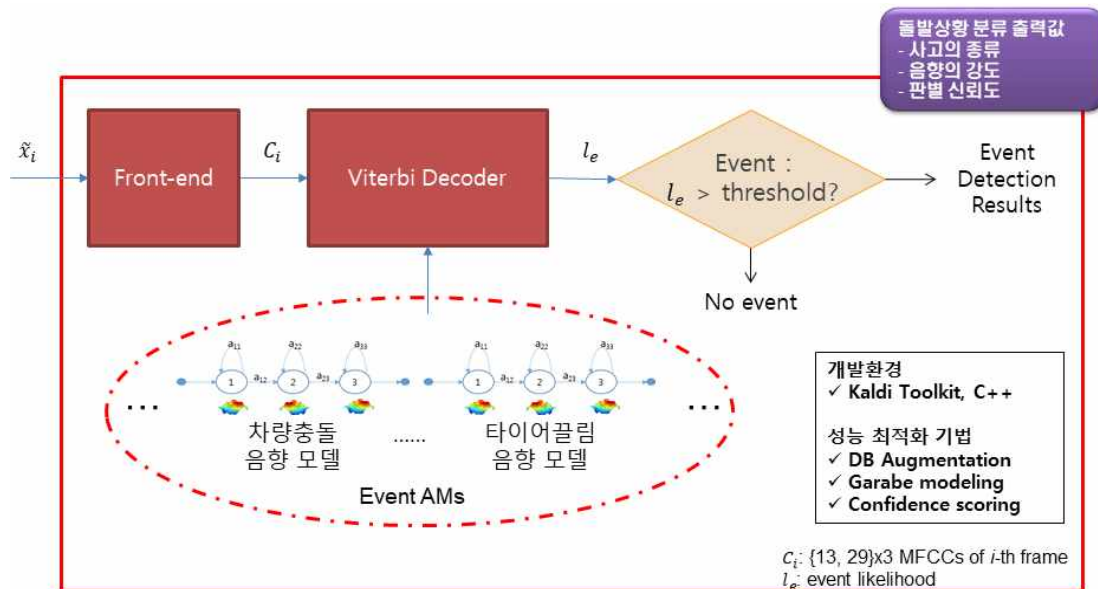


FIGURE 11. Toyota on Asphalt

<실제 타이어 마찰음 음압세기 측정 자료 >

- 돌발분류 구성도는 아래의 그림과 같으며, 이를 위해 GMM-HMM을 기반으로 터널 사고음향 모델을 사전에 모델링하고 이를 기반으로 돌발음 분류를 수행하였음
- 돌발분류 알고리즘 API는 분리된 사고음 음원을 입력으로 하여 사고의 종류를 검지하고, 이에 부가적인 검지 요소로서 음향의 감도, 판별 신뢰도를 출력



<돌발 분류 알고리즘 세부 구성도>

나. 터널 음향신호 수집장치 개발

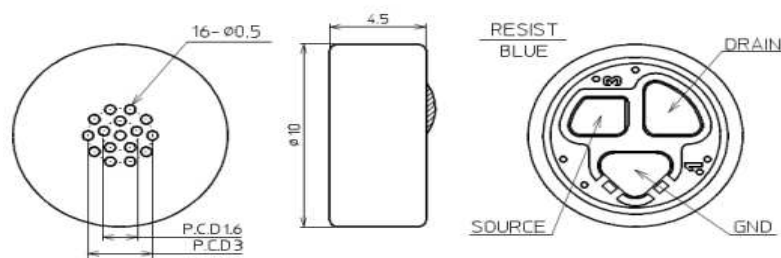
(1) 터널 음향신호 수집 마이크로폰 개발

(가) 마이크로폰의 사양

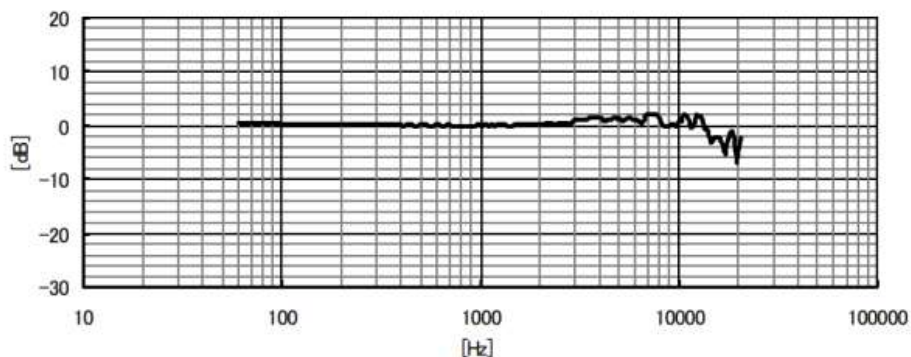
- 주파수 특성이 20Hz ~ 20KHz 사이에서 가급적 평탄한 특성 보유
- 정의된 음향수집 거리인 50m 전방의 40dBspl 정도의 음향을 채집하기 위해서 Signal to Noise Ratio(SNR)가 94dBspl(기준음향) - 40dBspl(검지최소음향) + 20dB(거리감쇠) = 74dB 이상
- 다양한 터널 현장 적용이 가능하도록 방향성은 자체 기구물에서 조정할 것이므로 마이크로폰 소자 자체의 음향특성은 전방향성 지향

Directional Characteristic	Non-directional
Sensitivity	-37 dB $\pm$ 3 dB at 1 kHz (0 dB = 1 V/Pa) V = 5 V, Rs = 5.6 k Ω
Impedance	600 Ω $\pm$ 30 % at 1 kHz (Rs = 5.6 k Ω)
S/N Ratio	80 dB typ. at 1 kHz (1 Pa, A weighted network)
Operating Voltage	5 V (3 V ~ 10 V)
Current Consumption	600 μ A Max (V = 5 V)
Max Input Sound Pressure Level	135 dB S.P.L. Typ. (1kHz, THD < 3%)

<사용된 마이크로폰의 사양>



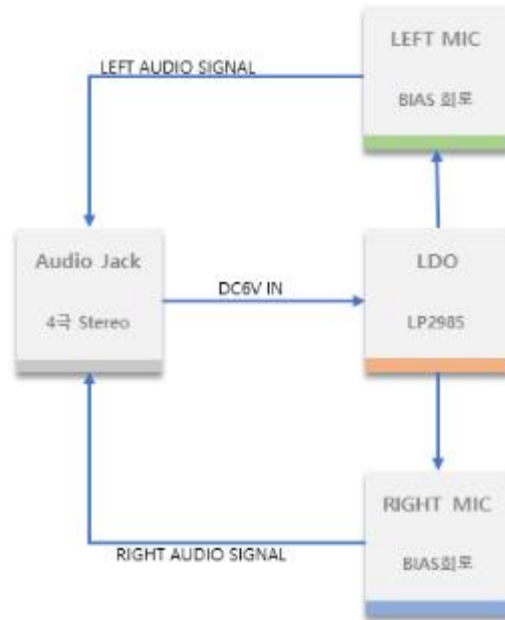
<마이크로폰 외형도>



<Frequency Response>

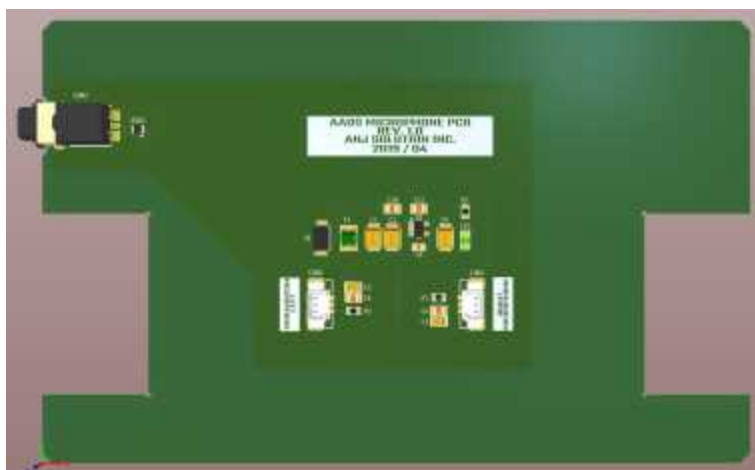
(나) 하드웨어 구성

- 마이크로폰의 하드웨어는 노이즈 영향을 최소화하기 위해 마이크로폰 바이어스 전압 생성을 위해 TI사의 LP2985를 채용했으며 IP65를 위해 CUI 사의 IP67 Audio Jack을 채용



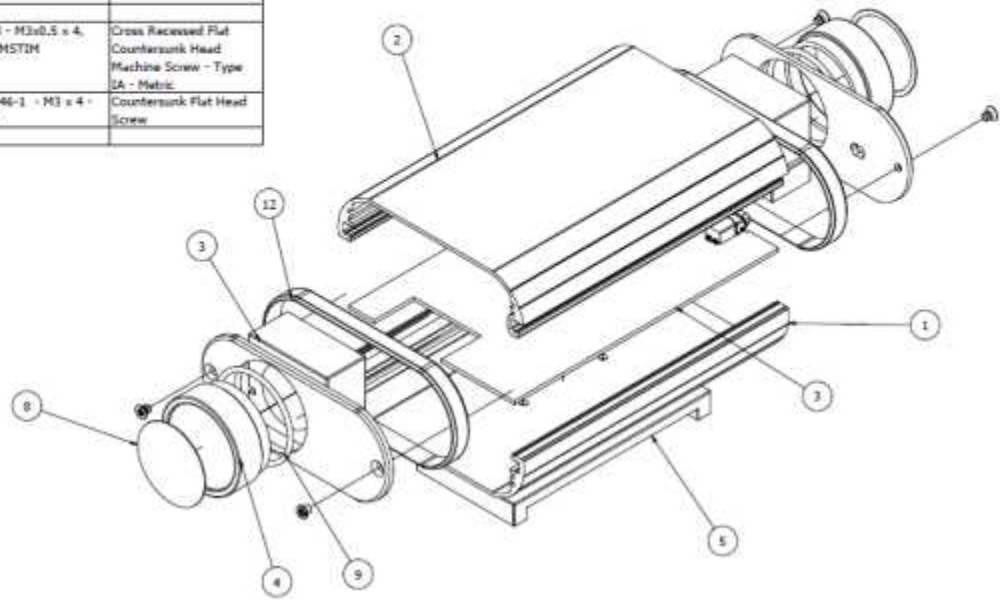
<하드웨어 블록도>

- 마이크로폰은 외부환경에 설치되므로 외관 재질을 알루미늄을 채용했으며 IP65 구현을 위해 마이크로폰부에 Acoustic Membrain을 채택하여 외부로부터 물과 먼지의 유입을 차단하고 음향신호만 통과시키도록 함



< 마이크로폰 PCB >

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	MXB4-10-14_D1	
2	1	MXB4-10-14_D2	
3	1	PCB_ASM	
4	1	Cover_ASM	
5	1	Bracket	
6	2	95 4183 - M4 x 9	Recessed Countersunk Head Screw
7	1	Cover_LEFT_ASM	
8	2	EPET	
9	2	RING	
10	1	IFI 513 - M3x0.5 x 4; CRFCHMSTIM	Cross Recessed Flat Countersunk Head Machine Screw - Type 2A - Metric
11	3	ISO 7046-1 - M3 x 4 - 4.8 - Z	Countersunk Flat Head Screw
12	2	band	



< 마이크론 하드웨어 구성도 >



< 마이크론 제품 >

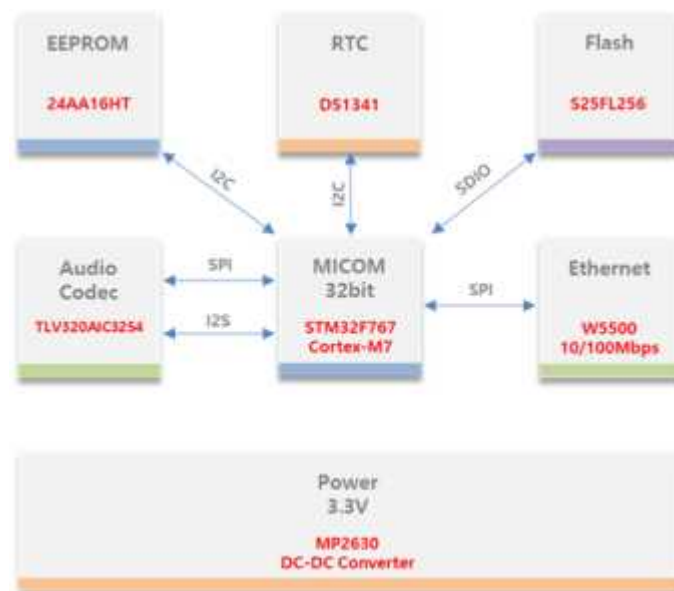
(2) 터널 음향신호 수집 제어기 개발

(가) 하드웨어 사양

MicroController	코어	ARM Cortex M7
	데이터 버스	32 bit
	최대 클럭 주파수	216 MHz
	프로그램 메모리 크기	2 MB
	데이터 RAM 크기	512 kB
External Memory	EEPROM	16Kbit
	Flash Memory	256Mbit
Audio Codec	DAC	100dB SNR
	ADC	93dB SNR
Ethernet	TCP/IP Protocols	TCP
	Socket	8
	PHY	10/100Mbps
	Memory	32Kbyte
Power	DC 6~12V	

(나) 하드웨어 구성

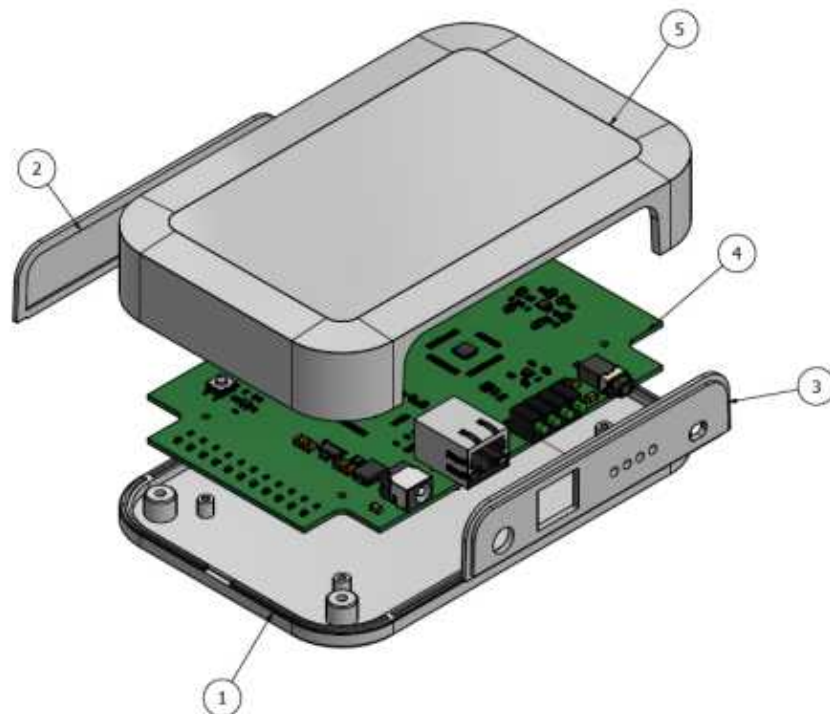
- 하드웨어는 메인 프로세서로 최대 216MHz로 동작하는 32bit ARM Core MCU를 적용하여 초당 약 192Kbyte의 음향 데이터를 전송하는데 필요한 처리 속도를 확보하였고 고품질의 음향을 수집하기 위해 멀티밴드 이퀄라이제이션, 다이내믹 부스트, 잡음 및 에코 제거 기능이 탑재된 오디오 코덱을 탑재



<하드웨어 블록도>

- 네트워크통신이 원활하게 이루어질 수 있도록 하드웨어 TCP/IP 프로토콜 및 TCP/IP 패킷 처리를 위한 32Kbyte 버퍼용 메모리가 내장된 전용 칩을 사용하여 네트워크 통신의 안정성을 확보하도록 설계
- 내장된 EEPROM에는 음향수집기에 필요한 설정값들을 저장할 수 있으며 플래시 메모리에는 음향데이터를 필요에 따라 저장할 수 있도록 저장 공간을 확보

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Bottom	
2	1	panel	
3	1	panel1	
4	1	MainPCB	Open CASCADE Model
5	1	TOP_COVER	



<하드웨어 구성도>

- 하드웨어 케이스는 ABS UL94V-0재질을 사용하였으며 동작 상태를 확인하기 위해 4개의 LED로 표출하도록 하였으며 전원은 KC인증품 AC-DC 어댑터 사용



<하드웨어 제작>

(나) 펌웨어 구성

- 하드웨어를 제어하기 위한 펌웨어는 크게 NON-OS 방식과 OS방식으로 나누어짐
- 음향 수집기는 약 85ms마다 수집된 약 16Kbyte의 음향데이터를 코덱으로부터 MICOM 내부의 메모리로 이동하여 패킷을 구성하고, 네트워크로 접속된 통합서버와 분석서버에 데이터를 전송해야한다. 이 동작들은 서로 충돌없이 원하는 시간에 모든 동작이 이루어져야하므로 스케줄 관리가 매우 중요함
- 이러한 일련의 스케줄을 원활하게 관리하기 위해 임베디드 시스템에 가장 많이 사용되고 있고 안정성이 보장된 Real-Time OS인 FreeRTOS를 적용함
- FreeRTOS는 4개의 Thread로 구성하여 각 기능을 수행하도록 하였다. 4개의 Thread는 Semaphore를 통해 점유여부를 확인하도록 하여 스케줄 관리 수행

FreeRTOS	Thread 1	TCP/IP Socket 1	통합서버 데이터 전송용
	Thread 2	TCP/IP Socket 2	분석서버 데이터 전송용
	Thread 3	TCP/IP Socket 3	음향수집기 설정용
	Thread 4	TCP/IP Socket 4	음향 RAW데이터 전송용

<FreeRTOS 의 Thread 구성>

- 대용량 데이터 전송이 이루어지는 오디오 코덱과 이더넷 칩과의 통신을 MCU의 DMA(Direct Memory Access)를 사용하므로써 MCU 코어에 개입 없이 메모리에서 메모리로 전송이 이루어지도록 구성하여 MCU의 성능 저하를 방지



(다) 터널환경에 대한 내환경 실험 및 인증

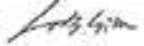
- IP65 인증 획득 : 터널에 적용하기 위해 IP65 인증을 공인기관의 시험을 거쳐 획득



• IP6X 시험



• IPX5 시험

		시험 성적서 성적서 번호: OT-188-RRD-055 페이지: (1 / 총 10)	
1. 의뢰자 ○ 기관명 : ㈜에이앤씨솔루션 ○ 주소 : 서울특별시 송파구 송이동 19길 4-8 (성보빌딩 2층) ○ 계약번호 : A188A-102			
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용			
3. 시험대상품목 ○ 기기명 : 음향수집관측장치 ○ 모델명 : AADS-1100 ○ 제조번호 : 해당 없음			
4. 시험기간 : 2018. 08. 16 ~ 2018. 08. 22			
5. 시험방법 : KS C IEC 60529:2006			
6. 시험결과 : 시험 성적서 값주			
학 인	시험자		승인자
	성명: 심원보 		기술책임자
	서명		성명: 서권원 
발급일 : 2018. 08. 27			
1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다. 2. 이 시험성적서는 당 시험소의 사관 서면 동의없이 홍보, 전권, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시험방법에 의한 시험결과를 포함하고 있습니다.			
경기도 광주시 호남읍 전세골길 43-14 (TEL: +82-31-798-8600 FAX: +82-31-798-0589)			

다. 터널 음향 데이터 DB 구축

(1) 네트워크 및 서버시스템 구성

(가) 음향수집기 1개의 음향정보의 통신량

- 음향수집기는 16bit - 48KHz로 Sampling하며, 하나의 음향수집기가 진입/진출 방향으로 2개의 마이크로폰 입력하므로, 전송해야 할 음향데이터는 $16\text{-bits} \times 48\text{k-samples} \times 2\text{-channels} = 1.536\text{mbps}$ 임
- 이들의 정보는 직접 DB저장용과 분석용 정보로 2개의 Client가 정보를 가져가므로 통신량은 약 3mbps임
- 설계된 시스템은 터널 거리 약 2Km 정도까지를 대상으로 하고 있으므로, 음향수집기를 100m간격으로 설치한다면 20개의 음향수집기가 설치되므로, Network에 정보는 최대 약 60mbps임

(나) Daisy Chain Network 구성

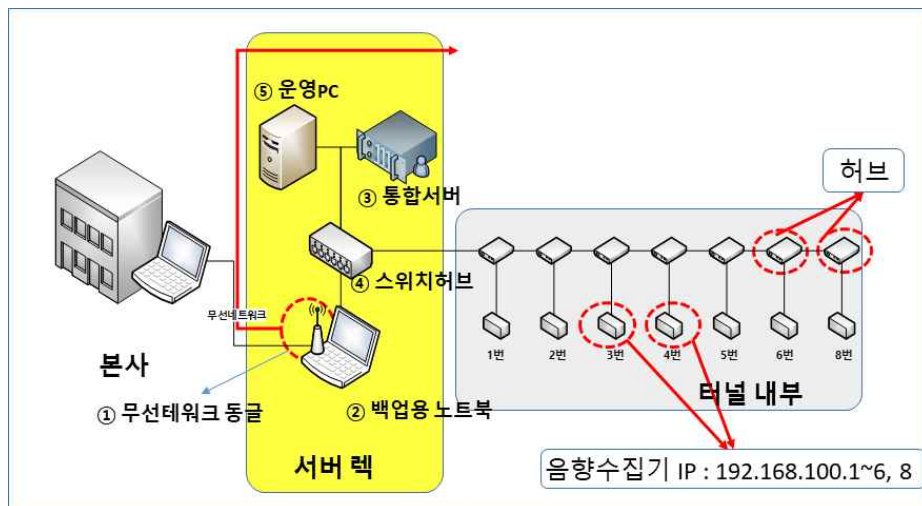
- 터널 내 시공의 편리성 및 원가측면을 고려해서 Daisy-Chain 구성
- 음향수집기간의 거리가 약 100m이므로 일반 FTP Ethernet Cable의 권장 거리 사양을 초과하므로 권장사항은 광케이블을 사용
- 또한 설계 사양에서 순수 음향 데이터 용량이 60mbps정도이므로, 여기에 통신을 위한 부가데이터 및 제어용 데이터들을 감안하고, TCP/IP 사양에 따른 복구시간 고려하면 100mbps로 구현하기에는 무리가 따르므로 Gbps급의 광 케이블을 기준으로 설계함
- 광케이블을 이용한 Daisy-Chain Network 구성은 다음과 같이 광트랜시버를 활용하여 구축



<개발시스템 네트워크 구성방안>

(다) 시험용 간이 Daisy-Chain Network 구성

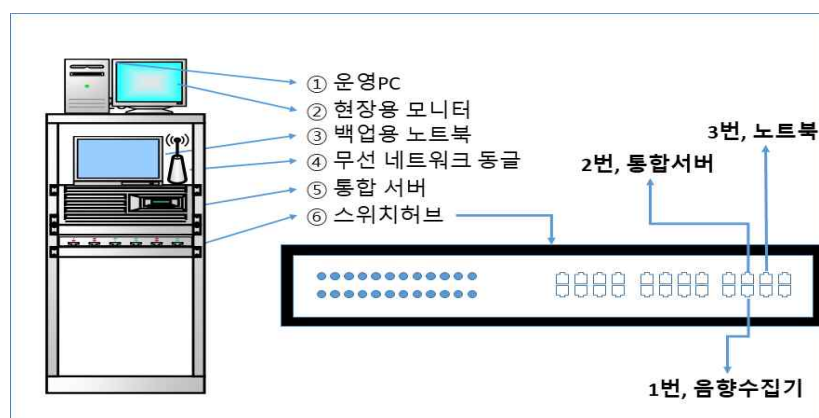
- 시험용 Network의 구축은 음향수집기의 개수를 7개로 설계 및 운영하였으므로, 통신 데이터 용량이 21mbps정도이다. 따라서 일반 100mbps시스템으로 구축
- 또한 음향수집기 간의 거리가 약 100m로서 요구되는 Cable의 길이가 100m를 초과하지만, Cat6 케이블에 1000mbps로 동작시킬 때 그 권장 사양의 거리가 100m로 경계선에 있지만 100mbps로 구동한다면 안정적 운영 가능
- 따라서 본 개발에서는 음향수집기가 7개로 시험하였으므로 음향수집기 마다 Hub를 활용해서 Cat6 Cable로 전체를 연결



<테스트용 간이 네트워크 구성>

(라) 서버 시스템의 구성

- 서버 시스템은 초기 설계에서 통합서버와 DB서버 및 음향분석서버로서 3대의 서버로 구성하였고, 실시간 운영에서 수집된 음향을 모두 저장하기로 결정하면서 대용량의 DB가 필요하여 디스크시스템을 추가로 구성하여 통합서버에 추가
- 최종 시스템에서는 원가절감을 위해서 3대의 서버를 하나의 통합서버로 통합



<서버시스템 구성>

(2) 터널 음향신호 수집 프로토콜 개발

(가) 프로토콜 개요

- 통신 규격은 TCP/IP로 설정
- 음향수집기는 통상의 공공시설물들의 규칙에 따라 클라이언트-서버 시스템 구성에서 서버로 동작하도록 함
- 음향수집기는 설치시 IP를 고정으로 할당

(나) 전체 프레임 구조

- 전체 Packet은 Header, Body, Tail로 구분되며, Header는 STX, Data Length, 송수신시스템 구분코드, 운영코드로 구성
- 송수신 패킷의 길이를 나타내는 LENGTH 필드는 Body필드의 데이터 Byte개수를 나타냄

구분	내용	크기(Byte)	단위	비고
Header	STX	0x02	1	HEX
	LENGTH	Body 데이터 크기	4	HEX
	OPCODE	세부 운영코드	1	HEX
Body	DATA	운영코드에 따른 데이터	n	n = Header.LENGTH
Tail	ETX	0x03	1	HEX

(다) 세부 운영코드

① 음향수집부 <-> 통합처리부

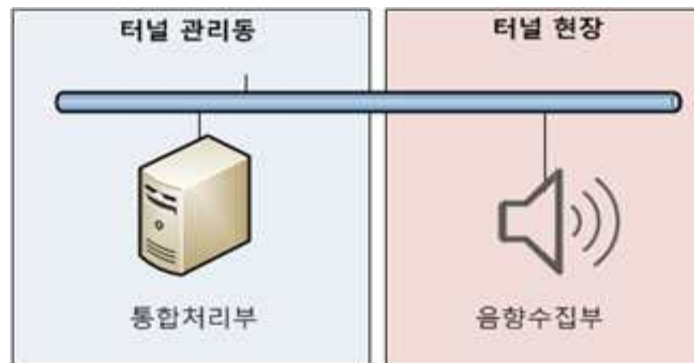
OPCODE	명칭	방향	설명
0x00	음향데이터	음향수집 → 통합처리	음향데이터 전송
0x11	상태정보	음향수집 ← 통합처리	상태정보 요청
		음향수집 → 통합처리	상태정보 응답
0x12	시간동기화	음향수집 ← 통합처리	시간동기화 요청
		음향수집 → 통합처리	시간동기화 응답
0x16	Reset 제어	음향수집 ← 통합처리	음향 수집기 Reset 명령
		음향수집 → 통합처리	
0xA0	마이크 볼륨 설정	음향수집 ← 통합처리	특정 권한 접근. 0.5dB 단위 설정
		음향수집 → 통합처리	
0xA1	스피커 볼륨 설정	음향수집 ← 통합처리	특정 권한 접근. 1dB 단위 설정
		음향수집 → 통합처리	
0xA2	Network 설정	음향수집 ← 통합처리	
		음향수집 → 통합처리	
0xA3	Network 정보	음향수집 ← 통합처리	
		음향수집 → 통합처리	
0xE0	(보류) 펌웨어 업데이트	음향수집 ← 통합처리	특정 권한 접근
		음향수집 → 통합처리	

② 음향수집부 <-> 통합처리부

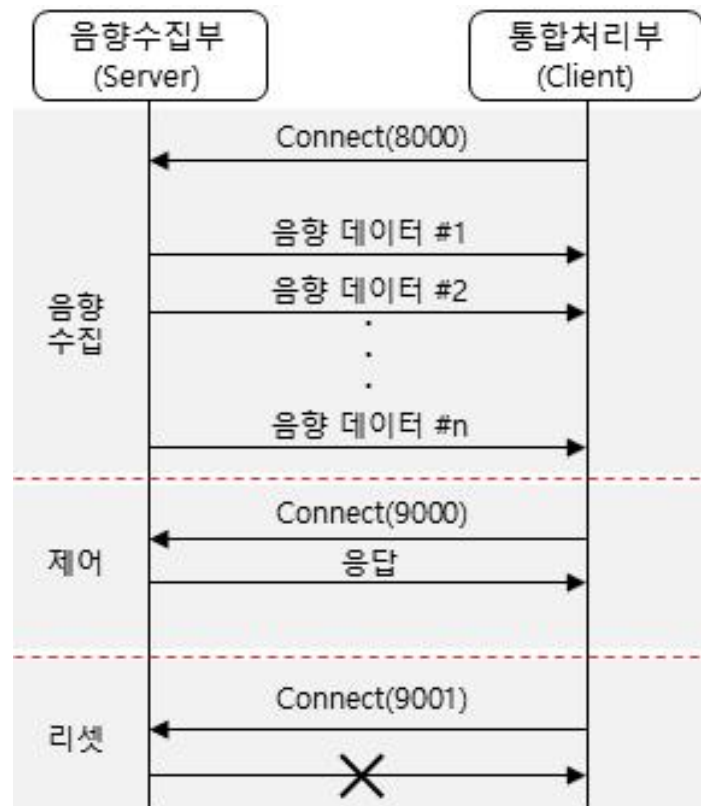
OPCODE	명칭	방향	설명
0x00	음향데이터	음향수집 → 음향분석	음향데이터 전송

(라) 통신 절차

① 시스템 구성



② 연결 설정 및 제어흐름도

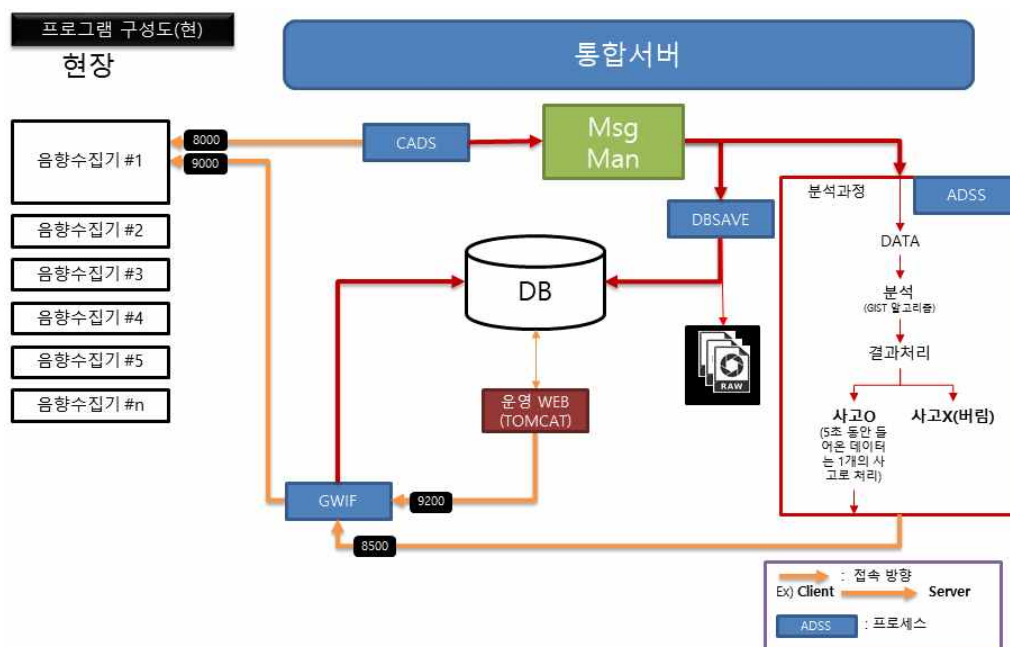


(3) 터널 음향신호 수집 DB 설계 및 구축

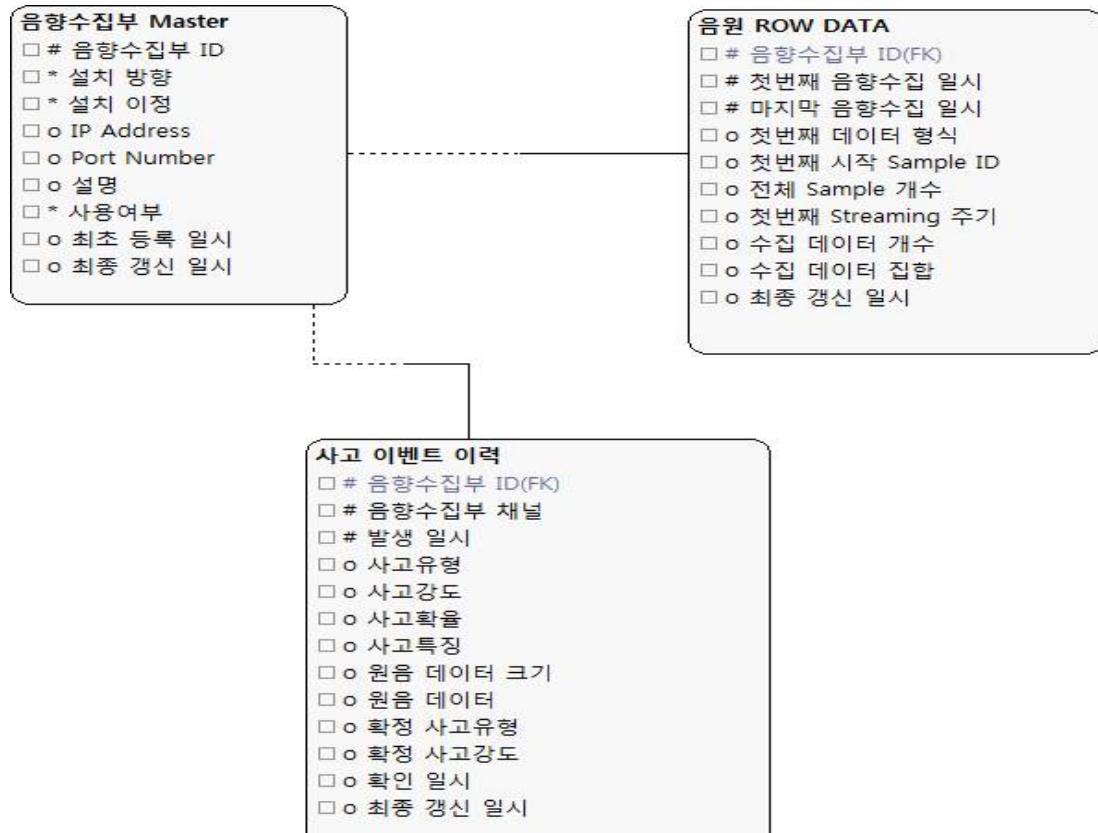
(가) DB 요구사항 정의

요구사항	해결방안
음향수집기의 개별 접속 정보 및 위치 등 기본정보를 수정 관리 필요	음향수집기의 접속 IP, PORT, 설치방향, 설치 위치를 저장 관리하며, 등록 및 수정일시를 저장하여 데이터 변경이력을 확인 가능하도록 설계
각 음향수집기로부터 85ms 단위로 수집되는 음향 정보를 저장 필요	각 음향수집기로부터 85ms단위로 수집되는 데이터를 저장
수집된 음향데이터는 일정 기간 경과 후 삭제 필요	운영에 필요한 최소한으로 저장되어야 하는 기간을 확정하고, 시범운영을 통하여 각 수집 데이터양을 확인한 후 적정 용량의 디스크 용량을 선정
각 음향수집기로부터 수집 및 저장된 음원은 사용자의 요청에 따라 재생 필요	수집된 음원은 각 음원별로 시작시간과 종료시간을 기록하고 있어, 사용자 요청에 따른 재생 시간만큼의 데이터를 조회/결합하여 음원을 재생 가능하도록 설계
사고분석 결과를 저장 관리 필요	사고분석부로부터 수신한 검지된 음향수집기, 사고유형, 사고강도, 사고확률을 저장하고, 추후 사고분석 러닝시스템을 위한 사고로 판단한 특징정보 저장관리 설계

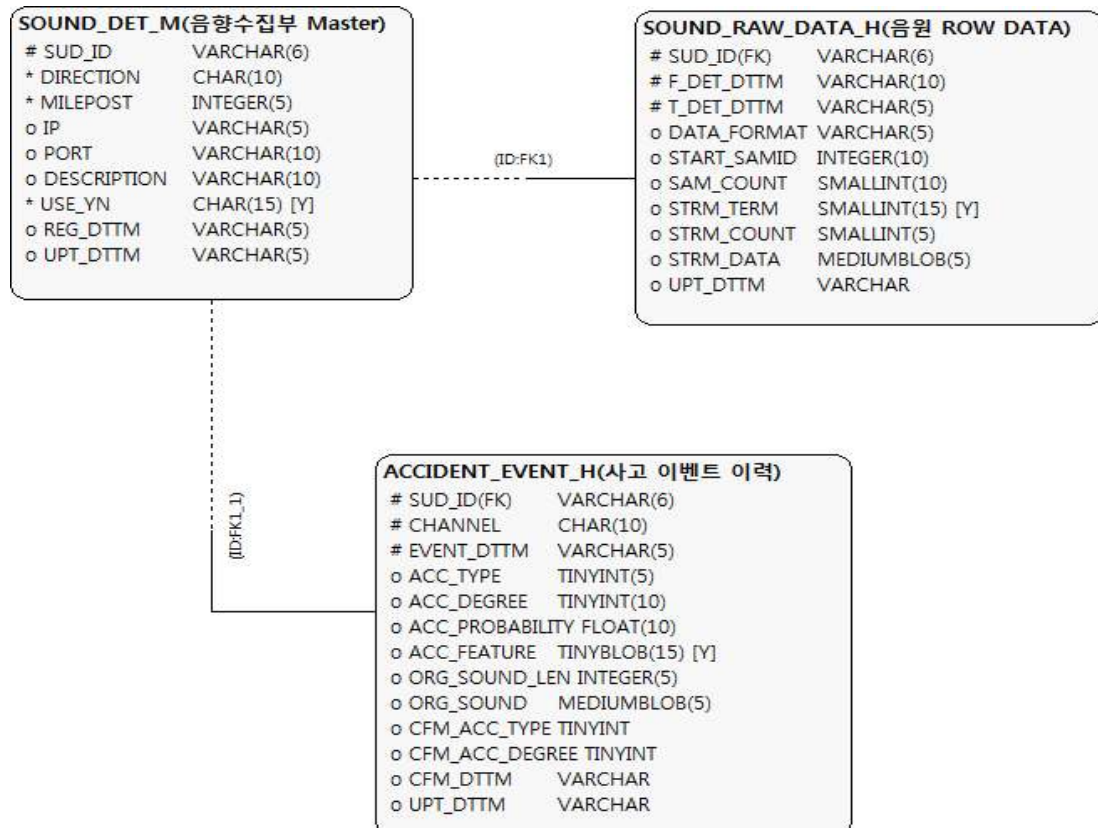
(나) Work Flow



(다) 논리 ERD(Entity Relation Diagram)



(다) 물리 ERD(Entity Relation Diagram)



(3) 개발시스템의 실도로 설치 및 운영

(가) 개발시스템 실도로 현장테스트

- ① 설치 장소 : 서울외곽순환고속도로 광암터널 관교방향(한국도로공사 동서울지사 관할)
- ② 운영 기간 : 2018.07.20.~ 현재
- ③ 시스템 구성 : AADS시스템(제어기 7대 및 시스템)



(나) 실제 운영결과 사고검지 결과, 사고검지 결과정보가 데이터베이스에 저장

K10		=LEFT(D10,4)&"-"& MID(D10,5,2)&"-"& MID(D10,7,2)&"-"& MID(D10,9,2)&"-"& MID(D10,11,2)&"-"& MID(D10,13,2)&"-"& MID(D10,15,3)																											
C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R														
CHANNEL	EVENT DTIM	DETECT STX DTIM	DETECT DTIM	ACC TYPE	ACC DEGREE	ACC PROBABILITY	EVENT PRIOR	수집시간	알고리즘처리시간	감지시간	분석 대기 시간	분석 시간	사고	채널															
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														

(다) TEST-BED 운영

- ① 제어기 상태 체크 및 시스템 모니터링
- ② 음향수집기별 상태 점검 후, 장애발생 시 유지관리 프로세스에 따라 대응
- ③ 운영프로그램 모니터링을 통해 광암터널 유고상황 수신음향 청취 및 보고서 작성
- ④ 유고 상황(충돌,스키드) 발생시, 보고서 작성 및 해당 CCTV 백업
- ⑤ 매주 수집 데이터 분류 및 백업 (RawData, EventData) 백업
- ⑥ 제어기 상태 점검 및 유지관리
- ⑦ 매일 음향수집기 상태 점검 및 장애일지 작성

라. 개발시스템 성능평가 및 효과분석

(1) 개발시스템 성능평가 방법론 정립

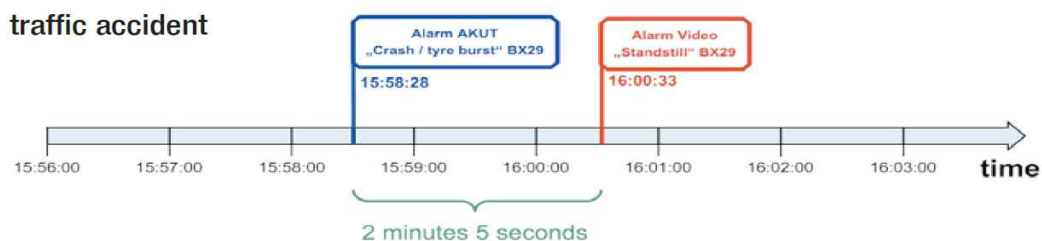
(가) 터널 돌발상황 검지시스템 성능평가 사례 분석

- ITS 코리아에서는 2012년 “터널 영상돌발상황 검지시스템 성능시험 방법 표준”제정
- 시험횟수 및 시험구간은 시험항목별로 0~50m 2회, 50~100m 4회, 100~150m 4회 (총 10회) 실시
- 시험구분은 단독시험, 복합시험, 운영모드 시험, 표준영상 시험 등으로 구분함
- 성능시험 구분 및 시험항목에 따른 시험횟수, 시험에서 발생시키는 유고 이벤트 수를 정의함



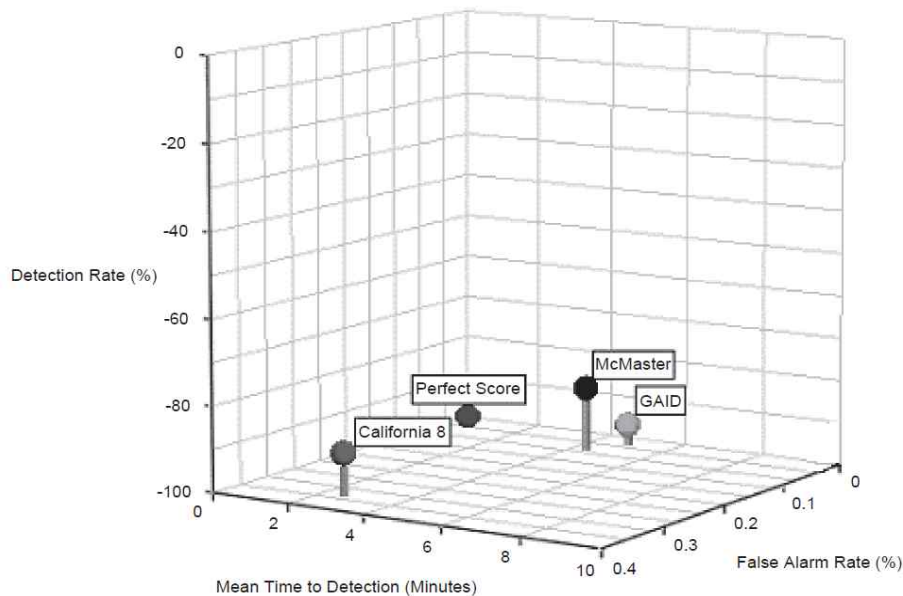
<영상유고감지설비 성능평가 사례, 국내>

- 오스트리아 Joanneum Research Group에서는 자체 개발한 음향 신호 기반 터널 교통사고 자동검지시스템에 대한 성능평가를 수행
- 평가 결과, 음향신호를 이용한 검지시스템은 영상 기반의 검지시스템에 비해 교통사고(충돌, 펑크, 스키드)에 대한 검지시간이 2분 5초나 더 빠른 것으로 보고함



<음향 및 영상 기반 터널 돌발상황 검지시스템 평가사례, 오스트리아>

- 캐나다의 온타리오 교통부에서는 차량검지기 데이터 기반의 돌발상황 검지시스템의 성능을 실제로 고속도로 현장에서 수집한 사고 데이터를 이용하여 평가함
- 평가결과 알고리즘별로 다소 상이하였지만, 검지율은 90~95%, 오검지율은 0.03~0.35%, 검지시간은 156~306초가 소요되는 것으로 나타남
- 그러나 상기의 평가결과는 평가시 개별 알고리즘들은 수년간 누적된 교통사고 데이터와 교통사고가 없을 때의 교통패턴 데이터를 이용하여 전문가의 정밀한 튜닝(최적 파라미터 도출)이 이루어진 상태로써, 일반적인 돌발상황 검지시스템 운영상태와는 크기 다름
- 일반적으로 차량검지기 데이터 기반 돌발상황 검지시스템의 경우 비전문가에 의한 상시 모니터링이 이루어지고, 초기 구축시에는 해당 구간에 대한 사고 데이터가 존재하지 않기 때문에 최적의 파라미터 도출이 사실상 불가능함



<차량검지기 데이터 기반 돌발상황 검지시스템 평가사례, 캐나다>

- 미국의 하와이 대학에서는 총 3가지 모델의 터널 영상유고검지시스템에 대한 성능 평가를 수행함
- 평가결과, 검지율은 14~85%, 오검지율은 15~85%, 검지시간은 10~120초로 나타남

CCTV NIT	No. 24 49	No. 30 52	No. 48 117	No. 51 83	No. 63 77	No. 67 35	No. 134 33	No. 139 45	Total 491
Detection rate									
A	61.2%	75.0%	28.2%	69.9%	39.0%	85.7%	75.8%	66.7%	56.0%
B	63.3%	65.4%	72.7%	74.7%	59.7%	45.7%	54.6%	77.8%	66.6%
C	53.1%	42.3%	69.2%	60.2%	46.8%	14.3%	36.4%	35.6%	50.5%
False alarm rate									
A	77.1%	48.0%	52.2%	33.3%	51.6%	54.6%	55.4%	9.1%	52.6%
B	76.3%	74.4%	55.0%	41.0%	69.9%	80.3%	14.3%	72.2%	65.2%
C	83.9%	84.2%	59.9%	54.1%	85.5%	85.7%	84.2%	64.4%	75.6%
Value ratio (FAR/DR)									
A	3.37	0.92	1.09	0.50	1.07	1.20	1.24	0.10	1.11
B	3.23	2.91	1.22	0.69	2.33	4.06	0.17	2.60	1.87
C	5.19	5.32	1.49	1.18	5.92	6.00	5.33	1.81	3.10

(나) 평가항목 정립

- 평가항목은 돌발상황 감지시스템의 일반적인 평가항목인 감지율, 오검지율, 감지시간으로 구분
- 감지율은 전체 돌발상황 건수 대비 개발시스템이 감지한 돌발상황 건수의 비율이고, 오검지율은 개발시스템이 감지한 총 돌발상황 건수 대비 실제 돌발상황을 감지한 건수의 비율이며, 감지시간은 돌발상황이 발생한 시점부터 개발시스템이 돌발상황을 자동검지한 시점간의 시간차이를 의미함

<개발시스템 평가항목 및 성능목표>

항목	성능목표	계산식
감지율 (Detection Rate)	90%	$(\text{참 감지 건수} \div \text{돌발상황 발생 건수}) \times 100$ (%)
오검지율 (False-Alarm Rate)	10%	$[(\text{총 감지 건수} - \text{참 감지 건수}) \div \text{총 감지 건수}] \times 100$ (%)
감지시간 (Detection Time)	5초	돌발상황 발생시간과 개발시스템에 의한 돌발상황 알람 표시시간 차이

(다) 평가 방법

- 돌발상황 재현방법 : 본 개발시스템은 돌발상황시 발생하는 영상을 이용하여 해당 돌발상황을 감지하기 때문에 평가시 실제 환경에 대한 재현이 불가능함
- 따라서 돌발상황에 대응하는 소리음에 대한 확보(구매)를 통해 실제 터널 상황에서 해당 돌발상황음을 재생하는 방식으로 평가를 수행
- 감지 거리 : 현재 ‘도로터널 방재시설 설치 및 관리지침’상 유고검지설비의 설치 간격은 100m로 규정되어 있고, 음향 수집장비의 경우 양방향을 동시에 감지 가능하기 때문에 감지기별 감지거리는 최대 50m임
- 따라서 사고음 재생은 감지기 설치지점으로부터 0m, 30m, 50m지점에서 수행함
- 평가 유형 : 실제 현장에서는 사고음 뿐만 아니라 일반차량도 운행하기 때문에 평가시 사고음만 재생하는 단독평가와 사고음과 일반 차량운행음도 동시에 재생하는 복합평가 환경으로 구성
- 일반 차량 운행음은 다양한 차종 상황을 반영해야 하고, 차량의 경적음 등도 포함 되도록 구성함
- 평가 횟수 : ITS 코리아에서 제정한 영상유고검지설비의 평가횟수와 동일한 상황별 10회로 설정함

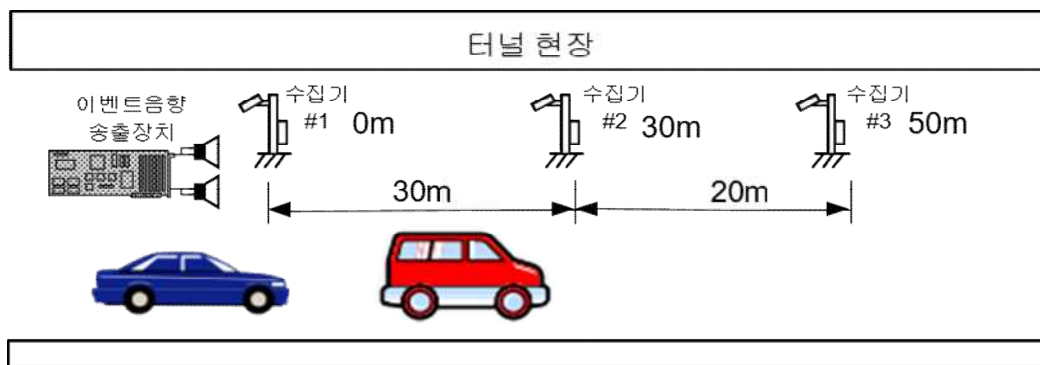
평가유형	감지거리	돌발상황 재현방법	평가횟수
- 단독평가	0m	돌발상황 음원 확보(구매)	상황별 10회
- 복합평가	30m	개발시스템 DB를 통해	
	50m	차량운행음 확보	

(2) 개발시스템 성능평가 데이터 분석

(가) 제한된 환경(페터널) 성능평가

① 제한된 환경 성능평가 테스트베드 세부구성

- ㉠ 음향 수집 : 음향 수집 시제품 3개조를 충돌음(사전녹음 음향) 송출 지점으로 부터 0m, 30m, 50m에 각각 설치하여 유선통신 방식으로 수집서버로 전송하여 음향 수집
- ㉡ 돌발상황 음향 송출 : 차량 충돌, 스킨드림 등 이벤트 음향 송출하기 위하여 차량 터널 입구부에 앰프와 고성능 스피커(2조)를 통하여 돌발상황 음 송출



< 테스트베드 세부 구성 방안 >

② 돌발상황 이벤트 음향의 구성

- ㉠ 음향 구성 : 실제 터널 내 차량의 사고 등에서 발생하는 음향 발생을 재현하기 위해 사전에 획득한 돌발상황 음향을 통해 터널 돌발상황을 시뮬레이션 하도록 구성하여 돌발상황 재현
- ㉡ 돌발상황 음향 발생 주기 : 이벤트 음향은 약 1분 주기로 100db 이상으로 송출하도록 구성하여 이전, 이후 이벤트 음향과의 영향 간섭을 최소화하고 지속적이고 반복적인 효과를 부여하도록 구성

③ 성능평가 시간 설정

- ㉠ 성능평가 시간 대략 4시간 데이터 수집
- ㉡ 상황별 최소 성능평가 횟수(10회) 이상 데이터 수집

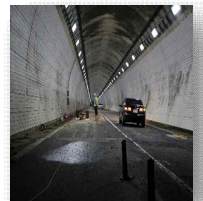
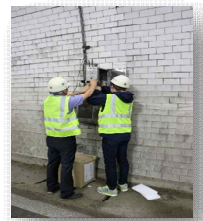
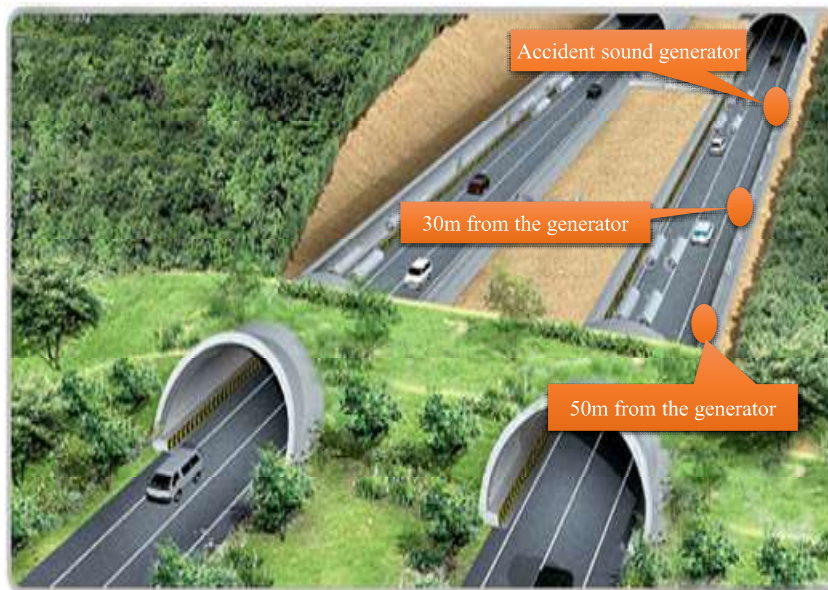
④ 제한된 환경 성능평가 데이터 수집 및 분석

- ㉠ Neale(2008) 연구에 따르면 현장의 교통사고음의 음압수준은 충돌의 경우 110~130db-SPL이고, 스킨드의 경우 90~100db-SPL 수준으로 조사됨에 따라 기록된 사고음을 90~130db-SPL 수준으로 재생함
- ㉡ 총 237개(충돌 200개, 스킨드 37개)의 사고음 데이터(유럽의 NCAP 충돌실험 데이터 등을 통해 확보)를 이용해 평가한 결과 검지율, 오검지율, 검지시간 성능이

아래 표와 같이 도출됨



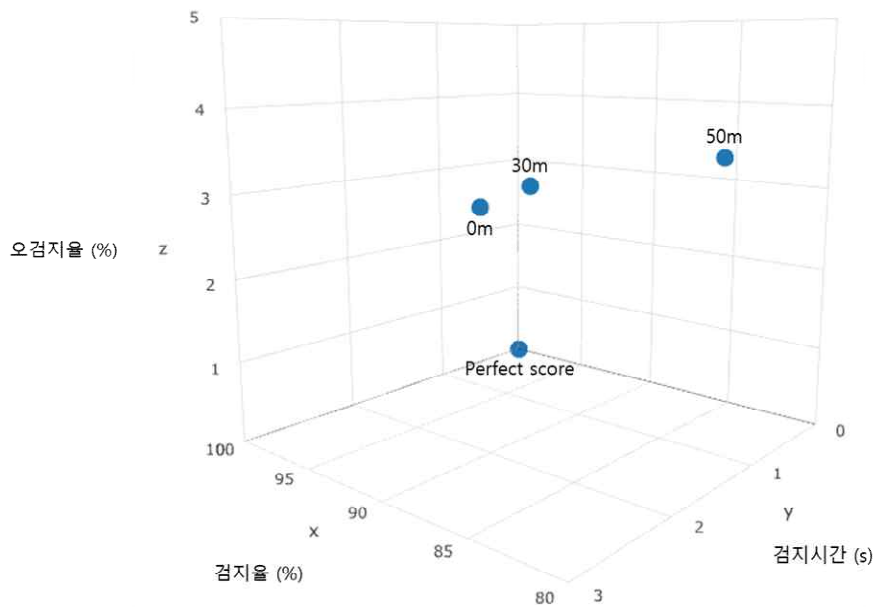
< 테스트베드에서 성능평가 시행 >



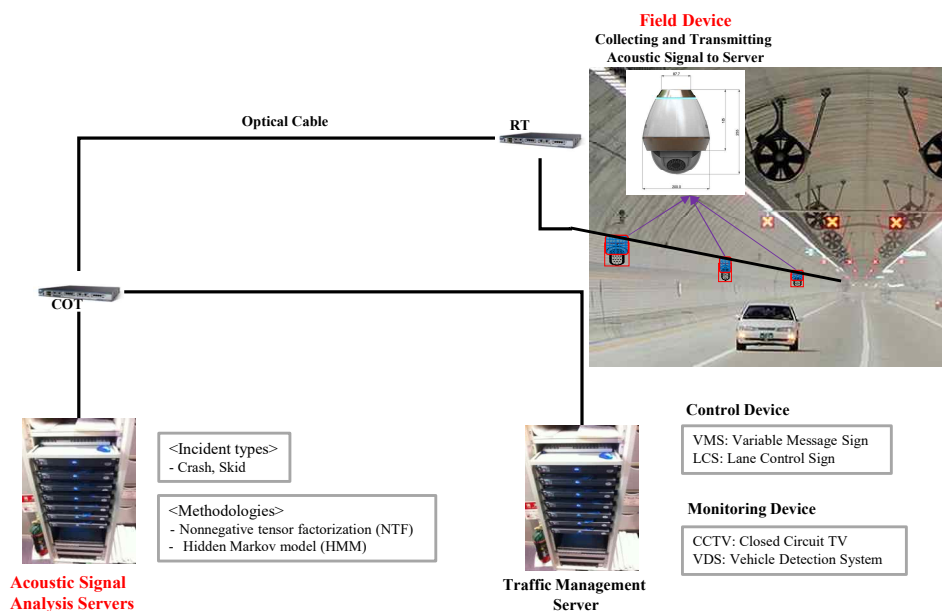
<성능평가 결과>

거리	검지율	오검지율	검지시간
0 m	95.36%	2.63%	1.24 s
30 m	91.56%	3.00%	1.30 s
50 m	80.43%	3.56%	1.39 s

- ㉠ 거리에 따라 검지율은 85~95%, 오검지율은 2.6~3.5%, 검지시간은 1초대로 나타남
- ㉠ 특이한 점은 검지율의 경우 거리가 증가함에 따라 감소하였지만, 오검지율과 검지시간 성능은 저하되지 않은 것으로 나타남



- ㉠ 개발시스템이 기존기술에 비해 우수한 점은 검지시간이 현저하게 짧다는 점으로 이는 2차 교통사고 예방이 주 목적인 터널 돌발상황 검지기술로서 가장 중요한 항목으로 인식됨(Ozbay et al., 1999)
- ㉡ 또한 운영적 측면에서도 영상유고검지시스템과 달리 차량의 가림현상 (occlusion), 설치높이, 먼지, 조도 등의 영향을 받지 않기 때문에 운영상의 우수점 존재
- ㉢ 그러나 본 개발시스템은 터널에서 발생하는 돌발상황 중 기존 시스템이 검지하지 못하는 충돌음, 스키드 등을 검지할 뿐 터널 내에서 발생하는 화재, 정지차량, 보행자 등의 돌발상황을 검지하는 데에는 한계가 있으므로 기존 시스템과 병행 운영하는 방안이 유리할 것으로 판단됨

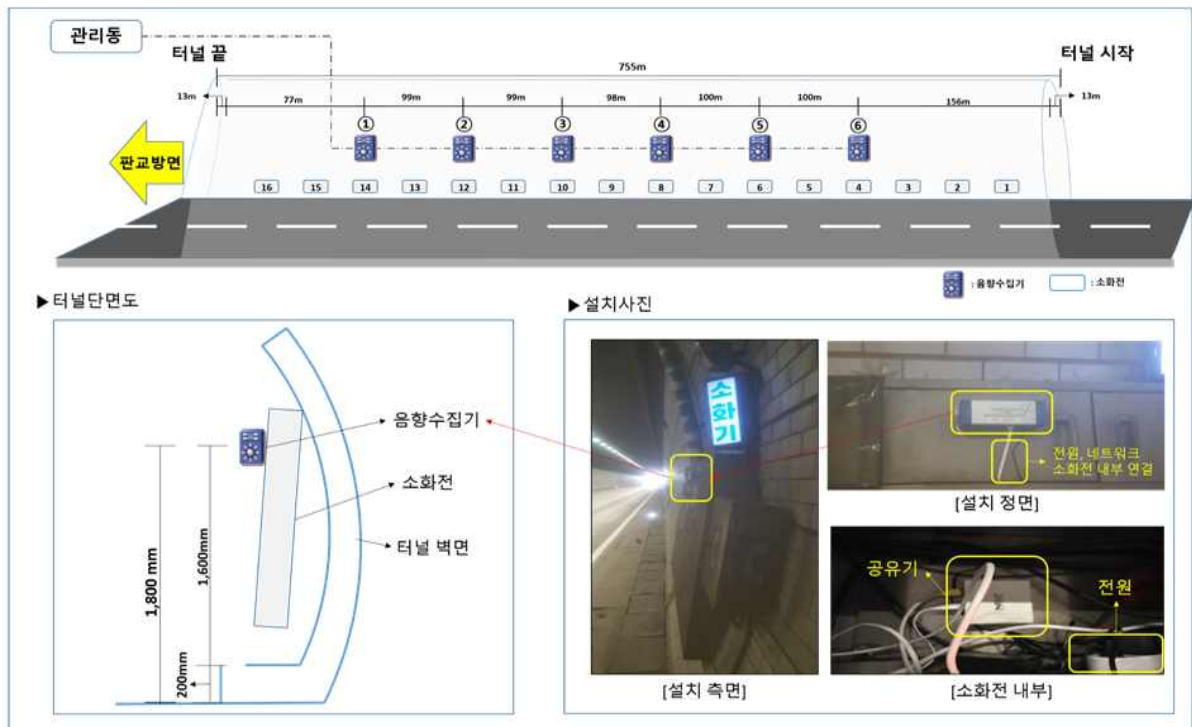


(나) 실도로 환경(광암터널) 성능평가

① 평가 환경

- ㉠ 위치 : 서울외곽순환고속도로 광암터널
- ㉡ 기간 : 2018년 9월~2019년 2월(6개월)
- ㉢ 현장 : 음향수집기 100m 간격 7식 설치
- ㉣ 센터 : 통합서버 1식 설치

< 실도로 평가 환경 >



② 실도로 성능평가 데이터 수집 및 분석

- ㉠ 개발시스템 현장평가 결과 최초(2019.7~8월) 설치시에는 오검지율이 높아 해당터널에서 수집한 차량 운행음을 이용하여 정밀 튜닝 후 분석 수행
- ㉡ 튜닝 후 분석 결과를 세부적으로 분석하여 평가결과 도출

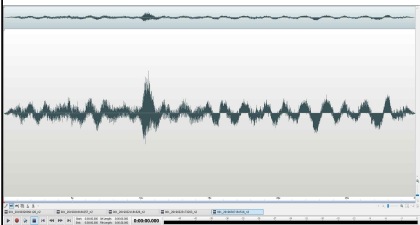
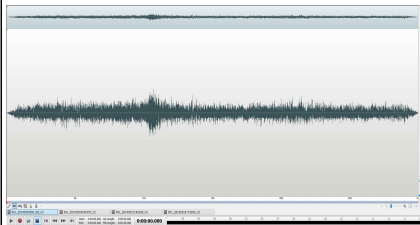
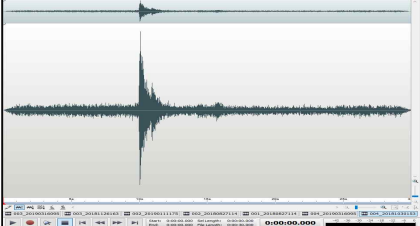
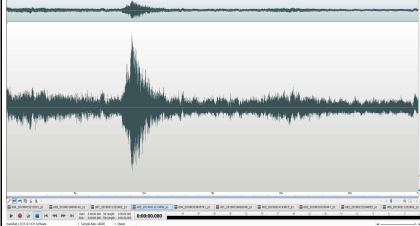
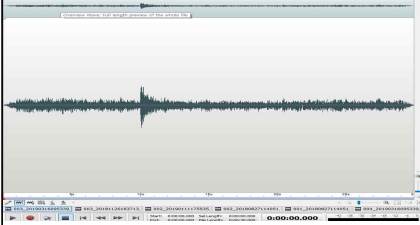
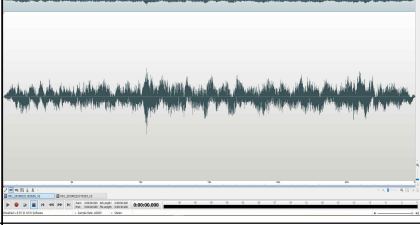
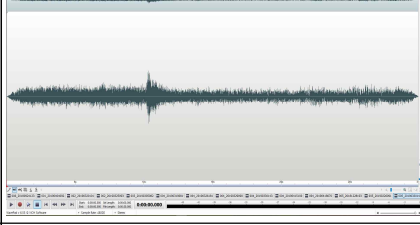
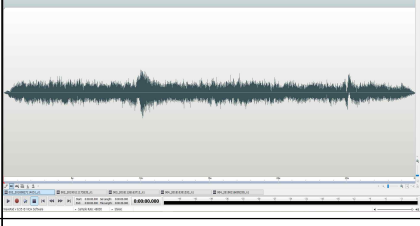
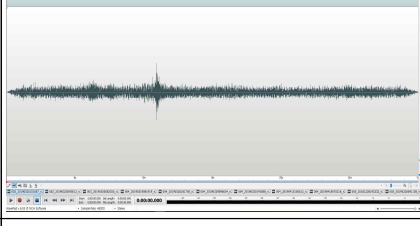
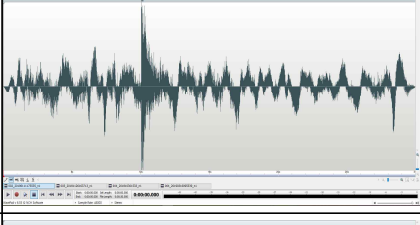
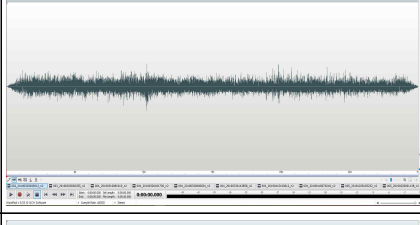
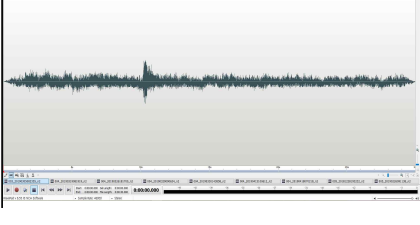
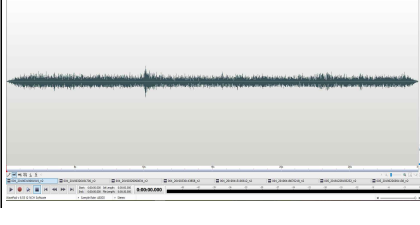
<평가결과 요약>

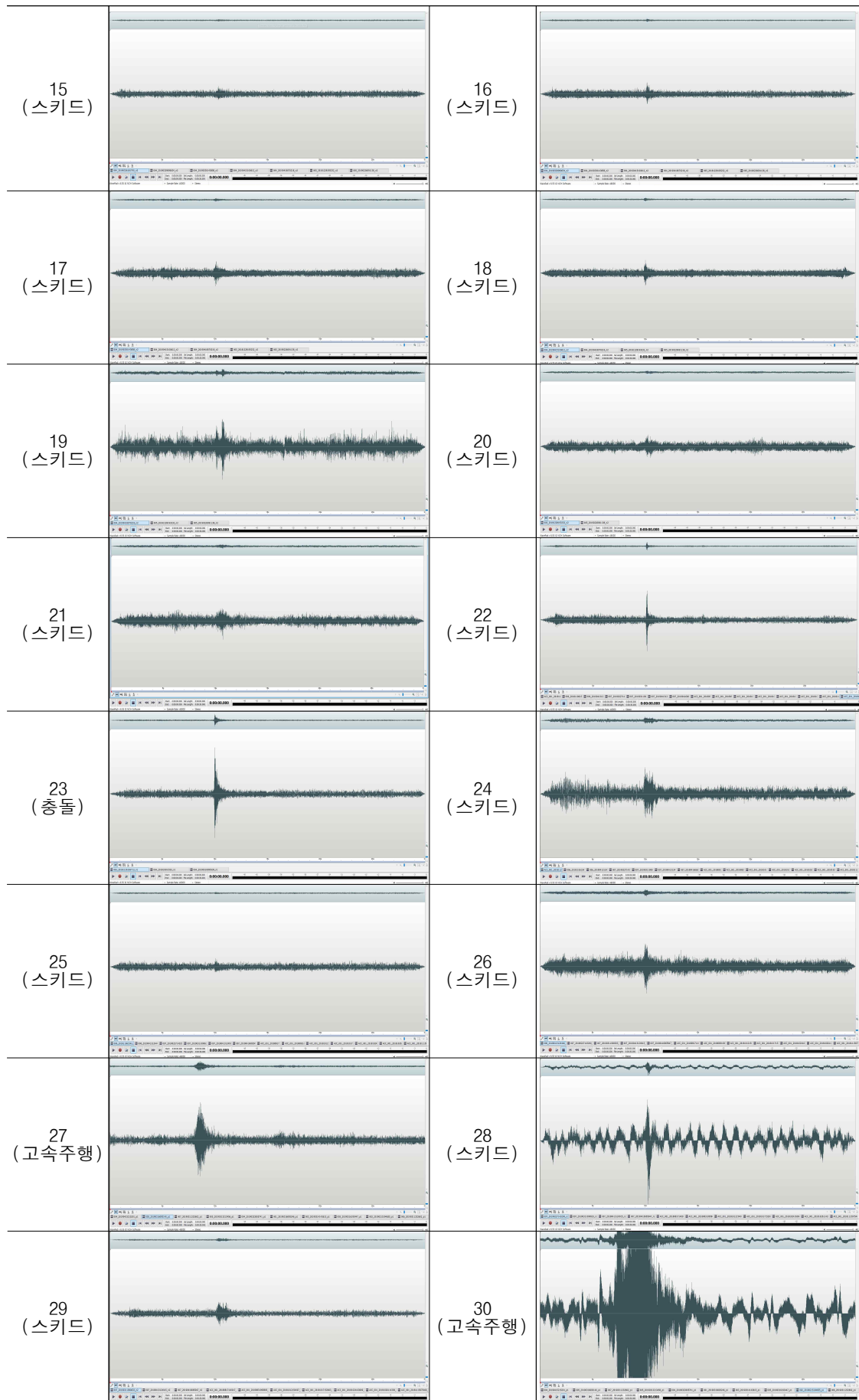
구분	기간	돌발 유형	발생 건수	검지 건수	검지율	검지 시간	오검지 건수	오검지율
튜닝前	2018.7.~ 2018.9.(2개월)	충돌	1	0	81.2%	1초	11	122.2%
		스키드	10	9				
튜닝後	2018.9.~ 2019.2.(6개월)	충돌	10	10	93.9%	1초	3	6.5%
		스키드	39	36				

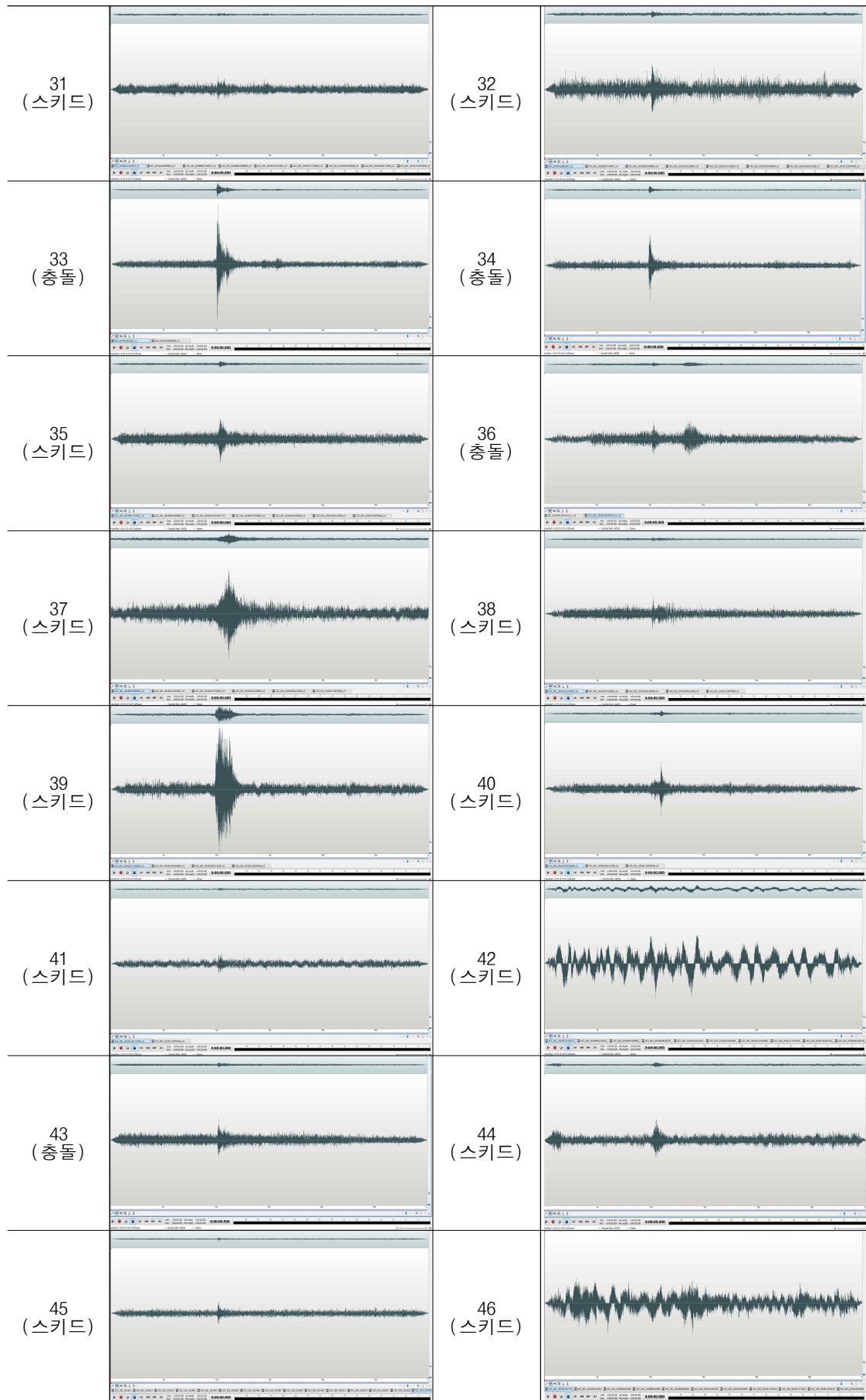
<세부 평가결과>

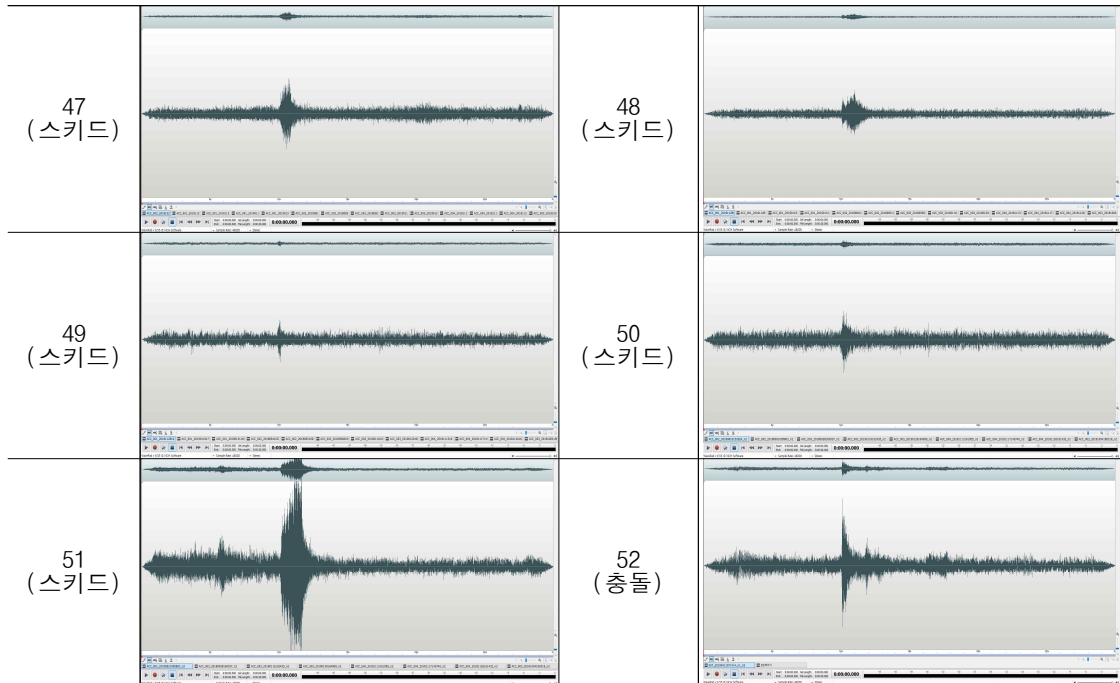
일련번호	돌발 유형	검지 유무	검지 시간(초)	오검지 여부	오검지 유형
1	스키드	○	00:01.6		
2	스키드	○	00:01.5		
3	충돌	○	00:01.5		
4	-			○	고속주행음
5	충돌	○	00:01.6		
6	스키드	○	00:02.6		
7	스키드	○	00:01.6		
8	스키드	○	00:01.7		
9	충돌	○	00:01.8		
10	스키드	○	00:02.5		
11	충돌	○	00:01.5		
12	스키드	○	00:01.7		
13	스키드	○	00:01.6		
14	스키드	X			
15	스키드	○	00:02.3		
16	스키드	○	00:01.9		
17	스키드	○	00:01.5		
18	스키드	○	00:01.5		
19	스키드	○	00:01.6		
20	스키드	○	00:01.7		
21	스키드	○	00:01.7		
22	스키드	○	00:01.6		
23	충돌	○	00:02.2		
24	스키드	○	00:01.6		
25	스키드	○	00:01.5		
26	스키드	○	00:01.8		
27	-			○	고속주행음
28	스키드	○	00:01.6		
29	스키드	○	00:01.5		
30	-			○	고속주행음
31	스키드	○	00:01.6		
32	스키드	○	00:01.9		
33	충돌	○	00:01.9		
34	충돌	○	00:01.9		
35	스키드	○	00:02.3		
36	충돌	○	00:02.6		
37	스키드	○	00:01.6		
38	스키드	○	00:01.7		
39	스키드	○	00:01.8		
40	스키드	○	00:01.6		
41	스키드	○	00:01.7		
32	스키드	X			
43	충돌	○	00:01.7		
44	스키드	○	00:01.9		
45	스키드	○	00:01.6		
46	스키드	X			
47	스키드	○	00:01.6		
48	스키드	○	00:02.3		
49	스키드	○	00:02.0		
50	스키드	○	00:01.5		
51	스키드	○	00:01.6		
52	충돌	○	00:01.6		

<돌발상황 음원 파형>

일련번호 (유형)	음원 파형	일련번호 (유형)	음원 파형
1 (스키드)		2 (스키드)	
3 (충돌)		4 (오검지)	
5 (충돌)		6 (스키드)	
7 (스키드)		8 (스키드)	
9 (충돌)		10 (스키드)	
11 (충돌)		12 (스키드)	
13 (스키드)		14 (스키드)	







(다) 공인기관 성능시험 결과

① 음향분석 알고리즘

㉠ 시험분석기관 : 전자부품연구원 차세대음향산업지원센터

㉡ 시험기간 : 2019년 5월 8일

㉢ 시험환경 : Ryzen Threadripper 1950X CPU with 64GB RAM and GTX 1080 Ti

㉣ 시험결과 : 검지율 92.5%, 오검지율 9.3%, 검지시간 0.27s



성적서 번호 : NSSC-TR-19-0030

페이지 1 of 4

시험 성적서

1. 의뢰자

회사명 : ㈜에이엔제이솔루션

주소 : 서울시 송파구 송이로 19길 4-8 2층 (성보빌딩, 가락동)

의뢰일자 : 2019.04.25.



2. 시험품

품명/모델명 : 사고음향자동검지시스템

제조사 : ㈜에이엔제이솔루션

3. 시험기간 : 2019.05.08.

4. 시험장소 : ☒ 고정 시험실 ☐ 현장 시험
(주소 : 경기도 고양시 일산서구 법곳길 182)

5. 시험방법 : 의뢰사 측정 요청서에 기준함

6. 시험환경 : Ryzen Threadripper 1950X CPU with 64GB RAM and GTX 1080 Ti

7. 시험결과 : 첨부된 시험 결과 참고

- * 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험품에만 한정된 시험 결과이며, 전체 제품에 대한 품질은 보증하지 않습니다.
- * 이 성적서의 시험 항목은 KOLAS 인정 규격에 일치하는 범위가 아닙니다.
- * 이 성적서는 당 시험소의 사전 서면동의 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다.

작성자

기술책임자

이재원

(서명)

장달원

(서명)

2019. 05. 22

전자부품연구원 차세대음향산업지원센터장 (인)

10403 경기도 고양시 일산서구 법곳길 182

Tel : (031)911-6725, Fax : (031)911-6725



QP-22-02 (3)

제정일자(2015.02.24) / 개정일자(2019.04.12)
G4B(www.g4b.go.kr)신위확인코드 : 5epFtqcOCD4=



시험 결과

1. 측정 개요

해당 시험은 의뢰사에서 구축 개발한 사고음향자동검지시스템의 성능을 확인함을 목적으로 함. 개발한 시스템에 대한 표준 규격 부재와 관련하여 의뢰사에서 제시한 기준을 적용해 시험을 진행. 개발한 시스템이 설치된 개인용 PC와 의뢰사가 제시한 실험 데이터(터널에서 녹음 후 가공된 약 48시간 길이의 wav 파일로 일부 구간에 사고이벤트의 음향을 포함함)를 이용하여 시험을 진행함. 해당 시험은 실험 데이터에 대한 검증은 포함하지 않음.

2. 시험 시료

시 료 분 류	소프트웨어적으로 구현된 모듈 (모듈이 동작할 수 있는 개인용 PC를 의뢰사에서 제공)
------------------	---

3. 시험 종류 및 방법

[표 1] 제조사 지정 시험 항목

순번	항 목	정 의	측정 범위
1	검지율	검지율 (recall)은 전체 사고 음향 건수 중에서 의도한 결과를 제대로 출력한 것의 백분율을 의미. 아래의 식과 같이 표현됨 $\text{검지율} = \frac{\text{정확하게 검지한 음향건수}}{\text{전체 사고음향 건수}} \times 100 \%$	0 ~ 100 %
2	오검지율	오검지율은 검지를 시도한 음향 중 의도한 결과와 다른 결과를 출력한 것의 백분율을 의미 $\text{오검지율} = \frac{\text{잘못 검지한 음향건수}}{\text{전체 사고 검지 건수}} \times 100 \%$	0 ~ 100 %
3	사고이벤트평균 검지시간	음향 입력을 이용해서 시험하였을 때, 정확히 검지된 각각의 사고이벤트에 대해서 사고이벤트의 실제 시간과 검지된 시간의 차이의 평균값을 의미	0 ~ ∞ s

***-QP-22-02 (3)



제정일자(2015.02.24) / 개정일자(2019.04.12)
G4B(www.g4b.go.kr)신 위 확인 코드 : 5epFtqcOCD4=



3.1 시험 방법

- 시험 시료의 경우, 리눅스 OS 중 하나인 Ubuntu 상에서 작동될 수 있도록 구현되어 있기에 Ubuntu OS 상에서 테스트를 진행함
- 해당 스크립트가 있는 위치로 이동 후 아래의 스크립트를 실행

```
cd $AADS_DIR
./run_all.sh
```

- 위 스크립트를 실행하면, 사고음향자동검지시스템은 wav 파일을 입력으로 받아서 검지된 결과를 txt 파일로 출력함
- 결과는 각 wav 파일별로 검지된 이벤트에 대해서만 시작시간/끝시간을 출력하여 주고, 이를 사람이 검지하여 작성한 ground truth 파일과 비교하여 아래의 두 가지 항목 (검지율, 오검지율)을 계산함

$$\text{검지율} = \frac{\text{정확하게 검지한 음향건수}}{\text{전체 사고음향 건수}} \times 100 \%$$

$$\text{오검지율} = \frac{\text{잘못 검지한 음향건수}}{\text{전체 사고 검지 건수}} \times 100 \%$$

- 여기에서 검지된 이벤트가 정확하게 검지되었다는 것은 ground truth와 비교하여 시작시간/끝시간이 각각 5초 이내의 오차를 가지고 있는 경우에만 정확하게 검지되었다고 하고, 시간의 오차가 크거나 ground truth 안에 없는 이벤트를 검지한 것은 잘못 검지한 음향 건수로 처리함
- 정확하게 검진한 음향이벤트들에 대해서 시작시간을 기준으로 ground truth의 시간과 검지된 시간의 차이를 절대값을 계산하여 그 평균을 구하여 사고이벤트 평균 검지시간을 구함

QP-22-02 (3)



제정일자(2015.02.24) / 개정일자(2019.04.12)
G4B(www.g4b.go.kr)신위확인코드 : 5epFtqcOCD4=



4. 시험 측정 설비

4.1 시험 환경

- 하드웨어: Ryzen Threadripper 1950X CPU with 64GB RAM and GTX 1080 Ti
- OS: Ubuntu 16.04 LTS 2 64bit

5. 시험 결과

5.1 검지율

$$- \text{검지율} = \frac{49}{53} \times 100 \% = 92.5 \%$$

※ 소수점 둘째 자리에서 반올림

5.2 오검지율

$$- \text{오검지율} = \frac{5}{54} \times 100 \% = 9.3 \%$$

※ 소수점 둘째 자리에서 반올림

5.3 사고이벤트 평균 검지시간

$$- \text{사고이벤트 평균 검지시간} = \frac{13.318}{49} = 0.27 \text{ s}$$

※ 소수점 셋째 자리에서 반올림

- 끝 -

7-QP-22-02 (3)



제정일자(2015.02.24) / 개정일자(2019.04.12)
G4B(www.g4b.go.kr)신위확인코드 : 5epFtqcOCD4=



(라) 유사 기술과 성능비교

구분		VDS ^a	영상유고검지 ^b	개발시스템(음향) ^c
성능	검지율	85-95%	14-85%	92.5%
	오검지율	0.03-0.35%	15-85%	9.3%
	검지시간	156-306초	10-120초	0.27초
운영 특성	튜닝	Difficult	Difficult	Easy
	차로통제	Yes	No	No
	설치높이	No	Yes	No
	Occlusion	No	Yes	No
검지 항목	화재	X	O	X
	충돌	X	X	O
	역주행	X	O	X
	낙하물	X	O	X
	정지차량	X	O	X
	대기행렬	X	O	X
	저속차량	X	O	X
	펍크	X	X	△
	스키드	X	X	O
	보행자	X	O	X
	교통류변화	O	X	X

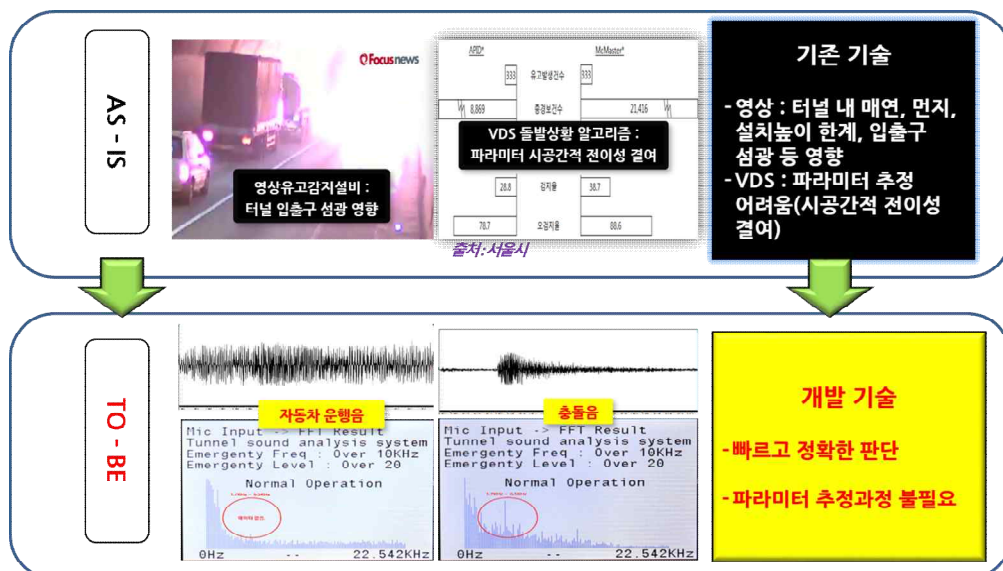
Note : O = 검지 가능; X = 검지 불가능; △ = 부분적 검지가능

^aSource : Comparison and Analysis Tool for Automatic Incident Detection, TR, No. 1925, 2005.

^bSource : Video Incident Detection Tests in Freeway Tunnels, Transportation Research Record, No. 1959, 2006.

^cSource : 2차년도(2017년) 제한된 환경 성능평가 결과(※ 실도로 성능평가 및 알고리즘 개선은 현재 진행 중).

- 개발시스템이 기존기술에 비해 우수한 점은 검지시간이 현저하게 짧다는 점으로 이는 2차 교통사고 예방이 주 목적인 터널 돌발상황 검지기술로서 가장 중요한 항목으로 인식됨(Ozby, 1999)
- 또한 운영적인 측면에서도 설치시 차량 통제가 필요 없어 안전하고, 영상유고검지 시스템과 달리 차량 가림현상(occlusion), 설치높이, 먼지, 조도 등의 영향을 받지 않기 때문에 운영상의 우수점 존재



(3) 개발시스템 경제성 분석

(가) 경제성 분석 방법론 정립

① 순현재가치법(Net Present Value, NPV)

- 순현재가치는 사업에 수반되는 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총비용을 제한 값이며, 순현재가치 ≥ 0 이면 경제적 타당성이 있음 의미로 해석함
- 다시 말하면, 순현재가치법의 투자 의사결정 기준은 다음과 같은데, 사업 타당성(채택 여부)의 경우에는 투자안의 순현재가치가 0보다 크면 그 사업안을 채택하고, 0보다 작으면 그 사업안은 채택하지 않음
- 순현재가치법이 현금흐름할인법(DCF)의 기초적 개념이 되는 이유는, 미래 사업에 투입되는 자금규모와 이 사업으로 인해 창출되는 미래 현금유입 금액을 현재 시점에서 의사결정 하는 계산적 수단으로 활용하기에 적합하기 때문임
- 순현재가치는 쉽게 말해서 지금 투자했을 때 비용과 투자 후 얻게 될 현금의 흐름, 즉 앞으로 예측되는 수입의 차이로, 앞으로 들어올 순수익의 현재가치라고 보면 됨. 투자를 함에 있어서 NPV가 0보다 크면 앞으로 들어올 순수익이 있음은 뜻이기 때문에 그 투자 안이 적정하다고 판단하겠지만, 반대로 0보다 작다면 투자액에 비해 수익성이 없으므로 투자를 해서는 안됨

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : t 시점의 편익

C_t : t 시점의비용

r : 할인율

n : 사업의내구연도(분석기간)

② 비용편익분석(Cost Benefit Analysis, CBA)

- 비용편익분석은 한 대안의 수행에 따라 발생하는 제 투입 비용이나 또는 그 대안으로부터 발생하는 손실 등 모든 비용·손실과 그 대안에서 얻을 수 있는 모든 편익을 비교하여 사업 또는 투자 등 그 대안이 타당성이 있는지 여부 및 대안간의 비교를 가능하게 하는 정보를 얻기 위해 실시하는 체계적인 분석 기법임
- 비용편익분석은 주로 어떤 특정된 사업 또는 계획·활동이 타당성이 있는지 분별하며, 주어진 목적이나 임무에 적당한 여러 대안들의 우선순위를 정하고, 이러한 목적달성을 위한 활동의 최적 코스를 확인하는데 있음
- 비용편익분석은 우선 편익/비용 비율(Benefic Cost Ratio : B/C ratio)을 구하고, 편익/비용 비율은 총 편익과 총 비용의 할인된 금액의 비율, 다시말해 미래에 발생하는 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것임
- 일반적으로는 편익/비용 비율 ≥ 1.0 이면 경제적 타당성을 가진다고 판단할 수 있음

- 물론 편익/비용 비율이 1.0보다 크다고 하여 공공투자의 경제적 타당성이 있음이고 판단하는데 있어 문제를 제기할 수 있음. 미국의 경우 단지 편익/비용 비율이 1.0보다 크다고 하여 투자에 경제적 타당성을 부여하지는 않음
- 미국 정부의 예산관리처(Office of Management and Budget : OMB)가 제시하는 공공투자분석에 대한 특수기준에 의하면, 조세왜곡에 대한 초과부담 등을 감안하여 최소 편익/비용 비율이 1.25이상이라야 경제적 타당성을 인정받을 수 있음이고 설명하고 있음
- 우리나라의 경우 역시 어려운 재정상황 및 조세왜곡에 의한 공적자본의 한계비용 등을 추가적으로 고려하면, 이론적으로 최소 편익/비용 비율이 약 1.10~1.15 정도는 되어야 경제적 타당성을 충분히 인정할 수 있다고 예비타당성 수행을 위한 일반지침(한국개발연구원, 2008)에서 밝히고 있지만, 우리나라가 사회간접시설이 충분하지 않은 점과 기존의 경제적 타당성 분석에서 적용하고 있는 1.0의 비율과의 상이함으로 인한 불필요한 혼란의 발생 가능성을 고려하여 최소 편익/비용 비율로 1.0의 수치를 활용하기로 하고 있음
- 따라서, 여기에서도 사업의 경제적 타당성 분석에 있어서 편익/비용 비율이 1.0보다 클 경우 경제적 타당성이 있는 것으로 판단하고, 1.0보다 작을 경우 경제적 타당성이 없는 것으로 판단

$$\text{편익/비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : t 시점의 편익

C_t : t 시점의 비용

r : 할인율

n : 사업의 내구연도(분석기간)

(나) 경제성 분석 결과

- ① 편익항목 : 개발시스템 도입으로 인한 돌발상황 검지시간 단축(3분→1초)으로 인한 터널 교통사고 사망자 27% 감소(근거 : Kaan Ozbay, 1999)

$$\frac{\Delta NF}{NF} = 0.27 \frac{\Delta ANT}{ANT}$$

여기서, NF : 사망자 수

ANT : 돌발상황 검지시간

- ② 비용항목 : 초기 구축비, 연간 운영관리비
- ③ 통계수치(2015년 기준) : 터널 교통사고 사망자 32명, 1인 사망사고 - 비용 4.3억원,
- ④ 터널연장 : 1,418km(나라지표, <http://www.index.go.kr/>)
- ⑤ 초기 구축비 : 구축비의 5%,
- ⑥ 내용연수 : 10년
- ⑦ 전체 교통사고 비용 중 사망사고 비용이 차지하는 비율 : 8.1%(경찰청 통계)
- ⑧ 기타수치 : 사회적 할인율 : 6.5%(KDI 제공), 경제 성장률 : 3%(기재부 자료)

<경제성 분석 결과>

구분	분석결과	비고
순현재가치(NPV)	151,922백만원	경제성 확보
편익비용비(B/C)	1.69	

NPV(백만원)	151,922
B/C	1.69

할인율(%)	경제 성장률(%)
6.5	3

연도	총비용 (백만원)	총편익 (백만원)	현재가치(백만원)		연차
			비용	편익	
2018	157,398	0	157,398	0	0
2019	8,508	45,845	7,989	43,047	1
2020	8,763	47,220	7,726	41,632	2
2021	8,763	48,637	7,255	40,264	3
2022	8,763	50,096	6,812	38,941	4
2023	8,763	51,599	6,396	37,661	5
2024	8,763	53,147	6,006	36,423	6
2025	8,763	54,741	5,639	35,226	7
2026	8,763	56,383	5,295	34,069	8
2027	8,763	58,075	4,972	32,949	9
2028	8,763	59,817	4,668	31,866	10
합계	244,775	525,560	220,156	372,078	-

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

구분	핵심연구성과 (level1)	단위 성과 (level2)	총괄 질적 성과							해당 기관	예산 (백만)	총괄 양적 목표			증빙 자료
			질적 성과지표	목표치	달성치	측정 방법	검증 방법	가 중 치	목표치			가중 치	달성치		
주관	A 터널 음향신호 수집장치 및 DB 분석	A-1 터널 음향신호 수집장 치	①	캐비넷/ 내부 장치 (수집장치)	IP65	100%	제품	제품	10 (주)에이 엔제이 솔루션	정부출 연금: 745 .2 민간부 담금: 831 .9	특허: 출원 4건 등록 1건 시제품: 2건 S/W: 2건 매출액: 백만원 신규고용: 1명 신기술인증: 1건	50	특허: 출원 4건 등록 2건 시제품: 2건 S/W: 2건 매출액: 백만원 신규고용: 1명 신기술인증: 1건	보고서 pp. 27-33	
			②	마이크로폰	거리 100M	100%	터널 측정	터널 환경 테스트						보고서 pp. 53-54	
			③	제어부개발	원격 관리	100%	동작 시험	터널 환경 테스트							
			④	사업화제품 개발	사업화 제품	100%	제품	제품							
			⑤	검지율/ 오검지율 향상	검지율 90% 오검지율 10%	100%	평가 결과	운영DB						보고서 pp. 53-54	
		A-2 터널 음향신호 분석DB	①	DB분석서	보고서 작성	100%	보고서 확인	보고서						보고서 pp. 34-40	
			②	DB설계서	설계서 작성	100%	설계서 확인	설계서							
			③	DB고도화	운영 보고서	100%	보고서 확인	보고서							
			④	사고관제	실시간성	100%	동작 시험	터널 환경 테스트							
			⑤	사고 모니터링	웹성능 개선	100%	동작 시험	터널 환경 테스트							
			⑥	설계시방서 적용	2개소	100%	시방서	시방서							보고서 p. 64-67
			⑦	기술마켓 등록 (도로공사)	1건	100%	등록증	등록증							
			⑧	시험사업 예산반영 (도로공사)	예산 반영	100%	ITS 예산	한국도 로공사							
		공동	B 터널 음향분석 알고리즘	B-1 터널 음향분 석 알고리 즘	①	알고리즘 S/W	S/W 구현	100%	S/W 검토	S/W 구동	4 광주과학 기술원	정부출 연금: 201 .8	20	특허: 출원 1건 등록 1건 시제품: 3건 논문: 32건 S/W: 32건 매출액: 백만원 신규고용: 1명 신기술인증: 1건	1건 1건 52건 32건 1명 1건
②	실시간성				지연시 간 5초 이내	100%	시제품 동작	통계 분석							
③	전처리 성능				SNR 개선 10dB 이상	100%	SNR 측정	통계 분석							
④	교통사고음 분류 성능				정확성 90% 이상	100%	평가 척도	통계 분석							
⑤	S/W API 구현/개선				S/W 개선 구현	100%	SW 검토	SW 등록증							

F0101	C	성능평가 및 효과분석	C-1	성능 평가 계획서	①	계획서	보고서 작성	100%	보고서 확인	보고서	6	한국건설기술 연구원	299	특허 : 출원 : 1건 등록 : 1건 시제품 : 6건 논문 : 5건 S/W : 1건 매출액 : 백만원 신규고용 : 1명 신기술인증 : 1건	30	특허 : 출원 : 1건 등록 : 1건 시제품 : 5건 논문 : 5건 S/W : 1건 매출액 : 백만원 신규고용 : 1명 신기술인증 : 1건	보고서 pp. 41-58
				성능 평가 분석서	②	분석서	보고서 작성	100%	보고서 확인	보고서							
				경제성 분석서	③	분석서	보고서 작성	100%	보고서 확인	보고서							
				성능 평가 분석서	④	분석서	보고서 작성	100%	보고서 확인	보고서							
계										20	207.8	특허 : 출원 : 5건 등록 : 1건 시제품 : 2건 논문 : 9건 S/W : 5건 매출액 : 백만원 신규고용 : 1명 신기술인증 : 1건	100	특허 : 출원 : 5건 등록 : 2건 시제품 : 2건 논문 : 10건 S/W : 5건 매출액 : 백만원 신규고용 : 1명 신기술인증 : 1건			

4. 연구개발성과 활용계획 및 기대효과

가. 활용 계획

(1) 최소시장 : 고속도로 장대터널

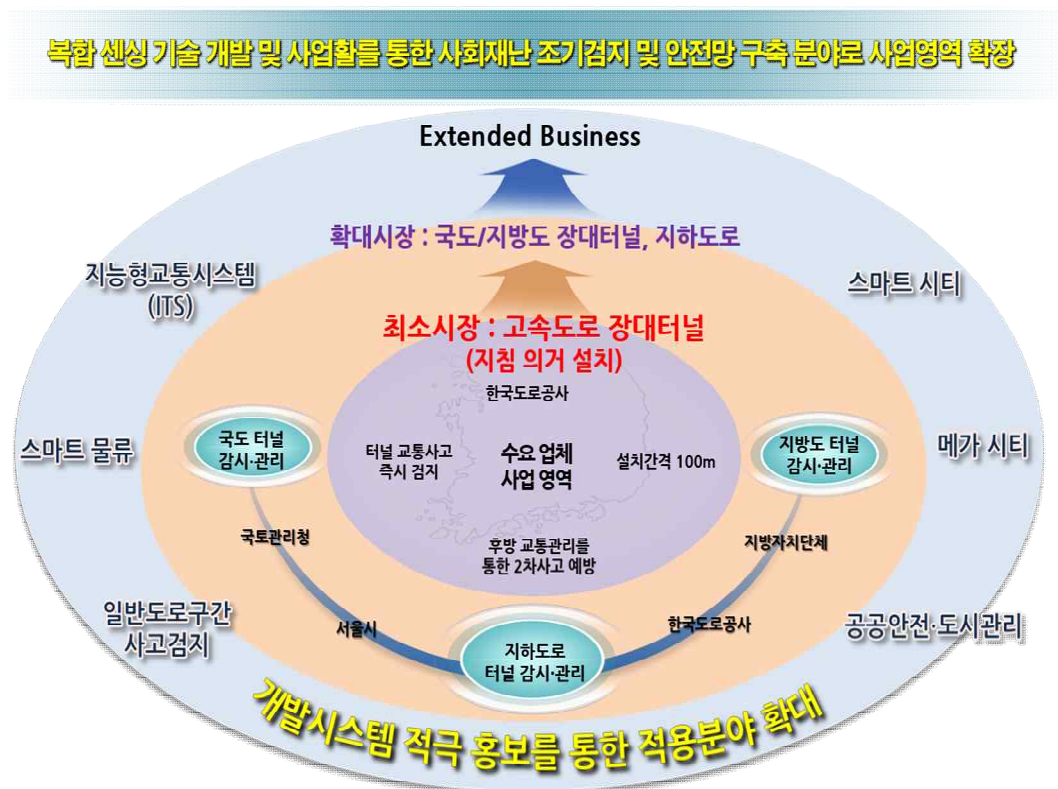
- 국토교통부 및 한국도로공사 지침에 의거하여 길이 1km 이상의 장대터널에는 100m 설치간격으로 터널유고감시설비가 설치되고 있어, 본 기술개발 성공 시 관련 사업 즉각적인 적용 가능
- 2009년부터 2015년까지 고속도로 장대터널 교통관리시스템 투자규모는 약 900억원에 달함

(2) 확대시장 : 국도/지방도 장대터널 및 도시부 지하도로

- 최근에는 국도, 지방도 등에도 장대터널이 건설되고 있고, 도시부에도 지하도로 건설이 추진되고 있어, 관련시장 확대 가능

(3) 유사분야 시장영역 확대

- 현재 SOC 재난관리 분야 투자규모가 확대되고 있는 점을 감안하여 스마트 시티 분야에도 적용 가능하도록 기술개발 유연성 고려하여 기술개발 추진



<성 과 물 활 용 분 야>

나. 기대효과

(1) 과학기술적 파급효과

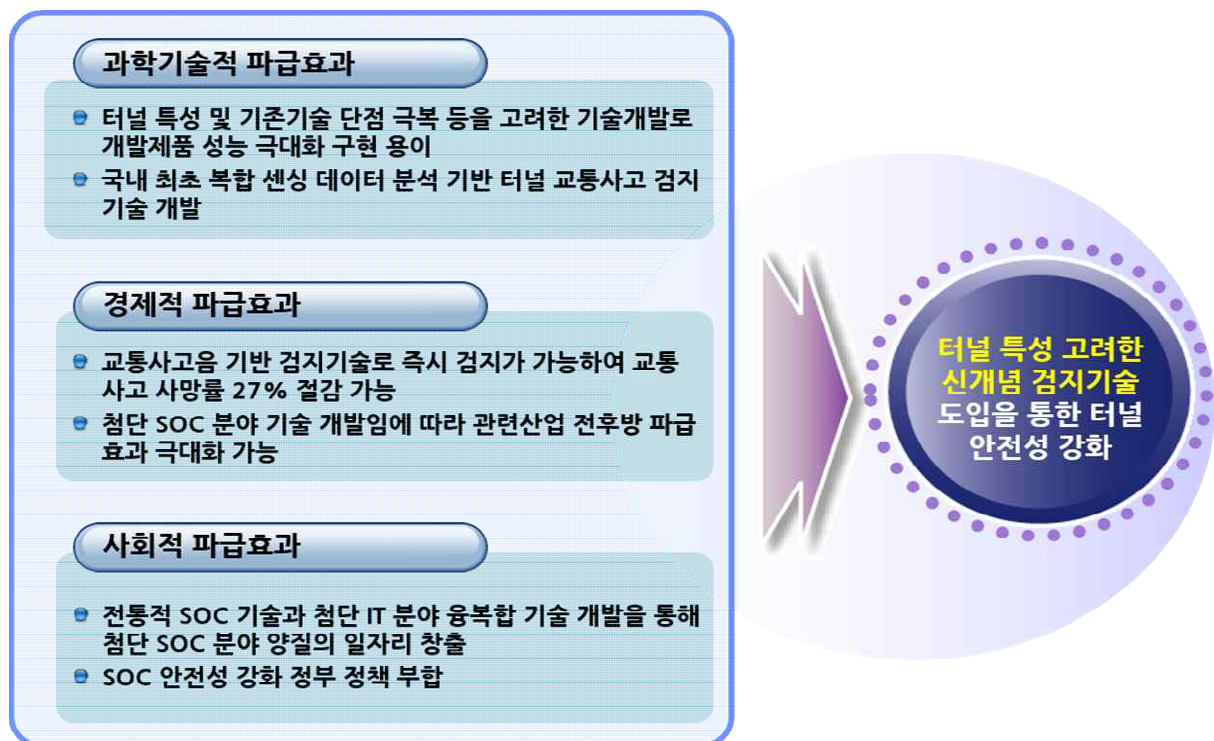
- 터널 특성 및 기존의 개별센서 기반 돌발상황 검지기술 단점 극복 등을 고려한 기술 개발로 개발제품 성능 극대화 구현 용이
- 국내 최초 복합 센싱 데이터 분석 기반 터널 교통사고 검지기술 개발

(2) 경제적 파급효과

- 교통사고음 기반 검지기술로 즉시 검지가 가능하여 교통사고 사망률 27% 절감 가능 (※ 기존 3분 → 1초로 단축시 사망률 27% 감소, 미국 교통부)
- 개발시스템 내용연수(10년) 및 기타 국가 통계자료 기반 경제성 분석 결과, B/C = 1.24, NPV = 72,041백만원으로 도출되어 개발시스템 경제성 확보
- 첨단 SOC 분야 기술 개발임에 따라 관련 산업 전후방 파급효과 극대화 가능

(3) 사회적 파급효과

- 전통적 SOC 인프라에 첨단 IT 분야 기술을 접목하는 기술개발을 통해 첨단 SOC 분야 양질의 일자리 창출
- SOC 안전성을 강화하는 방향으로 추진되는 정부 정책에 부합함



<기술개발 파급효과>

다. 사업화 실적

(1) 한국도로공사 기술설명 및 2019년도 시범사업 예산 반영

- 일시 및 장소 : '18년 8월 2일 김천 도로공사
- 참석자 : 한국도로공사 ITS처 김희중 부처장 외 5명
- 결 과 : 2019년 시범사업으로 추진



(2) 산업안전박람회 출품 및 전시

- 경 위 : 행사 담당기관으로부터 전시회 출품 요청
- 일 시 : 2018년 11월 14~16일
- 참석자 : 국무총리, 행안부, 산업부 등 중앙정부 및 지자체 공무원, 공사/공단 등 수요처

K-SAFETY EXPO 2018
제4회 대한민국 안전산업박람회
2018.11.14(수) - 11.16(금)

행사개요 참가업체 참관객 비즈니스 프로그램 주요행사 안전체험마을 정보센터

해외협력 전시회
RISCON 2018
Security & Safety Trade Expo 2018
ISNR
ISNR(Abu Dhabi)

2018.11.14(Wed)-16(Fri)
KINTEX 제1전시장 2~5홀

행정안전부 산업통상자원부 서울특별시

E-보통서

안전·보안
기상 산업
송장기산업

국내최대
박람회
동시
개최

2018.11.14-16
제1전시장

안전산업
박람회
기상기후
산업박람회
한국국제송장기
엑스포

+ 참가신청

+ 참관신청

(3) 한국도로공사 기술마켓 등록

- 일시 및 장소 : '19년 4월 25일 김천 도로공사
- 참석자 : 한국도로공사 ITS처 김희중 부처장 외 5명
- 결 과 : 2019년 시범사업으로 추진

"50년의 자부심, 세계로! 미래로!"



한 국 도 로 공 사



수신자 : (주)에이엔제이솔루션 대표이사
(경유)

참 조 :

제 목 : 도공기술마켓 등록심의 결과 알림(55차)

1. 귀 사의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 귀 사에서 『도공기술마켓』에 제안하신 신기술의 등록심의 결과를 불임과 같이 알려드립니다.

- 불임 1. 기술자문위원회 신기술 등록심의 결과 통보서 1부.
2. 기술마켓 등록심의 의견서 1부. 끝.

한 국 도 로 공 사 사 장



기술마켓팀 하휘현

팀장 김용전

전결 04/25
처장 조주기

시행 기술심사처-1265 (2019.04.25.)

접수 ()

우 39660 경상북도 김천시 혁신8로 77(율곡동, 한국도로공사)

/ www.ex.co.kr

전화 054-860-3736 전송 055-711-6698 / hweezy@ex.co.kr

/ 비공개(5)

국민의 나라 정의로운 대한민국

기술자문위원회 기술마켓 등록심의 결과 통보서

○ 안 건

- 제55차 : 기술마켓 등록심의(ITS분야)
- 신청자 : (주)에이엔제이솔루션

○ 심의결과

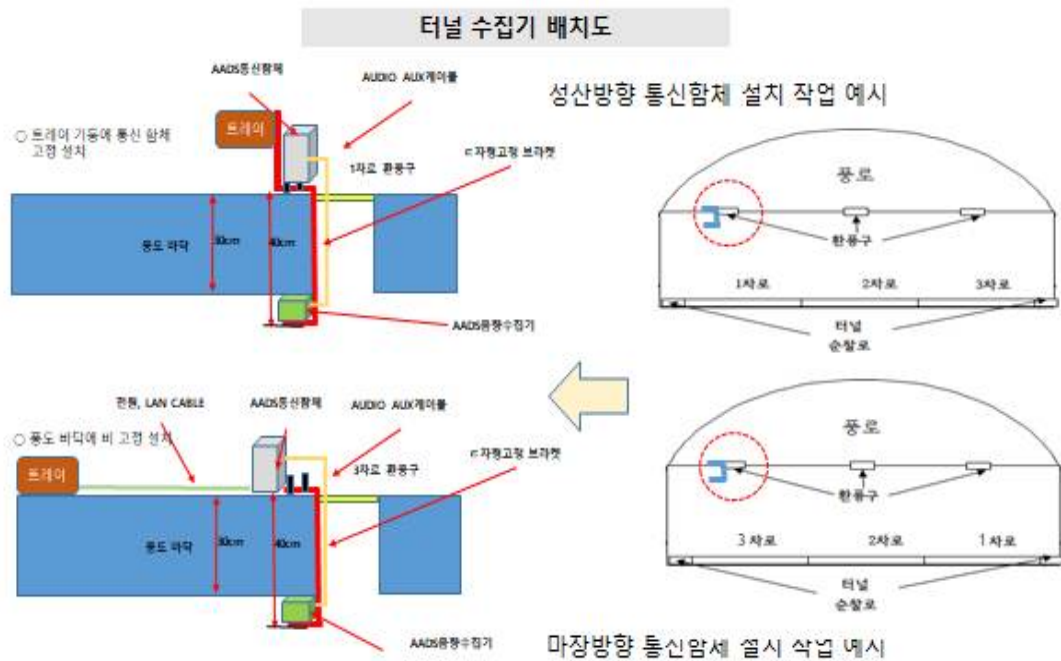
신기술명	등록여부	등록방법
사고음향 자동감지 시스템(AADS)	조건부 등록	시범적용

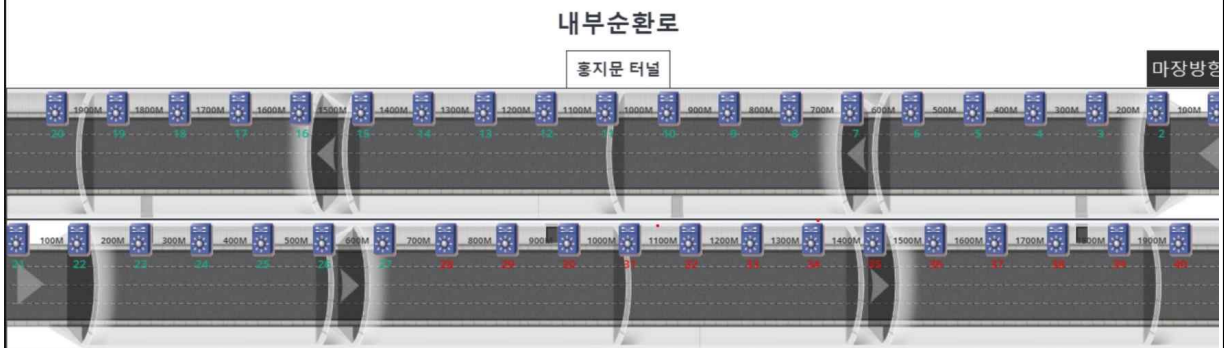
- 기술마켓 등록심의 의견서 내용을 참조하여 시범적용시 반영바람
- 시범적용 계획 수립 후 별도 통보

○ 첨부 : 기술마켓 등록심의 의견서

(4) 서울도시고속도로 홍지문 터널 시범사업 선정

- 사업명 : 2019년도 국가인프라 지능정보화 사업 (주관 : 서울시설공단)
- 사업대상 : 서울 내부순환로 홍지문터널(1.9Km 2개터널)
음향수집기 38개 설치, 유고검지 서버, 유고모니터링
- 사업기간 : 2019년 4월 29일 ~ 2019년 12월 31일
- 사업비 : 총 약 14억원 중에 음향유고검지 부분 약 3.5억원





성산방향

■ 일주일간 검지 현황

날짜	요일	총 검지 건수	사고건수(총동수/스키드수)
19-09-18	수	93	0(0 / 0)
19-09-17	화	116	0(0 / 0)

홍지문터널 RACK 구성도



- ↑ RACK 상단
홍지문터널 CCTV 스트리밍 서버 및 스위치
- ← AADS광 FDF ● 마장방향 (1~4) 성산방향(5~8)
- ← L2 스위치 및 스위치HUB
- ← AADS수집/분석 서버
- ← AADS용 모니터

(5) 조달청 ‘기술혁신 시제품 시범구매사업’ 추진

- **완 료** : 2019년 8월 5일 기술평가 통과
- **진 행** : 2019년 9월 18일 조달물품 목록화 요청 및 특허적용여부 확인
서 제출 완료 (심의 대기)
- **일 정** : 10월 중 현장실사 및 평가 예정

붙임 기술혁신 시제품 시범구매 사업 추진 개요

□ (사업개요) 구매(조달청) → 테스트(수요기관) → 테스트 결과 피드백*

* 성공제품은 우수제품 등 연계, 보완이 필요한 제품은 기업의 추가개발 정보로 활용

□ (사업대상) 혁신 성장 8대 핵심 선도사업* 또는 국민생활문제** 해결 분야의
상용화 전 혁신제품 (서비스 포함)

* 드론, 미래자동차, 스마트시티, 바이오헬스, 에너지산업, 스마트공장, 핀테크, 스마트팜

** 안전, 환경, 건강, 복지 등

□ (신청자격) 제안분야 제품 및 서비스의 직접 개발·납품이 가능*한 국내 중소기업자
로서 제안 기술에 대한 지적재산권(특허, 실용신안) 소유자**

* 기술보유 기업은 생산시설을 갖춘 기업과 협업체로 참여 가능

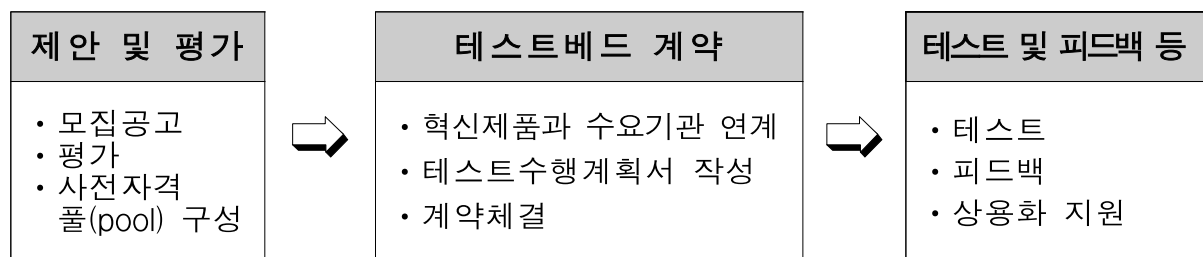
** 출원의 경우 신청 가능하나, 대상제품 지정전까지 권리를 획득하여야 함

□ (예산 및 지원) 12.3억원 (사업예산 12억원, 평가수당 등 3천만원)

한 제안 당 3억원 한도로 지원하며, 제안에 따라 지원 금액 상이

* '19년 시범사업 성과를 반영하여 '20년부터 정규사업으로 확대 운영

□ (추진절차) 제안 및 평가, 테스트베드 계약, 테스트 및 피드백 3단계로 추진



* 사업기간 (약 1년6개월) : 제안 및 평가(4~5개월), 테스트베드 계약(2~3개월), 테스트실행(1년 이내)

라. 연도별 마케팅 전략

- (1) 총 정부지원금 1,246백만원으로 기술료납부금액은 비영리 연구기관 정부지원금을 제외한 정부지원금 총액 745.2백만원의 10% 인 74.5백만원. 가급적 개발종료 1년이내에 일시 납으로 납부 계획
- (2) 2020년부터 고속도로 및 일반국도 터널을 중심으로 판매하고, 향후 도심부 지하도로 건설시에도 지하도로 안전관리시스템으로 판매 검토
- (3) 연도별 마케팅 전략
 - 본 연구결과인 터널 음향유고검지시스템은 도로상의 터널에 설치 운영되는 시스템으로 영업 마케팅의 대상은 도로 및 터널의 관리주체임.
 - 터널에 설치되는 유고검지시스템은 ITS 성능평가 기준을 만족해야 하지만, 음향유고검지시스템에 대해서는 아직 평가기준이 마련되어 있지 않음.
 - 2020년도 : 대량판매를 위한 요건 충족
 - 요건1 : 국토부 도로 시설물의 규정을 만족하는 제품
 - 요건2 : 터널 관리주체의 성능 및 기능 충족
 - 음향유고검지기 성능평가 기준 법제화 : 국토부 지정 ITS성능평가기관인 도로공사와 함께 음향유고검지기의 성능평가 기준을 만들어 법제화 하고, 이에 따른 성능을 입증
 - 터널 관리주체의 성능평가 : 관리주체(도로공사 및 지자체-서울시)와 공동으로 고속국도 2곳에 시범설치하여, 관리주체의 요구사항을 만족하면서 음향유고검지기의 성능평가를 수행.
 - 기존유고시스템(CCTV 및 영상유고검지기 등)과 연계시스템 개발 => 원활한 관제 지원
 - 시스템의 유지보수 및 관리의 효율화 방안으로 관리규정 마련
 - 2021년 ~ 2025년 : 시장 진입
 - 홍보(웹) : 제품 홍보 및 유지관리 영업을 위한 웹사이트(영문/국문) 제작
 - 홍보(카탈로그) : 운영결과를 기반으로 성능비교분석 및 성능/기능 홍보
 - 추가적 신뢰성 입증 : 2020년도에 성능평가에 참여한 관리주체를 대상으로 약 20곳 이상 판매 추진
 - 공공기관 및 지자체 대상으로 제품홍보 : 매년 개최되는 산업 안전 박람회 및 ITS전시회에 음향유고검지시스템 전시 및 홍보
 - 조달제품 등록 : 공공시설물의 구매조달을 원활히 하기 위해서 전자구매 및 입

찰의 과정에 필요한 조달제품 등록을 추진

- 개발 : 음향유고검지기를 영상유고검지기 및 Radar유고검지기와 융합하여 각 특징들의 장점들을 모아 융합보완된 시스템을 개발
- 시장확대 : 안개지역 / 교량 / 곡선도로 등의 설치대상 확대를 위해 이들 지역에 시범설치 및 운영결과로부터 효과 입증

- 2026년 ~ 2030년 : 시장확대 및 해외시장 개척

- 국내판매 : 도로공사/국도관리청/지자체 등의 터널관리기관에 국내 연간 약 10여곳 이상 판매 추진
- 영상/Radar/음향이 융합된 유고검지시스템 판매
- 해외판매 : ITS Expo / World IT Show와 같은 해외 전시회 참여 및 제품홍보
- 고부가 제품화 : 융합유고검지기 및 관제 통합 시스템으로 개발 판매

(4) 연도별 예상 판매

- 최소시장(도로공사) : 2018년 8월 도로공사 본사에서 본 과제 결과를 사업설명회로 개최하였으며, 시범사업을 하기로 합의. 이어서 2019년 4월에 도로공사 입찰에 우선권이 주어지는 도로공사 기술마켓 등록심의를 거쳐 시범사업후 등록 결정을 받음. 이 결과를 바탕으로 2020년에 시범사업을 수행하고, 결과가 성공적이면 기타 여러 터널에 사업을 실행할 수 있을 것으로 예상함.

=> 2020년도 시범사업 1곳과 사업수주 1곳을 예상함.

=> 2021년도 사업수주 1곳 예상함.

=> 2022년도 사업수주 2곳을 예상함.

- 확대시장(국도/지방도 => 지자체) : 2019년 4월 NIA 지능정보화사업을 수주함으로써 서울시설공단이 관리하는 홍지문터널에 시범적용을 시행 중이며, 이 사업이 성공적이면 서울시설공단 뿐만아니라 지방자치단체의 지방도로에도 확대 적용이 가능할 것임.

=> 2020년도 조달청 시범사업 1곳과, 사업수주 1곳을 예상함.

=> 2021년도 사업수주 1곳을 예상함.

=> 2022년도 사업수주 1곳을 예상함.

- 확대시장(국도/지방도 => 조달청) : 2019년 7월에 조달청 기술혁신 시제품 구매사업에 지원하여 1차 서류심사를 통과하였으며, 2차 심사를 기다리고 있음. 본 추진은 정부 조달제품의 등록 및 자격을 가질 수 있는 것으로 성공적으로 추진이 된다면 국도/지방도의 조달/설치에 큰 도움이 될 것으로 생각함.

=> 2022년도 사업수주 1곳을 예상함.

- 확대시장 : 본 과제가 종료되고 난 후에 신청가능한 교통신기술을 2020년도에 신

청할 계획이며, 이를 통한 국도/지방도의 터널 사고검지장비 납품이 원활하도록 할 계획임.

- 제도개선 : 국토부의 지침에 현재의 영상유고검지시스템 만 규정되어 있는 것을 Radar와 함께 음향유고검지기도 규정에 들어가도록 건설기술연구원과 함께 제도 개선을 추진할 계획임.

(단위 : 백만원)

연도별		2020년	2021년	2022년
음향 신호 분석 기분 터널 돌발 상황 검지 시스템	국내	제품가격 음향수집장치:15(1개당) 음향수집S/W: 30(1서버 1cpu 8core 기준)	제품가격 음향수집장치:15(1개당) 음향수집S/W: 30(1서버 1cpu 8core 기준)	제품가격 음향수집장치:15(1개당) 음향수집S/W: 30(1서버 1cpu 8core 기준)
		고속도로 및 일반국도 장대터널을 중심으로 판매 설치 적용 (2.5km 양방향 5km 터널 2곳 설치)	고속도로 및 일반국도 장대터널을 중심으로 판매 설치 적용 (5km 양방향 10km 터널 2곳 설치)	고속도로 및 일반국도 장대터널을 중심으로 판매 설치 적용 (5km 양방향 10km 터널 4곳 설치)
		매출: 2,070 음향수집장치 (5kmx2) x 10 = 100개 15 x 100 = 1,500	매출: 4,140 음향수집장치 (10kmx2) x 10 = 200개 15 x 200 = 3,000	매출: 8,280 음향수집장치 (10kmx4) x 10 = 400개 15 x 400 = 6,000
		처리s/w : 4.5x100= 450 서버 30x2대x2곳 = 120	처리s/w : 4.5x200= 900 서버 30x4대x2곳 = 240	처리s/w : 4.5x400 = 1,800 서버 30x4대x4곳 = 480
요약		완제품(검지율) 90%이상 제품 적용 판매	완제품(검지율) 90%이상 제품 적용 판매	완제품(검지율) 90%이상 제품 적용 판매

참고문헌

- [1] European Commission, 'European Self-Training Workshop, Safety in Tunnels: Experience Feedback and Regulation Prospection' (European Commission, 2001)
- [2] Kim, H, Lee, C.: 'A Study on the Relationship among Traffic Accidents, Fire Occurrences and Tunnel Characteristics in Local Road Tunnels', Proc. of 2004 Korea Tunnel Eng. Conf., South Korea (in Korean)
- [3] Balke, K. N.: 'An Evaluation of Existing Incident Detection Algorithms', Texas Trans. Ins., The Texas A&M Univ. Sys., 1993
- [4] Castro-Neto, M. M, Han, L. D, Jeong, Y. S, Jeong M. K.: 'Toward Training-Free Automatic Detection of Freeway Incidents: Simple Algorithm with One Parameter', Trans. Res. Rec., TRB, 2012, No. 2278
- [5] Browne, R., Foo, S., Huynh, S., Abdulhai, B, Hall, F.: ' Comparison and Analysis Tool for Automatic Incident Detection', Trans. Res. Rec., No. 1925, 2005
- [6] Abdulhai, B., Ritchie, S.: 'Enhancing the Universality and Transferability of Freeway Incident Detection Using a Bayesian-Based Neural Network', Trans. Res. Part C, Vol. 7, No. 5, 1999
- [7] William, B. M., and Guin, A., 'Traffic Management Center use of Incident Detection Algorithms: Findings of a Nationwide Survey', IEEE Trans. on Intel. Trans. Sys., Vol. 8, No. 2, 2007
- [8] Prevedouros, P., Ji, X., Papandreou, K., Kopelias, P., Vegiri, V.: 'Video Incident Detection Tests in Freeway Tunnels', Trans. Res. Rec., No. 1959, 2006
- [9] Fahrtash, M.: 'Automated Video Incident Detection Systems', Caltrans Div. of Res. and Innov., 2012
- [10] Jeon, K., Kim, H.: 'Dual-Channel Acoustic Event Detection in Multisource Environments Using Nonnegative Tensor Factorization and Hidden Markov Model', Jour. of Inst. of Electro. and Infor. Eng., Vol. 54, No. 1, 2017 (in Korean)
- [11] FitzGerald, D., Cranitch, M., Coyle, E.: 'Non-Negative Tensor Factorization for Sound Source Separation', ISSC 2005, Dublin
- [12] Ghahramani, Z.: 'An Introduction to Hidden Markov Models and Bayesian Networks', Inter. Jour. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 15(1):9-42, 2001
- [13] Gemmeke, J, Vuegen, P., Vanrumste, B.: 'An Exemplar-Based NMF Approach to Audio Event Detection', Proc. of IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, New York, USA. 2013
- [14] Valenzise, G., Gerosa, L., Tagliasacchi, M., Antonacci, F., Sarti, A.: 'Scream and Gunshot Detection and Localization for Audio-Surveillance Systems', Proc. of IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, London, UK, 2007
- [15] Clavel, C., Ehrette, T., Richard, G.: 'Events detection for an audio-based surveillance

- system'. Proc. ICME. 2005
- [16] Foggia, P., Saggese A., Strissciuglio. N., Vento, M.: 'Car crashes detection by audio analysis in crowded roads', Proc. 12th IEEE Int. Con. on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2015
 - [17] Lee, H, Kim, Y, Kwon. T, Park, K, Bok. K., Han. M.: 'An Implementation of Traffic Accident Detection System at Intersection Based on Image and Sound', Jour. of Control, Auto. and Sys. Eng., Vol. 10, No 6, 2004 (in Korean)
 - [18] Vacher, M., Istrate, D., Besacier, L., Serignat, J. F., Castelli, E.: 'Sound Detection and Classification for Medical Telesurvey', 2nd Conf. on Bio. Eng., Austria, 2004
 - [19] Rabaoui, A., Davy, M., Rossignol, S.: 'Ellouze, N.:Using one-class SVMs and wavelets for audio surveillance', IEEE Trans. Inf. Forensics Security, 3(4):763 - 775, 2008
 - [20] Harlow, C. and Wang, Y.: 'Acoustic Accident Detection System', Jour. of Intelli. Trans. Sys. 7:43-56, Taylor & Francis, 2002
 - [21] Jang, J.: 'Instantaneous Incident Detection System Based on Analysis of Acoustic Signal from Crash and Skid in Tunnel', The Open Trans. Jour., 2018, 12, pp. 344-351
 - [22] Neale, W., Terpstra, T., and Bortles, W.: 'Evaluation of Discrete Vehicle Accident Sounds for use in Accident Reconstruction', Proc. Mtgs. Acoust., Vol. 5, Iss. 1, 2008
 - [23] Hancocks, S., and Evans, S.: 'A55 North Wales Tunnels Area Video Automatic Incident Detection', EasyWay, Document number: 5083687/493/03/35695, 2011
 - [24] Kaan Ozbay, Pushkin Kachroo, Publisher: 'Incident Management in Intelligent Transportation Systems' Artech House intelligent transportation systems library
 - [25] 국토교통부 '도로터널 방재시설 설치 및 관리지침'