

## 국도, 고속국도 터널 영상유고감지시스템 성능분석 및 대심도 복층터널 특성반영 방안

김태복\*

### The National Highway, Expressway Tunnel Video Incident Detection System performance analysis and reflect attributes for double deck tunnel in great depth underground space

Tae-Bok, Kim\*

R&D Center, Voim Information Technologies Co., Ltd, Seoul, Korea

#### 요 약

영상유고감지시스템은 터널내 보행자, 낙하물, 정지차량, 역주행, 화재(연기) 등 돌발 상황시에 초동감지 목적의 감지시스템으로 최근 도심지의 대심도 지하도로 및 복층터널 등에서 중요성이 부각되고 있다[1] 그러므로 본 논문에서는 영상유고감지시스템을 대심도 복층터널에 적용하는 것의 타당성을 검증하기 위하여 본 시스템이 설치된 국도, 고속국도 터널을 대상으로 장기간 로그데이터 분석을 실시한 내용과 실험 결과를 소개하고, 이를 바탕으로 기존 영상유고감지시스템의 문제점 도출과 개선방안 그리고 일반터널과는 상이한 복층터널 설계에 대한 이해를 통해 복층터널 특성반영 방안에 대하여 몇가지 사항을 제안하였다.

#### ABSTRACT

The video incident detection System is a probe for rapid detecting the walker, falling, stopped, backwards, smoke situation in tunnel. Recently, the importance is increases from the downtown double deck tunnel in great depth underground space[1], but the legal basis is weak and the vulnerable situation experimental data. So, In this paper, we introduce a long-term log data analysis information in the tunnel video incident detection system installed and experimental results in order to verify the feasibility of apply to video incident detection system for the double deck tunnel. It is proposed a few things about derives the problem of existing video incident detection system, improvements and reflect attributes for double deck tunnel. The contents described in this paper will contribute to refine the prototype of video incident detection system will apply to future double deck multi-layer tunnels.

**키워드** : 대심도 복층터널, 영상유고감지시스템, CCTV, IP기반 지능형 감시시스템

**Key word** : Double deck tunnel, VID(Video Incident Detection), CCTV, IP & Intelligent Surveillance

Received 29 March 2016, Revised 05 April 2016, Accepted 01 June 2016

\* Corresponding Author Tae-bok, Kim(E-mail:tbkim@voimit.com, Tel:+82-2-864-6817)

R&D Center, Voim Information Technologies Co., Ltd, 605, Partners Tower I 345-13 Gasan-dong Geumcheon-gu, Seoul, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.7.1325>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

매년 60여건의 터널 사고가 발생하고 있는데, 타사고에 비해 비율은 낮지만 터널은 일반 구간과는 달리 폐쇄형 공간 구조물의 형태로 사고시 대형 사고로 이어질 수 있다[2]. 이에 대한 터널 내 화재 등 돌발상황 초동감지를 위한 영상유고감지시스템이 최근 도심지의 도심도 지하도로 및 복층터널 등에서 중요성이 부각되고 있으나 법적인 근거가 미약하고 실험적 데이터가 취약한 실정이다[1, 3].

본 논문에서는 영상유고감지시스템을 도심지의 도심도 지하도로 및 복층터널 등에 적용하는 것에 대한 타당성 검증을 하기 위하여, 본 시스템이 운용되고 있는 국도, 고속국도 터널을 대상으로 장기간 로그데이터 분석과 실험적 분석을 실시하였다. 분석결과 영상유고감지시스템 신뢰도(감지율)는 터널 내 환경에 크게 의존적이었고, 이러한 문제점을 개선하고 일반터널과는 상이한 터널의 단면 형태와 시설의 한계 등을 갖는 복층터널 적용성 문제를 고려한다면 영상유고감지시스템은 IoT(Internet of Things) 복층터널 방재설비로서 중요한 역할을 할 것으로 판단되었다.

본 논문 2장은 기존 영상유고감지시스템의 성능 분석을 통한 문제점 도출과 개선방안을, 3장은 복층터널의 이해와 특성반영 방안, 향후 연속되는 연구 진행방향을 제시하고, 마지막 4장에서는 연구내용을 요약하였다.

## II. 영상유고감지시스템 성능 분석

### 2.1. 시스템의 기능 및 용도

영상유고감지시스템은 지하도로, 교량 등에서 발생할 수 있는 유고(돌발)상황을 보행자, 낙화물, 정지차량, 역주행, 연기발생 등[4]으로 구분하여 영상처리&컴퓨터 비전기술, IP Surveillance 기술 등을 이용하여 감지하는 시스템으로 한국도로공사, 국토관리청 등 도로유지관리기관에서 영상유고감지시스템을 일부 설치하여 운영하고 있으며 점차 확대 설치할 전망이다.

표 1과 같이 영상유고감지시스템은 국토교통부, 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침에서 권고사항으로 정하고 있다[3].

**Table. 1** Guidelines of the emergency facilities on the road (in part)

Alarm	Standards on the emergency facility	Remarks
CCTV	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tunnel side wall installation (install the evacuation facilities, Installed to whole sections and tunnel entrance section surveillance)</li> <li>In tunnel : 200~400m intervals</li> <li>Outside the tunnel : Less than 500m</li> </ul>	Basic
Video Incident Detector	<ul style="list-style-type: none"> <li>Installed to whole section of the tunnel to be surveillance.</li> <li>In tunnel : 100m intervals</li> </ul>	Recommended

### 2.2. 영상유고감지시스템 운용분석 및 실험내용

#### 2.2.1. 분석 대상 및 방법

영상유고감지시스템의 성능을 보다 정확하게 파악하기 위하여 실제 차량이 소통되고 영상유고감지시스템이 운용되고 있는 터널을 대상으로 장기간 로그데이터 분석을 실시하였다.

**Table. 2** Subject to analyze the status of tunnels [5]

Div	Tunnel	CCTV / VIDS	Lenght
National Highway	Gwangchi (face to face)	10EA, 100m intervals, 4.5m heights / Trafficon (Oversea)	570m
	Woongjin (face to face)	14EA, 150m intervals, 4.5m heights / HMC (Domestic)	1.2km
	chugok (face to face)	7EA, 100m intervals, 4.5m heights / Citylog (Oversea)	860m
	malkogae (face to face)	6EA, 100m intervals, 4.5m heights / Citylog (Oversea)	637m
	baehuryeong (face to face)	37EA, 150m intervals, 5.5m heights / Citylog (Oversea)	5Km
	EXPO	28EA, 150m interval, 3.9m heights / MicroNet (Domestic)	2.01km
	marae	17EA, 150m intervals, 3.9m heights / MicrNet (Domestic)	1.4km
	unam	24EA, 150m intervals, 3.9m heights / MicroNet (Domestic)	1.11km
Expressway	yunpoong	8EA, 200m intervals, 4.5m heights / HMC (Domestic)	1.24km
	zangyan	18EA, 200m intervals, 4.5m heights / HMC (Domestic)	3.1km

표 2와 같이 국도터널과 고속국도터널 10개소, 영상유고감지시스템 국내 2개 및 국외 2개 제조사를 분석, 조사연구 대상으로 한다. 이벤트 발생로그 및 영상정보는 최근 자료를 기준으로 하고 영상정보는 범용 영상재생 S/W에서 확인할 수 있는 표준영상 포맷의 이벤트 영

상 저장 파일과, 이와 일치하는 이벤트 로그를 출력하여 비교 분석하였다. 영상 저장 파일에는 이벤트 로그와 일치하는 이벤트 검지내역(시간, 이벤트 내용, 이벤트 정보 확인표시)이 함께 기록되어 있는 자료를 대상으로 했으며 이벤트 로그는 자체 돌발상황 영상검지 이벤트 현황 양식에 준하여 일련번호, 영상파일 번호, 검지일자, 검지시간, 검지종류(이벤트 종류)를 시간 순서대로 기록하였다[6].

2.2.2. 영상유고감지시스템 운용분석 결과

(1) 웅진터널(국도)

그림 1의 보행자 18.7%, 낙하물 16.4%, 정지차량 21.2%, 연기 5.6%의 낮은 감지율을 나타내었으며, 오감지는 우천 시 차량을 통해 유입되는 빗물의 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명(KS C 3703의 밝기 미준수) 등으로 인한 음영발생 현상을 연기, 낙하물로 인식하고 있는 상황이 빈번하게 일어났다. 또한 카메라 렌즈 청소 또는 터널 유지보수 활동 중 카메라를 접촉하여 영상 감지 각도가 변경됨으로 인한 오감지율이 증가하고 있으나 영상감지영역을 재설정하거나 카메라 위치를 조정하는 등의 재설정 작업이 원활하지 못했다.

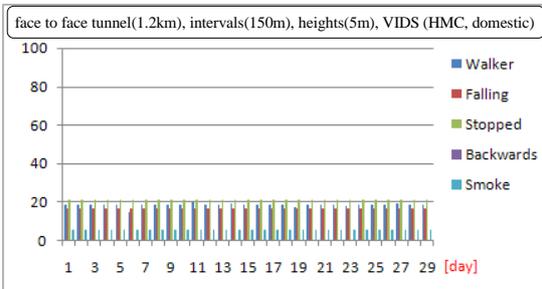


Fig. 1 Woongjin tunnel monthly detection rate(%)

(2) 추곡터널(국도)

그림 2의 보행자 8.9%, 낙하물 9.7%, 정지차량 30%의 낮은 감지율을 나타내었고, 카메라의 영상흔탁이 심하며 우천 시 차량을 통해 유입되는 빗물의 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명 등으로 인한 음영발생 현상을 정지차량, 낙하물로 인식하고 있는 상황이 빈번하게 발생되었으며 터널 내 보수공사 시 작업차량, 차선 유도장치에 의한 정보도 나타났다.

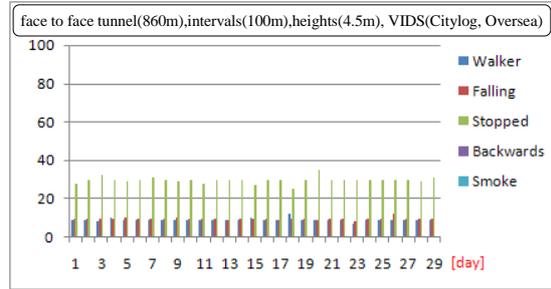


Fig. 2 chugok tunnel monthly detection rate(%)

(3) 말고개터널(국도)

그림 3의 보행자 51%, 낙하물 14.4%, 정지차량 33%, 연기 0%의 낮은 감지율을 나타내었으며, 차량 매연을 연기로 감지하고 우천 시 차량을 통해 유입되는 빗물의 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명 등으로 인한 음영발생 현상을 연기, 낙하물로 인식하고 있는 상황이 빈번하게 일어났다. 또한 대면터널의 특성상 반대차선 주행차량의 역주행 경보가 빈번하게 발생되어 역주행 경보를 비활성화한 경우였다.

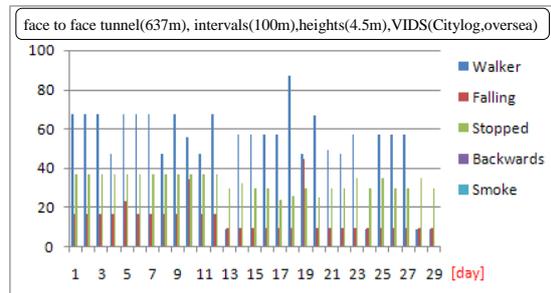


Fig. 3 malkogae tunnel monthly detection rate(%)

(4) 배후령터널(국도)

그림 4의 보행자 37.3%, 정지차량 37%으로 동일한 영상유고감지시스템(추곡, 말고개터널)에 대비 상대적으로 높은 감지율을 나타내었다. 우천 시 차량을 통해 유입되는 빗물의 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명 등으로 인한 음영발생 현상에 대한 오경보 상황이 가장 빈번하게 일어났으며, 대면터널이지만 레인 상부 중심위치에 카메라를 설치한 경우로 측벽에 설치한 경우와는 달리 역주행 경보가 일어나지 않았다.

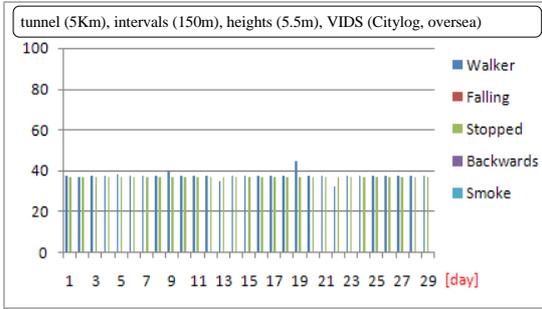


Fig. 4 baehuryeong tunnel monthly detection rate(%)

(5) 엑스포터널(국도)

그림 5의 보행자 7.6%, 낙하물 6.7%, 정지차량 6.9%의 낮은 감지율을 나타내었다. 카메라 렌즈 청소 및 영상유고감지 각도 조정에 따른 카메라 접촉이후 세부조정 설정이 되지 못하여 도로의 곡선부, 우천 시 차량을 통해 유입되는 젖은 노면의 빛물 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명 등으로 인한 음영발생 현상을 낙하물, 정지차량으로 인식하는 상황이 빈번하게 일어났고, 연기의 경우 오감지된 데이터가 없었다.

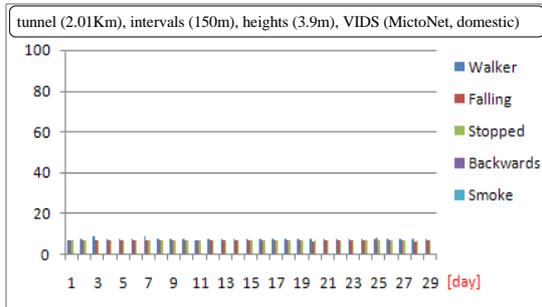


Fig. 5 EXPO tunnel monthly detection rate(%)

(6) 마래터널(국도)

그림 6의 보행자 8.8%, 낙하물 9.6%, 정지차량 10.9%의 감지율을 나타내었다. 카메라 렌즈 청소 및 영상유고감지 각도 조정에 따른 카메라 접촉이후 세부조정 설정이 되지 못하여 우천 시 차량을 통해 유입되는 빛물의 반사, 안개현상, 차량 전조등, 터널 내 조명 등으로 인한 음영발생 현상을 낙하물, 정지차량으로 인식하고 있는 상황이 빈번하게 일어났으나 연기에 대한 오감지 데이터가 없었다는 점은 제조사 별 영상유고감지 원리에 기인한 것으로 볼 수 있다.

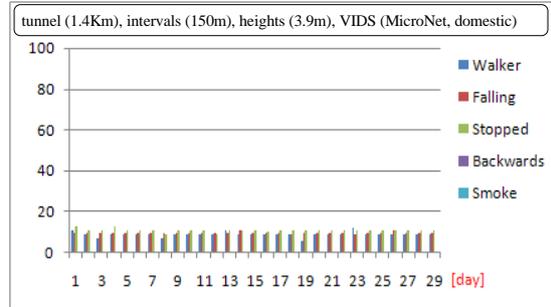


Fig. 6 marae tunnel monthly detection rate(%)

(7) 운암터널(국도)

그림 7의 보행자 9.3%, 낙하물 9.6%, 정지차량 45%의 낮은 감지율을 나타내었다. 터널 내 심한 정체상황이나 차량 전조등의 변화와 빛의 깜박임, 터널 입구부의 그림자, 노면의 젖은 상태에서 빛 반사 등의 요인에 따른 빈번한 오감지가 발생된 경우였다.

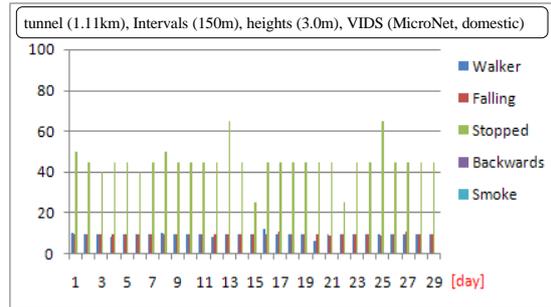


Fig. 7 unam tunnel monthly detection rate(%)

(8) 연풍터널(고속국도)

그림 8의 보행자 78.3%, 낙하물 39.6%, 정지차량 90%로서 동일한 영상유고감지시스템이 운영되는 국도(웅진터널)에 비하여 상대적으로 높은 감지율을 나타내었다. 터널내 보수공사시 작업차량, 차선 유도장치에 의한 역주행 오경보, 차량불빛 산란으로 인한 연기감지 오경보가 발생하였으나 오감지율 산정에서는 제외되었다. 카메라 렌즈 청소 및 영상유고감지 각도 조정 등 수행 이후에도 설정 세부조정은 국도에 비하여 고속국도가 원활이 이루어지고 있었다.

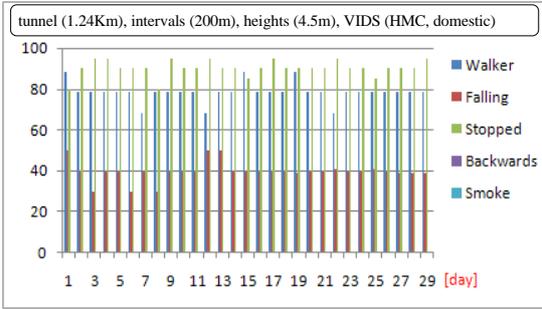


Fig. 8 yunpoong tunnel monthly detection rate(%)

(9) 장연터널(고속국도)

그림 9의 보행자 89.3%, 낙하물 16.7%, 정지차량 98%의 동일한 영상유고감지시스템을 운영하는 국도(웅진터널)에 비해 상대적으로 높은 감지율을 나타내었다. 국도터널에 비하여 고속국도터널이 유지관리가 원활이 이루어지고 있었다.

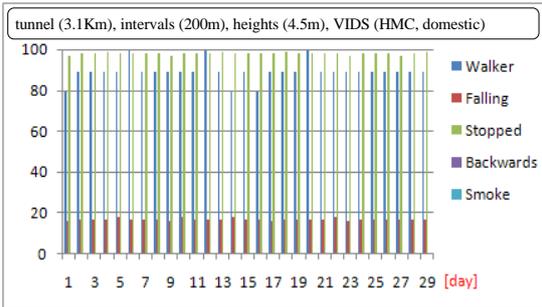


Fig. 9 zangyan tunnel monthly detection rate(%)

2.2.3. 국도 광치터널의 실험적 성능분석

(1) 실험환경

오감지율 개선 및 복층터널에 적용하기 위한 타당성 검증을 위하여 한국 ITS협회, 터널 영상유고감지시스템 성능시험 방법에 관한 표준 시험항목인 보행자, 낙하물, 정지차량, 역주행, 연기 상황을 기준[4, 6]으로 각 15회 반복적으로 실험을 실시하여 각 상황에 대한 정확한 감지 능력 여부를 판단하고자 하였다.

그림 10, 11과 같이 실험환경은 아날로그 41만화소 카메라, IP 전송코덱, Tafficon 영상유고감지기, 운영서버 등으로 구성하였으며, 복층터널의 특성을 고려하여 카메라 높이 3.5m이하, 20~100m 감지지점에서 유고상황을 인위적으로 발생하게 하였다.



Fig. 10 Gwangchi tunnel, video incident detector system

(2) 실험결과

그림 12와 같이 보행자 98.3%(감지거리 40m), 낙하물 96.7%(감지거리 40m), 정지차량 100%(감지거리 60m), 역주행 100%, 연기 100%의 높은 감지율을 나타내었다. 역주행과 연기의 감지는 카메라 높이, 감지거리와 연관성이 적었다.

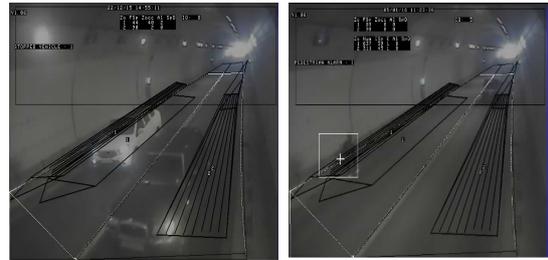


Fig. 11 Gwangchi tunnel, stopped vehicle, walker detection test image

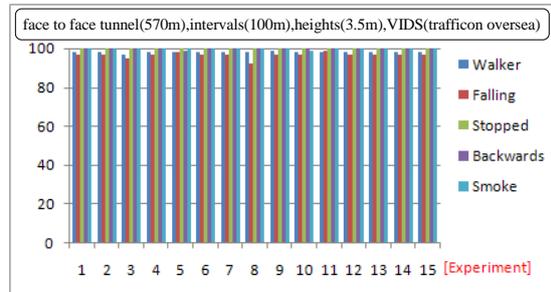


Fig. 12 Gwangchi tunnel VID detection rate(%)

연기감지의 경우 100%의 높은 감지율을 보였으나 감지거리가 멀어질수록 감지시간이 길어지는 경향을 보였으며, 낙하물은 50x50x50cm 보다 작거나 철근과 같은 선 형태의 낙하물은 감지가 되지 않았다. 즉 다양한 형태의 대상 실험이 필요하였으며 동시 다발적인 돌발상황 발생 시 가장 마지막 돌발 상황만 처리한 경우가 있었으나 제조사에서 최대 10개의 이벤트를 순차

적으로 경보 할 수 있도록 개선하였다.

### 2.3. 영상유고감지시스템의 문제점 및 개선방안

영상유고감지시스템의 신뢰도는 터널 내 환경변화에 기인한 영상변화에 민감한 특성과 각 제품별 영상감지 원리에 기인하므로 설치 후 비교적 장시간의 최적화 시간이 소요되는 특성과 지속적인 유지관리를 필요로 하는 어려움이 있다고 판단되었다.

터널 내 조명 운영에 따른 조도변화 등으로 인한 오감지율의 증가는 터널 조명운영 현황을 반영한 시간동기화 운영기법을 적용하여 해결할 수 있으며, 터널 내 차량 전조등의 변화와 빛의 깜박임, 터널 유출입부 자연광에 의한 그림자, 노면의 젖은 상태에서의 빛 반사 등의 요인에 따른 경우는 카메라 선정 시 빛에 의한 산란, 영상변짐, BLooming, Smearing을 피할 수 있는 카메라를 선정해야 하지만 제품 규격으로 판단하기 어려우며 카메라의 비교 테스트, 샘플 카메라의 현장 경험치를 바탕으로 확인할 수 밖에 없으므로 시판되는 카메라에 대한 경험 및 실험적 데이터가 필요한 실정이다. 그림 13은 피사체(사각)에 차량의 헤드라이트 주변의 완전한 포화영역을 나타내고 식 (1)의 SizeLightOn 에 의해 결정된다. Bloom (%) 낮을수록 Blooming 현상이 개선된다.

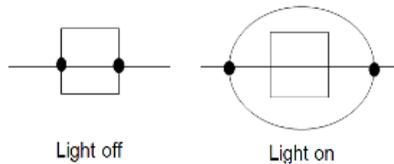


Fig. 13 Blooming effect Image

$$BLOOM = \frac{SizeLightOn - SizeLightOff}{SizeLightOff} \times 100 \quad (1)$$

그림 14 Smearing 이미지는 화소의 밝기를 의미하는 greyvalue 에 의해 결정되며 식(2) Sharpness 값 (선예도)이 높을수록 Smearing 현상은 개선된다. 특히 Smearing 이미지는 피해야 한다[7-9].



Fig. 14 Smearing Image

$$Sharpness = \frac{\sum_{i=1}^n (greyvalue - Avg\_greyvalue)^2}{n-1} \quad (2)$$

터널입구 그림자의 경우는 터널 유출입부 하우징의 선정 시 렌즈에 유입되는 태양광선을 피하기 위해 긴 SUN Shield를 채택하고, 터널내부의 하우징은 헤드라이트에 의한 렌즈와 하우징, 윈도우간 반사가 심해지므로 그림 15와 같이 윈도우와 렌즈 간을 직각으로 배치하지 말고 Tilted 윈도우를 채택한다[10].

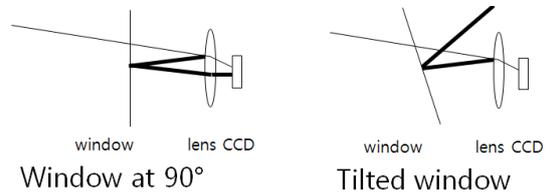


Fig. 15 Tilted Window is applied

카메라 렌즈 청소 및 영상유고감지 각도 조정 이후 유고감지영역 변화로 인한 오감지율 증가는 유고감지영역 자동 재설정 기능과 Pan/Tilt/Zoom에 따른 기계적 오차해결이 관건이며 정밀 Pan/Tilt 드라이버의 개발 및 고해상도 카메라를 이용한 디지털 Zoom 활용을 통하여 개선 할 수 있다[10]. 대면터널에서의 빈번한 역주행의 오경보 경우는 Occlusion 현상으로 카메라를 측벽에 설치한 것에 기인하므로 레인 상부 중심위치에 설치해야 하고 유지보수 시 작업 편리성을 고려한 현장 구조물 설치가 필요하다. 낙화물의 크기, 형태에 따라 감지가 안되는 경우, 노면 색상과의 농도 차이가 40계조(Gradation)이상의 경우만 감지하는 등 각 제조사의 영상감지 원리에 기인한 부분도 유의해야 한다[7-9].

## III. 대심도 복층터널 특성 반영 방안

### 3.1. 대심도 복층터널의 이해

#### 3.1.1. 대심도 복층터널의 등장 배경

도심지에서 교통 집중과 정체로 인해 경제적 손실이 발생하고 있어 그림 16의 대심도 장대 복층터널과 같은 신개념의 고도화된 다목적 시설의 건설이 그 대안으로 주목받고 있다. 일반적인 터널 건설보다는 기존 건물과

의 이격거리 확보로 인해 토지 및 건물에 대한 보상비가 없고, 민원 처리비용 등이 절감되고 조기에 공사를 완료함으로써 복잡한 교통난을 신속하게 해소하고 물류비용 절감 등의 경제적인 효과를 가져 올 수 있다. 그러나 소단면 주행차선 구조에서 나타나는 교통사고 및 차량 화재로 인한 인명피해 대책이 부족한 실정이기 때문에 ICT 융합기술이 적용된 IoT 터널 방재시설인 영상유고감지시스템이 중요한 역할을 할 것으로 기대된다[1].

### 3.1.2. 대심도 복층터널의 특징

그림 17과 같이 초대형 터널단면과 IC/JCT 연결 구조로 분기구간의 경우 단면의 형상이 복잡하다. 또한 초대형 단면 터널을 시공함에 따라 그림 16과 같이 본선터널과 접속되는 각도가 매우 작은 상황이고 복층터널 도로망 구성 시 필연적으로 발생하는 장거리, 낮은 층고 특징과 교차로, 슬래브, 수직구 건설을 위한 다양한 조건에 대한 특징을 갖는다.

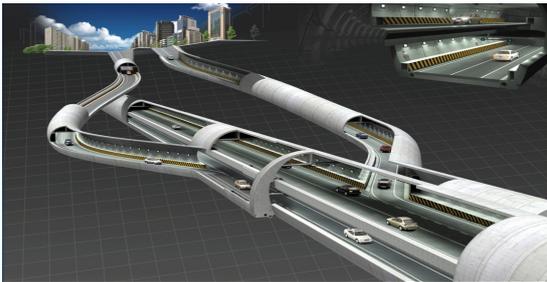


Fig. 16 Tunnel network-type multi-layered perspective

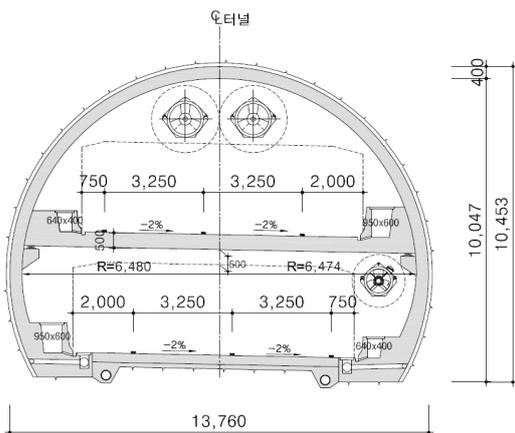


Fig. 17 Double deck tunnel section Specifications [1]

따라서 대심도 복층터널에서의 다양한 조건을 파악하여 그 특성을 반영할 수 있는 효과적인 영상유고감지시스템의 핵심 요소기술 개발이 필요한 실정이다[1].

필요한 용지폭의 최소화를 가능하게 하고 대단면 굴착을 고려하여 중단선형 하향 도로데크 시공을 하고 있다. 최근 국내 복층터널 설계 및 시공사례가 증가하고 있으나 국내의 사례 조사결과, 현재까지는 해외 소수의 터널만 완공되어 운영되고, 대부분의 경우 소형차 전용 도심지 터널로 조사되었다[1].

## 3.2. 영상유고감지시스템의 복층터널 특성 반영

### 3.2.1. 대심도 복층터널의 ICT 터널설계 관점

대심도 복층터널의 ICT 터널 설계는 장거리 터널 노면 광 네트워크가 구축되고 IP 기반의 유무선 네트워킹을 통해 신호체계, 방송, 이동통신, 각종 터널 IoT 방재설비 등의 설계가 이루어진다. 그러므로 영상유고감지시스템도 그림 18과 같이 IP기반의 시스템이어야 하며 카메라 추가 설치 시 확장성이 용이하고 터널관리 센터에서 모든 정보관리가 용이하며 필요 시 분산처리가 가능함과 동시에 시스템 원격 유지관리가 수월하여야 한다[10].

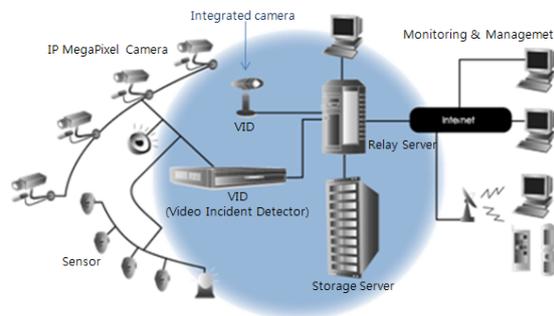


Fig. 18 IP Surveillance System architecture for VIDS

복층터널의 경우 장거리(수십km), 낮은 층고(3.5m이내)의 소형차 위주의 터널이다[1]. 이로 인해 영상유고감지 카메라 부문이 상당수 증가되어야 한다. 터널 내는 변화되는 교통 환경이므로 자동조리개(전자셔터)를 선정하고, CCD이미지센서 1/2" ~ 2/3", 15 ~ 25mm 광각 렌즈를 기준으로 대략 60m 간격으로 카메라가 배치되어야 하는 상황이다[11].

### 3.2.2. IoT 터널 전용 방재설비 관점의 설계

조사를 진행한 국도, 고속국도 터널 내 영상유고감지 시스템은 감지를 위한 전용 방재설비가 아니라 CCTV를 설치한 이후에 감지 기능 구현을 위하여 추가적으로 설치한 경우였으므로 본연의 성능을 충분히 구현하지 못하고 있었다. 영상 수집 시 품질이 떨어지는 경우가 많았으며, 영상을 분석·처리하는 영상유고감지 서버 1대당 6개 채널에 해당하는 영상을 스트리밍 서버를 거치거나 또는 직접 전달 받고 있었다[2]. 이를 복층터널에 바로 적용한다면 수집 영상의 품질 및 시스템의 구성 환경에 따라 감지 성능이 변하고, 카메라 증가에 따른 서버의 부하 및 서버설치 수량 증가로 인한 상면의 증가 등 성능 및 경제성이 떨어지므로 IP 기반 카메라와 DSP 기반 임베디드형 영상분석 모듈을 일체형으로 개발하여 전용 IoT(Internet of Things) 터널방재 설비로 최적 성능을 발휘할 수 있게 하는 것이 중요한 과제라 본다. 이에 대한 효과적인 측면은 복층터널에 최적화된 영상 품질 및 포맷을 활용할 수 있는 장점이 있으며 기존 시스템에 대한 확실한 개선효과를 나타낼 수 있다. 국외의 경우 19" rack mountable enclosures 와 그림 19의 싱글 채널 스탠드얼론형으로 제작된 사례가 있다[9].



Fig. 19 Trafficon, 19" rack-mountable AID

### 3.2.3. 대심도 복층터널내 설치 및 운영관점

일반터널에서는 CCTV 유지보수 시 작업성 편리를 위하여 측벽에 설치하므로 감지거리 한계, 대형차량에 의한 소형차량 가림현상, 대면터널의 경우 상대 차선의 주행 차량을 역주행으로 오감지하는 경우가 빈번히 발생하였다. 복층터널의 경우에 측벽 또는 낮은 위치에 카메라를 설치 시 Occlusion(폐색)이 더욱 심해지므로 그림 20과 같이 레인 상부 중심위치에 설치하여야만 유효 감지영역을 고려하여 79°~80° 각도를 유지하면서도 감지거리가 확보되고 도로 위의 폐색을 피하고, 도로 위에서 100% 초점이 될 수 있다[9]. 유지보수 시 작업성이 문제라면 레일형 구조물 등의 설치를 고려해 볼 수 있다.

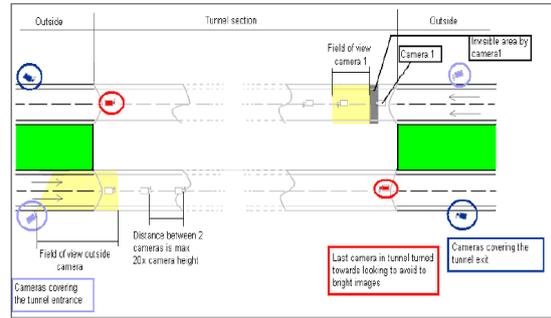


Fig. 20 Ideal camera position in the tunnel

복층터널에서 카메라 이미지의 중첩점이 최소화 되도록 설치 거리 간격을 산정하여야 하는데, 그림 21과 같이 카메라 설치 높이 및 위치에 영향을 받게 된다[9]. 복층터널 특성을 반영하여 카메라 설치 높이 3.5m 기준의 실험에서 정지차량은 60m, 낙하물, 보행자는 40m 영상감지 유효 감지거리와 상대적으로 역주행과 연기의 감지는 카메라 높이와 연관성이 적었다는 것을 고려해야 할 것이다.

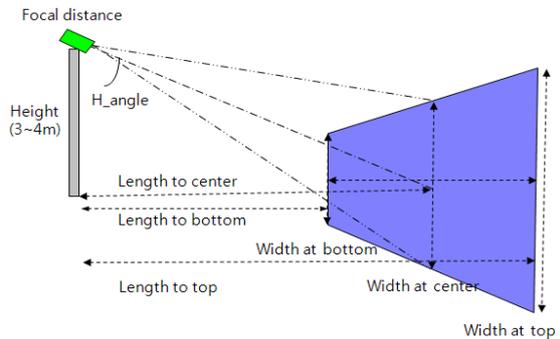


Fig. 21 detailed calculation of the field of view

### 3.2.4. 영상유고 감지 프로브 및 알고리즘 관점

조사한 국내외 4종의 영상유고감지시스템은 영상 감지영역 내에 들어온 객체를 영상픽셀 및 Gray Level의 변화를 이용하는데 가장 작은 픽셀 크기가 약 10픽셀을 유지해야 감지 가능하므로 복층터널에서도 영상유고감지 프로브(센서)인 카메라 부분은 핵심기술 요소이다. 카다로그 규격으로 파악할 수 없는 영상센서 기능의 카메라 성능 분석을 위해 영상 프레임률, 해상도, 빛에 의한 감도(sensitivity), 신호대 잡음비, 영상변질(smearing) 또는 흐려짐(Blurring) 등 요소를 고려하

여 CCD, CMOS 센서에 대해 분석하고, 터널조명 등 환경조건을 고려하여 영상센서를 실험 또는 경험적으로 검증하여 영상유고감지시스템에 적용하는 것이 필요하다. Mega Pixel 고해상도 카메라의 경우 IP 카메라 방식이 주로 생산되므로 표 3에 IP 카메라를 기준으로 터널환경에 최적화된 권장규격을 제시하였다.

Table. 3 Recommended standard IP camera [11]

Image device	1/4" interline transfer CCD/CMOS 1/3" interline transfer CCD/CMOS 1/2" interline transfer CCD/CMOS
Type	Color or black & White
Compression	MPEG4-simple profile & advanced simple profile H.264 - baseline, main & high profile
Format	4CIF, full D1, full HD
Network	RTP/UDP, unicast or multicast, RTSP over IP
AGC	Selectable 0-10dB different positions
S/N ratio	More than 50dB (AGC off)
Sync	Internet or External
BLC	On/Off
Shutter	1/60 for NTSC camera
Lens mount	C or CS
Infra red filter	Preferable with B&W cameras
Power	220Vac, 12Vdc or 24Vdc
Operating temp	-10℃ to 50℃ / 14°F - 122°F

최근에는 복층터널에서의 화재 등 돌발상황의 대응 시나리오 정립, 피난대책 등에 대한 연구가 진행되고 있으며 본 연구도 이들과 같은 연장선상에서 연구를 진행하고 있다[1]. 일반터널에서의 교통 위험도 분석을 통해 도출된 위험요소를 낙하물, 보행자, 역주행, 정지차량, 연기 이벤트 상황으로 정의한 사례는 있었지만[4] 복층터널에서도 특화된 돌발상황 인자의 재정의가 필요하다라는 연구내용이 있다[1]. 향후 본 연구에서는 선행 연구내용을 바탕으로 정의된 돌발상황과 관련된 영상을 DB화하여 알고리즘 시험 및 검증을 위한 기초자료로 활용해야 한다. 수집된 영상을 분석하는 알고리즘 및 기법을 정의해야 하는데, 이때 영상감지기술의 접목이 필요하다. 조사한 국내외 4종의 영상유고감지시스템은 그림 22와 같이 영상픽셀의 연속적인 Gray Level의 변화를 분석하여 목적에 따라 주행차량 감지존 설정, 보행자, 교통량, 속도, 점유율, 대기행렬 길이 등의 교통정보를 수집할 수 있는 방식을 영상감지 원리로 하고 있었다[2, 12].

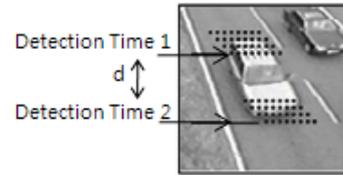


Fig. 22 Algorithm of camera & computer aided incident detection(VIDS existing video detection method)

그림 23과 같이 감지라인(Detection Line)을 차로와 평행하게 설정하고 멀티 중단면 감지라인을 지나가는 차량 등이 변화시키는 Gray Level을 측정 한다면 정지차량, 역주행차량 감지 및 기타 복층터널에서 일어날 수 있는 다양한 형태의 감지를 보다 더 수월하게 수행할 수 있다[10, 13].

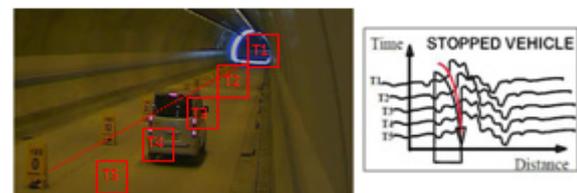


Fig. 23 Analysis of the multi profile(double deck tunnel attributes reflect algorithms)

상기에 제시한 영상유고감지시스템의 복층터널 특성 반영 방안을 바탕으로 향후 복층터널에 적용하게 될 영상유고감지시스템의 프로토타입(Proto-type)을 구체화하고 프로토타입을 구성하는 각각의 요소들을 테스트베드에 통합, 설치하여 운영 완성도를 높이는 방향으로 연구를 계속 진행할 계획이다.

#### IV. 결 론

국도, 고속국도 터널 영상유고감지시스템 성능분석 결과 감지율은 영상유고감지시스템 제조사별 성능, 터널 내 조도, 카메라의 영상혼탁 및 설치 위치에 따른 영상 변화 등에 기인하여 만족할 만한 결과를 가져오지는 못했지만, 광치터널 1개소를 선정하여 지속적인 교정과 세부조정을 거친 후에는 감지거리 100m 이내에서 보행자 98.3%, 낙하물 96.7%, 정지차량 100%, 역주행 100%, 연기감지 100%의 비교적 높은 감지율을 나타내었기에 대심도 복층터널에도 적용 가능성을 확인하였다.

향후 지하공간의 활용이 확대되면서 대심도, 장대, 복층터널의 건설이 증가될 전망이다. 복층터널과 같은 복잡한 구조물에서는 돌발상황 시 안전에 대한 중요성이 더욱 부각되는 상황에서 영상유고감지시스템을 적용한다면 1개의 카메라로 여러 차선 및 광범위한 구역을 감지할 수 있으며, 감지구역을 쉽게 변경할 수 있고, 여러 종류의 차량 데이터 측정 및 특정한 목적의 데이터가 필요한 경우에 적용할 수 있는 광범위한 적용성을 가질 것으로 판단되었다. 그러나 영상유고감지시스템의 법적인 근거가 미약하고 실험적 데이터가 취약하여 현재 복층터널에 보편적으로 적용하는 것은 한계가 있다. 그러므로 본 논문이 영상유고감지시스템을 복층터널에서 유용한 터널 방재설비로서 자리매김 시키는데 일조하고자 국도터널, 고속국도터널에서 운용중인 영상유고감지시스템의 성능 및 복층터널 특성 반영한 실험의 내용을 소개 하였다. 그리고 일반터널과는 상이한 복층터널에서 효과적으로 개발 및 적용할 수 있도록 대심도 복층터널의 ICT 터널 설계 관점, 전용의 IoT 터널 방재설비로서 접근해야 한다는 점, 대심도 복층터널내 설치 및 운영관점, 영상유고 감지 프로브인 카메라 및 분석 알고리즘 관점의 몇가지 개선 사항을 제시하였다.

## REFERENCES

- [ 1 ] Korea Institute of Construction Technolog, "Development of Design and Construction Technology for Double Deck Tunnel in Great Depth Underground Space," *Ministry of Land, Infrastructure and Transport Science and Technology Agency Proposal*, pp.20-58, June 2015.
- [ 2 ] ITS Korea, "Building performance evaluation methode of the tunnel video incidents detection system and extended to study," *The Korea Highway Corportion Final report*, pp. 5-7, Feb 2012.
- [ 3 ] Korean Tunneling and Underground Space Association Land Transportation, "Road tunnel disaster prevention facilities installation and care instructions," *Ministry of Land, Infrastructure and Transport Science and Technology Agency*, pp.32, 40-61, January 2014.
- [ 4 ] Korea ITS Association, "Tunnel incident image standards on detection system performance test method," *Korea Intelligent Transportation System Association ITSK-00062*, pp.3-37, January 2012.
- [ 5 ] Kim, Hwan-jun, Choi Chang-rim, "Long road tunnel design case study - Jinhae to tunnel ventilation and emergency planning center," *Tunnelling Technology*, vol.11, no.4, pp. 52-55, May 2014.
- [ 6 ] Yoo, Yong-Ho, "An Experiment Study on Performance Evaluation of the Video Incident Detection System," *Korea Institute of Fire Science&Engineering, C-1*, pp.155-158, September 2010.
- [ 7 ] FLIR Systems Inc., "TRAFFICON VIDEO DETECTION APPLICATION," *Trafficon report*
- [ 8 ] FLIR Systems Inc., "Intelligent Transportation System Camera talk document," *FLIR report*
- [ 9 ] FLIR Systems Inc., "FLIR Traffic Management & Video Processing / How FLIR ITS video detection solution help you manage and control road traffic," *FLIR report*
- [10] Voim Information Technologies Corp., "IP Surveillance Solution of Visionetware Technology," [Internet]. Available : [http:// www.voimit.com](http://www.voimit.com), [blog.daum.net/visionetware](http://blog.daum.net/visionetware)
- [11] Sony, "The Basics of Camera Technology," *B&P Group Sony*
- [12] Il-Sik Chang, "Analysis of the Requirement on the Intelligent CCTV Camera in Subway Environment," *The Korean Society for railway*, 1151-1156(6pages), pp.3-4 Nov 2008.
- [13] Hee-Sin Lee, Sung-Hwan Jeong, "Vision-Based Fast Detection System for Tunnel Incident," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol 9, no 1, pp. 9-18 , January 2010.



김태복(Tae-Bok Kim)

단국대 전기공학과 공학석사  
 (주)효성 책임연구원  
 (주)보임정보기술 연구소장  
 ※관심분야 : CCTV 분야 중 IP 및 Intelligent Surveillance