

# 컴퓨터 시각을 이용한 고속 터널 유고감지 시스템

## Vision-Based Fast Detection System for Tunnel Incidents

이 희 신\*  
(Hec-Sin Lee)

정 성 환\*\*  
(Sung-Hwan Jeong)

이 준 환\*\*\*  
(Joon-Whoan Lee)

### 요 약

산악지형이 많은 우리나라는 자연환경 여건상 터널 수요가 많고 안전한 운영을 보장 할 수 있는 터널 유고감지 시스템에 대한 필요성도 커지고 있다. 본 논문에서는 터널 내 유고 상황을 실시간으로 감지하여 터널 사무소에 전달 터널의 안전한 운영을 도울 수 있는 터널 유고감지 시스템을 제안 하였다. 제안한 시스템은 차 영상 기법과 같은 단순한 영상 분석 알고리즘을 사용하여 시스템의 신속성을 높였으며 유고의 종류 보다는 유고상황의 발생여부를 정확히 판단하데 중점을 두어 시스템의 정확성도 확보하였다. 또한 영상 분석 장치 한 대당 네 대의 카메라를 수용할 수 있게 함으로써 시스템의 비용적인 측면도 고려하였다. 그리고 카메라의 대수에 따라 영상분석 장치를 추가함으로써 카메라 대수에 관계없이 시스템의 확장성을 용이하게 하였으며 터널 유고상황 정보를 웹에서도 접근 가능하게 하여 원격지의 다른 터널 시스템과의 연동 등의 추가 확장성도 고려하였다. 구현된 시스템을 실제 터널에서 실험한 결과 터널 내에서 발생한 장애물, 정지·사고 차량, 차량 정체·지체, 사람·이륜차, 연기·화재, 조명 이상, 역 주행 등의 유고상황을 모두 실시간으로 정확히 감지하였다.

### Abstract

Our country has so large mountain area that the tunnel construction is inevitable and the need of incident detection that provides safe management of tunnels is increasing. In this paper, we suggest a tunnel incident detection system using computer vision techniques, which can detect the incidents in a tunnel and provides the information to the tunnel administrative office in order to help safe tunnel operation. The suggested system enhances the processing speed by using simple processing algorithm such as image subtraction, and ensures the accuracy of the system by focused on the incident detection itself rather than its classification. The system is also cost effective because the video data from 4 cameras can be simultaneously analyzed in a single PC-based system. Our system can be easily extended because the PC-based analyzer can be increased according to the number of cameras in a tunnel. Also our web-based structure is useful to connect the other remotely located tunnel incident systems to obtain interoperability between tunnels. Through the experiments the system has successfully detected the incidents in real time including dropped luggage, stoped car, traffic congestion, man walker or bicycle, smoke or fire, reverse driving, etc.

**Key words:** Tunnel incident, video detection system, web-based structure, fast detection, interoperability

\* 주저자 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정

\*\* 공저자 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사수료

\*\*\* 공저자 및 교신저자 : 전북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

† 논문접수일 : 2009년 11월 22일

† 논문심사일 : 2010년 1월 15일(1차), 2010년 2월 5일(2차)

† 게재확정일 : 2010년 2월 8일

## I. 서 론

고도로 산업화된 현대 사회에서 도로터널은 매일 수많은 사람과 재화가 이동하는 통로로 중추 신경과 같은 역할을 한다. 그럼에도 불구하고 터널에 사고가 발생한다면 대규모 인명 피해는 물론 도시 전체 경제 활동에 심각한 피해를 초래할 수 있다. 탈출과 우회가 제한된 터널 내에서 발생한 사고는 그 피해 범위가 급속하게 확대되어 돌이킬 수 없는 대규모 인명 피해를 초래할 수 있다는 것이다. 또한 터널에서 화재와 연기가 발생하는 경우, 탈주로가 제한되어 있고 탈출구까지의 거리가 멀다는 공간적 특성으로 인해 불길이 급속도로 번지게 되며 이는 막대한 인명과 재산 그리고 시설물의 피해로 직결된다. 그리고 터널 내 좁은 도로에서는 차량의 우회가 제한되므로 도로위의 사고차량이나 물체 또는 보행자 등은 빠르게 감지하고 대처하지 않으면 터널 내 대형 사고를 유발하는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 터널을 이용하는 사람을 보호, 재화의 파손을 방지하고 시설물의 피해를 막아 터널의 안전한 운영을 보장하기 위한 유고감지 시스템이 반드시 필요하다.

현재까지 개발된 터널 유고감지 시스템은 모두 해외에서 개발된 것으로 이중 상용화에 성공한 제품은 대표적으로 벨기에의 Traficon사가 보유하고 있는 자동유고검지(Automatic Incident Detection)시스템이 있다. 이 제품은 비디오카메라로 터널 내에 주행하는 차량의 흐름을 분석하여 터널 내 교통사고 및 정지 차량과 화재·스모그 상태를 실시간으로 검출한다.

아직까지 국내 기술로 개발되어 상용화된 터널 유고감지 시스템이 공개적으로 보고되지 않은 상태이며 고비용을 지불하고 해외 제품을 국내 터널에 도입하는 실정이다. 산악지형이 많은 우리나라의 자연 환경 여건상 터널기술 발전에 대한 수요가 꾸준히 증가하는 추세이기 때문에 비용 절감과 기술력 확보를 위해 터널 유고감지 시스템을 국산화 하는 것은 시급한 문제이다.

유고 감지 시스템의 목적은 터널 내 유고상황의 발생여부를 정확하게 감지하여 신속하게 대처하는데 있다. 따라서 터널 내에 유고상황이 발생했을 때 유

고의 종류에 대한 판별 보다는 유고상황의 발생 여부를 신속하게 판단하는 것이 중요하며 이에 맞게 시스템이 설계 되어야 한다. 또한 많은 카메라를 설치하여 사용하는 터널의 특수성 때문에 카메라의 대수가 증가 하더라도 빠른 처리속도를 유지해야 하며 시스템 운영적인 측면에서 확장성 또한 고려되어야 한다.

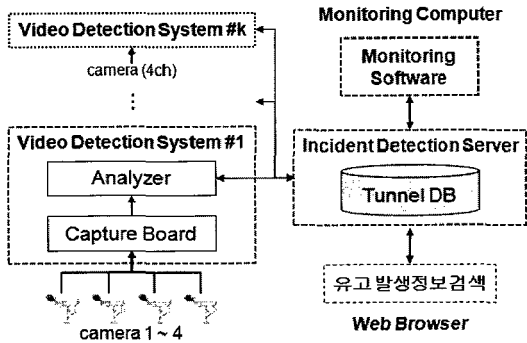
본 논문에서는 터널 내 장애물, 정지·사고 차량, 차량 정체·지체, 사람·이륜차, 연기·화재, 조명 이상, 역 주행 등의 유고 상황을 실시간으로 감지한 후 운영자에게 통보하여 사고를 미연에 방지하거나 추가적인 사고를 예방함으로써 터널의 안전한 운영을 보장할 수 있는 시스템을 제안 한다. 제안한 시스템은 터널 내 유고상황을 정확하고 신속하게 감지하기 위해서 단순한 영상 분석 알고리즘을 사용하여 시스템의 신속성을 높였으며 유고상황이 발생하였을 때 유고의 종류에 대한 분석 보다는 유고상황의 발생여부를 정확히 판단하데 중점을 두어 시스템의 정확성도 확보하였다. 또한 영상 분석 장치 한 대당 네 대의 카메라를 수용할 수 있게 함으로써 시스템의 비용적인 측면도 고려하였다. 그리고 카메라의 대수에 따라 영상분석 장치를 추가함으로써 카메라 대수에 관계없이 시스템의 확장성을 용이하게 하였으며 터널 유고상황 정보를 웹에서도 접근 가능하게 하여 원격지의 다른 터널 시스템과의 연동 등의 추가 확장성도 고려하였다.

## II. 터널 유고감지 시스템 설계

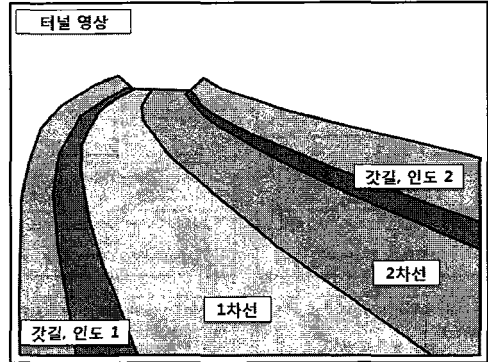
제안한 시스템은 <그림 1>과 같이 영상검지기 (Video Detection System), 유고감지 서버(Incident Detection Server), 모니터링 소프트웨어(Monitoring Software)등 크게 세부분으로 구성된다.

### 1. 영상 검지기

영상 검지기는 영상 캡처 보드(Capture Board), 영상 분석기(Video Analyzer) 등으로 이루어지며 영상 분석기 한대당 카메라 네 대의 영상을 처리한다.



<그림 1> 터널 유고감지 시스템 구조  
 <Fig. 1> Structure of Tunnel Incident Detection System

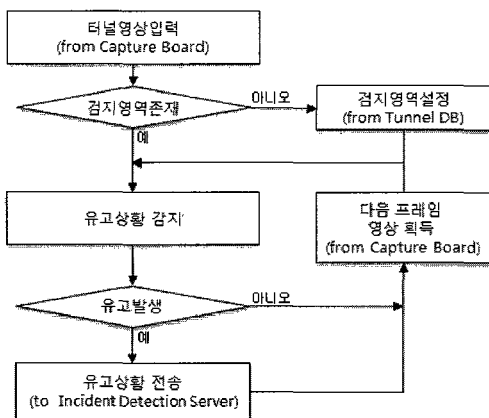


<그림 3> 검지영역 정보  
 <Fig. 3> Region of Detections

<그림 2>는 영상 검지기의 세부 흐름을 나타낸다. 먼저 터널 영상을 캡처 보드로부터 입력 받고 해당 영상의 검지영역을 터널 데이터베이스(Tunnel DB)에서 읽어와 설정한 후 설정된 검지영역 정보를 바탕으로 터널 영상을 분석하여 유고 상황을 감지한다. 이때 영상 검지기가 유고상황을 감지하였을 경우 해당 정보를 유고감지 서버로 전송하며 전송되는 정보는 감지시간, 감지 카메라 번호, 유고 종류, 유고발생 동영상 등을 포함한다.

1) 검지영역 설정

검지영역은 터널 데이터베이스에 저장되며 모니터링 컴퓨터(Monitoring Computer)에서 설정한다. 이



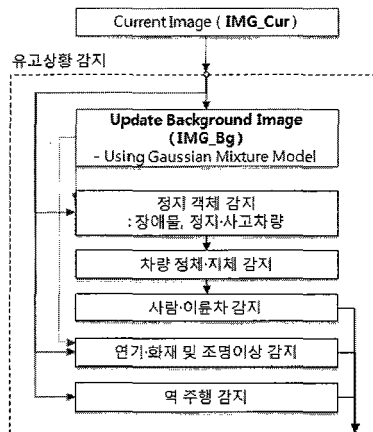
<그림 2> 영상 검지기 세부 흐름  
 <Fig. 2> Flowchart of Video Detction System

는 <그림 3>과같이 차선, 갓길·인도 등의 정보로 구성된다.

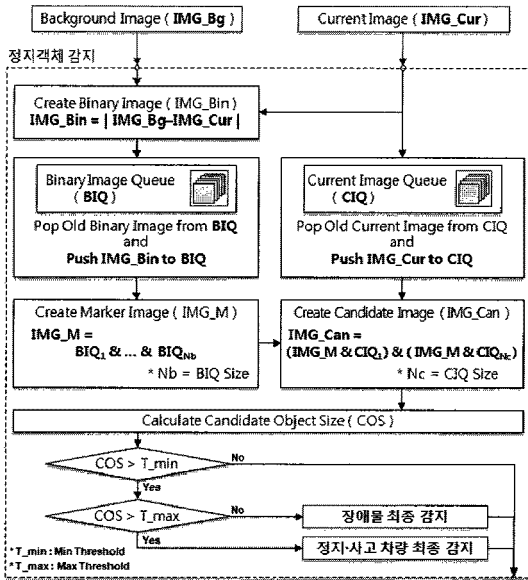
2) 유고상황 감지

터널 내에서는 조명의 방향과 밝기가 일정하여 터널외의 일반 도로의 영상검지기에서 중요시되는 그림자, 기상 조건 등을 고려할 필요가 없다. 따라서 터널 내 유고상황 감지 알고리즘은 터널외의 지역에서 사용하는 그림자 제거 알고리즘[1]이나 기상 조건에 강인한 특징점 추적 알고리즘[2] 등을 사용하지 않고 단순하게 구성된다.

터널 유고상황 감지는 <그림 4>와 같이 Gaussian Mixture Model(GMM)을 이용해 배경영상을 갱신하고



<그림 4> 유고상황 감지 알고리즘  
 <Fig. 4> Incident Detction Algorithm



<그림 5> 정지객체 감지 알고리즘  
 <Fig. 5> Detection Algorithm for Stopped Objects

[3] 정지 객체 감지, 차량 정체·지체 감지, 사람·이륜차 감지, 연기·화재 및 조명 이상 감지, 역 주행 감지 등 각각의 감지 알고리즘에 의해 유도상황을 최종 감지한다.

① 정지 객체 감지

제안된 정지 객체 감지 알고리즘은 장애물, 정지-사고 차량을 감지하며 세부 흐름은 <그림 5>와 같다.

먼저 배경영상(IMG\_Bg)과 현재 영상(IMG\_Cur)의 차이를 구하여 이진화(IMG\_Bin) 한 후 이진영상 큐(BIQ)에 저장하며 동시에 현재 영상 또한 현재영상 큐(CIQ)에 저장한다. 그 다음 저장된 Nb개의 이진영상에 AND(&) 연산을 취하여 마커 영상(IMG\_M)을 생성한다. 여기서 Nb는 BIQ에 저장된 이진영상의 개수를 나타내며 AND(&) 연산을 취한 마커 영상은 최근 Nb개의 프레임동안 배경영상인 아닌 부분이 지속적으로 나타난 부분의 정보를 포함하게 된다. 위와 같은 과정으로 생성된 마커 영상을 이용해 현재영상버퍼에 저장된 영상에서 정지객체를 감지한다[4]. 정지객체가 감지되면 정지객체의 크기(COS)를 산출하고, 산출된 정지객체의 크기가 T\_min(사용자 정의 임계값) 보다 작으면 노이즈로 판단하고 다음 프레임

으로 진행한다. 이때 정지객체의 크기가 T\_min 이상 일 경우에는 T\_max(사용자 정의 임계값)를 이용하여 장애물과 차량을 구분하고 정지객체를 최종 감지한다. T\_min과 T\_max는 관리자가 환경에 맞게 지정한다.

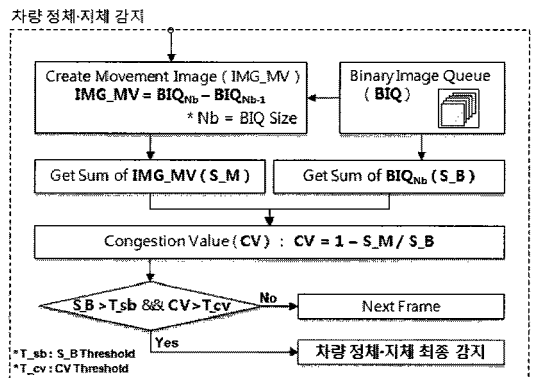
② 차량 정체·지체 감지

차량 정체·지체 감지 알고리즘은 정성환, 이준환이 제안한 혼잡도 측정 알고리즘[5]을 사용하였다. 제안된 알고리즘은 정지 객체 감지 알고리즘에서 저장해 놓은 이진영상 큐(BIQ)를 이용하며 세부 흐름은 <그림 6>과 같다. 먼저 이진영상 큐에 저장된 현재 프레임 이진영상(BIQNb)에서 이전 프레임 이진영상(BIQNb-1)을 빼 객체의 이동량 영상(IMG\_MV)을 구한다. 그 다음 이동량 영상의 합(S\_M)과 현재 프레임 이진영상의 합(S\_B)을 이용하여 혼잡도(CV)를 식 (1)과 같이 산출한다.

$$CV = 1 - \frac{S_M}{S_B} \tag{1}$$

현재 프레임 이진영상의 합이 T\_sb(사용자 정의 임계값) 보다 크고 혼잡도가 T\_cv(사용자 정의 임계값) 보다 크면 차량 정체·지체 상황으로 최종 감지한다. T\_sb와 T\_cv는 관리자가 환경에 맞게 설정한다.

③ 사람·이륜차 감지



<그림 6> 차량 정체·지체 감지  
 <Fig. 6> Detection of Traffic Congestion

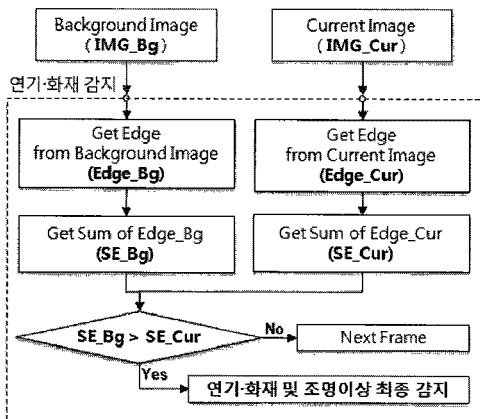
사람·이륜차 감지 알고리즘은 정지 객체 감지 알고리즘에서 저장해 놓은 이진영상 큐(BIQ)를 이용하여 먼저 이진영상 큐에 저장된 현재 프레임 이진영상(BIQn)에 대해 연결객체의 분할(Extraction of Connected Components)을 수행한다[6]. 그 다음 분할된 각 객체들의 가로, 세로 비율을 이용하여 사람·이륜차의 가로, 세로 비율과 일치할 경우 사람·이륜차 감지 위험 플래그를 설정하고 최근 N 프레임동안 연속으로 위험 플래그가 설정됐을 경우 사람·이륜차 감지 상황으로 최종 판단한다. 이때 N은 사용자가 임의로 설정한다.

④ 연기·화재 및 조명 이상 감지

연기·화재 및 조명 이상 감지 알고리즘은 배경영상과 현재영상의 윤곽선을 추출하여 현재 영상의 윤곽선양이 배경영상의 윤곽선양보다 작아질 경우 연기·화재 및 조명 이상 상황으로 최종 판단하며 세부 흐름은 <그림 7>과 같다.

⑤ 역 주행 감지

역 주행은 터널 내 도로의 주행 방향과 반대로 움직이는 차량을 감지하는 것으로 차선별로 움직임 벡터[7]를 산출하여 차선별 움직임 벡터의 합이 사용자가 설정한 차량 진행방향과 반대방향일 경우 역 주행 상황으로 최종 판단한다.



<그림 7> 연기·화재 및 조명이상 감지 알고리즘  
 <Fig. 7> Detection Algorithm for Smoke, Fire or Abnormal Illumination

<표 1> 유고감지 서버가 전달하는 메시지 및 내용  
 <Table 1> Messages and Contents between Video Detection System and Monitoring Software

	메시지 종류	내용
영상 검지기 ↓ 모니터링 소프트웨어	MSG_ALARM_BLOCKING	차량 정체·지체 감지
	MSG_ALARM_VEHICLE	정지·사고차량 감지
	MSG_ALARM_OBJECT	장애물 감지
	MSG_ALARM_PERSON	사람·이륜차 감지
	MSG_ALARM_SMOKE	연기·화재 및 조명 이상 감지
	MSG_ALARM_POSITION	역 주행 차량 감지
	MSG_SEND_ALARM_JPEG_IMAGE	유고 발생 영상 전송
모니터링 소프트웨어 ↓ 영상 검지기	MSG_SEND_AVI_FILE	유고 발생 동영상 전송
	MSG_SEND_RT_JPEG_IMAGE	실시간 영상 전송
	MSG_SEND_NEW_JPEG_IMAGE	현재 영상 전송
	MSG_SET_DETECTION_REGION	감지영역 재설정
	MSG_SET_ANALYZER	영상 검지기 설정 변경
	MSG_SET_CAMSTATUS	카메라 활성/비활성
	MSG_SET_ALARMSTATUS	유고 종류별 활성/비활성
	MSG_REBOOT_ANALYZER	영상 검지기 재시작

2. 유고감지 서버

유고감지 서버는 영상검지기와 모니터링 소프트웨어간의 메시지를 전달해주는 소켓서버 기능과 시스템에 필요한 정보를 저장하고 관리하는 데이터베이스 서버 기능, 유고 발생 정보를 웹으로 서비스하는 웹서버 기능 등 세 가지 기능을 수행한다.

1) 소켓 서버

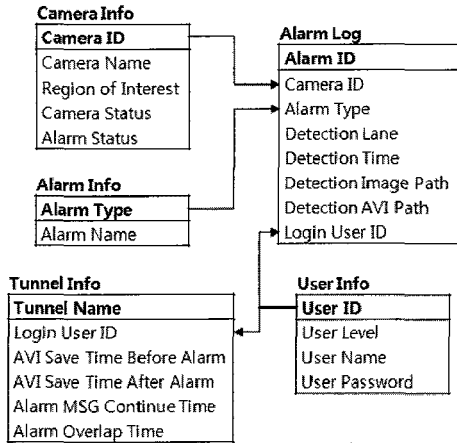
소켓 서버는 영상 검지기가 유고상황발생시 전송하는 정보를 받아서 터널 데이터베이스에 저장하고 모니터링 소프트웨어에 해당 유고 상황을 전송한다. 이때 소켓 서버가 영상검지기와 모니터링 소프트웨어를 중계하는 메시지 정보는 <표 1>에 나타내었다.

2) 데이터베이스 서버

유고감지 서버의 데이터베이스는 Tunnel Info, Camera Info, Alarm Info, Alarm Log, User Info등의 5개 테이블로 구성되며 각각 테이블의 구조는 <그림 8>과 같다.

3) 웹 서버

제안한 시스템은 유고 발생 정보를 웹에서 검색이 가능하도록 웹 서버를 구축하여 추후 확장성을 고려하였다. 사용자는 서버에 저장되어있는 유고상황 기록들을 관리할 수 있으며 유고 발생 시각, 카메라 번호, 유고종류 등을 이용한 선택적 검색이 가능하다.



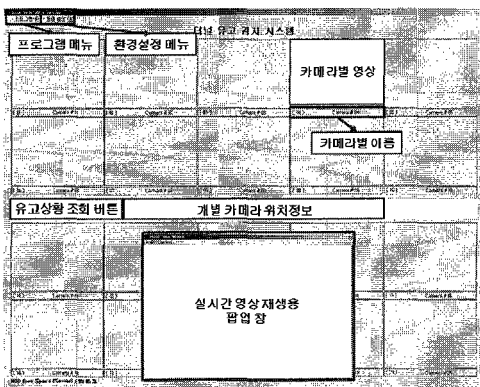
<그림 8> 유고감지 서버의 데이터베이스 정보  
<Fig. 8> DB Information of Incident Detection Server

### 3. 모니터링 소프트웨어

모니터링 소프트웨어는 터널의 상황을 감시하고 시스템에 필요한 각종 환경설정 및 유고상황발생시 경보 발생기능 등을 수행한다. <그림 9>는 모니터링 소프트웨어의 메인 화면 구성을 나타낸다.

#### 1) 유고 감지 및 경보 발생

터널 내에 유고상황발생시 모니터링 소프트웨어의 메인 화면에서 해당 카메라의 영상이 반전되면서 사고에 해당하는 경보음 및 안내메시지가 발생한다.



<그림 9> 모니터링 소프트웨어 메인 화면 구성  
<Fig. 9> Main Display of Monitoring Software

사용자는 해당 카메라의 실시간 영상을 재생하여 상황을 조기에 파악하고 조치를 취할 수 있다.

#### 2) 유고상황 조회 및 검색

유고상황이 발생되면 유고감지 서버에 유고상황의 정보가 자동으로 저장되며 사용자는 저장되어있는 유고상황 기록들을 관리할 수 있다. 또한 유고 발생 시각, 카메라 번호, 유고종류 등을 통한 선택적 검색이 가능하다.

#### 3) 환경설정

- ① 카메라 및 터널 이름 변경 : 개별 카메라의 이름 및 터널의 이름을 변경한다.
- ② 카메라 위치 설정 : 터널 이미지상의 카메라 위치를 변경할 수 있다.
- ③ 경보음 설정 : 유고상황발생시 재생할 안내음성 및 경보음을 설정한다.
- ④ 영상 검지기 설정 : 터널 유고영상 저장시간 설정(유고발생 전·후), 감지할 유고상황의 종류 선택, 영상 검지기 재시작 등 영상 검지기 와 관계된 설정 값들을 변경 할 수 있다.

#### 4) 카메라 설정

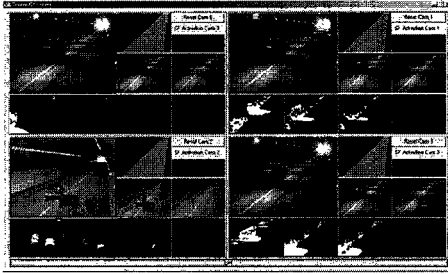
실시간 터널 영상보기, 유고 감지 활성화/비활성, 카메라 활성화/비활성, 카메라별 검지영역 및 진행방향 설정 등을 할 수 있다.

## Ⅲ. 터널 유고감지 시스템의 구현 및 실험 결과

### 1. 터널 유고감지 시스템의 구현

#### 1) 영상 검지기

영상 검지기는 영상 캡처 보드, 영상 분석기 등으로 이루어진다. 영상 분석기는 카메라 네 대의 영상을 캡처 보드를 통해 입력받아 영상 검지 알고리즘을 수행하며 유고상황을 감지하면 유고정보와 함께 유고 발생 동영상을 유고감지 서버로 전송한다. 이때 유고 발생 동영상은 사용자가 설정한 유고 발생



<그림 10> 구현한 영상 분석기 메인 화면  
<Fig. 10> Main Display on Work

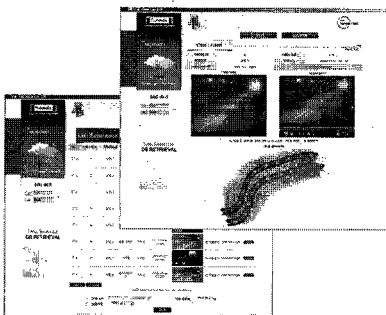
전·후 시간동간의 영상을 동영상 파일로 저장하며 MPEG-4 표준을 따르는 자유/오픈 소스 영상 코덱 라이브러리인 Xvid(<http://www.xvid.org/>)를 사용하여 인코딩을 한다.

<그림 10>은 영상 분석기를 구현한 메인 화면이다.

## 2) 유고감지 서버

유고감지 서버는 소켓서버, 데이터베이스 서버, 웹 서버 등 세 가지 기능을 수행하며 소켓서버는 Windows Sockets 2(Winsock2)를 사용하였으며, 데이터베이스 서버는 무료 DBMS(Database Management System)인 MySql Server 5.0을 사용하였다. 그리고 웹 서버는 Apache 2.2(<http://httpd.apache.org/>), PHP 5.2(<http://kr.php.net/>)를 사용하였으며 모두 무료 S/W인 동시에 기능이 강력하다는 장점이 있다.

<그림 11>은 웹서버에 접속하여 유고 발생 정보를 조회한 화면을 나타내며 유고상황의 발생 시각, 발생 종류, 발생 위치, 유고 동영상 등을 검색할 수 있으며 시스템 보안을 위하여 지정된 사용자만 접근



<그림 11> 웹을 이용한 유고발생 정보 조회 화면  
<Fig. 11> Web-Based Incident Display

이 가능하도록 한다.

## 3) 모니터링 소프트웨어

모니터링 소프트웨어는 앞서 2장에서 언급했듯이 터널의 상황을 감시하고 시스템에 필요한 각종 환경 설정 및 유고상황발생시 경고 발생기능 등을 수행하며 <그림 12>는 구현된 모니터링 소프트웨어의 메인 화면을 나타내고 <표 2>는 의 메뉴 및 주요기능 등을 나타낸 것이다. 그리고 <그림 13>은 모니터링 소프트웨어에서 유고발생 정보를 조회한 화면을 나타낸 것으로 기능은 앞서 기술한 웹을 이용한 유고발생 정보 조회와 동일하다. 또한 <그림 14>는 카메라의 검지영역 및 차량 진행 방향을 설정하는 화면을 나타내며 검지영역은 차선, 갓길, 인도 등의 정보로



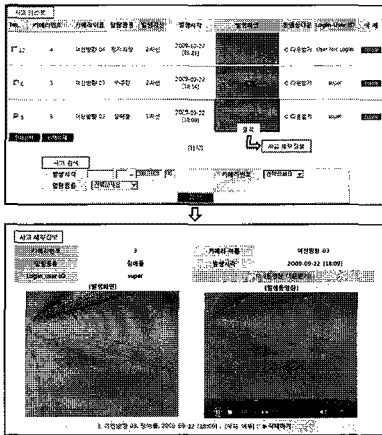
<그림 12> 구현된 모니터링 소프트웨어의 메인 화면  
<Fig. 12> Display of Monitoring Software on Work

<표 2> 구현된 모니터링 소프트웨어의 메뉴 및 주요기능  
<Table 2> Menu and Functions of Implemented Monitoring Software

	이름	세부 기능
기본 기능	유고 감지 및 경고 발생	터널 내 유고상황 감지시 경보발생한다
	카메라 및 영상 검지가 상태	카메라 및 영상검지기의 상태를 확인한다
	유고상황 조회	서버에 저장되어있는 유고상황 기록 등을 검색, 관리한다
사용자 메뉴	다른 사용자로 로그인	터널 관리자가 변경될 경우 새로운 사용자로 시스템에 로그인 한다
	사용자 정보 변경	사용자의 정보를 관리한다
	카메라 및 터널 이름 변경	개별 카메라의 이름 및 터널의 이름을 변경한다
	카메라 위치 설정	터널 내에 카메라의 위치를 설정 및 변경 한다
	경보음 설정	유고상황을 감지하였을 때 재생할 경보음 및 안내 메시지를 설정한다
카메라 설정 메뉴	영상 분석기 설정	유고상황 동영상의 저장 시간을 설정 하거나 검지할 유고상황의 종류를 선택한다
	실시간 영상 보기	지정된 카메라의 현재 상황을 실시간으로 재생한다
	검지영역 설정	카메라의 검지영역을 설정한다
	경도 활성화/비활성	유고상황 감지 기능을 활성 또는 비활성시킨다
	카메라 활성화/비활성	카메라를 활성 또는 비활성 시킨다

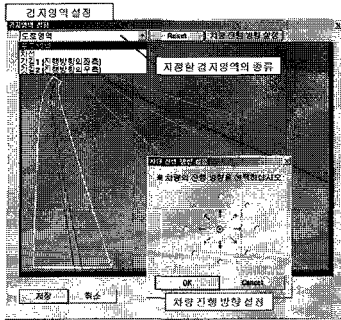
구성되며 차량의 진행 방향은 8방향으로 설정 할 수 있도록 구현 되었다.

<그림 15>는 카메라 및 영상 검지기의 상태를 나타내는 것으로 이상발생시 카메라별 영상 화면에 상



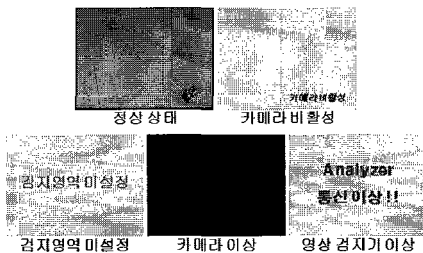
<그림 13> 모니터링 소프트웨어를 이용한 유고발생 정보 조회 화면

<Fig. 13> Retrieved Incident Information through Monitoring Software



<그림 14> 감지영역 및 차량 진행 방향 설정

<Fig. 14> Region of Detection and the Driving Direction



<그림 15> 카메라 및 영상 검지기의 상태별 화면

<Fig. 15> Status Display of Video Detection System

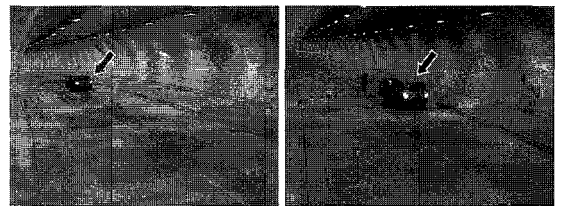
태별 영상이 나타난다.

## 2. 구현된 시스템의 실험 결과

본 논문에서 제안한 터널 유고감지 시스템을 실제 터널에 설치한 후 여러 가지 상황을 재현하며 반복적으로 실험을 진행 하였으며 실험결과 터널 내에서 발생하는 유고상황을 모두 실시간으로 정확히 감지 하였다. 실험 장소는 전남 여수시에 있는 마래터널(개통 예정 터널)이었으며 터널의 카메라는 상행 9대, 하행 9대로 총 18대였고 영상 검지기 5대, 유고감지 서버 1대, 모니터링 컴퓨터 1대를 설치하여 실험을 진행하였다.

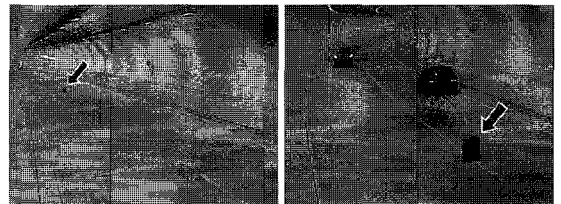
먼저 터널 내 도로위에 떨어진 장애물에 대해서 원거리와 근거리에 있는 장애물을 모두 감지하였으며 특히 원거리에 있는 작은 물체도 감지하는 뛰어난 성능을 보였다. 감지된 영상을 <그림 16>에 나타내었다

<그림 17>은 정지차량과 사고차량을 정상적으로 감지한 영상이며, <그림 18>은 차량의 정체·지체 상황을 감지한 것으로 정체·지체 상황을 재현하기 위해 차량 세대를 이용해 약 시속 5 km/h의 속도로 주



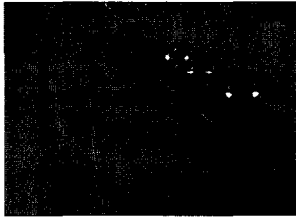
정지 차량                      사고 차량

<그림 16> 정지·사고차량 감지  
<Fig. 16> Detection of Stopped Car



<그림 17> 장애물 감지  
<Fig. 17> Detection of Dropped Luggage

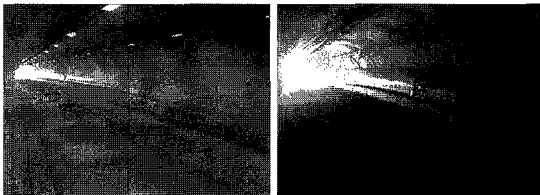




<그림 18> 차량 정체·지체 감지  
<Fig. 18> Detection of Traffic Congestion

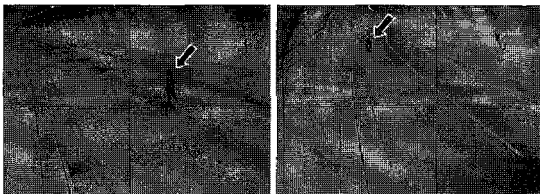


<그림 19> 연기·화재 감지  
<Fig. 19> Detection of Smoke or Fire



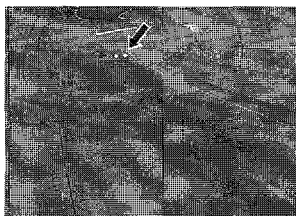
정상 조명                      조명 꺼짐

<그림 20> 조명이상 감지  
<Fig. 20> Detection of Abnormal Illumination



사람                                      이륜차

<그림 21> 사람·이륜차 감지  
<Fig. 21> Detection of Walker of Bicycle



<그림 22> 역 주행 감지  
<Fig. 22> Detection of Reverse Driving

행하며 실험을 진행 하였다.

그리고 <그림 19>는 터널 내에서 발생한 연기·화재 상황을 감지한 영상이며 연기·화재 상황은 연막탄을 사용하여 재현 하였다.

또한 <그림 20>은 터널 내 조명이 꺼진 상황을 감지한 영상이며 왼쪽은 조명상태가 정상일 때의 영상이고 오른쪽은 조명이 꺼진 후 조명이상 상황을 감지한 영상이다.

<그림 21>은 터널 내 사람·이륜차를 감지한 결과로 왼쪽은 사람, 오른쪽은 이륜차를 감지한 영상이다. 마지막으로 <그림 22>는 역 주행을 감지한 영상이다.

#### IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 터널 내 유고 상황을 실시간으로 감지하여 운전자에게 통보함으로써 터널의 안전한 운영을 보장 할 수 있는 시스템을 제안 하였다.

제안한 시스템은 터널 내 유고상황을 정확하고 신속하게 감지하기 위해서 단순한 영상 분석 알고리즘을 사용하여 시스템의 신속성을 높였으며 유고상황이 발생하였을 때 유고의 종류에 대한 분석 보다는 유고상황의 발생여부를 정확히 판단하데 중점을 두어 시스템의 정확성도 확보하였다. 또한 영상 분석 장치 한 대당 네 대의 카메라를 수용할 수 있게 함으로써 시스템의 비용적인 측면도 고려하였다. 그리고 카메라의 대수에 따라 영상분석 장치를 추가함으로써 카메라 대수에 관계없이 시스템의 확장성을 용이하게 하였으며 터널 유고상황 정보를 웹에서도 접근 가능하게 하여 원격지의 다른 터널 시스템과의 연동 등의 추가 확장성도 고려하였다.

구현된 시스템을 실제 터널에 설치하여 여러 가지 조건에 대한 실험을 진행 하였으며 실험결과 터널 내에서 발생한 장애물, 정지·사고 차량, 차량 정체·지체, 사람·이륜차, 연기·화재, 조명 이상, 역 주행 등의 유고상황을 모두 실시간으로 정확히 감지하였다.

현재 개통되지 않은 터널에서 재현이 가능한 유고 상황들에 대해서만 제한적으로 실험을 진행하였기 때문에 추후 터널이 개통되면 수개월 이상의 데이터

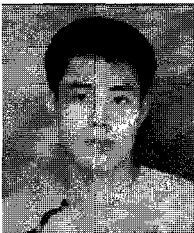
를 누적하여 터널 구간 내에 상당량의 차량이 통과하는 등의 다양한 실제 교통상황에서 유고유형별로 검지율, 오보율, 검지시간 등의 지표를 산출하고 이를 근거로 정확한 성능평가를 진행하는 것이 향후 과제로 남아있다.

또한 향후 CPU의 성능 개선이 빠르게 진행 될 경우 영상 분석기 한 대당 처리할 수 있는 카메라의 대수가 늘어나기 때문에 현재 영상 분석기 한 대당 네 대의 카메라를 처리 하도록 개발된 시스템을 네 대 이상의 카메라를 처리 할 수 있도록 개선될 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

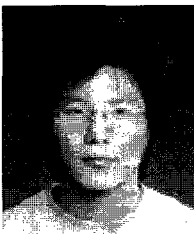
- [1] 정성환, 이준환, “신경망을 이용한 차량 객체의 그림자 제거,” *한국ITS학회 논문지*, 제7권, 제1호, pp. 32-41, 2008. 2.
- [2] 이희신, 이준환, “특징점 추출을 이용한 끼어들기 위반차량 검지 시스템,” *한국ITS학회 논문지*, 제8권, 제2호, pp. 36-44, 2009. 4.
- [3] DS Lee, “Effective Gaussian Mixture Learning for Video Background Subtraction,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 5, pp. 827-832, May 2005.
- [4] 정성환, 이희신, 이준환, “연속류 도로의 사고 및 주정차 위반 감지,” *한국ITS학회 추계학술대회논문집*, pp. 205-208, 2009. 10.
- [5] 정성환, 이준환, “영상 차이법을 이용한 교차로 혼잡도 측정,” *대한전자공학회 추계학술대회논문집*, pp. 801-802, 2008. 11.
- [6] RC Gonzalez, RE Woods, “Digital Image Processing - Second Edition,” *Prentice Hall*, pp. 534-550, 2002.
- [7] S Zhu, KK Ma, “A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation,” *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol.9, no.2, pp. 287-290, Feb. 2000.

### 저자소개



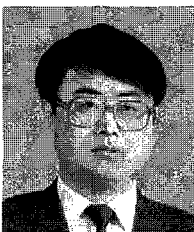
**이 희 신 (Lee, Hee-Sin)**

2008년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
2007년 8월 : 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)



**정 성 환 (Jeong, Sung-Hwan)**

2007년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
2000년 3월 ~ 2004년 2월 : 전주대학교 컴퓨터공학, 정보통신공학(공학사)  
2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 전북대학교 의용생체공학과(공학석사)



**이 준 환 (Lee, Joon-Whoan)**

1990년 ~ 현재 : 전북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
1990년 : 미주리대학 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)  
1985년 ~ 1987년 : 전북대학교 전자공학과 전임강사  
1982년 ~ 1985년 : 전북대학교 전자공학과 조교  
1982년 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)  
1980년 : 한양대학교 전자공학과(공학사)