

Improvement of Obstruction Detecting Method at Railroad Crossing by Image Analyze

송 현 삼* · 김 영 달** · 이 대 동*** · 심 재 명†
 (Hyeon-Sam Song · Young-Dal Kim · Dae-Dong Lee · Jae-Myung Shim)

Abstract - An analysis of the causes of railroad crossing accidents reveals that most train collision accidents that occur when safety crossing devices are functioning normally occur because vehicles either experience engine failure on the tracks or because drivers were not notified of the coming train, in which case they get trapped on the tracks when the crossing barriers descend. To prevent such an accident, obstacle detection device by using laser beams detecting the presence of obstacle and crossing bar direction controller by moving direction detection sensor using the Earth's magnetic field detection technology are used in the railroad crossing. Despite using the obstacles detector and crossing bar direction controller in the railroad crossing, the equipments for the railroad crossing does not prevent accidents completely. Therefore, this research has studied new method that can detect obstacles through image analyze and alternate existing equipments. There will be excellent effect to be preventing railroad crossing accident by developing a reliable and new obstacle detecting device.

Key Words : Crossing bar direction controller, Image analyze, Obstacle detection device, Safety crossing devices

1. 서 론

철도건널목 사고가 발생하면 대형사고로 이어져 막대한 인적·물적 손실을 초래한다[1]. 그 동안 철도건널목 사고를 줄이기 위해 건널목 입체화라는 획일적인 방법으로 대처하였으나 물리적·경제적 여건으로 인하여 한계가 있었다. 이에 한국철도공사에서는 철도건널목 사고를 방지하기 위하여 각종 안전설비의 신설 및 개량, 지속적인 홍보활동 등을 강화하여 매년 철도건널목 사고는 감소 추세에 있으나 여전히 철도사고의 대부분을 차지하고 있다[2, 3].

이에 대한 대책으로 레이저를 이용하여 장애물을 검지하여 건널목에 접근 중인 열차에 알려 정지하도록 하는 지장물검지장치와 지차계 센서에 의해 자동차의 운전 방향을 검지하여 출구측 차단기의 하강을 일시 정지시켜 차량이 건널목을 통과할 수 있도록 하는 출구측차단간검지기를 설치하여 운영하고 있다[4].

그러나 지장물검지장치 및 출구측차단간검지기는 철도건널목 내에 장애물이 있음에도 불구하고 장애물을 검지하는 레이저 및 지차계 센서의 불량, 오작동, 오검지 및 무검지 등으로 인하여 장애물 검지가 제대로 이루어 지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 기존에 설치되어 운영하고 있는 지장물검지장치와 출구측차단간검지기를 대체할 수 있는 영상해석을 통한 장애물 검지방범을 연구함으로써 장애물 검지장치를 획기적으로 개선하여 철도건널목 사고를 미연에 방지하는데 기여하고자 한다.

2. 기존 장애물 검지방범

2.1 기존 장애물 검지장치

현재 철도건널목에서 열차운행에 지장을 주는 장애물을 검지하는 방식으로는 지상에 설치된 레이저를 이용하는 지장물검지장치와 지하에 매설된 지차계 센서를 이용하는 출구측차단간검지기 2종류의 안전설비가 설치되어 운용 중에 있다. 그림 1의 지장물검지장치는 지상에 레이저 송신기와 수신기를 건널목 내에 지그재그로 설치한 후 설치된 레이저 송신기에서 송신된 레이저가 지장물에 의하여 차단되어 수신기에 도달하지 못할 경우 건널목 상에 지장물이 있는 것으로 판단하여 건널목에 접근하는 열차에 지장물이 있음을 알리는 장치로써, 이는 건널목에 접근하는 열차를 건널목 직전에 정차시켜 건널목사고를 예방하기 위한 설비이다[5-11].

그림 2의 출구측차단간검지장치는 지차계 검출센서를 이용하여 지장물에 의한 지차계의 변화를 측정하여 장애물 존재 유무를 검출한 후 장애물이 존재할 경우 물체의 이동방향을 검지하는 장치로써, 하강 중인 차단기를 제어하여 출구측의 차단기 하강을 일시 정지시켜 차단기 하강 직전에 진입한 차량이 빠져 나갈 수 있는 시간을 줌으로써 건널목사고를 예방하기 위한 설비이다[5-11].

* 정 회 원 : 한국철도공사 전기기술단 부장
 ** 정 회 원 : 한밭대학교 전기공학과 교수 · 공박
 *** 정 회 원 : 한양대학교 전기공학과 박사과정
 † 교신저자, 정회원 : 한밭대학교 전기공학과 교수 · 공박
 E-mail : jmshim@hanbat.ac.kr
 접수일자 : 2011년 3월 13일
 최종완료 : 2011년 6월 13일

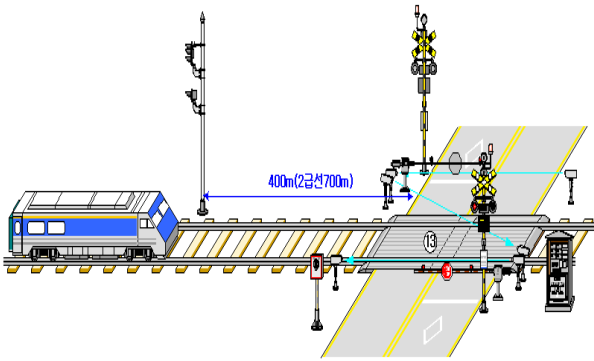


그림 1 지장물검지장치 설치도
Fig. 1 Setting drawing of obstacle detection device

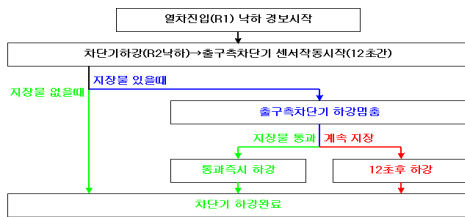
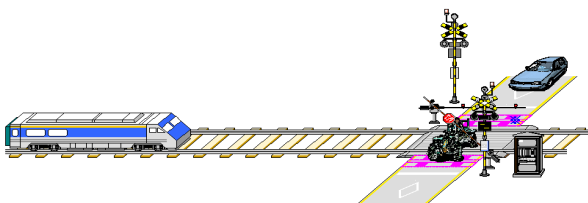


그림 2 출구측차단기검지기 설치도
Fig. 2 Setting drawing of crossing bar direction controller

2.2 기존 장애물 검지방법의 문제점

현재 철도건널목에는 지장물검지장치와 출구측차단기검지기 2종류의 장애물검지장치가 설치되어 운용되고 있으나, 모두 건널목 내의 지장물 존재 여부를 검출하여 정해진 기능을 수행하는 것임에도 불구하고 중복 설치로 인해 불필요한 설치비용 및 유지보수 비용이 과다하게 발생하고 있으며 각 장치별 문제점은 다음과 같다.

2.2.1 지장물검지장치

건널목 보판 내의 지장물을 검출하는 레이저 설치 시 각 건널목의 구조, 특성, 크기 등을 고려하여 설계 및 튜닝을 하여야 하므로 설치 효율이 저하되고, 광 경로상에 존재하는 장애물로 인해 설치가 어려우며, 증설, 변경, 이동이 어려워 비용이 과다 발생한다. 지그재그로 형성된 레이저광 경로상에 지장물이 존재하지 않을 경우에는 지장물이 있음에도 불구하고 이를 검출할 수 없는 비검출 영역이 존재한다. 따라서 일정 크기의 지장물(경운기 이상)만이 검출되며, 통행인 및 이륜차 등은 검출하지 못한다. 비검지 영역을 줄이기 위해 매 선로마다 여러 개의 레이저 송·수신부를 설치함에도 여전히 비검출 영역이 존재한다.

레이저의 송신부와 수신부가 떨어져 있어 광축조정이 필요하며, 광축이 어긋나면 지장물 검출 에러가 발생한다. 실질적으로 열차 운행에 따른 진동 등으로 광축이 어긋나는 경우가 많이 발생하여 주기적으로 광축 조정을 해 주어야 하며, 외부의 물리적인 충격에도 광축이 어긋남에 따라 오동작이 발생할 수 있다. 복선구간에서는 선로 사이에 송·수신부를 설치해야 하므로 유지보수 시 안전저해 요인으로 작용하며, 외부의 선로변에 설치됨에 따라 주변 환경(주·야간, 눈, 비, 안개 등)의 영향에 따라 오검지 등의 장애가 발생한다.

2.2.2 출구측차단기검지기

건널목 보판 내의 지장물을 검출하는 지자기 센서 설치 시 지자기 센서가 매설되는 건널목의 위치, 설치 방향 등에 따라 튜닝 작업을 하여야 하므로 설치 효율이 저하되고, 지자기 센서의 지장물 검지 범위가 반경 1.5 (m)로 적어 다량의 센서를 설치하여야 하므로 설치비용이 과다 소요된다.

설치 및 튜닝 시에 예측하였던 값과 실제 운용 중에 주변 환경(철골 구조 등)의 변화에 의한 값이 상이한 경우가 많아 재 튜닝 하여야 하므로 주기적인 점검이 필요하여 유지비용이 많이 과다 소요된다.

건널목 보판 내의 지면을 파서 전문가가 지자기 센서를 지하 0.7 (m) 깊이에 매설해야 함으로 설치가 어려우며, 보수, 증설, 변경 및 이동이 어렵다. 또한, 설치 시 교통 장애가 발생하고 위험하다. 지자기의 변화로 지장물의 존재 유무를 검출하므로 일정 크기의 지장물(경운기 이상)만이 검출됨에 따라 통행인 및 이륜차 등은 검출할 수 없으며, 검지 범위가 반경 1.5 (m)로 적어 이 범위를 벗어나는 거리에 존재하는 지장물(예: 오토바이)의 경우에는 검출 에러가 발생한다. 또한, 건널목 상에서 이동하지 않고 존재하는 물체의 검지가 불가능하며, 지장물이 연속되거나 인접한 거리에서 움직일 경우와 건널목 주변의 철골 구조물의 증가와 전파 환경의 변화로 인한 전기장 및 자기장의 외란성 노이즈에 의해 검출 에러가 발생한다.

3. 영상해석을 통한 장애물 검지방법

3.1 건널목 장애물 검지방법의 개선방향

지장물검지장치와 출구측차단기검지기에서 검토한 바와 같이 통합형 장애물 검지센서는 다음과 같은 기능을 갖추어야 한다. 설정된 건널목 내에 진입하는 장애물에 대한 검지 및 이동방향을 검지 할 수 있어야 하며, 감시영역 밖으로 진출 시에도 장애물 유무 및 이동방향을 검지할 수 있어야 한다. 단·복선, 도로 폭에 관계없이 검지가 가능하여야 하며, 모든 건널목에 동일 모델이 적용 가능한 센시이어야 한다. 외부 환경(주·야간, 눈·비·안개 등)에 영향을 받지 않고 장애물 검지가 가능하여야 하며, 전자기파적인 전장이나 자장의 영향을 받지 않고 장애물 검지가 가능하여야 한다. 설치 및 유지보수 시 도로의 차량통행에 지장을 주어서는 안 된다. 자기진단 기능을 갖추어야 하며, 건널목 제어장치와 인터페이스가 용이하여야 한다.

3.2 영상해석을 통한 장애물검지장치의 구성

영상해석을 통한 장애물검지장치의 기본 구성도는 그림 3과 같다. 영상획득부의 필터는 660 (nm) ± 10 (nm)의 레이저 광 주파수만 통과 시키는 대역폭 필터를 사용하였다.

CCD 카메라는 셔터속도와 증폭 계인을 조절할 수 있는 680×572 TV_LINE 해상도의 아날로그 흑백모듈을 사용하였고 노출시간 1 (ms), 증폭계인은 1, 초당 12프레임을 출력하도록 트리거를 조정하였다. 라인광 발생부의 원통 렌즈는 수평 레이저 라인광을 발생하는 Ø6.5 (mm) 렌즈를 사용하였고 레이저 빔 발생기는 500 (mW)의 적색레이저 2개를 사용하여 1 (m) 거리에서 0.5(m) 이상의 레이저 라인광을 발생하도록 하였다. CCD 카메라에서 인가되는 신호를 입력받아 레이저 라인 신호를 측정 및 저장할 수 있는 영상분석보드를 개발하였고 수평 동기신호, 수직 동기신호, even/odd 출력신호를 검출하기 위하여 LM1881 IC를 사용하였다. 아날로그 신호를 2차화 레벨로 출력토록 하기 위하여 고속비교기 EL5281C를 사용하였다.

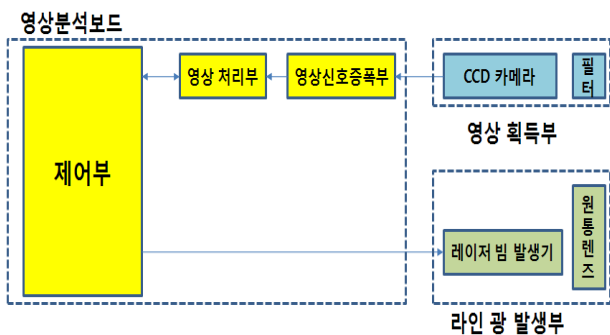


그림 3 장애물검지장치 기본구성도
Fig. 3 Basic composition of obstacle detection device

3.3 장애물검지장치 영상해석

건널목 장애물검지장치에서는 영상을 분석하여 장애물의 존재를 검지하고 장애물의 진입 방향을 판별하여 출력해야 하는 것이 필수적이다. 그림 4(a)에서 물체 A에 레이저 라인광 S를 주사하면 그림 4(b) 같은 모양으로 레이저광이 변형된다. 이때 레이저와 카메라의 각도에 따라 레이저의 형상이 변해 보이며, 이 변화량을 레이저 및 카메라의 설치각도의 상관 관계를 대입하고 광삼각 함수를 이용하여 물체와 합성된 레이저광을 따라 높이 데이터를 해석하는 프로세서가 필요하다. 일반적인 영상은 CCD 구성에서 설명한 내용과 같이 수평주사선을 수직으로 연속하여 필요한 수량만큼 주사하거나 홀수번 주사선과 짝수번 주사선을 교대로 출력하는 방법이 있지만 본 논문에서는 연속으로 주사하는 CCD 카메라를 기준으로 하였으며 아날로그 CCD 카메라를 정상상태에서 반시계 방향으로 90° 회전시키면 그림 5, 그림 6, 그림 7에서 세로방향의 라인처럼 수평주사선이 수직으로 위치한 CCD 카메라의 배열을 갖게 되며 이 수평주사선은 가로 방향의 레이저선과 교차하게 된다.

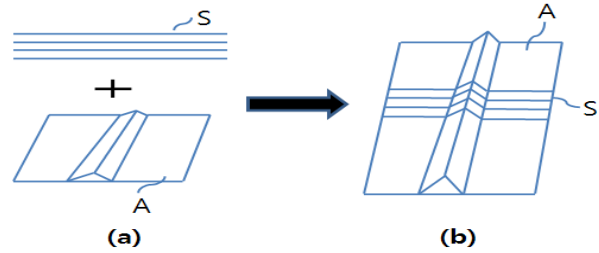


그림 4 물체에 레이저 라인광을 주사한 형상
Fig. 4 Injection shape from light of the laser line at objects

아날로그 카메라를 사용할 때 노출시간 및 증폭이득을 고정하여 카메라를 90° 회전시켜 설치하고 레이저빔이 계속 주사되고 있을 때 건물목에 차량이 진입하면 그림 5와 같은 영상으로 표현되며, 영상 카메라 렌즈에 주사하는 레이저광과 동일대역의 대역폭 필터를 설치하면 그림 6, 그림 7의 영상이 얻어진다. 이때 영상의 수평 동기신호는 세로방향에 위치하게 되고, 수직 동기신호는 가로방향으로 위치하게 된다. 그림 5는 광학필터 처리를 하지 않은 렌즈를 통하여 건물목을 촬영한 영상의 특징으로 모든 사물이 선명하게 보이므로 레이저 라인광의 특징을 찾기는 곤란하다.

그러므로 주사하는 레이저의 파장을 광학 대역폭 필터를 사용한 렌즈를 사용하고 카메라의 노출시간 및 계인을 고정 제어를 하도록 하여 적정 레벨의 레이저를 주사한다면 카메라는 레이저 광선과 관련된 영상만이 그림 6, 그림 7과 같이 나타나게 된다. 그림 6과 그림 7에 나타난 자동차의 그림은 자동차의 이동에 따르는 레이저광의 이동을 설명하기 위하여 가상적으로 추가해 두었으므로 이는 실제에서는 아주 희미하거나 나타나지 않는다.

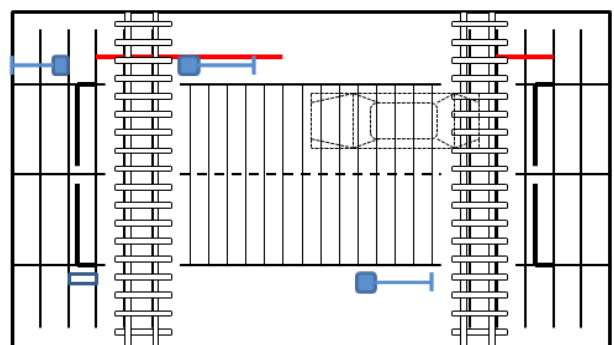


그림 5 광학필터 처리를 하지 않은 영상
Fig. 5 Image of before optical filter processing

그림 6의 n번째 수평 주사선에서 레이저광이 검출될 때까지의 시간 t_n , m번째 수평 주사선에서 레이저광이 검출될 때까지의 시간 t_m , 그림 7에서 n번째 수평 주사선에서 레이저광이 검출될 때까지의 시간 tnx , m번째 수평 주사선에서 레이저광이 검출될 때까지의 시간 tmx 을 구한다. 그 다음 영상 (1)과 영상 (2)에서 n번째 주사선에서 레이저 검출시간의 차, m번째 주사선에서의 차를 구한다.

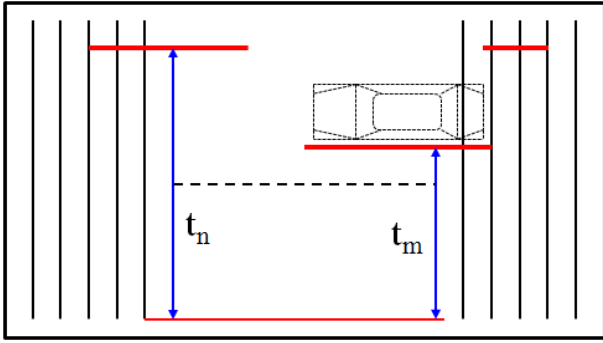


그림 6 광학필터 처리를 한 영상(1)
Fig. 6 Image(1) of after optical filter processing

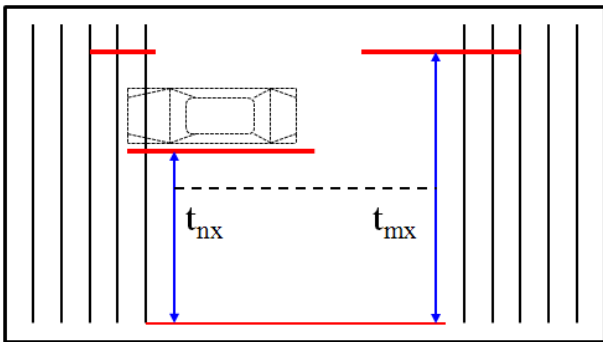


그림 7 광학필터 처리를 한 영상(2)
Fig. 7 Image(2) of after optical filter processing

즉, $\Delta t_n = t_n - t_{nx}$ 에서 차의 값이 양수가 되면 물체가 n 번째 주사선 부근으로 접근함을 나타내며 음수가 되면 n 번째 주사선 부근에서 벗어남을 나타내는 것이다. 그러나 실제에서는 변화량의 크기를 규제해야 하므로 변화가 있다고 판정하는 양(+)의 설정 값 α 을 갖게 된다.

즉, 영상의 크기를 640×480이라 하면 $n = 1 \sim 480$ 으로 정의할 수 있다. 여기서 x는 x번째의 영상임을 표시하며 기준 영상의 기준 값을 $t_1, t_2, t_3 \dots t_{480}$ 이라 하면, $\Delta t_1 = t_1 - t_{1x}, \Delta t_2 = t_2 - t_{2x}, \Delta t_3 = t_3 - t_{3x} \dots \Delta t_{480} = t_{480} - t_{480x}$ 으로 나타낼 수 있다.

$\Delta t_n = t_n - t_{nx}$ 에서 $\Delta t_n \geq \alpha$ ($\alpha =$ 설정 값)이면 n번째 주사선 부근으로 접근함을 나타내며 $\Delta t_n \geq -\alpha$ ($\alpha =$ 설정 값)이면 n번째 주사선 부근에서 벗어남을 나타내는 것이다. 480개의 수평주사선의 시간차의 정보를 분석함으로써 2개의 영상을 비교하여 물체의 이동을 검출할 수 있다. 이러한 논리로 지장물이 없을 때의 기준 값을 구한 후 환경여건을 보정하여 기준 값을 갖게 되면 지장물의 유무 및 크기, 이동방향 및 속도를 알 수 있게 된다.

그림 6과 그림 7의 영상출력은 그림 8과 같은 수평 동기 신호 및 수직 동기신호를 갖는 영상 프레임이 아닐로그 파형으로 출력되고 그림 6과 그림 7을 조금 더 확장하여 노이즈 등이 포함된 영상을 고려한다면 그림 9와 같은 영상으로 확장 될 것이다. 이는 레이저광의 산란, 태양광 외란, 자동차 라이트 반사, 눈비에 의한 간섭광 등이 있을 때의 파형이라

할 수 있다.

이를 좀 더 상세히 설명하기 위하여 그림 8의 그림 중 1개의 수평주사 신호를 확대하면 그림 10의 비디오 신호로 나타 낼 수 있으며, 고속 신호비교기 회로를 사용하여 출력이 일정 광량 이상이 되도록 2치화 레벨을 설정한 후 비교기 회로에서 비교하면 그림 11과 같은 2치화된 구형파형으로 변환된다.

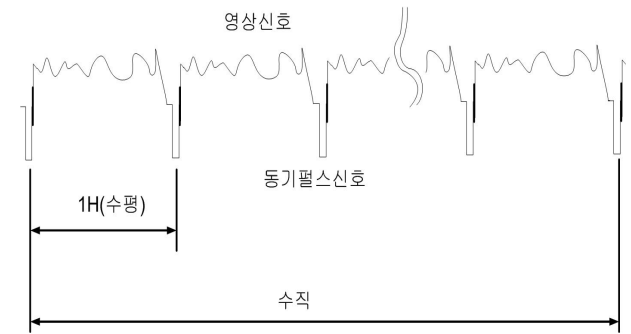


그림 8 수직, 수평 동기신호
Fig. 8 Synchronization signals of horizontal and vertical

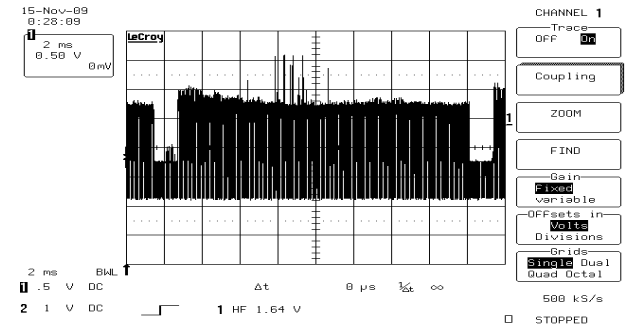


그림 9 영상 1개 프레임의 측정 파형
Fig. 9 Measured waveform of one image frame

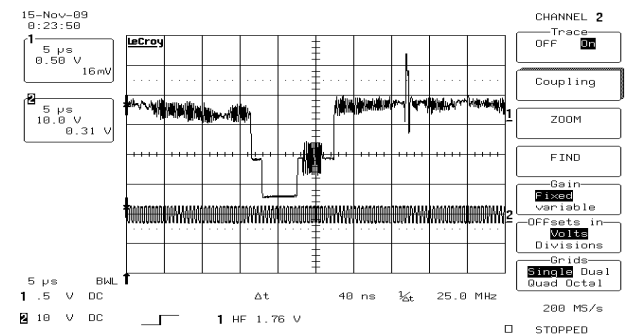


그림 10 실제 1개 수평주사선 신호 및 타이머용 발진신호
Fig. 10 Real one signal of horizontal lines and timer oscillating

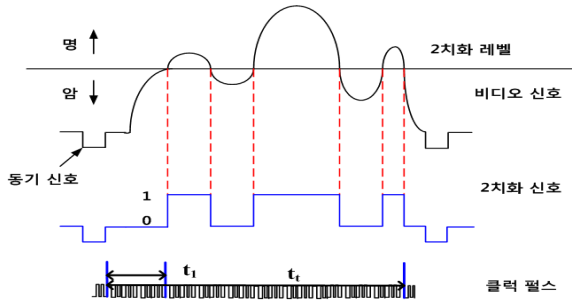


그림 11 2치화된 구형파
Fig. 11 Binarization square wave

수평동기 시작신호로부터 2치화된 출력이 최초 존재하는 데까지의 시간(t_1) 및 최종 존재하는 시점까지의 시간(t_2)을 측정하며 수평라인 수만큼의 데이터로 자료화하며 최근 30분간의 이동 평균데이터를 비교하여 기준 값으로 보정한다. 새로운 영상이 입력되면 n번째 수평주사선에서 기준 값(t_1 , t_2)과 비교하여 설정 값 이상의 차이가 있을 때 장애물이 있다고 판단하며 수평라인의 번호를 저장한다. 기준 값 및 최근 수집된 3~4개의 영상정보에서 영상의 수평라인을 약 10~20개의 영역으로 구분하고, 각 영역의 수평라인 번호의 변경 패턴으로 물체의 이동방향을 판정하는 근거로 사용할 수 있게 되며 변화하지 않으면 정지해 있는 장애물로 판정하게 된다. 값이 변화되는 추이를 분석하면 물체의 유무 및 크기, 이동방향 및 속도를 얻을 수 있게 된다.

4. 실험방법 및 결과분석

본 실험을 위하여 약 1:20 축소비율의 모의건널목 및 차량을 제작하고 건널목 장애물검지장치를 그림 12와 같이 설치하였다. 차량은 뒤로 후진한 후 놓으면 전방으로 이동하는 스프링을 갖는 모의 차량을 이동시키면서 장애물검지장치를 실험하였다. 카메라는 초당 12프레임의 영상출력, 노출 시간 1 (ms), 게인은 1, 영상은 640×480으로 조정하였다. 본 실험에서는 적색 가시대역 레이저를 사용하였고 레이저광의 산란, 태양광 외란, 자동차 라이트 반사, 눈비에 의한 간섭광 등은 고려하지 않았다.

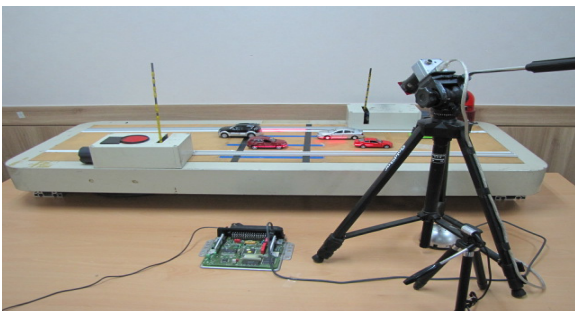


그림 12 1:20으로 축소 제작된 모의건널목
Fig. 12 Mock crossing with 1:20 scale

그림 13은 차량 진입 시 광학필터처리를 하지 않은 건널목 영상이며 그림 14는 광학필터처리를 한 건널목 영상이다. 그림 13에서 광학필터 처리를 하지 않은 건널목을 촬영한 영상은 차량 및 건널목 등의 모든 사물이 선명하게 보이므로 레이저 라인광의 특징을 찾기는 곤란한 반면에 그림 14 및 그림 15에서처럼 광학 대역폭 필터를 사용하면 레이저 광선과 관련된 영상만이 뚜렷하게 나타났다. 아울러 그림 16 및 그림 17은 차량 진입 시 및 차량 이동 후의 레이저 광 파형으로 피크 값 위치의 돌출부분이 물체의 이동경로가 된다.



그림 13 차량 진입 시 건널목 영상(광학 필터 처리 전)
Fig. 13 Crossing image by entering the car before optical filter processing

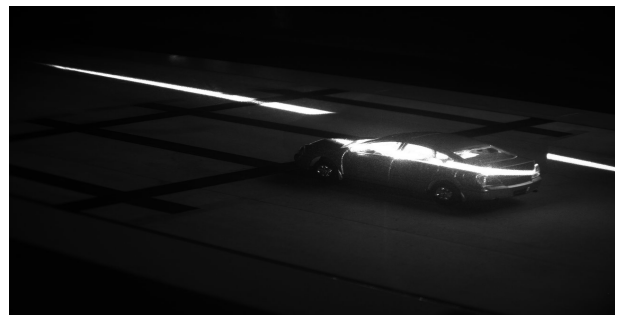


그림 14 차량 진입 시 건널목 영상(광학 필터 처리 후)
Fig. 14 Crossing image by entering the car after optical filter processing

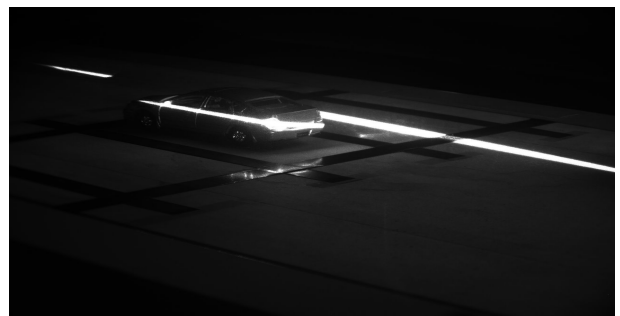


그림 15 차량 이동 후 건널목 영상(광학 필터 처리 후)
Fig. 15 Crossing image by move the car after optical filter processing

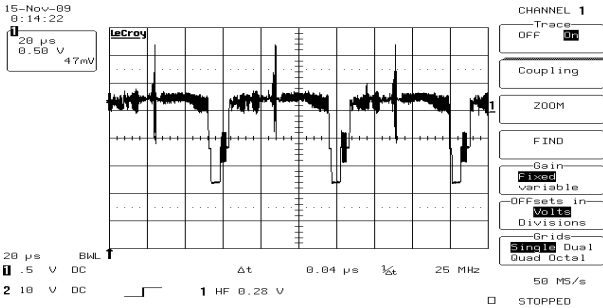


그림 16 차량 진입 시 건널목 레이저광 파형
Fig. 16 Laser light waveform by entering the car

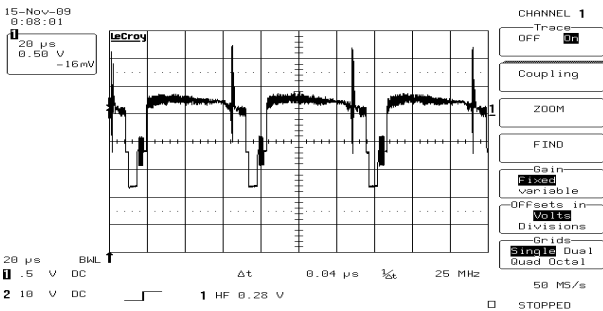


그림 17 차량 이동 후 레이저광 파형
Fig. 17 Laser light waveform after moving car

본 논문에서의 차량의 진입시험은 단일차량 1방향 진입 200회, 2방향 진입 200회를 실시하였고, 영상해석을 통한 장애물검지장치의 분석결과는 표 1과 같다. 실험결과에서 장애물 종합 검지율이 98.25%, 진입방향 종합 검지율이 94.75%로 분석되었으므로 본 논문에서 제시한 영상해석을 통한 장애물 검지방법은 충분한 타당성이 검증되었다고 할 수 있다. 그러므로 추후 검지 알고리즘을 보완하여 장애물 종합 검지율 및 진입방향 종합 검지율이 99% 이상이 되면 현장에 설치하여 현장적응을 위한 개발을 계속하여야 할 것으로 판단된다.

표 1 장애물 검지결과

Table 1 Obstruction detecting result

구 분	1방향진입	2방향진입
횟수	200	200
장애물 검지	197	196
장애물 검지율 (%)	98.5	98
진입방향 검지	190	189
진입방향 검지율 (%)	95	94.5
장애물 종합검지율 (%)	98.25	
진입방향 종합검지율 (%)	94.75	

5. 결 론

최근 5년 동안 발생한 철도건널목 사고의 원인별 발생현황 결과 평균 29.8건으로 집계되었으며, 이중 경보종이 울리

고 차단기가 내려가는 도중에 무리하게 횡단하려다 진입한 후 출구측 차단기가 내려와 대피하지 못하여 발생한 사고와 건널목 통과 시 운전부주의 또는 고장 등으로 건널목 상에 정차한 차량 등이 건널목으로 접근하는 열차와 충돌하는 사고가 19.4건으로 65.1%를 차지하고 있다[12].

따라서 본 논문에서는 이와 같은 철도건널목 사고를 예방하기 위하여 기존에 사용되어져 오던 지장물검지장치와 출구측차단간검지기의 문제점을 보완하기 위한 방법으로 영상해석을 통한 장애물 검지방법을 제시하였고 실험분석결과에 따른 타당성을 입증하였다. 새롭게 제시된 영상해석을 통한 장애물 검지방법은 장애물검지장치 개발을 위한 기초가 되었다고 할 수 있으며 이를 더욱 발전시켜 현장에 적용하면 철도건널목 사고예방에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 오주택, 조한선, 이재명, 심규돈, “철도건널목 지장물·진입위반차량 검지시스템 및 4분할 차단 알고리즘 개발” 대한토목학회논문집, 제 26권. 제 3D호, pp. 367~374, 2006.
- [2] 이재훈, 김종기, 류상환, 유광균, 조 황, 이기서, “철도건널목 지장물 검지를 위한 보판센서 연구 개발”, 한국철도학회논문집, 제 9권. 2p 2호, pp. 230~236, 2006.
- [3] Union Switch & Signal Division, “The Search for Safety”, pp. 145~153. 1981.
- [4] 철도청, “신호공학”, 1989.
- [5] 박재영, 홍원식, 전병록, “철도신호공학”, 동일출판사, 2001.
- [6] 김영태, “철도신호공학”, 미디어테크, 2007.
- [7] 손운락, “철도건널목 사고예방을 위한 설비의 자동화 연구”, 충남대학교 석사학위논문, 2002.
- [8] 이기창, “철도건널목 사고예방을 위한 출구측차단간검지기에 관한 연구”, 한밭대학교 석사학위논문, 2003.
- [9] “신호설비 시공표준”, 철도청, 2000.
- [10] “신호관련규정집”, 한국철도공사. 2008.
- [11] H. Yosimura, S. Yoshikoshi, “Railway Signal” Japan Association of Signal Industries, The 4th Edition, 1980.
- [12] 한국철도공사, “2008년도 철도사고 분석보고서”, 2009.

저 자 소 개



송 현 삼 (宋鉉三)

1964년 11월 18일생. 2007년 한밭대학교 전기공학과 졸업. 2010년 한밭대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국철도공사 전기기술단 부장. 우송대학교 철도전기시스템학과 겸임교수.



김 영 달 (金 榮 達)

1957년 11월 5일생. 1986년 대전공업대학 전기공학과 졸업. 1990년 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 한밭대학교 전기공학과 교수.



이 대 동 (李 大 東)

1976년 12월 26일생. 2002년 우송대학교 전자공학과 졸업. 2004년 한밭대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년~현재 한양대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



심 재 명 (沈 在 明)

1951년 11월 13일생. 1976년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동대학교 대학원 졸업(석사), 1992년 동대학원 졸업(박사). 1979 ~ 현재 한밭대학교 전기공학과 교수.