

레이저레이더 센서를 이용한 철도 건널목 지장물 검지 알고리즘 개발

Algorithm Development of Level Crossing Obstacle Detection using Laser Radar Sensor

김 영 준* · 백 중 현[†] · 최 규 형**
 (Young-June Kim · Jong-Hyen Baek · Kyu-Hyung Choi)

Abstract - Existing level crossing obstacle detecting system was installed using a laser beam. Level crossing obstacle detecting system using a laser beam that has been a problem in relation to safety and maintainability failure according to weather conditions. We proposed laser radar level crossing obstacle detecting system as a way to overcome problem, and we developed an algorithm for this. Level crossing obstacle detecting system using a laser radar sensor algorithm is robust to external environment and a shadow zone does not exist. Sensor part of the laser radar level crossing obstacle detecting system of these is made up by the image processing unit and laser radar sensor, it operations by receiving train entering information from the control unit. In this paper, we proposed a detecting algorithm with calculation of the size of the laser radar sensor. Based on this, we were performance test on the basis of the scenario by making a prototype. In the future, laser radar level crossing obstacle detecting system to ensure the safety and reliability through the field test.

Key Words : Detection, Laser radar, Level crossing, Obstruction, Sensor

1. 서 론

최근 철도기술, 자동차 기술의 발달에 맞춰 철도 건널목도 계속 발전을 거듭하고 있다. 하지만 국내외에서 발생한 철도 사고로 인해 이용자의 불안감이 증대되었다. 이러한 철도사고는 운전사고, 사상사고, 설비사고, 화재사고로 분류되며, 대표적인 운전사고로 건널목사고와 열차사고가 이에 해당된다. 집계된 운전사고의 대부분은 건널목 사고로 분석되고 있으며, 신호 보안설비에 의한 오동작 및 장애로 인한 사고가 많은 비중을 차지하고 있다. 최근 5년간 건널목 관련 사고가 연평균 22건에 달하며, 특히 전 세계 열차사고 중 60% 이상이 건널목 사고에 해당한다. 현재 국내에서 사용중인 건널목 지장물 검지장치의 경우 눈, 비 등에 의해 잦은 오동작의 문제가 발생하고 있어 건널목 안전사고 저감을 위한 지장물 검지 안전설비 개발이 필요하다. 또한 2009년부터 최근까지 조사한 국내의 사고통계자료에 의하면 우리나라는 선진국과 비교하여 중사자 직무사고율은 5배, 건널목사고율은 2배 이상 높은 실정이다. 국내의 철도 건널목 사고는 이런 실정을 반영하듯 이에 대한 인명, 재산에 대한 복구비용이 꾸준히 증가하고 있는 상황이다[1-5]. 따라서 철도 건널목 구간의 철도 사고 예방을 위해 외부환경에 강인하며 음영지역이 없는 건널목 지장물 검지장치의 개발이 필요함

에 따라 레이저레이더를 이용한 건널목 지장물 검지 센서 알고리즘을 개발하였다. 이러한 알고리즘은 지장물의 크기 산출 및 레이저레이더 센서 검지 영역을 설정하여 지장물을 검지하는 방법이다. 레이저레이더 센서 알고리즘을 이용한 지장물 검지 방법은 터널 구간, 과선교 구간, 플랫폼 구간 등에서 다양하게 활용될 수 있다. 또한 본 논문에서 사용된 알고리즘으로 설계된 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치의 수요는 국내 철도의 건널목 장치 설치 현황에 따라 요구될 전망이며, 전국에 설치된 철도 건널목의 노후화에 따라 수요는 점차 늘어날 것으로 예상된다[6].

2. 본 론

2.1 기존 건널목 지장물 검지장치

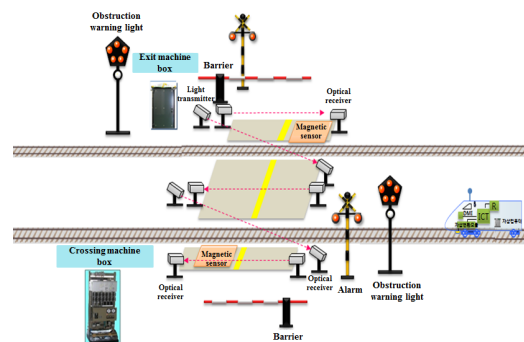


그림 1 기존 건널목 지장물 검지장치 구성도
 Fig. 1 Configuration of the existing obstacle detection system

* Korea Rail Network Authority, Korea
 ** Seoul National University of Science & Technology, Korea
[†] Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail : jhbaek@krii.re.kr

Received : October 14, 2013; Accepted : November 14, 2013

기존 레이저 지장물 검지장치는 Fig. 1과 같이 발광기와 수광기 간의 레이저 빔을 이용하여 지장물 유무만을 검지하는 방식이며, 기상 변화에 의한 영향을 많이 받게 된다. 또한 음영 구간이 존재하여 소형 물체를 검지하지 못한다는 단점이 있다. 또한 각도 조정 등의 유지보수를 수반하며, 설치 비용 및 센서 교체 시 유지 보수비용이 많이 요구된다[7].

2.2 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치

기존의 지장물 검지장치는 눈이나 비와 같은 기상조건에 의한 오작동 발생 사례가 잦으며, 분산된 기기설치로 인해 유지보수에 많은 시간과 인력이 소모되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 레이저레이더 센서를 이용한 지장물 검지장치가 제안되었다[8]. 레이저레이더 센서를 이용한 건널목 지장물 검지장치는 기존 지장물 검지장치에 비해 기상 변화에 대한 장애가 적으며, 야간에도 정확한 물체 검지가 가능하다. 1개의 센서로 수광기, 발광기, 지자기 센서의 역할을 수행하여 설치 및 유지보수 비용을 감소할 수 있다. 또한 유지 보수용 컴퓨터를 통해 동작 상태 전송 및 영상 저장이 가능하다. 향후 철도전용 무선통신망 구축 시 무선인터페이스를 통하여 차상으로 지장물 검지 유무를 전송할 수 있을 것이다. 다음의 Fig. 2는 레이저레이더 센서 알고리즘을 이용한 건널목 지장물 검지장치의 시스템 구성도를 나타낸다.

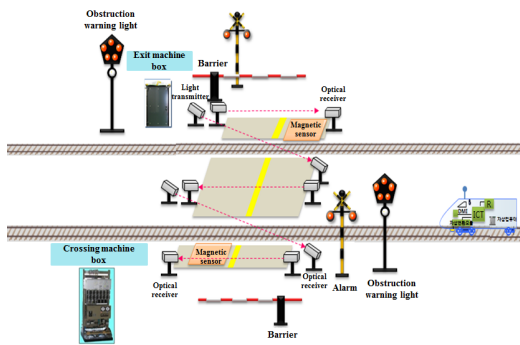


그림 2 제안하는 건널목 지장물 검지장치 구성도
Fig. 2 Configuration of the existing obstacle detection system

2.2.1 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치 구조

제안된 레이저레이더 건널목 지장물 검지 장치는 Fig. 3과 같으며, 레이저레이더 센서(왼쪽), 제어부(중앙), 서버 모듈(오른쪽)을 나타낸다. 레이저 레이더 센서는 특정 지역을 스캔하여 물체를 포착/감시하는 기능을 수행하며, 이미지 처리부와 연동하여 이미지 분석/제어 정보를 전달하고, 원격 제어에 따른 명령을 수행한다. 제어부는 건널목 제어 유닛으로부터 열차 진입 정보를 수신하여 센서부를 동작시켜 건널목의 지장물을 검지하며 이와 동시에 차단기를 제어한다. 서버 모듈은 파워 서플라이와 센서 이미지 처리 PC로 구성된다.

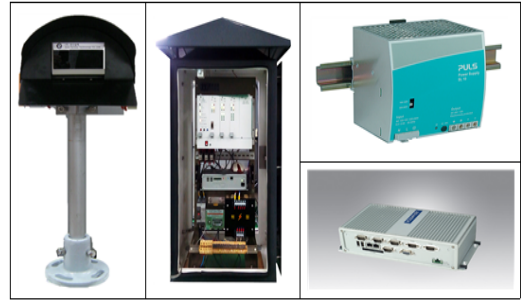


그림 3 시제품 및 서버모듈
Fig. 3 Prototype model and sub module

2.2.2 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치 인터페이스

Fig. 4와 같이 열차가 건널목에 접근하여 정보개시 구간에 진입하면 건널목 제어 계전기가 낙하되고, 이 조건을 입력모듈에서 입력 받아 열차 접근 상태를 인식한다. 열차 접근 상태 이후에 위험지역에 장애물 검지시, 기존 건널목 제어 장치의 지장물 검지장치로 입력되는 OR 계전기 조건을 차단한다. 기존 지장물 검지부 모듈에서 OR 조건의 차단으로 지장물 검지장치 제어회로에서 지장 경고등을 동작시켜 열차에 경보한다.

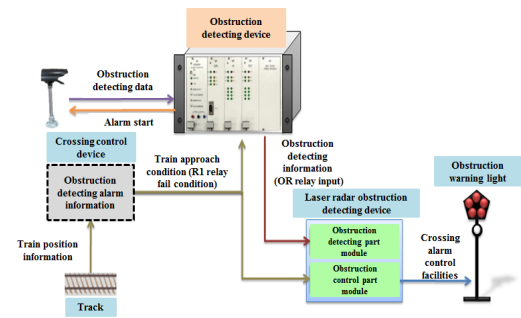


그림 4 지장물 검지장치 인터페이스
Fig. 4 Interface of obstacle detection system

2.2.3 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치 프로세스

레이저레이더 지장물 검지장치의 센서부는 Fig. 5와 같이

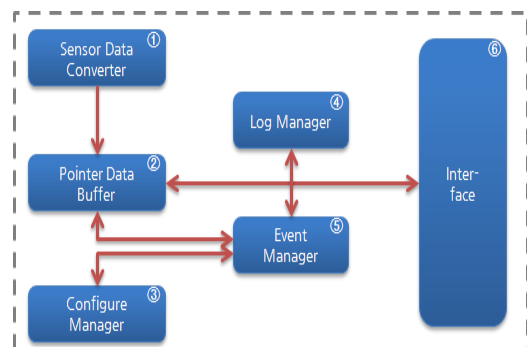


그림 5 센서부 블럭도
Fig. 5 Block diagram of sensor part

레이저 레이더 센서와 이미지 처리부 사이에서 인터페이스 역할을 하며 제어부로부터 열차 진입정보를 수신하여 동작한다. 센서가 건널목의 지장물을 검지하여 얻은 데이터를 수신하면 이를 이미지 처리부로 전송한다. 이때, 건널목의 지장물 검지결과를 수신하여 지장물이 있을 경우 지장경고 등 및 차단기를 제어하는 제어부로 동작명령을 전달한다. 센서부는 이러한 동작 상태를 버퍼에 저장하여 추후 이미지 처리부에서 재생할 수 있도록 한다.

레이저레이더 지장물 검지장치의 동작은 Fig. 6과 같은 절차로 수행된다. 건널목 제어장치의 열차 검지정보를 통해 경보 개시 여부를 검지한다. 경보 개시가 이루어지지 않을 경우 제어부는 Idle 모드로 동작하며 이 경우 레이저레이더 센서부는 동작하지 않는다. 경보개시가 이루어질 경우 제어부는 Active 모드로 진입하여 레이저레이더 센서부가 동작을 시작한다. 센서부 활성화 시 레이저레이더는 검지 구간을 감시하게 된다. 또한 활성화 상태 영상을 메모리에 저장하며, 지장물 검지장치 상태를 유지보수부에 통신으로 전송한다. Active 모드 동작 시 지장물 검지가 될 경우는 특수 신호 발광기를 동작할 수 있도록 제어부는 검지장치 제어부로 지장물 검지 정보를 출력한다. 그리고 일정시간 동안 하강 보류를 위하여 차단기를 제어한다.

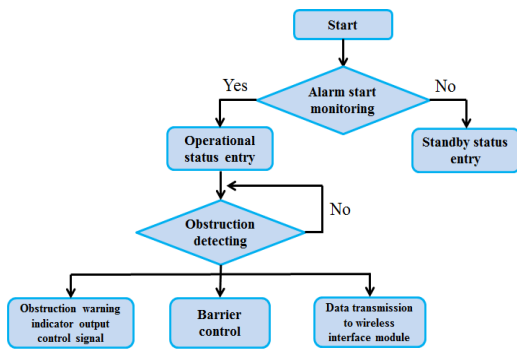


그림 6 지장물 검지장치 기능 흐름도
Fig. 6 Flow chart of obstacle detection system function

2.3 레이저레이더 건널목 지장물 검지 알고리즘

레이저레이더 센서를 이용한 건널목 지장물 검지 알고리즘의 전체 소프트웨어 구조는 다음의 Fig. 7과 같다. 전체

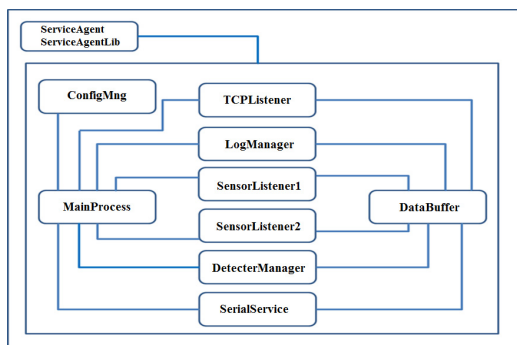


그림 7 알고리즘 구조
Fig. 7 Structure of Algorithm

소프트웨어 구조에서 각각의 레이저레이더 센서 알고리즘들이 데이터를 처리하는 역할은 다음과 같다.

- ① MainProcess : 각각의 프로세스들을 스레드로 생성 후 시작과 종료를 관리한다.
- ② TCPListener : Viewer 프로그램(Client)과 통신을 통하여 서버 측의 정보를 변경, 요청 등의 인터페이스 역할을 담당한다.
- ③ LogManager : 제어부로부터 시리얼 통신을 통해 열차 감지 신호가 들어오면 해당 시점부터 DataBuffer에 있는 센서정보와 시리얼 통신 정보를 기록한다.
- ④ SerialService : 제어부와와의 시리얼 통신을 담당하며 DataBuffer에 있는 Detector 정보를 제어부에 제공한다.
- ⑤ SensorListener 1, 2 : 센서 1, 2와의 TCP통신을 통해 각 포인터들의 정보를 가공 처리하여 DataBuffer에 저장한다.
- ⑥ DetectorManager : DataBuffer에 저장된 포인터 정보를 분석한 후 디텍터 영역에 존재하는 포인터들을 추출하여 방향성, 크기 등을 산출하여 DataBuffer에 저장한다.
- ⑦ ConfigMng : 환경설정 변수 및 부가 데이터들을 관리하며, MainProcess에서 사용한다.
- ⑧ DataBuffer : 센서로부터 들어오는 포인터들의 정보를 가공하여 전체 서비스들이 사용할 수 있는 공통 데이터로 만들어 보관한다.

2.3.1 레이저레이더 크기산출 알고리즘

Fig. 8의 순서도에서, DetectorThread의 활성화 여부를 확인하게 된다. 이때 디텍터 스레드가 비활성화 상태일 경우 CheckDetector를 실행하지 않는다. 스레드가 활성화 상태일 경우 CheckDetector를 호출한다. 여기서 스레드가 활성화 상태라는 것은 서버가 실행되면 MainProcess라는 클래스가 Fig. 9와 같이 수정 가능한 환경설정의 시간(Detect_Interval)마다 주기적으로 CheckDetector를 호출하는 것이다. 이와 같이 CheckDetector를 호출하고, Fig. 10과 같이 환경설정에서 지정한 시간(기본값 50ms - 200ms)만큼 대기 후 디텍터 스레드의 활성화 상태를 확인한 후 이를 계속 반복한다.

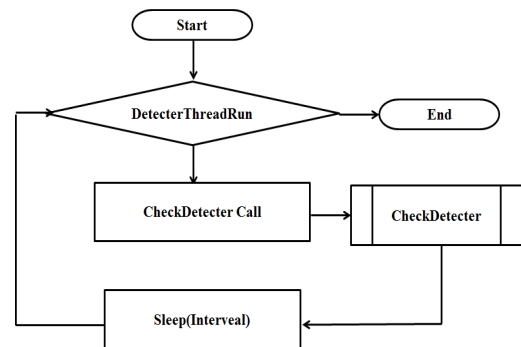


그림 8 크기산출 메인 프로세스 순서도
Fig. 8 Flowchart of size calculating main process

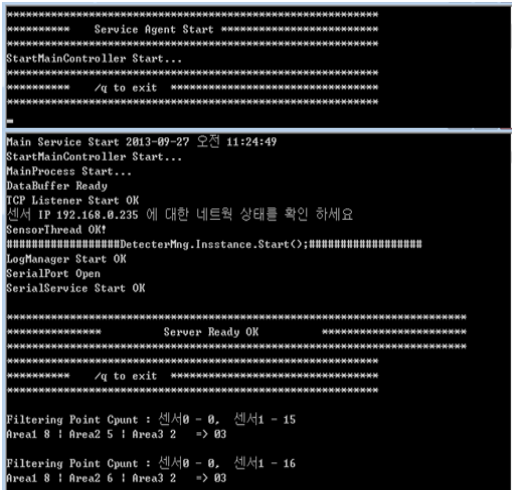


그림 9 서버프로그램 실행 화면
Fig. 9 Server program execution screen

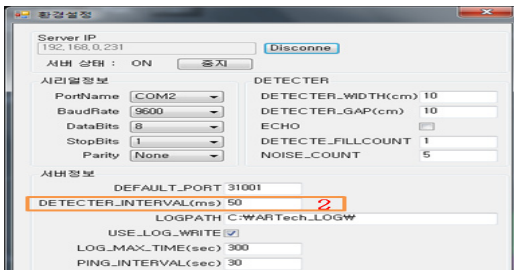


그림 10 센서 및 서버 환경설정
Fig. 10 Sensor and server setting

Fig. 11의 순서도를 보게 되면 서버의 시작과 동시에 DataBuffer에는 Fig.12에서 보이는 포인터들의 정보가 저장된다. CheckDetector가 호출되면 데이터 버퍼에 있는 전체 포인터들의 목록을 복사한다. 복사된 포인터들 중 검지 영역에 존재하는 포인터를 각 센서 별로 지정되어 있는 포인터 목록 저장소(PointerList 1,2)에 각각 저장한다. 포인터 목록 저장소에 있는 포인터의 개수가 환경설정에서 정의한 최소 포인터 수(Detetector_Count=0) 보다 작을 경우 데이터 버퍼에 존재하는 정보를 초기화 한다. 하지만, 최소 포인터 수 보다 클 경우 크기 산출 프로세스를 호출하여 크기를 산

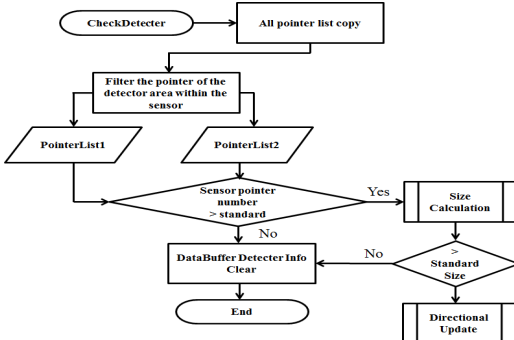


그림 11 체크 디텍터 순서도
Fig. 11 Flowchart of check detector

출한다. Fig. 13과 같이 산출된 지장물의 크기가 환경설정에서 정한 기준 크기 (Detection_Size>=Detector_Width) 보다 작을 경우에는 데이터 버퍼에 존재하는 정보를 초기화하며, 기준 크기보다 클 경우에는 방향성 정보 업데이트를 통해 방향성을 구한 뒤 데이터 버퍼에 존재하는 정보를 갱신한다.

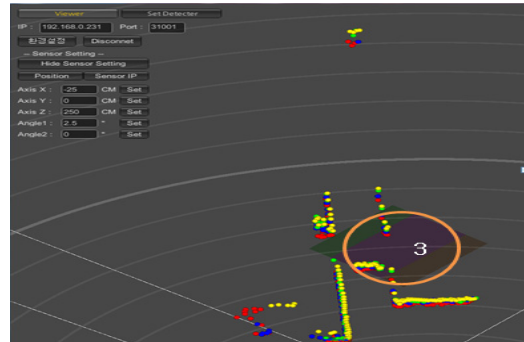


그림 12 센서 뷰어
Fig. 12 Sensor viewer

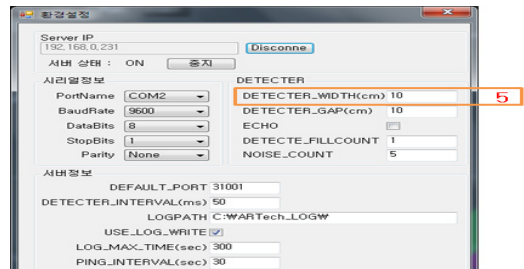


그림 13 센서 및 서버 환경설정
Fig. 13 Sensor and server setting

2.3.2 레이저레이더 센서 검지 영역 설정 알고리즘

각 검지 영역 안에 존재하는 지장물 상태와 이전 방향성 값을 기준으로 방향성을 산출하기 위해 A1, A2, A3 영역으로 Fig. 14와 같이 세부분으로 구분되어 진다.

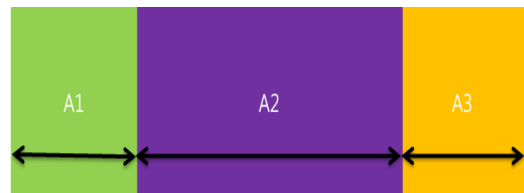


그림 14 검지 영역 구분
Fig. 14 Sensing of territory division

센서에서 나오는 포인터 검지용 레이저 레이더는 Fig. 15와 같이 항상 같은 방향성을 가지고 있다. 이에 검지영역 설정 시 2개의 센서에서 나오는 레이저의 방향성을 기준으로 디텍터영역과의 교차점 계산이 가능하다.

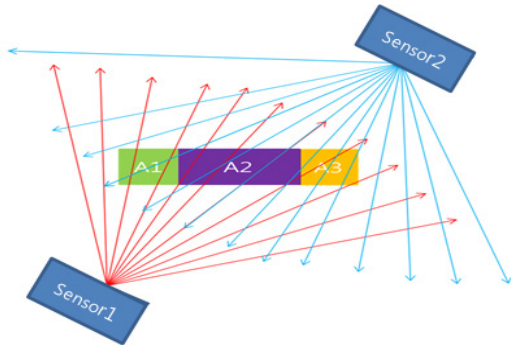


그림 15 검지 영역
Fig. 15 Sensing of territory

Fig. 16과 같이 레이저레이더와 검지영역의 교차점 a와 b가 존재하게 된다. 또한 레이저의 방향성 중에는 검지영역 A1, A2, A3의 하나 이상의 영역을 통과하는 포인터들도 존재할 수 있다. 교차점 c와 f를 지나는 포인터의 경우 A2영역을 지나는 교차점 c, d 영역 A3를 지나는 e, f가 존재할 수 있다. 포인터 가는 항상 교차점 a와 b를 지나는 방향성을 가지며 센서에서 포인터 가의 distance정보를 받아 $a < distance < b$ 조건에 만족하는 경우 포인터 가는 디텍터 영역 안에 있다고 할 수 있다. 포인터 나의 경우 $c < distance < d$ 를 만족할 경우 A2영역 $e < distance < f$ 를 만족할 경우 A3영역에 검지된 것으로 처리한다.

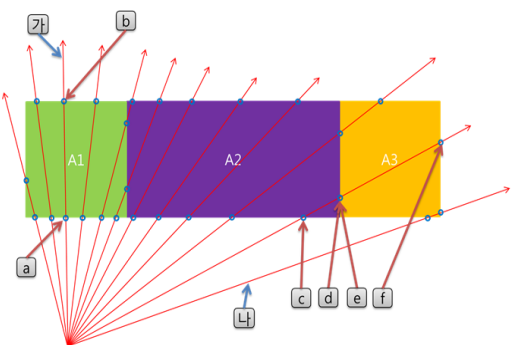


그림 16 방향성의 기준
Fig. 16 Criteria of direction

2.4 레이저 레이더 센서 검지 시험 결과

2.4.1 열차 진입

건널목 시뮬레이터를 통하여 Fig. 17과 같이 빨간색 부분에 해당하는 열차가 진입하게 되면 열차 접근 정보를 생성하여 열차 검지 LED가 점등되는 것을 확인 할 수 있다.

2.4.2 우측방향 지장물 진입

건널목 시뮬레이터를 통하여 Fig. 18과 같이 빨간색 부분에 해당하는 열차가 우측 방향 진입 시 지장 경고등 LED가 점등되어 지장물을 검지하고 좌, 우측 방향 차단기 상승 LED가 점등되는 것을 확인 할 수 있다.



그림 17 열차 접근 정보 인식 시험
Fig. 17 Test for train approach information recognition

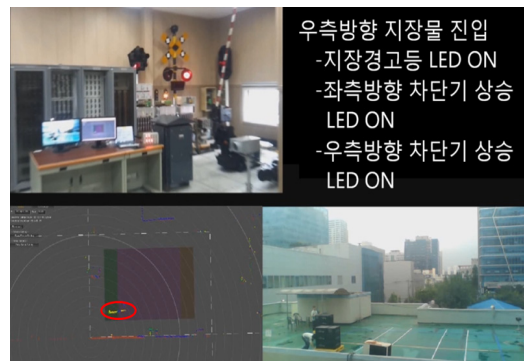


그림 18 우측방향 지장물 진입 시험
Fig. 18 Test for right direction obstruction entry

2.4.3 좌측방향 지장물 진입

건널목 시뮬레이터를 통하여 Fig. 19와 같이 빨간색 부분에 해당하는 열차가 좌측 방향에 지장물이 진입 하게 되면 지장 경고등 LED가 점등되어 지장물을 검지하고 우측방향 차단기 상승 LED가 점등되는 것을 확인 할 수 있다.



그림 19 좌측방향 지장물 진입 시험
Fig. 19 Test for left direction obstruction entry

2.4.4 양쪽방향 지장물 진입

건널목 시뮬레이터를 통하여 Fig. 24와 같이 양쪽방향에 지장물이 진입 하게 되면 지장 경고등 LED가 점등되어 지

장물을 검지하고, 좌, 우측방향 차단기 상승 LED가 점등되는 것을 확인 할 수 있다.



그림 20 양쪽방향 지장물 진입 시험
Fig. 20 Test for bidirectional obstruction entry

3. 결 론

본 논문에서는 레이저레이더 센서를 이용한 건널목 지장물 검지장치 알고리즘을 개발하여 크기산출 원리와 검지영역 설정방법에 대해 제시하였다. 또한 센서부의 알고리즘과 제어부와의 인터페이스를 통한 자체 시험을 수행하여 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치의 동작 상태를 점검하였다. 이를 토대로 향후 현장 설치를 통해 검증을 진행할 계획이다. 현장 시험은 각 시나리오에 의한 건널목 상황에 따른 지장물 검지장치의 동작 상태를 확인하는 것으로 이루어지며, 시험 시나리오는 열차 접근 정보 인식, 열차 접근 시 차단기 작동확인, 건널목 내 지장물 검지시 지장물 경보등 현시, 지장물 방향에 따른 출구측 차단기 제어로 구성하였다. 그리고 레이저레이더 건널목 지장물 검지 방법은 터널 구간, 파선교 구간, 플랫폼 구간 등에서 활용이 가능할 것으로 예상된다. 따라서 이와 같은 구간들에 레이저레이더 건널목 지장물 검지장치를 설치할 경우 유지보수 비용을 절감할 수 있으며, 기상 변화에 따른 시스템 오류를 감소할 수 있다. 또한 사고 발생 감소 및 승객 안전성 확보, 고객서비스 상승 등과 같은 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

References

[1] Bong-Kwan Cho, "A consideration on obstacle detector at level crossing using by ultrasonic sensor", Autumn Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers for Railway, pp. 286-288, October, 2003.

[2] Bong-Kwan Cho, Sang-Hwan Ryu, "Accident prevention technology development at a level crossing", Summer Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers for Railway, pp. 1025-1026, July, 2008.

[3] Bong-Kwan Cho, Hyeon-Chyeol Hwang, Hong-Sik Cho, Ho-Yong Lee, An-Ho Lee, Sang-Hwan Ryu,

Ho-Jin Choi, "Design of level crossing VMS(Variable Message Signs) system", Summer Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1183-1184, May, 2009.

[4] Sang-Log Kwak, Chan-Woo Park, Jong-Bae Wang, Yun-Ok Cho, "A study on the utilization of Railway Accident Data", Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 571-575, May, 2012.

[5] Gon-Yop Kim, Jong-Hyen Baek, Hyun-Jung Jo, Kang-Mi Lee, Jae-Ho Lee, "Design and Development of Laser Radar based Monitoring System for Railroad Level crossings", Bio-medical systems conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2012.

[6] Korea railroad research institute, "Development of ICT-based Technologies for safety and Efficiency of Railway Operation report 2 year", 2012.

[7] Gon-Yop Kim, Jong-Hyen Baek, Yong-Soo Song, Yong-Kyu Kim, "Design of Obstacle Detection System using laser Radar for Railroad Level Crossings", winter conference of the Korea Institute of Communication and Information Sciences, Vol. 50, pp. 148-149, 2013.

[8] Jong-Hyen Baek, Gon-Yop Kim, Yong-Soo Song, Seh-Chan Oh, Yong-Kyu Kim, Eun-Kyung Chae, "Laser Radar-Based Railroad Crossing Detection Device Developed for Crossing Security Device Integration", Journal of the Korea Institute of Communication and Information Sciences, No. 38, Vol. 5, pp. 471-478, 2013.

저 자 소 개



김 영 준 (金 榮 準)

1985년 2월 : 홍익대학교 전자공학과 학사, 2001년 8월 : 인하대학교 교통경영학과 석사, 2008년 8월 : 서울산업대학교 철도전기신호공학과 박사과정 수료, 1988년 9월 ~ 1995년 1월 : LG산전(주) 대리, 1995년 2월 ~ 1995년 6월 : 한국철도산업기술연구원 주임, 1995년 7월 ~ 현재 : 한국철도시설공단 부장
<관심분야> : 전기철도, 철도신호, 철도정보통신



백 종 현 (白宗鉉)

1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사, 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사, 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사, 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 무선통신열차제어연구단 TFT 책임연구원
<관심분야> : 현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링



최 규 형 (崔圭亨)

1981년 2월 : 서울대학교 전기공학과 학사, 1989년 3월 : 무로란공대 전기공학과 석사, 1992년 3월 : 홋카이도(北海道)대학교 전기공학과 박사, 1997년 8월 ~ 2005년 2월 : 한국철도기술연구원 전기연구본부 수석연구원, 2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 철도전기신호공학과 교수
<관심분야> : 전기철도, 철도정보통신시스템, 스마트그리드