

# 건널목 보안장치 통합화를 위한 레이저레이더기반 철도 건널목 지장물 검지장치 개발

백종현\*, 김건엽\*, 송용수\*, 오세찬\*, 김용규\*, 채은경\*

## Laser Radar-Based Railroad Crossing Detection Device Developed for Crossing Security Device Integration

Jong-hyen Baek\*, Gon-yop Kim\*, Yong-soo Song\*, Seh-chan Oh\*, Yong-kyu Kim\*,  
Eun-kyung Chae\*

### 요약

본 논문은 국내 철도 건널목의 현황 조사와 현재 운영되고 있는 안전설비의 문제점 분석을 통해 이를 해결할 수 있는 대안으로 레이저레이더기반의 지장물 검지장치를 설계 및 구현하였다. 철도 안전사고의 큰 비중을 차지하는 철도 건널목에서의 효과적인 지장물 검지를 통해 철도교통의 안전성 및 신뢰성 향상을 목표로 하며, 기존 안전설비의 한계와 노후화로 인한 문제점을 극복하는 시스템을 제안한다. 레이저레이더 스캐너를 활용한 철도 건널목 지장물 검지장치를 설계하였고 시제품 시험 및 성능평가를 통해 이를 입증하였다.

**Key Words** : Crossing, Laser, Radar, Railroad, Detection

### ABSTRACT

In this paper, we have designed and implemented an obstacle detecting device based laser radar. It is an alternative to solve through problem analysis of that are currently operated safety equipment and status research of domestic railway crossing. It is target to improve the safety and reliability of the rail traffic through effective obstacle detection at crossing account for a large proportion of train accidents. suggest a system to overcome the problems caused by aging and limitation of existing safety equipment. Design a crossing obstacle detection device that utilizes laser radar scanner, proved this through performance evaluation and testing of the prototype.

### I. 서론

최근 녹색교통 수단으로써의 철도교통이 부각됨에 따라 그 중요성과 편의성이 어느 때보다 강조되고 있으며 철도 운영망 확대와 속도향상을 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 최근 국내외에서 발생한 철도 사고로 인해 이용자의 불안감이 증대되었으며, 특히 철도 안전사고의 큰 비중을 차지하는 철

도 건널목의 경우 현재 사용 중인 안전설비의 한계와 노후화가 대두되어 이에 대한 대안이 필요한 상황이다. 2009년 발생한 국내 철도 안전사고 188건 중 건널목관련 사고가 20건에 달하며, 국내 철도 건널목 사고율은 유럽 등 철도 선진국과 비교하였을 때 매우 높다. 현재 국내에서는 대부분의 철도 건널목에 차량 및 보행자를 포함한 건널목 내 지장물 지장물의 검지를 위하여 레이저 빔 방식의 검지 장치를 설치하여 운영

◆ 주저자 겸 교신저자 : 한국철도기술연구원, jhbaek@krii.re.kr, 정회원

\* 한국철도기술연구원, gykim@krii.re.kr, adair@krii.re.kr, soh@krii.re.kr, ygkim1@krii.re.kr, ddial@krii.re.kr  
논문번호 : KICS2012-03-148, 접수일자 : 2012년 3월 29일, 최종논문접수일자 : 2013년 5월 10일

하고 있다. 하지만 현재 운영 중인 장치는 기상조건에 따른 오작동과 유지보수성이 떨어지는 등의 안전성과 관련되어 문제가 되고 있다. 따라서 안전사고를 방지하기 위한 새로운 건널목 지장물 검지 장치의 개발이 필요하다<sup>1-6)</sup>.

기존 지장물 검지장치의 경우 1개소당 레이저 발광기, 수광기 세트(복선의 경우 5세트)와, 출구측차단간 검지용 센서를 별도 설치해야 하므로 여러 장치를 복합적으로 설치되어 운영되고 있다. 또한 현재 활용 중인 설비는 단순히 발광기와 수광기 간의 레이저빔을 이용해 지장물 유무만을 검지하는 방식으로 사각지대가 존재하며, 시스템 구성상 유지보수성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 현 시스템을 보완하기 위해 본 논문에서 제시하는 레이저레이더 기반 철도 건널목 지장물 검지장치의 경우 지장물 검지장치의 기능과 출구 측 차단 간 검지 장치의 기능을 통합하여 1개의 시스템에 구현하여 하드웨어의 감소를 목표로 개발하였다. 기존에 분산되어 있는 장비를 1개로 통합함으로써 유지보수 개소의 감소를 통한 유지보수성을 향상시킨다. 시스템 설계 시 Fail-Safe를 바탕으로 제작하며, RAMS 활동, MISRA-C 코딩규격 준수를 통해 최대한의 시스템 안정성을 확보하였다. 기존의 지장물 검지장치는 센서 검지 조건에 따라 계전기 동작으로 시스템이 동작하였다. 이런 기존의 지장물 검지장치에서 전자회로에 의한 동작으로 변경하고, 전자화에 따라 유지보수부에서 시스템 상태를 표시하고 추후에 무선 전송장치와 인터페이스를 통해 차상으로 건널목 정보를 전송할 수 있다.

본 논문에서는 건널목 보안장치 통합화와 안전성 및 유지보수성 향상, 시스템 전자화를 목표로 기존설비의 한계를 극복하기 위한 시스템으로 레이저레이더 기반 철도 건널목 지장물 검지장치를 제안한다. 제안하는 시스템의 기능과 이를 기반으로 한 시제품 시험 및 성능평가 내용을 제시한다.

## II. 국내 현황

국내 철도에 설치된 건널목의 수는 표 1과 같다. 국내 철도 건널목은 철도교통량과 도로교통량을 합친 총 교통량에 따라 세 가지 종류로 구분되며, 총 1,313개소 중 1,186개소가 교통량이 많은 1종 건널목이다. 1종 건널목에는 차단기, 경보기, 안전표지 설치의 의무화되어 있으며, 교통량이 많은 만큼 지장물에 대한 검지가 필요한 대상이다. 현재 운영 중인 기존 검지설비도 1종 건널목에 한하여 설치되어 있다.

표 1. 국내 건널목 설치현황

Table 1. Domestic level crossing present condition

level crossing present condition			
Total	Type 1	Type 2	Type 3
1,313	1,186	13	114

2006년부터 2010년까지 5년간의 국내 철도사고 통계치는 표 2와 같다. 2006년 이후 매년 평균 약 248건의 철도사고가 발생하고 있으며, 그 수는 감소추세를 보이고 있긴 하나 이에 따른 인명, 재산에 대한 복구비용이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다<sup>1,2)</sup>. 특히 철도 건널목사고는 매년 22건으로 철도 안전사고의 큰 비중을 차지하고 있다.

표 2. 연도별 철도사고

Table 2. Railway accident by year

	2006	2007	2008	2009	2010	Average
Train accident	7	6	7	3	4	5.4
Level crossing accident	26	24	24	20	16	22.0
Railroad traffic casualty accident	296	272	251	238	184	248.2

현재 설치되어 운영 중인 지장물 검지설비의 구성은 그림 1과 같다. 발광기에서 송신한 레이저빔이 수광기에서 정상적으로 수신되는지 여부에 따라 지장물의 존재 여부를 판단하는 방식이다. 또한 이에 추가적으로 출구에 지자기센서를 설치하여 출구측차단간검지를 수행한다. 그림과 같은 형태의 건널목에 설치할 경우, 1개소 당 발광기와 수광기 한 쌍으로 구성된 세트가 5세트 설치되며 출구측차단간검지용 센서가 2개 설치된다.

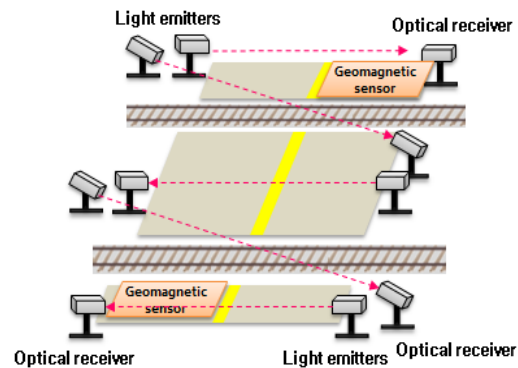


그림 1. 기존 철도 건널목 지장물 검지설비  
Fig. 1. Existing level crossing obstruction detecting system

기존 시스템은 눈이나 비와 같은 기상조건에 의한 오작동 발생 사례가 잦으며, 분산된 기기설치로 인해 유지보수에 많은 시간과 인력이 소모되고 있다. 또한 건널목 설비의 사용주기가 약 10년임을 고려하면 수명주기에 다다른 설비가 증가하고 있어 향후 매년 약 10% 정도에 대하여 교체가 필요할 것으로 전망된다.

### III. 주요 기능 및 성능 요구 사항

본 논문에서 제시하고 있는 레이저레이더기반 건널목 지장물 검지장치의 주요 기능은 다음과 같으며, 기본성능은 표 3과 같다.

열차가 건널목에 접근하여 경보개시구간에 진입하면 지장물 검지장치는 활성화 모드(active mode) 상태로 된다. 즉, 건널목 내에 있는 물체는 지장물로 처리한다. 활성화 모드에서 지장물이 검지되면 제어회로에서는 “장애물 있음”이라 판단하고 건널목 지장경고등(특수신호발광기)을 현시하도록 한다.

건널목 구간을 레이저 레이더를 이용 스캔하여 지장물 유무를 검지할 수 있어야 하며 그 결과로 선로변 지장물 경보등을 제어하고 지장물의 추적이 가능하여야 한다.

건널목 출구측차단간검지기의 기능을 통합하여 경보장치 작동 후 건널목 내 차량이 갇히게 될 때 출구측차단간을 일정시간 동안 하강 보류하여 차량이 통과하도록 하여야 한다.

열차진입으로 경보 시 건널목의 영상을 저장 및 기록할 수 있어야 한다.

기존에 사용되던 출구측차단기용 지자계 센서를 사용하지 않고 출구 측 차단기와의 인터페이스가 가능하여야 한다.

### IV. 레이저레이더 스캐너 센서 알고리즘

레이저레이더 스캐너 센서(이하 LD-MRS)는 ToF(Time-of-Flight)를 기반으로 하는 측정 도구이다. 예를 들어, LD-MRS는 물체의 거리 및 각도 검지를 위해 레이저 빔을 사용한다. 몇 개의 회전 레이저 빔을 이용하여 방사적으로 주변 환경을 스캔하고, 포토다이오드 리시버를 이용하여 에코(반향)를 수신하여, ToF 계산법으로 데이터를 처리하고, 처리된 데이터는 이더넷 인터페이스를 통해 표시된다. 스캔 데이터는 거리, 각도, 에코펄스 폭에 대한 값들로 구성된다. 그림 2는 LD-MRS의 스캔 검지 원리로 ① 물체, ② 전송된 레이저 펄스, ③ 반사된 레이저 펄스, ④ LD-MRS를 나타내며 Time-of-Flight의 기초로 한 측정원리다. 주변에 있는 물체는 LD-MRS에서 방출된 레이저 펄스를 반사한다. LD-MRS는 레이저 펄스 반사를 수집하여 정보를 처리하고, 이더넷 인터페이스를 통해 데이터를 표시한다. 레이저 펄스의 ToF 및 광속 자료를 이용하여 거리를 계산한다. 회전 거울은 레이저 펄스를 편향시킨다. 편향 시, 거울의 각도 위치에서 검지된 물체의 방향을 산출한다. 이 값들을 조합하여 LD-MRS의 방사형 스캔 범위에 있는 완벽한 주변 환경 프로파일에 대한 자료를 구축한다.

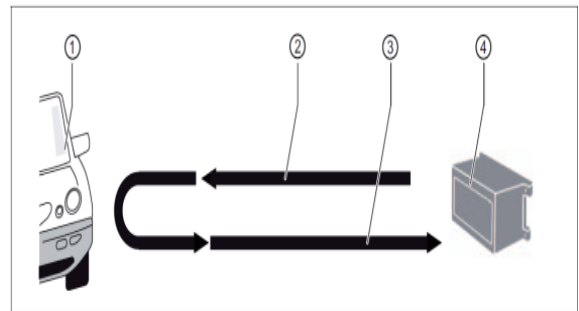


그림 2. 레이저 스캔 검지 원리  
Fig. 2. Principle of laser scan detecting

본 센서의 스캔 방식은 멀티레이어 기술로서 LD-MRS의 멀티레이어 기술을 이용하여 수직각이 다른 4개의 스캔면에 의한 피치각 보상을 할 수 있다. 예를 들면, 본 장치를 선로변에 설치할 경우 열차의 풍압이나 진동으로 인해 지장물 검지장치의 진동이 발생할 경우에도 신뢰성 있게 물체를 검지할 수 있다.

표 3. 기본성능  
Table 3. Fundamental performance

Item	Unit	Specification
Size of detecting obstruction	m	more than 1.0(W)x1.0(H)x1.0(D)
Obstruction detecting range	Horizontality	Degree 60 ± 10
	Verticality	Degree 30 ± 10
	Distance	m 5-50
Detecting time	s	within 0.5 second
Location detecting error	m	±0.1

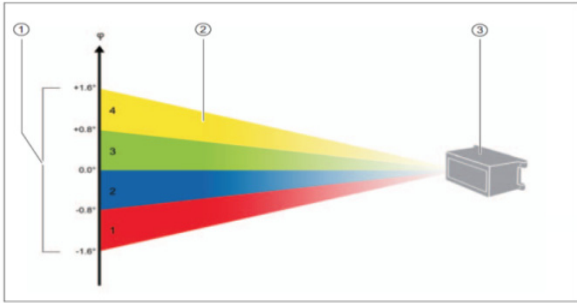


그림 3. 컬러코드화 된 스캔면 원리  
Fig. 3. Principle of color coding scan face

그림 3은 컬러 코드화된 스캔면 원리를 보여주고 있는 그림이다. LD-MRS의 포토다이오드 리시버는 한 줄로 배열되어 있는 4개의 독립 수신기로 구성되어 있으며, 이들 수신기를 이용하여 멀티레이어 기술을 구현할 수 있다.

각 스캔면에 1개의 수신기가 할당되어 있어서 수직 각을 4개의 스캔면으로 분할하고 인터레이스 방식으로 4개 스캔면을 스캔한다. 즉, 2개 스캔면이 조합되어 항상 동시에 스캔된다. (먼저, 노랑색면과 녹색면을 스캔하고 난후, 청색면과 적색면을 스캔함).

V. 지장물 검지장치 SW 기능 안전성 검증

레이저레이더기반 건물목 지장물 검지장치의 기능 안전성 입증을 위하여 임베디드 소프트웨어 안전성 검증 활동을 수행하였다. 임베디드 소프트웨어 안전성 검증은 IEC 62279, IEC 61508 코딩 규칙을 적용하여 정적 분석을 수행 하였으며, 그림 4와 같이 SW 정적 분석을 수행함으로써 소프트웨어의 기능 안전성을 보증하였다. 레이저레이더기반 건물목 지장물 검지장치의 SW 정적분석의 적용 규칙은 IEC 62279, IEC 61508 코딩 규칙을 적용하며, MISRA-2004은 철도 시스템 SW 개발환경에 적합하지 않으므로 해당 규칙은 적용하지 않는다. 또한 SW 정적 분석 수행 범위는 본 과업의 기능과 관련된 SW로 제한하며, SW 개발을 위한 Library 코드에서 발생하는 정적 분석 오류는 고려하지 않는다. 항목 별 위배 비율은 그림 5와 같이 차트로 나타내었다.

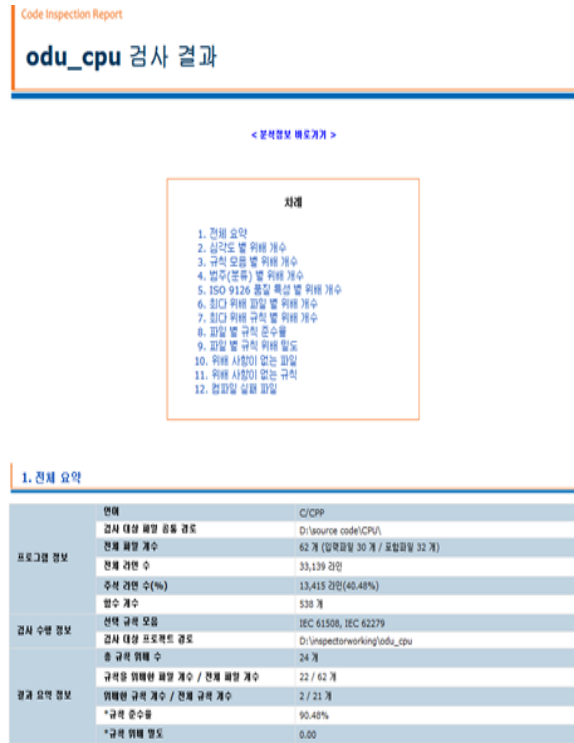


그림 4. odu\_cpu 검사결과  
Fig. 4. Test results of odu\_cpu

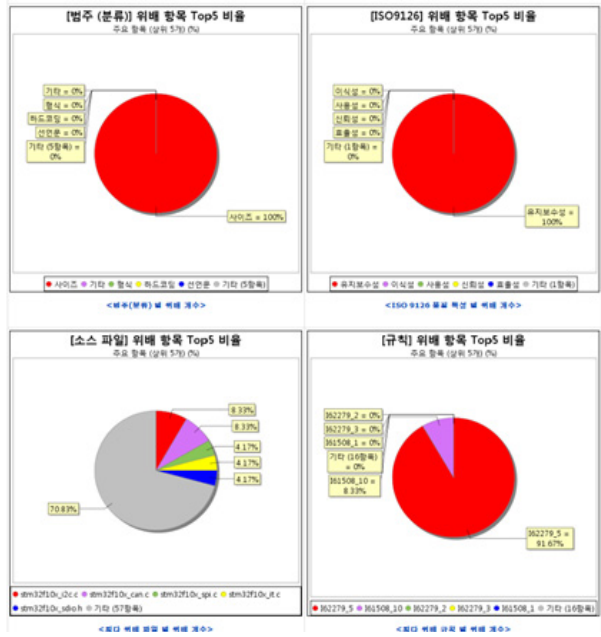


그림 5. 항목 별 위배 비율 차트  
Fig. 5. Chart of itemized against ratio

VI. 레이저레이더기반 지장물 검지장치

본 논문에서 제안하는 레이저레이더기반 지장물 검지장치는 2차원의 레이저레이더 스캐너를 이용한 방



식이며, 검지 방식은 그림 6과 같다. 제안 시스템은 기존 검지설비의 수광기와 발광기의 기능 및 출구측차단간 검지장치의 기능을 통합한 센서모듈의 설치로 기능과 유지보수성을 동시에 향상시킨다.

제안하는 시스템은 건널목의 지장물을 검지하는 센서부와 철도 건널목 주변설비들을 제어하는 제어부로 나누어진다. 센서부가 제어부로부터 열차접근 신호를 수신하면 2차원 레이저레이더 센서로 관심영역에 대한 스캔을 수행하며, 설정된 기준 이상 크기의 지장물이 관심영역에 감지될 경우 지장물에 대한 정보를 제어부로 전송한다. 제어부는 센서부로부터 받은 지장물 정보(크기, 위치, 방향 등)에 따라 지장물 경고등 점멸, 건널목 차단기 지연 등과 같은 주변기기 제어를 수행한다. 개발된 제어부와 센서부는 기존 건널목 설비와의 인터페이스를 고려하여 설계되었다. 또한 지장물 검지 데이터를 로깅하는 저장장치의 추가로 효율적인 유지보수와 분석을 가능하게 하였다. 제작된 시제품의 센서부 및 제어부 모습과 구성도는 그림 7과 같다.

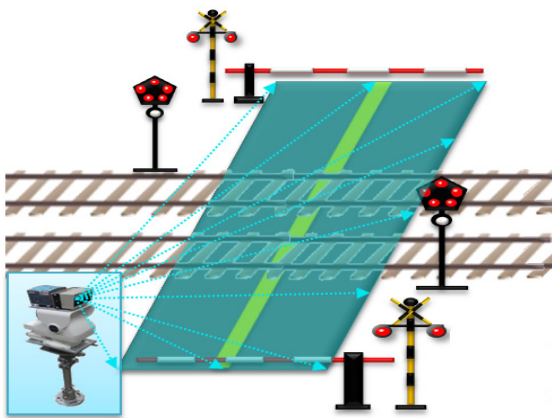


그림 6. 레이저레이더를 이용한 지장물 검지장치  
Fig. 6. obstruction detecting device using laser radar



그림 7. 시제품 제작 및 구성도  
Fig. 7. The prototype model and block diagram

제작된 시제품은 그림 8, 9와 같이 실내외 시험을 통해 기능 및 성능에 대한 검증을 마친 상태이며, 이를 통해 물체 크기에 따른 지장물 유무판단, 센서 데이터의 이미지화를 통한 지장물 판별 등의 기능 및 성능을 시험하였다.

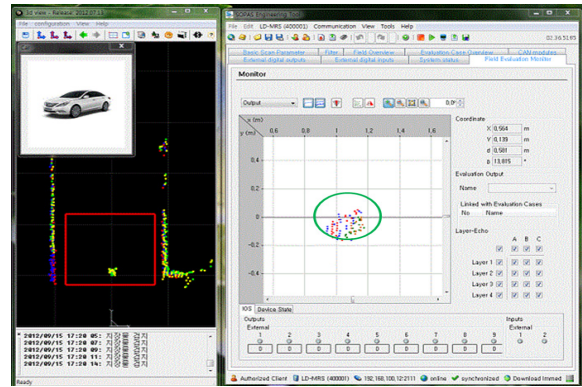


그림 8. 시제품 성능시험 소프트웨어  
Fig. 8. Software of prototype performance test

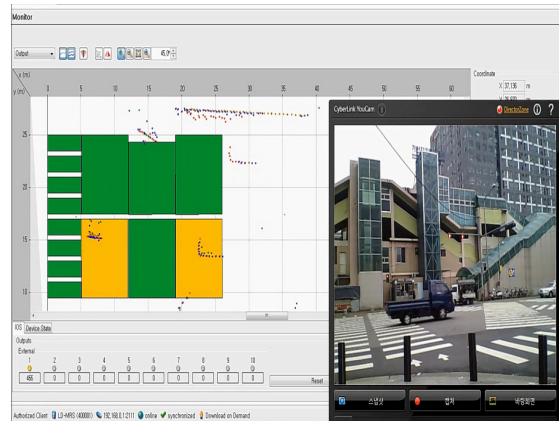


그림 9. 도로에서의 성능시험 모습  
Fig. 9. Performance test on the road

철도건널목 지장물 검지장치 프로그램과 센서부의 정상조건 시, 상황에 맞게 지장물의 데이터(지장물 유무, 지장물 물체 크기)를 판단하는지 현장 시험을 통하여 확인 하였다. 그림 10과 같이 레이저 스캐너를 임의의 장소에 설치하여 지정한 범위 내에 우산을 쓴 사람이 오른쪽에서 왼쪽으로 지나갔을 때 지장물 검지장치 프로그램이 지장물의 데이터를 정확히 판단하였고, 정상적으로 작동 되었다.

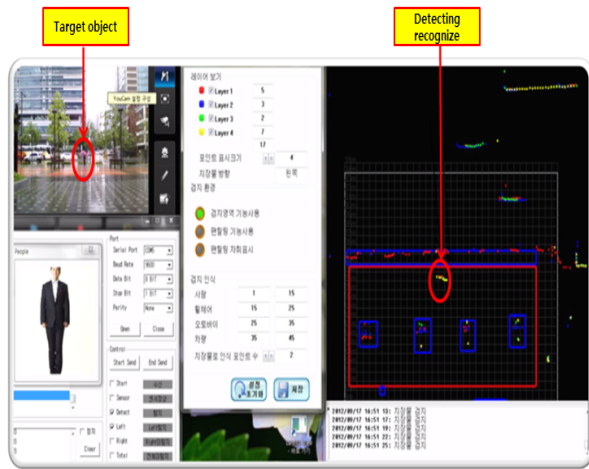


그림 10. 지장물 검지장치 검지 화면  
 Fig. 10. detecting screen of obstruction detecting device program

시험 결과 지정한 범위 내에서 검지대상이 지나갔을 때 정확히 지장물을 인식하였고, 대상물의 크기를 대략적으로 인식하였다. 지장물 판별 방법은 현재 레이저 포인트 개수로 물체의 크기를 추정하고 이를 기반으로 사람, 휠체어, 이륜차, 자동차 등으로 구분한다. 지장물 검지장치 프로그램 설정에서 사람은 레이저 포인트 개수가 1~15개, 휠체어는 15~25개, 오토바이 25~35개, 차량 35~45개로 지정되어있다. 현장 시험에서 지장물 물체 크기를 15로 검지하였으므로 이것은 사람에 해당함을 알 수 있다.

### VII. 현장설치 구성 방법 및 시험절차

센서부 위치는 기존 지장물 검지센서와의 간섭을 피하고 건널목 내 모든 위치의 지장물을 검지할 수 있는 위치를 선정하여 그림 11과 같이 현장설치 시험을 수행할 계획이다.

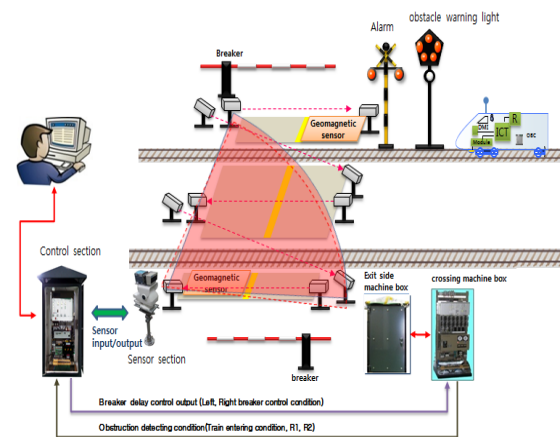


그림 11. 현장설치 구성  
 Fig. 11. composition of field erection

그림 11과 같이 현장에 설치한 후 R1, R2 신호를 강제로 생성한다. 아래 그림 12와 같이 건널목 내 지장물을 위치시켜 기존 건널목 장치와 제어부 LED 및 유지보수 데이터를 비교한다. 열차 접근 시 철도 건널목 내 지장물이 위에서 아래로 진행되는 경우에 따른 건널목 차단기 작동을 확인하는 절차는 먼저 센서부 동작 이후 지장물의 이동방향 정보를 제어부로 송신한다. 지장물이 위에서 아래로 이동하는 경우를 식별하여, 제어부는 OUT 카드의 위 -> 아래 방향 지장물 검지 LED를 점등하게 된다. 제어부는 위 -> 아래 방향 지장물검지시, 출구 쪽 차단기로 지연 신호를 송신한다. 그 결과 지장물이 위에서 아래로 진행되는 경우 OUT 카드의 LED 1(지장물 경고등 현시), LED 3(Down 방향) 점등 여부를 확인해야 한다.

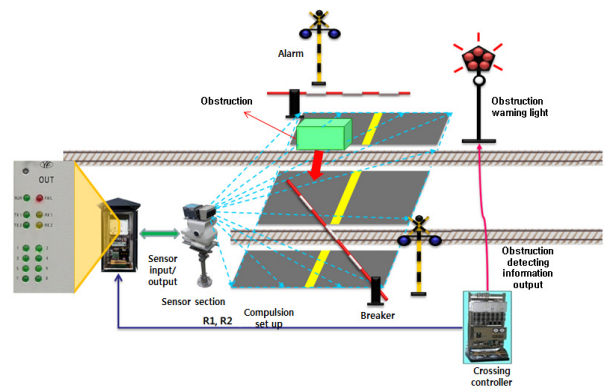


그림 12. 건널목 차단기 작동 시험  
 Fig. 12. Operation test of level crossing barrier

### VIII. 결론

본 논문에서는 철도 건널목의 효율적인 감시 및 보안장치 통합화를 위한 레이저레이더기반의 지장물 검지장치를 제안하였으며, 장치의 설계와 시제품 제작 결과를 제시하였다. 또한 시제품에 대한 주요 기능과 성능을 포함한 프로그램 시험 및 연계 시험을 통해서 안전성을 확인 하였다. 제안 시스템은 기존 건널목 검지설비의 단점인 기상조건에 따른 오작동을 개선하여 지장물의 효과적인 실시간 감시를 가능하게 하며, 거리 및 크기에 따른 지장물 정보의 데이터베이스 수립 및 검지 알고리즘 개발을 통해 관심 대상물만 효과적으로 검지가 가능해 진다. 현재 시제품의 성능시험까지 수행한 상태이며, 향후 현장설치를 통한 검증을 진행할 계획이다.

References

- [1] G.-Y. Kim, J.-H. Baek, Y.-S. Song, and Y.-K. Kim, "Design of obstacle detection system using laser radar for railroad level crossings," in *Proc. KICS Winter Conf.*, vol.50, pp. 148-149, Yongpyeong, Jan. 2013.
- [2] G.-Y. Kim, J.-H. Baek, H.-J. Jo, K.-M. Lee, and J.-H. Lee, "Design and development of laser radar based monitoring system for railroad level crossings," in *Proc. KIEE BMSC 2012 Conf.*, pp. 63-65, Phoenix Park, Korea, Feb. 2012.
- [3] Korea Railroad Research Institute, "Development of ICT-based technologies for safety and efficiency of railway operation Report 2 year," KRRI, Dec. 2012.
- [4] K.-M. Lee, K.-H. Shin, D.-H. Shin, and J.-H. Lee, "Study on the speed control code design for fixed block TCS," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 15, no. 1, pp. 37-41, Feb. 2012.
- [5] Y.-H. Kim and W.-S. Choi, "Analysis of operational issues for ICT-based on-board train control system," *J. Korean Soc. Railway*, vol. 14, no. 6, pp. 575-583, Dec. 2011.
- [6] Korail, "Electrical task data," Korail, pp. 261-263, Mar. 2012.

백 종 현 (Jong-hyen Baek)



1995년 2월 전북대학교 제어  
계측공학과 학사  
1997년 2월 광주과학기술원 메  
카트로닉스공학과 석사  
2009년 8월 전북대학교 메카트  
로닉스공학과 박사  
1997년 1월~현재 한국철도기

술연구원 책임연구원

<관심분야> 현대제어, 지능형시스템, 열차제어

김 건 엽 (Gon-yop Kim)



2008년 6월 Univ. of toronto  
2011년 2월 KAIST 로봇공학  
과 석사  
2011년 2월~현재 한국철도기  
술 연구원 주임연구원  
<관심분야> 로봇공학, 철도교  
통

송 용 수 (Yong-soo Song)



2002년 2월 연세대학교 석사  
2007년 2월 연세대학교 박사  
수료  
2007년 2월~현재 한국철도기  
술 연구원 선임연구원  
<관심분야> 철도전용 통합무선  
망, 지능형시스템, 생체공학

오 세 찬 (Seh-chan Oh)



2002년 2월 강원대학교 정보  
통신공학과 학사  
1997년 2월 광주과학기술원 정  
보통신공학과 석사  
1997년 2월~현재 한국철도기  
술 연구원 선임연구원  
<관심분야> 열차제어, 통신네트

워크, 지능형시스템

김 용 규 (Yong-kyu Kim)



1987년 2월 단국대학교 전자  
공학과 학사  
1993년 9월 DEA in Control  
Engineering from Institute  
National Polytechnique de  
Lorraine, France

1997년 7월 Ph.D in control  
Engineering from Institute National  
Polytechnique de Lorraine, France

1997년 12월~현재 한국철도기술 연구원 무선 통신  
열차제어연구단 TFT 단장

<관심분야> 자동제어, 지능형 시스템, 제어계측

채 은 경 (Eun-kyung Chae)



학, 통신공학

1998년 2월 경북대학교 전자  
공학과 학사

2000년 2월 경북대학교 전자  
공학과 석사

2007년 9월~현재 한국철도기  
술 연구원 선임연구원  
<관심분야> 전파공학, 전자공