

레일 단락감도 불량으로 발생하는 무경보 예방을 위한 건널목보안장치 설계

(Study on Design of Rail Level Crossing System for Preventing from Non-Alarming Status
Caused by Track Shunting Sensibility Errors)

장동완* · 전태현**

(Dongwan Jang · Taehyun Jeon)

요 약

철도와 도로가 평면 교차하는 개소에서 열차의 진입을 통행자에게 알려 사고를 방지하는 운전보안설비를 건널목 보안장치라 하며, 이 장치는 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 회로를 구성하고 철도차량의 차축에 의해 레일사이를 단락함에 따라 열차의 유무를 검지하는 궤도회로장치에 의한 것이 대부분이다. 그만큼 건널목보안장치에서 궤도회로장치가 중요한 역할을 하지만, 열차운행 횟수 감소로 눈, 비, 습기 등에 의하여 레일에 녹이 발생하여 열차가 궤도회로를 점유하여도 단락감도 불량으로 궤도회로가 낙하되지 않아 건널목보안장치 무경보 발생으로 도로차량과 충돌하는 사고발생이 우려된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 열차에 의해 궤도를 단락하는 열차검지방식에서 적외선 센서에 의해 열차접근을 확인하여 건널목보안장치를 제어하는 방식으로 변경하여 열차안전운행을 확보하는 효율적인 안전장치로서의 역할을 수행할 수 있도록 설계 방법을 제안한다.

Abstract

Railroad level crossing systems are used to prevent train from collisions by informing pedestrians and vehicles of approaching trains on the level crossing. The current detection systems mostly use track-based electrical circuits to detect approaching trains. The making and breaking of the circuit when the train wheel passes along the track sends a signal to barriers that restrict access to the track. Unfortunately, this track-based signal system is vulnerable to malfunctions in certain situations. If the rail becomes rusted due to moisture, weather conditions, or infrequent use, the electrical circuit detection system could fail. Such a failure could lead to a train-vehicle or train-pedestrian collision. This paper suggests a replacement of the electrical circuit-based system with an infrared detection system. The research shows that an infrared detection system improves safety by reducing the frequency of detection failure of the alarming circuit to system.

Key Words : Railroad Level Crossing, Track-Based System, Infrared Detection,
Track Shunting Sensibility Error

* 주저자 : 서울산업대학교 산업대학원 석사과정

** 교신저자 : 서울산업대학교 전기공학과

Tel : 02-970-6409, E-mail : thjeon@snut.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 3일, 1차심사 : 2009년 11월 6일, 2차심사 : 2009년 11월 19일, 심사완료 : 2009년 11월 20일

1. 서 론

최근 철도신호분야의 설비들은 전기설비에서 데이터베이스가 구축된 전자설비로 바뀌어 가고 있으며, 안전성 확보에서 많은 신경을 쓰고 있어 다양한 장치들이 개발되어지고 있다. 특히 건널목 보안장치의 경우 열차와 도로의 차량이 직접 만나는 공간에 설치된 장치로서, 무엇보다 안전이 중요시 된다. 그 만큼 건널목에서 사고가 많이 발생하고 있어 건널목경보장치의 정확한 동작은 철도 안전운행에 중요한 역할을 한다. 건널목의 기본 보안장치는 열차가 건널목에 접근할 때 도로 통행자나 도로차량에게 경고하는 경보장치, 열차가 건널목 통과 중에 도로의 통행을 일시적으로 차단하는 차단기, 그리고 건널목 통행자에게 건널목의 위치를 표시하는 표지가 있다. 건널목 보안장치의 주변기기 및 장치에는 건널목 고장감시장치, 지장물검지장치, 정보분석장치, 정시간제어기, 출구측차단감지장치, 원격감시장치와 같은 보안장치가 개발되어 설치되어 있다. 그 만큼 사고예방을 위한 많은 장치들이 이용되고 있지만 무엇보다 중요한 것이 건널목보안장치의 무경보를 예방하는 것이다. 레일을 전기적인 회로로 이용하여 계전기를 여자시키는 궤도회로 방식에 의해 제어되는 건널목보안장치는 차륜에 의해 궤도회로가 단락이 되지 않을 경우 무경보가 발생한다. 본 연구에서 추진하고자 하는 것은 레일의 단락감도 불량개소에 대하여 적외선 센서를 이용하여 무경보를 방지하는 것이다.

2. 건널목보안장치의 구성과 문제점

2.1 건널목보안장치(Railroad Crossing)

개요

건널목보안장치는 철도와 도로가 평면 교차하는 곳에 설치하여 건널목을 횡단하는 모든 차량과 보행자에게 열차가 건널목을 통과하기 일정시간 전에 열차의 접근을 알려주어 건널목의 사고를 사전에 방지하기 위한 설비이다[1].

최근 열차의 고속화와 열차 운행횟수의 증가 및 건

널목을 통행하는 교통량의 증가로 건널목 사고가 많이 발생하여 열차의 안전·정확·신속성에 많은 지장을 받고 있고 특히 열차운행이 적은 구간의 경우에도 운전자가 열차가 오지 않는다는 생각 때문에 많은 사고가 발생하고 있어 건널목 보안장치의 설비를 보완하는 추세에 있다.

2.2 건널목보안장치 종류

건널목은 열차운행 횟수와 도로교통량에 따라 차단기와 경보기가 24시간 동작하거나 건널목 안내원이 근무하는 1종 건널목, 경보기만 동작하는 2종 건널목, 건널목 교통안전 표지판만 설치되어 있는 3종 건널목으로 구분한다[2].

2.3 건널목보안장치 구성

건널목 경보기는 직립형과 현수형, 가교형의 3종류가 있으며 적색 경보등, 경보종 또는 혼스피커, 음성안내방송스피커, 열차진행방향표시등, 고장표시등, 경광등이 설치되어 열차가 건널목에 접근하는 것을 건널목 통행자나 차량에게 알려주는 설비이다. 건널목차단기는 열차가 건널목에 접근할 때 차단간을 하강시켜 통행자나 통행차량의 진입을 막고 열차가 건널목을 통과하면 차단간이 상승하여 통행자나 통행차량이 안전하게 통행하도록 하는 설비이다. 건널목 안내표지는 경표(표지)를 설치하여 건널목을 횡단하는 보행자나 차량운전자에게 건널목이 있음과 동시에 건널목 횡단 시 주의를 경고하는 건널목 관련 안전표지가 있다. 건널목 안전표지는 건널목 상에서 안전운행을 도모하는 것으로서 보행자나 차량운전자에게 주의하며, 안전하게 횡단시키는 목적이 있으며 철도측 안전표지와 도로측 안전표지로 구분된다[1].

2.4 건널목보안장치 제어

건널목보안장치의 제어방법은 단선·복선, 전철·비전철구간, 자동·비자동 구간에 따라 다르다. 건널목 제어방법은 궤도회로를 이용한 연속제어법과 건널

목 제어자를 이용한 점제어법이 있다.

이 논문에서는 단선구간에 사용하는 건널목 보안장치의 제어방법에 대해서 설명한다.

2.4.1 단선궤도회로 방식(ST)의 동작원리

단선궤도회로 방식의 원리는 그림 1과 같다. 그림 1의 도면으로 설명하면, 평상시(열차가 건널목 경보 구간에 없을 때) SR 및 CPR은 사용하지 않으며 평상시 APR, BPR, R1, R3, R2 계전기가 여자 상태이고 CSR, SLR은 무여자 상태이다.

AT쪽에서 열차가 진입하면 APR이 낙하되어 R1이 낙하되고 R1 낙하로 경보가 시작되며 일정시간 후 R3, R2가 낙하하여 차단기가 하강하며 APR낙하 시 CSR 낙하조건으로 SLR이 여자한다. 열차가 ATR 및 BTR을 점유하고 있을 때 위에서 낙하한 ATR, APR, R1, R3, R2는 모두 낙하상태에 있고 BTR이 낙하하여 BPR이 낙하되고 SLR은 계속 여자된 상태에서 R1은 낙하되어 있다. 열차가 AT를 지나 BT에 진입할 시 ATR이 여자하여 APR이 여자한다. 그러나 SLR은 BPR 낙하 및 SLR여자조건으로 계속 여자되어 있고 APR여자 및 SLR여자로 R1, R3, R2가 여자되어 경보가 중단되고 차단기는 상승하게 된다. 열차가 BT를 벗어나면 BTR이 여자되어 BPR이 여자한다. BPR여자로 SLR이 낙하하고 R1은 APR 및 BPR여자로 계속 여자하여 평상상태를 계속 유지한다. 열차가 BTR쪽

에서 진입하여도 위와 같은 동작 상태를 한다[3].

2.4.2 단선제어자 방식(SC)의 동작원리

제어자 방식의 경우 2420(20[kHz]), 2440(40[kHz]) 구간에 고주파를 (40[kHz] : 20[m]이상, 20[kHz] : 15~30[m]) 레일에 통하게 하여 열차 차륜에 의해 주파수를 단락시켜 검지하는 방식으로 레일단락감도가 중요하며, 그림 2는 단선제어자 방식의 동작원리를 나타낸 것이다. 평상시(열차가 건널목 경보 구간에 없을 때) 2420인 ADC 및 BDC가 여자되어 있고 2440인 CDC는 낙하되어 있다. 또 APR, BPR, SR, R1, R3, R2가 여자되어 있고 SLR, CSR, CPR은 낙하되어 있다.

열차가 A방면에서 ADC의 제어지점에 진입하면 ADC가 낙하하고 이에 따라서 APR낙하로 SR이 낙하하여 R1이 낙하하며 이 때 경보종 및 경보등이 동작하게 된다. 또한 R1 낙하하면 일정시간 후 R3가 낙하하며 따라서 R2가 낙하하여 전동차단기가 하강하게 된다. 다시 열차가 ADC제어 지점을 통과하여 건널목에 도달하지 않는 중간지점에 있을 때 열차의 통과로 ADC는 여자되나 SR은 여자되지 못하며 SR낙하접점으로 SLR이 여자하게 되어 R1, R3, R2는 여전히 낙하를 지속하여 경보가 계속된다. 열차가 건널목에 도달하면 CDC의 제어지점에 진입하므로 CDC가 여자되어 CPR이 여자되며 CPR의 여자로 CSR이 자기접점 및 SR낙하조건으로 자기유지하게 된다. 또한 CSR동작접점과 먼저 동작되어 있는 SLR동작접점으로 SR이 여자하며 자기접점으로 자기유지하게 된다. 이 과정에서 CSR이 낙하될 때까지는 계속 낙하를 지속하여 경보가 지속된다. 열차가 건널목을 완전 통과하여 BDC 제어 지점과 건널목사이를 통과중일 때 CDC 제어지점을 통과 완료와 동시에 여자되어 있던 CDC는 낙하하여 CPR이 낙하하고 R1이 여자되어 경보가 끝나게 된다. CSR은 BPR, SLR, CSR 자기접점으로 계속동작 유지한다. 또한 R1, R3, R2도 계속 여자되어 있으므로 경보 및 차단기는 평상시 상태로 복귀된다. 즉 APR, BPR, SR, R1, R3, R2 및 CSR은 여자되고 SLR은 낙하한다. 열차가 BDC 제어지점에 진입하면 BDC낙하로 BPR이 낙하하여 SR이 낙하한다. 그러나 SLR은 순간 여자되어 SR을 여자 복귀시키면 SR과

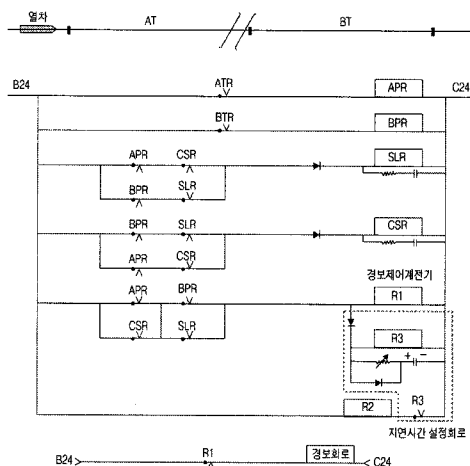


그림 1. 단선 궤도회로 방식의 원리
Fig. 1. Methods of single track circuit

같이 낙하하게 되어 정상상태로 복귀되는 것이다. B
방면에서 열차진행시에도 위와 같은 과정을 반복하여
동작하게 된다[3].

로 진입할 경우 후반의 열차가 무경보로 진입할 수 있
다. 제어자 방식도 궤도단락감도가 불량할 경우에도
무경보가 발생한다.

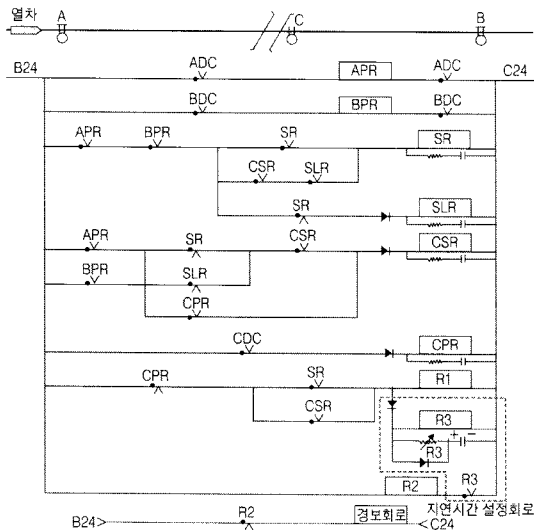


그림 2. 단선 제어자 방식의 원리
Fig. 2. Methods of single control

2.5 건널목보안장치 무경보 발생 조건

2.5.1 단선궤도회로 방식(ST)의 문제점

단선궤도회로 방식의 경우 점 제어방식과 달리 연
속적인 궤도조건에 의해 제어되어 제어자방식 비해
무경보 발생 확률이 적으나, 순간적인 궤도장애로 인
하여 무경보가 발생할 수 있다. 예를들어 APR이 순
간 장애가 발생할 때 BPR에서 열차가 접근하고
APR의 순간 장애가 복구되면 건널목보안장치는 경
보를 하지 않고 열차는 무경보 상태에서 건널목을 통
과하여 사고가 발생할 수 있으며, 궤도 단락감도가
불량할 경우 차륜에 의해 단락이 되지 않아 무경보가
발생할 수 있다.

2.5.2 단선제어자 방식(SC)의 문제점

점제어식의 경우 크게 3가지의 문제점을 가지고 있
다. 첫 번째가 ADC나 BDC구간을 접근하고 다시 퇴
행하는 경우 건널목은 계속경보를 한다. 둘째는 ADC
나 BDC구간 점유 후 CDC구간에 무궤도 차량 진입
시 무경보가 발생할 수 있다. 세번째는 열차가 연속으

3. 적외선 방식의 적용설치

현재 사용되는 건널목보안장치의 경우 차륜에 의한
레일 단락으로 열차를 감지하지만 열차의 운행횟수가
적은 구간이나 비, 눈, 습기 등으로 레일의 단락감도가
불량한 개소에서는 차륜에 의해 단락이 되지 않아 무
경보 발생 우려가 있어 적외선 센서를 이용한 방식으
로 개선하였다. 적외선 센서는 쉽게 구할 수 있으며,
외부에 노출되어 있어 기관사가 건널목 제어구간을
쉽게 알 수 있어 안전운행을 할 수 있는 조건을 제시
하여 센서 방식을 채택하였다.

3.1 센서의 사양과 구성

센서의 사양은 아래의 표 1과 같으며, 건널목보안장
치의 열차검지용으로 사용 가능하다는 것을 실내·외
실험을 통해 표 2와 같이 입증하였다. 실내(사무실), 실
외(군단 건널목)에서 실행하였으며, 날씨 조건을 감안
하여 제일 악조건인 비오는 상태를 만들기 위해 수신
기에 물을 뿌린 상태에서 실험하였다. 실내 온도는 25
[°C]였으며, 실외 온도는 30[°C]였다.

표 1. 센서의 사양
Table 1. Specification of sensor

| | | |
|------|----------------------------|--|
| 모델명 | Timer내장형 (BX15M-TFR-T) | |
| 검출방식 | 투과형 | |
| 검출거리 | 15[m] | |
| 전원전압 | AC/DC 24-240[V] ± 10[%] | |
| 제어출력 | 릴레이 접점출력 | |
| 표시등 | 동작 : 황색, 자기진단 : 녹색 | |
| 중량 | 226[g] | |
| 응답속도 | 20[ms] | |

레일 단락감도 불량으로 발생하는 무경보 예방을 위한 건널목보안장치 설계

표 2는 거리측정의 경우 형광등, 백열전구를 통해 외부 빛의 영향에 따른 적외선 센서의 정상동작 여부를 확인하였으며, 만약을 대비하여 빛을 어느 정도 차단할 수 있도록 경광등 덮개를 센서 덮개로 사용하여 외부의 빛을 차단하도록 실험하였다.

표 2. 거리측정 시험결과
Table 2. Results of sensor experiment

| 송·수신기 거리 | 동작여부 | 비 고 |
|----------|------|--------|
| 5[m] | 동작 | 실내, 실외 |
| 10[m] | 동작 | 실내, 실외 |
| 15[m] | 동작 | 실내, 실외 |
| 20[m] | 동작 | 실외 |
| 25[m] | 미동작 | 실외 |

또한 적외선 송출부에 후두를 설치하여 빛에 의한 영향을 최소화 하였다. 레일의 간격은 1,435[mm]이고 건축한계가 보통 2,100[mm]인 것을 감안하여 송, 수신부 간격을 5[m]로 설정하여 설치하였다. 여기서 건축한계란 차량이 선로를 안전하게 운행할 수 있도록 궤도상에 일정한 공간을 유지시키기 위하여 설정한 한계를 말한다[4].

센서는 수신부와 송신부로 나뉘며 송신부에서 적외선이 나가며, 수신기의 경우 송신기에서 나온 적외선을 수신하는 경우 접점을 구성하게 되는데 건널목에서 24[V] 전원을 이 접점과 연결하여 건널목 내부의 계전기를 여자시키는 방식을 채택하였다.

그러나 ADC, BDC구간의 경우 철길에 위치하고 있어 상관없으나 CDC구간의 경우 건널목에 위치하고 있어 지나가는 사람이나 이물질에 의해 수신이 안 될 우려가 있어 센서 두 조를 각각 3[m] 정도 떨어뜨려 그 조건을 병렬로 연결하여 열차만 검지하도록 구성함(제일 짧은 길이의 차량인 모터카의 경우 길이가 7.5~13[m]이므로 센서가 병렬로 구성되었을 경우 검지할 수 있다.

3.2 시스템 구성도

전체적인 시스템 구성도는 아래 그림 3과 같다.

센서를 이용하여 열차를 검지하고 그 정보가 제어유니트로 들어가고 제어유니트에서 차단기와 경보기의 동작 명령을 지시한다. 그 지시 정보에 의해 경보기와 차단기가 동작하고 그 동작상태 정보를 다시 제어유니트에서 수신하여 전체적인 동작이 구성된다.

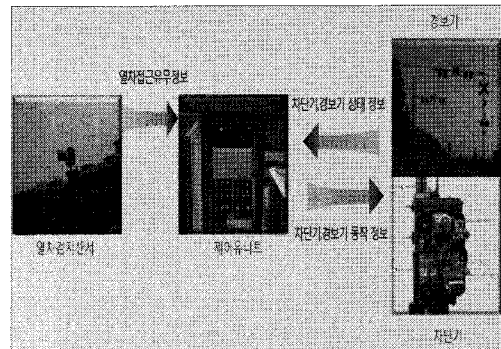


그림 3. 시스템 구성도
Fig. 3. System diagram

3.3 제어방식의 변화

현재 전국의 모든 건널목의 경우 제어자 방식 보다는 궤도회로 방식을 많이 사용하고 있다. 하지만 단락감도가 불량한 상태에서는 차륜에 의해 단락이 되지 않아 무 경보 발생 확률이 제어자보다 훨씬 높아지게 된다. 따라서 위의 센서에 의해 제어자 방식으로 변경하여 사용한다. 교외선 구간에 신촌, 군단 앞 건널목의 경우에도 열차 운행횟수가 적어 레일에 녹이 생겨 단락이 되지 않아 무경보가 많이 발생하고 있다. 따라서 적외선 센서를 이용한 제어자 방식으로 방법을 변경하여 제어구간을 나누었다.

그림 4는 교외선 군단건널목과 신촌건널목의 센서 설치 위치를 나타낸다. 센서의 수량을 줄이기 위하여 신촌건널목의 'C'지점이 군단건널목의 하제어 조건이 되며, 군단건널목의 'B'지점이 신촌건널목의 상제어 조건으로 사용하였다. 센서는 기주를 이용하여 사람의 1.8[m] 높이로 설치하였으며 건널목 보안장치를 센서조건을 이용하여 제어자방식으로 변경하여 구성하였다.

그림 5는 현장에 직접 설치한 모습이며, 센서 두 개를 병렬로 연결하여 1조로 구성하여 설치하였다.

상부의 그림은 빛의 영향을 최소화하기 위하여 후 두를 설치하였으며, 다른 이물질이나 사람에 의해 검지할 수 있는 경우를 방지하기 위하여 센서 두조를 한쌍으로 병렬로 연결하였으며, 경광등 덮개를 센서 커버로 사용하여 외부 영향을 최소화 하였다.

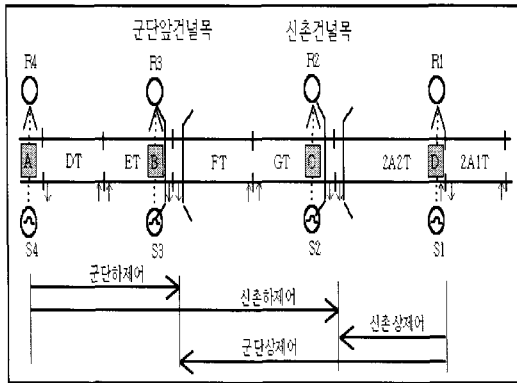


그림 4. 점 제어방식으로 구성된 센서의 위치
Fig. 4. The place of the sensor composed by intermittent control system.

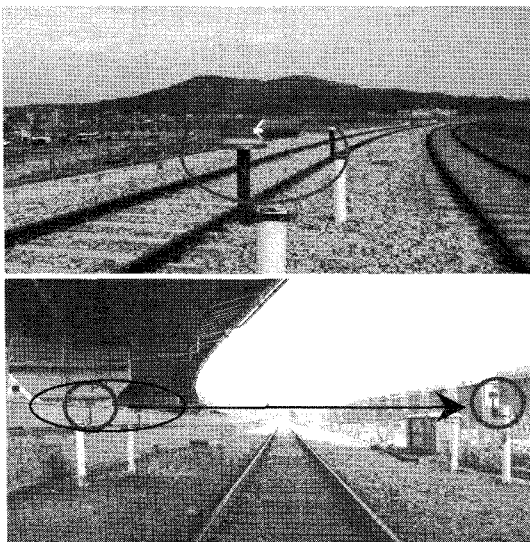


그림 5. 시점구간에 설치된 센서모습
Fig. 5. Installed sensor(starting point)

3.4 무경보 발생사례

건널목보안장치의 부속장치 중 신호정보분석장치라는 설비가 있다. 100분의 1초 간격으로 각 계전기의 동작 부속설비의 동작 정보를 보관하는 일종의

BLACK BOX와 같은 역할을 한다.

개선 전과 후 정보분석장치를 분석해 본 결과는 표 3과 같다.

표 3. 운행횟수대비 무 경보 횟수 비교
Table 3. Average non-alarming occasion of returns on operation numbers

| | 총 운행 횟수 | 무경보 횟수 | 비 고 |
|------|------------|-----------|-------------------------------|
| 개선 전 | 61 | 16 | 2008년 운행대비 무경보 횟수 |
| 개선 후 | 11 | 0 | 09.4~09.6(개선 후) 운행대비 무경보횟수 |

그림 6은 정보분석장치로 데이터를 분석한 내용을 나타내며 분석결과 2008년도 61회 열차운행 중 16건의 무경보가 발생하였다. 16건의 무경보는 모두 열차가 접근 시 궤도의 단락감도 불량에 따른 궤도여자가 원인이었으며, 개선 후 11건의 열차운행에 한건의 무경보 사례가 없어, 열차안전운행이 확보되었음을 입증 하였다.

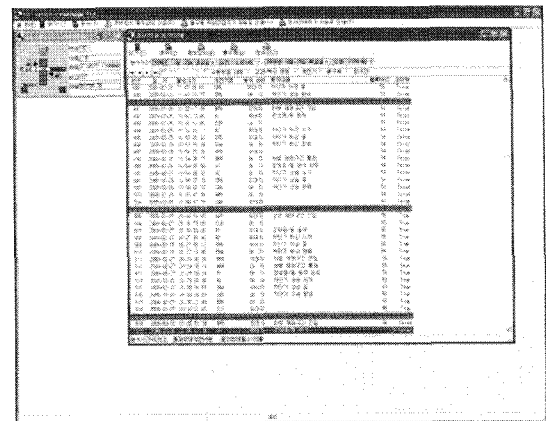


그림 6. 정보분석장치 데이터 분석
Fig. 6. Analysis on operation data of crossing system

4. 결 론

본 논문에서는 철도 건널목 보안장치의 가장 중요한 요소 중의 하나인 무경보 예방의 신뢰성을 향상시킬

수 있는 장치를 제안한다. 철길은 대부분 외부환경에 노출되어 있기 때문에 신뢰성을 저하시킬 수 있는 변수가 상당히 많이 존재한다. 열차운행횟수가 적고 환경적인 요인으로 단락감도가 저하되면 기존 방식에서는 항상 레일 삭정(부식부분 제거) 작업수행이 필요한 상황이다. 단순 작업으로 인력을 낭비하는 것을 막기 위해서라도 제안된 장치는 필수적이며 특히 기존설비를 이용하면서 비용절감의 효과를 기대할 수 있다. 본 논문에서 제안된 장치는 무엇보다 무경보로 인한 사고예방에 있어서 중요한 역할을 수행할 수 있는 설비로서 철도안전 확보에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

References

- [1] Jae-young Park. "Railroad signal engineering," Dong il, pp. 264~265, 2001.
- [2] Korail "Signalling Equipment Repair Manual," No. 5, pp. 3~4, 2004.
- [3] Young-Tae Kim. "Signalling Control System," Tech Media, pp. 105~110, 2004.
- [4] Korail "Railroad signal technical terms," pp. 31, 2004.

◇ 저자소개 ◇

장동완 (張東完)

1980년 6월 22일생. 2007년 서울산업대학교 전자정보공학과 졸업. 2010년 서울산업대학교 산업대학원 전기공학과 석사과정 졸업예정. 2001년~현재 한국철도공사 수도권동부본부 전기팀 근무.

전태현 (田太賢)

1967년 1월 31일생. 1989년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1993년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(석사). 1997년 Minnesota 대학교 대학원 졸업(박사). 1997~1998년 Motorola 연구원. 1998~2001년 Texas Instruments 연구원. 2002~2005년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임 연구원. 2005년~현재 서울산업대학교 전기공학과 교수.