

전자연동장치 안전성 평가에 대한 연구

The study about safety evaluation of electronic interlocking device

양윤석* 이종우**

Ynag, Yoon Seok, Lee, Jong Woo

ABSTRACT

Railway signal interlocking device with the reverse unit control device which is most important from country season, the subway and the high-speed railroad back, electric relay boarding and lodging accomplishes the master and servant and it comes and before from the Japanese back and an electronic interlocking device, a zone one interest in updated technology introduction Great Britain, Germany, Sweden and the United States, it quarrels about under developing it puts to practical use even from our country it shows.

About reasoning lower our country subway or the country closing up shop stem there is not a possibility of throwing away the impression where the exhibition hall of foreign nation signal system is being turning out. Consequently is enormous a system well expense at the foreign corporation about under paying Oh!, it understands, with difficult always it is exposed to it is an actuality in the accident which is dangerous.

In like this point of view first piece which is important securing safety of system from electronic anger of electronic interlocking device.

1. 서론

철도신호 연동장치는 국철, 지하철, 고속철도 등에서 가장 중요한 역단위 제어장치로써, 전기 계전기식이 주종을 이루어 왔으며 영국, 독일, 스웨덴, 미국, 일본 등에서는 앞을 다투어 전자연동장치를 개발하여 실용화시키고 있으며, 우리 나라에서도 신기술 도입에 지대한 관심을 보이고 있다.

우리 나라 철도신호 시스템은 전자화가 이미 시작되었다. 국철 및 지하철의 모든 역의 연동장치가 전자연동장치로 대체하여 운용되고 있다. 따라서 전자연동장치의 기술개발은 반드시 필요하며 이로인한 기업의 수익성 향상, 수입대체, 외국시장으로의 진출 등의 효과를 얻을 수 있으며, 신기술 개발로 산업 발전에 많은 영향을 미칠 수가 있다.

그러나 선진 외국 신호업체의 핵심적인 분야에 있어서 기술이전은 근본적으로 접근을 차단함으로써 선진기술 습득에 어려움을 가지고 있으며 독자적인 기술개발에 있어서도 거의 연구가 진행되지 못하였다. 이로인하여 우리 나라 지하철이나 국철시스템이 외국 신호시스템의 전시장이 되어가고 있는 느낌을 버릴 수가 없다. 따라서 막대한 비용을 외국회사에 지불하여야 하고, 시스템을 잘 이해하기 어려워 항상 위험한 사고에 노출되어 있는게 현실이다.

이러한 시점에 전자연동장치의 전자화에서 제일 중요한 점은 시스템의 안전성을 확보하는 것이라 하겠다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정.

E-mail : yangy@snut.ac.kr

TEL : (02)6311-5794 FAX : (02)6311-4166

** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 공학박사

2. 전자연동장치의 안전성 확보방안

2.1 전자연동장치의 기능요건

가. 연동논리부

- ① 연동논리부는 하나의 서브랙에 전원모듈, CPU모듈, 인터페이스모듈, 입출력제어모듈을 수용하여 기본 서브랙을 구성하고 2개의 기본 서브랙에 의하여 2중계로 구성한다.
- ② 하나의 서브랙에는 입출력제어모듈을 14개까지 수용할 수 있어야 하고, 확장시 기본랙을 포함하여 서브랙은 6개까지, 입출력제어모듈은 70개 이상 확장 가능하다.
- ③ 각 모듈은 VMEbus에 적합하게 설계, 제작된 것으로서 모듈 상호간 16bit의 병렬 데이터 처리가 가능하도록 한다.

나. 연동 논리부 전원모듈

- ① 전원모듈은 연동논리부 서브랙 내의 각 모듈에 전원을 공급하기 위하여 사용하며 서브랙 별로 설치한다.
- ② 전원 모듈의 세부 사양은 다음 표와 같다.

정격전압	DC24V
입력전압 허용범위	±20%이상
정격 출력전압 및 전류	+5V/20A, +12V/1A, -12V/1A
입력전압에 대한 출력안정도 (Load regulation)	설정된 출력전압의 0.5%이내
출력부하에 대한 안정도 (Load regulation)	설정된 출력전압의 0.5%이내
맥동률 및 잡음전압	정격부하에서 정격 출력전압의 1% 이내 (최고치와 최저치간)
출력전압 조정범위	정격 출력전압의 ±10%
효율	80% 이상

- ③ 과전류에 대한 회로보호 기능이 있어야 하며 부하전류가 정격의 1.1배 ~ 1.2배 범위에서 보호회로가 동작하여야 한다. 보호회로 동작시 출력전압은 정격의 10%이내, 입력전력은 정격의 30%이내로 감소하여야 하며 과전류 원인이 제거된 후 정상상태로 자동 복귀되도록 한다.
- ④ 전원장치는 DC/DC컨버터 회로를 채택하고 1차측에 유도되는 이상전압이 출력에 영향을 주지 않도록 한다.

다. 연동논리부 CPU모듈

- ① CPU모듈은 연동처리, 버스 및 입출력모듈의 제어, 외부장치와의 통신시스템의 상태감시 및 절체 기능을 한다.
- ② 연동데이터는 ROM에 저장하고 정해진 연동로직에 의하여 처리되도록 한다.
- ③ CPU모듈은 실시간 운영체제에 적합하도록 하여야 하며 세부 사양은 다음 표와 같다.

CPU	25MHz, 32bit 이상
기억용량	- DRAM : 8Mbyte 이상 - SRAM(battery backup) : 1Mbyte 이상 - ROM(EPROM) : 4Mbyte 이상 - Flash Memory : 1Mbyte 이상
통신포트	RS - 422 8개
기타사항	초기화 스위치, 동작표시등, 고장표시등, 통신포트별 통신상태 표시등 (Tx, Rx)

* 기억용량에서 각 메모리 칩은 동시에 사용이 가능하여야 하며 납품시에는 최대 사용율이 40%를 초과하지 않는 범위 내에서 줄일 수 있다.

라. 연동논리부 인터페이스 모듈

- ① 인터페이스모듈은 1, 2계 정보교환을 위하여 시스템버스 상호간을 연결하는 기능을 하도록 한다.
- ② I/F모듈의 데이터 전송속도는 10Mbyte/sec 이상이도록 한다.

마. 연동논리부 입력모듈

- ① 입력소자 및 모듈내 다른 부품의 소손 등에 의하여 부정한 입력이 발생되지 않도록 한다.
- ② 입력신호에 대한 부정입력 검지 기능 및 자체 안전측 동작(Fail-safe)기능이 있어야 하며 부정입력이 검지될 경우 입력포트 단위로 안전측(off)으로 고정하고 고장정보를 표출하도록 한다.
- ③ 입력모듈의 세부 사양은 다음 표와 같다.

입력정보수	32개
정격입력전압	DC + 24V
최대허용입력 전압	+ 30V 이상
입력응답 전압	- low → high : + 18V ±2V에서 변화되어야 함 - low → high : + 14V이상에서 변화되어야 함
입력응답 전류	정격입력 전압에 대하여 25mA ±20%
기타사항	동작표시등, 고장표시등, 입력표시등, 각 입력정보에 대한 용도 표시, 입력단자측에는 입력신호에 대하여 순방향 다이오드 설치, 로직부(5V)와 입출력부(24V)는 전기적 절연

바. 연동논리부 출력모듈

- ① 출력모듈은 CPU로 부터의 주기적인 정상출력 신호에 의하여 동작하여야 하며 출력소자 및 모듈내 다른 부품의 소손 등에 의하여 부정한 출력이 발생되지 않도록 한다.
- ② 출력확인(Feed-back)회로에 의하여 출력에 대한 정상동작 여부를 확인하고 출력모듈 자체적으로 안전측(fail-safe)으로 동작하도록 한다.
- ③ 출력단자중 사용하지 않는 단자는 DC24V (-)측으로 접지하여야 한다.
- ④ 각 출력포트의 부하전류가 정격의 1.1배~1.2배 범위에서 보호회로가 동작하여야 한다. 보호회로 동작시 출력전압은 정격의 5%이내로 감소하여야 하며 과전류 원인이 제거된 후 정상상태로 자동 복귀되도록 한다.

사. 연동논리부 선로전환기제어모듈

- ① 선로전환기 1대의 제어는 출력정보 2개(2bit)이상을 사용하고 1개의 모듈은 8대의 선로전환기를 제어한다.
- ② 정위 제어는 DC(+)24V, DC(-)24V를, 반위 제어는 DC(-)24V, DC(+)24V를 각각 출력하고 제어하지 않을 경우 모든 출력포트는 DC±24V에 대하여 절연상태(high impedance)를 유지한다.
- ③ 사용하지 않는 출력{(+)-(+) , (-)-(-) , off-(+) , off-(-)}은 발생되지 않도록 하여야 하고 외부 또는 물리적 요인 등으로 발생될 경우 부정출력검지회로가 동작한다.

아. 광통신부

- ① 표시제어부 CTC, 원격제어, 열차번호 송수신, 유지보수부 및 기타 외부장치와의 광통신을 하기위한 장치로써 하나의 서브랙에는 광변환모듈을 9개 이상 삽입할 수 있도록 한다.
- ② 광통신부는 19인치 표준 기기랙, 광통신 서브랙, 광케이블 분배함으로 구성한다.
- ③ 외부장치로 접속되는 모든 통신은 광변환모듈과 광점퍼코드를 사용하여 절연을 하여야 하며 이상 전압 유입으로 인한 장치의 사용중단을 초래하지 않아야 하고 각 모듈의 장애상태를 검지할 수 있도록 한다.

차. 표시제어부

- ① 표시제어부 컴퓨터는 절체스위치에 의하여 통신 회선과 모니터회선을 절체하여 예비컴퓨터로 사

용할 수 있도록 한다.

- ② 광통신 케이블 2코어를 사용하여 연동논리부와 접속하고 통신회선 또는 광변환 모듈 등 광통신부 장에서는 연동논리부와는 별도로 통신회선만 자동 절체 되도록 한다.
- ③ 서브랙에는 키가 부착된 CTC비상요구 스위치를 부착하여야 하며 취급확인 표시등이 있다.
- ⑤ 광통신모듈용 서브랙의 구성 및 전원모듈, 광변환모듈은 광통신부와 동일하게 하고 상호 호환이 된다.

2.2 전자연동장치의 안전성 분석

가. HAZARD 도출

- ① 전원공급기(직류전원공급 장치)의 불안정 및 노이즈 침투
- ② 각 주변기기와의 인터페이스 불량일 경우
- ③ 내부 논리회로부 오동작 및 부정동작이 발생될 경우
- ④ 외부의 입력 데이터 오류가 발생할 경우
- ⑤ RAM 또는 EPROM상의 메모리내 에러가 발생된 경우
- ⑥ 컴퓨터 장치와 데이터 전송시 통신불량이 된 경우
- ⑦ 일반적인 소프트웨어 에러 및 순간적인 잠음으로 인한 소프트웨어의 정상 동작을 중단시킬 경우
- ⑧ 바이탈 직렬통신 링크의 마스터 또는 슬레이브 영역상에 재생할 수 없는 결함이 발생된 경우
- ⑨ 시스템 기능상태, 정보제어 및 표시기억상에 치명적인 오류가 발생할 경우
- ⑩ ROM상의 데이터와 RAM상의 데이터에 오차가 발생할 경우
- 인터로킹 마이크로프로세서에 심각한 오류가 발생한 경우
- Non-Vital Control Module 제어부에 에러가 발생된 경우
- Dual System의 절체기능이 정지된 경우
- Vital Kill 회로에 이상주파수가 수신된 경우
- 너무 많은 코드화된 출력이 동시에 대기 상태에 있는 경우
- 실행 소프트웨어의 이중 프로세서 경로에 불일치가 된 경우
- I/O Module상의 Bus Interface Chip에 이상유무 기능이 정지된 경우
- 취급자의 부주의로 인하여 PRE-LOCK이 발생된후 해제되지 않은 경우
- 실행 소프트웨어의 이중 프로세서 경로에 불일치가 된 경우
- 기타 예기치 못한 사고 등

2.3 사고발생 확률 및 심각도

가. 사고발생 확률

위험원의 각 규명된 원인 그 위험원에 대해서 정상적인 발생확률을 갖는다. 정성적인 확률분류는 다음과 같이한다.

정 의	내 용
자주(Frequent)	운용마다 빈번하게 발생하는 것
종종(Probable)	일생 운용동안 여러회 발생하는 것
가끔(Occasional)	일생 운용동안 가끔 발생할 수 있는 것
거의(Remote)	일생 운용동안 가끔 발생할 가능성이 있는 것
없음(Improbable)	발생할 가능성이 전혀 없는 것

* 발생가능한 장애, 제작결함 및 설치오류 등이 다음과 같이 분류하여 사고 발생확률, 심각도의 위험 평가를 하고자 함.

구 분	내 용	비 고
Frequent	VI. 디스플레이 오류	VI
Probable	V. 순간적인 노이즈 발생으로 인한 통신에러	V
Occasional	IV. 주변기기간 인터페이스 불량	IV
Remote	III. 전원공급용 정류기 고장	III
Improbable	II. 전원공급용 정류기 2중계 모두 고장	II
Incredible	I. 전자연동장치 2중계 모두 고장	I

나. 사고발생 심각도

정 도	내 용	비 고
치 명	I. 전자연동장치 2중계 모두 고장	
심 각	II. 전원공급용 정류기 2중계 모두 고장 III. 전원공급용 정류기 고장	
상 당	IV. 주변기기간 인터페이스 불량 V. 순간적인 노이즈 발생으로 인한 통신에러	
무 시	VI. 디스플레이 오류	

다. 위험도 평가

위험도는 다음 도표와 같이 6개 등급으로 구분하여 사용한다.

분 류	치명적	심 각	상 당	무시가능
빈 번				
중 중			V. 순간적인 노이즈 발생으로 인한 통신에러	VI. 디스플레이 오류
가 끄		II. 전원공급용 정류기 2중계 모두 고장	IV. 주변기기간 인터페이스 불량	
거 의	I. 전자연동장치 2중계 모두 고장	III. 전원공급용 정류기 고장		
무 시				
없 음				

3. 결 론

이상에서 설명한 바와 같이 전자연동장치는 순간적인 노이즈 발생등으로 통신에 에러가 발생되고 있음을 알 수 있었다. 단순히 통신상의 에러로 끝나면 큰 문제는 없지만 동시에 연관하여 다른 에러가 겹치게 되면 열차운행에 막대한 지장을 초래하게 된다. 그러므로 다음과 같은 원천적인 통신에러에 대한 대책이 있어야 하겠다.

가. 전자연동장치 전원부의 Noise 및 Surge 대책

전자연동장치의 전원부는 Noise 및 Surge로부터 민감한 부분으로 전원부 내부에 필터 및 보호회로

를 구성하고, 전원부 외부에는 Surge보호기를 설치하여, 낙뢰에 대한 시스템의 장애를 방지하여야 한다. 시스템의 기구(랙, 쉘프)들은 모두 전원에서 오는 PE(Protective Earth)선에 연결하여, 전자연동장치 전체를 완전하게 그라운드 처리 하여야 한다.

나. 연동논리부의 Noise 및 Surge 대책

연동논리부는 외부의 장비들과 Ethernet, RS232, RS485, Opto Isolator의 4가지 인터페이스를 한다. 이중 Opto Isolator는 동작계와 대기계의 병렬통신을 위한 부분으로 광스위칭 소자인 Opto Isolator에 의해 전기적으로 완전히 절연이 되어있다. Ethernet과 RS485는 외부에서 들어오는 케이블이 송수신 데이터신호와, 데이터신호의 그라운드 신호가 같이 들어오는 방식으로 시스템 내부에서 통신용 1:1 트랜스포머에 의해 완전히 분리되어 들어온다. 따라서 외부의 Noise에 대해 강건하다고 할 수 있다.

Noise에 가장 문제가 되는 시리얼데이터 라인인 RS232는 송수신을 위한 2개의 데이터라인과, 공통의 접지라인에 의해 외부장비와 연결된다. 이러한 연결구조는 시스템의 전원그라운드와, 외부장비의 전원그라운드가 시리얼케이블에 의해 연결되는 구조로, 장비의 전원 인가시나 외부장비의 이상신호 발생시에 시스템 전체에 오동작의 원인이 된다. 따라서 RS232로 외부의 장비와 인터페이스 하는 모든 데이터선들은 시스템내부에 전용의 Noise 및 Surge보호기를 장치하여 시스템을 외부의 Noise 및 Surge로부터 보호하여야 한다.

다. 입력모듈의 안전성 보완

입력모듈은 DC 레벨의 전압입력을 시스템에서 입력받을 수 있도록 DC5V 레벨로 스위칭 시켜주는 부분과, 스위칭된 값을 상위장치인 연동논리부로 통신해 주기 위한 2중의 프로세서부로 구성되어있다. 현장에서의 DC입력은 궤도회로입력이나, 주변기기와의 인터페이스 등 많은 신호설비와 인터페이스를 하도록 설계를 해야한다. 따라서 선로전환기제어모듈에 속해있던 입력부분을 독립시키고, 접점을 64접점으로 크게 증가시켜, 운용상의 안전성 및 모듈의 교체시에도 입력을 계속 받을 수 있는 구조로 설계하여 안전성을 높게 하여야 한다.

참고문헌

1. 이종우외 4명(2001년), “철도신호제품에 대한 신뢰성과 안전성 검증기준 제정 연구”, 한국철도 기술 연구원 철도청 수탁과제 최종보고서.
2. 이종우외 1명(2002년), “철도 신호보안장치 안전성 규격의 발전동향”, 한국철도학회지/제5권/제4호 /2002년/25.
3. 이종우외 1명(2002년), “컴퓨터를 활용한 철도제어 시스템에서의 안전성 및 신뢰성 확보방안”, 한국 철도학회지/제5권/제4호/2002년/31.
4. 서울특별시도시철도공사, “도시철도5, 6, 7, 8호선 신호시스템 해설(EIS)”
5. 철도청(2001년), “열차제어시스템 안전성 확보 기술 권고안”, <http://www.korail.go.kr>
6. 김영태 저, “철도신호시스템 개론“
7. 철도청, 철도기술연구원, “철도기술백서”