고속철도기술개발사업 최종보고서

R&D/ Ⅱ-2

고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 연구보고서

2007. 10.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
LS산전(주)
(주)대우엔지니어링

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

Construction & Transportation R&D Report

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "고속철도기술개발 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발"의 최종보고서로 제출합니다.

2007 . 10. .

주관연구기관 : 한국철도기술연구원
LS산전(주)
(주)대우엔지니어링
대표이사 채 남 희
김 정 만
남 정 현

■ 총 괄 연 구 책 임 자	/ 책임연구원	이 재 호	신뢰성분야 총괄
	/ 책임연구원	조 용 기	자동열차제어장치분야총괄
	/ 상무보	전 현 덕	전자연동장치분야총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	김 용 규	신뢰성분야
	/ 선임연구원	이 준 호	신뢰성분야
	/ 주임연구원	신 덕 호	신뢰성분야
	/ 연 구 원	이 강 미	신뢰성분야
	/ 연 구 원	조 현 정	신뢰성분야
	/ 책임연구원	김 치 조	자동열차제어장치분야
	/ 선임연구원	강 만 식	자동열차제어장치분야
	/ 선임연구원	임 재 식	자동열차제어장치분야
	/ 선임연구원	양 찬 석	자동열차제어장치분야
	/ 선임연구원	김 학 진	자동열차제어장치분야
	/ 선임연구원	황 호 진	자동열차제어장치분야
	/ 주임연구원	김 준 모	자동열차제어장치분야
	/ 주임연구원	엄 정 규	자동열차제어장치분야
	/ 주임연구원	김 현 민	자동열차제어장치분야
	/ 주임연구원	이 원 희	자동열차제어장치분야
	/ 연 구 원	한 재 문	자동열차제어장치분야
	/ 연 구 원	방 융	자동열차제어장치분야
	/ 부 장	황 경 환	전자연동장치분야
	/ 부 장	류 호 증	전자연동장치분야
	/ 부 장	홍 정 희	전자연동장치분야
	/ 대 리	조 찬 준	전자연동장치분야
	/ 사 원	여 인 선	전자연동장치분야

요 약 문

Ⅰ. 제 목

고속철도 열차제어시스템 안정화 기술개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

철도신호시스템은 열차를 안전하게 운용하도록 하는 시스템으로서 선로, 차량, 전철과 더불어 철도시스템을 구성하는 핵심시스템 중의 하나이다. 신호시스템에서 개발하는 자동열차제어장치와 전자연동장치는 열차운행안전, 운전효율 향상에 직접적인 영향을 미치는 시스템으로써 선도기술개발 사업에서 개발된 자동열차제어장치와 전자연동장치의 운행 안전도와 가용도를 현재 KTX에서 운영하고 있는 수준이상으로 향상시키기 위한 것이다. 따라서 개발 제품에 대한 신뢰성과 안전성에 관해서 정성 및 정량적인 평가를 할 수 있도록 하며, 신뢰도와 안전도 목표를 만족하도록 성능을 개량하는 것이다.

현재 철도에서 요구되는 가용도를 만족하지 못하는 경우 잦은 고장으로 인하여 철도의 운용신뢰성이 저하되고 경우에 따라서는 파국적인 사고의 원인이 되기도 한다. 따라서 신호시스템에서 고장이 발생하여도 사고로 이어지지 않도록 하는 것이 중요하다.

현재는 컴퓨터를 이용한 제어가 상당한 유연성을 갖기 때문에 산업의 여러 분야에서 적용과 응용이 확장되어 가고 있으므로, 산업의 여러 분야에서 발생되는 고장의 형태와 발생되는 사고의 형태도 변화하고 있다.

열차제어시스템은 철도를 운용하기 위한 필수시스템이므로 상용화시키기 위해서는 사회 통념상 철도에 요구되는 신뢰성과 안전성을 일정수준이상으로 반드시 확보하여야 한다.

열차제어장치를 구성하는 요소 중 자동열차제어장치에서 이용되는 기술은 고속철도 시스템 엔지니어링 기술, 소프트웨어 설계기술, 신뢰성 및 안전성 분석기술, 통신 응용기술, 각종 하드웨어 설계, 제작 기술 등 국내의 소프트웨어, 전자·통신 및 컴퓨터 산업계 전반에 걸쳐 관련이 있기 때문에 열차제어장치의 국산화는 관련분야로의 기술 파급효과를 얻을 수 있어 국내의 기술발전에 크게 기여할 것이다.

전자연동장치는 국철에서 사용하는 모든 역의 연동장치가 단계적으로 전자연동장치로 대체될 예정이며 또한 계속 건설되고 있는 지하철 및 고속철도 분야에도 전자연동장치의 도입은 필수적이다. 따라서 전자연동장치의 국내 기술 개발시 기업의 수익성 향상, 수입대체, 국외시장 진출의 참여 등의 효과를 얻을 수 있으며, 신기술 개발과 산업 발전에 많은 영향을 미칠 수 있다. 전자연동장치의 안정화 기술개발은 실용화 확보를 위한 바람직한 방향으로 신뢰성 확보와 함께 전반적인 안정화 체계를 구축함으로써 선진 기술로의 도약을 실현하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

한국형고속철도 열차제어시스템 안정화를 위해 한국철도기술연구원에서는 시스템 안정화를 정량적으로 평가하기 위한 평균고장시간의 예측 및 입증을 수행하고, 유지보수체계를 구축을 위한 요구사항 도출을 위해 관련규격을 분석하여, 한국형고속철도 열차제어시스템을 위한 유지보수체계를 제안하였다. LS산전(주)과 (주)대우엔지니어링은 각각 제작사별로 개발된 자동열차제어장치와 전자연동장치의 시운전시험을 통해 시제품의 기능보완사항을 설계에 반영하고, 시운전시 발생된 고장정보의 분석을 바탕으로 시스템 안정화를 추진하였으며, 한국철도기술연구원에서 제시한 MTBF입증을 위한 가속스트레스시험 모델 및 절차서를 기준으로 공인기관과 자체적으로 구축한 시험환경에서 열차제어시스템의 신뢰성시험을 실시하였다.

또한 한국철도기술연구원에서는 전기/신호엔지니어링 분야의 교육훈련매뉴얼을, LS산전(주)에서는 자동열차제어장치 교육훈련매뉴얼을 그리고 (주)대우엔지니어링에서는 전자연동장치 교육훈련매뉴얼을 각각 국문과 영문으로 작성하였으며, LS산전(주)와 (주)대우엔지니어링에서는 개발한 장치의 유지보수매뉴얼을 작성하였다. 작성된 교육훈련매뉴얼과, 유지보수매뉴얼은 별권으로 작성되었다.

가. 신뢰성분야

(단위 : 천원)

단계	구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	연구범위	연구비
1단계	1차년도 (2002)	시제품안정화시험 (1)	- 운영환경 및 신뢰성 평가항목 선정 - 고장분석절차개발	문서화	110,000
	2차년도 (2003)	시제품안정화시험 (2)	- 고장메커니즘분석 및 FMEA 수행 - 신뢰성시험 기본이론 조사 - 신뢰성향상 절차개발	문서화	150,000
	3차년도 (2004)	신뢰성 예측 및 분석	- 자동열차제어장치 신뢰도예측 및 분석 - 전자연동장치 신뢰도예측 및 분석	문서화	140,000
2단계	4차년도 (2005)	신뢰성확보	- 시험전문기관 신뢰성시험 - 유지보수 기준(안) 작성	문서화	230,000
	5차년도 (2006)	유지보수체계구축	- 유지보수체계 구축 - Reliability Centered Maintenance 분석 - 자체신뢰성시험 - 교육훈련매뉴얼작성	문서화	280,000

(1) 1차년도 시제품안정화시험(1)

1차년도에 수행한 시제품안정화(1)는 기능구현이 완료된 열차제어시스템의 시제품을 대상으로 신뢰도를 정량적으로 예측하여 신뢰성목표의 만족여부를 확인하고, 시제품의 신뢰도가 목표를 만족하지 못하는 경우 시제품의 신뢰도 향상을 위한 방안을 제시하는데 목적이 있다. 따라서 1차년도에는 결함허용시스템의 설계기법과 같은 이론에 대한 조사 및 분석을 통해 열차제어시스템 신뢰도 예측을 위한 방안 및 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위한 기초 연구를 수행하였다.

또한, 시스템의 기능상실이 단순히 시스템의 가용성을 저하시키는 요인이기도 하지만, 기능상실의 결과가 사고로 발전되어 인명이나 재산의 손실을 가져올수 있다. 따라서 이러한 고장을 안전과 관련된 고장으로 분류하여 시스템의 안전성을 관리하기 위한 고장분석절차에 대한 연구를 통해 열차제어시스템 신뢰성과 안전성 목표의 달성을 위한 분석, 예측, 향상방안을 연구하였다.

(2) 2차년도 시제품안정화시험(2)

2차년도에는 1차년도에 수행된 신뢰성관련 이론조사 및 분석을 바탕으로 신뢰성향상을 위한 절차인 신뢰성향상프로그램과 신뢰성시험방안을 개발하였다.

이를 위해 시스템 내부에서 발생되는 고장으로 인한 영향을 분석하는 기법인 고장모드영향분석(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)연구를 통해, 정의된 열차제어시스템을 대상으로 고장을 발생시킬 수 있는 원인들을 분석하고, 고장원인의 발생확률을 정량적으로 추적하는 연구를 수행하였다.

그리고, 열차제어시스템의 신뢰성입증을 위한 가속수명시험방법(신뢰성시험방법) 개발을 위해, 가속시험의 종류, 스트레스 요인 및 관련 규격에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 열차제어시스템의 신뢰성 확보를 위한 절차를 신뢰성 향상프로그램으로 정의하고, 모듈단위 고장률 예측, 시스템단위 신뢰성예측, 모듈단위 신뢰도 시험 등에 관한 연구를 통해 신뢰성 시험방법을 개발하였다.

(3) 3차년도 시제품안정화시험(3)

3차년도에는 열차제어시스템을 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하드웨어/소프트웨어 신뢰도를 정량적으로 예측하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해, 미국방부 전기전자부품 고장률 예측지침인 MIL-HDBK-217을 기준으로 다중계 구조를 고려한 시스템 단위 신뢰도 예측 방안에 대한 연구를 수행하였다.

특히, 위탁기관에서 제시한 신뢰성시험절차에 따라 열차제어시스템의 소프트웨어 신뢰도예측 및 입증을 수행하여, 이를 자동열차제어장치와 연동장치의 신뢰도 예측치에 반영하였으며, 하드웨어 신뢰도는 스트레스 요인에 따라 예측신뢰도를 입증하는 가속수명시험방법을 개발하였다.

(4) 4차년도 신뢰성확보

4차년도에는 열차제어시스템 하드웨어 신뢰도시험을 위해 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치에 대하여 4차년도까지 보완된 열차제어시스템의 고장률을 미국방부 전기전자부품 고장률 예측지침인 MIL-HDBK-217을 기준으로 재예측하고, 이를 입증하기 위해, 전자부품으로 구성된 제어기의 최대 스트레스요인인 온도에 대하여 공인시험기관에서 가속수명시험을 수행하였다.

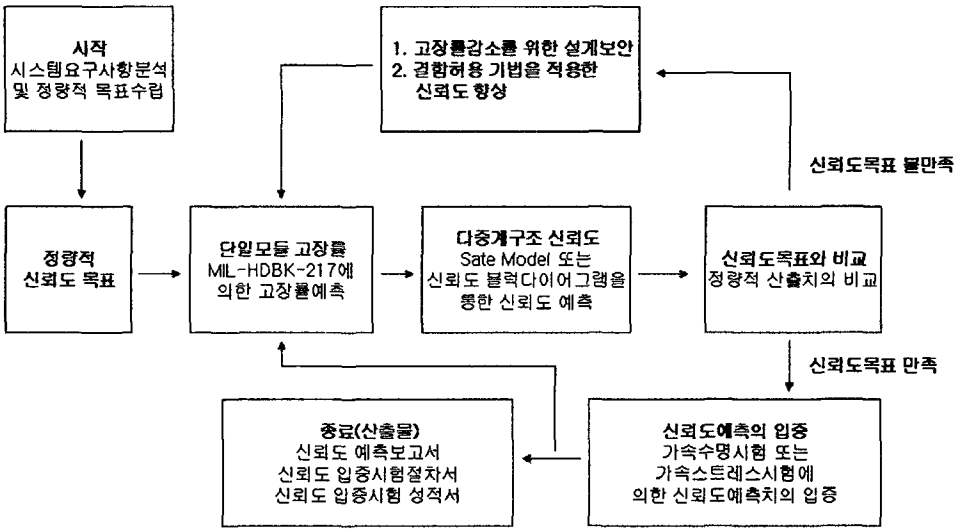


그림 1 열차제어시스템 신뢰성관리 흐름도

공인기관에서 가속수명시험을 수행하기 위해, 한국철도기술연구원에서는 그림 1과 같이 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하부구성요소 단위로 입출력의 기술사양을 제시하고, 제작사에서 시험시 정상동작을 입증하기 위한 시험지그의 구성 및 고장의 판단기준을 제시하였다.

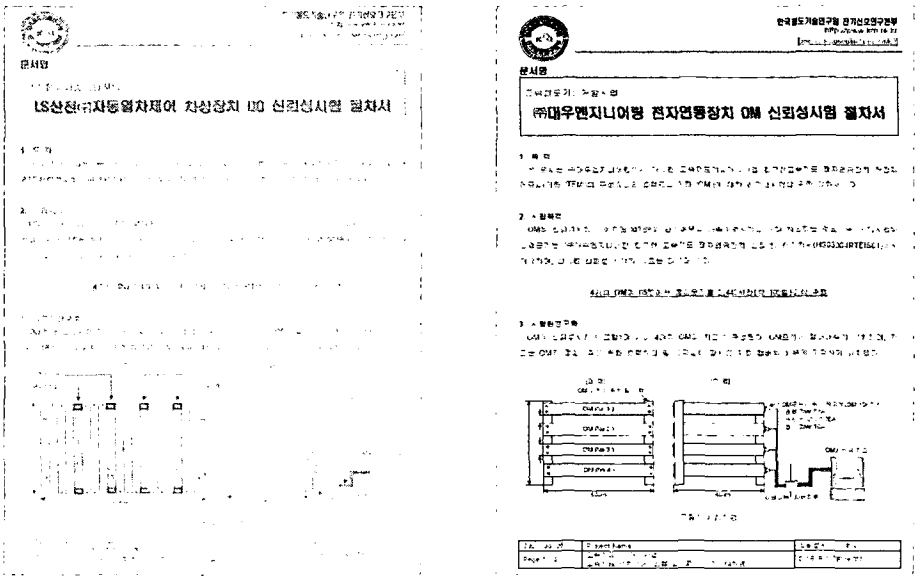


그림 2 자동열차제어장치 DO 및 전자연동장치 OM의 신뢰성시험 절차

또한 차년도의 유지보수체계 구축을 위한 유지보수 기준(안)작성에 대한 연구는 전자부품으로 구성된 제어기의 정량적·정성적 유지보수체계와 관련된 미국방규격인 MIL-HDBK-470A과 MIL-HDBK-472N1을 분석하여 유지보수체계 구축을 위한 요구사항을 표 1과 같이 도출하였다.

표 1 수명주기별 유지보수체계요구사항

수명주기	요구사항	열차제어시스템 유지보수기준(안)
개념설계	가.유지보수의 타당성 조사 나.운영상 요구조건 다.유지보수 개념 라.정량적 유지보수 요구사항 도출 마.정성적 유지보수 요구사항 도출	가.유지보수체계에 따른 시스템 가용도 평가 나.장치의 분류 및 유지보수를 위한 요구사항 정리 다.열차제어시스템 예방유지보수와 교정유지보수 정의 라.MTTR목표수립 마.유지보수의 정성적 요인 정리
초기시스템설계	가.시스템 기능분석 및 요구사항할당 나.시스템 설계 다.설계의 검토 및 평가 라.신뢰도 예측, FMEA, 가용도 분석, 유지보수도 예측을 통한 유지보수 분석	가.하부시스템 MTTR목표 할당 나.열차제어시스템 기능사양서로 대체 다.해당없음 라.하부구성요소단위 예방유지보수와 MTTR에 따른 시스템 가용도 분석
상세설계 및 개발	가.하부시스템 및 제품설계 나.제품의 모형제작 다.모형 테스트 라.설계 분석 마.설계검토 및 평가	가.해당없음 나.해당없음 다.관련규격에 따른 설계의 MTTR평가 라.해당없음 마.시운전시 발생한 고장정보 분석을 통한 예방 및 교정유지보수요인 분석
제작	가.제작 나.최초 장치 시험 다.제품의 평가 라.제품의 교정 및 개선을 위한 설계 변경	가.해당없음 나.해당없음 다.유지보수기록 분석을 통한 MTTR평가 라.유지보수관련 설계변경이력의 정리
시스템운영	가.운영환경에서 시스템운영 나.유지보수 지원 시스템 평가 다.제품 최적화를 위한 설계 변경	가.시운전데이터 정리 나.예방유지보수와 관련된 유지보수기록의 분석 및 평가 다.최종설계에 대한 유지보수관련사항 정리

(5) 5차년도 유지보수체계구축

5차년도에는 신뢰도기반 유지보수(RCM, Reliability Centered Maintenance) 이론을 분석하고, 과년도에 분석한 미국방규격인 MIL-HDBK-470A, MIL-HDBK-472N1과 함께, 열차제어시스템에 적용하여, 열차제어시스템 유지보수체계구축을 하였다.

RCM은 유지보수대상의 고장분포에 따라 유지보수 결정로직을 적용하여, 고장에 적합한 유지보수업무를 할당하고, 업무별 정량적 유지보수업무주기를 산출하는 체계적이고 논리적인 방법이다. 그림 3은 미국방 규격 MIL-STD-2173(AS)에서 제시하는 RCM 절차로 장비설계특성과 같은 초기 장비에 대한 정보요구사항과, 운용경험정보로, 유지보수대상장비의 고장을 RCM 결정논리에 의해 분류하여, 유지보수업무를 할당하는 방법이다.

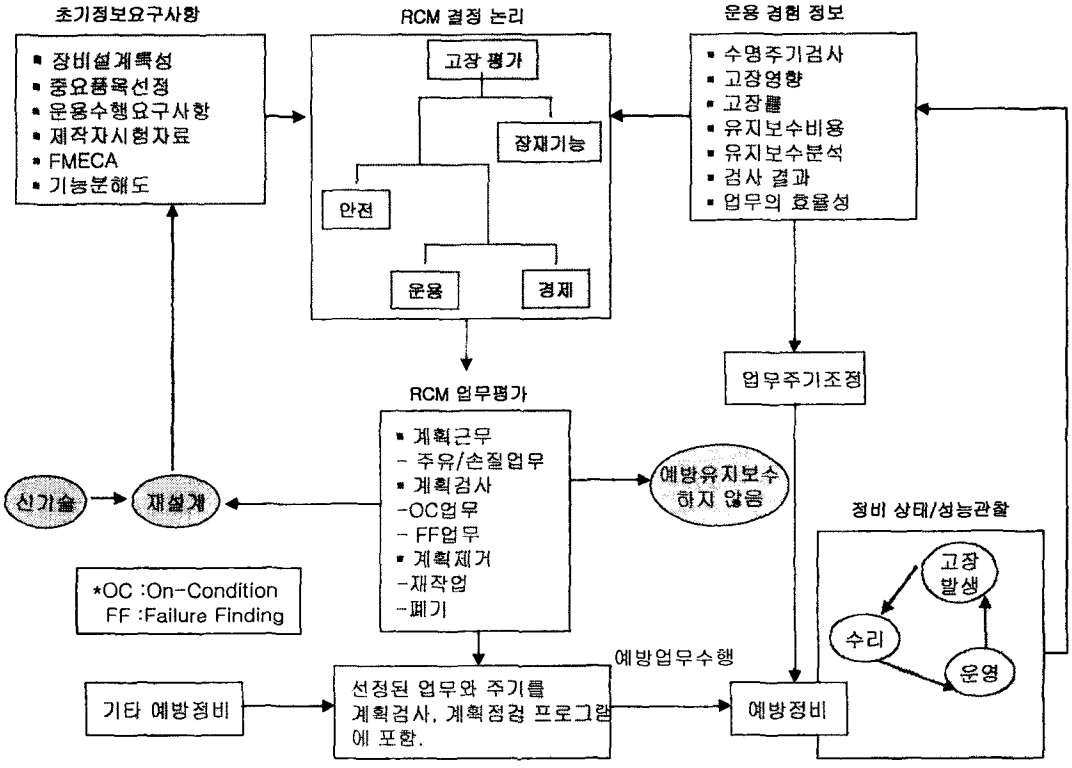


그림 3 MIL-STD-2173(AS)의 RCM 절차

국외 RCM에 관련규격들 및 RCM이론을 분석하여, 한국형고속철도 열차제어시스템을 위한 유지보수체계를 그림 4와 같이 구축하였다.

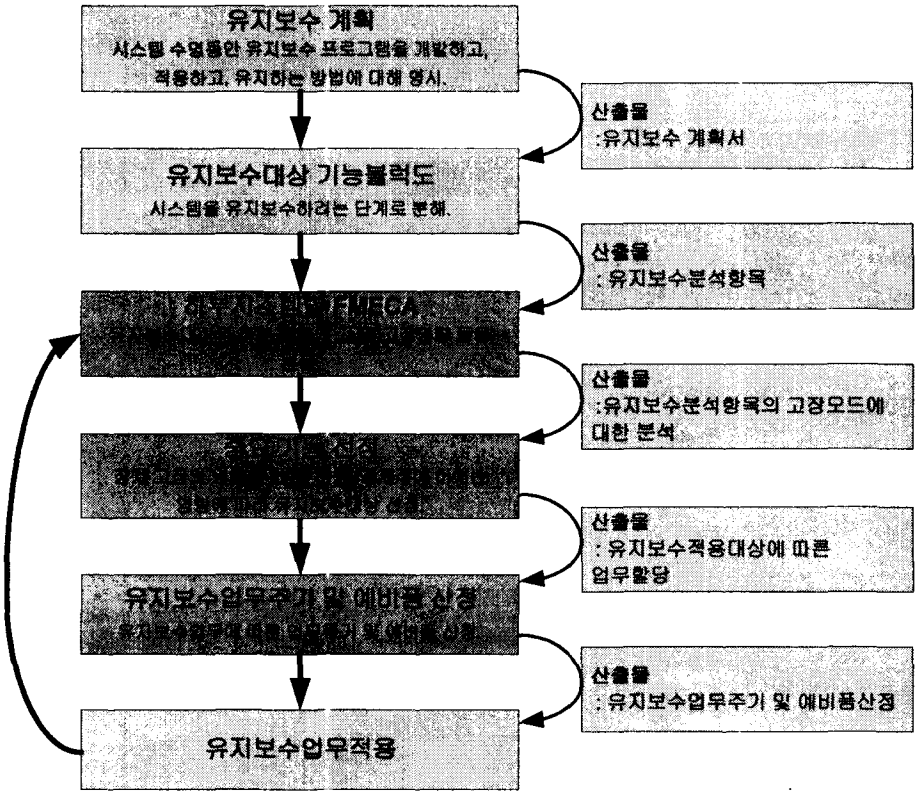


그림 4 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수체계

한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수체계는 유지보수계획을 통해, 장비의 수명주기동안 누가, 무엇을, 어떠한 방법으로, 어떠한 순서로, 어떠한 자원을 가지고, 언제 유지보수를 수행해야하는지를 포함하는 유지보수계획를 세우고, 유지보수대상장비에 대한 기능블럭도를 통해, 하부시스템별 FMEA를 수행한다. 이때, 유지보수대상을 RCM결정논리에 의해 중요기능과 비중요기능으로 분류하여, 중요기능에 대해 유지보수업무와 업무주기를 할당하여, 이를 실제 유지보수업무에 적용하고, 보완해가는 작업을 계속 수행해야한다. RCM을 적용한 한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수체계는 예방유지보수를 위한 것이고, 교정유지보수 평가를 위해서는 MIL-HDBK-472N1를 적용하여, MTTR(Mean Time To Repair)로 나타낼 수 있다.

따라서 한국형고속철도 열차제어시스템유지보수체계를 적용하여, 자동열차제어장치와 전자연동장치의 예방유지보수를 위한 교체주기와 교정유지보수를 위한 MTTR 평가 결과를 표 2와 표 3과 같이 나타낼 수 있다.

표 2 자동열차제어장치 유지보수도 평가

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	PSU	2.02×10^{6}	495,050	0.2	304,800
2	CPU	9.58×10^{-6}	104,384	0.3	64,296
3	COM	6.49×10^{6}	154,083	0.3	94,824
4	DISCON_RX	8.66×10^{6}	115,473	0.3	71,064
5	CON_RX	7.58×10^{6}	131,926	0.3	81,240
6	DI	8.22×10^{6}	121,655	0.3	74,964
7	DO	9.27×10^{6}	107,875	0.3	66,384
8	VIN	2.51×10^{6}	398,406	0.3	245,280
9	MTBSF = 465,116,279 Hour				
10	MTTR = 0.29 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472를 기준으로 산출.				
11	Dangerous Failure Rate ATC_HD_001 = 7.85×10^{10}(SIL4)				

표 3 전자연동장치 유지보수도평가

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	CPU	8.37×10^{6}	119,474	0.2	73,560
2	Swith Board	6.62×10^{6}	151,067	0.3	93,000
3	SHR	5.30×10^{6}	188,679	0.1	116,184
4	TFM_PM	7.62×10^{6}	131,234	0.2	80,760
5	TFM_SM	6.24×10^{6}	160,256	0.2	98,616
6	TFM_IM	3.19×10^{6}	313,480	0.2	191,664
7	PSU	2.50×10^{6}	400,000	0.3	246,240
8	MTBSF = 952,381 Hour PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				
9	MTTR = 0.21 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472N1를 기준으로 산출.				
10	Dangerous Failure Rate IXL_HD_001 = 1.2×10^{11}(SIL4) IXL_HD_002 = 1.2×10^{11}(SIL4) IXL_HD_003 = 1.2×10^{11}(SIL4) PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				

또한 과년도에 수행하였던, 신뢰성 입증을 위한 가속수명시험을 한국철도기술연구원 자체적으로 수행하기 위해 그림 5, 그림 6과 같이 가속수명시험환경을 구축하고, 전자연동장치 PM모듈에 대한 자체 신뢰성시험을 수행하여, 전자연동장치의 예측 신뢰도를 입증하였다.

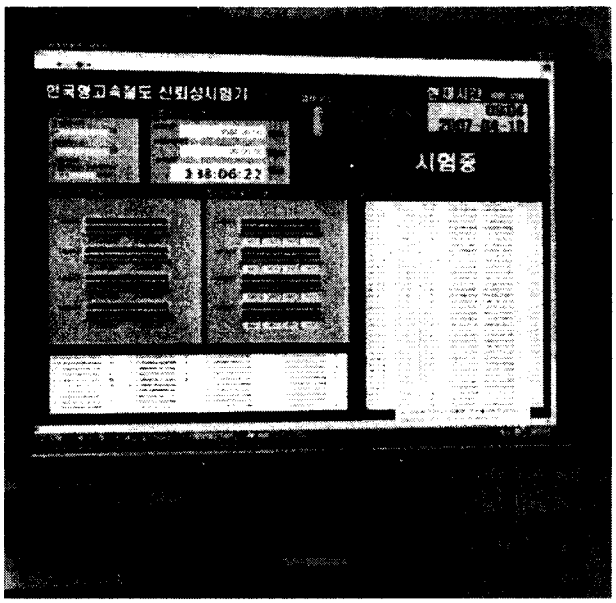


그림 5 신뢰성시험 소프트웨어

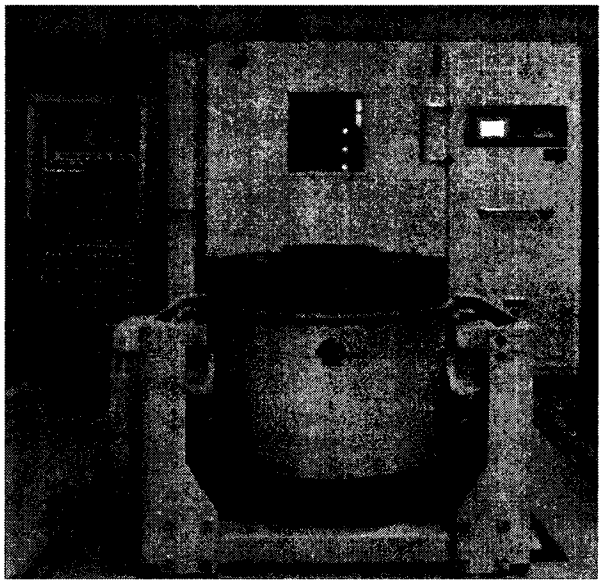


그림 6 자체신뢰성시험환경

마지막으로, 전기/신호시스템 엔지니어링 분야의 교육훈련매뉴얼의 국문본과 영문본을 작성하였다.

나. 자동열차제어장치 분야

(단위 : 천원)

단계	구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	연구범위	연구비
1단계	1차년도 (2002)	자동열차제어장치 안정화 시험(1)	- 시제품 안정화시험 ·차량탑재 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(1)	시스템 보완제작	325,000
	2차년도 (2003)	자동열차제어장치 안정화 시험(2)	- 시제품 안정화시험 ·차량탑재 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(2)	시스템 보완제작	465,000
	3차년도 (2004)	자동열차제어장치 안정화 시험(3)	- 시제품 안정화시험 ·차량탑재 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(3)	시스템 보완제작	500,000
2단계	4차년도 (2005)	자동열차제어장치 신뢰성확보	- 자동열차제어장치 시험전문기관 신뢰성시험 - 고장데이터 분석 및 설계보완	시제품보완 문서화	610,000
	5차년도 (2006)	자동열차제어장치 유지보수 체계 구축	- 자동열차제어장치 유지보수체계 - 교육훈련매뉴얼작성 - 유지보수매뉴얼작성	문서화	825,000

자동열차제어장치분야의 최종목표는 한국형고속철도 자동열차제어장치의 상용제품개발이다. 따라서 기능요구사항을 모두 만족하도록 제작된 시작품을 대상으로 고속선 시운전 및 신뢰성, 안전성활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 연구개발을 수행하였다.

(1) 1차년도 자동열차제어장치 안정화시험(1)

1차년도에는 고속선 주행시험을 수행하여 자동열차제어장치 기능을 전체적으로 시험하여 고장이 발생되면, 이를 수정 및 보완하고, 다른 장비와 인터페이스 시험을 하여 구현과 기능 정의의 문제점을 파악하였다.

(2) 2차년도 자동열차제어장치 안정화시험(2)

2차년도에는 고속선 주행시험을 수행하여 신뢰성을 높이기 위해 자동열차제어장치의 부분적인 기능 보완을 실시하고 자체 기능 시험이 수행된 자동열차제어장치를 고속열차에 장착하여 제품화 시키기 위해 기본 기능을 전반적으로 시험하였다.

(3) 3차년도 자동열차제어장치 안정화시험(3)

3차년도에는 고속선 주행시험을 수행하면서 주요 기능을 시험 절차에 따른 자동열차제어장치 제어 및 기능을 시험하기 위한 정적시험과 GR-TEST, ATC-ATS 자동절환 적용성 시험 등의 동적 시험을 실시하여 필요시 기능을 보완하였다.

(4) 4차년도 자동열차제어장치 신뢰성 확보

4차년도에는 주간 및 야간에 고속선 주행 시험을 수행하여 시험 운전자와 인터페이스하는 기기의 요구에 따라 부분적인 소프트웨어의 기능 수정을 실시하고 자동열차제어장치의 하부모듈의 신뢰성을 입증하기 위한 온도를 스트레스 요인으로 설정하여, 시험전문기관에서 가속수명시험을 실시하여, 신뢰성을 입증하였다. 그림 7은 신뢰성을 입증하는 공인기관 성적서이다.

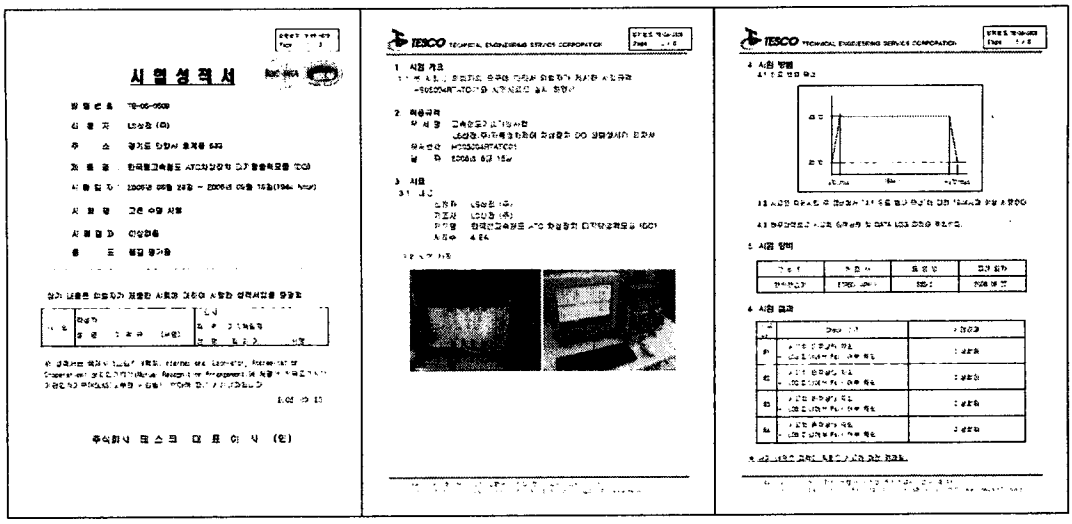


그림 7 자동열차제어장치 디지털출력모듈의 시험성적서

(5) 5차년도 자동열차제어장치 유지보수체계구축

5차년도에는 주간 및 야간 고속선 주행 시험을 수행하고 시험 중 발생하는 상황에 관해 시험 관련자에게 보고를 하며 시험 계획에 따른 부분적인 기능 추가를 실시하고, 4차년도와 동일하게 온도 스트레스요인의 가속수명시험을 공인기관에서 수행하여, 신뢰도를 입증하였다. 그림 8은 신뢰성을 입증하는 공인기관 성적서이다.

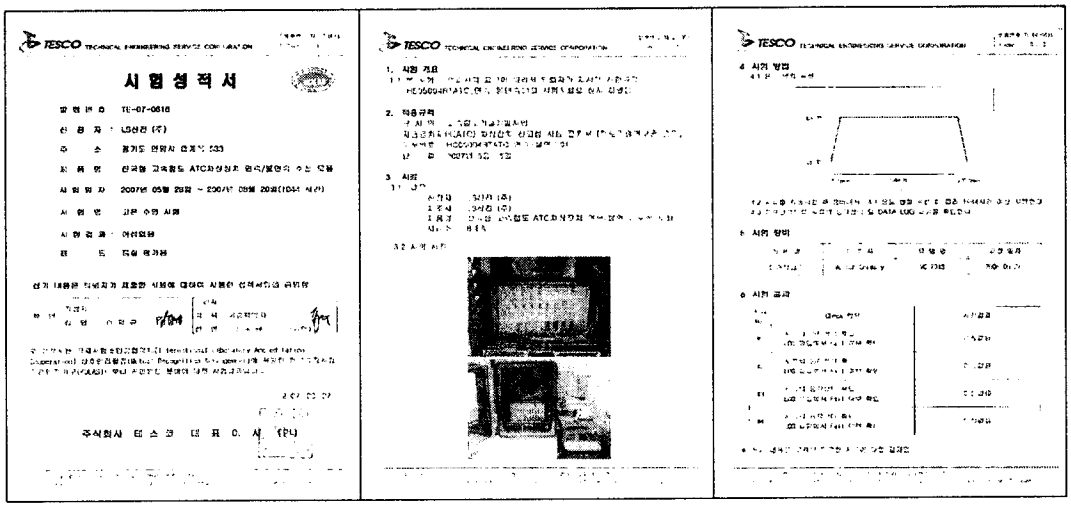


그림 8 자동열차제어장치 연속/불연속 수신모듈 시험성적서

다. 전자연동장치 분야

(단위 : 천원)

단계	구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	연구범위	연구비
1단계	1차년도 (2002)	전자연동장치 안정화 시험(1)	- 시제품 안정화시험 ·현장 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(1)	시스템 보완제작	325,000
	2차년도 (2003)	전자연동장치 안정화 시험(2)	- 시제품 안정화시험 ·현장 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(2)	시스템 보완제작	465,000
	3차년도 (2004)	전자연동장치 안정화 시험(3)	- 시제품 안정화시험 ·공장 시운전시험 ·내구성시험 - 안정화시험을 위한 유지보수(3)	시제품보완 문서화	500,000
2단계	4차년도 (2005)	전자연동장치 신뢰성확보	- 전자연동장치 시험전문기관 신뢰성시험 - 고장데이터 분석 및 설계보완	시제품보완 문서화	610,000
	5차년도 (2006)	전자연동장치 유지보수 체계 구축	- 전자연동장치 유지보수체계 - 교육훈련매뉴얼작성 - 유지보수매뉴얼작성	문서화	765,000

전자연동장치는 1차년도부터 2차년도까지 Prototype의 분산형 전자 연동장치를 현장 시운전을 통하여 안전성 및 신뢰성을 확보 하였고 3차년도는 현장 시운전을 경험을 바탕으로 하여 전자연동 설계 보안을 하였으며 4차년도와 5차년도에는 신뢰성 시험과 운영 시험을 병행하면서 안정화 기술 개발을 하였다. 발견 되는 문제나 현장 실무진들의 요구 사항을 반영하여 설계에 반영하여 제작 하였으며 신뢰성 시험을 위하여 전자파 시험과 항온 항습의 시험을 통과하

여 시스템 안정화를 입증하였다. 그림 9는 4차년도에 수행한 공인기관 신뢰성 입증시험 성적서이고, 그림 10은 5차년도에 수행한 공인기관 신뢰성시험 성적서이다.

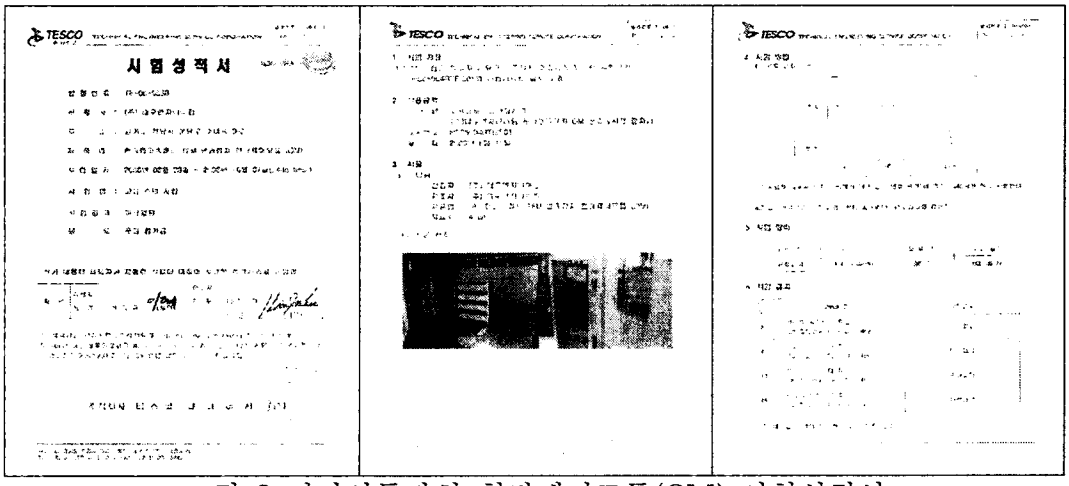


그림 9 전자연동장치 현장제어모듈(OM) 시험성적서

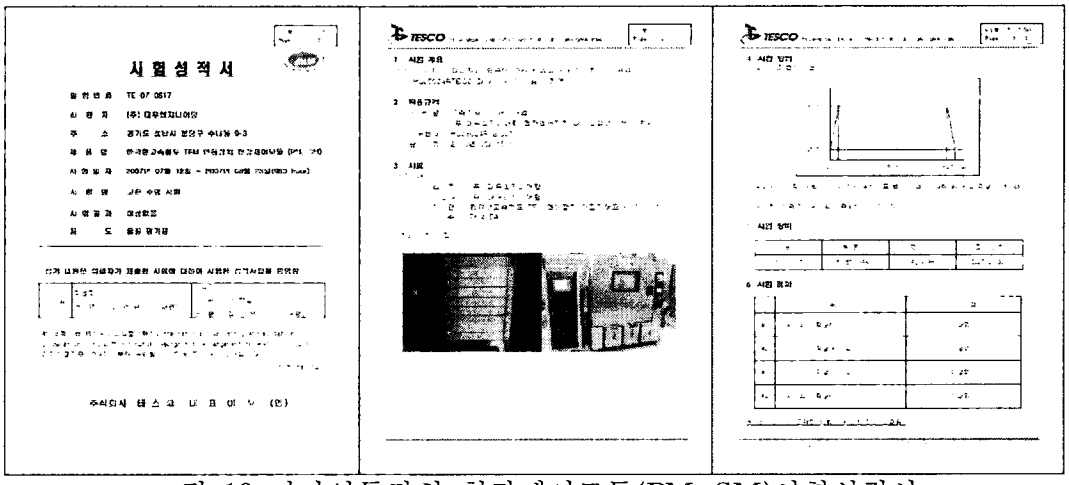


그림 10 전자연동장치 현장제어모듈(PM, SM)시험성적서

Ⅳ. 연구개발결과

가. 기술적 측면

철도신호제어용 컴퓨터의 신뢰성 및 안전성 시험방법의 개발은 반드시 필요한 절차 중의 하나이며, 본 과제를 수행함으로써 제품 개발의 초기단계부터 보다 정확한 설계변수를 파악할 수 있다. 원하는 신뢰성 및 안전성을 확보할 수 없는 경우에는 운용환경을 변경시켜 원하는 신뢰성 혹은 안전성을 확보하거나, 설계목표를 전환하여 다른 방법을 찾도록 할 수 있다.

자동열차제어장치의 안정화를 고속선 본선 주행 시험과 전문기관에서 신뢰성 시험을 통해 열차운행제어기술, 개별열차제어기술, 모니터링기술, 고장진단기술 및 다중계 제어기술의 향상을 유도할 수 있다. 열차운행 제어기술은 열차의 운행 및 조건 등에 관한 제어기술 습득으로 인한 기존 철도망의 수송 효율화를 꾀할 수 있으며, 개별 열차 제어기술은 각종 무선 통신 방식 및 송신기, 수신기 등의 기술 습득으로 인한 통신 기기 관련 업계 파급 효과를 기대할 수 있다. 또한, 속도 제어장치 등의 제어기법 기술 습득으로 공장 기계 등 정밀 기계 업계에 파급 효과가 기대된다. 모니터링 기술은 정보의 수집 및 분석 기능들에 대한 기술 향상으로 감시기술분야의 활용을 기대할 수 있으며, 고장진단기술은 각종 진단장치와 관련된 산업용 시스템의 설계 및 제작에 대한 H/W, S/W, 자동제어 및 모니터링 설비업계의 기술수준 향상에 기여할 것이다. 또한 다중계 제어기술은 제품의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

전자연동장치 안정화를 통한 기술적측면의 연구결과는 국내 신호기술의 정립이라는 큰 목표를 가지고 있다. 그 동안 계전 연동이론은 기술적인 '전수만 되어 왔을 뿐 체계화가 되어 있지 않았다. 이런 면에서 연동장치의 전자화와 함께 표준연동이론의 확립도 신호기술에서의 학문적인 연구체계를 갖추는데 기여하는 바가 클 것이다. 또한 전자연동장치의 핵심기술은 결함 허용 기술(Fault Tolerant Technology)로서 국내외에서 기술개발과 실용화를 위하여 Hot Issue가 되고 있는 부분이다. 컴퓨터가 산업전반에 걸쳐 사용되고 있으나, 컴퓨터는 환경조건에 약하고, 프로그램의 오류나 기기의 오동작이 일어날 수 있기 때문에 결함허용 기술을 갖는 컴퓨터의 필요성이 날로 증대되고 있는 실정이다. 따라서 전자연동장치의 개발은 결함허용 컴퓨터의 개발이며, 산업전반의 컴퓨터

기술이용에의 파급효과가 지대 할 것이다. 또한 전자연동장치는 국철에서 사용하는 모든 역의 연동장치가 단계적으로 전자연동장치로 대체될 예정이며 계속 건설되고 있는 지하철 및 고속철도 분야에도 전자연동장치의 도입은 필수적이다. 따라서 전자연동장치의 국내 기술 개발시 기업의 수익성 향상, 수입대체, 외국시장에의 참여 등의 효과를 얻을 수 있으며, 신기술 개발과 산업 발전에 많은 영향을 미칠 수 있다. 전자연동장치의 안정화 기술개발은 실용화 확보를 위한 바람직한 방향으로 신뢰성 확보와 함께 전반적인 안정화 체계를 구축함으로써 선진 기술로의 도약을 실현하고자 한다.

나. 경제·산업적 측면

WTO 체제 하에서는 자국의 규격을 가지고 다른 제품의 수입을 방지할 수 없도록 국제규격의 제정이 활발히 수행하고 있다. 국제규격에 의해서 인증을 받은 제품은 각 국의 국경을 쉽게 통과할 수 있다. 따라서 국제규격에 따른 신뢰성 및 안전성 인증은 수출의 촉진과 국내 철도사업자가 신뢰성과 안전성의 이유로 사용을 기피하던 국내제작 제어용 컴퓨터시스템을 국내시스템의 활용을 촉진시킬 수 있다.

자동열차제어장치와 관련해서는 현재까지 국내 고속전철 사업의 수입 의존도는 80%정도로 상당 부분이 수입에 의존하고 있는 상태이기 때문에 국내기술 개발에 의한 시스템의 국산화는 수입 대체 효과에 큰 성과를 줄 것으로 전망된다. 한편, 고속전철 산업의 세계 시장 규모는 날로 확대되고 있는 추세이기 때문에 기술 개발 후 해외 시장으로의 진출 확대는 상당한 수출 증대 효과를 기대할 수 있을 것이다.

전자연동장치와 관련해서는 국내 철도제어 기술의 국제 경쟁력 강화 및 열차 운행의 안전성, 쾌적성에 기여하고 각종 시뮬레이터와 관련된 유사 시뮬레이터의 수입대체 및 대외수출 효과 그리고 열차 운전 및 검수지원 등 유지보수 비용 절감 효과를 산업적측면의 연구 성과로 평가하고 있다.

V. 연구개발결과의 활용계획

신뢰성분야와 관련하여 제어용 컴퓨터의 신뢰성 및 안전성 평가 기술의 확보는 국내·외 모든 분야에서 컴퓨터를 제어용으로 사용하는 곳에서 활용할 수

있으며 안전관련 제어분야에 컴퓨터의 사용을 촉진시킬 수 있다.

자동열차제어장치는 현재까지 국내 고속전철 사업의 수입 의존도가 80%정도로 상당 부분이 수입에 의존하고 있기 때문에 국내기술 개발에 의한 시스템의 국산화는 기존 고속열차 관련한 수입 대체 뿐만 아니라 향 후 신규 고속전철 사업의 해외 의존도를 낮추는 데 큰 효과가 있을 것으로 전망된다. 한편, 고속전철 산업의 세계 시장 규모는 날로 확대되고 있는 추세로 기술 개발 후 동남아 등의 해외 시장으로의 진출 확대는 상당한 수출 증대 효과를 기대할 수 있을 것이다.

전자연동장치 안정화와 관련된 연구결과를 활용하기 위해서는 정부의 적극적인 지원과 생산·제조업체와 긴밀한 산학연 체제를 지속적으로 유지하여 기능개선 및 새로운 기술의 접목을 추구하여야 하며, 이러한 연구결과를 국철, 지하철, 동서고속철도 및 호남고속철도에 적용할 수 있으며, 도시형 경량전철에도 변형하여 적용이 가능하다.

S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

This is to aim at making a study of plans and basic theories to acquire the reliability and the safety required for equipment through quantitative analysis used for the reliability and the safety of Automatic Train Control(ATC), train control system for rapid transit railway, and Interlocking System(IXL)

Automatic Train Control(ATC) and Interlocking System(IXL) in train control system of rapid transit railway performs the target of the reliability and the safety required by Hazard and Risk analysis to each equipment in order to accomplish design goal for system's evaluation and improvement with Fault-Tolerant method which is one of system design method

In addition, a completed prototype of Automatic Train Control and Interlocking system is fulfilled field trial for service, performed modification of design and improvement of performance through Infant Mortality Phase fault occurred during prototype's filed adaption when system is producing.

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 연구목표 ····· 1
1. 신뢰성분야의 연구개발 목표 ····· 1
2. 자동열차제어장치분야의 연구개발 목표 ····· 1
3. 전자연동장치분야의 연구개발 목표 ····· 2
제 2 절 연구내용 및 추진체계 ····· 2
1. 신뢰성분야의 연차별 연구내용 ····· 3
2. 자동열차제어장치분야 연구내용 ····· 13
3. 전자연동장치분야 연구내용 ····· 15
4. 연구개발의 추진체계 ····· 24
제 3 절 최종목표달성을 위한 평가기준 ····· 26
1. 신뢰성분야 최종목표달성의 평가기준 ····· 26
2. 자동열차제어장치분야 최종목표달성의 평가기준 ····· 27
3. 전자연동장치분야 최종목표달성의 평가기준 ····· 28

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 29
제 1 절 신뢰성분야 ····· 29
1. 신뢰성분야 국내외 기술개발 현황 ····· 29
2. 신뢰성분야 향후전망 ····· 33
제 2 절 자동열차제어장치분야 ····· 34
1. 자동열차제어장치분야 국내외 기술개발 현황 ····· 34
2. 자동열차제어장치분야 향후전망 ····· 35
제 3 절 전자연동장치분야 ····· 36
1. 전자연동장치분야 국내외 기술개발 현황 ····· 36
2. 전자연동장치분야 향후전망 ····· 37
제 4 절 열차제어분야관련 지적재산권현황 및 대응방안 ····· 38
1. 열차제어시스템관련 지적재산권 현황 ····· 38
2. 지적재산권에 대한 대응방안 ····· 39

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 43
제 1 절 열차제어시스템 신뢰성분야 ····· 43
1. 1차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 43
2. 2차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 45
3. 3차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 51
4. 4차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 53
5. 5차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 72
제 2 절 열차제어시스템 자동열차제어장치분야 ····· 120
1. 1차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 120
2. 2차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 126
3. 3차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 132
4. 4차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 136
5. 5차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 158
제 3 절 전자연동장치 분야 ····· 187
1. 1차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 187
2. 2차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 234
3. 3차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 279
4. 4차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 296
5. 5차년도 연구개발내용 및 결과 ····· 302

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 317
제 1 절 연구개발목표의 달성도 ····· 317
1. 정성적 연구성과 ····· 322
2. 정량적 연구성과 ····· 323

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 327
제 1 절 신뢰성 분야 ····· 327
제 2 절 자동열차제어장치 분야 ····· 327
제 3 절 전자연동장치 분야 ····· 327

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보 ····· 329
제 1 절 국내 열차제어시스템의 안전입증 절차현황 ····· 330
1. KORAIL ATP 시스템의 위험도 허용수준 설정 ····· 330
2. ATP시스템 지상장치 인터페이스 위험원 도출 및 분석 ····· 332
제 2 절 ALARP이론을 적용한 안전입증 요구사항 검토 ····· 338
제 3 절 열차제어시스템 안전성인증에 대한 국외현황 검토결과 ····· 343

제 7 장 참고문헌 ····· 345

부록1. 고속선 열차제어시스템 유지보수체계분석

부록2. 자동열차제어장치 FMEA

부록3. 전자연동장치 FMEA

그림목차

그림 1.1 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 로드맵 ····· 3
그림 1.2 자동열차제어장치 DO 및 전자연동장치 OM의 신뢰성시험 절차 ···· 10
그림 1.3 자체신뢰성시험환경 1 ····· 12
그림 1.4 자체신뢰성시험환경 2 ····· 12
그림 1.5 자동열차제어장치 디지털출력 모듈 시험성적서 ····· 15
그림 1.6 자동열차제어장치 연속/불연속 수신 모듈 ····· 15
그림 1.7 전자연동장치 현장제어모듈(OM) 성적서 ····· 22
그림 1.8 전자연동장치 현장제어모듈(PM,SM) 시험성적서 ····· 23
그림 1.9 연구개발 추진체계 ····· 24
그림 3.1 열차제어시스템 신뢰성관리 흐름도 ····· 47
그림 3.2 Software reliability metric procedure ····· 52
그림 3.3 Schneidewind Model 3 ····· 52
그림 3.4 신뢰성시험절차 개발순서 ····· 55
그림 3.5 자체신뢰성시험 환경 ····· 73
그림 3.6 한국형고속철도 열차제어시스템 예방유지보수체계 ····· 80
그림 3.7 유지보수 대상기능블럭도 ····· 81
그림 3.8 유지보수대상 결정논리 ····· 82
그림 3.9 미해군에서 제시하는 유지보수업무로직 ····· 83
그림 3.10 열차제어시스템 유지보수업무결정로직 ····· 83
그림 3.11 PF 인터벌 ····· 85
그림 3.12 ATC 차상장치의 구성도 ····· 93
그림 3.13 그래프를 이용한 데이터 해석(와이블 분포) ····· 100
그림 3.14 최적의 예방유지보수주기 ····· 101
그림 3.15 Maintenability Toolkit에서 제안하는 RCM 결정논리 1 ····· 106
그림 3.16 Maintenability Toolkit에서 제안하는 RCM 결정논리 2 ····· 108
그림 3.17 최적 예방유지보수포인트 결정 ····· 110
그림 3.18 전환 전 ATS모드사진 ····· 135

그림 3.19 전환후 ATC모드 사진 ····· 135
그림 3.20 ATC 정보표시장치가 작동하지 않을 때 조치사항 ····· 151
그림 3.21 ATC 표시장치내 열차 속도가 비정상적으로 표시될 때 조치사항 151
그림 3.22 "ATC 고장"현시시 조치사항 ····· 152
그림 3.23 "무신호"현시시 조치사항 ····· 152
그림 3.24 "R" 현시시 조치사항 ····· 153
그림 3.25 "ATC비상정지","ATS 비상정지"현시시 조치사항 ····· 153
그림 3.26 "TSL, VDS, SCU, MEFA비상정지" 현시시 조치사항 ····· 154
그림 3.27 "/30" 속도제한 현시시 조치사항 ····· 154
그림 3.28 "/70"속도 제한 현시시 조치사항 ····· 155
그림 3.29 "ATC 통과" 현시시 조치사항 ····· 155
그림 3.30 실험장비의 구성 ····· 156
그림 3.31 시험용 서브랙 ····· 156
그림 3.32 시험용 지그 ····· 156
그림 3.33 자동열차제어장치 디지털출력모듈의 시험성적서 ····· 158
그림 3.34 지상 송신기와 안테나 설치 모습 ····· 159
그림 3.35 지상 연속, 불연속 정보 송신기 ····· 159
그림 3.36 지그내의 저장용 프로그램 ····· 184
그림 3.37 시험 시료를 챔버에 설치한 모습 ····· 185
그림 3.38 지그의 설치 모습 ····· 185
그림 3.39 자동열차제어장치 연속/불연속 수신모듈 시험성적서 ····· 186
그림 3.40 절체시스템 데이터 흐름도 ····· 191
그림 3.41 절체상세 다이어그램 ····· 193
그림 3.42 전원통급계통도 ····· 194
그림 3.43 전자연동장치 현장안정화 시험 ····· 195
그림 3.44 기능시험절차 ····· 200
그림 3.45 운전모드 설정시험 ····· 201
그림 3.46 CTC 제어정보 설정 시험 ····· 202
그림 3.47 CTC 표시정보 설정 시험 ····· 203
그림 3.48 신호현시 제어시험 ····· 204

그림 3.49 선로전환기 제어시험 ····· 205
그림 3.50 선로전환기 단독전환시험 ····· 205
그림 3.51 연동시험순서 ····· 206
그림 3.52 TFM Rack의 설치 장소 ····· 208
그림 3.53 온도 센서 설치 ····· 208
그림 3.54 현장제어부 모듈전면 ····· 208
그림 3.55 현장제어부 모듈후면 ····· 208
그림 3.56 7월 27일 온도 변화 ····· 210
그림 3.57 7월 28일 온도 변화 ····· 210
그림 3.58 7월 29일 온도 변화 ····· 210
그림 3.59 7월 30일 온도 변화 ····· 210
그림 3.60 7월 31일 온도 변화 ····· 211
그림 3.61 8월 1일 온도 변화 ····· 211
그림 3.62 8월 2일 온도 변화 ····· 211
그림 3.63 8월 3일 온도 변화 ····· 211
그림 3.64 8월 4일 온도 변화 ····· 212
그림 3.65 8월 6일 온도 변화 ····· 212
그림 3.66 8월 8일 온도 변화 ····· 212
그림 3.67 8월 9일 온도 변화 ····· 212
그림 3.68 8월 10일 온도 변화 ····· 213
그림 3.69 8월 11일 온도 변화 ····· 213
그림 3.70 8월 12일 온도 변화 ····· 213
그림 3.71 9월 4일 온도 변화 ····· 213
그림 3.72 9월 5일 온도 변화 ····· 214
그림 3.73 9월 6일 온도 변화 ····· 214
그림 3.74 9월 7일 온도 변화 ····· 214
그림 3.75 9월 8일 온도 변화 ····· 214
그림 3.76 9월 9일 온도 변화 ····· 215
그림 3.77 9월 10일 온도 변화 ····· 215
그림 3.78 9월 11일 온도 변화 ····· 215

그림 3.79 9월 12일 온도 변화 ····· 215
그림 3.80 9월 13일 온도 변화 ····· 216
그림 3.81 9월 14일 온도 변화 ····· 216
그림 3.82 9월 16일 온도 변화 ····· 216
그림 3.83 9월 17일 온도 변화 ····· 216
그림 3.84 9월 18일 온도 변화 ····· 217
그림 3.85 9월 19일 온도 변화 ····· 217
그림 3.86 9월 20일 온도 변화 ····· 217
그림 3.87 9월 21일 온도 변화 ····· 217
그림 3.88 9월 22일 온도 변화 ····· 218
그림 3.89 9월 23일 온도 변화 ····· 218
그림 3.90 9월 24일 온도 변화 ····· 218
그림 3.91 9월 25일 온도 변화 ····· 218
그림 3.92 9월 26일 온도 변화 ····· 219
그림 3.93 9월 27일 온도 변화 ····· 219
그림 3.94 9월 28일 온도 변화 ····· 219
그림 3.95 9월 29일 온도 변화 ····· 219
그림 3.96 9월 30일 온도 변화 ····· 220
그림 3.97 10월 1일 온도 변화 ····· 220
그림 3.98 10월 3일 온도 변화 ····· 220
그림 3.99 10월 4일 온도 변화 ····· 220
그림 3.100 10월 5일 온도 변화 ····· 221
그림 3.101 10월 6일 온도 변화 ····· 221
그림 3.102 10월 7일 온도 변화 ····· 221
그림 3.103 10월 8일 온도 변화 ····· 221
그림 3.104 10월 9일 온도 변화 ····· 222
그림 3.105 10월 10일 온도 변화 ····· 222
그림 3.106 10월 11일 온도 변화 ····· 222
그림 3.107 10월 12일 온도 변화 ····· 222
그림 3.108 10월 13일 온도 변화 ····· 223

그림 3.109 10월 14일 온도 변화 ····· 223
그림 3.110 10월 15일 온도 변화 ····· 223
그림 3.111 10월 16일 온도 변화 ····· 223
그림 3.112 10월 17일 온도 변화 ····· 224
그림 3.113 10월 18일 온도 변화 ····· 224
그림 3.114 10월 19일 온도 변화 ····· 224
그림 3.115 10월 20일 온도 변화 ····· 224
그림 3.116 10월 21일 온도 변화 ····· 225
그림 3.117 10월 22일 온도 변화 ····· 225
그림 3.118 10월 23일 온도 변화 ····· 225
그림 3.119 10월 24일 온도 변화 ····· 225
그림 3.120 10월 25일 온도 변화 ····· 226
그림 3.121 10월 26일 온도 변화 ····· 226
그림 3.122 10월 27일 온도 변화 ····· 226
그림 3.123 10월 28일 온도 변화 ····· 226
그림 3.124 10월 29일 온도 변화 ····· 227
그림 3.125 10월 30일 온도 변화 ····· 227
그림 3.126 10월 31일 온도 변화 ····· 227
그림 3.127 11월 1일 온도 변화 ····· 227
그림 3.128 11월 2일 온도 변화 ····· 228
그림 3.129 현장 선로전환기 단말 제어모듈의 외형 ····· 230
그림 3.130 현장 선로전환기 제어 모듈의 출력부 회로도 ····· 231
그림 3.131 현장 선로전환기 제어 모듈의 출력부 추가된 사항 ····· 231
그림 3.132 신호기 제어 모듈 전압 검지 회로추가 사항 ····· 232
그림 3.133 현장 신호기 제어모듈의 외형 ····· 232
그림 3.134 신호기제어모듈 12V 전원 차단시 Red 현시 추가된 사항 ····· 233
그림 3.135 연동장치설치 장소 사진 ····· 248
그림 3.136 온도 센서 장착 및 센서위치 ····· 249
그림 3.137 하절기 온도시험데이터(6월 4일, 5일 온도 변화) ····· 250
그림 3.138 동절기 온도시험데이터(1월 22일, 23일 온도 변화) ····· 250

그림 3.139 연동 논리부 Hot-swapping 회로도 ····· 265
그림 3.140 연동논리부 VME Bus Buffer 회로도 ····· 266
그림 3.141 연동 논리부의 외형도 ····· 266
그림 3.142 연동 논리부 COL 회로도 ····· 267
그림 3.143 연동논리부의 결함주입 ····· 268
그림 3.144 현장 선로 전환기 단말 제어 모듈의 외형 ····· 269
그림 3.145 선로전환기 제어모듈 출력 변경전 ····· 269
그림 3.146 선로전환기 제어모듈 출력 변경후 ····· 270
그림 3.147 선로전환기 제어모듈 출력 전류 감시 회로 ····· 270
그림 3.148선로전환기 제어모듈 출력 차단 회로 ····· 270
그림 3.149 선로전환기 제어모듈 부정 출력 감시 회로 ····· 271
그림 3.150 선로전환기 제어모듈 상태 입력 회로 변경전 ····· 271
그림 3.151 선로전환기 제어모듈 상태 입력 회로 변경후 ····· 272
그림 3.152 선로전환기제어모듈의 제어출력에 결함주입 ····· 273
그림 3.153 신호기제어모듈의 외형 ····· 274
그림 3.154 신호기 전압검지 모듈의 외형 ····· 274
그림 3.155 신호기전압검지 모듈의 검지 회로 추가 사항 ····· 275
그림 3.156 신호기전류검지 모듈의 검지 회로 추가 사항 ····· 275
그림 3.157 신호기제어모듈의 단심 해제 시 자동 복귀 회로 ····· 276
그림 3.158 신호기제어모듈의 제어출력에 결함주입 ····· 277
그림 3.159 입력 제어 모듈의 외형 ····· 277
그림 3.160 입력제어모듈의 저전압 및 저전류 차단 회로 변경전 ····· 278
그림 3.161 입력제어모듈의 저전압 및 저전류 차단 회로 변경후 ····· 278
그림 3.162 범용입력모듈의 제어입력에 결함주입 ····· 279
그림 3.163 연동 논리부의 구성도 ····· 280
그림 3.164 연동 논리부 PCB 사진 ····· 282
그림 3.165 시스템 절체 모듈 전/후면 ····· 282
그림 3.166 선로 전환기 모듈 전/후면 ····· 283
그림 3.167 신호기 제어 모듈 전/후면 ····· 285
그림 3.168 신호기 부정출력검지 모듈 전/후면 ····· 287

그림 3.169 입력 제어 모듈 전/후면 ····· 289
그림 3.170 출력 제어 모듈 전/후면 ····· 291
그림 3.171 입/출력 제어 모듈 전/후면 ····· 293
그림 3.172 신뢰성 시험 자료사진1 ····· 297
그림 3.173 신뢰성 시험 자료사진2 ····· 297
그림 3.174 신뢰성 시험 자료사진3 ····· 297
그림 3.175 OM 시험환경 ····· 301
그림 3.176 신뢰성 시험 자료사진 1 ····· 303
그림 3.177 신뢰성 시험 자료사진 2 ····· 303
그림 3.178 IM 시험환경 ····· 304
그림 3.179 PM 시험환경 ····· 306
그림 3.180 SM 시험환경 ····· 308
그림 3.181 공인기관 시험 성적서 ····· 310
그림 3.182 EMI 시험 ····· 313
그림 3.183 EMS 시험 ····· 313
그림 3.184 옥외 전자파 시험 장면 ····· 314
그림 3.185 공인 기관 시험 성적서(EMI) ····· 315
그림 3.186 공인 기관 시험 성적서(EMS) ····· 316
그림 6.1 위험도 평가를 통한 안전성 입증의 업무흐름 ····· 331
그림 6.2 ATP시스템 지상장치 구성도 ····· 333
그림 6.3 위험원분석을 위한 FTA 예(ATP시스템 지상장치 IF) ····· 334
그림 6.4 ATP 차상신호시스템 지상인터페이스 안전성 입증 ····· 337
그림 6.5 ALARP이론을 적용한 영국철도 안전활동 7단계 ····· 338
그림 6.6 위험원의 원인과 결과분석 예(ATP 지상장치 IF) ····· 339

표목차

표 1.1 신뢰성분야 1차년도 연구목표 및 내용 ····· 4
표 1.2 신뢰성분야 2차년도 연구목표 및 내용 ····· 6
표 1.3 신뢰성분야 3차년도 연구목표 및 내용 ····· 8
표 1.4 신뢰성분야 4차년도 연구목표 및 내용 ····· 9
표 1.5 신뢰성분야 5차년도 연구목표 및 내용 ····· 11
표 1.6 자동열차제어장치분야 연구목표 및 내용 ····· 14
표 1.7 전자연동장치분야 1차년도 연구목표 및 내용 ····· 16
표 1.8 전자연동장치분야 2차년도 연구목표 및 내용 ····· 17
표 1.9 전자연동장치분야 3차년도 연구목표 및 내용 ····· 18
표 1.10 전자연동장치분야 4차년도 연구목표 및 내용 ····· 21
표 1.11 전자연동장치분야 5차년도 연구목표 및 내용 ····· 23
표 1.12 신뢰성분야 최종산출물 및 평가기준 ····· 27
표 1.13 자동열차제어장치 최종산출물 및 평가기준 ····· 28
표 1.14 전자연동장치 최종산출물 및 평가기준 ····· 28
표 2.1 국외내 신뢰성 및 안전성 입증을 위한 절차개발 내용 ····· 30
표 2.2 철도신호시스템 수명주기별 RAMS 요구사항 ····· 31
표 2.3 국내외 신뢰성 및 안전성활동관련 기술수준 ····· 32
표 2.4 예방유지보수관련 규격 ····· 32
표 2.5 자동열차제어장치관련 국내외 현황 ····· 34
표 2.6 국가별 전자연동장치 비교 ····· 36
표 2.7 열차제어시스템관련 지적재산권 현황 ····· 38
표 2.8 관련특허 1의 요약 및 대응방안 ····· 39
표 2.9 관련특허 2의 요약 및 대응방안 ····· 40
표 2.10 관련특허 3의 요약 및 대응방안 ····· 40
표 2.11 관련특허 4의 요약 및 대응방안 ····· 40
표 2.12 관련특허 5의 요약 및 대응방안 ····· 40
표 2.13 관련특허 6의 요약 및 대응방안 ····· 40
표 2.14 관련특허 7의 요약 및 대응방안 ····· 41

표 2.15 관련특허 8의 요약 및 대응방안 ····· 41
표 2.16 관련특허 9의 요약 및 대응방안 ····· 41
표 2.17 관련특허 10의 요약 및 대응방안 ····· 41
표 2.18 관련특허 11의 요약 및 대응방안 ····· 41
표 2.19 관련특허 12의 요약 및 대응방안 ····· 41
표 2.20 관련특허 13의 요약 및 대응방안 ····· 42
표 3.1 전자부품 고장률예측을 위한 분류(Relex 7.7기준) ····· 49
표 3.2 전자부품 고장률예측을 위한 분류(Relex 7.7기준) - Con't ····· 49
표 3.3 메모리의 고장률예측 함수 ····· 50
표 3.4 자동열차제어장치의 하부구성요소 고장률예측결과(4차년, 25℃기준) ··· 54
표 3.5 전자연동장치의 하부구성요소 고장률예측결과(4차년, 25℃기준) ····· 55
표 3.6 자유도가 2이고 신뢰수준이 1-alpha인 통계량(alpha는 추정치가 틀릴 확률) · 57
표 3.7 온도에 따른 자동열차제어장치 MTBF(4차년) ····· 58
표 3.8 자동열차제어장치 하부구성요소의 부품별 온도에 따른 가속계수 ····· 59
표 3.9 자동열차제어장치 하부구성요소의 온도에 따른 가속계수 ····· 60
표 3.10 자동열차제어장치 하부구성요소의 온도에 따른 시험시간(가중평균값)60
표 3.11 자동열차제어장치 하부구성요소의 유효수준별 시험시간 ····· 61
표 3.12 자동열차제어장치 하부구성요소의 신뢰성시험 산출표 ····· 63
표 3.13 온도에 따른 전자연동장치 MTBF(4차년) ····· 64
표 3.14 자동열차제어장치 하부구성요소의 부품별 온도에 따른 가속계수 ····· 64
표 3.15 전자연동장치 하부구성요소의 온도에 따른 가속계수 ····· 65
표 3.16 전자연동장치 하부구성요소의 온도에 따른 시험시간(가중평균값) ····· 65
표 3.17 전자연동장치 하부구성요소의 유효수준별 시험시간 ····· 66
표 3.18 전자연동장치 하부구성요소의 신뢰성시험 산출표 ····· 67
표 3.19 유지보수 관련 규격 비교 ····· 70
표 3.20 제품 수명주기에 따른 유지보수 절차 및 활동 ····· 71
표 3.21 국내철도분야의 유지보수현황 ····· 78
표 3.22 교체종류에 따른 단위시간당 발생하는 평균비용을 최소화하는 주기 · 89
표 3.23 고장분포함수 ····· 90
표 3.24 ATC 인터페이스 기능 ····· 94

표 3.25 PSU 상세기능 ····· 94
표 3.26 CPU 상세기능 ····· 95
표 3.27 COM 상세기능 ····· 95
표 3.28 DISCON_RX 상세기능 ····· 96
표 3.29 DI 상세기능 ····· 96
표 3.30 DO 상세기능 ····· 97
표 3.31 VIN 상세기능 ····· 97
표 3.32 시운전데이터 ····· 99
표 3.33 ATC 유지보수도평가 ····· 102
표 3.34 전자연동장치 유지보수도평가 ····· 102
표 3.35 유지보수도 척도 ····· 103
표 3.36 유지보수업무의 적용가능성과 효용성 ····· 105
표 3.37 유지보수성 시험 ····· 114
표 3.38 FRCAS 형식예시 ····· 117
표 3.39 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도) · 121
표 3.40 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도) · 122
표 3.41 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도) · 124
표 3.42 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도) · 125
표 3.43 광명→천안 방향 주행 ····· 127
표 3.44 광명→서대전 방향 주행 ····· 128
표 3.45 광명→천안 방향주행 ····· 130
표 3.46 광명→서대전방향 주행 ····· 130
표 3.47 광명→동대구방향 주행 ····· 132
표 3.48 광명→목포구간 불연속정보 (ATC-ATS 변경 구간) LOGGING DATA ··· 135
표 3.49 2006년 330km/h주행시험의 처리정보 ····· 136
표 3.50 광명→동대구 주행시험처리정보 ····· 140
표 3.51 모듈의 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력 사양 ····· 183
표 3.52 로그파일의 출력 양식 ····· 184
표 3.53 OM 신뢰성 시험을 위한 지그의 입출력 사양 ····· 301
표 3.54 OM 로그파일의 출력양식 ····· 302

표 3.55 IM 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력사양 ····· 305
표 3.56 IM 로그파일의 출력양식 ····· 305
표 3.57 PM 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력 사양 ····· 307
표 3.58 PM의 로그파일의 출력양식 ····· 307
표 3.59 SM의 신뢰성 시험을 위한 지그의 입출력사양 ····· 309
표 3.60 SM 로그파일의 출력양식 ····· 309
표 4.1 연차별 연구개발목표 및 달성도(신뢰성분야) ····· 317
표 4.2 연차별 연구개발목표 및 달성도(자동열차제어장치분야) ····· 319
표 4.3 연차별 연구개발목표 및 달성도(전자연동장치분야) ····· 321
표 6.1 ATP시스템의 위험도 허용수준 매트릭스 ····· 332
표 6.2 ATP지상인터페이스의 HAZOP Study 예(5현시 신호기와 LEU의 인터페이스) · 335
표 6.3 FTA이벤트의 산출근거 예 ····· 336
표 6.4 ATP시스템의 심각도 분류에 따른 해당사고의 가정 ····· 336
표 6.5 발생빈도 정량화를 위한 가정 ····· 336
표 6.6 ATP 지상장치 인터페이스 위험원 목록 사례 ····· 337
표 6.7 사고결과의 인명손실과 경제적손실의 가정 예 ····· 340
표 6.8 ATP지상장치 인터페이스관련 사고의 손실분석 ····· 341
표 6.9 ALARP이론을 적용한 안전입증 예(ATP지상장치 인터페이스) ····· 341
표 6.10 위험도평가방식과 ALARP이론의 가정요인에 대한 분석 ····· 342

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction ····· 1

Ⅰ. Aim of research project ····· 1

1. Aim of research project in reliability field ····· 1

2. Aim of research project in automatic train control field ····· 1

3. Aim of research project in interlocking system field ····· 2

Ⅱ. Contents of research and system of progress in current year ····· 2

1. Contents of research in reliability field to years ····· 3

2. Contents of research in automatic train control field to years ····· 13

3. Contents of research in interlocking system field to years ····· 15

4. Progress in research project ····· 24

Ⅲ. Assessment criteria for the achievement of final aim ····· 26

1. Assessment criteria for the achievement of final aim in reliability field 26

2. Assessment criteria for the achievement of final aim in automatic train control field ····· 27

3. Assessment criteria for the achievement of final aim in interlocking system field ····· 28

Chapter 2. Present state of national and international technology development 29

Ⅰ. Reliability ····· 29

1. Present state of national and international technology development in reliability field ····· 29

2. Prospects for reliability field ····· 33

Ⅱ. Automatic train control ····· 34

1. Present state of national and international technology development in automatic train control field ····· 34

2. Prospects for automatic train control field ····· 35

Ⅲ. Interlocking System ····· 36

1. Present state of national and international technology development in interlocking system field ····· 36

2. Prospects for interlocking system field ····· 37
Ⅳ. Intellectual property rights related with train control field and resolutions to intellectual disputes ····· 38
1. Intellectual property rights related with train control field ····· 38
2. Countermeasure to Intellectual property rights ····· 39

Chapter 3. Contents and results of research project ····· 43
Ⅰ. Reliability test on train control system ····· 43
1. Reliability prediction of 1st research year ····· 43
2. Reliability prediction of 2nd research year ····· 45
3. Reliability prediction of 3rd research year ····· 51
4. Reliability prediction of 4th research year ····· 53
5. Reliability prediction of 5th research year ····· 72
Ⅱ. Automatic train control ····· 120
1. Automatic train control of 1st research year ····· 120
2. Automatic train control of 2nd research year ····· 126
3. Automatic train control of 3rd research year ····· 132
4. Automatic train control of 4th research year ····· 136
5. Automatic train control of 5th research year ····· 158
Ⅲ. Interlocking System ····· 187
1. Interlocking System of 1st research year ····· 187
2. Interlocking System of 2nd research yea ····· 234
3. Interlocking System of 3rd research year ····· 279
4. Interlocking System of 4th research year ····· 296
5. Interlocking Systeml of 5th research year ····· 302

Chapter 4. Achievement level of research goals and contribution level to related field ····· 317
Ⅰ. Achievement level of research goals ····· 317
1. Qualitative result of research ····· 322

2. Quantitative result of research ····· 323
Chapter 5. Plan for using research results ····· 327
Ⅰ. Reliability field ····· 327
Ⅱ. Automatic train control field ····· 327
Ⅲ. Interlocking field ····· 327

Chapter 6. International science technology collected during research ····· 329
Ⅰ. Safety approval process of national train control system ····· 330
1. Determination of tolerable hazard rate of KORAIL ATP system ····· 330
2. Hazard identification and analysis of ATP system ground equipment interface ····· 332
Ⅱ. Review safety approval requirements using ALARP theory ····· 338
Ⅲ. Review international present state of safety approval on train control systems ····· 343

Chapter 7. Bibliography ····· 345

Appendix 1. Analysis for the high speed train control system maintainability system
Appendix 2. FMEA for the Automatic train control

Appendix 3. FMEA for the Interlocking system

제 1 장 서 론

제 1 절 연구목표

한국의 열차제어기술과 고속 철도의 신호체계를 신뢰성측면에서 접근하고, 체계적으로 분석 시험하여 경부 고속철도 신호시스템과 호환성을 갖도록 한다. 즉, 최고속도 350km/h에서 열차를 안전하게 제어하고, 열차의 운전에 있어서 안전성과 효율성을 갖도록 하고, 운영자의 편의성, 시스템의 신뢰성과 확장성 등에서 최적인 한국형 열차제어장치의 개발을 최종목표로 한다.

그리고, 앞으로 동서 고속 철도와 호남 고속철도를 비롯한 모든 철도 노선의 신설 및 개량 사업에 안전성과 신뢰성이 확보된 이 시스템을 적용할 수 있도록 하고, 21세기 남북통일 한국의 시대를 맞아 신의주를 통과하는 유라시아 고속철도 사업에도 참여할 수 있는 밑거름이 될 수 있도록 한다.

1. 신뢰성분야의 연구개발 목표

최종목표 : 열차제어용 컴퓨터 시스템의 신뢰성 및 안전성 평가기술 확보

- 신뢰성 목표 : 열차제어시스템 하부구성요소의 MTBF 100,000시간 확보
- 안전성 목표 : 열차제어시스템 하부구성요소의 위험측 고장발생 빈도를 $10^{-9}/h$ 이하로 확보

2. 자동열차제어장치분야의 연구개발 목표

최종목표 : 고안전성 및 고신뢰성 자동열차제어장치 안정화 기술개발

- 시스템 고장 시 안전측으로 동작하는 Fail-Safe 방식의 시스템
- 다중화 기술을 이용한 내고장성 시스템
- 분산형 시스템 구축
- 실시간 시스템 개발
- 고 신뢰도 S/W

- 유지보수 시스템 구축
- 고속선 주행시험을 통한 신뢰성, 안전성 확보
- 전문기관의 신뢰성 시험 실시

3. 전자연동장치분야의 연구개발 목표

최종목표 : 고안전성 및 고신뢰성 전자연동장치 안정화 기술개발

- 연동처리용 H/W 및 S/W
- MMI 시스템
- 선로변 장치
- 고신뢰성 광통신용 궤도변 통신장치

제 2 절 연구내용 및 추진체계

고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발은 그림 1.1과 같이, 공동주관연구기관의 연구분야인 신뢰성분야, 자동열차제어장치분야, 전자연동장치분야의 공통 최종목표인 "신뢰성, 안전성목표를 만족하는 상용 자동열차제어장치 및 전자연동장치 개발"을 위해, 총 연구기간동안, 각 장치별 안정화 연구를 수행하였다.

신뢰성분야는 1차년도에서 3차년도까지 신뢰성평가 및 안전성인증을 위한 기본이론연구를 수행하고, 4차년도에 시스템의 하드웨어의 신뢰성입증을 위한 가속수명시험을 수행하기 위해, 자동열차제어장치와 전자연동장치의 가속수명시험절차서를 작성하고, 이를 공인시험기관과 협의하여, 신뢰성평가를 위한 시험을 수행하였다. 5차년도에는 4차년도에 분석한 미국방규격과 신뢰도기반유지보수이론 접목하여, 한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수체계를 구축하였다. 또한 4차년도에 수행한 공인기관 신뢰성시험을 한국철도기술연구원 자체적으로 수행하기 위해, 신뢰성시험환경을 구축하고, 고속철도 열차제어장치의 신뢰성시험을 자체적으로 수행하여, 신뢰성을 입증하였다. 그리고 전기/신호 엔지니어링 분야의 국문/영문 교육훈련매뉴얼 작성하였다.

자동열차제어장치분야의 최종목표인 한국형고속철도 자동열차제어장치의 상

용제품개발을 위해, 기능요구사항을 모두 만족하도록 제작된 시작품을 대상으로 고속선 주행 시운전 및 신뢰성, 안전성활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 연구를 수행하였다.

전자연동장치분야의 최종목표인 한국형고속철도 전자연동장치의 상용제품개발을 위해, 기능요구사항을 모두 만족하도록 제작된 시작품을 대상으로 시운전 결과 및 신뢰성, 안전성 활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보하기 위한 연구를 수행하였다.

위와 같이, 한국형고속철도 열차제어시스템의 안정화를 위해, 신뢰성분야, 자동열차제어장치 분야, 전자연동장치 분야는 아래 그림 1.1과 같은 추진체계를 가지고, 총연구기간 동안 연구개발을 수행하였다.

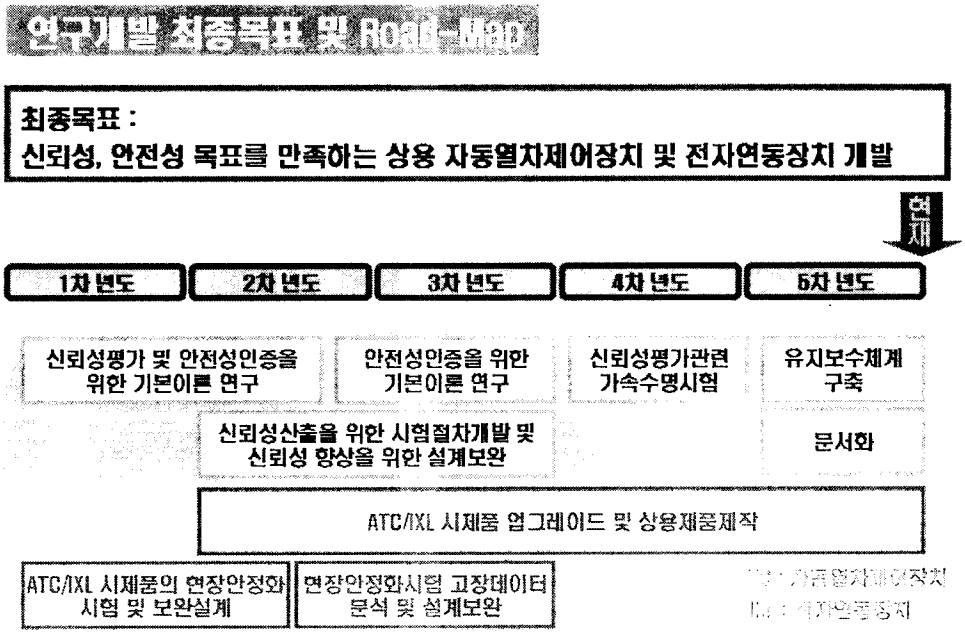


그림 1.1 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 로드맵

1. 신뢰성분야의 연차별 연구내용

신뢰성분야의 최종목표는 고속철도 열차제어장치의 신뢰도, 안전도기준을 달성하기 위한 기본이론 조사와 신뢰도, 안전도 향상을 위한 활동이다. 신뢰도 목표인 평균고장시간(MTBF: Mean Time Between Failure)은 시스템의 신뢰도와 유지보수도에 종속되는 값으로써, 5차년도에 수행되는 유지보수절차개발의 수행 이전인 4차년도까지는 시스템의 유지보수 소요시간이 시스템 가동시간에

비해 매우 작으므로, 수리율(Repair Rate, μ)을 무시하고 신뢰도에만 종속된 MTBF를 기준으로 한다. 따라서 본 과제의 신뢰성분야에서 4차년도까지의 MTBF는 시스템 고장률의 역수인 평균고장수명(MTTF: Mean Time To Failure)과 동일한 함수가 된다.

고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발에서 수행한 열차제어시스템의 신뢰성분야 연구는 연구개발목표를 만족하기 위해 이론적 조사를 포함하여 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성목표 달성을 위한 방안을 연구하였다.

가. 신뢰성분야 1차년도 연구목표 및 내용

고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발에서 수행한 열차제어시스템의 신뢰성분야 연구는 이론적 조사를 포함하며, 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성목표 달성을 위한 방안을 연구하였다.

1차년도 연구목표 및 내용은 표 1.1과 같다.

표 1.1 신뢰성분야 1차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (2002)	시제품안정화시험(1)	-H/W 및 S/W 신뢰성평가기본이론조사 -고장분석절차개발 -문서화

시제품의 안정화는 기능구현이 완료된 열차제어시스템의 시제품을 대상으로 신뢰도를 정량적으로 예측하여 신뢰성목표의 만족여부를 확인하고, 시제품의 신뢰도가 목표를 만족하지 못하는 경우 시제품의 신뢰도 향상을 위한 방안을 제시하는데 목적이 있다. 따라서 1차년도에는 열차제어시스템을 구성하는 하드웨어와 소프트웨어에 대한 신뢰평가기본이론을 다음과 같이 수행하였다.

(1) 열차제어시스템 하드웨어/소프트웨어 신뢰성평가 기본이론조사

신뢰성과 안전성목표의 달성을 위해서는 시스템 내부의 결함이 시스템의 기능상실로 직결되는 단일구조의 설계는 허용할 수 없다. 따라서 신뢰성 평가 및 향상을 위한 기본이론으로써, 결함허용기술에 대한 기본이론을 조사하고 분석하여 정리하였다. 즉, 1차년도에는 결함허용이론에 대한 조사 및 분석을 통해

열차제어시스템 신뢰도 예측을 위한 방안 및 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위한 설계기법에 대하여 연구하였다.

1차년도 수행한 하드웨어 및 소프트웨어 신뢰성평가 기본이론조사 관련 주요내용은 다음과 같다.

- 결함허용시스템
- 결함, 오류, 고장의 개념적인 정의
- 결함허용시스템의 설계기법

(2) 고장분석절차개념

고장은 시스템의 기능상실로 발전되는 원인이다. 시스템의 기능상실은 단순히 시스템의 가용성을 저하시키는 요인이기도 하지만, 기능상실의 결과가 사고로 발전되어 인명이나 재산의 손실을 가져오는 경우 이러한 고장을 안전과 관련된 고장으로 분류하여 시스템의 안전성을 관리해야 한다. 따라서 시스템의 기능상실과 사고로 발전되는 시스템 내부고장의 분류에 대한 이론을 정리하였다. 즉, 1차년도에는 고장분석절차에 대한 연구를 통해 열차제어시스템 신뢰성과 안전성목표의 달성을 위한 분석, 예측, 향상방안을 지속적으로 연구하였다. 1차년도에 수행된 고장분석절차개념 관련 주요내용은 다음과 같다.

- 시스템평가기술
- 시스템안전성기술

(3) 문서화

열차제어시스템 안정화의 최종목표는 신뢰성과 안전성이 확보된 상용품의 개발이다. 따라서 신뢰성과 안전성의 확보유무를 객관적으로 판단할 수 있는 근거가 요구되며, 본 연구에서는 개발중인 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성활동의 모든 과정을 철도신호관련 RAMS요구사항의 국제규격인 IEC62278을 기준으로 수명주기 관리와 각각의 수명주기별 문서화를 연구에 적용하고 있다. 또한 신뢰도의 예측과 각종 시험에 대해서도 국제규격, 미국방부 지침, 국내 철도신호분야 용품규격을 근거로 문서산출업무를 수행하고 있다.

나. 신뢰성분야 2차년도 연구목표 및 내용

1차년도에 수행된 신뢰성관련 이론조사 및 분석을 토대로 신뢰성향상을 위한 절차인 신뢰성향상프로그램과 신뢰성시험방법을 2차년도에 수행하였다. 2차년도의 연구개발목표 및 연구개발내용은 표 1.2와 같다.

표 1.2 신뢰성분야 2차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
2차년도 (2003)	시제품안정화시험(2)	-FMEA, FTA 수행 -열차제어용 가속수명시험방법개발 -열차제어용 신뢰성 향상프로그램 개발 -열차제어용 신뢰성시험 방법개발 -문서화

(1) FMEA, FTA수행

고장모드영향분석(FMEA: Failure Mode Effect Analysis)은 시스템 내부에서 발생되는 고장으로 인한 영향을 분석하는 기법으로써, 정의된 시스템고장을 대상으로 고장을 발생시킬 수 있는 원인들을 분석하고, 원인의 발생확률을 정량적으로 추적하는 방법이다. FMEA를 통해 고장의 원인을 파악할 수 있으며, 중요고장의 원인에 대한 고장률을 설계변경 또는 운영시나리오변경을 통해 감소시켜 고장의 발생확률을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 안전성측면에서는 위험원 도출을 위한 방법으로 사용되며, 정의된 위험원과 연관된 하부시스템의 고장을 분석하여 위험원의 발생확률 즉 위험측고장률(Dangerous Failure)을 감소시키는 것을 목적으로 한다.

결함트리분석(FTA: Fault Tree Analysis)기법은 최상위 이벤트를 중대고장이나 위험측 고장으로 정의하고, 각각의 최상위 이벤트를 발생시킬 수 있는 하부시스템의 고장요인을 분석하는 방법이다. 귀납적인 접근방법과 최종목표를 신뢰도 및 안전도를 저하시키는 요인을 분석하여 취약한 부분의 신뢰도와 안전도를 향상시켜, 시스템 전체의 신뢰도와 안전도를 증가시키기 위함이 FMEA 기법의 목적과 매우 유사하다.

(2) 열차제어용 가속수명시험방법 개발

가속수명시험은 예측된 신뢰도의 입증(Demonstration)을 위한 방안으로써, 신뢰도 예측치의 정확성을 입증하기 위한 시험방법이다. 가속시험은 피시험체의 파괴와 비파괴 또는 주어지는 스트레스 요인에 따라 시험의 방법이 다양하며, 열차제어시스템의 가속시험적용을 위한 이론조사를 수행하였다.

(3) 신뢰성향상 프로그램 개발

열차제어시스템의 신뢰성확보를 위한 절차개발을 신뢰성향상 프로그램으로 정의한다. 열차제어시스템의 신뢰도관리를 위한 절차는 다음과 같이 폐루프 형태로 구성하였으며 아래와 같이 신뢰성시험에 관련 연구내용을 정리하였다.

- 모듈단위 고장률예측(미국방부 MIL-HDBK-217기준)
- 시스템단위 신뢰도예측(시스템 상태모델링)
- 모듈단위 신뢰도시험(가속시험)
- 시스템 신뢰도를 목표치와 비교
- 취약부분 보완(FTA에 의한 신뢰도 취약지점 설계보완)
- 신뢰도 예측 및 시험을 목표만족까지 반복수행

(4) 신뢰성시험방법 개발

신뢰성시험은 시스템 기능에 대한 시험뿐만 아니라 환경적인 요인에 대한 시험도 포함한다. 따라서 2차년도에는 열차제어시스템의 신뢰성시험을 위한 신뢰성시험의 기본이론을 조사하고 분석하였으며, 신뢰성시험을 위한 대상을 선정하여 정리하였다.

(5) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하였다.

다. 신뢰성분야 3차년도 연구목표 및 내용

열차제어시스템 안정화기술개발의 신뢰성분야 3차년도 연구목표 및 내용은 표 1.3과 같다.

표 1.3 신뢰성분야 3차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
3차년도 (2004)	신뢰성 예측 및 분석	-H/W 및 S/W 신뢰성예측 -S/W 신뢰성 시험 -H/W 가속수명시험 -문서화

(1) 하드웨어/소프트웨어 신뢰성 예측

열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 신뢰도를 정량적으로 예측하기 위한 연구이다. 다중계로 구성된 열차제어시스템의 단위모듈의 고장률을 미국방부 전기전자부품 고장률 예측지침인 MIL-HDBK-217을 기준으로 예측하여 다중계 구조를 고려한 시스템단위 신뢰도를 예측하는 방안을 연구하였다. 예측된 열차제어시스템의 신뢰도는 시간에 따른 신뢰도 함수로 제공되며, 10,000 시간을 1년으로 가정하여 100,000 시간까지의 시스템 신뢰도를 예측하였다.

3차년도에는 신뢰도 예측을 위한 세부연구내용을 제시하였으며, 제시된 신뢰도 예측 방식을 적용한 자동열차제어장치와 전자연동장치의 신뢰도 예측 결과를 정리하였다.

(2) 하드웨어/소프트웨어 신뢰성 시험

열차제어시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 신뢰도 예측치를 검증하기 위한 시험으로써 2차년에 작성된 신뢰성시험대상과 절차를 사용하여 시스템의 신뢰성 시험을 실시한다. 또한 소프트웨어의 신뢰도 시험은 2차년부터 3차년 현재까지 연구된 위탁연구기관의 소프트웨어 신뢰성시험 절차에 따라 열차제어시스템의 소프트웨어 신뢰도를 산출하여 예측된 시스템신뢰도 예측치에 반영한다.

(3) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하였다.

라. 신뢰성분야 4차년도 연구목표 및 내용

열차제어시스템 안정화기술개발의 신뢰성분야 4차년도 연구목표 및 내용은 표 1.4와 같다.

표 1.4 신뢰성분야 4차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
4차년도 (2005)	신뢰성 확보	-시험전문기관 신뢰성시험 -유지보수 기준(안)작성

시험전문기관 신뢰성시험을 위해서 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치에 대하여 각각의 시험절차서를 작성해야 한다. 따라서, 신뢰성분야에서는 4차년도까지 보완된 열차제어시스템의 고장률을 하부구성요소 단위로 미국방규격을 근거로 예측하고, 예측치의 입증을 위해 전자부품으로 구성된 제어기의 최대 스트레스요인인 온도에 대하여 시스템의 예측 MTBF를 입증하기 위한 신뢰성시험 절차서를 작성하였다.

5차년도의 유지보수체계 구축을 위한 준비작업으로써 수행된 유지보수 기준(안)작성에 대한 연구는 전자부품으로 구성된 제어기의 정량적·정성적 유지보수체계와 관련된 미국방규격인 MIL-HDBK-470A과 MIL-HDBK-472N1을 분석하여 유지보수체계 구축을 위한 요구사항을 도출하였다.

(1) 시험전문기관 신뢰성시험

열차제어시스템의 자동열차제어장치와 전자연동장치의 온도에 의한 가속수명시험은 예측된 신뢰도의 입증(Demonstration)을 위한 방안으로써, 신뢰도 예측치의 정확성을 입증하기 위한 시험방법이다. 4차년도에 수행된 가속시험은 온도스트레스에 대한 신뢰성시험 모델을 공인기관에서 수행하기 위해 신뢰성시험 절차서를 작성하였다. 따라서 신뢰성시험 모델링 절차에 따라 열차제어시스템

을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하부구성요소단위 시험시간은 시험결과의 유효수준 및 시료 수에 따라 산출되었다.

또한 신뢰성시험 절차서는 열자제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치의 차상장치 DO모듈과 전자연동장치 OM모듈의 하부구성요소 단위로 입출력의 기술사양을 제시하고, 제작사에서 시험시 정상동작을 입증하기 위한 시험지그의 구성 및 고장의 판단기준을 제시하였다. 신뢰성입증 절차 및 결과에 관한 것은 열차제어시스템 신뢰성시험에 상세히 설명되었다.

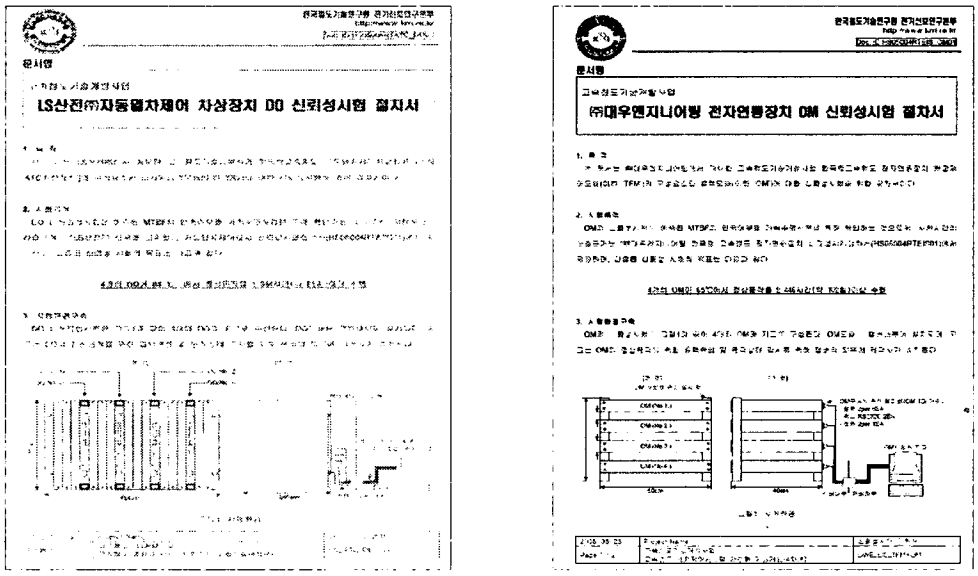


그림 1.2 자동열차제어장치 DO 및 전자연동장치 OM의 신뢰성시험 절차

(2) 유지보수 기준(안)작성

4차년도 연구목표인 유지보수 기준 수립을 위하여 관련 규격인 미국방규격 MIL-HDBK-470A, MIL-HDBK-472N1, MIL-STD-471A를 근거로 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수 기준수립을 위한 요구사항을 도출하였다. 이것은 5차년도 유지보수체계구축을 위한 준비절차이다.

(3) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하는 과정이다.

마. 신뢰성분야 5차년도 연구목표 및 내용

열차제어시스템 안정화기술개발의 신뢰성분야 5차년도 연구목표 및 내용은 표 1.5와 같다.

표 1.5 신뢰성분야 5차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
5차년도 (2006)	유지보수체계구축	-자체신뢰성시험수행 -유지보수체계 구축 -Reliability Centered Maintenance분석 -교육훈련매뉴얼 작성

5차년도에는 열차제어시스템의 자동열차제어장치와 전자연동장치의 온도에 의한 가속수명시험을 자체적으로 수행하기 위한 신뢰성시험환경을 구축하여, 예측된 신뢰도를 입증하기위한 신뢰성시험이 한국철도기술연구원 차제적으로 수행되었다. 자체신뢰성시험을 위해, Labview 8.5로 인터페이스 환경을 구축하여, 전자연동장치 PM모듈의 신뢰성시험이 수행되었다.

또한 4차년도에 도출된 유지보수체계구축을 위한 요구사항 및 RCM(Reliability Centered Maintenance)이론을 분석하여, 한국형고속철도 열차제어시스템을 위한 유지보수체계를 구축하였다. 구축된 유지보수체계는 사고발생 이전에 고장발생빈도를 줄이기 위한 활동의 예방유지보수로, 고장의 발생분

포에 따라 유지보수업무를 할당하고, 과거 고장이력을 이용하여, 고장분포를 확률적으로 모델링하여, 최적의 유지보수업무주기를 정량적으로 할당하였다.

(1) 자체신뢰성시험 수행

한국형고속철도 열차제어시스템의 자동열차제어장치와 전자연동장치의 온도에 의한 가속수명시험을 자체적으로 수행하기 위해 LAbview 8.5로 신뢰성시험환경을 구축하여, 예측된 신뢰도를 입증하기위한 신뢰성시험이 수행되었다. 자체신뢰성시험은 전자연동장치의 PM모듈을 63.6℃의 온도에서 3848시간동안 수행하여, 예측한 신뢰도의 입증이 수행되었다.

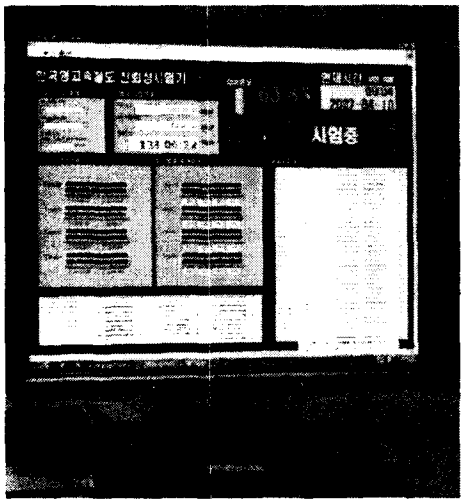


그림 1.3 자체신뢰성시험환경 1

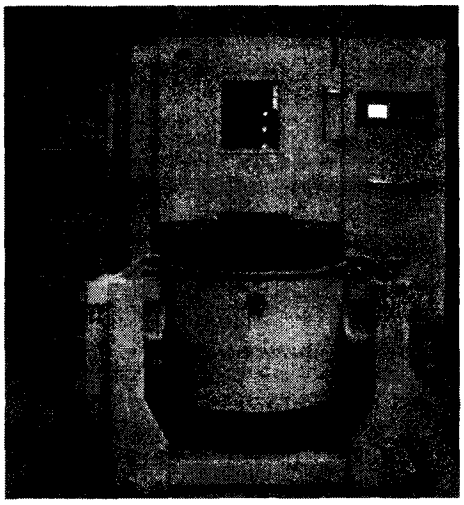


그림 1.4 자체신뢰성시험환경 2

(2) 유지보수체계구축

한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수체계는 MIL-HDBK-470A, MIL-HDBK-472N1, MIL-STD-471A를 통해 도출된 요구사항을 토대로, 구축하였다. 유지보수는 고장의 분포에 따라 유지보수업무를 할당하고, 수집된 고장이력을 통해, 고장분포를 와이블로 모델링하여, 유지보수업무주기를 정량적으로 할당하였다.

(3) Reliability Centered Maintenance 분석

예방유지보수는 일반적으로 운영단계에서 수행되며, 제품의 수명을 연장하는데 그 목적이 있다. 또한, 이러한 목적의 달성을 위해 특히 장치의 신뢰도추이를 분석하여 운영의 효율화를 추구하는 신뢰도중심유지보수(RCM, Reliability Centered Maintenance)가 대표적 예방유지보수 관리를 위한 체계이다.

RCM은 발생고장을 분석하여 발생빈도를 억제하는 예방유지보수는 장치의 상태를 운영이전에 검증하는 활동으로, 장치의 수명을 연장하고, 장치가 안전하게 운영될 수 있도록 유지하는 것을 목적으로 한다.

(4) 교육훈련매뉴얼 작성

5차년도에는 전기신호시스템/급전/EMI/EMC 분야 교육훈련매뉴얼을 작성하였다. 교육훈련매뉴얼에는 기능, 환경 및 품질, 인터페이스, 안전의 엔지니어링 요구사항 할당 및 분석, 설계검증, 안전성확보, 품질관리 측면의 신호시스템 하부장치 기능구현, 그리고, 신호시스템 통합 및 목표달성의 입증 등의 내용이 포함된다. 교육훈련 매뉴얼에 관한 상세한 내용은 별권으로 작성되었다.

2. 자동열차제어장치분야 연구내용

자동열차제어장치분야의 최종목표는 한국형고속철도 자동열차제어장치의 상용제품개발이다. 따라서 기능요구사항을 모두 만족하도록 제작된 시작품을 대상으로 시운전결과 및 신뢰성, 안전성활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해 연차별로, 표 1.6과 같은 연구목표와 연구개발 내용을 중심으로 수행하였다.

자동열차제어장치 시험전문기관 신뢰성시험은 신뢰성분야에서 도출된 신뢰성시험절차서를 바탕으로 자동열차제어장치 하부구성요소의 상세시험절차를 개발하여 신뢰성시험의 공인시험기관에서 신뢰성시험을 실시하였고, 그림 1.5, 그림 1.6과 같이 공인기관에서 신뢰성입증에 관한 성적서를 취득하였다. 또한 고속선 본선 주행 시험 관련한 동적, 정적 시험을 실시하였다.

고장데이터 분석 및 설계보안은 신뢰성분야에서 제시된 예측 신뢰도 및 입증치에 따른 설계보완사항과 자동열차제어장치 차상장치의 경우 시운전시 발생된 기능변경사항과 고장정보 분석에 따른 설계보완을 실시하였다. 다중계 기능을

보완하여 운전자가 상시 제어기의 상태를 감시할 수 있도록 수정하였고 차상에서 지상정보를 수신하는 시험을 실시하였다.

표 1.6 자동열차제어장치분야 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도 (2002)	· 자동열차제어장치 안정화시험(1)	· 시제품 안정화시험 - 차량탑재 시운전시험 - 내구성 시험 · 안정화시험을 위한 유지보수 (1)
2차년도 (2003)	· 자동열차제어장치 안정화시험(2)	· 시제품 안정화시험 - 차량탑재 시운전시험 - 내구성 시험 · 안정화시험을 위한 유지보수 (2)
3차년도 (2004)	· 자동열차제어장치 안정화시험(3)	· 시제품 안정화시험 - 차량탑재 시운전시험 - 내구성 시험 · 안정화시험을 위한 유지보수 (3)
4차년도 (2005)	· 자동열차제어장치 신뢰성 확보	· 자동열차제어장치 시험전문기관 신뢰성 시험 · 고장데이터 분석 및 설계보완
5차년도 (2006)	· 자동열차제어장치 유지보수체계 구축	· 고속선 주행 시운전 수행 · 시험전문기관의 신뢰성 시험 · 운영자 요구에 따른 기능 수정 · 교육 / 훈련 매뉴얼 작성 · 유지보수매뉴얼작성

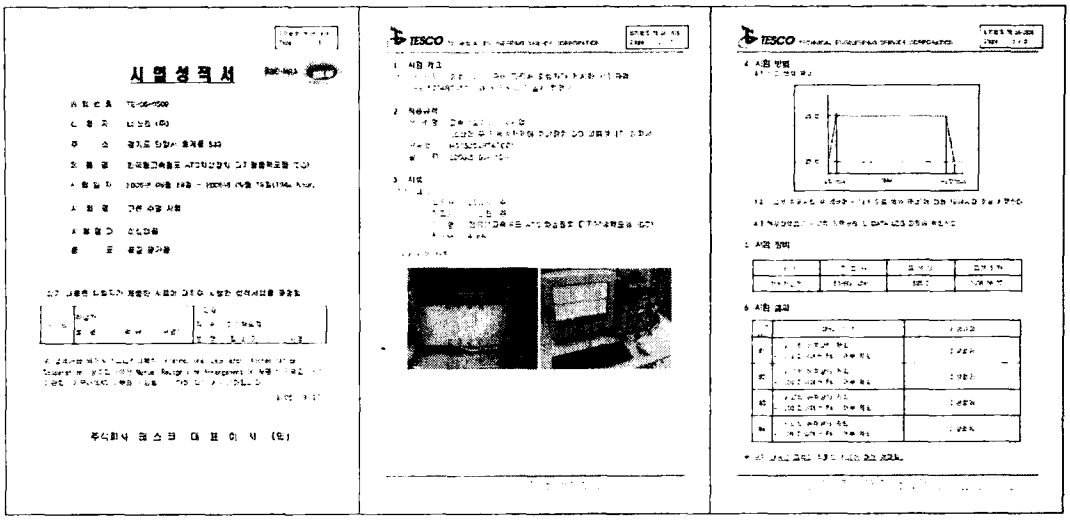


그림 1.5 자동열차제어장치 디지털출력 모듈 시험성적서

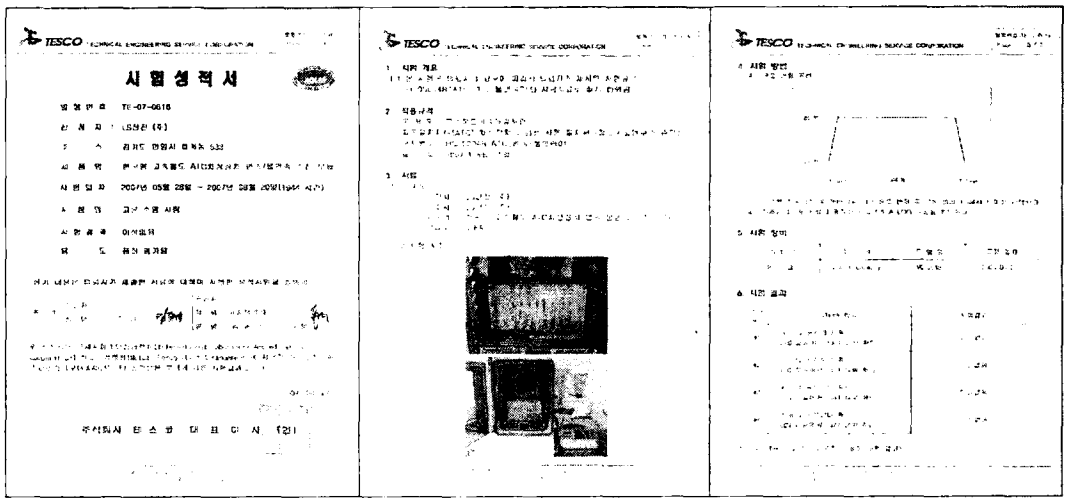


그림 1.6 자동열차제어장치 연속/불연속 수신 모듈

3. 전자연동장치분야 연구내용

전자연동장치분야의 최종목표는 한국형고속철도 전자연동장치의 상용제품개발이다. 따라서 기능요구사항을 모두 만족하도록 제작된 시작품을 대상으로 시운전결과 및 신뢰성, 안전성 활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보해야 한다.

전자연동장치의 현장 시운전은 태백선 청령포역에서 실시되었으며 현장 시험은 성공적으로 마쳤다. 현장 시운전시 보안점은 설계시 반영하여 다음 버전의

Prototype 제작시 반영하였으며 이렇게 제작된 시료는 시험전문기관 신뢰성시험은 신뢰성분야에서 도출된 신뢰성 시험절차서를 바탕으로 전자연동장치 하부구성요소의 상세시험절차를 개발하여 신뢰성시험의 공인시험기관인 타스코에서 신뢰성시험을 실시하였다. 실시된 신뢰성시험은 피시험체인 전자연동장치 하부구성요소의 수량제한에 따라 예측치인 목표 MTBF의 만족여부를 시험하는 비파괴시험방식으로 온도스트레스에 대한 제어기의 예측신뢰도를 입증하였다.

가. 전자연동장치분야 1차년도 연구목표 및 내용

전자연동장치에 대하여 현장 안정화 시험을 통하여 전자연동장치가 실제 운용환경에서의 안정화와 현장 적용을 위한 신뢰성향상을 위해 철도 환경적응 및 각종 연동논리 시험과 소프트웨어와 하드웨어의 기능을 보강을 위한 연구를 수행하였다.

표 1.7 전자연동장치분야 1차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도 (2002)	· 전자연동장치 안정화 시험(1) · 안정화 시험을 위한 유지보수(1)	· 전자연동장치 안정화 시험(1) · 안정화 시험을 위한 유지보수(1)

(1) 현장 안정화 시험 방안

전자연동장치 현장 운용시험 관련하여 기존에 설치되어 있는 전기연동장치를 신설 전자연동장치로의 절체를 위한 작업으로 차량운행의 중단 없이 연동장치를 시험용 전자연동장치로 교체하기 위하여 신설설비의 시운전이 완료되기 전까지 계전연동설비와 전자연동설비가 일정 기간 동안 공존해야하는 절체공정이 필요하기 때문에 기존설비의 조사와 단계별 절체방안을 확립하여 절체기간동안 안전과 신뢰성을 바탕으로 조업에 영향을 최소화하여 원활한 시운전 시험이 이루어지도록 하였다.

(2) 현장시험의 구성

절체작업 시행전 시공사, 철도기술연구원에서 자체시험 후 시공사, 철도청, 철도기술연구원 긴밀한 협조체제하에 효율적으로 관리하고 시험기간동안 시험

에 따른 각종 사고를 예방하여 성공적인 시운전을 수행하였다. 자세한 시험절차방안에 대해서는 3차년도 보고서에 상세히 설명되었다.

(3) 현장 온도 변화 시험

실시간 열차운행으로 인해 현장 선로변에 설치 되어있는 신호기모듈, 선로전환기모듈, 궤도회로모듈 등 현장제어부 TFM Rack내의 Air-to-Heat Pipe 열교환기가 내장된 함체에 온도센서를 설치하고 전원을 공급하여 동작시키고 열 교환기를 통해 유입되는 내부의 온도와 외부의 온도변화를 측정시험을 수행하였다. 시간에 따른 온도변화 결과치는 3차년도 보고서 현장안정시험에 자세히 수록되어 있다.

(4) 현장 적용 안전성/신뢰성 보완

전철기제어모듈(PM)과 신호제어모듈(SM)은 시스템에서 결함허용특성을 완전하게 소화해 내는 것으로 평가되었다. 따라서 결함검출에 걸리는 시간을 최소화하여 시스템의 신뢰성 향상을 목표로 하였다. 또한 소자를 최적화시켜서, 신뢰성을 계산하는데 중요한 요인인 고장률을 최소화시켜 신뢰성 보완하기 위한 설계를 하였다.

나. 전자연동장치분야 2차년도 연구목표 및 내용

표 1.8 전자연동장치분야 2차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
2차년도 (2003)	· 전자연동장치 안정화 시험(2) · 안정화 시험을 위한 유지보수(2)	· 전자연동장치 안정화 시험(2) - 전자연동장치 가속수명시험 절차개발 - 전자연동장치 H/W 업그레이드 - 전자연동장치 S/W 업그레이드 · 안정화 시험을 위한 유지보수(2)

(1) 전자연동장치 현장기능시험

전자연동장치의 연동기준을 표준으로 안정화시험을 수행하였으며, 안전하고 원활한 열차운행을 확보하기 위하여 검사항목마다 정상적인 연동기능을 확인하였다.

■ 전자연동장치 연동논리부 현장 기능시험

■ 전자연동장치 Vital Network(SHR)부 기능시험

■ 전자연동장치 현장 제어부 기능 시험 항목

■ 연동기능 시험항목

(2) 전자연동장치 현장안정화 시험데이터

■ 현장 제어부 온도 데이터

현장 제어부 온도 데이타는 선로변의 온도와 기후변화에 노출 되어 있는 현장 제어부의 내·외부의 온도를 측정하고 현장 제어부 Rack의 열 차단과 보온성능, 기후 변화에 따른 Rack의 성능, 현장 제어 모듈의 동작 온도 시험의 현장 적용 등을 점검하기 위해여 실시하였다.

■ 현장시험 유지보수 기록내역

전자연동장치는 연동기능의 수행과 현장설비를 정상적으로 반복제어(선로전환기제어 및 신호기현시) 하였으나 데이터 폭주로 인해서 전자연동장치가 표시제어부 및 CTC I/F 시스템을 통한 진로선별등은 현시하지 못하고 표시정보 누락되는 경우가 발생하였다 현장정보처리 로깅데이타는 2차년도 보고서에 기술하였다.

다. 전자연동장치분야 3차년도 연구목표 및 내용

표 1.9 전자연동장치분야 3차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
3차년도 (2004)	· 전자연동장치 신뢰성 예측 및 분석 · 안정화 시험을 위한 유지보수(3)	· 전자연동장치 신뢰성 예측 및 분석 - 설계안전을 위한 시험 - 설계안전을 가속수명 시험 · 시험설계실시 · 재현시험 및 표준화 · 신뢰성 예측 · 안정화 시험을 위한 유지보수(3)

고장데이터 분석 및 설계보안은 신뢰성분야에서 제시된 예측신뢰도 및 입증치에 따른 설계보완사항과 주관기관의 실험실 레벨 자체시험시 도출된 설계보

완사항을 반영하였다. 전자연동장치는 크게 연동논리부와 현장제어부로 두 개의 구분하여 업그레이드된 사항은 다음과 같다.

(1) 전자연동장치 업그레이드 현황

(가) 연동 논리부

① SDRAM BACK UP

연동 논리부의 주요 기능인 연동 논리의 수행은 EPROM에서 프로그램 되어(Vxworks)를 통하여 기능을 수행 한다. 연동 논리가 처리가 된 결과는 Flash ROM저장이 되나 전원 단절시 수행 중이던 Data의 대해서는 손실 위험이 있어 SDRAM Back up 회로를 추가 하였다. Back up 건전지에 점퍼 스위치를 설치하여 보관 중에 건전지의 방전을 방지 하였다.

② Serial 통신의 호환성

DIP S/W를 통하여 RS-232C/RS-422 통신의 전환이 가능하게 하였다.

(나) 현장 제어부

현장 제어부는 연동 논리부에서 처리한 연동논리를 통신으로 전달 받아 현장을 제어하고 현장 설비의 상태를 연동논리부에 전달해주는 역할을 하는 부분으로써 현장에 직접 설치가 되어 온도와 낙뢰등 환경적인 요인에 대한 보호와 대기 이중계와 결함 허용 방식으로 자체 안정성과 신뢰성을 확보 하였다.

① 선로전환기 제어 모듈(PM)

- EPLD의 검지 기능의 강화 : 출력단에 출력의 대한 검지 회로를 보강하여 최종 출력단에서 검지하였다.
- Optic I/O Port : Optic I/O Port를 신설하여 출력에 대한 확장성을 확보
- 출력에 대한 전류 : 출력 전류를 높여서 장거리에 있는 선로 전환기나 쌍동형 선로 전환기 제어 시에도 충분한 전력을 전달 할 수 있게 하였다.

② 신호기 제어 모듈(SM)

- 출력제어 : 각 출력 Point 별로 출력제어를 따로 두어 제어 시간을 단축하였다.
- Reset 스위치 : 각 등별로 Reset S/W를 추가하여 등별 Reset이 가능하게

하여 출력이 전구 교환 후 출력 제어가 나가지 않아도 단심 복귀 되게 하였다. Reset S/W가 나가지 않아도 교환 후 출력 제어가 나가면 단심 복귀가 된다.

- 3등 신호등 외 : 4등 5등 신호기 제어를 위해 2개의 신호 출력을 같이 쓸 수 있도록 하드웨어를 설계하여 확장성을 확보 하였다.

③ 신호기 부정 출력 검지 모듈(SM_VCK)

- 이중계 설치시 동작계와 대기계의 출력을 병합하여 결선을 단순화 시켰다.
- 과전류에 대하여 차단기능을 설치하고 과전류가 해제시 자동으로 복귀되는 보호 회로를 추가 설치하였다.

④ 입력 제어 모듈(IM)

- Chattering 방지 : 입력 신호에서 500ms 이상일 때 정상 신호로 입력 받아 연동장치와 통신한다.
- LED: 정상적인 입력일 때는 Green을 표시하나 입력 신호의 비교에서 서로 틀리게 되면 Yellow를 표시한다.
- Optic I/O Port: Optic I/O Port를 신설하여 출력에 대한 확장성을 확보하였다.

⑤ 출력 제어 모듈(OM)

- 현장 기기 : 현장 기기가 출력 제어 모듈에 연결 되었을 때 미세 전류 검지를 통하여 현장측 장비 유무를 판단하고 상태를 확인 할 수 있도록 하였다.
- 과전류 검지 : 과전류 검지 시간을 단축 할 수 있도록 회로를 재구성 하였으며 과전류 복귀 시간도 단축하여 다수의 과전류 검지에도 대응 할 수 있도록 하였다.

⑥ 입/출력 제어 모듈(UM)

- Chattering 방지 : 입력 신호에서 500ms 이상일 때 정상 신호로 입력 받아 연동장치와 통신한다.
- LED : 정상적인 입력일때는 Green을 표시하나 입력 신호의 비교에서 서로 틀리게 되면 Yellow를 표시한다.
- 현장 기기 : 현장 기기가 출력 제어 모듈에 연결 되었을때 미세 전류 검지를 통하여 현장측 장비 유무를 판단하고 상태를 확인 할 수 있도록 하

였다.

- 과전류 검지 : 과전류 검지 시간을 단축 할 수 있도록 회로를 재구성 하였으며, 과전류 복귀 시간도 단축하여 다수의 과전류 검지에도 대응 할 수 있도록 하였다.

라. 전자연동장치분야 4차년도 연구목표 및 내용

신뢰성을 확보하기 위해서 크게 시스템, 하드웨어, 소프트웨어 부분으로 구분하여 시험 및 설계보완 하였으며 현장과 같은 조건을 만족하기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 설비를 옥외에 설치하여 써지 및 노이즈 등 환경적인 요인에 대해서도 내구성 테스트를 시행하여 기능 및 안전성을 확보하였다.

표 1.10 전자연동장치분야 4차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
4차년도 (2005)	· 전자연동장치 신뢰성 확보 · 유지보수 기준(안) 작성	· 전자연동장치 신뢰성 확보 - 고장데이터 최종분석 - 설계 반영 및 보완 · 유지보수 기준(안) 작성

(1) 전자연동장치 신뢰성 및 기능 보완

(가) 시스템

시스템	구분	내용	효과	비고
옥외 테스트	신뢰성	온도, 습도, 써지, 노이즈 등 환경적 요인에 대한 테스트	전체적 시스템에 대한 신뢰성 강화	
옥외 테스트	신뢰성	각 모듈별 최고/저 온도에 대한 테스트	환경적인 요인에 대한 신뢰성 강화	

(나) 하드웨어

시스템	구분	내용	효과	비고
IXL SCC	신뢰성	통신 Error 처리 강화	통신 Error율을 줄이며 통신 속도 향상	S/W 보완
PM	신뢰성/기능	출력 제어를 하지 않을 때 WLR Relay에 대한 보완	고장 보고 분석 용이 신뢰성 강화	보드 보완
SM	기능	단심 자동 복귀 기능	검지 및 처리시간 단축	보드 보완
OM	기능	무 부하에 대한 실시간 검지	결선 불량에 대한 검지	보드 보완

(다) 소프트웨어

시스템	구분	내용	효과	비고
Map Editor	기능	다양한 선형 입력 가능	시스템 유지보수용이	
LCP 처리내역 Log보완	기능	알람 메시지의 한글화	시스템 유지보수용이	

(2) 신뢰성시험

4차년도에는 전자연동장치 현장제어모듈에 대한 신뢰성입증을 위해 온도를 스트레스 요인으로 하는 가속수명시험을 공인기관에서 수행하여, 아래 그림 1.7과 같은 시험성적서를 취득하였다.

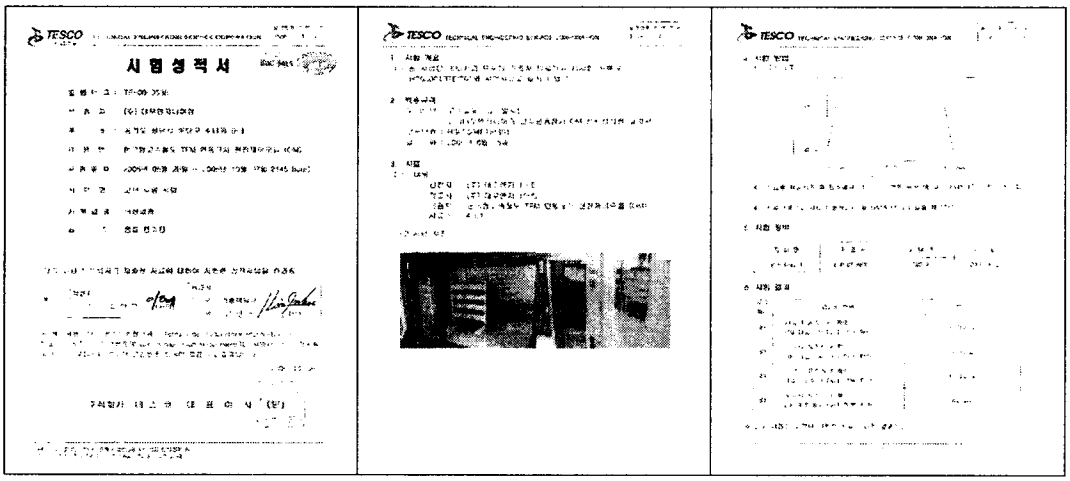


그림 1.7 전자연동장치 현장제어모듈(OM) 성적서

마. 전자연동장치분야 5차년도 연구목표 및 내용

표 1.11 전자연동장치분야 5차년도 연구목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
5차년도 (2006)	· 유지보수 체계 구축	· 유지보수 체계 구축 -교육훈련매뉴얼작성 -유지보수매뉴얼작성

제작된 시작품을 대상으로 시운전결과 및 신뢰성, 안전성 활동을 통해 시스템의 기능을 향상시키고, 신뢰성과 안전성을 확보하였다.

전자연동장치 시험전문기관 신뢰성시험은 신뢰성분야에서 도출된 신뢰성시험 절차서를 바탕으로 전자연동장치 하부구성요소의 상세시험절차를 개발하여 신뢰성시험의 공인시험기관인 타스코에서 신뢰성시험을 실시하였다. 실시된 신뢰성시험은 피시험체인 전자연동장치 하부구성요소의 수량제한에 따라 예측치인 목표 MTBF의 만족여부를 시험하는 비파괴시험방식으로 온도스트레스에 대한 제어기의 예측신뢰도를 입증하였다. 신뢰도입증은 아래 그림 1.8과 같이 공인기관에서 취득한 시험성적서를 통해 확인할 수 있다.

또한 고장데이터 분석 및 설계보안은 신뢰성분야에서 제시된 예측신뢰도 및 입증치에 따른 설계보완사항과 주관기관의 실험실레벨 자체시험시 도출된 설계보완사항을 반영하였다.

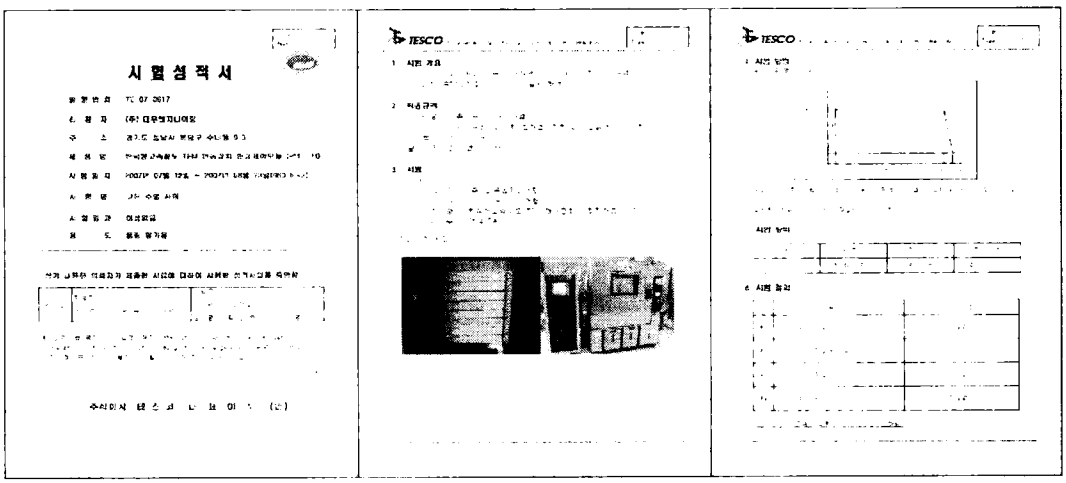


그림 1.8 전자연동장치 현장제어모듈(PM,SM) 시험성적서

4. 연구개발의 추진체계

고속철도 열차제어시스템의 안정화를 위해 공동주관기관인 한국철도기술연구원, LS산전(주), (주)대우엔지니어링이 그림 1.9와 같이 연계하여 수행하였다.

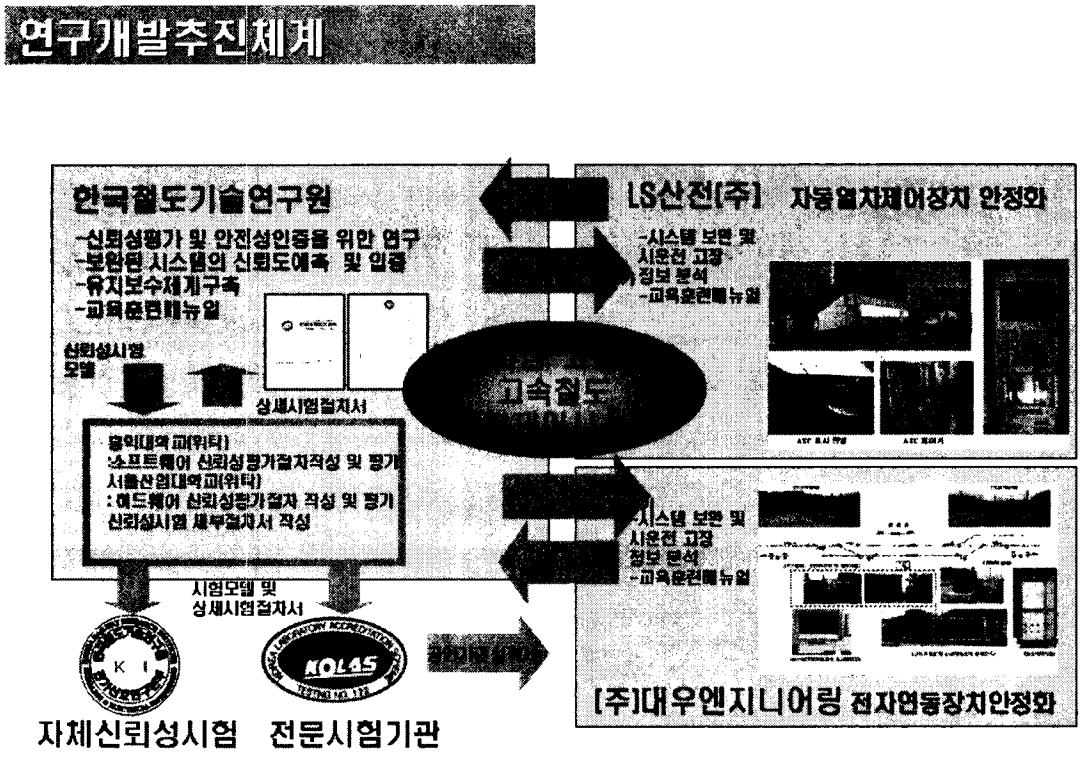


그림 1.9 연구개발 추진체계

한국철도기술연구원에서는 열차제어시스템에 대한 국제규격 또는 열차제어시스템이 속해 있는 전자부품으로 구성된 제어기기에 대한 국제규격인 전기전자부품 고장률 예측지침 MIL-HDBK-217을 기준으로 분석하여 LS산전(주)과 (주)대우엔지니어링에서 자동열차제어장치와 전자연동장치 설계자료를 바탕으로 신뢰도를 예측하여, 신뢰도 목표를 만족을 위한 설계지원을 수행하였으며, 신뢰도 예측치의 입증을 위해 신뢰성시험의 모델링 및 신뢰성 시험절차서를 작성하였다. 이러한 연구를 수행하기 위해 한국철도기술연구원에서는 신뢰성시험의 이론적인 자료조사 및 적용 스트레스에 대한 타당성과 신뢰성시험에 전제되어야 할 가정에 대한 연구수행하고, 위탁기관인 홍익대학교와 서울산업대학교에서는 각각 2차년도와 3차년도에, 열차제어시스템 소프트웨어 신뢰도를 평가하였다. 4차년도에는 LS산전(주)와 (주)대우엔지니어링에서는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하드웨어 설계보완으로 인해 변경된 신뢰도를 재예측하여,

새롭게 예측한 열차제어시스템의 신뢰도를 입증하기 위한 가속수명시험을 공인기관에서 실시하였다. 공인기관 신뢰성시험을 수행하기 위해 한국철도기술연구원에서 개발한 시험절차서는 시험시간, 시험환경, 고장판단기준 등에 대하여 전문시험기관과의 협의를 거쳤다. 5차년도에는 4차년도에 확보한 신뢰성입증기술을 활용하여, 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 온습도 진동시험기를 사용하여, 열차제어시스템의 신뢰성시험환경을 구축하고, 고속철도 열차제어시스템의 신뢰성시험을 자체적으로 수행하여, 신뢰도를 입증하였다..

또한, 한국철도기술연구원에서는 전기/신호시스템 엔지니어링분야 그리고, LS산전(주)에서는 자동열차제어장치 분야, (주)대우엔지니어링에서는 전자연동장치 분야의 교육훈련매뉴얼을 국문과 영문으로 작성하였고, 열차제어시스템의 유지보수체계를 위해, 한국철도기술연구원에서는 신뢰도기반유지보수(RCM, Reliability Centered Maintenance)를 분석하여, 유지보수체계를 구축하고, (주)LS산전과 대우엔지니어링(주)로부터 수집된 고장데이터를 활용하여, 고장을 특정 확률분포로 모델링하고, 하부모듈의 예방유지보수주기를 정량적으로 할당하였다. LS산전(주)와 (주)대우엔지니어링에서는 자동열차제어장치 분야, 전자연동장치 분야의 유지보수매뉴얼을 작성하였다. 교육훈련매뉴얼과 유지보수매뉴얼은 분야별로 각 각 별권으로 작성되었다.

제 3 절 최종목표달성을 위한 평가기준

5차년까지 수행된 본 과제를 통해 한국형고속철도 열차제어장치인 자동열차제어장치와 전자연동장치의 상용품이 개발되었으며, 최종산출물인 자동열차제어장치와 전자연동장치는 한국고속철도 열차제어시스템의 신뢰성 요구사항인 하부구성요소 MTBF 100,000 시간이상 확보가 신뢰성시험을 통해 입증되었다.

자동열차제어장치와 전자연동장치의 기능은 한국고속철도의 기능요구사항과 인터페이스요구사항을 만족하며, 고속철도 운영을 위한 운영시나리오의 적용이 가능한 시스템을 목표로 안정화를 실시하였다.

자동열차제어장치의 안정화기준은 자동열차제어장치분야 연구성과의 시운전 절차서 및 결과보고서에서와 같이 차상장치에 대해서는 경부고속철도 본선에서의 시운전을 통해 안전성, 신뢰성이 입증되었으며, 지상장치에 대해서도 지속적인 시운전을 통해 성능뿐만 아니라 안전성과 신뢰성이 입증되었다.

전자연동장치분야는 고속철도환경에서 시운전환경의 구축에 어려움이 있어 일반철도의 역을 대상으로 시운전을 실시하였으며, 상용화를 위한 노력하였다.

열차제어시스템의 신뢰성과 안전성의 입증은 관련국제규격에 따른 신뢰성, 안전성활동을 통해 문서화되었으며, 신뢰성과 안전성목표의 만족여부를 객관적으로 판단할 수 있도록 문서화하였다.

1. 신뢰성분야 최종목표달성의 평가기준

신뢰성분야의 최종목표는 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성을 평가하기 위한 체계의 개발 및 개발된 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성활동 문서이다.

따라서 표 1.12와 같이 신뢰성분야의 산출물과 평가기준을 제시할 수 있다.

표 1.12 신뢰성분야 최종산출물 및 평가기준

순번	최종산출물	평가기준
1	고속철도 열차제어시스템 신뢰성 예측 및 평가체계	· 신뢰성체계의 완성도 · 신뢰성체계의 건전성
2	고속철도 열차제어시스템 안전성 활동체계	· 안전성체계의 완성도 · 안전성체계의 건전성
3	고속철도 열차제어시스템 신뢰성예측보고서	· 신뢰성예측의 완성도 · 신뢰성예측의 적절성 · 신뢰성예측방식의 적절성
4	고속철도 열차제어시스템 신뢰성 입증시험 절차서	· 신뢰성입증의 완성도 · 신뢰성입증의 적절성 · 신뢰성입증방식의 적절성
5	고속철도 열차제어시스템 유지보수체계구축	· 유지보수체계의 완성도 · 유지보수체계의 적절성 · 유지보수방식의 적절성
6	교육훈련매뉴얼	· 교육훈련매뉴얼 타당성

2. 자동열차제어장치분야 최종목표달성의 평가기준

지상으로부터 송신된 열차제어를 위한 연속정보와 불연속정보를 차상제어장치가 수신하여 열차를 제어하는 자동열차제어장치는 완료된 시제품으로 시운전을 수행하여 수집한 정보와, 구성요소의 고장률정보를 통해 예측된 데이터를 토대로 신뢰성 및 안전성확보를 위한 안정화를 수행하여 상용품을 제작하였다.

또한 제작된 상용품의 신뢰성 및 안전성을 유지하기 위한 유지보수체계의 구축을 5차년까지 수행하여, 1차년도부터 5차년도까지 수행한 자동열차제어장치 안정화의 산출물과 평가기준은 표 1.13과 같이 정리할 수 있다.

표 1.13 자동열차제어장치 최종산출물 및 평가기준

순 번	최종산출물	평가기준
1	자동열차제어장치 상용품	· 기능요구사항을 만족하는 지상, 차상제어장치의 도출여부
2	자동열차제어장치 신뢰성보고서	· 신뢰성보고서의 적절성 · 신뢰성보고서의 완성도
3	자동열차제어장치 안전성보고서	· 안전성보고서의 완성도 · 안전성보고서의 적절성
4	자동열차제어장치 유지보수매뉴얼	· 유지보수매뉴얼의 타당성
5	자동열차제어장치 교육훈련매뉴얼	· 교육훈련매뉴얼의 타당성

3. 전자연동장치분야 최종목표달성의 평가기준

역구내 열차위치를 파악하여 안전하게 열차의 진로를 제어하는 전자연동장치는 완료된 시제품으로 시운전을 수행하여 수집한 시운전정보와, 구성요소의 고장률정보를 통해 예측된 데이터를 토대로 신뢰성 및 안전성확보를 위한 안정화를 수행하여 상용품을 제작하였다. 또한 제작된 상용품의 신뢰성 및 안전성을 유지하기 위한 유지보수체계의 구축을 5차년까지 수행한다. 따라서 1차년도부터 5차년도까지 수행한 전자연동장치 안정화의 산출물과 평과기준은 표 1.14와 같이 정리할 수 있다.

표 1.14 전자연동장치 최종산출물 및 평가기준

순 번	최종산출물	평가기준
1	전자연동장치 상용품	· 기능요구사항을 만족하는 지상, 차상제어장치의 도출여부
2	전자연동장치 신뢰성보고서	· 신뢰성보고서의 적절성 · 신뢰성보고서의 완성도
3	전자연동장치 안전성보고서	· 안전성보고서의 완성도 · 안전성보고서의 적절성
4	전자연동장치 유지보수매뉴얼	· 유지보수매뉴얼의 타당성
5	전자연동장치 교육훈련매뉴얼	· 교육훈련매뉴얼의 타당성

제 2 장 국내외 기술개발 현황

본 장에서는 열차제어시스템과 관련된 국내외 기술개발 현황에 대하여 본 연구를 구성하는 신뢰성분야, 자동열차제어장치분야 그리고 전자연동장치 분야에 대하여 각각 기술한다. 또한, 열차제어시스템 관련 특허를 조사하여 본 연구과제와의 중복성 및 향후 상업화에 따른 지적재산권과 관련된 리스크를 제거하기 위한 대응방안에 대하여 기술한다.

제 1 절 신뢰성분야

1. 신뢰성분야 국내외 기술개발 현황

국내에서는 산업용 제어기의 생산역사가 30년 이상 지속되어 많은 산업분야에서 이러한 제어기를 사용함으로 제어기고장에 관련된 정보를 충분히 획득하였고 고장에 대한 대책을 지속적으로 수립하여 왔다. 현재에는 국내 전자제품의 품질이 향상되고 자본도 축적되어 지속적인 품질개량이 가능하게 되었으며, 철도뿐만 아니라 다른 산업관련 분야에서도 고장형태 분석, 운용환경분석, 통계를 사용한 고장이력의 분석을 수행하고 있다. 이러한 데이터를 기반으로 시스템 가용도를 높이기 위한 여분구조 시스템이 활용되고 있으며, 고장분석을 위해서 상용화된 여러 가지 소프트웨어 등이 활용되고 대학에서도 신뢰성에 대한 교육이 진행되고 있다.

컴퓨터기반 제어기의 신뢰도 향상을 위한 고장의 분석은 하드웨어와 소프트웨어를 결합하여 분석을 수행하며, 하드웨어에 대한 분석은 시스템의 고장을 정의하고, 부품단위고장률예측을 통해 시스템의 신뢰도를 저하시키는 요인을 설계단계에서 배제시켜, 시스템의 신뢰도를 향상시키고 있다. 또한 소프트웨어에 대해서는 설계, 제작, 시험단계에서부터 소프트웨어를 모델링하고, 시험에 의한 오류원인을 통해 소프트웨어의 신뢰도를 예측하고 있다. 안전관련 시스템의 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성의 국제규격인 IEC 61508에서는 Part 1에 일반적인 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성(RAMS : Reliability, Ability, Maintainability and Safety)에 대한 요구사항을 다루고 있으며, Part 2에서는

하드웨어 중심의 시스템차원 요구사항 그리고 Part3에서는 소프트웨어에 대한 요구사항을 제시하여 개념정립에서 폐기까지의 시스템 수명주기 동안 단계별 요구사항을 제시하고 있다.

표 2.1 국외내 신뢰성 및 안전성 입증을 위한 절차개발 내용

구분	규격개발	지침	인증기관	비고
국내	· XIEC 61511	· 열차제어시스템의 안전성 및 신뢰성확보를 위한 지침(철도청)	· 프로젝트별로 최종사용자가 지정 · 국가가 지정한 기관은 없음	
국제	· IEC 61508 · IEC 62278 · IEC 62279 · IEC 62280-1 · IEC 62280-2			
유럽	CENELEC · EN 50126 · EN 50128 · EN 50129 · EN 50159		· 인증전담기관지정	· 유럽에는 TUV, Lloyd's Register 등 많은 인증기관이 활동하고 있음 · 신뢰성 및 안전성 활동 보고서를 제출하도록 되어 있음
일본		· 열차보안시스템의 안전성 기술지침		

*XIEC61511-안전관련 전자제어시스템의 RAMS.
*IEC61508-안전관련 전자제어시스템의 RAMS.
*IEC62278-철도신호시스템의 RAMS요구사항.
*IEC62279-철도신호시스템의 소프트웨어.
*IEC62280-철도신호시스템이 통신(80-1 : 폐쇄망, 80-2 : 개방망).
*CENELEC50126-철도신호시스템의 RAMS.
*CENELEC50128-철도신호시스템 소프트웨어.
*CENELEC50129-철도신호시스템의 제어기.
*CENELEC50159-철도신호시스템이 통신.

표 2.1과 관련하여 철도신호시스템 국제규격인 IEC 62278에서 제시하는 수명주기별 RAMS의 요구사항은 표 2.2와 같다.

표 2.2 철도신호시스템 수명주기별 RAMS 요구사항

수명주기 단계	일반적인 과업	신뢰성, 가용성, 유지보수성 과업	안전성 과업
1.개념설정	·철도프로젝트의 범위와 복적 구축 ·철도프로젝트의 개념 정의 ·경영분석 및 실용성 연구의 착수 ·관리의 수립	·이전에 달성된 RAM 성과의 사전 검토 ·프로젝트의 RAM 관련성 고려	·이전에 달성된 안전성 성능의 사전검토 ·프로젝트의 안전성 관련사항 검토 ·안전성 정책과 안전성 목표 검토
2. 시스템 정의와 적용조건	·시스템 임무 프로필의 수립 ·시스템 설명서 준비 ·운영과 유지보수 전략의 확인 ·운영조건의 확인 ·유지보수조건의 확인 ·기존설비의 제약조건의 영향 확인	·RAM에 위한 과거 경험 데이터 평가 ·예비 RAM 분석 수행 ·RAM 정책의 설정 ·상기 운영 및 유지보수 조건의 확인 ·기존 설비제약조건의 RAM에 대한 영향 확인	·안전성에 관한 과거 경험데이터 평가 ·사전 위험상태 조건 수행 ·全 Safety Plan 구축 ·위험도 기준의 허용도 정의(PHA) ·기존 설비의 제약조건의 안전성에 관한 영향 확인
3. 위험도 분석	·프로젝트 관련 위험도 분석의 착수		·시스템 위험상태와 안전성 위험도 분석 수행 ·위험상태 기록의 설정 ·위험도 평가(Risk Assessment) 수행
4. 시스템 요구사항	·요구사항 분석의 착수 ·시스템(全 요구사항)의 구체화 ·환경의 구체화 ·시스템 입증과 수용기준정의 ·검증계획 수립 ·관리, 품질, 조직 요구사항의 수립 ·변경 제어 절차의 구현	·시스템 RAM 全 요구사항의 구체화 ·RAM 수용기준(전체)의 정의 ·시스템의 기능적 구조의 정의 ·RAM 프로그램의 수립 ·RAM 관리의 수립	·시스템 안전성 全 요구사항의 구체화 ·안전성 수용기준(전체)의 정의 ·안전성에 관련된 기능 요구사항 정의 ·안전성 관리의 수립
5. 시스템 요구사항의 배분	·시스템 요구사항 배분 - 하부시스템과 부품의 요구사항 구체화 - 하부시스템과 부품의 수용기준정의	·시스템 RAM 요구사항의 배분 - 하부시스템과 부품의 RAM 요구사항 구체화 - 하부시스템과 부품의 RAM 수용기준의 정의	·시스템 안전성 목표와 요구사항의 배분 - 하부시스템과 부품의 안전성 요구사항의 구체화 - 하부시스템과 부품의 안전성 수용기준의 정의 ·시스템 안전성 계획의 갱신
6. 설계와 구현	·계획의 수행 ·설계와 개발 수행 ·설계분석과 시험의 수행 ·설계 증명의 수행 ·구현과 검증 수행 ·지원 자원 실계의 수행	·다음을 포괄하는 검토, 분석, 시험, 데이터 평가에 의한 RAM 프로그램의 구현 신뢰성과 가용성 - 유지보수와 유지보수성 - 최적 유지보수 정책 - 지원 ·다음을 포괄하는 프로그램 제어의 착수 - RAM 프로그램 관리 - 하부계약자 또는 공급자들의 관리	·다음을 언급하는 검토, 분석, 시험, 데이터 평가에 의한 Safety Plan 구현(HIA) 위험상태 기록 - 위험분석 분석과 위험도 평가 · 안전성 관련된 설계 의사결정 정당화 · 다음을 포함하는 프로그램 제어 착수 - 안전성 관리 - 하부계약자 또는 공급자의 관리 · 일반적인 안전성 증빙문서마련 · 일반적인 응용안전성 증명의 준비 마련
7.제조	·생산계획 수행 및 제조 ·구성요소 하부어셈블리 제조와 시험 ·문서화 마련 ·훈련 구축	·환경 응력 적격심사 수행 ·RAM 개선 시험 수행 ·고장보고분석 및 수정활동 시스템(FRACAS)	·검토, 분석, 시험, 데이터 평가에 의한 안전성 계획을 구현 ·위험상태를 사용
8.설치	·시스템 조립 ·시스템 설치	·유지보수자 훈련 시작 ·예비 부품과 공구 공급 구축	·설치 프로그램 구축 ·설치 프로그램 구현
9. 시스템 검증	·시운전 ·시범운영 수행 ·훈련 착수	·RAM 입증 수행	·시운전 프로그램 구축 ·시운전 프로그램 구현 ·운영사용 Safety Case 마련
10.시스템 인수	·인수 기준에 기초한 인수 절차 착수 ·인수를 위한 증빙자료 수집 ·운행 시작 및 시범 운영기간 지속	·RAM 입증 평가	·운영사용 Safety Case 평가
11.운영과 유지보수	·장기간 시스템 운영 ·상시 유지보수 수행 ·상시 훈련 착수	·예비품과 공구의 상시 조달 ·상시 신뢰성중심의 유지보수 세부계획 지원실행	·상시 안전성 중심의 유지보수 착수 ·상시 안전 성능 감시 및 Hazard Log 유지보수 수행
12.성능 감시	·운선중의 성능 통계자료 수집 ·자료의 확보, 분석과 평가	·성능과 RAM 통계량 수집, 분석, 평가,사용	·성능과 안전성 통계량 수집, 분석, 평가와 사용
13.수정과 개조	·변경요구 절차 구현 ·변경과 개선 절차 실행	·변경과 개선을 위한 RAM 관련사항 고려	·변경과 개선을 위한 안전성 관련사항 고려
14.해체와 폐기	·사용중지 폐기 계획 ·사용중지 착수 ·폐기 착수	·RAM에 해당하는 활동 없음	·안전성 계획 수립 ·위험요소 분석과 위험도 평가 수행 ·안전성 계획 구현

*PHA(Preliminary Hazard Analysis)

참조 1: 변경관리나 형상경영활동은 모든 프로젝트 단계에 적용한다.

참조 2: verification과 validation 활동은 대부분의 수명주기활동에서 적용하고 본문에 포함되어 있다.

참조 3: RAM에 대해서 RAM 프로그램이란 용어가 공통적으로 사용되고 있으며 본 규격에서 채택되고 있다. 안전성에 대해서 Safety Plan이란 용어는 공통적으로 사용되고 있으며 본규격에서 채택되고 있다.

참조 4: 본 규격의 범위는 RAMS로 제한되어 있으며 모든 시스템 보증 활동들을 언급하고 있지 않는 점을 참조하시오. 그러나 RAMS 단계들과 프로젝트 관련 단계들 사이의 통기화를 보증하는 것이 필요하며 RAMS의 관점에서 한 단계에서 다음 단계로 통과하기 위한 조건들에 동의하는 것도 필요하다.

참조 5: 단계 9와 단계 10의 활동들은 고려중인 응용항목에 대해 따라서 통합되어도 좋다.

국외 연구기관은 국제규격을 근거로 신뢰성과 안전성활동을 지속적으로 수행하여 많은 수행실적을 확보한 상태이며, 국내의 경우 철도청 CTC통합사령실의 소프트웨어 및 KORAIL 차상신호(ATP)시스템 도입사업에서 수행중이다. 표 2.3은 국내외의 신뢰성 및 안전성활동의 기술수준을 표현한 것이다.

표 2.3 국내외 신뢰성 및 안전성활동관련 기술수준

구분	국내	국외	국내기술수준(%) 철도분야
운용환경	· G7과제를 통해서 제정되었음	· ETCS 개발에서 제정되었음	90
신뢰성평가	· MIL규격을 통한 시스템 고장률예측 · 전체시스템의 신뢰도예측	· 하드웨어와 소프트웨어별, 또는 전체시스템의 신뢰도 모델링 · 규격에 의한 시스템 신뢰도 예측	90
시험평가	· 신뢰성시험을 위한 기초이론 조사	· 수명시험을 통한 단품단위 시험 · 시운전데이터를 통한 입증	50
안전성평가	· 사고와 관련된 위험원을 예비위험원분석(PHA)을 통해 도출 · HAZOP 및 FMECA를 통한 위험원도출 · FTA 및 ETA를 통한 위험원분석	· 사고와 관련된 위험원을 예비위험원분석(PHA)을 통해 도출 · HAZOP 및 FMECA를 통한 위험원도출 · FTA 및 ETA를 통한 위험원분석	95

*ETCS(European Train Control System), *MIL(미국방부규격), *HAZOP(Hazard and Operability), *FMECA(Feailure Mode and Effective and Criticality Analysis), FTA(Fault Tree Analysis), *ETA(Evant Tree Analysis)

신뢰도기반 유지보수를 적용하여, 예방유지보수체계를 구축하고, 규격으로 제정하는 국외 사례는 아래 표 2.4와 같다. 주로, 신뢰성과 안전성을 중요시하는 국방, 항공기 분야에 많이 적용되고 있다.

표 2.4 예방유지보수관련 규격

규정번호	규정명	제정연도	제안사	비고
MD21108-2540	Reliability Centered Maintenance	1978	미국방성	정부기관
MIL-STD-2173	Reliability-Centered Maintenance Requirement for Naval Aircraft, Weapons Systems and Support Equipment	1986	미국방성	정부기관
MIL-STD-2173	Condition Based Maintenance	1988	미해군	정부기관
Technique PM-4	Preventive Maintenance Strategies Using Reliability-Centered Maintenance (RCM),	1994	NASA	정부기관

규정번호	규정명	제정연도	제안사	비고
RCM II	John Moubray	1997	미국	비정부기관
NAVAIRINST 4790.20	Reliability-Centered Maintenance Program	1999	미해군	정부기관
IEC 60300-3-11	Application Guide - Reliability-Centered Maintenance	1999	국제전기기술위원회	비정부기관
SAE JA1011	Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes	1999	미자동차공학회	비정부기관
SAE JA1012	A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Standard	2002	미자동차공학회	비정부기관
NAVAIR 00-25-403	Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process	2003	미해군	정부기관
TM-5-698-2	Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process	2003	미육군	정부기관

2. 신뢰성분야 향후전망

WTO체제 하에서는 국제규격을 준수한 철도신호분야 컴퓨터기반 제어기의 사용은 신뢰성과 안전성의 입증이 국외시장 진출의 필수조건이며, 국내에서도 국제규격에 따라 개발된 제품의 사용이 철도안전법 등에 의해 법제화되고 있다. 따라서, 새로이 개발되는 제품이 국제규격을 준수하지 못하면 국제시장은 물론 국내시장에서도 통용될 수 없는 시기가 도래하였다. 따라서 관련 규격을 근거로 시스템의 신뢰성과 안전성 입증은 철도신호분야 뿐만 아니라 안전과 관련된 분야의 컴퓨터기반 제어기사용을 위한 필수조건이며, 본 과제를 통한 시스템 신뢰성 및 안전성입증절차는 관련분야의 케이스 스터디로 좋은 선례가 되리라 전망한다. 또한 신뢰도기반의 유지보수이론 및 국외 규격을 바탕으로, 새롭게 본 연구를 통해 제시하는 유지보수체계는 기존의 제작사와 경험에 의해 수행되었던 열차제어시스템의 유지보수의 단점을 보완하여, 운용비용의 절감 및 능동적인 유지보수 가능성, 시스템의 안전성 향상 등의 효과를 기대할 수 있다. 이는 한국형고속철도의 해외진출에도 크게 이바지 할 것으로 전망한다.

제 2 절 자동열차제어장치분야

1. 자동열차제어장치분야 국내외 기술개발 현황

국내 전자, 통신 및 컴퓨터 산업분야의 기술 발전에 힘입어, 자동열차제어장치의 개발을 위한 기술력은 보유하고 있으나 수요 창출이 어려운 상태이기 때문에 기능요구사항을 만족하는 시스템설계 및 높은 신뢰도를 갖는 시스템의 설계 능력이 떨어지고, 철도신호시스템 전반적인 분야의 경험이 부족한 상태이다. 따라서 열차의 안전 운행을 위한 Fail-Safe가 요구되는 시스템과 결함허용시스템 개발의 경험이 부족하다.

표 2.5 자동열차제어장치관련 국내외 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
Adtranz	지하철 ATC/ATO 공동 개발 및 부산 2호선 프로젝트 지원	'98년 현장 신호시스템 및 사령 시스템 납품 중
GRS	자동열차정지 장치에 대한 연구	자동열차정지 요소기술 습득
US&S	폐색구간에서 열차자동운행 및 제어장치기술 개발	자동폐색장치 개발 및 시험
CSEE	고속철도 ATC 시스템 및 현장 시스템 개발	프랑스 고속전철 TGV에 납품
ALSTOM	TGV등 열차집중제어 장치 및 전자 연동장치 개발	프랑스 고속전철 TGV에 납품
SIEMENS	ICE용 열차집중제어 장치	독일 고속전철 ICE에 적용
ALSTOM	TGV용 열차집중감시제어장치	프랑스 고속전철 TGV에 납품
SIEMENS	ICE용 열차집중 제어장치	독일 고속전철 ICE에 적용
CSEE	단독형 DEC시스템과 WATCHDOG AUTO-PILOT를 이용한 이중계 시스템 구현기술	국철 대전사령실 CTC에 납품
LG산전(주)	국철 서울,부산,대전 CTC 장치와 WAN에 의한 NETWORKING으로 본청 CTC시스템 구축기술	경부선 국철 본청 CTC사령실 납품
LG산전(주)	DISTANCE-TO-GO 방식을 사용한 자동 열차 제어 방식 구현	부산지하철 2호선 ATC 납품
LG산전(주)	자동열차 제어장치 제작	서울 지하철 6호선 납품

자동열차제어 장치 S/W 기술은 운영시나리오에 대한 구현방법에 따라 개발 및 시험을 수행할 상세실시방안의 수립능력이 취약한 상태이며, 철도신호에 경험이 있는 개발 인력이 절대적으로 부족하고, 기능, 성능시험 설비에 있어서도 기초 시설 및 테스트 장소가 절대적으로 부족한 실태이며, 또한 시스템 설계/분석 기술, 실시간 열차 운행 Regulation 및 제안 기술, 열차 운행 실시간 Database 안정화기술, 열차운행의 제어 표준화 기술 등이 부족하다.

자동열차제어장치의 지상설비와 차상설비간의 통신을 위한 정보의 송·수신 기술 분야에서는 기본적으로 선행되어야 할 선로 특성 연구 등의 기초연구가 이루어지지 않고 있으며, 특히 정보 전송 매체의 특성이 변화할 가능성이 있는 선로에 대한 경험적 데이터가 부족한 상태이다.

2. 자동열차제어장치분야 향후전망

현재 활성화된 국내정보산업과 기존철도 및 도시철도 분야의 자동열차제어장치 기반기술 및 운영기술을 토대로 고속철도 신호체계, 운영체계, 신뢰성 체계의 핵심을 접목시키고, 열차제어 장치의 각종 인터페이스, 운행 감시, 제어 사양을 표준화하며, 현기술상의 취약성을 근본적으로 해결함으로써, 한국형 고속전철 및 도시철도, 국철에 모두 이용가능 하므로 본 과제 수행 중 고속선 주행시험에서 습득한 기술을 활용하여 국내 차량사와 고속전철 제작 발주시 기술적 가격적 경쟁력을 확보할 수 있도록 협조하고 기능 확보를 위한 추진체계는 다음과 같이 유관기관과 유기적인 협조가 이루어질 수 있도록 추진하고자 한다.

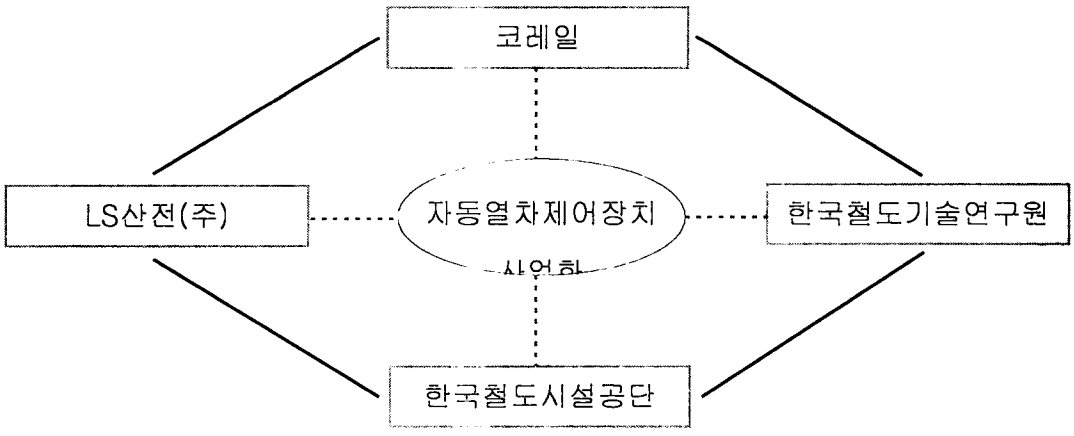


그림 2.1 자동열차제어장치 개발기술 실용화 추진 체계

LS산전(주)은 한국형 고속열차 자동열차제어장치 관련 기술을 실용화에 적극적으로 활용될 수 있도록 상품화에 필요한 관련 제품기술 표준화 사양 및 고객에게 만족할 수 있는 기능 개선활동을 지속적으로 추진할 것이다. 또한 호남선 고속철도사업과 관련하여 본 제품기술의 많은 부분이 사용될 수 있도록 노력하고 있다. 이러한 관련분야의 수요발생과 관련하여 한국철도기술연구원, 코레일 및 한국철도시설공단과 주기적인 협의를 통해서 협력관계를 유지하고, 고객으로부터 추가적인 요구사항을 제품기술에 포함될 수 있도록 노력 할 것이다.

따라서, 전술한 취약 기술들이 전반적으로 보완되고, 기술 개발을 위한 연구인력에 있어서도 관련 기술 분야의 교육 및 실 제품으로의 응용과정에서 경험이 풍부한 많은 인력들이 배출 될 전망이다.

제 3 절 전자연동장치분야

1. 전자연동장치분야 국내외 기술개발 현황

국내 전자연동장치 개발은 유경제어, 혁신전공 및 LG산전(주)에서 일부분을 전자화하여 집중형으로 중앙선에 설치 운용하고 있으며 현장기기를 신호기계실에서 직접 제어하여 설치 및 유지보수비의 증가 및 Surge 나 Noise등의 외란에 취약한 상태이다. 따라서 (주)대우엔지니어링은 G7 전자연동장치개발 1단계를 통하여 분산형의 Dual-Duplex구조 전자연동장치를 연구개발하였다. 기존의 집중형 전자연동장치는 제어실에서 현장기기까지 1대 1로 계전기를 사용하는 방식이며, 대우엔지니어링 분산형 전자연동장치의 사양도 표준규격화 하기 위한 움직임이 진행 중이다. 각국의 전자연동장치 구조를 표 2.6에 나타내었다.

표 2.6 국가별 전자연동장치 비교

제작사	GEC	Siemens	일 본	미 국	한 국
C P U	2 Out of 3	Stand by	2 Out of 3	Stand by	Stand by
입출력	광 통 신	계 전 기	광 통 신	계 전 기	계 전 기

신호시스템의 전자화에서 제일 중요한 점은 Fail-Safe의 확보이다. 국내에서는 아직까지 이 부분에 대하여 전혀 논의 된 바가 없으며 외국에서도 취약한

점을 보이고 있다. 결함허용시스템에 대한 설계에 있어서는 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 국외에서는 이러한 기술들이 채용된 전자연동장치가 실용화되었으며 국내에서도 연구가 진행되고 있다.

G7 사업을 통하여 개발된 전자연동장치는 기능상의 시험에서는 필요한 안전성 및 신뢰성을 갖고 있다고 판단되지만, 객관적인 안전성 인증의 관점에서 볼 때 체계화된 절차 및 규격을 적용하고 있지 않아 해외 수출 시장 개척 및 본격적인 상업화에 취약한 입장이다.

2. 전자연동장치분야 향후전망

전자연동장치는 항공우주 및 군수시스템 등의 고신뢰성분야와 안전필수분야에서 사용되는 전자시스템과 공통의 요구사항을 갖추고 있으며, 국내에서도 상당부분 연구가 진척되고 있다. 따라서 근시일내 안정화를 구축하여 상용화의 성공가능성이 매우 높다고 예상되며, 다른 신호시스템인 CTC, ATC 등과는 달리 인터페이스를 위한 복잡도가 높지 않은 연동장치는 국철, 지하철, 고속전철에 바로 적용할 수 있어 국내 시장성이 뛰어나고, 앞으로 중국이나 동남아 시장 등이 무한하므로 연구개발 사업으로 가장 적합한 과제이다.

제 4 절 열차제어분야관련 지적재산권현황 및 대응방안

본 연구와 관련된 지적재산권은 지속적으로 조사 및 분석을 실시하여, 수행중인과제와의 연관성을 파악하고, 향후 발생될 수 있는 상용화와 관련된 분쟁을 미연에 방지하고자 노력하고 있다.

1. 열차제어시스템관련 지적재산권 현황

본 연구과제인 열차제어시스템과 관련하여 상용화에 따른 분쟁을 방지하기 위해 관리되고 있는 지적재산권은 표 2.7과 같다.

표 2.7 열차제어시스템관련 지적재산권 현황

순번	발명명칭	특허번호	공고일자	발명자	기타
1	Train Vehicle Protection Apparatus Including Signal Block Occupancy Determination 점유폐색결정을 포함한 열차방호장치	CA1038072	1978-09-05	Westinghouse Electric Corp.	캐나다
2	Fail Safe Protection for Train Brakes 차량제동장치의 안전측설계	DE2617566	1977-11-03	Knorr Bremse GMBH	독일
3	Protection Method for Railroad Lines, Involves Analyzing Advance Information for Clear Signal Prior to Release as Train Approaches Track Section, and Braking Train Prior to Reaching Danger Point When Advance Information is Incorrect. 접근궤도구간의 명확화를 위한 향상된 정보와 향상된 정보의 부정확으로 인한 열차의 위험구간 진입시 제동을 포함하는 지상열차방호방법	DE10309257	2004-09-09	SIEMENS	독일
4	Motor Vehicle Safety and Control Device Has Means for the Automatic Activation of a Coupling in the Drive Train of a Motor Vehicle if Required Control Signals are not Received. 요구된 신호가 전달되지 않았을 때의 철도차량의 안전한 자동운전방식	RF2788243	2000-07-13	LUK Getriebe Systems GMBH	프랑스
5	Automatic Train Controller for Controlling Braking and Operation of a High-speed Train with a Back-up system Should the Main ATC Fail and Speed Control and Emergency Braking be Required. ATC의 고장시 비상제동이 체결되도록 하는 설계	FR28221600	2002-09-06	NIPPON Signal Company	프랑스

순번	발명명칭	특허번호	공고 일자	발명자	기타
6	Train Protection Systems 열차방호시스템	GB2347251	2000 -08-30	CAMBRIDGE Stevan Neslie Arthur	영국
7	Train Protection 열차방호	GB2356277	2001 -05-16	Intelligent Cab System LTD,	영국
8	Train Protection Device Using RF Transmissions RF전송을 이용한 열차방호장치	GB2364153	2002 -06-16	FISHER Glen Thomas	영국
9	The Protection System 방호시스템	GB2369913	2002 -06-12	BANNISTER ANTONY	영국
10	Train Protection System	GB2403326	2004 -12-29	CAMBRIDGE Stevan Neslie Arthur	영국
11	System for Distributed Automatic Trian Supervision and Control 자동열차감시 및 제어를 위한 분산 시스템	WO00/09380	2000 -02-24	Union Switch & Signal, INC.	국제 특허
12	Automatic Train Running Control System 자동열차주행제어시스템	WO96/16854	1996 -06-06	SIEMENS AKTIENGESE LLSCHAFT	국제 특허
13	Automatic Train Control System and Method 열차자동제어시스템과 그 방법	WO98/51556	1998 -11-19	HARRIS Corporation	국제 특허

2. 지적재산권에 대한 대응방안

위 표 2.8에 대한 재산권의 요약 및 대응방안은 다음과 같다.

표 2.8 관련특허 1의 요약 및 대응방안

발명의 요약	폐색구간에 열차진입시 해당구간의 열차제한속도를 궤도회로를 통해 열차에 전송하고, 폐색에서 차량에 점유에 대하여 Fail-Safe 결정방식에 따라 신호를 제공하는 기술.
대응방안	ATC지상설비에 해당하는 기술로써, 궤도가 점유되면 해당하는 제한속도가 차량으로 연속성보전송방식을 통해 제공되고, 궤도회로는 열차점유상태를 궤도회로계전기의 무여자상태로 설계하는 기술로써, 기존 KTX ATC 및 고속철도기술개발 ATC에서 사용되고 있는 기술이다. 따라서 기존 철도신호시스템에 널리 사용되고 있는 방식으로써 본 특허의 범위를 피하기 위한 별도의 노력이 요구되지 않는다.(등록후 20년이 경과한 특허)

표 2.9 관련특허 2의 요약 및 대응방안

발명의 요약	열차의 공압제동을 수행하는 제어출력에서 공압의 누설을 검지하도록 설계하여, 제동공압누설시 비상제동을 체결하도록 설계.
대응방안	현재 차량의 제동과 열차제어장치의 인터페이스에서 기본적으로 사용하고 있는 설계방식으로, 차종별 또는 열차제어장치와 차량과의 인터페이스방법에 따라 특허의 범위를 벗어나도록 설계한다.(등록 후 20년이 경과한 특허)

표 2.10 관련특허 3의 요약 및 대응방안

발명의 요약	열차점유구간과 관련된 해정이나 열차로의 전송을 향상된 정보의 분석을 사용하는 방법이다. 열차는 정보전송의 오류에 의해 위험한 폐색구간에 진입하기 이전에 제동을 수행하며, 해정은 다음 폐색구간까지의 거리와 위험한 분기까지의 거리정보를 토대로 수행한다. 이러한 동작을 위해 독립적인 열차방호장치를 구현하였다.
대응방안	분기부와 진로의 설정에 사용되는 운영시나리오 설계시 본 특허에서 제안하는 알고리즘을 감안하여, 특허권의 침해 없이 설계를 추진함.

표 2.11 관련특허 4의 요약 및 대응방안

발명의 요약	다양한 제어기로 구성된 철도차량에서 일부 제어기가 동작하지 않으며 요구된 신호가 생성되지 않아 의도하지 않은 상태로 시스템이 천이된다. 또한 이러한 제어기들은 서로 연결되어 있으므로, 하나의 제어기가 오동작을 하더라도 다른 제어기에 의해 징후를 감지할 수 있다. 따라서 정확한 동작이 수행되지 않더라고 자체 시험을 통해 시스템 전체의 고장으로 발전되지 않도록 하는 기술이다.
대응방안	결함허용 구조로 설계되는 열차제어시스템의 설계시 위 특허의 청구범위를 고려하여 지적재산권에 대한 분쟁을 방지함.

표 2.12 관련특허 5의 요약 및 대응방안

발명의 요약	ATC의 제동제어 회로에 다양한 운전조건에 따른 제동정보를 별도로 관리하는 안전제어소자를 추가하여 제어기의 고장이 발생하는 경우 안전소자가 안전제어모델에 의해 열차의 속도를 제어하는 회로이다.
대응방안	차상제어장치의 상세설계시 본 특허의 청구범위를 고려하여 설계수행함.

표 2.13 관련특허 6의 요약 및 대응방안

발명의 요약	신호기의 상태를 지상의 송신기와 차량의 검지를 통해 차량으로 전송하고, 차량에서는 신호기의 상태에 따라 운전을 수행하는 신호시스템.
대응방안	운영시나리오 작성시 본 특허의 청구범위를 고려하여 설계하였음.

표 2.14 관련특허 7의 요약 및 대응방안

발명의 요약	신호의 현시상태를 차량으로 전송하는 지상장치와 차량에 자석을 설치하여, 차량이 지상의 자석을 통과할 때 발생되는 자기장의 크기로 열차의 속도를 계산하여 산출된 속도를 토대로 열차를 제어하는 기술.
대응방안	본 연구에서는 사용하고 있지 않는 기술이므로 해당사항 없음.

표 2.15 관련특허 8의 요약 및 대응방안

발명의 요약	연속적으로 진행하는 두 개 이상의 차량이 RF통신을 사용하여 열차의 제동과 관련된 열차제어를 수행하는 기술.
대응방안	본 연구에서는 열차간 통신은 사용하지 않으므로 해당사항 없음.

표 2.16 관련특허 9의 요약 및 대응방안

발명의 요약	궤도변에 일정간격으로 전자석을 설치하고, 차량이 전자석과 응동하는 신호를 감시하여 제한속도 초과시 열차에 제동을 수행하는 기술.
대응방안	국내 ATS와 매우 유사한 구조로써, 본 연구에서는 ATC방식의 신호제어시스템을 범위로 하므로 해당사항 없음.

표 2.17 관련특허 10의 요약 및 대응방안

발명의 요약	이동폐색개념의 열차방호시스템에서 열차와 지상설비와의 송수신에서 간헐결함 발생시 열차를 안전하게 제어하기 위한 기술.
대응방안	본 연구의 범위인 고속선 ATC는 고정폐색 방식이므로 해당사항 없음.

표 2.18 관련특허 11의 요약 및 대응방안

발명의 요약	차상장치와 지상장치가 다중접속이 가능한 LAN 또는 IEEE 802.3 Ehternet을 사용하여 열차의 제어와 감시를 위한 정보를 송수신하는 분산구조 통신기반 열차제어시스템
대응방안	본 연구의 범위인 고속선 ATC는 지상/차상 RF응동 방식이므로 해당사항 없음.

표 2.19 관련특허 12의 요약 및 대응방안

발명의 요약	폐색구간을 관리하는 지상시스템에서 열차의 주행과 정보전송시간과의 관계를 감안하여, 통신의 실패시간을 고려하여 열차를 효율적으로 진행시키기 위한 방법.
대응방안	본 연구의 범위는 차상시스템의 설계만을 포함하므로 해당사항 없음.

표 2.20 관련특허 13의 요약 및 대응방안

발명의 요약	복수계 이상의 화물열차를 제어하기 위한 방법과 시스템으로써, 다중 경로의 시스템을 사용하여 입환처리의 효율성과 안전성을 향상시키기 위한 방법.
대응방안	본 연구의 범위인 전자연동장치의 연동기준은 독자적으로 개발된 것이 아니라 한국철도의 연동기준을 근거로 개발된 것이므로 해당사항 없음.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 열차제어시스템 신뢰성분야

신뢰성의 정의는 주어진 시간에 시스템 또는 장치가 정확하게 동작하는 정도를 의미하는 용어로써, 정성적인 기준에 대해서는 신뢰성, 정량적인 기준에 대해서는 신뢰도로 정의한다.

열차제어시스템이 속한 신호제어분야는 시스템 또는 장치의 명령에 의해 열차를 제어하는 분야로써, 신뢰성에 대한 중요도가 강조되었으며, 이러한 신호제어분야의 신뢰성향상을 위해 국제규격을 근거로 신뢰성의 주요성분인 고장률에 대한 예측과 입증에 대한 연구가 지속되었다.

본 연구는 철도의 신호제어분야에서도 열차제어시스템에 대한 신뢰성연구가 지속되었으며, 당해연도까지 수행된 연구결과에 의해 신뢰성에 대한 정성적 이해를 포함하여 정량적인 목표수립과 목표만족을 위한 시스템의 설계 방안 그리고 제작된 시제품에 대한 신뢰도입증 체계가 완성되었고, 미군사규격 및 신뢰도기반유지보수이론을 분석하여, 이를 한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수체계구축에 적용하였다.

본 절에서는 1차년도부터 5차년도까지 수행된 신뢰성분야의 연구결과를 토대로, 신뢰성 기본이론 및 자동열차제어장치와 전자연동장치의 설계에 대한 신뢰도 예측 및 입증 그리고, 한국형 고속철도 열차제어시스템 유지보수체계를 위한 관련 규격분석 및 구축된 유지보수체계에 관해 설명하였다.

1. 1차년도 연구개발내용 및 결과

1차년도에 수행된 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발의 신뢰성분야 연구는 이론적 조사를 포함하며, 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성목표 달성을 위한 방안을 연구하였다.

열차제어시스템 시제품의 안정화는 기능구현이 완료된 열차제어시스템의 시제품을 대상으로 신뢰도를 정량적으로 예측하여 신뢰성목표의 만족여부를 확인하고, 시제품의 신뢰도가 목표를 만족하지 못하는 경우 시제품의 신뢰도 향상을 위한 방안을 제시하는데 목적이 있다. 따라서 1차년도에는 열차제어시스템

을 구성하는 하드웨어와 소프트웨어에 대한 신뢰평가기본이론을 다음과 같이 수행하였다.

(1) 연구개발내용

(가) 열차제어시스템 하드웨어/소프트웨어 신뢰성평가 기본이론조사

신뢰성과 안전성목표의 달성을 위해서는 시스템 내부의 결함이 시스템의 기능상실로 직결되는 단일구조의 설계는 허용할 수 없다. 따라서 신뢰성 평가 및 향상을 위한 기본이론으로써, 결함허용기술에 대한 아래와 같은 기본이론을 조사하고 분석하였다.

- 결함허용시스템
- 결함, 오류, 고장의 개념적인 정의
- 결함허용시스템의 설계기법

또한 결함허용이론에 대한 조사 및 분석을 통해 열차제어시스템 신뢰도 예측을 위한 방안 및 시스템의 신뢰도를 향상시키기 위한 설계기법에 대하여 연구하였다.

(나) 고장분석절차개념

고장은 시스템의 기능상실로 발전되는 원인이다. 시스템의 기능상실은 단순히 시스템의 가용성을 저하시키는 요인이기도 하지만, 기능상실의 결과가 사고로 발전되어 인명이나 재산의 손실을 가져오는 경우 이러한 고장을 안전과 관련된 고장으로 분류하여 시스템의 안전성을 관리해야 한다. 따라서 시스템의 기능상실과 사고로 발전되는 시스템 내부고장의 분류에 대한 이론적인 정리를 하였다.

- 시스템평가기술
- 시스템안전성기술

따라서 고장분석절차에 대한 연구를 통해 열차제어시스템 신뢰성과 안전성목표의 달성을 위한 분석, 예측, 향상방안에 대해 연구하였다.

(다) 문서화

열차제어시스템 안정화의 최종목표는 신뢰성과 안전성이 확보된 상용품의 개발이다. 따라서 신뢰성과 안전성의 확보유무를 객관적으로 판단할 수 있는 근거가 요구되며, 본 연구에서는 개발중인 열차제어시스템의 신뢰성 및 안전성활동의 모든 과정을 철도신호관련 RAMS요구사항의 국제규격인 IEC62278을 기준으로 수명주기 관리와 각각의 수명주기별 문서화를 연구에 적용하였다. 또한 신뢰도의 예측과 각종 시험에 대해서도 국제규격, 미국방부 지침, 국내 철도신호분야 용품규격을 근거로 문서산출업무를 수행하였다.

(2) 연구개발결과

신뢰성분야는 열차제어시스템의 시제품안정화를 위해, 하드웨어와 소프트웨어의 신뢰성 예측을 위한 방안 및 신뢰도를 향상시키기 위한 설계기법에 대한 연구를 수행하였다. 또한 시스템의 신뢰성과 안전성 확보유무를 객관적으로 판단할 수 있는 문서화를 위해, 철도신호관련 RAMS 요구사항의 국제규격인 IEC62278을 기준으로 시스템의 수명주기 관리와 각 수명주기별 문서화를 연구에 적용하였다.

2. 2차년도 연구개발내용 및 결과

1차년도에 수행된 신뢰성관련 이론조사 및 분석을 토대로 신뢰성향상을 위한 절차인 신뢰성향상프로그램과 신뢰성시험방법을 2차년도에 개발하였다.

(1) 연구개발내용

(가) FMEA, FTA수행

고장모드영향분석(FMEA: Failure Mode Effect Analysis)은 시스템 내부에서 발생되는 고장으로 인한 영향을 분석하는 기법으로써, 정의된 시스템고장을 대상으로 고장을 발생시킬 수 있는 원인들을 분석하고, 원인의 발생확률을 정량적으로 추적하는 방법이다. FMEA를 통해 고장의 원인을 파악할 수 있으며, 중요고장의 원인에 대한 고장률을 설계변경 또는 운영시나리오변경을 통해 감소시켜 고장의 발생확률을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 안전성측면에서는 위험원 도출을 위한 방법으로 사용되며, 정의된 위험원과 연관된 하부시스템의

여백

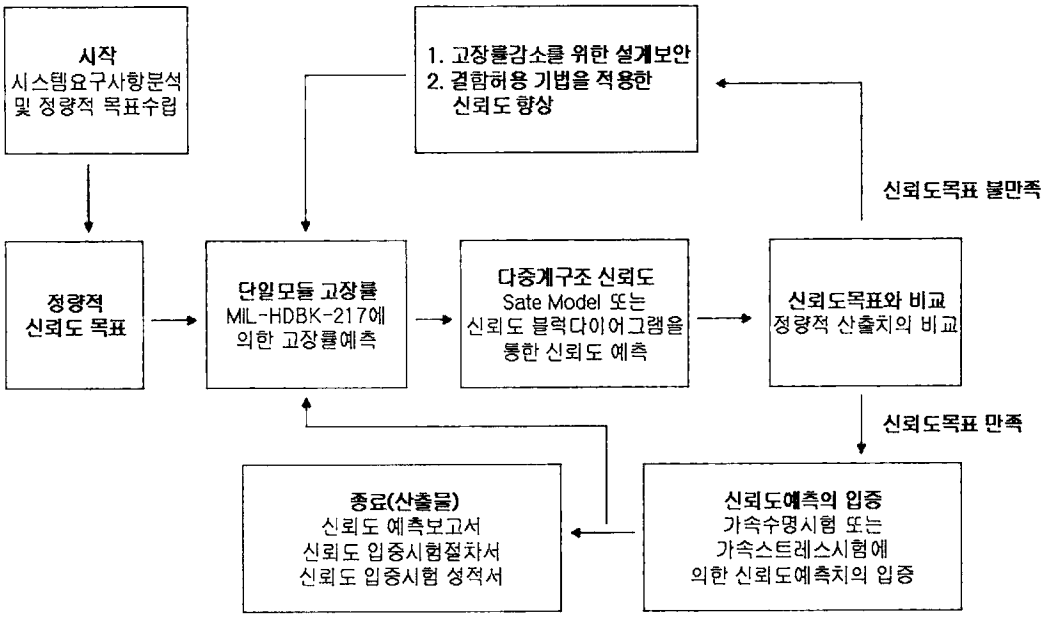


그림 3.1 열차제어시스템 신뢰성관리 흐름도

고장이 랜덤하게 발생하는 전자부품으로 구성된 제어시스템의 신뢰도를 부품의 고장빈도에 대한 분석을 통해 함수형태로 제시하여, 부품의 종류, 사용환경, 제작사 등의 정보에 따라 고장률을 상수화 시키는 미국방규격인 MIL-HDBK-217를 적용하여, 그림 3.1과 같은 신뢰성관리 흐름에 따라 예측과 입증이 수행된다.

MIL-HDBK-271의 기본개념은 표 3.1과 같이 전자부품 및 간략한 기계류에 대한 분류를 통해 각각의 고장률 상수화를 위한 함수를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

표 3.1 전자부품 고장률예측을 위한 분류(Relex 7.7기준)

Code	부품의 대분류	Sub Code	부품의 소분류
1	Integrated Circuit	1	Logic. CGA or ASIC
		2	PAL, PLA
		3	Linear
		4	Microprocessor
		5	Memory
		6	EEPROM
		7	VHSI, VLSI, CMOS
		8	GaAs MMIC
		9	GaAs Digital
		10	Buble Memory
		11	SAW
2	Semiconductor	1	Diode
		2	Microwave Diode
		3	Thyristor
		4	Transistor
		5	Si FET
		6	GaAs FET
		7	Unijunction Transistor
		8	Microwave Transistor
		9	Microwave Power Transistor
		10	Detector, Isolator, Emitter
		11	Aphanumeric Display
		12	Laser Diode
		13	Optical Module or Device
3	Resistor	1	Compositior(RC, RCR)
		2	Film(RL, RLR, RN, RNR, RM)
		3	Film, Power(RD)
		4	Accurate, WW(RB, RBR)
		5	Lead Mount WW Power(RE, RER)
		6	Chassis Mount WW Power(RE, RER)
		7	Themistor(RTH)
		8	Network Film(RZ)
		9	Power, Var WW(RP)
		10	Lead Screw Var WW(RT, RTR)
		11	Precision, Var WW(RR)
		12	Semiprec, Var WW(RA, RK)
		13	Film, Var NonWW(RVC)
		14	Carbon, Var NonWW(RV)
		15	Precision, Var NonWW(RQ)
		16	Trimmer, Var NonWW(RJ, RJR)
4	Capacitor	1	General Ceramic(CK, CKR)
		2	Temp Compensat, Ceramic(CC, CCR)
		3	Chip, Ceramic(CDR)
		4	Paper(CA, CP)
		5	Feed Through, Paper(CZ, CZR)
		6	Paper Plastic(CQ, CQR, CPV)
		7	Metallized Paper Plastic(CH, CHR)
		8	Plastic(CFR)
		9	Super Metallized Plastic(CRH)
		10	Mica(CM, CMR)
		11	Button Mica(CB)
		12	Glass(CY, CYR)
		13	Solid, Elec, Tant(CSR)
		14	Nonsolid, Elec, Tant(CL, CLR, CRL)
		15	Chip, elec(CWR)
		16	Lead Mount, Elec, Alum(CE)
		17	Chassis Mount, Elec, Alum(CU, CUR)
		18	Vacuum, Variable or Fixed(CG)
		19	Air Trimmer, Variable(CT)
		20	Ceramic, Variable(CV)

표 3.2 전자부품 고장률예측을 위한 분류(Relex 7.7기준) - Con't

Code	부품의 대분류	Sub Code	부품의 소분류
5	Inductor	1	Transfomer
		2	Coil
6	Rotating Device	1	Motor
		2	Other
7	Relay	1	General Purpose
		2	Contactor
		3	Latching
		4	Reed
		5	Thermal, Bimetal
		6	Solid State, Time Deley
		7	Mercury
		8	Dry Circuit
		9	Sensitive
		10	Polarized
		11	High Speed
		12	Electronic Time Delay, Non-Thermal
		13	High Voltage
		14	Medium Power
8	Switching Device	1	Toggle or Pushbutton
		2	Rocker or Slide
		3	Rotary
		4	Basic Sensitive
		5	Thumbwheel
		6	Circuit Breaker
		7	Other
9	Connection	1	General
		2	PCB Edge
		3	IC Socket
		4	Board with Plated Through Holes
		5	Other Connection
		6	SMT Interconnect Assembly
10	Miscellaneous	1	Battery
		2	Ceramic Resonator
		3	Delay Line
		4	Ferrite Device, Microwave
		5	Fiber Optic Item
		6	Filter
		7	Fuse
		8	Gyroscope
		9	Heater
		10	Incandescent Lamp
		11	Load, Dummy or Microwave
		12	Meter
		13	Microwave Element
		14	Neon Lamp
		15	Oscillator
		16	Quartz Crystal
		17	Termination
		18	Thermal-Electric Cooler
		19	Vibrator
		20	Computer Subsystem
11	Other	1	User Defined
		2	Software
		3	Tube
		4	Laser
		5	NPRD95 Part

표 3.3과 같이 전자부품의 특성별로 미국방지침 MIL-HDBK-217F 또는 미 산업규격 Telcordia, Bellcore에서는 파이팩터의 형태로 고장률예측을 위한 함수를 식 3.1의 예와 같이 제시한다. 식 3.1은 표 3.1의 부품분류 중 Code 1, Sub Code 5의 메모리 고장률예측 함수이다.

$$\lambda_P = (C_1\pi_T + C_2\pi_E + \lambda_{cyc})\pi_Q\pi_L \qquad \text{(식 3.1)}$$

식 3.1을 구성하는 각각의 변수들의 의미는 표 3.3과 같다.

표 3.3 메모리의 고장률예측 함수

기호	입력변수의 의미
C_1	Die Complexity Failure Rate
π_T	Temperature Factor
C_2	Package Failure Rate
π_E	Environment Factor
λ_{cyc}	EEPROM Read/Write Cycling Induced Failure Rate
π_Q	Quality Factor
π_L	Learning Factor

표 3.3을 기준으로 전자부품단위로 고장률을 예측하여 전자부품으로 구성된 하부구성요소에 대한 고장률을 예측하고, 하부구성요소로 구성된 장치의 고장률을 예측하였다. 따라서, 열차제어시스템의 구성요소 중 전자부품으로 구성된 하부구성요소의 분류를 수행하고, 분류에 따라 신뢰도를 예측하여 신뢰도목표의 달성여부를 확인해야한다.

(라) 신뢰성시험방법 개발

신뢰성시험은 시스템 기능에 대한 시험뿐만 아니라 환경적인 요인에 대한 시험도 포함한다. 따라서 2차년도에는 열차제어시스템의 신뢰성시험을 위한 신뢰성시험의 기본이론을 조사하고 분석하였다.

(마) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시

스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하였다.

(2) 연구개발결과

신뢰성분야는 열차제어시스템의 시제품안정화를 위해, 1차년도에 수행된 신뢰성관련 이론 및 분석을 토대로 신뢰성시험방법개발을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해, FMEA, FTA에 대한 연구를 수행하고, 신뢰성예측을 위한, 미군사규격 MIL-HDBK-217을 기준으로 모듈단위의 고장률 예측방법을 통해 시스템의 신뢰도 예측방법을 도출하였다. 또한, 시스템 기능에 대한 시험뿐만 아니라 환경적인 요인에 대한 시험도 포함하는 신뢰성시험 방법을 개발하기위한, 기초연구를 수행하고, 이를 문서화하였다.

3. 3차년도 연구개발내용 및 결과

(1) 연구개발내용

(가) 하드웨어/소프트웨어 신뢰성 예측

열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 신뢰도를 정량적으로 예측하기 위한 연구이다. 다중계로 구성된 열차제어시스템의 단위모듈의 고장률을 미국방부 전기전자부품 고장률 예측지침인 MIL-HDBK-217을 기준으로 예측하여 다중계 구조를 고려한 시스템단위 신뢰도를 예측하는 방안을 연구하였다. 예측된 열차제어시스템의 신뢰도는 시간에 따른 신뢰도 함수로 제공되며, 10,000 시간을 1년으로 가정하여 100,000 시간까지의 시스템 신뢰도를 예측하였다.

특히, 3차년도에는 열차제어시스템의 신뢰도를 예측을 위해, Schneidewind 신뢰도 모델링기법을 적용하여, 그림 3.3과 같이 열차제어시스템 소프트웨어의 신뢰도를 예측을 수행하였다.

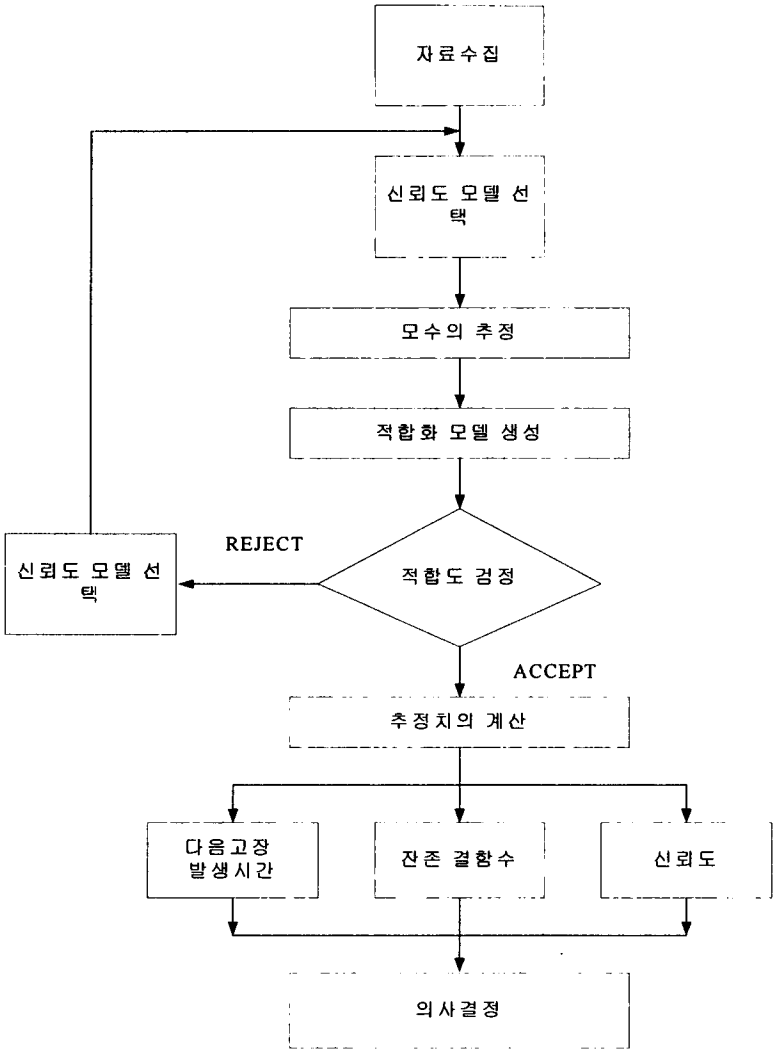


그림 3.2 Software reliability metric procedure

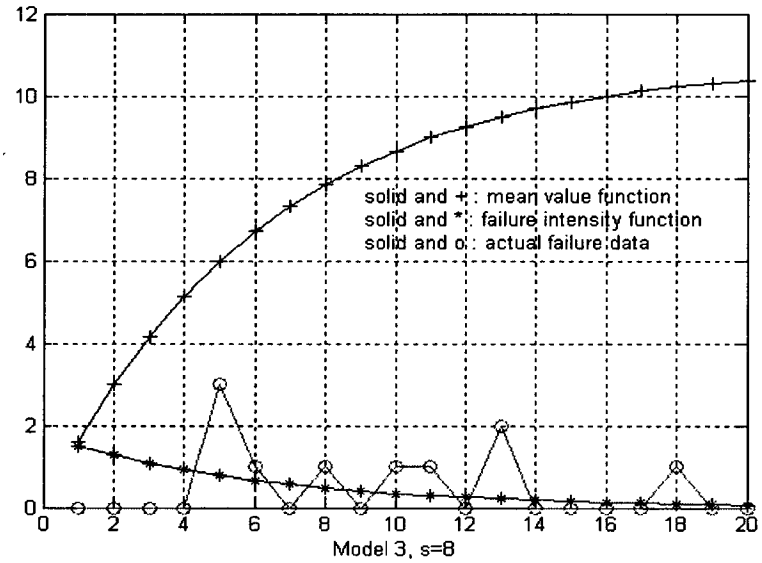


그림 3.3 Schneidewind Model 3

(나) 하드웨어/소프트웨어 신뢰성 시험

신뢰성 시험은 열차제어시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 신뢰도 예측치를 검증하기 위해 2차년에 작성된 신뢰성시험대상과 절차를 사용하여 시스템의 신뢰성 시험을 실시해야한다. 따라서 열차제어시스템의 가속수명 시험은 시스템의 인터페이스에 대한 전압 및 전류를 스트레스로 설정하여 피시험체를 파괴하지 않고 수행하는 가속스트레스시험으로 4차년도에 실시하였다.

(다) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하였다.

(2) 연구개발결과

3차년도의 신뢰성분야는 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하드웨어와 소프트웨어의 신뢰도를 미국방부 전기전자 부품 고장률예측지침 MIL-HDBK-217을 기준으로 예측하고, 위탁기관에서 제시한 소프트웨어 신뢰도시험절차에 따라 열차제어어시스템 소프트웨어의 신뢰도를 Schneidewind 모델링하여, 신뢰도를 예측하여, 이를 반영하였다.

4. 4차년도 연구개발내용 및 결과

(1) 연구개발내용

시험전문기관 신뢰성시험을 위해서 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치에 대하여 각각의 시험절차서를 작성했다. 따라서, 신뢰성분야에서는 4차년도까지 보완된 열차제어시스템의 고장률을 하부구성요소단위로 미국방규격을 근거로 예측하고, 예측치의 입증을 위해 전자부품으로 구성된 제어기의 최대 스트레스요인인 온도에 대하여 시스템의 예측 MTBF를 입증하기 위한 신뢰성시험 절차서를 작성하였다.

5차년도의 유지보수체계 구축을 위한 준비작업으로써 수행된 유지보수 기준(안)작성에 대한 연구는 전자부품으로 구성된 제어기의 정량적·정성적 유지보수체계와 관련된 미국방규격인 MIL-HDBK-470과 MIL-HDBK-472N1을 분석

하여 유지보수체계 구축을 위한 요구사항을 도출하였다.

(가) 시험전문기관 신뢰성시험

열차제어시스템의 자동열차제어장치와 전자연동장치의 온도에 의한 가속수명시험은 예측된 신뢰도의 입증(Demonstration)을 위한 방안으로써, 신뢰도 예측치의 정확성을 입증하기 위한 시험방법이다. 4차년도에 수행된 가속시험은 온도스트레스에 대한 신뢰성시험 모델을 공인기관에서 수행하기 위해 신뢰성시험 절차서를 작성하였다. 신뢰성시험 모델링 절차에 따라 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하부구성요소단위 시험시간은 시험결과의 유효수준 및 시료 수에 따라 산출되었다. 또한 신뢰성시험 절차서는 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치의 차상장치 DO모듈과 전자연동장치 OM모듈의 하부구성요소 단위로 입출력의 기술사양을 제시하고, 제작사에서 시험시 정상동작을 입증하기 위한 시험지그의 구성 및 고장의 판단기준을 제시하였다.

(1) 신뢰성 예측

4차년도에는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 설계보완을 고려하여 신뢰도를 아래와 같이 재예측하였다.

(가) 자동열차제어장치

고장률예측과 관련하여 예측에 사용된 온도는 25℃를 기준으로 하였으며, 예측의 범위는 상용품을 제외한 부품단위 설계사항을 기준으로 하였으므로, 지상장치의 MMI와 CPU는 예측의 범위에서 제외하였다.

표 3.4 자동열차제어장치의 하부구성요소 고장률예측결과(4차년, 25℃기준)

분류	표기	구성요소	고장률(1E-06)	MTBF(Hour)
차상장치	CIB	연속수신보드	7.5834	131,866
	FIB	불연속수신보드	8.6629	115,435
	DI	디지털입력보드	8.2225	121,617
	DO	디지털출력보드	9.2671	107,908
지상장치	TDSP	지상제어보드	3.9090	255,814
	TXG_AMP	연속송신보드	4.3629	229,202
	TXL_AMP	불연속송신보드	4.3865	227,972

(나) 전자연동장치

고장률예측과 관련하여 예측에 사용된 온도는 25℃를 기준으로 하였다.

표 3.5 전자연동장치의 하부구성요소 고장률예측결과(4차년, 25℃기준)

분류	표기	구성요소	고장률(1E-06)	MTBF(Hour)
연동논리부 (IXL)	IXL_CPU	CPU모듈	4.553	219,623
	IXL_SCC	시리얼인터페이스모듈	3.821	261,730
현장제어부 (TFM)	IM	입력모듈	3.187	313.762
	OM	출력모듈	4.615	216,677
	PM	선로전환기제어모듈	7.622	131,202
	SM	신호기제어모듈	6.239	160,262

(2) 신뢰성 입증을 위한 절차서작성

전자제품으로 구성된 열차제어시스템은 온도로 인한 성능저하가 가장 뚜렷한 것으로 판명됨에 따라, 온도를 스트레스요인으로 하는 신뢰성시험을 수행해야 한다.

온도스트레스를 이용한 열차제어시스템 신뢰성시험을 위해서는 시료의 수, 시험기간, 시험결과의 신뢰수준에 대한 선택이 선행되어야 하고, 따라서, 가속계수를 선정하는 신뢰성시험 모델링을 통해 선택사항을 그림 3.4의 절차를 통해 결정한다.

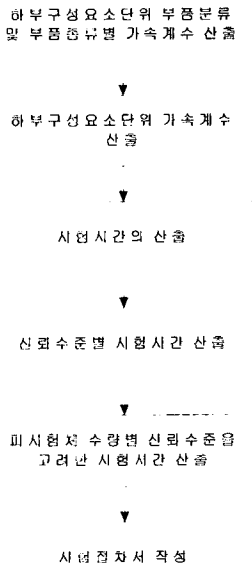


그림 3.4 신뢰성시험절차 개발순서

하부구성요소단위의 온도스트레스에 대한 가속계수 산출은 하부구성요소의 부품종류에 따른 가속계수 산출이 먼저 수행되어야 한다. 이는 부품의 종류에 따른 열화에너지가 서로 상이하므로 식 3.2의 활성화 에너지 산출식에 따라 가속계수를 산출한다. 활성화 에너지는 부품의 특성에 따라 고장의 추이를 통계적으로 분석하여 상수로 일반화 시킨 결과로써, 직접회로(IC), 저항, 콘덴서 등의 부품종류별로 미국방성의 규격(MIL-HDBK-217F)이나 Telcodia사의 자료를 참고하여 테이블형태로 제시한다.

$$AF_{device} = \mathrm{Exp}\left[\left(\frac{eA}{k}\right)\left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T_s}\right)\right] \qquad \text{(식 3.2)}$$

eA = 활성화 에너지(부품종류별로 상이)

k = 볼츠만 상수(고정상수 $8.623\times10^{-5}\mathrm{eV}\cdot\mathrm{K}^{-1}$)

T_n = 정상온도+절대온도

T_s = 가속온도+절대온도

부품종류별 활성화 에너지를 고려한 가속계수와 부품종류별 고장률의 합을 통해 식 3.3과 같이 하부구성요소의 부품단위 가속계수가 산출된다.

$$AF_{LRU\,60} = \frac{(IC_n \times \lambda_{IC25} \times AF_{IC\,60}) + (CAP_n \times \lambda_{CAP25} \times AF_{CAP\,60}) + \cdots}{(IC_n \times \lambda_{IC25}) + (CAP_n \times \lambda_{\cap 25}) + (RES_n \times \lambda_{RES25}) + (Con_n \times \lambda_{Con\,25}) + (Sem_n \times \lambda_{Sem25})} + \frac{(RES_n \times \lambda_{RES25} \times AF_{RES\,60}) + (Con_n \times \lambda_{Con25} \times AF_{Con\,60}) + (Sem_n \times \lambda_{Sem25} \times AF_{Sem\,60})}{(IC_n \times \lambda_{IC25}) + (CAP_n \times \lambda_{\cap 25}) + (RES_n \times \lambda_{RES25}) + (Con_n \times \lambda_{Con\,25}) + (Sem_n \times \lambda_{Sem25})} \qquad \text{(식 3.3)}$$

$AF_{LRU\,60}$ = 보드의 가속계수(60℃)

$device_n$ = 부품의 수

$\lambda_{device\,25}$ = 온도별 부품별 고장률의 합계(25℃)

$AF_{device\,60}$ = 정상온도에서 부품별의 가속계수(60℃)

신뢰성시험은 피 시험체인 하부구성요소의 가속계수에 의해 선정된 시험시간 동안 고장이 발생하지 않으면, 실제 시험시간에 가속계수를 곱한 만큼의 MTBF를 보장하는 시험이다.

하부구성요소단위 가속계수가 산출됨에 따라 LRU단위 예측된 MTBF를 가속계수로 나누어 시험시간을 산출할 수 있다. 산출된 시험시간은 확률에 의존한 만큼 결과치의 유효수준에 따라 시험시간이 변경된다.

따라서, 표본(피 시험체)이 하나이고 무고장을 전제로 하므로 자유도가 2이고 신뢰수준이 $1-\alpha$인 통계표의 수치를 표 3.6과 같이 참조하여 식 3.4와 같이 신뢰수준별 시험시간을 고려해야한다.

$$t = m_e \frac{\chi^2_{1-\alpha,2}}{2} \qquad \text{(식 3.4)}$$

t = 신뢰수준을 고려한 시험시간

m_e = 온도에 따른 LRU단위의 MTBF

$\chi^2_{1-\alpha,2}$ = 자유도가 2이고 신뢰수준이 $1-\alpha$인 통계표의 수치

α = 시험시간의 추정치가 틀릴 확률

표 3.6 자유도가 2이고 신뢰수준이 1 alpha인 통계량(alpha는 추정치가 틀릴 확률)

신뢰수준(%)	통계량($\chi^2_{1-\alpha,2}$)
60	1.83258
70	2.4
80	3.21
90	4.6

마지막으로 신뢰수준을 고려한 시험시간은 피시험체의 수량에 따라 식 3.5와 같은 선형관계가 성립된다.

$$\text{시험시간} = \frac{\text{단일시험체의 시험시간}}{\text{시험체의 수량}} \qquad \text{(식 3.5)}$$

위와 같은 과정에 의해 신뢰성시험시간과 시험결과의 유효수준 그리고 피시험체의 수량을 계산하였다. 다음은 열차제어시스템을 구성하는 자동열차제어장치와 전자연동장치에 각각의 시험시간 산출절차를 적용한 결과이다.

① 자동열차제어장치

자동열차제어장치의 신뢰도는 온도에 따라 표 3.7과 같이 변화된다.

표 3.7 온도에 따른 자동열차제어장치 MTBF(4차년)

분 류	하부구성요소	MTBF 예측치 (Hour)			
		25℃	60℃	65℃	70℃
차상장치	불연속수신보드(FIB)	115,435	67,384	60,847	54,703
	연속수신보드(CIB)	131,866	50,272	43,691	38,008
	디지털입력보드(DI)	121,617	75,815	69,120	62,715
	디지털출력보드(DO)	107,908	64,368	58,530	53,011
지상장치	불연속송신보드(TXL_AMP)	227,972	140,871	128,483	116,664
	연속송신보드(TXG_AMP)	229,202	134,068	122,128	110,951
	지상제어보드(TDSP)	255,814	133,091	118,470	105,108

하부구성요소를 구성하는 부품의 종류를 활성화에너지에 따른 가속계수의 산출을 위해 집적회로(IC), 콘덴서(CAP), 저항(RES), 커넥터(Con), 일반반도체(Sem)으로 분류하여 각각의 부품수와 고장률을 근거로 표 3.7과 같이 결과를 도출하였다.

표 3.8의 계산결과를 바탕으로 하부구성요소별 온도에 따른 가속계수를 산출하면 표 3.9와 같다.

표 3.8 자동열차제어장치 하부구성요소의 부품별 온도에 따른 가속계수

분 류	하부구성요소	부품	부품수	활성화에너지	온도별 가속계수			
					25℃	60℃	65℃	70℃
차상장치	FIB	IC	27	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	147	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	134	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	10	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	23	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	CIB	IC	41	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	97	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	51	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	39	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	28	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	DI	IC	22	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	75	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	124	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	18	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	71	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	DO	IC	29	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	51	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	46	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	20	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	57	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
지상장치	TXL_AMP	IC	7	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	55	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	85	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	11	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	37	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	TXG_AMP	IC	5	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	36	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	64	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	12	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	31	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	TDSP	IC	19	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	40	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	17	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	23	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	9	0.5	1	7.7301	10.001	12.843

표 3.9 자동열차제어장치 하부구성요소의 온도에 따른 가속계수

분 류	하부구성요소	가속계수			
		25℃	60℃	65℃	70℃
차상 장치	불연속수신보드(FIB)	1	6.8164	8.6865	11.0200
	연속수신보드(CIB)	1	7.6142	9.8358	12.6120
	디지털입력보드(DI)	1	6.4025	8.1462	10.3040
	디지털출력보드(DO)	1	5.9013	7.4160	9.2466
지상 장치	불연속송신보드(TXL_AMP)	1	5.6783	7.1241	8.8916
	연속송신보드(TXG_AMP)	1	5.6634	7.0706	8.7769
	지상제어보드(TDSP)	1	6.5433	8.3132	10.4940

표 3.9의 가속계수는 정상상태에서의 동작수명과 신뢰성시험 온도환경에서의 시스템 수명비율로써, 본 연구에서 적용하는 가속스트레스 시험은 예측수명시간의 입증을 위해 가속계수에 따른 신뢰성시험 동안 시험을 수행하므로, 가속계수에 따라 예측신뢰도를 계산하면 표 3.10과 같다.

표 3.10 자동열차제어장치 하부구성요소의 온도에 따른 시험시간(가중평균값)

분 류	하부구성요소	가속시험시간 (Hour)			
		25℃	60℃	65℃	70℃
차상 장치	불연속수신보드(FIB)	115,435	9,886	6,997	4,964
	연속수신보드(CIB)	131,866	6,602	4,442	3,014
	디지털입력보드(DI)	121,617	11,842	8,485	6,087
	디지털출력보드(DO)	107,908	10,887	7,892	5,733
지상 장치	불연속송신보드(TXL_AMP)	227,972	24,808	18,035	13,121
	연속송신보드(TXG_AMP)	229,202	23,673	17,273	12,641
	지상제어보드(TDSP)	255,814	20,340	14,251	10,016

표 3.9의 가속계수에 의한 시험시간은 가속계수의 평균값을 기준으로 한 것이다. 따라서 통계치인 표 3.10의 시험시간은 결과의 유효수준을 적용해야한다. 표 3.11은 자동열차제어장치 하부구성요소의 유효수준에 따른 시험시간의 산출결과이다.

표 3.11 자동열차제어장치 하부구성요소의 유효수준별 시험시간

분류	하부구성요소	유효수준	가속시험시간 (Hour/Day)							
			25℃		60℃		65℃		70℃	
			Hour	Day	Hour	Day	Hour	Day	Hour	Day
차상장치	FIB	60%	105,772	4,407	9,058	377	6,411	267	4,548	190
		70%	138,522	5,772	11,863	494	8,396	350	5,957	248
		80%	185,273	7,720	15,867	661	11,230	468	7,967	332
		90%	265,501	11,063	22,738	947	16,093	671	11,417	476
	CIB	60%	120,827	5,034	6,049	252	4,070	170	2,762	115
		70%	158,239	6,593	7,922	330	5,330	222	3,617	151
		80%	211,645	8,819	10,596	442	7,129	297	4,837	202
		90%	303,292	12,637	15,185	633	10,217	426	6,932	289
	DI	60%	111,436	4,643	10,851	452	7,775	324	5,577	232
		70%	145,940	6,081	14,210	592	10,182	424	7,304	304
		80%	195,195	8,133	19,006	792	13,618	567	9,770	407
		90%	279,719	11,655	27,237	1,135	19,516	813	14,000	583
	DO	60%	98,875	4,120	9,976	416	7,231	301	5,253	219
		70%	129,490	5,395	13,064	544	9,470	395	6,880	287
		80%	173,192	7,216	17,474	728	12,667	528	9,201	383
		90%	248,188	10,341	25,040	1,043	18,152	756	13,186	549
지상장치	TXL_AMP	60%	208,888	8,704	22,731	947	16,525	689	12,023	501
		70%	273,566	11,399	29,770	1,240	21,642	902	15,745	656
		80%	365,895	15,246	39,817	1,659	28,946	1,206	21,059	877
		90%	524,336	21,847	57,058	2,377	41,481	1,728	30,178	1,257
	TXG_AMP	60%	210,016	8,751	21,691	904	15,827	659	11,583	483
		70%	275,042	11,460	28,408	1,184	20,728	864	15,169	632
		80%	367,869	15,328	37,995	1,583	27,723	1155	20,289	845
		90%	527,165	21965	54,448	2,269	39,728	1,655	29,074	1,211
	TDSP	60%	234,400	9,767	18,637	777	13,058	544	9,178	382
		70%	306,977	12,791	24,408	1,017	17,101	713	12,019	501
		80%	410,581	17,108	32,646	1,360	22,873	953	16,076	670
		90%	588,372	24,516	46,782	1,949	32,777	1,366	23,037	960

신뢰성시험결과의 유효수준에 대한 국내외적 기준은 존재하지 않는다. 따라서, 신뢰성시험결과 보고서에 표기된 유효수준에 대한 최종사용자의 요구를 반영하면 된다. 하지만, 본 연구대상인 열차제어시스템은 최종사용자가 정해진 프로젝트가 아니므로, 유사 프로젝트에서 적용된 신뢰성시험의 유효치를 반영하였다. 일반적인 신뢰성 시험의 경우 신뢰수준은 60%를 기준으로 하고 있다.

표 3.11의 결과에서와 같이 예를 들어 자동열차제어장치 차상장치의 경우 시험온도 60℃의 환경에서 시험결과의 유효수준을 60%로 선택하면 시험시간은 9,976시간으로 약 416일 동안의 시험이 수행되어야 한다. 하지만 이러한 수치는 피시험체의 수량이 1대를 기준으로 계산한 값으로써, 피시험체의 수량을 증가시키면 선형관계를 갖으며 시험시간이 줄어든다. 이는 신뢰성시험의 근간이 되는 피시험체의 고장률이 피시험체 수량에 정비례하기 때문이다. 따라서, 피시험체 수량과 유효수준을 동시에 고려해서 계산하면 표 3.12와 같이 자동열차제어장치의 신뢰성시험시간을 산출하였다.

표 3.12 자동열차제어장치 하부구성요소의 신뢰성시험 산출표

분류	하부구성요소	유효수준	가속시험시간 Hour(Day)							
			25℃		60℃		65℃		70℃	
			n=2	n=4	n=2	n=4	n=2	n=4	n=2	n=4
차상장치	FIB	60%	52,886 (2,204)	26,443 (1,102)	4,529 (189)	2,265 (94)	3,206 (134)	1,603 (67)	2274 (95)	1,137 (48)
		70%	69,261 (2,886)	34,631 (1,443)	5,932 (247)	2,966 (124)	4,198 (175)	2,099 (88)	2979 (124)	1,489 (62)
		80%	92,637 (3,860)	46,318 (1,930)	7,934 (331)	3,967 (165)	5,615 (234)	2,808 (117)	3984 (166)	1,992 (83)
		90%	13,2751 (5,532)	66,375 (2,766)	11,369 (474)	5,685 (237)	8,047 (336)	4,023 (168)	5709 (238)	2,854 (119)
	CIB	60%	60,414 (2,517)	30,207 (1,259)	3,025 (126)	1,512 (63)	2,035 (85)	1,018 (43)	1381 (58)	691 (29)
		70%	79,120 (3,297)	39,560 (1,648)	3,961 (165)	1,981 (83)	2,665 (111)	1,333 (56)	1809 (76)	904 (38)
		80%	105,823 (4,410)	52,911 (2,205)	5,298 (221)	2,649 (111)	3,565 (149)	1,782 (74)	2419 (101)	1,209 (51)
		90%	15,1646 (6,319)	75,823 (3,159)	7,593 (317)	3,796 (158)	5,109 (213)	2,554 (107)	3466 (145)	1,733 (72)
	DI	60%	55,718 (2,322)	27,859 (1,161)	5,426 (226)	2,713 (113)	3,888 (162)	1,944 (81)	2789 (116)	1,394 (58)
		70%	72,970 (3,041)	36,485 (1,520)	7,105 (296)	3,553 (148)	5,091 (212)	2,546 (106)	3652 (152)	1,826 (76)
		80%	97,598 (4,067)	48,799 (2,033)	9,503 (396)	4,752 (198)	6,809 (284)	3,405 (142)	4885 (204)	2,443 (102)
		90%	139,860 (5,828)	69,930 (2,914)	13,619 (568)	6,809 (284)	9,758 (407)	4,879 (203)	7000 (292)	3,500 (146)
	DO	60%	49,438 (2,060)	24,719 (1,030)	4,988 (208)	2,494 (104)	3,616 (151)	1,808 (75)	2627 (110)	1,313 (55)
		70%	64,745 (2,698)	32,373 (1,349)	6,532 (272)	3,266 (136)	4,735 (198)	2,368 (99)	3440 (144)	1,720 (72)
		80%	86,596 (3,608)	43,298 (1,804)	8,737 (364)	4,369 (182)	6,334 (264)	3,167 (132)	4601 (192)	2,300 (96)
		90%	124,094 (5,171)	62,047 (2,585)	12,520 (522)	6,260 (261)	9,076 (378)	4,538 (189)	6593 (275)	3,297 (137)
지상장치	TXL_AMP	60%	104,444 (4,352)	52,222 (2,176)	11,366 (474)	5,683 (237)	8,263 (345)	4,131 (172)	6012 (251)	3,006 (125)
		70%	136,783 (5,700)	68,392 (2,850)	14,885 (620)	7,443 (310)	10,821 (451)	5,411 (226)	7873 (328)	3,936 (164)
		80%	182,948 (7,623)	91,474 (3,812)	19,909 (830)	9,954 (415)	14,473 (603)	7,237 (302)	10530 (439)	5,265 (219)
		90%	262,168 (10,924)	131,084 (5,462)	28,529 (1189)	14,265 (594)	20,741 (864)	10,370 (432)	15089 (629)	7,545 (314)
	TXG_AMP	60%	105,008 (4,376)	52,504 (2,188)	10,846 (452)	5,423 (226)	7,914 (330)	3,957 (165)	5792 (242)	2,896 (121)
		70%	137,521 (5,730)	68,761 (2,865)	14,204 (592)	7,102 (296)	10,364 (432)	5,182 (216)	7585 (316)	3,792 (158)
		80%	183,935 (7,664)	91,967 (3,832)	18,998 (792)	9,499 (396)	13,862 (578)	6,931 (289)	10145 (423)	5,072 (211)
		90%	263,583 (10,983)	131,791 (5,491)	27,224 (1,135)	13,612 (567)	19,864 (828)	9,932 (414)	14537 (606)	7,269 (303)
	TDSP	60%	117,200 (4,884)	58,600 (2,442)	9,319 (389)	4,659 (194)	6,529 (272)	3,265 (136)	4,589 (191)	2,295 (96)
		70%	153,489 (6,396)	76,744 (3,198)	12,204 (509)	6,102 (254)	8,551 (357)	4,275 (178)	6,010 (251)	3,005 (125)
		80%	205,291 (8,554)	102,645 (4,277)	16,323 (680)	8,162 (340)	11,437 (477)	5,718 (238)	8,038 (335)	4,019 (168)
		90%	294,186 (12,258)	147,093 (6,129)	2,3391 (975)	11,696 (487)	16,389 (683)	8,194 (342)	11,519 (480)	5,759 (240)

② 전자연동장치

전자연동장치의 신뢰도는 온도에 따라 표 3.13과 같이 변화된다.

표 3.13 온도에 따른 전자연동장치 MTBF(4차년)

분 류	LRU	MTBF 예측치 (Hour)			
		25℃	60℃	65℃	70℃
연동논리부	연동처리모듈	119,418	63,283	54,011	45,417
현장 제어 모듈	입력모듈(IM)	313,762	147,208	124,743	104,597
	출력모듈(OM)	216,677	121,165	105,141	90,033
	선로전환기제어모듈(PM)	131,202	46,065	38,136	31,453
	신호기제어모듈(SM)	160,262	74,493	62,906	52,548

하부구성요소를 구성하는 부품의 종류를 활성화에너지에 따른 가속계수의 산출을 위해 집적회로(IC), 콘덴서(CAP), 저항(RES), 커넥터(Con), 일반반도체(Sem)으로 분류하여 각각의 부품수와 고장률을 근거로 표 3.14 과 같이 결과를 도출하였다.

표 3.14 자동열차제어장치 하부구성요소의 부품별 온도에 따른 가속계수

분 류	하부구성요소	부품	부품수	활성화 에너지	온도별 가속계수			
					25℃	60℃	65℃	70℃
연동 논리부	연동처리 모듈	IC	58	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	3	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	115	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	27	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	0	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
현장 제어모듈	입력모듈 (IM)	IC	86	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	130	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	408	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	18	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	34	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	출력모듈 (OM)	IC	123	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	82	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	184	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	20	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	2	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	선로전환기 제어모듈 (PM)	IC	142	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	81	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	274	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	21	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	18	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
	신호기 제어모듈 (SM)	IC	180	0.5	1	7.7301	10.001	12.843
		CAP	175	0.44	1	6.0479	7.5866	9.4541
		RES	286	0.22	1	2.4592	2.7544	3.0748
		Con	21	0.4	1	5.1351	6.3102	7.7077
		Sem	39	0.5	1	7.7301	10.001	12.843

표 3.14의 계산결과를 바탕으로 하부구성요소별 온도에 따른 가속계수를 산출하면 표 3.15와 같다.

표 3.15 전자연동장치 하부구성요소의 온도에 따른 가속계수

분 류	하부구성요소	가속계수			
		25℃	60℃	65℃	70℃
연동논리부	연동처리모듈	1	7.6610	9.9044	12.7100
현장제어모듈	입력모듈(IM)	1	6.2516	7.7947	10.0930
	출력모듈(OM)	1	7.6223	9.8501	12.6350
	선로전환기제어모듈(PM)	1	6.1324	7.7444	9.7227
	신호기제어모듈(SM)	1	7.4990	9.6819	12.7100

표 3.15의 가속계수는 정상상태에서의 동작수명과 신뢰성시험 온도환경에서의 시스템 수명비율로써, 본 연구에서 적용하는 가속스트레스 시험은 예측수명시간의 입증을 위해 가속계수에 따른 신뢰성시험 동안 시험을 수행하므로, 가속계수에 따라 예측신뢰도를 계산하면 표 3.16과 같다.

표 3.16 전자연동장치 하부구성요소의 온도에 따른 시험시간(가중평균값)

분 류	LRU	가속시험시간 (Hour)			
		25℃	60℃	65℃	70℃
연동 논리부	연동처리모듈	119,418	8,260	5,453	3,573
현장 제어 모듈	입력모듈(IM)	313,732	23,547	15,662	10,363
	출력모듈(OM)	216,677	15,896	10,674	7,126
	선로전환기제어모듈(PM)	131,202	7,512	4,924	3,235
	신호기제어모듈(SM)	160,262	9,934	6,497	4,234

표 3.15의 가속계수에 의한 시험시간은 가속계수의 평균값을 기준으로 한 것이다. 따라서 통계치인 표 3.16의 시험시간은 결과의 유효수준을 적용하여 산출해야한다. 표 3.17은 전자연동장치 하부구성요소의 유효수준에 따른 시험시간의 산출결과이다.

표 3.17 전자연동장치 하부구성요소의 유효수준별 시험시간

분류	LRU	유효수준	가속시험시간 (Hour/Day)							
			25℃		60℃		65℃		70℃	
			Hour	Day	Hour	Day	Hour	Day	Hour	Day
연동 논리부	연동처리 모듈	60%	109,422	4,559	7,569	315	4,997	208	3,274	136
		70%	143,302	5,971	9,912	413	6,544	273	4,288	179
		80%	191,666	7,986	13,257	552	8,752	365	5,735	239
		90%	274,661	11,444	18,998	792	12,542	523	8,218	342
현장 제어 모듈	입력모듈 (IM)	60%	287,497	11,979	21,576	899	14,351	598	9,496	396
		70%	376,514	15,688	28,256	1177	18,794	783	12,436	518
		80%	503,588	20,983	37,793	1,575	25,138	1,047	16,633	693
		90%	721,653	30,069	54,158	2,257	36,023	1,501	23,835	993
	출력모듈 (OM)	60%	198,539	8,272	14,565	607	9,780	408	6,529	272
		70%	260,012	10,834	19,075	795	12,809	534	8,551	356
		80%	347,767	14,490	25,513	1,063	17,132	714	11,437	477
		90%	498,357	20,765	36,561	1,523	24,550	1,023	16,390	683
	선로 전환기 제어모듈 (PM)	60%	120,219	5,009	6,883	287	4,512	188	2,964	124
		70%	157,442	6,560	9,014	376	5,909	246	3,882	162
		80%	210,579	8,774	12,057	502	7,903	329	5,192	216
		90%	301,765	12,574	17,278	720	11,325	472	7,440	310
	신호기 제어모듈 (SM)	60%	146,846	6,119	9,102	379	5,953	248	3,880	162
		70%	192,314	8,013	11,921	497	7,796	325	5,081	212
		80%	257,221	10,718	15,944	664	10,428	434	6,796	283
		90%	368,603	15,358	22,848	952	14,943	623	9,738	406

신뢰성시험결과의 유효수준에 대한 국내외적 기준은 자동열차제어장치와 동일하게 60%를 기준으로 설정하였다.

표 3.17의 결과에서와 같이 예를 들어 전자연동장치 차상장치의 경우 시험온도 60℃의 환경에서 시험결과의 유효수준을 60%로 선택하면 시험시간은 14,565시간으로 약 607일 동안의 시험이 수행되어야 한다. 하지만 이러한 수치는 피시험체의 수량이 1대를 기준으로 계산한 값으로써, 피시험체의 수량을 증가시키면 선형관계를 갖으며 시험시간이 줄어든다. 이는 신뢰성시험의 근간이 되는 피시험체의 고장률이 피시험체 수량에 정비례하기 때문이다. 따라서, 피시험체 수량과 유효수준을 동시에 고려해서 계산하면 표 3.18과 같이 전자연동장치의 신뢰성시험시간을 산출하였다.

표 3.18 전자연동장치 하부구성요소의 신뢰성시험 산출표

분류	하부구성요소	유효수준	가속시험시간 (Hour/Day)							
			25℃		60℃		65℃		70℃	
			n=2	n=4	n=2	n=4	n=2	n=4	n=2	n=4
연동논리부	연동처리모듈	60%	54,711	27,356	3,785	1,892	2,499	1,249	1,637	819
			(2,280)	(1,140)	(158)	(79)	(104)	(52)	(68)	(34)
		70%	71,651	35,826	4,956	2,478	3,272	1,636	2,144	1,072
			(2,986)	(1,493)	(207)	(103)	(137)	(68)	(90)	(45)
		80%	95,833	47,917	6,629	3,314	4,376	2,188	2,868	1,434
			(3,993)	(1,997)	(276)	(138)	(183)	(91)	(120)	(60)
		90%	137,331	68,665	9,499	4,750	6,271	3,136	4,109	2,055
			(5,722)	(2,861)	(396)	(198)	(262)	(131)	(171)	(86)
현장제어모듈	입력모듈(IM)	60%	143,749	71,874	10,788	5,394	7,176	3,588	4,748	2,374
			(5,990)	(2,995)	(450)	(225)	(299)	(150)	(198)	(99)
		70%	188,257	94,129	14,128	7,064	9,397	4,699	6,218	3,109
			(7,844)	(3,922)	(589)	(294)	(392)	(196)	(259)	(130)
		80%	251,794	125,897	18,897	9,448	12,569	6,285	8,317	4,158
			(10,492)	(5,246)	(788)	(394)	(524)	(262)	(347)	(173)
		90%	360,827	180,413	27,079	13,540	18,012	9,006	11,918	5,959
			(15,035)	(7,517)	(1,129)	(564)	(751)	(375)	(497)	(248)
	출력모듈(OM)	60%	99,270	49,635	7,283	3,641	4,890	2,445	3,265	1,632
			(4,136)	(2,068)	(304)	(152)	(204)	(102)	(136)	(68)
		70%	130,006	65,003	9,538	4,769	6,405	3,202	4,276	2,138
			(5,417)	(2,709)	(398)	(199)	(267)	(134)	(178)	(89)
		80%	173,884	86,942	12,757	6,378	8,566	4,283	5,717	2,859
			(7,245)	(3,623)	(532)	(266)	(357)	(179)	(239)	(119)
		90%	249,179	124,589	18,281	9,140	12,275	6,138	8,195	4,098
			(10,383)	(5,191)	(762)	(381)	(512)	(256)	(342)	(171)
	선로전환기제어모듈(PM)	60%	60,110	30,055	3,442	1,721	2,256	1,128	1,482	741
			(2,505)	(1,252)	(144)	(72)	(94)	(47)	(62)	(31)
		70%	78,721	39,361	4,507	2,254	2,955	1,477	1,941	971
			(3,280)	(1,640)	(188)	(94)	(123)	(62)	(81)	(41)
		80%	105,290	52,645	6,029	3,014	3,952	1,976	2,596	1,298
			(4,387)	(2,194)	(251)	(126)	(165)	(82)	(108)	(54)
		90%	150,883	75,441	8,639	4,320	5,663	2,831	3,720	1,860
			(6,287)	(3,144)	(360)	(180)	(236)	(118)	(155)	(78)
	신호기제어모듈(SM)	60%	73,423	36,712	4,551	2,276	2,977	1,488	1,940	970
			(3,060)	(1,530)	(190)	(95)	(124)	(62)	(81)	(41)
		70%	96,157	48,079	5,961	2,980	3,898	1,949	2,541	1,270
			(4,007)	(2,003)	(249)	(124)	(163)	(81)	(106)	(53)
		80%	128,611	64,305	7,972	3,986	5,214	2,607	3,398	1,699
			(5,359)	(2,680)	(332)	(166)	(217)	(109)	(142)	(71)
		90%	184,302	92,151	11,424	5,712	7,472	3,736	4,869	2,435
			(7,679)	(3,840)	(476)	(238)	(312)	(156)	(203)	(102)

신뢰성시험을 위한 시스템 모델링을 통해 작성된 하부구성요소의 신뢰성시험 절차서의 예는 다음과 같다.

문서명

고속철도기술개발사업

㈜대우엔지니어링 전자연동장치 OM 신뢰성시험 절차서

1. 목 적

본 문서는 ㈜대우엔지니어링에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 전자연동장치 현장제어모듈(이하 'TFM')의 구성요소인 출력모듈(이하 'OM')에 대한 신뢰성시험을 위한 절차서이다.

2. 시험목적

OM의 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써, 시험시간의 산출근거는 "㈜대우엔지니어링 한국형 고속철도 전자연동장치 신뢰성시험절차서(HS05004RTEIS01)에서 제공하며, 산출된 신뢰성 시험의 목표는 다음과 같다.

4개의 OM이 65℃에서 정상동작을 2,445시간(약 102일)이상 수행

3. 시험환경구축

OM의 신뢰성시험은 그림1과 같이 4대의 OM과 지그로 구성된다. OM모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 OM의 정상동작을 위한 출력확인 및 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치된다.

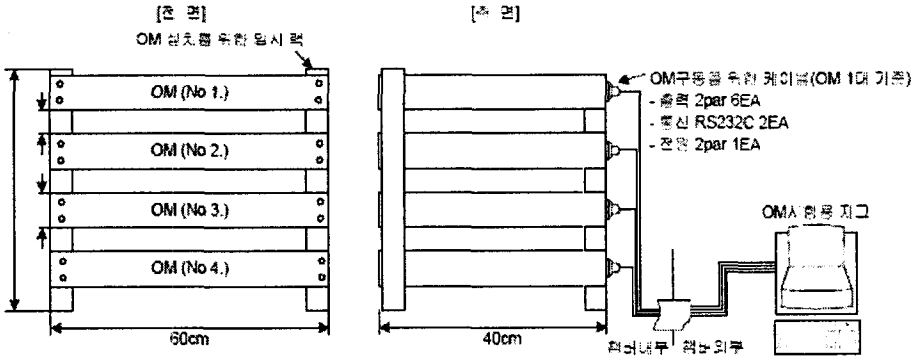


그림1. 시험환경

4. 시험방법 및 결과판정

시험기관은 지그에 의해 수집되는 OM 4대의 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

가. 로그파일의 기록내용

지그는 표1과 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표1. OM의 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력 사양

구분	세부구조	전기적 특성	채널 수	기능사항
출력요소	전원	DC12V	4	상시 공급
	접점	DC24V	24	모두 Close상태에서 1포트씩 10분 주기로 오름차순 Open, 모두 Open되면 1포트씩 10분 주기로 내림차순 Close
통신(입출력)요소	운지부수 전송	RS232C	8	10분에 1회씩 시스템 상태 정보 출력

나. 지그의 동작내용

표1의 기능사항에 의해 다음사항이 표2과 같이 로그파일로 생성된다.

■ 지그의 에러여부 점검

■ OM으로부터의 시스템 상태 수신

■ OM으로부터의 출력 data 상태 수신

표2. 로그파일의 출력양식

시간 YY/MM/DD HH/MM/SS	OM번호	CPU출력상태	지그입력상태	판정결과 OK / FAIL

다. 고장의 판정

동작중인 OM모듈은 시험조건의 부합여부의 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 이러한 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 점검하여 이때, 발생 시점의 OM 고장여부를 고장이 판별하는 경우 시험을 중단하고 신뢰성 관리자에게 보고한다.

(나) 유지보수 기준(안)작성

4차년도 연구목표인 유지보수 기준(안) 수립을 위하여 관련 규격인 미국방규격 MIL-HDBK-470A, MIL-HDBK-472N1, MIL-STD-471A을 표 3.19와 같이 분석하고, 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수 기준수립을 위한 요구사항을 도출하였다.

표 3.19 유지보수 관련 규격 비교

규격	제 목	내 용
MIL-STD-471A (1995.06)	유지보수도 검증/입증/평가 절차 및 시험방법	■ 정량적·정성적 유지보수도 요구사항을 검증/입증/평가하기 위한 절차와 시험방법을 제공 ■ 기술설명서, 인적자원, 도구, 시험장비, 유지보수개념등과 같이 유지보수도 매개변수 획득 및 제품의 가동불능시간에 관한 각종 물류지원에 대한 정량적 평가를 제공
MIL-HDBK-472N1 (1984.01)	유지보수도 예측	■ 유지보수의 모든 수준에서 유지보수도와 관련된 매개변수(평균유지보수시간, 최대유지보수시간, 유지보수당 평균인시 등)를 예측하기 위한 절차 제공
MIL-HDBK-470A (1997.08)	유지보수가능 제품과 시스템 설계 및 개발	■ 유지보수도의 정의 ■ 유지보수도와 다른 기준과의 관계 ■ 유지보수도 프로그램에 사용되는 기본요소 그리고 이것과 관련된 업무 및 활동업무 및 활동 선정에 관한 지침을 제공

표 3.20 제품 수명주기에 따른 유지보수 절차 및 활동

	유지보수 활동	열차제어시스템 유지보수기준(안)
개념 설계	■ 유지보수의 타당성 조사 ■ 운영상 요구조건 ■ 유지보수 개념 ■ 정량적 유지보수 요구사항 도출 ■ 정성적 유지보수 요구사항 도출	■ 유지보수체계에 따른 시스템 가용도 평가 ■ 장치의 분류 및 유지보수를 위한 요구사항 정리 ■ 열차제어시스템 예방유지보수와 교정유지보수 정의 ■ MTTR목표수립 ■ 유지보수의 정성적 요인 정리
초기 시스템 설계	■ 시스템 기능분석 및 요구사항할당 ■ 시스템 설계 ■ 설계의 검토 및 평가 ■ 신뢰도 예측, FMEA, 가용도 분석, 유지보수도 예측을 통한 유지보수 분석	■ 하부시스템 MTTR목표 할당 ■ 열차제어시스템 기능사양서로 대체 ■ 해당없음 ■ 하부구성요소단위 예방유지보수와 MTTR에 따른 시스템 가용도 분석
상세 설계 및 개발	■ 하부시스템 및 제품설계 ■ 제품의 모형제작 ■ 모형 테스트 ■ 설계 분석 ■ 설계검토 및 평가	■ 해당없음 ■ 해당없음 ■ 관련규격에 따른 설계의 MTTR평가 ■ 해당없음 ■ 시운전시 발생한 고장정보 분석을 통한 예방 및 교정유지보수요인 분석
제작	■ 제작 ■ 최초 장치 시험 ■ 제품의 평가 ■ 제품의 교정 및 개선을 위한 설계 변경	■ 해당없음 ■ 해당없음 ■ 유지보수기록 분석을 통한 MTTR평가 ■ 유지보수관련 설계변경이력의 정리
시스템 운영	■ 운영환경에서 시스템운영 ■ 유지보수 지원 시스템 평가 ■ 제품 최적화를 위한 설계 변경	■ 시운전데이터 정리 ■ 예방유지보수와 관련된 유지보수기록의 분석 및 평가 ■ 최종설계에 대한 유지보수관련사항 정리

(다) 문서화

문서화의 연구내용은 1차년도의 문서화관련 내용과 마찬가지로, 열차제어시스템의 신뢰성과 안전성에 대한 활동을 국제규격에 부합하도록 문서화하였다.

5. 5차년도 연구개발내용 및 결과

5차년도에는 열차제어시스템의 자동열차제어장치와 전자연동장치의 온도에 의한 가속수명시험을 자체적으로 수행하기 위한 신뢰성시험환경을 구축하여, 예측된 신뢰도를 입증하기위한 신뢰성시험이 수행되었다. 자체신뢰성시험을 위해, Labview 8.5로 인터페이스 환경을 구축하여, 전자연동장치 PM모듈의 신뢰성시험이 수행되었다.

또한 열차제어시스템의 유지보수를 위한 MTTR평가를 수행하고, 4차년도에 도출된 유지보수체계구축을 위한 요구사항과 RCM(Reliability Centered Maintenance)이론을 분석하여, 한국형고속철도 열차제어시스템을 위한 유지보수체계를 구축하였다. MTTR 평가 및 예방유지보수주기는 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하부모듈별로 계산되었다.

구축된 유지보수체계를 통해, 사고발생 이전에 고장발생빈도를 줄이기 위한 활동의 예방유지보수로, 장치의 고장 원인 및 영향분석을 통해 체계적으로 유지보수업무를 할당하고, 과거 고장이력을 이용하여, 고장의 분포를 확률적으로 모델링하여, 최적의 유지보수업무주기를 정량적으로 할당하였다.

(1) 연구개발내용

(가) 자체신뢰성시험 수행

5차년도에는 4차년도에 수행된 공인기관 신뢰성시험을 한국철도기술연구원에서 자체적으로 수행하기 위해, 온도에 의한 가속수명시험 환경을 구축하여, 예측한 신뢰도의 입증시험이 수행되었다.

신뢰성시험은 그림 3.5와 같이 한국철도기술연구원 ATC시험동에 설치된 온습도·진동시험기로 수행되었으면, 시험대상은 전자연동장치의 PM모듈로, 4차년도에 확보한 신뢰성시험 산출방법에 의해 63.6℃의 온도에서 60%의 신뢰수준으로 3848시간동안 수행되어, 4차년도에 예측한 전자연동장치 PM모듈의 신뢰도를 입증되었다.

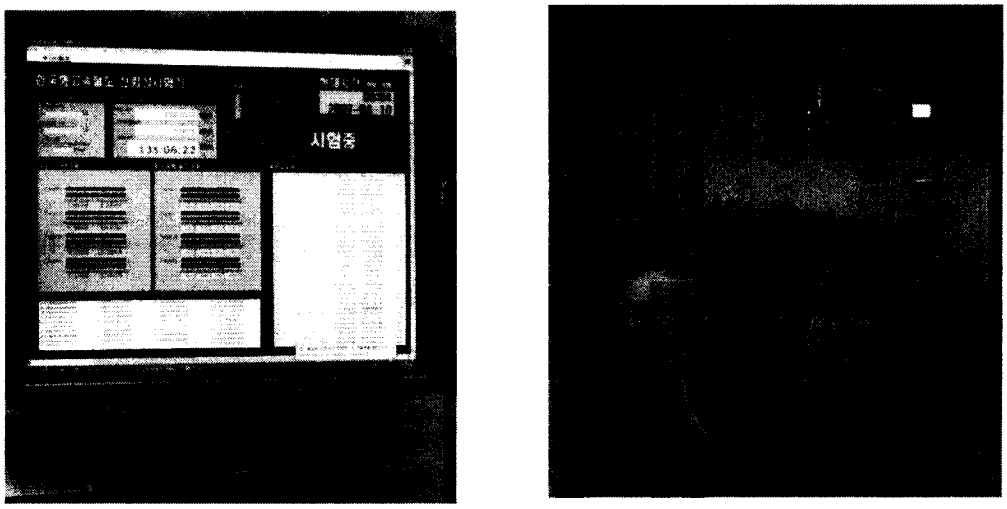


그림 3.5 자체신뢰성시험 환경

(나) 한국형고속철도 열차제어시스템 MTTR의 정량적 평가 체계구축

① MTTR(Mean Time To Repair) 평가

유지보수는 크게 고장 이후에 유지보수가 수행되는 교정유지보수와 고장이전에 유지보수를 수행하는 예방유지보수로 분류되는데, MTTR은 교정유지보수에 해당된다. 따라서 MTTR은 MIL HDBK-472N1에 의해서 아래 수식으로 평가할 수 있다.

$$MTTR = \overline{T_P} + \overline{T_{FI}} + \overline{T_{FC}} + \overline{T_A} + \overline{T_{CO}} + \overline{T_{ST}} = \sum_{m=1}^{M} \overline{T_m} \qquad \text{(식 3.6)}$$

$\overline{T_P}$=평균 준비시간
$\overline{T_{FI}}$=평균 결함고립시간
$\overline{T_D}$=평균 해체시간
$\overline{T_I}$=평균 교체시간
$\overline{T_R}$=평균 재조립시간
$\overline{T_A}$=평균 조정시간
$\overline{T_{CO}}$=평균 점검시간
$\overline{T_{ST}}$=평균 재시작시간
$\overline{T_{FC}} = \overline{T_D} + \overline{T_I} + \overline{T_R}$
$\overline{T_m}$=MTTR의 m번째 성분의 평균시간

(다) 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수체계구축을 위한 RCM분석

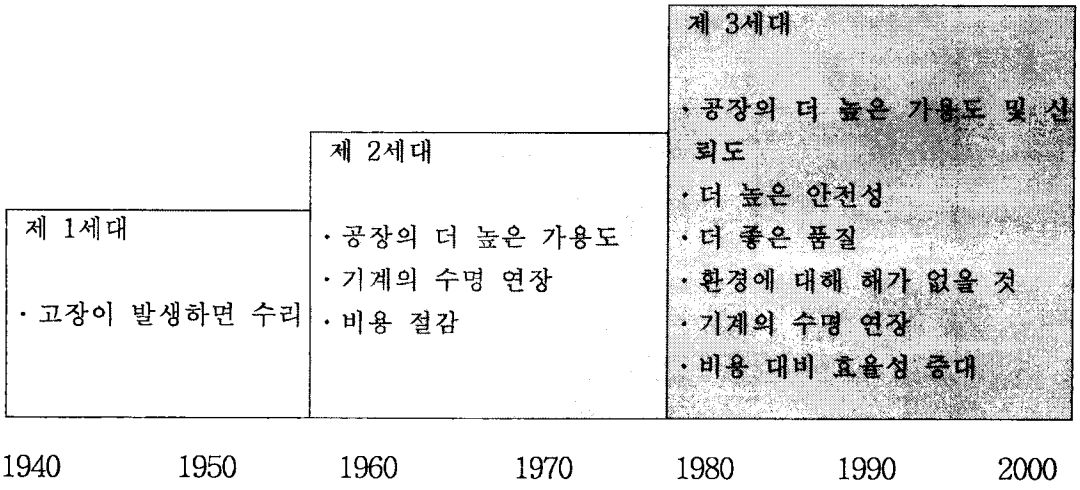
고속철도기술개발사업은, 국내 순수기술로, 현재 운행중인 KTX 열차보다 향상된 성능의 한국형고속철도를 개발하기 위한 사업이다. 특히, 성능향상 목표의 하나인 열차의 속도 향상을 위해 열차제어시스템의 기술개발 및 안정화에 대한 연구가 매우 중요하다. 성능향상을 위한 연구와 더불어 안정화를 위한 연구 즉, 목표한 안전도·신뢰도 및 유지보수도 달성에 관한 연구가 매우 중요하다.

현재 철도분야의 유지보수는 장치제작사의 권고사항을 따르거나, 운영사의 유지보수정책을 따르고 있다. 그러나 이러한 방법은 장치의 고장률이 운용환경 및 운영방법에 따라 달라질 수 있다는 것을 고려하고 있지 않다. 따라서, 불필요한 유지보수가 발생하여, 운용비용이 증가되거나, 혹은 필요한 유지보수가 수행되지 않아서 발생하는 고장으로 인해 막대한 인명피해, 경제적피해 등이 수반된다.

따라서 본 연구에서는 신뢰성분야에서는 한국형고속철도 열차제어시스템의 안정화를 위해, 신뢰도 중심 유지보수를 기반으로 하여, 고장유형에 맞는 유지보수업무를 할당하는 예방유지보수체계를 제안한다.

① 유지보수 개념

유지보수 개념은 1904년대 2차 세계대전을 전후하여, 군수장비를 기준으로 본격적으로 체계화되기 시작했다. 초기 유지보수는 1세대로 분류되며 사후정비의 개념 중심으로 수행되었다. 1970년대까지 해당하는 2세대는 단순한 사후정비의 개념에서 벗어나 예방정비라는 개념이 도입되었다. 그러나 2세대의 예방정비는 단순한 주기적 분해검사에 해당된다. 1980년대에 들어서면서 컴퓨터 기술의 발전으로 인해, 전기 전자 시스템의 신뢰도가 연구되었으며 시스템의 신뢰도를 고려한 유지보수체계로 변화되었다. 이시기에서 예방정비의 개념을 포함한 사전정비라는 포괄적인 개념이 수립되었으며 현재까지 3세대로 분류하고 있다. 2세대에서 출발한 예방정비개념은 3세대를 거치면서 가용성을 최대화 할 수 있는 유지보수 방안을 연구하게 되었고, 항공기나 원자력분야 그리고 화학플랜트를 중심으로 신뢰성 기반 유지보수(RCM :Reliability Centered Maintenance, 이하 RCM)가 개발되었다.



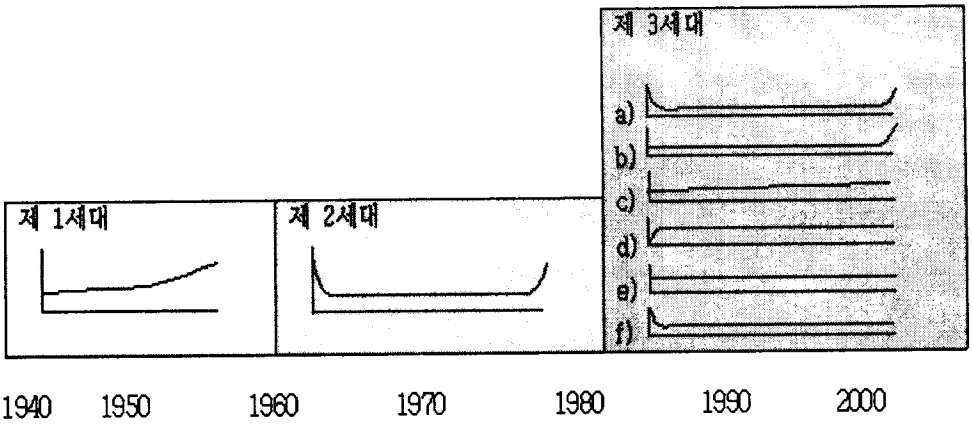
RCM은 시스템의 신뢰성을 정량적으로 분석하고 해당 시스템에 대한 수명을 예측하여 미리 정비함으로써, 시스템에 대한 전체 가용성을 향상시키는데 목적이 있다. 이때 예방정비의 개념이 포함되며, 예방정비의 정비 주기는 시스템의 신뢰성을 기반으로 산출하게 된다.

RCM의 출현 배경에 해당되는 항공기나 원자력 발전소와 더불어 철도시스템 또한 안전성 개념이 중요한 사회 인프라 산업이며, 운영에 대한 효율성을 고려한 가용성 향상에 중점을 두고 있다. 시스템에 대한 가용성 향상은 사고로 인해 발생하는 사후 정비에 대한 비용도 감소시키게 되므로, 철도 운영하는 기관에서는 전체적인 자산관리(EAM : Enterprise Asset Management) 측면에서 반드시 고려해야할 사항이다.

② 유지보수 유형 변화

1세대에서 고려한 고장의 유형은 장비의 사용연한만을 고려하여, 노후화로 인한 고장률의 증가만을 고려하였다. 그러나 2세대를 거치면서, 유지보수 정책이 예방정비로 변화되고 예방정비의 방안으로 분해검사(Overhaul)를 중심으로 발전하였다. 그러나 분해검사 후 초기 고장률이 급증하면서 시스템에 대한 고장 유형을 욕조곡선(Bathtub)으로 해석하였다. 즉 시스템의 초기 고장률은 높고 시스템이 운영되면서 고장률은 안정화되며 사용연한이 증가함에 따라서 고장률이 증가하는 형태였다. 3세대를 거치면서 시스템에 발생할 수 있는 고장의 유형을 6개로 규정하고 연구를 실시하였다. 그 결과 전통적인 유지보수로는 정비효과를 얻기 힘들다는 점과 오히려 현재의 시스템에는 역효과가 발생한다는

점을 인식하게 되었고 비로소 다양한 예방정비의 필요성이 부각되게 되었다. 아래는 3세대를 거치면서 변화된 고장 발생 유형의 관점을 나타낸다.



제 3세대 고장 모드에서 a)는 잘 알려진 욕조곡선이다. 초기에 높은 고장률로 시작하여 일정한 단계 혹은 점점 증가하는 단계를 지나 마모 고장으로 들어간다. 모드 b)는 일정한 또는 천천히 증가하는 고장률로 시작하여 마모고장으로 끝나는 경우이다. 모드 c)는 천천히 증가하는 고장률인데 식별할 수 있는 마모고장 영역은 관찰되지 않는다. 모드 d)는 제품이 새 것이나 공장에서 바로 출하된 경우 고장률이 낮고 일정한 수준까지 급격히 증가하는 경우이다. 모드 e)는 모든 시간영역에서 고장률이 일정한 경우이다. 모드 f)는 초기 유아 사망률이 높으나 일정한 수준 혹은 매우 느리게 증가하는 고장률로 떨어지는 경우이다. 민간항공사에서 수행된 연구결과에 의하면 4%의 아이템이 모드 a)를 따르고, 2%는 b), 5%는 c), 7%는 d) 14%는 e) 그리고 68% 이상이 f)와 같은 고장 분포를 따르는 것으로 알려지고 있다. 이러한 발견은 신뢰도와 운용기간 사이에 어떤 관계가 있다는 전통적인 믿음에 반하는 것이다. 이러한 믿음은 어떤 제품의 분해검수가 자주 될수록 고장의 발생이 적게 일어날 것이라는 것이다. 만약에 노화와 관계된 지배적인 고장 모드가 있지 않다면 사용 연령 한계는 복잡한 제품의 신뢰도를 향상시키는데 거의 기여하지 못하거나 아무 것도 할 수 없게 된다. 사실상 계획된 분해검사는 실제로 분해검사를 하지 않으면 발생치 않을 초기 유아사망률을 높혀 전체적으로 고장률을 높이게 될 수 있는 것이다.

■ Proactive 작업: 이것은 고장이 발생하기 전에 아이템이 고장상태에 빠지

는 것을 방지하기 위하여 취해지는 조치이다. 이것은 전통적으로 예측(predictive)과 예방(preventive) 유지보수로 알려진 것을 포함한다. RCM에서는 계획된 복원(scheduled restoration), 계획된 폐기(scheduled discard), 그리고 조건별(on-condition) 유지보수라는 용어가 사용되고 있다.

- Default actions : 이는 고장난 상태를 다루는 것으로 효율적인 proactive 작업을 밝힐 수 없을 때 선택하는 것이다. 고장발견, 재설계, 고장날 때까지의 운행을 포함한다.

이러한 사실에 대한 지식이 어떤 조직체에서 proactive 유지보수의 개념을 완전히 버리게 하였다. 사실 이것은 경미한 영향을 미치는 고장에 대해서는 올바른 것일 수도 있으나 고장의 영향이 중대한 경우에는 고장을 예측하고 방지하기 위해, 적어도 영향을 줄이기 위해 어떤 일이 수행되어야 한다. 이것은 우리를 다시 proactive 작업으로 데려간다. RCM은 proactive 작업을 아래와 같이 세 가지로 나눈다.

- 계획된 복원작업 (scheduled restoration tasks)
- 계획된 폐기작업 (scheduled discard tasks)
- 계획된 조건별 작업 (scheduled on-condition tasks)

③ RCM(Reliability Centered Maintenance)

RCM은 최소비용으로 장비에 설계된 고유신뢰도와 안전도를 유지하는데 필요한 필수적인 유지보수 업무소요를 결정하기 위한 해석적인 방법으로 아래와 같은 목적을 위해 수행된다.

- 예방유지보수에 대한 설계우선순위와 지침 설정
- 장비의 고유 안전도 및 신뢰도 보장
- 고장이 발생하였을 때, 장비의 안전도 및 신뢰도를 고유수준으로 복구
- 고유 신뢰도가 부적절한 품목에 대한 설계 향상자료획득
- 위 모든 내용을 최소의 비용으로 실현

현재 국외에서는 국방, 철도, 정유, 플랜트분야에서 신뢰도중심 유지보수개념을 적용하여, 예방유지보수정책을 수립하여, 수행되고 있으며, 국내에서는 전력, 플랜트 분야에서, RCM을 적용하여, 예방유지보수를 산업에 적용하고 있다. 하지만, 철도분야에서는 KTX(Korea Train eXpress), 도시철도 등에 적용하려는 수준이다.

④ 예방유지보수

유지보수는 크게, 교정유지보수와, 예방유지보수로 나뉜다. 교정유지보수는 시스템 또는 장비의 운용 중 고장이 발생하고 난 뒤, 시스템의 정상동작이 이루어지도록 장치를 수리하는 활동이고, 예방유지보수는 고장이 발생하기 전에, 장치의 상태에 따른 유지보수계획에 의한 유지보수를 수행하여, 시스템 및 장치의 고장발생 원인을 줄이는 활동이다.

현재 국내 철도분야에서 이루어지는 유지보수는 운영사의 유지보수정책이나 제작사의 권고사항에 따르는 실정이다. 그러나 기존 운영사의 유지보수정책은 새로운 장치 도입시 바로 적용할 수 없고, 또한 제작사의 권고사항 또한, 장치의 고장률이 운용환경과 운영방법에 따라 다르므로 그대로 적용할 수 없다.

본 연구에서는 고장발생원인을 줄임으로써 고장발생을 줄여, 시스템 가용도를 높이고, 고장으로 인한 인적·물적 손실을 줄이고, 시스템 안전도를 높힐 수 있는 한국형고속철도 열차제어시스템의 예방유지보수체계를 구축해야한다.

국내 철도 분야의 유지보수는 다음 표 3.21과 같은 주기로 수행된다.

표 3.21 국내철도분야의 유지보수현황

대분류	소분류	유지보수주기
정기검사	도착점검	도착점검
		출고점검
		3일검사(일상)
		3월검사(월상)
	중정비	3년 혹은 40만 km
		6년 혹은 80만 km
비정기검사	임시검사	해당별 적용
	특별검사	해당별 적용
	차륜교환검사	해당별 적용
	인수검사	해당별 적용

⑤ 예방유지보수의 필요성

유지보수는 크게, 교정유지보수와, 예방유지보수로 나뉜다. 교정유지보수는 시스템 또는 장비의 고장이 발생하고 난 뒤, 시스템의 정상동작이 이루어지도록 장치(이하, 유지보수대상을 장치라함.)를 수리하는 활동이고, 예방유지보수는 고장이 발생하기 전에, 계획적인 유지보수 활동을 시행하여 시스템 및 장치의 고장발생 원인을 줄이는 활동이다.

국내 철도 시스템에서 이루어지는 유지보수는 경험과, 제작사의 권고사항에 따라 유지보수가 이루어지는 실정이다. 따라서 새로운 시스템을 도입시에는, 높은 신뢰도와 안전도, 가용도를 위해, 기존의 유지보수정책의 변화가 요구된다. 또한, 제작사의 권고에 의한 유지보수 정책 또한 운영환경에 맞게, 변경되야한다,

본 연구에서는 고장발생원인을 줄임으로써 고장발생을 줄여, 시스템 가용도를 높이고, 고장으로 인한 인적·물적 손실을 줄이고, 시스템 안전도를 높힐수 있는 한국형고속철도 열차제어시스템의 예방유지보수체계를 구축한다.

(라) 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수체계구축

예방유지보수와 관련된 미국방규격과, RCM 원리를 적용하여, 한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수체계를 구축하고, 이를 통해 고장원인을 감소시킬 수 있는 유지보수업무를 할당방법을 제안하고, 자동열차제어장치와 전자연동장치의 하부모듈별로 교체에 대한 예방유지보수업무주기를 정량적으로 할당하였다. 본 연구에서는 시스템 개발 이후 운영중에 발생되는 고장에 대한 유지보수를 대상으로 한다.

제안하는 예방유지보수체계는 그림 3.6과 같다.

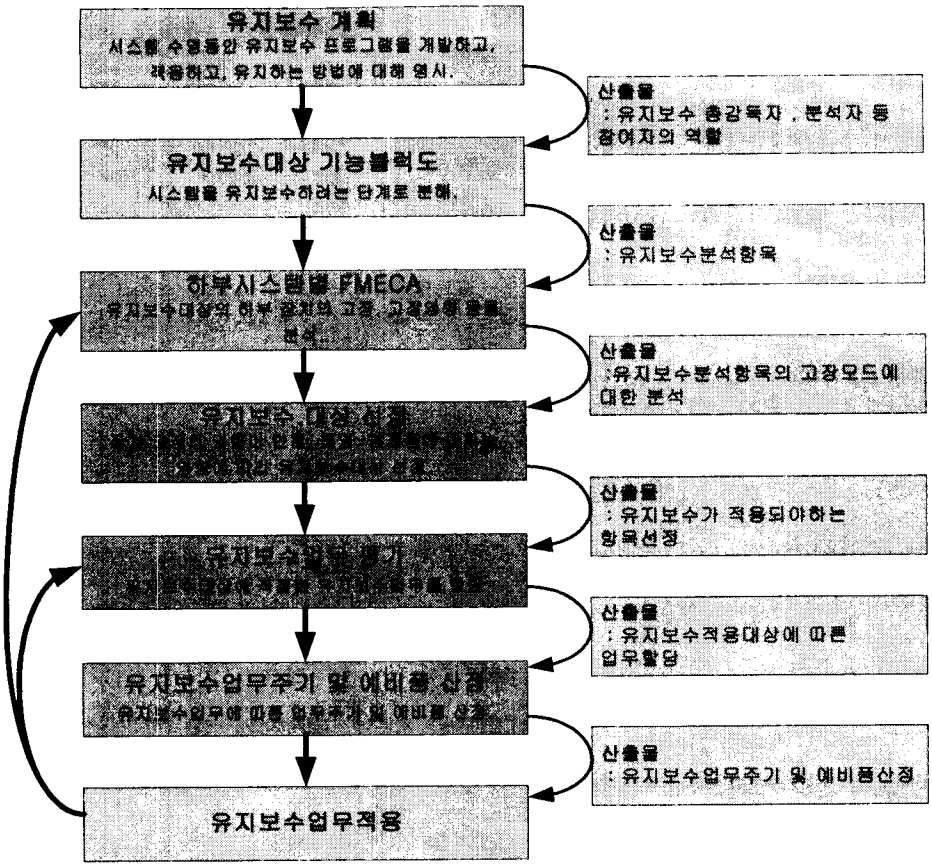


그림 3.6 한국형고속철도 열차제어시스템 예방유지보수체계

① 유지보수계획

유지보수계획 단계에서는 시스템 수명동안 수행되야하는 유지보수 활동 계획, 목표 등에 대한 내용을 포함하며, 유지보수에 참여하는 사람의 자격조건 및 역할을 명시한다. 따라서 유지보수계획단계 이후 산출물은 유지보수계획서이다.

② 유지보수대상 기능블럭도(hardware breakdown)

시스템을 유지보수가 수행되야하는 분석레벨까지 나누는 것으로, 하드웨어의 해당조립 레벨을 의미한다. 분석레벨을 통해 유지보수가 가능한 FMECA을 수행하므로, 신중하게 수행해야한다. 즉, 너무 높은 레벨에서 분석이 이루어지면, 높은 레벨에서의 FMECA가 지나치게 광범위해 질 수 있다. 분석이 높은 단계에서 낮은 단계로 이루어진다면, 고장유형이 증가하게 되어, 분석에 부정적인 영향을 미치게 된다.

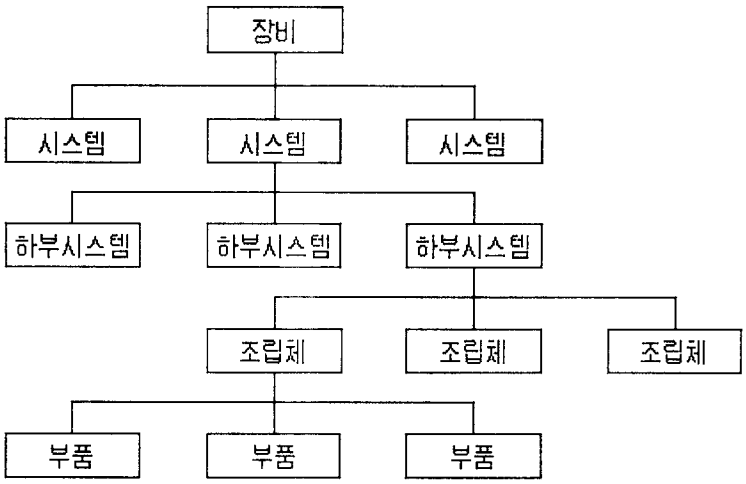


그림 3.7 유지보수 대상기능블럭도

③ 고장유형, 영향 및 심각도 분석(FMECA, Failure Mode Effect and Criticality Analysis)

FMECA는 장비의 기능, 기능고장 및 고장 유형, 고장영향에 대해 파악하고, 기록하기 위한 과정으로, 안전성, 운용성, 경제성 측면에서 기능고장의 중요성을 결정하는데 사용된다. FMECA는 심각성 분류기준에 따라 개별고장 영향의 심각성을 분류하고, 고장률 정보를 제공한다.

FMECA를 수행하기 이전에 아래와 같은 작업이 수행되야 한다.

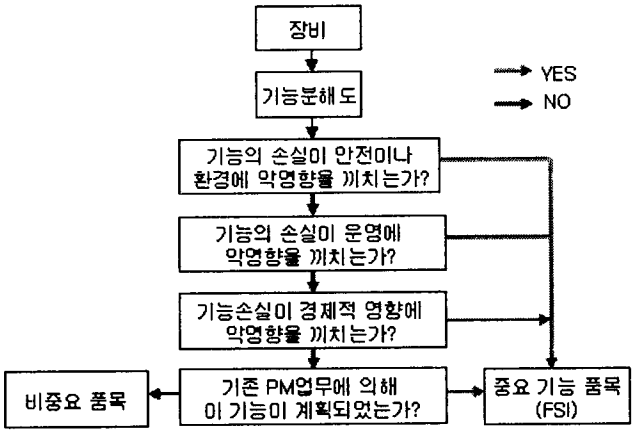
- 기능을 파악하기 위한 데이터 출처 및 획득방법
- 고장유형을 파악하기 위한 데이터 출력 및 획득방법
- 고장감지 방법
- 고장간 평균 시간(MTBF) 계산을 위한 데이터 출처 및 획득방법
- 고장유형 및 영향분석에 대한 설명
- 심각도 결정방법(리스크 매트릭스 등)

④ 유지보수대상선정

복잡한 구조를 가진 시스템은 각기 다른 기능을 수행하도록 설계되어진 수많은 부품들로 구성되어있다. 이러한 부품의 고장이 발생하면 해당부품의 기능상실은 및 주변 장치로의 부차적인 손상을 야기할 수 있고, 결국 최종 시스템에 다양한 고장을 유발한다. 최종 시스템의 운용 능력에 영향을 끼치는 고장결과가 있는 반면, 안전, 경제성에 영향을 끼치는 고장결과도 있고, 어떠한 중대한 영향도 끼치지 않는 고장결과 또한 있다. 해당 기능의 고장이 안전, 운영, 경제

성에 중대한 영향을 끼친다면, 그 기능은 "중요 기능"으로 분류될 수 있다.

중요기능을 선정할 때, 다음과 같은 결정 논리를 적용할 수 있다.



FSI : Functional Significant Item

그림 3.8 유지보수대상 결정논리

- 기능의 손실이 안전이나 환경에 악영향을 끼치는가?
- 특정 고장유형으로 인해 야기되는 해당기능의 손상이나 부차적이 손실이 장비 작동시 안전에 부정적인 영향을 끼치거나 혹은 환경 관련 법규를 심각하게 위해하는가?
- 기능의 손실이 운영에 악영향을 끼치는가?
- 해당기능의 손상이 부차적인 손실이 장비 작동에 부정적인 영향을 끼치는가?
- 기능손실이 경제적 영향에 악영향을 끼치는가?
- 해당기능의 손상이나 부차적이 손실이 경제성에 부정적인 영향을 끼치는가?

⑤ 유지보수업무평가

고장의 결과를 평가하는 방법은 2단계로 나누어진다.

첫 단계는 기능고장을 장비운영자가 고장의 징후를 뚜렷하게 인지하는 "명백한 고장"과 장비 운영자가 특정고장을 검출하기 위해서 정규임무외의 별도의 임무를 수행해야 하는 "숨은 고장"으로 분류하는 것이다.

두 번째 단계는 "명백한 고장"과 "숨은 고장"으로 분류된 고장을 다시, 안전,

운용, 경제성에 막대한 영향을 끼치는 고장과 그렇지 않은 고장으로 분류한다. 기능 상실을 유발하여, 안전, 운용, 경제성에 영향을 끼치는 고장의 결과들을 예방하기 위한 일련의 작업을 할당하기 위함이다.

■ 유지보수업무를 평가하는 유지보수결정논리

유지보수업무결정로직은 그림 3.9와 같이 일관성 있는 유지보수업무할당을 위한 것으로, 분석한 고장의 영향이 4가지 분류(은폐고장, 안전 및 환경고장,운영고장, 기타) 중 어디에 포함되는지, 결정논리에 따라 제안되는 유지보수업무를 할당할 수 있다. 그림 3.9는 미해군 규격에서 제시하는 유지보수업무결정로직이다. 그러나, 철도시스템의 경우, 안전을 가장 중요하시 하므로, 그림 3.9와 같은 유지보수업무결정로직은 적합하지 않다. 따라서 그림 3.10과 같이, 철도시스템에 적합한 유지보수업무 결정로직을 제안하여, 유지보수업무를 할당하고자 한다.

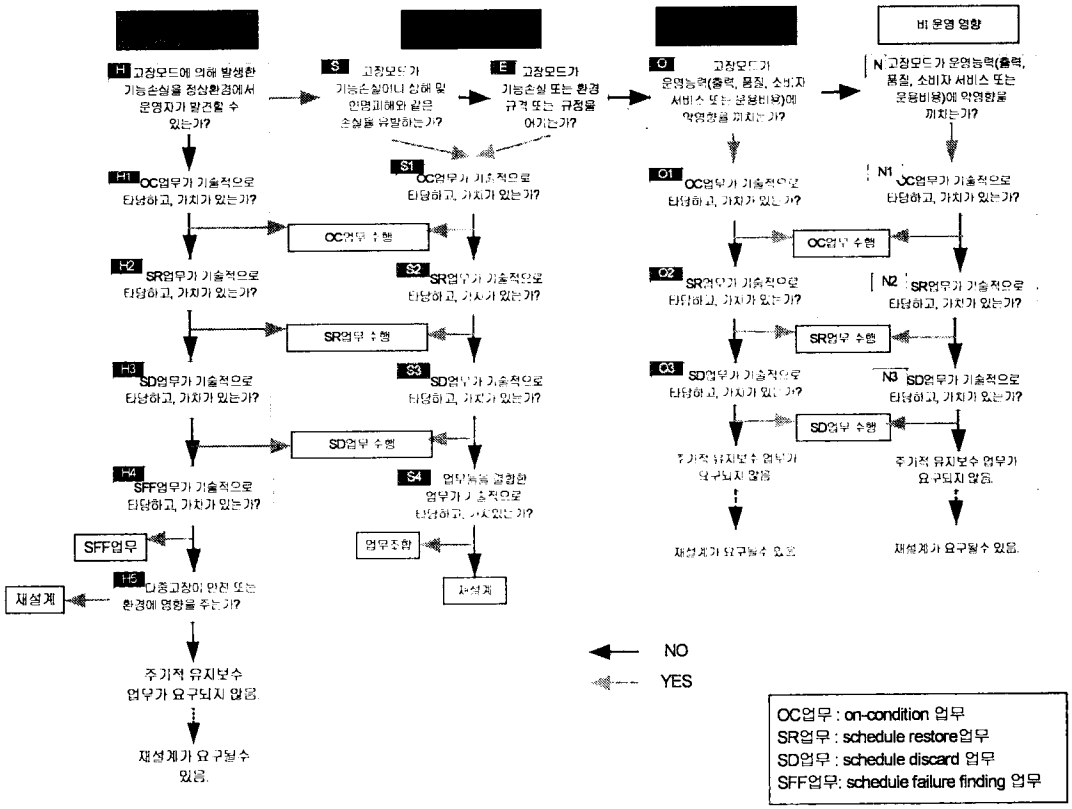


그림 3.9 미해군에서 제시하는 유지보수업무로직

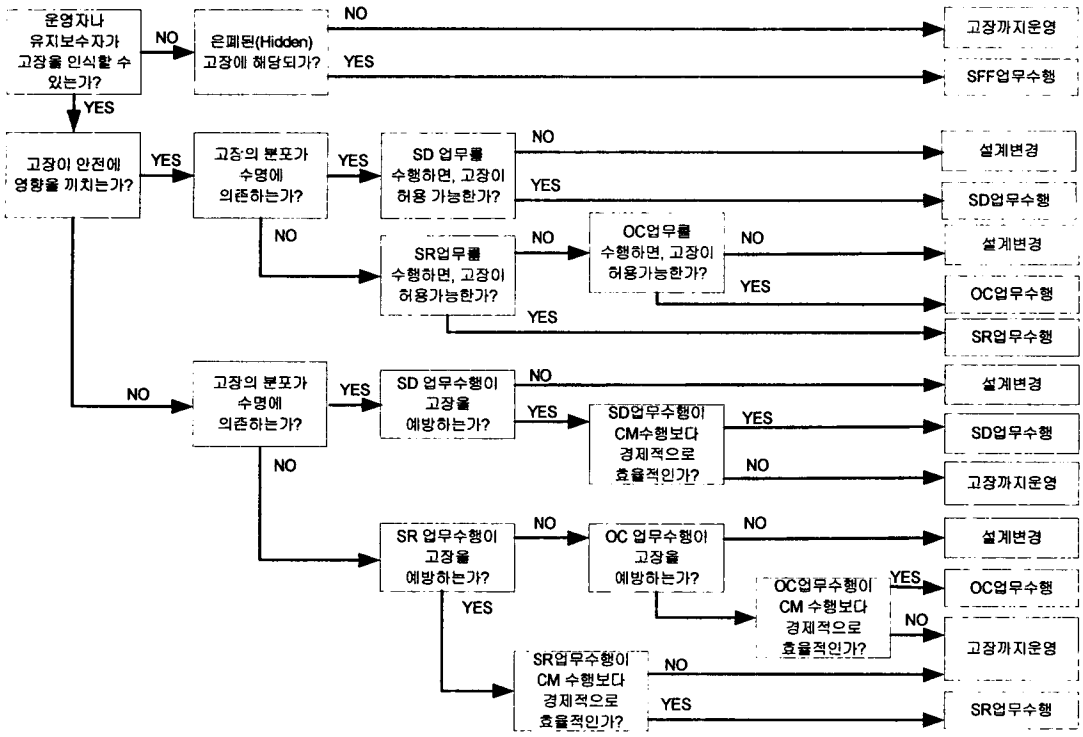


그림 3.10 열차제어시스템 유지보수업무결정로직

본 연구에서 제안하는 열차제어시스템 유지보수업무 결정로직은 고장의 영향이 안전에 미치는 영향에 대한 고려를 우선시 하고, 이후에 장비의 고장분포에 따라 유지보수 업무를 할당하는데, 이때, 경제적인 영향을 고려하여, 유지보수업무를 최종 할당한다. 이것은 철도시스템이 안전을 중요시 하는 시스템이므로, 국외규격이나 문헌에서 동일시한 고장에 따른 안전, 운영, 환경, 경제적 영향에 차별화를 둔 것이다.

⑥ 유지보수업무종류

■ On-Condition 작업

OC 작업은 잠재고장 조건을 검출하기 위해 예정된 정기적인 검사를 의미한다. 검사를 통해 잠재고장상태가 발견되었다면 교정작업을 반드시 실시해야하고, 잠재고장상태가 발견되지 않았다면, 장비를 계속해서 사용할 수 있다. 따라서, OC업무는 잠재고장이 검출될 때까지 장비를 작동가능상태로 유지시켜 주기 때문에 장비의 수리비용과 예비부품의 수는 최소화 시키고, 장비의 가용수명은 최대화 시킨다. OC작업은 단순한 육안 검사부터, 특수장비를 필요로 하는 비파괴 검사까지 다양하게 이루어질 수 있다.

PF간격은 고장의 징후가 보이는 시점부터, 고장이 발생하는 시점까지의 기간을 의미한다.

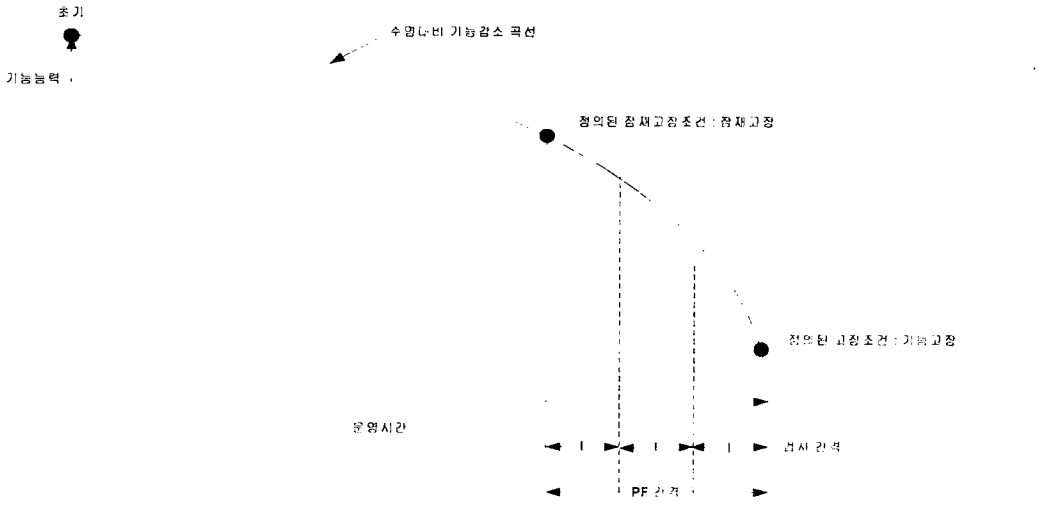


그림 3.11 PF 인터벌

PF간격을 정하는 방법은 아래 5가지가 있다.

첫 번째는 계속된 관찰방법을, 장치의 운용시간 동안 계속된 관찰을 통해, 고장발생원인발생 시점을 확인하고, 고장까지 걸리는 시간을 이용하여, PF간격을 결정할 수 있지만, 비교적 수명이 긴 장비에는 적용이 불가능하다. 두 번째는 PF간격을 임의의 짧은 시간으로 정의하고, 점차 간격을 넓혀가며, 장치를 관찰하므로써, PF간격을 구할 수 있지만, 관찰시간과 비용이 증가한다는 단점이 있다. 세 번째는 임의의 시간을 PF간격으로 결정하고, 이를 적용하는 방법으로,

손쉽게 PF간격을 결정할 수 있는 반면 정확도는 떨어진다. 네 번째, 운영환경을 실험실내에서 재현하여, 실험하는 방법으로, 비교적 정확한 PF간격값을 얻을 수 있지만, 시간과 비용이 증가한다는 단점이 있다. 마지막으로 경험에 의해 PF간격을 결정하는 방법이 있다. 이 방법은 장치나, 유지보수보수 분야에 경험이 풍부한 사람들의 주관적 판단에 의해 결정되는 방법이다.

따라서 정량적인 OC업무주기를 산출하기 위해서는 PF간격을 활용할 수 있다.

■ OC업무 주기

OC업무는 PF(Potential Failure) 간격과 보다 자주 이루어져야한다.

$$I = PF/n \qquad \text{(식 3.7)}$$

여기서, I=검사간격

PF=잠재고장/기능고장간격

n=PF간격내의 검사작업횟수

■ OC업무 주기를 산정하는 또 다른 방법은 아래와 같다.

1) 안전에 영향을 끼지는 고장유형

OC 작업과 연관된 안전에 끼치는 영향의 평가에서는 실제 고장 확률이 허용고장확률보다 같거나 그보다 더 낮아야 한다. 안전에 영향을 끼치는 고장유형의 점검 주기는 아래 식과 같다.

$$t = \frac{PF}{n} \text{ 그리고 } n = \frac{\ln P_{acc}}{\ln(1-\theta)} \qquad \text{(식 3.8)}$$

여기서

t= 작업간격

n=PF동안 실시한 검사횟수

PF=기능고장/잠재 고장간 간격(MTBF 값과는 다르다.)

P_{acc}=허용가능고장확률

θ=1회검사시 고장검출의 확률

θ값이 1회검사로 잠재고장을 검출하는 확률이라면(잠재고장이 존재한다는 가정하에), 검사를 통해 고장을 검출하지 않을 확률은 $(1-\theta)$이 된다. n회의 검사에서 잠재고장을 검출하지 않을 확률은$(1-\theta)^n$이다. 작업의 목표는 잠재고장을 간과하고 지나쳐 버릴 확률을 허용가능한 레벨, P_{acc}로 감소시키는 것이다.

2) 장비 운용 및 경제성에 영향을 끼치는 고장

장비 운용 및 경제성과 관련된 OC작업에 드는 비용은 OC작업을 통해 예방되도록 설계된 고장 결과들로 인한 비용보다 작아야한다. 최적의 비용효율간격을 간출하는 공식은 다음과 같다.

$$t = \frac{PF}{n} \quad \text{그리고} \quad n = \frac{\ln\left[\frac{-\frac{MTBF \times C_i}{PF}}{(C_{npm} - C_{pf}) \times \ln(1-\theta)}\right]}{\ln(1-\theta)} \qquad \text{(식 3.9)}$$

여기서

t= 작업간격

n=PF동안 실시한 검사횟수

PF=기능고장/잠재 고장간 간격(MTBF 값과는 다르다.)

θ=1회검사시 고장검출의 확률

$MTBF$=고장 간 평균 시간

C_i=예방작업비용

C_{npm}=예방유지보수작업외의비용

C_{pf}=잠재고장을 교정하는 비용

여기서 비용효율성을 위해 다음과 같은 식이 성립한다.

$$C_{pm} + C_{cm} < C_{nopm} \qquad \text{(식 3.10)}$$

여기서

C_{pm}= 예방유지보수프로그램 비용

C_{cm}= 잠재고장 및 기능 고장 발생이 가정된 곳의 교정 유지보수 비용 및 예방 유지보수비용

C_{nopm}= 예방유지보수프로그램을 실시하지 않아 발생한 기능고장의 교정비용

■ Hard Time업무(SRT/SDT)

SR(Schedule Repair)업무 및 SD(Schedule Discard)업무의 경우, 고장분포가 수명에 따라 증가하는 장치의 경우, 적합하고, 수집한 고장발생 데이터나, 기존의 경험에 의해 업무주기 산출이 가능하다. SD업무주기의 경우, 기존의 고장이력을 바탕으로 고장분포를 와이블 분포로 모델링하면, 아래와 같은 정량적 방법으로, 비용효율적인 교체주기 산출이 가능하다. (이때 교체는 새로운 장비로의 교체를 가정한다.)

1) 시스템 고장분포를 이용한 최적의 교체주기/검사주기 결정방법

이 방법은 시스템의 고장분포를 이용하여, 유지보수 비용을 최소로 하는 교체주기 및 검사주기를 결정하는 방법으로 유지보수의 최적화주기를 수식으로 제시하므로, 별도의 최적화 노력이 요구되지 않는다.

- 수명교체

부품이 고장나거나, 교체수명 T에서, 교체하는 경우로, 일반적으로 NOTCH STRAIN분석 등과 같은 분석기술들은 대게 장비의 피로관련 고장을 위한 안전수명을 예측하는데 사용된다. 실험실 데이터를 이용할 수 있다면 이전 분석 모델 갱신, 와이블 분석등을 포함한 다양한 분석 기술을 이용하여 산출가능하다. 이때 단위시간당 발생하는 평균 비용을 최소화하는 최적화된 교체주기를 산출할 수 있다.

- 일제교체

정기적 교체로, 특정종류의 부품 전부를 시점 $t = kT$에서 동시에 교체함. 그러므로, 일제교체정책하에서는 하루전에 사용 중 고장으로 교체해 준 부품이라도 정기교체계획에 의해서, 다음달에 또 교체해야한다. 이 방법은 컴퓨터나 아주 복잡한 전자장비에 흔히 적용된다. 고장률이 증가하는 부품의 경우, 사용 중 발생하는 고장의 수는 감소하지만, 수명교체에 비해, 물자의 낭비가 심하다.

- 최소수리

장비의 교체기간 T 이전에 발생되는 고장은 수리하여, 사용하는 방법으로, 수리를 통하여, 장비의 고장률은 원상태를 회복한다고 가정한다.

표 3.22 교체종류에 따른 단위시간당 발생하는 평균비용을 최소화하는 주기

교체종류	최적화 주기함수	관련 매개변수
수명교체	$h(T) \cdot \int_0^T R(x)dx - F(T) = \frac{1}{\rho - 1}$	$h(T) = -\frac{1}{R(T)} \cdot \frac{d}{dT} R(T)$ $\rho = \frac{C_f}{C_p}$ $h(T)$는 고장률함수, $R(T)$는 신뢰도함수, ρ는 예방유지보수비용 대 교정유지보수비용비율 C_p는 주기별 예방유지보수비용(1회비용) C_f는 교정유지보수비용(1회비용)
일제교체	$\overline{C}(T) = C_f\, m(T)$	C_f는 교정유지보수비용(1회비용) $m_f(T) = \frac{d}{dt} M(T)$ $M(T)$는 평균고장횟수
최소수리	$Th(T) - \int_0^T h(x)dx = \frac{C_p}{C_f}$	위와 동일.

표 3.23 고장분포함수

고장분포	수식	
지수분포	확률밀도함수	$f(t)=\lambda e^{-\lambda t}$
	고장률함수	$\lambda(t)=\lambda$
	신뢰도함수	$R(t)=e^{-\lambda t}$
	불신뢰도함수	$F(t)=1-e^{-\lambda t}$
	평균수명(MTTF)	$MTTF=\frac{1}{\lambda}$
와이블 분포	확률밀도함수	$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	고장률함수	$\lambda(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1}$
	신뢰도함수	$R(t)=\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	불신뢰도함수	$F(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	평균수명(MTTF)	$MTTF=\delta+\eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$
정규분포	확률밀도함수	$f(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
	고장률함수	$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$
	신뢰도함수	$R(t)=\int_t^{\infty}f(t)dt$
	불신뢰도함수	$F(t)=1-\int_t^{\infty}f(t)dt$
	평균수명(MTTF))	$MTTF_{mean}=\frac{\sum_{i=1}^{k}MTTF_i}{n}$
대수정규 분포	확률밀도함수	$f(t)=\frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{(\ln t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
	고장률함수	$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$
	신뢰도함수	$R(t)=\int_t^{\infty}f(t)dt$
	불신뢰도함수	$F(t)=1-\int_t^{\infty}f(t)dt$
	평균수명(MTTF)	$MTTF=\exp\left(\mu+\frac{\sigma^2}{2}\right)$

2) 불확정 고장분포의 최대비용의 최소화주기 결정방법

장비고장특성에 대한 정보가 없을 때에는 여러 형태의 분포를 가정했을 때의 가능한 최대 비용을 최소화 할 수 있는 정책을 사용해야 할 때가 있다. 정기적 예방보전에 도일한 평균값을 갖는 여러 분포에 대한 최대비용의 최소화 정책을 적용하면 예방유지보수를 하지 않는 것이 최적의 유지보수 정책이다. 그러므로 고장분포의 평균치를 알고 있다 하더라도, 그 분포의 종류를 모른다면, 고장났을때에만 교체하는 것이 최대 비율을 최소화하는 최적의 정책이다.

■ SFF업무(Schedule Failure Finding 업무)

고장발견작업은 오로지 숨은 고장에 한해서만 실시된다. 숨은 고장이란 정상적인 작동의 일부로써 수행되지 않은 일부 기능의 상실결과를 의미하기도 하고, 혹은 장비 조작자에게 인지 되지 않은 고장, 혹은 다른 기능의 고장이나 이와 관련한 이벤트가 발생하지 않으면 검출되지 않는 고장을 의미한다. 숨은 고장을 야기하고, 이를 보다 명백하게 드러내게 하기 위해 반드시 손상되어야하는 기능을 보고기능, 혹은 명백한 기능 이라고 한다. 그러므로 고장 발견 작업을 위한 간격은 두개의 독립적인 고장을 근거하여 산출된다. 기타 고장의 결과의 고장보다는 초기 고장의 부차적인 손실의 결과가 더욱 숨은 고장에 가깝다.

$$P_{acc}(t) = P_{PF}(t) \times P_{HF}(t) \text{ 혹은 } 1 - e^{-t/MTBF_{AC}} = 1 - e^{-t/MTBF_{PF}} \times 1 - e^{-t/MTBF_{HF}}$$

여기서

$P_{acc}(t)$= 시간 t에서의 허용가능고장확률

$P_{PF}(t)$=시간 t에서의 보호기능의 고장확률

t=작업간격

$MTBF_{AC}$=시스템을 위한 이상적이 고장간 평균시간

$MTBF_{PF}$=보호기능을 위한 고장간 평균시간

$MTBF_{HF}$=숨은기능을 위한 고장시간

■ 기타 업무

1) 비용데이터 수집

장비 운용 및 경제성관련 심각성 분류 그룹의 위험원들을 위해 다음과 같은 유지보수 작업 비용과 연관된 데이터를 수집할 필요가 있다.

- 고장 검사 비용
- 고장 발생 이전의 제거, 교체, 재가공 및 폐기 비용
- 고장 발생 이후의 제거, 교체, 재가공 및 폐기 비용
- 검사 및 수리작업을 수행하기 위해 필요한 기능 레벨

■ 수명 조사(AE)

일반적으로 시스템, 하부시스템, 구성부품으로 나뉜다. 수명주기동안 수행되야하는 유지보수 프로그램을 개발하고, 적용하고, 유지하는 방법에 대한 계획이 이루어지고, 예방유지보수 적용시스템을 선정하고, 시스템의 기능블럭도를 통해, 하부 시스템으로 분류하여, FMECA를 수행한다. FMECA를 수행하고, 고장영향 별로, 유지보수 결정논리 통해, 적합한 유지보수업무를 결정한다.

유지보수를 적용하려는 시스템의 RCM 분석동안 파악된 수명조사 작업을 수행할 때에는 다음과 같은 내용이 반드시 포함되야한다.

- 수집된 데이터
- 데이터 수집을 위해 필요한 특수 기술 및 장비
- 데이터 수집 담당자
- 데이터 수집 주기
- 데이터 수집 기간
- 데이터 전달

⑦ 예비품 수량 산정방법

예비품 수량은 장치의 수명주기동안 발생되는 교체 및 점검주기를 기준으로, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \frac{MTTF}{T}$$

여기서, Q는 예비품 수량이고, $MTTF$는 시스템 수명, T는 예방유지보수 주기이다.

(마) 한국형고속철도 열차제어시스템에 적용

본 연구에서 제안하는 한국형 고속철도 열차제어시스템에 적합한 예방유지보수체계를 한국형고속철도 자동열차제어장치(ATC, Automatic Train Control)에 적용하여, 제안하는 예방유지보수체계를 검증하였다. 즉, ATC 차상장치의 고장원인 및 영향을 분석하여, 알맞은 예방유지보수업무를 할당하고, 할당된 업무의 최적주기를 제시한다.

① 예방유지보수업무대상선정

한국형고속철도 열차제어시스템 자동열차제어장치

② 한국형고속철도 열차제어시스템 자동열차제어장치의 기능블럭도 작성

기능블록도는 예방유지보수대상 시스템을 하부부품단위까지 분류하여, 시스템의 중요기능품목을 선정하고자한다. 한국형고속철도 ATC차상장치의 경우, 모든 기능이 보드단위로 구현되어, ATC 차상장치를 구성하는 모든 보드가 중요기능품목이 된다.

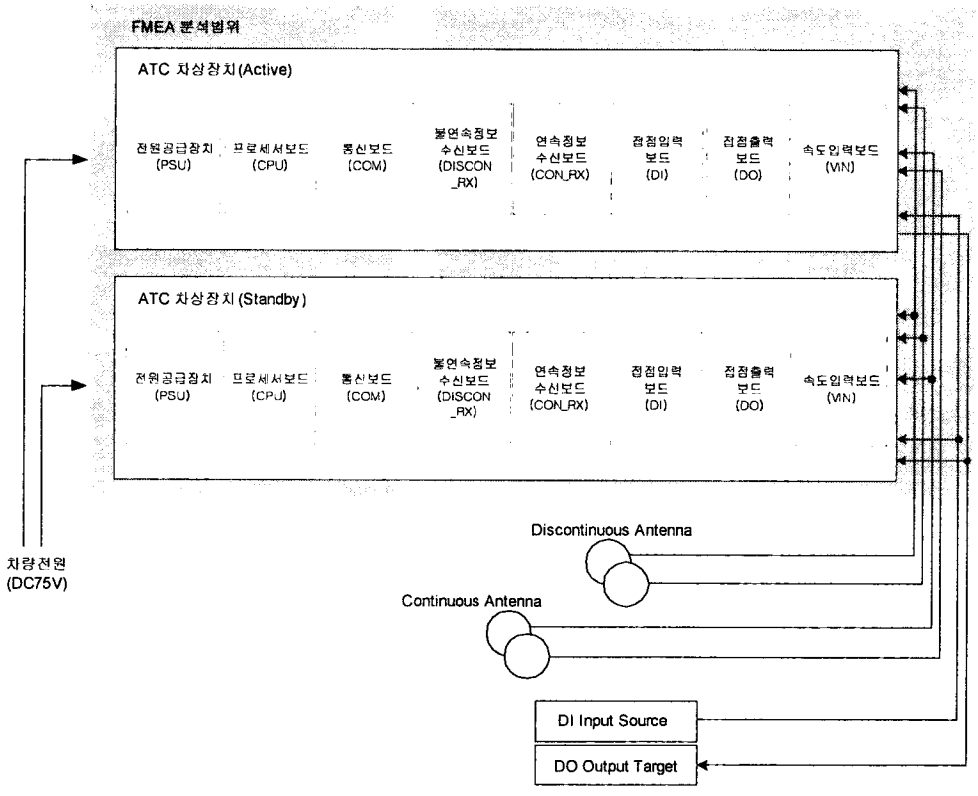


그림 3.12 ATC 차상장치의 구성도

표 3.24 ATC 인터페이스 기능

LRU	입력	출력	기능
PSU	차량	CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN	이중계의 각 단일계별로 설치된 PSU는 차량으로부터 공급된 전원을 사용하여 차상장치의 단일계별 전원공급
CPU	PSU, COM, CON_RX, DI, DO, VIN, TCN	COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, TCN	상용제품으로써 연속/불연속 정보, DI 및 TCN으로 입력되는 정보를 처리하여 열차를 안전하게 방호하기 위한 명령을 발생
COM	CPU, ATS, DISCON_RX	CPU, ATS	ATS 및 DISCON_RX와 시리얼통신 CPU와 VME통신
DISCON_RX	Discontinuous Antenna	COM	불연속안테나로부터 수신된 전기신호를 복호화하여 COM보드를 통해 불연속메시지를 CPU로 송신
CON_RX	Continuous Antenna	CPU	연속안테나로부터 수신된 전기신호를 복호화하여 VME버스를 통해 연속메시지를 CPU로 송신
DI	차량	CPU	판토그래프상태, VCB상태, 비상제동상태, 확인스위치 상태
DO	CPU	차량	판토그래프제어, VCB제어, 비상제동제어
VIN	차량	CPU	열차운행속도 입력

본 연구에서는 ATC 차상장치를 구성하는 8개의 보드 전원공급장치, 프로세스보드, 통신보드, 불연속정보수신보드, 연속정보수신보드, 접점입력보드, 접점출력보드, 속도입력보드를 중요기능품목으로 한다.

■ PSU 인터페이스 상세

ATC의 전원공급장치는 이중계로 구성된 ATC차상제어기 19″ 랙에 각각 설치되어 차량으로부터 공급되는 전원을 변환하여 CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN모듈에 전원을 공급한다.

표 3.25 PSU 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
PSU	-	차량으로부터 공급되는 전원을 변환하여 CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN모듈에 전원을 공급	2.02E-6

■ CPU 인터페이스 상세

ATC의 CPU는 이중계로 구성된 ATC차상제어기 19" 랙에 각각 설치되어 다른 하부구성요소로부터입력된 정보를 처리하여 제어명령을 발생시킨다. 본 FMEA는 CPU의 소프트웨어 고장률은 분석의 범위에서 제외하였으며, 상용보드를 적용한 CPU의 내부기능블럭별 고장률의 정량화가 불가능 하므로, 최악조건을 고려하여 CPU내부의 결함발생은 모두 CPU의 전체 고장률을 적용한다.

표 3.26 CPU 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
CPU		DISCON_RX로부터 COM을 통해 수신된 불연속 정보, CON_RX로부터 VME를 통해 수신된 연속 정보, VIN, DI 및 COM을 통해 수신된 정보를 바탕으로 운전상황에 적합한 제동패턴을 생성하여 열차를 과속으로부터 방호하고 전차선절연구간, 공사구간, 터널, 교량 등의 운전상황관련 정보를 DO를 사용하여 열차를 안전하게 제어	9.58E-6

■ COM 인터페이스 및 기능상세

표 3.27 COM 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
COM	Serial Controller	Serial Adaptor로부터 수신된 디지털 신호를 VME Bus Interface로 전송하고, VME Bus Interface로부터 수신된 정보를 Serial Adaptor로 전달	3.44E-6
	VME Bus Interface	CPU와 Serial Controller의 데이터 송수신	1.53E-6
	Serial Adaptor	DISCON_RX 및 ATS로부터 수신된 전기적 신호를 Serial Controller로 전달하고, Serial Controller로부터 수신된 전기적 신호를 ATS로 전달	1.15E-6
	Display	COM의 상태표시	3.80E-7
LRU			6.49E-6

■ DISCON_RX 인터페이스 및 기능상세

표 3.28 DISCON_RX 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
CON_RX	Passive Device	Continous Antenna로부터 수신된 전기신호를 복조하여 Microcontroller로 전송	1.68E-6
	VME BUS Interface	Microcontroller에 처리된 연속정보를 CPU로 전송	1.26E-6
	Microcontroller	Passive Device에서 수신된 디지털신호를 데이터처리하여VME BUS Interface로 전송	4.21E-6
	Display	CON_RX의 상태표시	4.20E-7
LRU			7.58E-6

■ DI 상세기능

표 3.29 DI 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
DI	Parallel Interface	Switching Device의 접점신호를 Memory Mapped 형태로 엔코딩	2.74E-6
	VME BUS Interface	Parallel Interface의 Memory Mapped 데이터를 VME버스를 통해 CPU로 전송	1.83E-6
	Switching Device	열차상태에 따른 계전기 조건을 입력받아 Parallel Interface로 전송	3.20E-6
	Display	DI의 상태표시	4.60E-7
LRU			8.22E-6

■ DO 상세기능

표 3.30 DO 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
DO	Parallel Interface	VME Bus Interface의 CPU제어명령을 Memory Mapped 형태로 디코딩	2.50E-6
	VME BUS Interface	CPU의 Memory Mapped 제어데이터를 VME버스를 통해 Parallel Interface로 전송	1.07E-6
	Switching Device	Parallel Interface로부터 수신된 제어명령에 따라 열차제어를 위한 접점구성	3.92E-6
	Display	DO의 상태표시	3.60E-7
	ATC Self Checker	이중계로 구성된 각각의 차상장치의 CPU 제어출력검증 및 정상동작을 감시하여 여분관리수행	1.43E-6
LRU			9.27E-6

■ VIN 상세기능

표 3.31 VIN 상세기능

LRU	하부구성요소	기능	고장률(/h)
VIN	Parallel Interface	Frequency Counter로부터 수신된 열차속도 카운터값을 CPU로 전송하기 위해 VME Bus Interface로 전송	8.40E-7
	VME BUS Interface	Parallel Interface의 Memory Mapped 데이터를 VME버스를 통해 CPU로 전송	1.17E-6
	Frequency Counter	차량으로부터 수신되는 열차속도 주파수정보를 카운터를 사용하여 데이터를 Parallel Interface로 전송	1.34E-6
	Display	VIN의 상태표시	1.70E-7
LRU			2.51E-6

③ 한국형고속철도 ATC 차상장치의 FMEA

한국형고속철도 ATC 차상장치의 중요기능품목 8개의 보드는 FMEA 분석후, 유지보수업무 결정논리를 통해, 적절한 예방유지보수업무를 결정한다. FMEA분석 결과는 부록 2에 정리하였다.

④ 한국형고속철도 ATC 장치의 예방유지보수업무주기

■ 적용대상 : ATC 차상장치

도출된 위험원 항목이 보유한 고장 데이터 특성을 고려하여, 주기가 선정된다.

- 고장발생데이터 수집 : FRACAS 이용.

- 적합한 고장분포 결정 : (ex. 지수분포, 정규분포, 와이블분포, 대수정규분포 등)

■ 적용 고장분표 : 와이블분포

고장분포	수식	
와이블 분포	확률밀도함수	$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1}\cdot\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	고장률함수	$\lambda(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1}$
	신뢰도함수	$R(t)=\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	불신뢰도함수	$F(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t-\delta}{\eta}\right)^{\beta}\right]$
	평 균 수 명 (MTTF)	$MTTF=\delta+\eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$

변수

· β : 형상(Shape) 모수

: 와이블 분포는 형상모수의 크기에 따라 다양한 고장분포를 모델링 할 수 있다.

형상모수	고장분포 형태	bathtub
$\beta<1$	감마분포	초기 고장
$\beta=1$	지수분포	랜덤 고장
$\beta=2$	대수정규분포	wear-out고장
$\beta=3.5$	정규분포	

· 위 표를 통해, β의 값이 1보다 클 경우에만, 예방유지보수업무가 유용함을 알 수 있음.

· η : 척도(scale) 모수

고장분포	수식
: 모집단의 고장확률이 63.2%인 시점에서의 수명을 의미하는 매개변수로, 특성수명임. · δ : 위치(location) 모수 장치의 고장발생이 없는 기간을 나타내는 매개변수로, 0으로 가정함. ·	

■ 고장분포 결정절차



- 고장데이터 수집 : 2개 이상의 데이터 필요하여, 본 연구에서는 시운전데이터를 가정하여, 정렬하고, 고장분포를 예측하기 위해, 다음 식과 같이 선형식으로 변형한다.

$$Y = \ln[\ln(1/(1-F(t)))], \quad X = \ln(t),$$

$$M = \beta, \quad b = -\beta\ln(\eta).$$

표 3.32 시운전데이터

NO	Time To Failure(hour)	Ln(TTF)	Median Rank %((F(t))	Ln(Ln(1/(1-F(t))))
1	92	4.52	3.43%	-3.3548
2	130	4.87	8.33%	-2.44172
3	233	5.45	13.24%	-1.95214
4	260	5.56	18.14%	-1.60881
5	320	5.77	23.04%	-1.33989
6	325	5.78	27.94%	-1.1157
7	420	6.04	32.84%	-0.92095
8	430	6.06	37.75%	-0.74669
9	465	6.14	42.65%	-0.58708
10	518	6.25	47.55%	-0.43805
11	640	6.46	52.45%	-0.29651
12	700	6.55	57.35%	-0.15992
13	710	6.57	62.25%	-0.02602
14	770	6.65	67.16%	0.107443
15	830	6.72	72.06%	0.243
16	1010	6.92	76.96%	0.383882
17	1020	6.93	81.86%	0.534856
18	1290	7.16	86.76%	0.704227
19	1330	7.19	91.67%	0.910235
20	1690	7.43	96.57%	1.215568

- 고장데이터를 이용한 고장분포의 선형화 : 고장분포함수를 이용하여, 고장분포를 아래와 같이 선형방정식으로 나타낼 수 있다.

$$: \ Y = 1.5204X - 10.049$$

따라서, β는 1.5204이고, η는 741($\beta \ln(\eta) = -10.049$)로 산출된다.

MTTF는 다음과 같다. (여기서 $\Gamma()$ 는 감마함수표를 이용한다.)

$$MTTF = \delta + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 0 + 741 \times [\Gamma(1 + 0.6572)] = 668.1375$$

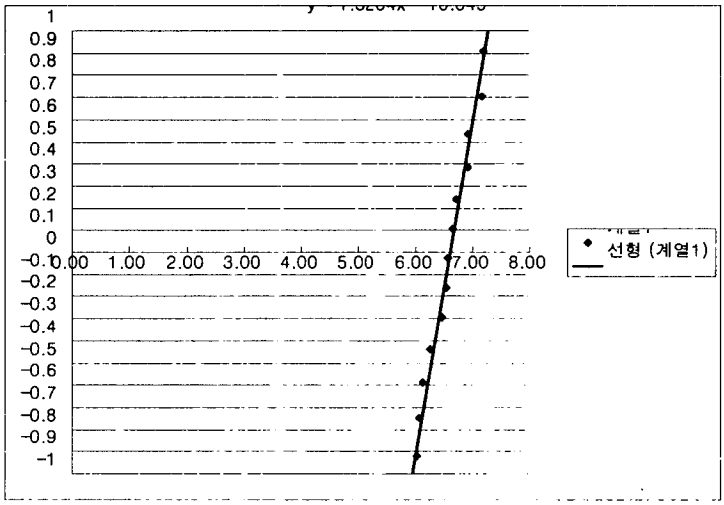


그림 3.13 그래프를 이용한 데이터 해석(와이블 분포)

따라서 평균수명 MTTF는 다음과 같다.

$$MTTF = \delta + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 0 + 741 \times [\Gamma(1 + 0.6572)] = 668.1375$$

(여기서 $\Gamma()$ 는 감마함수표를 이용한다.)

■ 예방유지보수 최적교체주기결정

: $\rho = 10$(PM 비용 : 100만원, CM비용 1000만원)으로 가정하고, 아래 수식을 이용하여, T를 산출하면, 유지보수교체 주기는 **276**일이고, 이를 그래프로 표현하면, 그림 3.14와 같다.

$$h(T) \cdot \int_0^T R(x)dx - F(T) = \frac{1}{\rho - 1}$$

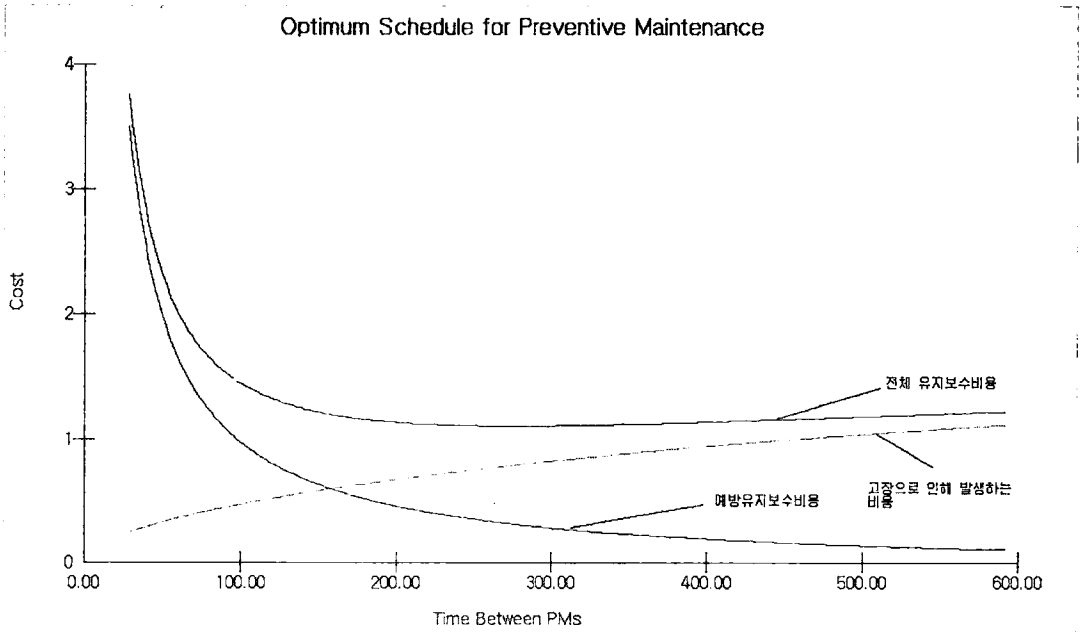


그림 3.14 최적의 예방유지보수주기

(바) 한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수

한국형고속철도 열차제어시스템의 유지보수는 크게 교정유지보수와 예방유지보수로 분류되며, 본 연구에서는 교정유지보수를 MTTR로, 예방유지보수는 교체주기로 산정하여, 표 3.33는 자동열차제어장치, 표 3.34는 전자연동장치의 LRU별 유지보수평가에 대해 나타난다.

이때, 교정유지보수 MTTR 은 MIL-HDBK-472N1를 기준으로 산정하였고, 예방유지보수 교체주기는 본 연구에서 제안하는 방법, 즉 장비의 고장분포를 와이블 분포로 모델링하여, 주기를 산정하는 방법에 의해, 산정하였다.

표 3.33 ATC 유지보수도평가

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	PSU	2.02×10^{-6}	495,050	0.2	304,800
2	CPU	9.58×10^{-6}	104,384	0.3	64,296
3	COM	6.49×10^{-6}	154,083	0.3	94,824
4	DISCON_RX	8.66×10^{-6}	115,473	0.3	71,064
5	CON_RX	7.58×10^{-6}	131,926	0.3	81,240
6	DI	8.22×10^{-6}	121,655	0.3	74,964
7	DO	9.27×10^{-6}	107,875	0.3	66,384
8	VIN	2.51×10^{-6}	398,406	0.3	245,280
9	MTBSF = 465,116,279 Hour				
10	MTTR = 0.29 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472N1를 기준으로 산출.				
11	Dangerours Failure Rate ATC_HD_001 = 7.85×10^{-10}(SIL4)				

표 3.34 전자연동장치 유지보수도평가

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	CPU	8.37×10^{-6}	119,474	0.2	73,560
2	Swith Board	6.62×10^{-6}	151,067	0.3	93,000
3	SHR	5.30×10^{-6}	188,679	0.1	116,184
4	TFM_PM	7.62×10^{-6}	131,234	0.2	80,760
5	TFM_SM	6.24×10^{-6}	160,256	0.2	98,616
6	TFM_IM	3.19×10^{-6}	313,480	0.2	191,664
7	PSU	2.50×10^{-6}	400,000	0.3	246,240
8	MTBSF = 952,381 Hour PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				
9	MTTR = 0.21 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472NI를 기준으로 산출.				
10	Dangerours Failure Rate IXL_HD_001 = 1.2×10^{-11}(SIL4) IXL_HD_002 = 1.2×10^{-11}(SIL4) IXL_HD_003 = 1.2×10^{-11}(SIL4) PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				

(사) Maintainability Tookit 분석

① 유지보수 기본사항

MIL-STD-721C는 유지보수도를 "적정 수준의 기술을 가진 숙련공이 규정된 유지보수 및 수리 작업 레벨에서 규정 된 절차와 방법을 사용하여 유지보수 작업을 수행할 때, 지정 된 상태까지 장비를 복구하거나 유지시키는 장비 능력의 척도."라고 정의하였다.

다른 문서에서는 유지보수도에 대해 조금은 다르게 정의하고 있지만 여러 가지 측면에서 이러한 정의들은 불완전하다고 볼 수 있다. 유지보수도은 고장 예방(지정 된 상태로 장비를 유지시키는 것)이나 고장 교정(지정 된 상태로 장비를 복구 시키는 것)의 상대적인 용이성, 혹은 경제성과 관계 한다. 그러므로 좋은 유지보수도는 단순히 규정된 절차와 방법을 사용하여 제품의 작동을 유지하는 능력을 의미하는 것이 아니라, 규정된 절차와 방법을 사용하여 제품의 작동을 경제적이고, 효율적으로 유지시키는 능력을 의미한다.

표 3.35 유지보수도 척도

척도	평가
평균수리시간 (MTTR) 평균교정유지보수 시간.	시스템의 개별 유지보수 작업을 위한 유지 보수 작업 주기 시간의 산술적 평균을 나타내는 종합적인 값 (예방 정비 작업 제외)
평균예방유지보수시간	시스템의 개별 예방 유지 보수 작업(정기 조사, 측량 및 정기 부품 교체 등)을 위한 유지 보수 작업 주기 시간의 산술적 평균을 나타내는 종합적인 값
평균교정유지보수시간	50%는 평균값보다 크거나 같고, 혹은 50%는 평균값보다 작거나 같다와 같이 예방 유지 보수 작업 시간을 위해 모든 다운타임을 나누는 교정 유지 보수 시간
평균유지보수시간	유지보수 작업(정비 수리 및 예방 정비)을 수행하는데 걸린 경과시간. 물류 및 행정상의 지연시간은 배제된다.
최대교정유지보수시간	예상 예방 유지 보수 작업 진행 퍼센트 이하의 유지보수 다운타임 값. 반드시 주어진 백분위 점에서 나타내야 한다. (일반적으로 90, 혹은 95) 주로 lognormal분포와 관련 있다.
평균 시스템 복구 시간	잉여적인 시스템을 위한 척도. 잉여 백업 유닛으로 변경 시키는데 필요한 시간.
평균 다운타임	시스템이 복구 작업이나 예정 유지 보수 작업으로 인해 작동하지 않는 평균 시간. 물류 및 행정적인 지연 시간 또한 포함된다.
시간 별/주기 별/작업 별/월별 유지 보수작업 시간	작업 시간, calendar time, 유지 보수 작업 및 작업 주기 등에 관계한 작업 시간 요소

② 신뢰성기반 유지보수

신뢰성 기반 유지보수(RCM)는 조직의 예방 정비 능력을 제품의 설계 특성과 매칭 시키기 위한 분석 방법이다. 신뢰성 기반 유지보수는 필수적이며, 비용 효율적인 최적의 예방 유지보수(PM)를 향한 도전을 위해 필요한 기술 정보들을 조직하고, 지휘하기 위한 기본 골격을 제공한다. 유지보수는 두 종류로 나눌 수 있는데 그 중에 하나가 예방 유지보수이고, 또 다른 하나는 교정 유지보수(CM)이다.

예방 유지보수는 선택적인 다운타임이다. (일부 예방유지보수는 제품의 작동과 동시에 진행될 수 있다.) 예방 유지보수는 제품의 작동 수명을 연장하고, 제품을 안전하게 사용할 수 있는 작업들로 구성된다. 이상적인 제품이란 예방 유지보수를 필요로 하지 않는 제품, 고장 발생 확률이 희박한 제품, 또는 redundancy가 고장을 허용할 수 있는 제품 등을 의미한다. 그렇게 된다면 제품 사용 전에 잉여 장비의 작동 상태를 검증하는 작업을 예방 유지보수에 포함시키더라 하더라고 오직 개량유지보수만이 드물게 요청될 것이다.

교정 유지보수에는 고장 난 장비를 허용 가능한 작동 상태로 만드는 작업이 포함된다. 개량 유지보수는 고장 발생 인지(결함 검출 - FD), 고장 발생 이유 결정(결함 격리 - FI), 고장 부품의 평가, 교체, 및 수리, 고장 정비 완료 확인 작업까지를 포함한다. 안전성, 가용성 조건 및 고객의 제품 조작 및 고객 지원 개념 등을 유념하여 예방유지보수와 개량 유지보수의 균형을 유지시키는 것은 유지보수도 엔지니어들의 책임이다.

신뢰성 기반 유지보수는 다음 여섯 가지 지침에 근거한다.

- 고장의 결과로 우선순위를 결정한다.
- 예방 유지보수 작업의 선택은 장비의 고장 패턴에 근거해야 한다.
- 예정 된 유지보수는 고장 모드의 특성 상 장비의 고장이 안전성에 영향을 끼치는 고장이 발생한 장비를 위해서 요청된다.
- 재설계는 예방 유지보수를 통해서 고장위험을 허용할 만한 레벨로 줄이지 못할 때 안전성 관련 장비를 위해 요청된다.
- 안전성과 관계없는 고장을 위한 예방 유지 보수는 경제적인 요인들을 근거로 하여 판단되어야 한다.
- PM cannot improve the designed-in reliability.

위의 6가지 지침에 의해 선택되는 유지보수업무의 적용가능성과 효용성은 아래 표와 같이 구분된다.

표 3.36 유지보수업무의 적용가능성과 효용성

작업 종류	적용가능성 원칙	효용성 원칙
성능 트렌딩	• 축소 된 고장 내성을 검출할 수 있다. (잠재 고장) • 잠재 고장과 기능 고장 간의 일관적인 시간	• 성능 트렌딩 작업은 고장을 허용 레벨로 축소시킨다. • 예정 된 예방 유지보수에 드는 비용은 개량 유지보수 및 예방 유지보수를 실시하지 않은 고장 비용보다 저렴하다.
재가공/개조	• 부품의 마모기간과 어셈블리의 마모기간은 서로 다르다. ($\beta>1$*) • 대부분의 부품 및 어셈블리는 이 구간까지는 작동한다. • 성능 트렌딩 작업은 적용할 수 없으며, 효율적이지도 않다.	• 재가공 및 개조 작업은 고장을 허용 레벨로 축소시킨다. • 예정 된 예방 유지보수에 드는 비용은 개량 유지보수 및 예방 유지보수를 실시하지 않은 고장 비용보다 저렴하다. • 재가공 및 개조 작업은 새로운 상태 및 고장 저항으로 장비를 복구시킨다.
폐기	• 부품의 마모기간과 어셈블리의 마모기간은 서로 다르다. ($\beta>1$) • 대부분의 부품 및 어셈블리는 이 구간까지는 작동한다. • 성능 트렌딩 작업이나 재가공/개조 작업은 적용할 수 없으며, 효율적이지도 않다.	• 폐기 작업은 고장을 허용 레벨로 축소시킨다. • 예정 된 예방 유지보수에 드는 비용은 개량 유지보수 및 예방 유지보수를 실시하지 않은 고장 비용보다 저렴하다.
고장 식별	• 고장이 장비의 조작자에게 명백하게 들러나지 않는다. • 고장이 다른 부품의 고장 리스크 증가를 야기한다. • 성능 트렌딩 작업이나 재가공/개조 작업, 폐기 작업은 적용할 수 없으며, 효율적이지도 않다.	• 고장 식별 작업은 복합적인 고장 리스크를 허용레벨까지 축소시킨다. • 예정 된 예방 유지보수에 드는 비용은 개량 유지보수 및 예방 유지보수를 실시하지 않은 고장 비용보다 저렴하다.

신뢰성 기반 유지보수는 기본적으로 각각의 고장을 위한 다음 일련의 질의응답으로 구성되어있다.

- 고장이 어떻게 발생하며, 또 왜 발생하는가?
- 고장이 야기하는 결과는 무엇인가?
- 예방 유지보수 작업을 통해 고장 발생 확률을 제거하거나 축소시키고, 안전성을 향상시키며, 비용을 절감할 수 있는가?
- 어떤 예방 유지보수 작업이 필요로 하며, 실시 될 수 있는가?
- 어떤 예방 유지보수 작업이 실시되어야 하는가?
- (구체적인 고장에 대해) 어떤 예방 유지보수 작업이 실시되어야 하는가?

이때, 유지보수업무의 적절한 할당을 위한 RCM 결정논리는 아래 그림 3.15와 같다.

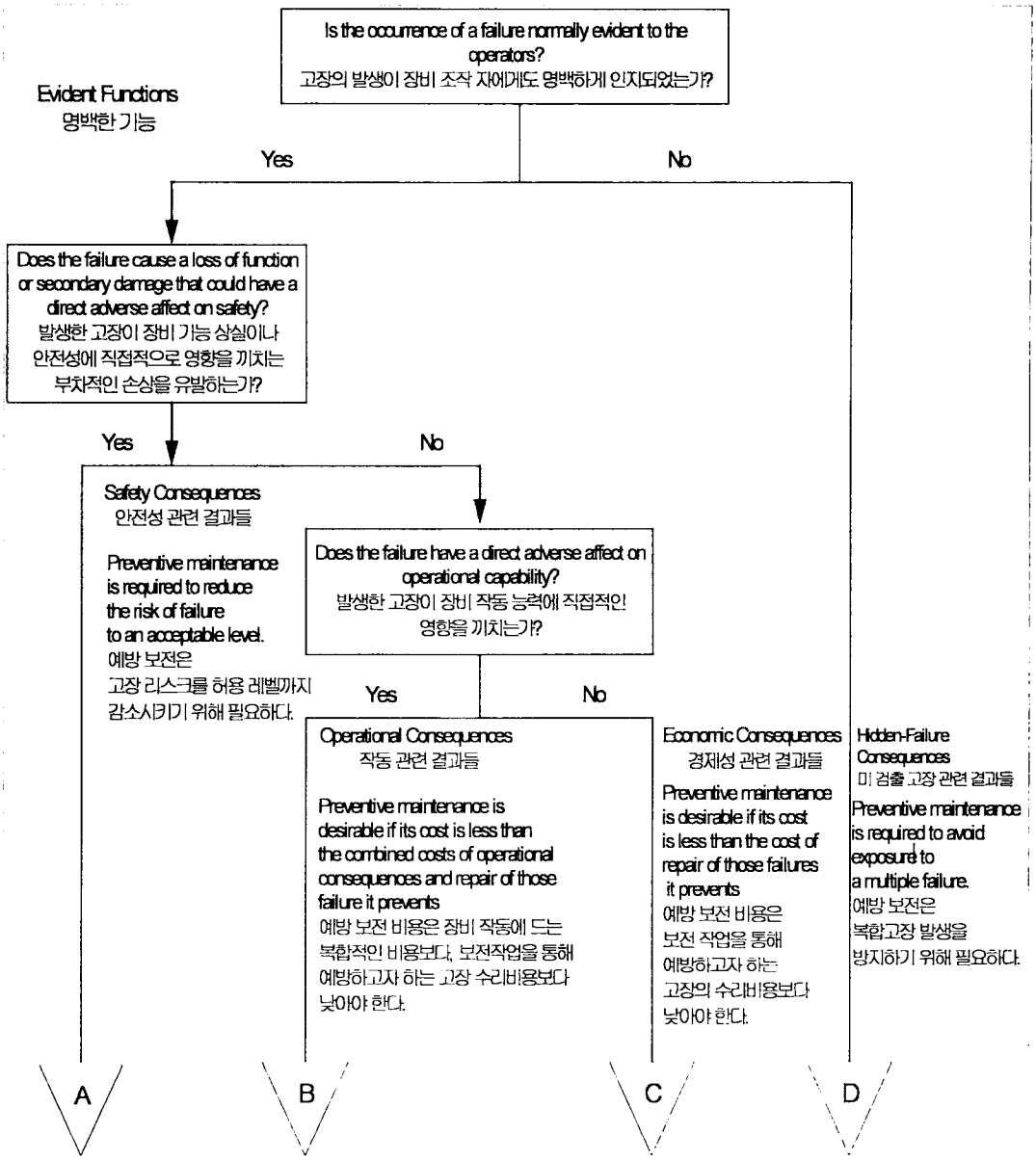


그림 3.15 Maintenability Toolkit에서 제안하는 RCM 결정논리 1

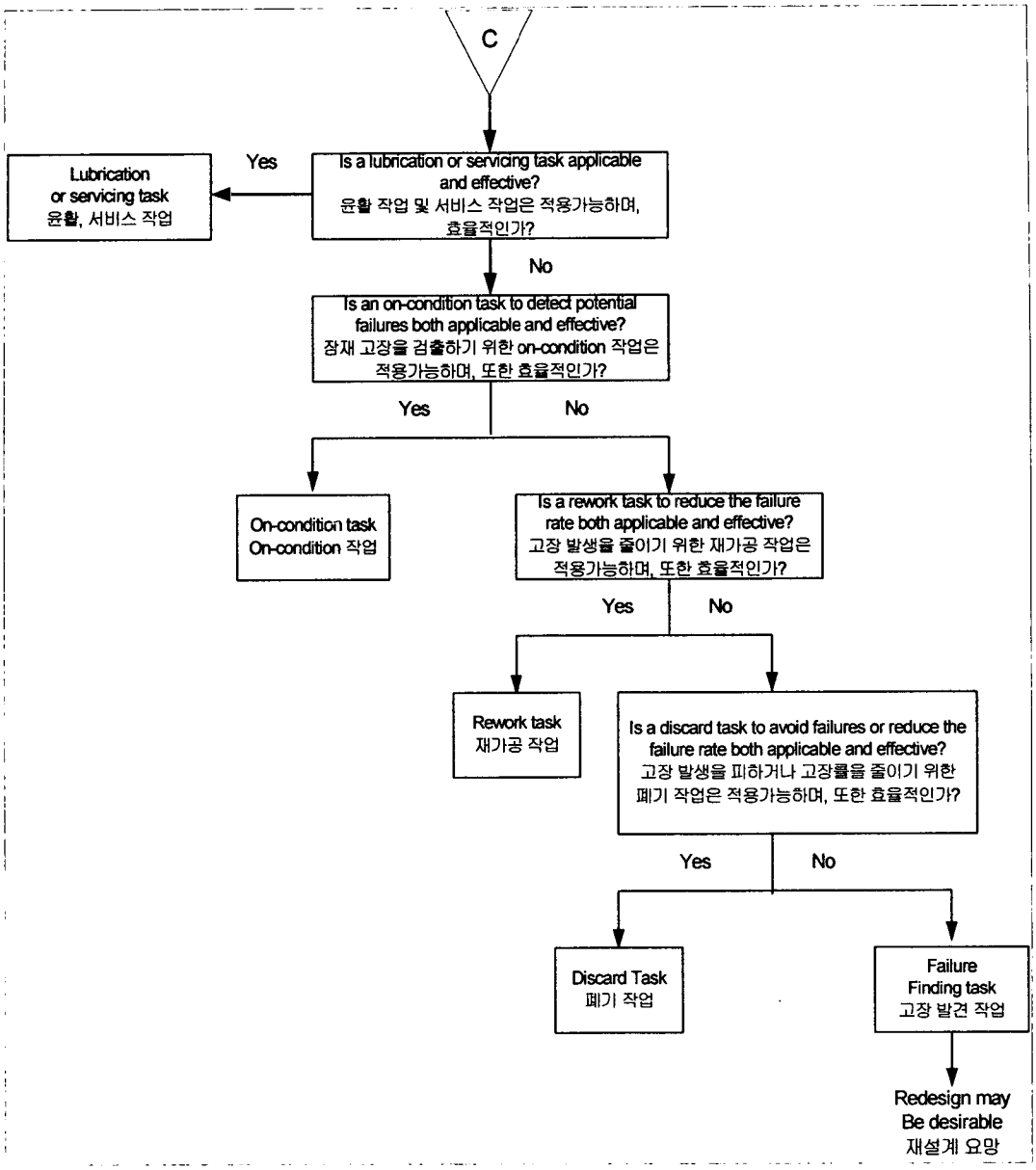


그림 3.16 Maintenability Toolkit에서 제안하는 RCM 결정논리 2

고장은 기능고장과 잠재 고장으로 분류될 수 있다. 기능 고장은 원래 의도된 기능을 수행하기 위한 장비의 능력을 방해하거나 손상시키는 고장을 말한다. 기능 고장은 일반적으로 장비 조작자에 의해서 보고된다. 장비의 기능은 반드시 분명하게 정의되어야 한다.

잠재 고장은 장비의 기능적 고장이 임박했음을 알리려주는 장비의 물리적인 상태를 의미한다. 잠재 고장은 일반적으로 유지보수 담당자에 의해서 발견된다. 잠재 고장에 대해서 아무런 조치가 취해지지 않으면 그것은 곧바로 기능고장으로 발전된다. 잠재 고장의 예로는 구조물의 갈라진 틈, 베어링이나 기어의 과도

한 진동, 마모가 있음을 보여주는 기어박스의 금속 조각들 등을 들 수 있다.

성능 트렌딩에 대한 레퍼런스가 제작되었다. 예측 유지보수, 혹은 실행 능력 감시로도 불리는 성능 트렌딩은 일정 시간 동안 하나 이상의 평가 파라미터가 면밀하게 감시되는 과정을 의미한다. 이러한 평가 파라미터들은 반드시 감시되는 장비의 상태와 직접적인 관련이 있어야 한다. 장비는 실제적인 고장 발생 이전에 분석 및 경험을 통해 결정되는 평가 파라미터, 혹은 파라미터 조합의 역치에 근거하여 수리되거나, 교체된다.

예방 유지보수 일정을 짜기 위한 성능 트렌딩 접근법은 비용을 절감하고, 고장을 예방하며 안전성을 높이는데 많은 기여를 할 수 있다. 성능 트렌딩은 회전 기계류의 문제점을 모니터링 진동을 통해 검출하는데 사용되어 왔다. 이 외의 성능 트렌딩 작업으로는:

- 윤활유 중에서 금속 마모를 검출하는 오일 분석
- 비파괴 검사 (염료 침투법 검사, 초음파 검사)
- 시각 검사
- 측정 (균열의 길이 등)

센서와 기록 장비의 발전, 장비의 상태를 보다 정확하게 나타내는 파라미터에 대한 이해 등은 성능 트렌딩의 응용의 폭을 더욱 넓혀주었다. 이러한 장비의 예로는 미 공군의 지원 하에 개발 된 시간 스트레스 측정 장비(TSDM)가 있다. TSDM은 후속 분석 작업을 위해서 스트레스 데이터를 수집, 기록 및 저장한다. TSDM은 허위 경보를 처리하기 위한 장치로 연구되었지만 장비 상태 지표 파라미터를 기록하기 위한 센서로 사용될 수 있다. 기록 된 파라미터의 레벨은 미리 정해 둔 한계치와 비교될 수 있다. 데이터가 한계치가 이미 초과되었다거나, 곧 초과할 것이라고 가리키면 고장 발생이 임박하였음을 확증하기 위한 조사가 실시된다. 조사를 통해서 분석 내용이 확정되면 실제 고장이 발생하기 전에 적절한 예방 유지보수를 실시하도록 한다. 조사를 통해서 어떤 문제점도 발견 되지 않았다면 미리 정해 둔 한계치를 재설정 한다.

그림 3.17의 히스토그램은 대표적인 RCM 분석을 위한 최적의 PM 포인트를 보여주고 있다. 예방 유지보수 및 이와 관련 된 작업들을 실시하기 이전에 비

용에 대한 평가가 반드시 이루어져야 한다. 예방 유지보수를 수행하기 위한 비용은 반드시 고장을 처리하는 비용보다 적어야 한다.

제품의 수명 기간 전체를 통틀어 발생하는 유지보수 비용이 종종 구입비용을 초과하기도 한다. RCM을 이용하여 효율적인 예방 유지보수 프로그램 계획을 짠다면 총 소유비용을 많이 절감할 수 있다. RCM 분석 단계를 착실하게 응용한다면 비용을 절감할 수 있고, 또한 시스템 가용성을 최적화 할 수 있다.

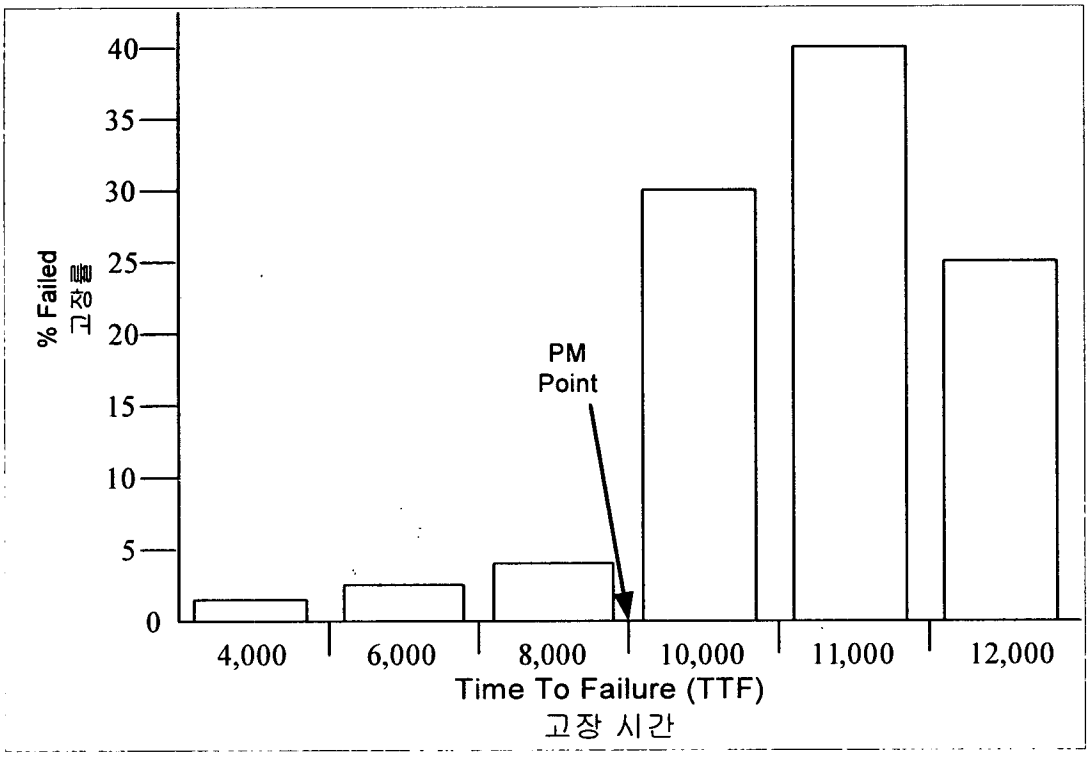


그림 3.17 최적 예방유지보수포인트 결정

③ 유지보수도를 위한 설계

시스템이 운용 수명 동안 효율적이고 경제적으로 지원 받을 수 있는 범위는 대부분 유지보수성에 의해 결정된다. 유지보수성은 설계 특성 중 하나이기 때문에 유지보수성을 위한 설계는 전체 시스템 설계 과정에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 설계 이외에도 많은 요소들이 유지보수성에 영향을 끼친다. 결과적으로 유지보수성을 위한 설계 과정에서 엔지니어들은 이러한 요소들에 대해 분명하게 인식하고, 고려해야 한다. 유지보수성을 위한 설계 과정에서 엔지니어들은 인적 요소, 시험 용이성, 진단, 안전성, 상호 교환성 및 표준화, 유지보수 툴, 지원 장비, 인력 트레이닝 등과 같은 요소들을 반드시 고려해야 하며 이러

한 엔지니어들의 편의를 돕기 위해 다양한 설계 툴을 이용할 수 있다. 이러한 설계 툴을 다루고 있는 교본이나 표준서, 기술 문건 등이 많이 있지만 유지보수 툴 킷에서는 이에 대해 심도 있기 다루지는 않는다. 그러나 각자의 제품에 알맞은 툴을 선택할 때 참고 할 수 있도록 개별 설계 툴에 대한 총체적인 정보를 제공하고 있다.

④ 유지보수 분석

분석적 방법은 복잡한 제품을 부품별, 요소별로 분류하고, 이들을 평가하며 전체 제품에 대한 적합성 여부를 판단하는데 사용된다. 또한 유지보수성 입증 작업이 비효율적으로 이루어진 경우 분석적 방법을 이용하면 제품이 실제로 제작되기 전에, 혹은 제품 모형이 제작되기 전에 제품의 유지보수성을 평가할 수 있다. 분석적 방법에는 수학적 모델, 도식화 모델 및 논리적 방법론 등이 포함된다. 이 밖에도 다양한 분석적 기술이 존재하지만 모든 분석 방법 들이 구체적인 제품 개발 작업에 도움이 되는 것은 아니다. 제품에 가치를 더하는 분석 기술을 선택하기 위해서는 제품의 특성, 용도, 제품 제작에 사용된 기술, 복잡성 및 리스크 등에 근거하여 분석 기술을 선정해야 한다. 선정 된 분석 기술은 현상 보고나 예측, 혹은 이와 유사한 "관리" 작업 보다는 제품의 유지보수성을 개선시키는 설계 변경 사항에 초점이 맞춰져야 한다.

제품의 유지보수성 분석에는 다음과 같은 사항들이 포함 된다:

- 다양한 유지보수 레벨 및 플랫폼, 장치 레벨에서의 평균 수리 시간 및 최대 수리 시간
- 수리 분석 레벨에 대한 입력자료
- 유지보수 시간, 혹은 작업 당 노동 시간, 혹은 운용시간.
- 유지보수 인력 요구사항 관련 입력자료 (필요한 인력 수, 특수 스킬 등)
- 예비 부품 요구사항 관련 입력자료
- 지원 장비 요구사항
- 오경보율, 결함 도출 방법 및 BIT 효율성
- 예정 유지보수 작업 및 예방 유지보수 작업 간 평균 시간
- 유지보수성 모델 및 블록 다이어그램

⑤ 일반적으로 사용되는 유지보수성 분석

■ 장비 다운타임 분석 유지보수성 설계 평가

장비 다운 타임 분석은 유지보수 작업 및 공급 잔고(supply backlog)로 인해 장비가 운용 될 수 없다고 예측되어지는 시간을 평가하기 위한 분석이다. 다운 타임은 유지보수 경과시간, 부품 대기 시간 및 대기 유지보수 시간 등의 총합으로써 신뢰도, 유지보수도, 지원 시스템 특성 및 운용 환경을 고려한 효율적인 측정단위로 사용될 수 있다. 이러한 분석의 결과물들은 임무 수행률이나 장비 가용도 등과 같은 기타 장비 측정 단위를 산출하는데 사용될 수 있다. 장비 다운 타임 분석의 결과는 장비의 비가용도를 추구하는 분야를 나타내며, 이는 곧 전체 시스템 다운 타임을 바탕으로 한 대체 설계 및 지원 콘셉트를 평가하는데 사용될 수 있다. 장비 다운 타임은 신뢰도, 유지보수도 파라미터 및 부차적인 파라미터를 이용하여 도출할 수 있다. 다운 타임(DT)은 유지보수 경과 시간(EMT)과 부품 대기 시간(AWP) 및 유지보수 대기 시간 (AWM)의 합으로써 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$DT=EMT+AWP+AWM$$

■ 고장 유형 및 영향 분석 (FMEA)

FMEA(고장의 심각도가 측정되었을 때는 고장 유형, 영향 및 심각도 분석(FMECA)로도 불린다.) 는 원래 신뢰성 분석이나 설계 툴로써 사용되어 온 분석이다. 그렇지만 FMEA의 결과물은 유지보수성 설계에도 활용될 수 있는 중요 입력 자료로가 될 수 있다. FMEA는 또한 잠재적인 고장 유형과 이들이 하부시스템, 장비 및 제품 운용에 각각 끼치는 영향들을 기반으로 하여 유지보수성 설계 특성을 확립하는데도 활용할 수 있다. FMEA의 결과는 테스트 포인트의 특성을 결정하고, 배치하는데 사용될 수 있으며 문제 해결 안(案)을 개발하고, 유지보수를 용이하게 하는 설계 특성을 확립하며 결함 도출 및 고립 전략을 개발하는데 활용될 수 있다. FMEA가 주로 제품을 대상으로 이루어지기는 하지만 작업 절차에도 자주 응용되어 사용된다.

■ 시험 용이성 분석

시험 용이성 분석은 설계의 모든 단계에 있어서 중요한 과정으로써 다양한 방법으로 수행될 수 있다. 예를 들어, ASIC와 같은 복잡한 통합 회로를 설계할 때는 결함으로 고착 될 비율(로직 "1" 혹은 "0"에서의 신호 고착)을 산출 할 수 있는 테스트 벡터를 개발하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이 비율은 주로 설계 모델이 적절한 결함 시뮬레이션 언어에서 개발 된 로직 시뮬레이션을 통해 결정된다. 일단 모델이 수집되고 시뮬레이션 될 준비가 완료되면, 테스트 벡터가 모델에 적용된다. 이후에 결함 시뮬레이션 프로그램은 테스트 벡터를 통해 도출 된 일련의 결함 리스트를 산출하며 도출 된 결함의 비율 역시 보고한다. 이러한 프로그램은 또한 결함 도출 비율을 증가시키기 위해 설계 단계에서, 혹은 테스트 벡터에서 조정 된 사항들을 도출하지 않은 구체적인 신호를 파악하기도 한다.

■ 인적 요소 분석

가장 기본적인 유지보수성 요구사항 중에 하나는 사람이 시스템을 유지보수하기에 용이하도록 하는 것이다. 일반적으로 시스템의 유지보수성 분석은 부품이나 하부시스템의 수리나 제거, 교체 등을 처리하는 유지보수 작업과도 연관이 있다. 유지보수 작업에는 대게 목표로 한 부품에 도달하기 위한 분리작업, 부품 수리 및 교체, 재조립 작업 등이 포함된다. 그러므로 인적요소 분석은 개별 유지보수 작업이 수행되는 설계 모델과 유지보수 인력 간의 상호작용과 연관 된 문제점들을 파악하기 위해 실시된다. 인적 요소 분석은 인간이 필요한 모든 유지보수 작업을 수행하고, 이와 관련한 모든 움직임 및 조종이 가능하다는 것을 검증하는데 사용될 수 있다. 뿐만 아니라 인적 요소 분석은 정량적인 요구사항 보다는 정성적인 요구사항들을 주로 처리할 수 있다. 반드시 주의해야 할 점은 인적 요소 분석은 반드시 설계 초기 단계에서 이루어져야 한다는 것이다.

과거의 인적 요소 분석은 상당한 시간이 투자되었던 작업이다. 분석을 수행하기 위해서는 고가의 물리적인 모크업을 제작하는 것은 물론이고 변경에 비용이 많이 드는 경우에는 설계의 최종 단계까지는 분석이 완성될 수도 없었다. 그렇지만 오늘날에는 유지보수성 엔지니어들이 효율적이고 보다 효과적으로 인

적 요소 분석을 수행할 수 있도록 다양한 CAD 툴과 새로운 가상현실 기술을 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 인적 요소 분석 중 발견되는 문제점들은 동일한 기술과 툴을 이용하여 제안 된 설계 변경을 통해서 신속하게 검증할 수 있다.

⑥ 유지보수성 시험

대체적으로 시험은 기능시험, 성능 시험, 검증 시험, 입증 시험 및 평가 시험으로 분류될 수 있다. 시험에 대한 간략한 정보는 표 3.37을 참조하도록 한다.

표 3.37 유지보수성 시험

종류	해설
기능 시험	제품, 제품 기능이 목적한 바대로 작동하는지를 검증하는 시험이다. 일반적으로 일련의 자극을 시험 대상인 제품에 적용시킨 후에 이에 대한 장치 각각의 반응을 표준형 반응이란 비교해보는 시험이다.
성능 시험	제품 기능의 성능 레벨이 요구사항과 일치하는지 여부를 검증하는 시험으로 기능 시험 보다는 광범위한 시험이다. 예컨대, 주어진 입력 신호에 대해 제품이 적절한 출력 신호를 제공하였는지, 신호의 특성 및 제품의 신뢰성, 유지보수성 및 그 밖의 요구사항들이 모두 충족되었는가를 검증하는 것만으로는 충분한 시험이 될 수 없기 때문이다.
검증 시험	엔지니어링 분석으로부터 얻은 분석 데이터의 업데이트 작업의 정확성을 파악하기 위한 시험으로 제품 개발 과정 전체에 걸쳐 실시되지만 일반적으로 제품의 유지보수성을 달성하고 그것을 입증하기 위해서 입증 및 평가 시험 이전에 실시하는 것이 보통이다. 유지보수성 분석과 요구사항에 대한 검증을 위해서는 진단 장치의 기능 시험을 통해 얻은 데이터를 비롯한 모든 종류의 데이터들이 반드시 활용되어야 한다.
입증 시험	구체적인 유지보수성 요구사항이 충족되었는지 여부를 결정하기 위해 실시되는 시험이다. 일반적으로 제품 개발자나 소비자에 의해 정해진 절차에 따라 실시된다. 이러한 시험에는 정해진 분석 방식을 이용한 정식 시험 계획 개발 과정 또한 포함되어 있다.
평가 시험	모든 유지보수 및 제품 설계 단계에서 운용 환경, 유지보수 환경 및 지원 환경이 제품의 유지보수성 파라미터에 미치는 영향을 파악하기 위해 실시하는 시험으로 제품의 실제 사용 환경에서 실시하는 유지보수 작업이 시험 내용에 반드시 포함되어야 한다. 뿐만 아니라 평가 시험은 기타 제품 파라미터를 평가하기 위해 설계 된 시험들과 통합되어야 한다. 가상현실 기술을 이용하면 실제 사용 환경이 아닌 시뮬레이션 된 가상의 공간에서 유지보수 작업에 대한 시험을 실시할 수 있기 때문에 뚜렷한 비용 절감 효과를 거둘 수 있다.

⑦ 유지보수 데이터 수집 및 분석

제품의 유지보수성이 고려되는 상황에서는 유지보수성 데이터를 이용하여 이러한 질문에 해답을 찾을 수 있다. 그렇지만 불행히도 하청 계약업체들이나 공급업체들에게는 유지보수성 데이터가 전무한 실정이다. 실제로 하청 계약업체나 공급업체들이 이전부터 유지보수성과 관련된 요구사항을 처리해오지 않았다면 과거 제품에 대한 유지보수성 데이터를 보유하고 있기는 사실 상 불가능하다. 대부분의 기업체들이 데이터 수집에 대해서는 취약하다. 대부분의 기업들은 품질 보증 기간이 끝나는 것과 동시에 제품에 대한 자신들의 책임 또한 종료되기를 바라며 계약 이후 데이터 후속 절차를 마련하는 작업에도 소극적이다. 이로 인해 유사 시스템에 대한 성능 데이터 수집 작업은 새로운 프로그램 개발의 초기 단계까지는 우선순위 작업으로 분류되지 않는다. 위에 제시된 관리(management)와 관련한 질문에 답을 줄 수 있는 핵심 포인트는 통합 유지보수성 데이터베이스를 구성하는 것에 있다. 실제적인 제품 경험을 기반으로 한 유지보수성 데이터베이스는 중요한 리소스가 되며, 또한 확실한 통합 자산이 된다. 뿐만 아니라 후속 개발 작업에 유용하게 활용될 수 있다. 현재의 스프레드시트 및 데이터베이스 프로그램을 활용하면 특정 제품을 실제로 사용한 경험을 바탕으로 데이터 뱅크를 구성하기가 상대적으로 용이해진다. 이러한 데이터뱅크는 다양하게 사용될 수 있다. 예를 들면, 기존의 자동 예측 소프트웨어 프로그램을 고객의 필요에 알맞게 개선시켜 결과적으로 후속 개발 작업에 보다 정확한 유지보수성 예측치를 제공하는데 활용될 수 있다. 폐회로 고장 보고, 분석 및 교정 작업 시스템(FRACAS)을 활용하면 세 번째 질문 - 어떻게 목표에 도달할 것인가? - 에 대한 답을 도출할 수 있다. 첫째, 개별 문제점을 도출하여 그것을 하나씩 풀어나감으로써 목표에 도달할 수 있다. 이 단계에서도 마찬가지로 지금까지 수집 된 데이터가 핵심 역할을 담당한다. 적절한 교정 작업을 수행하고, 양질의 결정을 내리기 위해서 유지보수성 데이터에 대한 적합한 분석이 필수적으로 이루어져야 한다. 우수한 design trade를 구성하든지, 현장 성능을 평가하든지 효율적이고 유효한 분석 기술은 필수적으로 구비되어야 한다.

■ 개발데이터

개발 데이터에는 수리 데이터, BIT 데이터, 결함 도출 및 고립 성능 등과 같은 효율성 데이터 등이 포함된다. 개발 시험이나 입증 시험 동안 고장이 발생할 때 마다 후속 조치로 취해지는 유지보수 작업은 반드시 기록해두어야 한다.

유지보수성 데이터 수집을 위해 FRACAS를 활용하기 위해서는 유지보수 데이터 필드가 반드시 FRACAS 데이터 수집 형식으로 통합되어야 한다. 실제 고장 발생으로부터 얻은 유지보수성 데이터 수집뿐만 아니라 유지보수성 시뮬레이션을 통해 얻은 정보들 또한 반드시 기록되도록 한다. 이러한 정보에는 결함 시뮬레이션을 통해 도출 된 BIT 범위 값을 비롯해 제품 수리 절차를 시뮬레이션 한 결과 등이 포함된다.

■ 현장데이터

현장 유지보수성 데이터에는 장치를 유지보수 하거나 운용 가능 상태로 복구하기 위해 실시되는 자동 작업 및 수동 작업과 관련 된 모든 운용 정보 등이 포함된다. 이러한 데이터에는 수리 시간, 필요한 인력 수 및 그들의 기술 레벨, 환경 조건 및 고장 성향(e.g., 결함 없음, 관련 고장, 독립 고장 등) 등이 포함된다. 현장 데이터는 실시 된 유지보수 작업에 따라 분류되어야 한다. 기존 시스템을 보완할 수 있는 현장 데이터 수집 시스템을 설계함에 있어서 데이터를 수집하는 과정에 도입될 수 있는 바이어스를 최소화하는 것이 중요하다. 그러므로 운용자 및 유지보수 작업자를 대상으로 성능 기록의 중요성, 문제점 파악, 제품 성능 개선, 및 제품 지원 특성 등과 같은 데이터 수집 시스템과 관련 한 교육이 필수적으로 이루어지도록 한다.

표 3.38 FRCAS 형식예시

FRACAS FORM		
1. Failure Report By: _____	2. Project RAM Manager _____	3. Initial Report Dale: _
4. Failure Analysis By: _____	5. Report No. _____	6. Final Report Dale: _
7. Incident Classification: (Check only one)	Relevant ( ) Independent Failure ( ) No-Fault Verified ( ) Intermittent/Unverified ( ) Redundant System Failure ( ) Inadvertent Operator Failure	Nonrelevant ( ) Accident/Mishandling Failure ( ) Extemally Applied Overstress ( ) Beyond Replacement Time ( ) Secondary Failure ( ) Test Initiation
8. Identify Unit and Test Run Number for This Event: _____ Run No. _____ () Unit XYZ () Unit ABC () Unit XXX () Unit YYY () Unit ZZZ () Unit AAA () Unit BBB		
9. Describe Component Identification: A. Next Higher Level System Name _____ WBS No. _____ Serial No. _____ Part/Dwg. No. _ B. Failed Level Component Name _____ WBS No. _____ Serial No. _____ Part/Dwg. No. _		
10. Start Time for Component Operation Yr Mo Day Hr Min Sec ETI CYC	11. Stop lime for Component Operation Yr Mo Day Hr Mi n Se c ET I CY C	
12. Describe Symptoms and Method of Early Fault Detection and Isolation		
13. Document Failure Detection/Isolation Effectiveness(e.g., actual fault correctly detected, fault Isolation to ambiguity group size of _____ etc.):		
14. Document Fault Isolation Time :		
15. Describe Failure Mode, Cause of Failure, Findings of Failure Analysis:		
16. End Effect of the Failure: () Module Catastrophic () Module Derate () Module Incipient		
17. Describe Repair Action, Any problems (a.g., Accessibility, Difficulties In Removal or Replacement), Parts Repaired, Replaced, or Serviced		
18. Corrective Action, Responsible Individual:		

⑧ 데이터 분석 기법

데이터 분석의 형식은 사용할 때마다 각기 다르기 때문에 데이터 분석은 고도로 복잡하며 또한 소모적인 작업이 되기 쉽다. 그렇기 때문에 미 가공 데이터로부터 분석에 필요한 데이터를 정확하게 평가할 수 있는 숙련된 분석가가 분석을 수행하는 것이 좋다. 데이터는 해당 데이터의 모집단과 관련 한 통계적인 결론을 얻기 위해서 자주 분석된다. 통계적 추론이란 일부 표본을 근거로 하여 이와 유사한 대상, 이벤트 및 작업의 전체 모집단에 대한 결론을 도출하는 과정을 말한다. 통계적인 추론에는 다음과 같은 두 가지 기본 방식이 주로 사용되며 두 가지 방식 모두 유지보수 데이터/유지보수성 데이터의 분석에 활용된다.

- Parametric.

이 방식은 주로 분포값의 평균 요약치에 대한 추론과 관련되어 있으며 모집단의 분포 및 파라미터에 대한 명백한 가설을 기반으로 한다.

- Non-parametric.

이 방식은 전체 확률 분포에 대한 추론과 관련되어 있으며 수집 된 표본의 파라미터와 관련된 어떠한 가설로부터도 자유롭다.

⑨ 데이터 분석 방식

- 와이블 분석법

와이블 분석은 유지보수 작업 계획 - 특히 신뢰성 기반 유지보수 작업을 계획할 때 유용하게 사용될 수 있다. 특히 와이블 분석을 사용하면 유지보수 플래너는 예방 유지보수(PM)가 보장되는지 여부를 파악할 수 있다. 후에 더 자세히 언급하겠지만 와이블 분포에서 베타(β) 파라미터의 값은 해당 장치가 마모의 영향을 받는지 여부를 말해준다. 마모의 영향을 받지 않는다면 예방 유지보수(PM)이 보장되지 않는다. 예방 유지보수(PM)가 보장되는 경우에 와이블 분석은 최적의 PM 간격을 산출하는데 사용될 수 있다.

- 회귀 분석법

주어진 데이터를 검토하는 손쉬운 방법 중 하나는 분산 그래프를 이용하는

것이다. 일련의 데이터 세트를 직교 좌표 상에 점으로 나타낸 것이 분산 그래프이다. 회귀 분석은 좌표 상의 점들의 관계를 분석하는 방식이다.

■ 분산 분석법

변형 분석(ANOVA)은 비례척도 된 종속 변수 상에 명명 척도 된(nominal scaled) 하나 이상의 독립변수의 영향을 조사하기 위한 기술이다. 분산 분석법을 사용함에 있어서 테스트 결과의 변화량(variation)은 하나 이상의 독립 변수의 영향을 반영하는 부품으로 각각 분배된다. 일련의 측정치의 가변성은 평방편차(variance)를 산출하는데 사용되는 편차의 제곱의 합과 비례한다.

제 2 절 열차제어시스템 자동열차제어장치분야

1. 1차년도 연구개발내용 및 결과

G7과제를 통해서 개발한 ATC장치의 안정화를 위해서 천안-신청주간의 고속철도 시험선 구간에서 현장 시험을 계속했으며 최고속도 303km/h에서 지상의 ATC제어 정보를 받아서 성공적으로 제어를 수행했다. 다음은 그 시험중 기록된 정보를 정리한 내용이다.

참고로 사용된 약어는 다음과 같다.

- ACCT ("Cut-current" announce ITL) 사구간 진입 알림 메시지
- AM XXXX(Arming Check) ATC 모드 확인 메시지, XXXX 폐색구간 번호
- ECCT("Cut-current" execution ITL) 사구간 제어 실행 메시지
- EXTU(Tunnel Entry/Exit) 터널 진입(진행 방향)/진출(역방향) 메시지
- STANDBY(Stand by) 진행 방향에 메시지 내용 없음
- XETU(Tunnel Exit/Entry) 터널 진출(진행 방향)/진입(역방향) 메시지

가. 2003년 6월 14일 본선 시험

(1) 개요

신청주에서 천안까지의 시험선 구간에서 270km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 천안역에서 시목방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(2) 결과

아래 표와 같이 TC2033A에서 TC2623B까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였고 두 번의 사구간 제어(ACCT, ECCT)를 포함하여 ATC제한 속도에 의한 ATC자동 운전을 성공적으로 수행하였다.

표 3.39 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도)

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2033A	2760	93	40	4		~46	315(300)	정상
TC2033B	2040	93	33	4		~83	315(300)	정상
TC2033C	2760	93	23	4	XETU(in)	~99	315(300)	정상
TC2033D	2040	93	15	4	AM2053	~119	315(300)	정상
TC2053	2760	93	37	3	EXTU(out)	~154	315(300)	정상
TC2057A	2040	93	46	6	STANDBY, ACCT	~194	315(300)	정상
TC2057B	2760	93	17	6		~197	315(300)	정상
TC2205A	2040	93	44	4	ECCT STANDBY	~195	315(300)	정상
TC2205B	2760	93	20	4	STANDBY	~193	315(300)	정상
TC2211	2040	93	39	3		~200	315(300)	정상
TC2215	2760	93	39	3		~215	315(300)	정상
TC2221A	2040	93	40	2		~225	315(300)	정상
TC2221B	2760	93	20	2	XETU(in)	~229	315(300)	정상
TC2223	2040	93	38	2	STANDBY	~228	315(300)	정상
TC2227	2760	93	37	2	EXTU(out)	~211	315(300)	정상
TC2231A	2040	93	42	5		~207	315(300)	정상
TC2231B	2760	93	31	5	XETU(in)	~206	315(300)	정상
TC2237A	2040	93	45	5		~207	315(300)	정상
TC2237B	2760	93	37	5	STANDBY	~218	315(300)	정상
TC2243A	2040	93	45	5		~225	315(300)	정상
TC2243B	2760	93	33	5		~233	315(300)	정상
TC2247A	2040	93	41	4		~239	315(300)	정상
TC2247B	2760	93	28	4		~242	315(300)	정상
TC2253	2040	93	38	3		~243	315(300)	정상
TC2259	2760	93	38	3		~244	315(300)	정상
TC2265A	2040	93	46	5		~251	315(300)	정상
TC2265B	2760	93	25	5	AM2403	~256	315(300)	정상
TC2403A	2040	93	47	5	EXTU(out)	~262	315(300)	정상
TC2403B	2760	93	35	5		~265	315(300)	정상
TC2403C	2040	93	28	5		~267	315(300)	정상
TC2403D	2760	93	20	5		~270	315(300)	정상
TC2415A	2040	93	39	4		~270~	315(300)	정상
TC2415B	2760	93	24	4	STANDBY AM2433	~256	315(300)	정상
TC2433A	2040	93	48	4		~243	315(300)	정상
TC2433B	2760	93	32	4		~235	315(300)	정상
TC2433C	2040	93	24	4		~230	315(300)	정상
TC2433D	2760	93	16	4	AM2453	~217	315(300)	정상
TC2453A	2040	93	39	3		~202	315(300)	정상
TC2453B	2760	93	24	3	STANDBY	~182	315(300)	정상
TC2601A	2040	92	37	3	ACCT	~164	315(300)	정상
TC2601B	2760	92	10	3		~162	315(300)	정상
TC2607A	2040	91	45	4	ECCT, XETU(in) STANDBY	~161	285(270)	정상
TC2607B	2760	91	25	4	STANDBY	~155	285(270)	정상
TC2611A	2040	89	42	4		~152	290(270)	정상
TC2611B	2760	89	29	4		~133	290(270)	정상
TC2617	2040	89	39	3		~100	290(270)	정상
TC2623A	2760	88	38	3		~69	280(270)	정상
TC2623B	2040	88	21	3		~54	280(270)	정상

나. 2003년 6월 21일 본선 시험

(1) 개요

신청주에서 천안까지의 시험선 구간에서 약270km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 천안역에서 시목방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(2) 결과

아래표와 같이 TC2033A에서 TC2631A까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였고 두 번의 사구간 제어(ACCT, ECCT)를 포함하여 ATC제한 속도에 의한 ATC자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.40 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도)

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2033A	2760	93	40	4		~52	315(300)	정상
TC2033B	2040	93	33	4		~94	315(300)	정상
TC2033C	2760	93	23	4	XETU(in)	~104	315(300)	정상
TC2033D	2040	93	15	4	AM2053	~128	315(300)	정상
TC2053	2760	93	37	3	EXTU(out)	~160	315(300)	정상
TC2057A	2040	93	46	6	STANDBY, ACCT	~199	315(300)	정상
TC2057B	2760	93	17	6		~205	315(300)	정상
TC2205A	2040	93	44	4	ECCT STANDBY	~202	315(300)	정상
TC2205B	2760	93	20	4	STANDBY	~203	315(300)	정상
TC2211	2040	93	39	3		~200	315(300)	정상
TC2215	2760	93	39	3		~209	315(300)	정상
TC2221A	2040	93	40	2		~214	315(300)	정상
TC2221B	2760	93	20	2	XETU(in)	~216	315(300)	정상
TC2223	2040	93	38	2	STANDBY	~221	315(300)	정상
TC2227	2760	93	37	2	EXTU(out)	~225	315(300)	정상
TC2231A	2040	93	42	5		~228	315(300)	정상
TC2231B	2760	93	31	5	XETU(in)	~240	315(300)	정상
TC2237A	2040	93	45	5		~244	315(300)	정상
TC2237B	2760	93	37	5	STANDBY	~256	315(300)	정상
TC2243A	2040	93	45	5		~261	315(300)	정상
TC2243B	2760	93	33	5		~268	315(300)	정상
TC2247A	2040	93	41	4		~268	315(300)	정상
TC2247B	2760	93	28	4		~264	315(300)	정상
TC2253	2040	93	38	3		~264	315(300)	정상
TC2259	2760	93	38	3		~260	315(300)	정상
TC2265A	2040	93	46	5		~266	315(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2265B	2760	93	25	5	AM2403	~267	315(300)	정상
TC2403A	2040	93	47	5	EXTU(out)	~268	315(300)	정상
TC2403B	2760	93	35	5		~267	315(300)	정상
TC2403C	2040	93	28	5		~267	315(300)	정상
TC2403D	2760	93	20	5		~267	315(300)	정상
TC2415A	2040	93	39	4		~266	315(300)	정상
TC2415B	2760	93	24	4	STANDBY AM2433	~264	315(300)	정상
TC2433A	2040	93	48	4		~251	315(300)	정상
TC2433B	2760	93	32	4		~245	315(300)	정상
TC2433C	2040	93	24	4		~234	315(300)	정상
TC2433D	2760	93	16	4	AM2453	~223	315(300)	정상
TC2453A	2040	93	39	3		~213	315(300)	정상
TC2453B	2760	93	24	3	STANDBY	~196	315(300)	정상
TC2601A	2040	92	37	3	ACCT	~172	315(300)	정상
TC2601B	2760	92	10	3		~171	315(300)	정상
TC2607A	2040	91	45	4	ECCT, XETU(in) STANDBY	~169	285(270)	정상
TC2607B	2760	91	25	4	STANDBY	~159	285(270)	정상
TC2611A	2040	89	42	4		~139	290(270)	정상
TC2611B	2760	89	29	4		~123	290(270)	정상
TC2617	2040	89	39	3		~100	290(270)	정상
TC2623A	2760	88	38	3		~71	280(270)	정상
TC2623B	2040	88	21	3		~54	280(270)	정상
TC2631A	2760	86	42	5		~0	245(230)	정상

다. 2003년 7월 19일 본선 시험

(1) 개요

천안에서 시목까지의 시험선 구간에서 290km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행함. 아래의 정보는 천안역에서 시목방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(2) 결과

아래표와 같이 TC2048B에서 TC2634까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였고 두 번의 사구간 제어(ACCT, ECCT)를 포함하여 ATC제한 속도에 의한 ATC자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.41 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도)

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2218A	2400	93	37	3		~234	315(300)	정상
TC2226B	3120	93	48	2		~243	315(300)	정상
TC2226A	2400	93	27	2	XETU(in)	~249	315(300)	정상
TC2230B	3120	93	47	2	STANDBY	~256	315(300)	정상
TC2230A	2400	93	24	2	EXTU(out)	~260	315(300)	정상
TC2236B	3120	93	42	4		~266	315(300)	정상
TC2236A	2400	93	16	4		~272	315(300)	정상
TC2240	3120	93	54	5	XETU(in)	~279	315(300)	정상
TC2246B	2400	93	28	5	STANDBY	~280	315(300)	정상
TC2246A	3120	93	54	5		~289	315(300)	정상
TC2250B	2400	93	43	5		~282	315(300)	정상
TC2250A	3120	93	17	5		~276	315(300)	정상
TC2258B	2400	93	46	3		~265	315(300)	정상
TC2258A	3120	93	25	3		~264	315(300)	정상
TC2264B	2400	93	38	3		~270	315(300)	정상
TC2264A	3120	93	47	3		~267	315(300)	정상
TC2402	2400	93	39	5	AM2401	~270	315(300)	정상
TC2406B	3120	93	54	5	EXTU(out)	~270	315(300)	정상
TC2406A	2400	93	36	5		~271	315(300)	정상
TC2430D	3120	93	30	5		~271	315(300)	정상
TC2430C	2400	93	16	5		~271	315(300)	정상
TC2430B	3120	93	42	4		~270	315(300)	정상
TC2430A	2400	93	32	4		~270	315(300)	정상
TC2448C	3120	93	25	4	STANDBY AM2431	~270	315(300)	정상
TC2448B	2400	93	54	4		~269	315(300)	정상
TC2448A	3120	93	49	4		~267	315(300)	정상
TC2456C	2400	93	40	4		~267	315(300)	정상
TC2456B	3120	93	7	4		~267	315(300)	정상
TC2456A	2400	93	29	4		~254	315(300)	정상
TC2604B	3120	93	45	3	STANDBY (AM2456)	~218	315(300)	정상
TC2604A	2400	93	22	3		~203	315(300)	정상
TC2610B	3120	93	44	4	AODJ	~198	315(300)	정상
TC2610A	2400	93	29	4	ECCT XETU STANDBY	~196	315(300)	정상
TC2614	3120	93	45	4	STANDBY	~172	315(300)	정상
TC2620B	2400	93	10	4		~164	315(300)	정상
TC2620A	3120	93	43	3		~131	315(300)	정상
TC2630B	2400	93	11	3		~117	315(300)	정상
TC2630A	3120	92	38	3		~80	315(300)	정상
TC2634	2400	90	57	5		~0	285(270)	정상

라. 2003년 8월 23일 본선 시험

(1) 개요

천안에서 시목까지의 시험선 구간에서 300km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 천안역에서 시목방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(2) 결과

아래표와 같이 TC2048B에서 TC2634까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였고 두 번의 사구간 제어(ACCT, ECCT)를 포함하여 ATC제한 속도에 의한 ATC자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.42 천안→시목 방향 주행속도1(속도1 - 제한속도, 속도2 - 표시속도)

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2048B	2400	93	55	3		~44	315(300)	정상
TC2048A	3120	93	52	3		~75	315(300)	정상
TC2056B	2400	93	45	3		~100	315(300)	정상
TC2056A	3120	93	38	3	XETU(in)	~148	315(300)	정상
TC2202	2400	93	39	4	STANDBY EXTU	~187	315(300)	정상
TC2208B	3120	93	49	4	ACCT	~204	315(300)	정상
TC2208A	2400	93	32	4	ECCT STANDBY	~202	315(300)	정상
TC2214B	3120	93	43	3	STANDBY	~200	315(300)	정상
TC2214A	2400	93	31	3		~207	315(300)	정상
TC2218B	3120	93	45	3		~212	315(300)	정상
TC2218A	2400	93	37	3		~229	315(300)	정상
TC2226B	3120	93	48	2		~237	315(300)	정상
TC2226A	2400	93	27	2	XETU(in)	~242	315(300)	정상
TC2230B	3120	93	47	2	STANDBY	~250	315(300)	정상
TC2230A	2400	93	24	2	EXTU(out)	~254	315(300)	정상
TC2236B	3120	93	42	4		~260	315(300)	정상
TC2236A	2400	93	16	4		~264	315(300)	정상
TC2240	3120	93	54	5	XETU(in)	~281	315(300)	정상
TC2246B	2400	93	28	5	STANDBY	~289	315(300)	정상
TC2246A	3120	93	54	5		~295	315(300)	정상
TC2250B	2400	93	43	5		~302	315(300)	정상
TC2250A	3120	93	17	5		~302	315(300)	정상
TC2258B	2400	93	46	3		~297	315(300)	정상
TC2258A	3120	93	25	3		~296	315(300)	정상
TC2264B	2400	93	38	3		~299	315(300)	정상
TC2264A	3120	93	47	3		~297	315(300)	정상
TC2402	2400	93	39	5	AM2401	~269	315(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차 속도	제한 속도	제어
TC2406B	3120	93	54	5	EXTU(out)	~255	315(300)	정상
TC2406A	2400	93	36	5		~252	315(300)	정상
TC2430D	3120	93	30	5		~248	315(300)	정상
TC2430C	2400	93	16	5		~247	315(300)	정상
TC2430B	3120	93	42	4		~246	315(300)	정상
TC2430A	2400	93	32	4		~248	315(300)	정상
TC2448C	3120	93	25	4	STANDBY AM2431	~251	315(300)	정상
TC2448B	2400	93	54	4		~251	315(300)	정상
TC2448A	3120	93	49	4		~252	315(300)	정상
TC2456C	2400	93	40	4		~248	315(300)	정상
TC2456B	3120	93	7	4		~246	315(300)	정상
TC2456A	2400	93	29	4		~245	315(300)	정상
TC2604B	3120	93	45	3	STANDBY (AM2456)	~212	315(300)	정상
TC2604A	2400	93	22	3		~199	315(300)	정상
TC2610B	3120	93	44	4	AODJ	~194	315(300)	정상
TC2610A	2400	93	29	4	ECCT XETU STANDBY	~192	315(300)	정상
TC2614	3120	93	45	4	STANDBY	~187	315(300)	정상
TC2620B	2400	93	10	4		~187	315(300)	정상
TC2620A	3120	93	43	3		~159	315(300)	정상
TC2630B	2400	93	11	3		~149	315(300)	정상
TC2630A	3120	92	38	3		~69	315(300)	정상
TC2634	2400	90	57	5		~0	285(270)	정상

2. 2차년도 연구개발내용 및 결과

가. 연속정보 기능 현장시험

고속선 주행 시험을 수행하여 제어기에 기록된 현장 정보를 일부 분석한 것이다.

(1) 2004년 5월 13일 본선 시험

(가) 개요

광명에서 천안까지의 상업운전 구간에서 310km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC 연속정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 광명역에서 천안 방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(나) 결과

아래표와 같이 TC0433B 에서 TC2003C까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상

연속정보를 정상적으로 수신하여 ATC 제한 속도에 의한 ATC 자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.43 광명→천안 방향 주행

궤도 번호	ATC 수신 정보				ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	열차 속도	제한 속도	제어
TC0433B	3120	53	36	3	~64	100(90)	정상
TC0433C	2760	53	30	3	~73	100(90)	정상
TC0433D	2040	53	24	3	~81	100(90)	정상
TC0433E	2760	81	16	3	~93	180(170)	정상
TC0457	2040	85	35	2	~143	240(230)	정상
TC0603A	2760	85	43	4	~172	240(230)	정상
TC0306B	2040	85	24	4	~192	240(230)	정상
TC0611A	2760	89	41	4	~210	290(270)	정상
TC0611B	2040	89	19	4	~217	290(270)	정상
TC0623	2760	89	38	3	~229	290(270)	정상
TC0627	2040	93	37	2	~225	320(300)	정상
TC0635	2760	93	37	3	~222	320(300)	정상
TC0639A	2040	93	41	4	~231	320(300)	정상
TC0639B	2760	93	14	4	~228	320(300)	정상
TC0645A	2040	93	43	5	~227	320(300)	정상
TC0645B	2760	93	15	5	~225	320(300)	정상
TC0657	2040	93	38	2	~222	320(300)	정상
TC0801A	2760	93	45	5	~235	320(300)	정상
TC0801B	2040	93	14	5	~238	320(300)	정상
TC0805A	2760	93	44	4	~242	320(300)	정상
TC0805B	2040	93	22	4	~251	320(300)	정상
TC0811A	2760	93	43	4	~256	320(300)	정상
TC0811B	2040	93	26	4	~263	320(300)	정상
TC0815A	2760	93	41	4	~269	320(300)	정상
TC0815B	2040	93	28	4	~272	320(300)	정상
TC0821	2760	93	38	2	~274	320(300)	정상
TC0829	2040	93	37	2	~272	320(300)	정상
TC0833A	2760	93	39	3	~270	320(300)	정상
TC0833B	2040	93	26	3	~271	320(300)	정상
TC0841A	2760	93	46	5	~280	320(300)	정상
TC0841B	2040	93	19	5	~283	320(300)	정상
TC0851	2760	93	39	3	~273	320(300)	정상
TC0853	2040	93	39	3	~274	320(300)	정상
TC1203A	2760	93	45	4	~271	320(300)	정상
TC1203B	2040	93	19	4	~270	320(300)	정상
TC1203C	2760	93	10	4	~268	320(300)	정상
TC1213A	2040	93	42	4	~266	320(300)	정상
TC1213B	2760	93	39	4	~266	320(300)	정상
TC1213C	2040	93	27	4	~268	320(300)	정상
TC1213D	2760	93	16	4	~273	320(300)	정상
TC1257A	2040	93	47	5	~283	320(300)	정상
TC1257B	2760	93	26	5	~290	320(300)	정상
TC1403A	2040	93	46	5	~298	320(300)	정상
TC1403B	2760	93	26	5	~304	320(300)	정상
TC1407A	2040	93	44	5	~309	320(300)	정상
TC1407B	2760	93	25	5	~307	320(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보				ATC 상태		
	전송 주파수	솔돋 코드	걸림 코드	구배	열차 속도	제한 속도	제어
TC1415A	2040	93	44	4	~310	320(300)	정상
TC1415B	2760	93	25	4	~310	320(300)	정상

(2) 2004년 9월 5일 본선 시험

(가) 개요

광명에서 서대전까지의 시험선 구간에서 301km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC 연속정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 광명역에서 서대전방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(나) 결과

아래표와 같이 TC0433B 에서 TC2813A까지의 구간을 운행하면서 ATC 지상 연속정보를 정상적으로 수신하여 ATC 제한 속도에 의한 ATC 자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.44 광명→서대전 방향 주행

궤도 번호	ATC 수신 정보				ATC 상태		
	전송 주파수	솔돋 코드	걸림 코드	구배	열차 속도	제한 속도	제어
TC0433B	3120	53	36	3	~40	100(90)	정상
TC0433C	2760	53	30	3	~56	100(90)	정상
TC0433D	2040	53	24	3	~68	100(90)	정상
TC0433E	2760	81	16	3	~82	180(170)	정상
TC0457	2040	85	35	2	~119	240(230)	정상
TC0603A	2760	85	43	4	~144	240(230)	정상
TC0306B	2040	85	24	4	~163	240(230)	정상
TC0611A	2760	89	41	4	~182	290(270)	정상
TC0611B	2040	89	19	4	~189	290(270)	정상
TC0623	2760	89	38	3	~199	290(270)	정상
TC0627	2040	93	37	2	~205	320(300)	정상
TC0635	2760	93	37	3	~211	320(300)	정상
TC0639A	2040	93	41	4	~215	320(300)	정상
TC0639B	2760	93	14	4	~219	320(300)	정상
TC0645A	2040	93	43	5	~217	320(300)	정상
TC0645B	2760	93	15	5	~217	320(300)	정상
TC0657	2040	93	38	2	~207	320(300)	정상
TC0801A	2760	93	45	5	~221	320(300)	정상
TC0801B	2040	93	14	5	~224	320(300)	정상
TC0805A	2760	93	44	4	~231	320(300)	정상
TC0805B	2040	93	22	4	~237	320(300)	정상
TC0811A	2760	93	43	4	~242	320(300)	정상
TC0811B	2040	93	26	4	~246	320(300)	정상
TC0815A	2760	93	41	4	~250	320(300)	정상

TC0815B	2040	93	28	4	~252	320(300)	정상
TC1421A	2040	93	42	4	~299	320(300)	정상
TC1421B	2760	93	24	4	~299	320(300)	정상
TC1425A	2040	93	43	4	~300	320(300)	정상
TC1425B	2760	93	25	4	~301	320(300)	정상
TC1603A	2040	93	50	4	~300	320(300)	정상
TC1603B	2760	93	42	4	~300	320(300)	정상
TC1603C	2040	93	33	4	~300	320(300)	정상
TC1603D	2760	93	23	4	~300	320(300)	정상
TC1603E	2040	93	16	4	~301	320(300)	정상
TC1657A	2760	93	40	4	~300	320(300)	정상
TC1657B	2040	93	24	4	~301	320(300)	정상
TC1803A	2760	93	41	4	~300	320(300)	정상
TC1803B	2040	93	25	4	~299	320(300)	정상
TC1807A	2760	93	41	4	~299	320(300)	정상
TC1807B	2040	93	28	4	~300	320(300)	정상
TC1811A	2760	93	40	4	~295	320(300)	정상
TC1811B	2040	93	25	4	~294	320(300)	정상
TC1815	2760	93	40	3	~288	320(300)	정상
TC1819	2040	93	40	3	~279	320(300)	정상
TC1821A	2760	93	43	4	~275	320(300)	정상
TC1821B	2040	93	26	4	~278	320(300)	정상
TC1827A	2760	93	40	3	~279	320(300)	정상
TC1827B	2040	93	24	3	~280	320(300)	정상

나. 불연속정보 기능 현장시험

(1) 2004년 5월 13일 본선 시험

(가) 개요

광명에서 천안까지의 상업운전 구간에서 310km/h의 고속 주행시에 정상적으로 불연속 정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 광명역에서 천안 방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(나) 결과

아래표와 같이 TC0433B 에서 TC2003C까지의 구간을 운행하면서 ATC 불연속 정보를 정상적으로 수신하여 ATC 자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

표 3.45 광명→천안 방향주행

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC0433E	AM0457	정상
TC0639A	EXTU(in), ACCT	정상
TC0645A	ECCT STANDBY	정상
TC0645B	XETU(out) STANDBY	정상
TC0805A	EXTU(in)	정상
TC0811B	STANDBY	정상
TC0829	XETU	정상
TC0853	ACCT AM1203	정상
TC1203A	ECCT, EXTU, STANDBY	정상
TC1203C	AM1213	정상
TC1213A	STANDBY, STANDBY	정상
TC1213D	AM1213	정상
TC1603A	XETU	정상
TC1603E	EXTU	정상
TC1657A	AM1657	정상
TC1811B	ACCT	정상
TC1815	ECCT STANDBY	정상
TC1819	STANDBY	정상
TC1821B	STANDBY	정상
TC1849	XETU	정상
TC1867	AM2003	정상

(2) 2004년 9월 5일 본선 시험

(가) 개요

광명에서 서대전까지의 시험선 구간에서 301km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC 불연속 정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행함. 아래의 정보는 광명역에서 서대전방향으로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

(나) 결과

아래표와 같이 TC0433B 에서 TC2813A까지의 구간을 운행하면서 ATC 불연속 정보를 정상적으로 수신하여 ATC 자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다

표 3.46 광명→서대전방향 주행

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC0433E	AM0457	정상
TC0639A	EXTU(in), ACCT	정상
TC0645A	ECCT STANDBY	정상
TC0645B	XETU(out) STANDBY	정상
TC0805A	EXTU(in)	정상
TC0811B	STANDBY	정상
TC0829	XETU	정상
TC0853	ACCT, AM1203	정상
TC1203A	ECCT, EXTU, STANDBY	정상
TC1203C	AM1213	정상
TC1213A	STANDBY, STANDBY	정상
TC1213D	AM1213	정상
TC1603A	XETU	정상
TC1603E	EXTU	정상
TC1657A	AM1657	정상
TC1811B	ACCT	정상
TC1815	ECCT STANDBY	정상
TC1819	STANDBY	정상
TC1821B	STANDBY	정상
TC1849	XETU	정상
TC1867	AM2003	정상
TC2015B	STANDBY	정상
TC2015C	AM2033	정상
TC2033C	XETU(in)	정상
TC2033D	AM2053	정상
TC2053	EXTU(out)	정상
TC2057A	STANDBY,ACCT	정상
TC2205A	ECCT STANDBY	정상
TC2205B	STANDBY	정상
TC2221B	XETU(in)	정상
TC2223	STANDBY	정상
TC2227	EXTU(out)	정상
TC2231B	XETU(in)	정상
TC2237B	STANDBY	정상
TC2265B	AM2403	정상
TC2403A	EXTU(out)	정상
TC2415B	STANDBY AM2433	정상
TC2433D	AM2453	정상
TC2453B	STANDBY	정상
TC2601A	ACCT	정상
TC2607A	ECCT, XETU(in) STANDBY	정상
TC2607B	STANDBY	정상
TC2635A	STANDBY	정상
TC2651A	STANDBY	정상
TC2651B	EXTU	정상
TC2667	AM2803	정상
TC2803B	EXTU	정상
TC2813A	ALP	정상

3. 3차년도 연구개발내용 및 결과

가. 현장 안정화 주행 시험

다음은 고속선 주행 시험을 수행하여 제어기에 기록된 정보를 일부 분석한 것이다.

(1) 연속정보수신 정보

① 개요

시제차량으로 광명에서 동대구로 시험 주행하는 고속선 상업 운전 전체구간의 일부를 표시하였다.

차상 ATC 설비에서 LOGGING한 정보를 일부 정리하여 표로 정리하였다.

② 결과

ATC 지상정보 모두를 정상적으로 수신하고 처리하여 ATC 기능이 정상적으로 동작하였음을 알 수 있다.

표 3.47 광명→동대구방향 주행

궤도 번호	ATC 수신 정보				ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	열차 속도	제한 속도	제어
TC1421A	2040	93	42	4	~285	320(300)	정상
TC1421B	2760	93	24	4	~290	320(300)	정상
TC1425A	2040	93	43	4	~295	320(300)	정상
TC1425B	2760	93	25	4	~298	320(300)	정상
TC1603A	2040	93	50	4	~298	320(300)	정상
TC1603B	2760	93	42	4	~300	320(300)	정상
TC1603C	2040	93	33	4	~301	320(300)	정상
TC1603D	2760	93	23	4	~302	320(300)	정상
TC1603E	2040	93	16	4	~299	320(300)	정상
TC1657A	2760	93	40	4	~303	320(300)	정상
TC1657B	2040	93	24	4	~303	320(300)	정상
TC1803A	2760	93	41	4	~297	320(300)	정상
TC1803B	2040	93	25	4	~299	320(300)	정상
TC1807A	2760	93	41	4	~301	320(300)	정상
TC1807B	2040	93	28	4	~297	320(300)	정상
TC1811A	2760	93	40	4	~298	320(300)	정상
TC1811B	2040	93	25	4	~295	320(300)	정상
TC1815	2760	93	40	3	~295	320(300)	정상
TC1819	2040	93	40	3	~299	320(300)	정상
TC1821A	2760	93	43	4	~292	320(300)	정상
TC1821B	2040	93	26	4	~290	320(300)	정상
TC1827A	2760	93	40	3	~285	320(300)	정상
TC1827B	2040	93	24	3	~283	320(300)	정상
TC1833	2760	93	40	4	~279	320(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보				ATC 상태		
	전송 주파수	속도 코드	거리 코드	구배	열차 속도	제한 속도	제어
TC1837A	2040	93	42	4	~278	320(300)	정상
TC1837B	2760	93	27	4	~282	320(300)	정상
TC1845	2040	93	38	3	~283	320(300)	정상
TC1849	2760	93	39	3	~288	320(300)	정상
TC1853A	2040	93	41	4	~290	320(300)	정상
TC1853B	2760	93	27	4	~293	320(300)	정상
TC1861A	2040	93	45	4	~300	320(300)	정상
TC1861B	2760	93	16	4	~300	320(300)	정상
TC1867	2040	93	39	3	~297	320(300)	정상
TC2003A	2760	93	45	5	~298	320(300)	정상
TC2003B	2040	93	26	5	~300	320(300)	정상
TC2003C	2760	93	15	5	~301	320(300)	정상
TC2015A	2040	93	41	4	~300	320(300)	정상
TC2015B	2760	93	34	4	~299	320(300)	정상
TC2015C	2040	93	28	4	~299	320(300)	정상
TC2033A	2760	93	40	4	~299	320(300)	정상
TC2033B	2040	93	33	4	~300	320(300)	정상
TC2033C	2760	93	23	4	~297	320(300)	정상
TC2033D	2040	93	15	4	~292	320(300)	정상
TC2053	2760	93	37	3	~295	320(300)	정상
TC2057A	2040	93	46	6	~285	320(300)	정상
TC2057B	2760	93	17	6	~284	320(300)	정상
TC2205A	2040	93	44	4	~280	320(300)	정상
TC2205B	2760	93	20	4	~276	320(300)	정상
TC2211	2040	93	39	3	~287	320(300)	정상
TC2215	2760	93	39	3	~289	320(300)	정상
TC2221A	2040	93	40	2	~279	320(300)	정상
TC2221B	2760	93	20	2	~274	320(300)	정상
TC2223	2040	93	38	2	~276	320(300)	정상
TC2227	2760	93	37	2	~278	320(300)	정상
TC2231A	2040	93	42	5	~278	320(300)	정상
TC2231B	2760	93	31	5	~281	320(300)	정상
TC2237A	2040	93	45	5	~284	320(300)	정상
TC2237B	2760	93	37	5	~283	320(300)	정상
TC2243A	2040	93	45	5	~285	320(300)	정상
TC2243B	2760	93	33	5	~297	320(300)	정상
TC2247A	2040	93	41	4	~301	320(300)	정상
TC2247B	2760	93	28	4	~302	320(300)	정상
TC2253	2040	93	38	3	~296	320(300)	정상
TC2259	2760	93	38	3	~298	320(300)	정상
TC2265A	2040	93	46	5	~301	320(300)	정상
TC2265B	2760	93	25	5	~298	320(300)	정상
TC2403A	2040	93	47	5	~298	320(300)	정상
TC2403B	2760	93	35	5	~294	320(300)	정상
TC2403C	2040	93	28	5	~295	320(300)	정상

(2) 불연속 정보 시험

광명에서 동대구의 일부 고속선 구간에서 수신한 불연속 정보를 로깅하여 정리한 것이다(2005년 6월 8일 시험).

① 결과

고속선의 모든 불연속 신호를 정상적으로 수신하여 그 기능을 수행하였다.

표 3.48 광명→목포구간 불연속정보 (ATC-ATS 변경 구간) LOGGING DATA

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC1203A	ECCT, EXTU, STANDBY	정상
TC1203C	AM1213	정상
TC1213A	STANDBY, STANDBY	정상
TC1213D	AM1213	정상
TC1603A	XETU	정상
TC1603E	EXTU	정상
TC1657A	AM1657	정상
TC1811B	ACCT	정상
TC1815	ECCT STANDBY	정상
TC1819	STANDBY	정상
TC1821B	STANDBY	정상
TC1849	XETU	정상
TC1867	AM2003	정상
TC2015B	STANDBY	정상
TC2015C	AM2033	정상
TC2033C	XETU(in)	정상
TC2033D	AM2053	정상
TC2053	EXTU(out)	정상
TC2057A	STANDBY, ACCT	정상
TC2205A	ECCT STANDBY	정상
TC2205B	STANDBY	정상
TC2221B	XETU(in)	정상
TC2223	STANDBY	정상
TC2227	EXTU(out)	정상
TC2231B	XETU(in)	정상
TC2237B	STANDBY	정상
TC2265B	AM2403	정상
TC2403A	EXTU(out)	정상
TC2415B	STANDBY AM2433	정상
TC2433D	AM2453	정상
TC2453B	STANDBY	정상
TC2601A	ACCT	정상
TC2607A	ECCT, XETU(in) STANDBY	정상
TC2607B	STANDBY	정상

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC2635A	STANDBY	정상
TC2651A	STANDBY	정상
TC2651B	EXTU	정상
TC2667	AM2803	정상
TC2803B	EXTU	정상
TC2813A	ALP	정상

② 하행 ATC - ATS 전환 자료

- ATC 제어기의 제어 출력 LED

출력보드에서 ATC모드일 때 2번 LED가 On이고 17번 LED가 Off상태이며 ATS모드에서는 2번 LED가 Off이며 17번 LED가 On상태임을 사진으로 확인할 수 있다.

③ 상행 ATS - ATC 전환 자료

- ATC 제어기의 제어 출력 LED

출력보드에서 ATS모드에서는 2번 LED가 Off이며 17번 LED가 On상태이고 ATC모드일 때 2번 LED가 On이고 17번 LED가 Off상태임을 사진으로 확인할 수 있다.

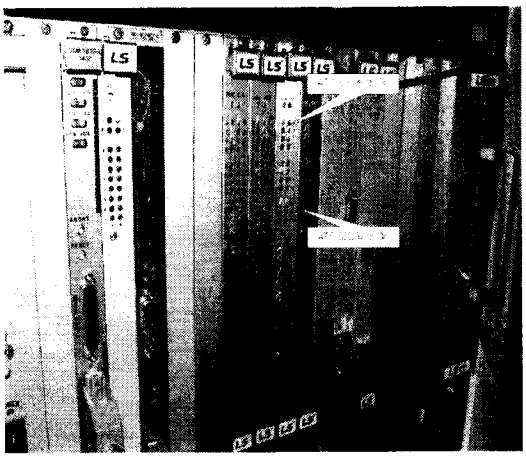


그림 3.18 전환 전 ATS모드사진

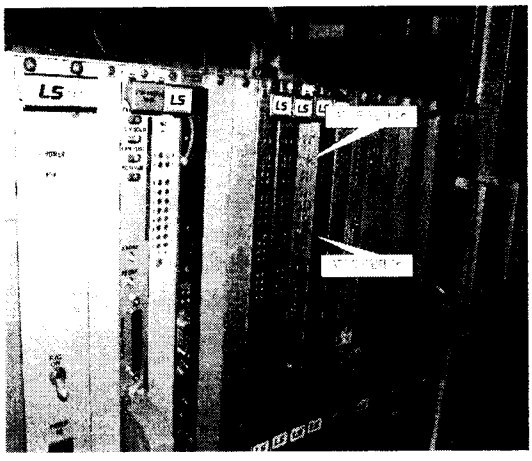


그림 3.19 전환후 ATC모드 사진

4. 4차년도 연구개발내용 및 결과

가. 현장 시운전 시험

'05년 11월 1일부터 '06년 9월 4일까지 70차에 걸친 주야간 본선 시험 중 동대구 20회, 호남선 17회, 기타 23회, 야간 시험 10회 시행하였다. 그 중에는 야간 시운전시 불연속 신호 수신 시험을 1회 시행하였고 1회의 330km/h 시운전 시험이 포함되어 성공적으로 마쳤다.

(1) 연속정보 처리 기능 시험

(가) 2006년 5월 21일 330km/h 주행 시험

고덕에서 신탄진까지의 본선 구간에서 330km/h의 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC 연속정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다. 아래의 정보는 고덕에서 신탄진 방향으로 하행선로로 주행하면서 처리한 정보를 정리한 것이다.

표 3.49 2006년 330km/h주행시험의 처리정보

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차속도	제한속도	제어
TC1603B	2760	81	40	4	CHT T1	~48	180(170)	정상
TC1603C	2040	81~93	33	4		~68	320(300)	정상
TC1603D	2760	93	23	4		~84	320(300)	정상
TC1603E	2040	93	16	4	EXTU	~103	320(300)	정상
TC1657A	2760	93	40	4	AM1657	~134	320(300)	정상
TC1657B	2040	93	24	4		~157	320(300)	정상
TC1803A	2760	93	41	4		~174	320(300)	정상
TC1803B	2040	93	25	4		~185	320(300)	정상
TC1807A	2760	93	41	4		~198	320(300)	정상
TC1807B	2040	93	28	4		~210	320(300)	정상
TC1811A	2760	93	40	4		~214	320(300)	정상
TC1811B	2040	93	25	4	ACCT	~208	320(300)	정상
TC1815	2760	93	40	3	ECCT STANDBY	~198	320(300)	정상
TC1819	2040	93	40	3	STANDBY	~194	320(300)	정상
TC1821A	2760	93	43	4		~204	320(300)	정상
TC1821B	2040	93	26	4	STANDBY	~216	320(300)	정상
TC1827A	2760	93	40	3		~220	320(300)	정상
TC1827B	2040	93	23	3		~226	320(300)	정상
TC1833	2760	93	40	4		~210	320(300)	정상
TC1837A	2040	93	42	4		~242	320(300)	정상
TC1837B	2760	93	27	4		~253	320(300)	정상
TC1845	2040	93	38	3		~255	320(300)	정상
TC1849	2760	93	39	3	XETU	~263	320(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차속도	제한속도	제어
TC1853A	2040	93	41	4		~269	320(300)	정상
TC1853B	2760	93	27	4		~273	320(300)	정상
TC1861A	2040	93	45	4		~282	320(300)	정상
TC1861B	2760	93	16	4		~283	320(300)	정상
TC1867	2040	93	39	3	AM2003	~285	320(300)	정상
TC2003A	2760	93	45	5		~295	320(300)	정상
TC2003B	2040	93	26	5		~297	320(300)	정상
TC2003C	2760	93	15	5		~300	320(300)	정상
TC2015A	2040	93	41	4		~300	320(300)	정상
TC2015B	2760	93	34	4	STANDBY	~303	320(300)	정상
TC2015C	2040	93	28	4	AM2033	~306	320(300)	정상
TC2033A	2760	93	40	4		~307	320(300)	정상
TC2033B	2040	93	33	4		~308	320(300)	정상
TC2033C	2760	93	23	4	XETU(in)	~308	320(300)	정상
TC2033D	2040	93	15	4	AM2053	~308	320(300)	정상
TC2053	2760	93	37	3	EXTU(out)	~305	320(300)	정상
TC2057A	2040	93	46	6	STANDBY,ACCT	~313	320(300)	정상
TC2057B	2760	93	17	6		~313	320(300)	정상
TC2205A	2040	93	44	4	ECCT STANDBY	~306	320(300)	정상
TC2205B	2760	93	20	4	STANDBY	~302	320(300)	정상
TC2211	2040	93	39	3		~295	320(300)	정상
TC2215	2760	93	39	3		~291	320(300)	정상
TC2221A	2040	93	40	2		~290	320(300)	정상
TC2221B	2760	93	20	2	XETU(in)	~291	320(300)	정상
TC2223	2040	93	38	2	STANDBY	~288	320(300)	정상
TC2227	2760	93	37	2	EXTU(out)	~287	320(300)	정상
TC2231A	2040	93	42	5		~288	320(300)	정상
TC2231B	2760	93	31	5	XETU(in)	~297	320(300)	정상
TC2237A	2040	93	45	5		~301	320(300)	정상
TC2237B	2760	93	37	5	STANDBY	~308	320(300)	정상
TC2243A	2040	93	45	5		~310	320(300)	정상
TC2243B	2760	93	33	5		~316	320(300)	정상
TC2247A	2040	93	41	4		~315	320(300)	정상
TC2247B	2760	93	28	4		~320	320(300)	정상
TC2253	2040	93	38	3		~320	320(300)	정상
TC2259	2760	93	38	3		~323	320(300)	정상
TC2265A	2040	93	46	5		~326	320(300)	정상
TC2265B	2760	93	25	5	AM2403	~331	320(300)	정상
TC2403A	2040	93	47	5	EXTU(out)	~334	320(300)	정상
TC2403B	2760	93	35	5		~334	320(300)	정상
TC2403C	2040	93	28	5		~333	320(300)	정상
TC2403D	2760	93	20	5		~330	320(300)	정상
TC2415A	2040	93	39	4		~325	320(300)	정상
TC2415B	2760	93	24	4	STANDBY AM2433	~319	320(300)	정상
TC2433A	2040	93	48	4		~311	320(300)	정상
TC2433B	2760	93	32	4		~308	320(300)	정상
TC2433C	2040	93	24	4		~304	320(300)	정상
TC2433D	2760	93	16	4	AM2453	~299	320(300)	정상
TC2453A	2040	93	39	3		~293	320(300)	정상

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL) 정보	열차속도	제한속도	제어
TC2453B	2760	93	24	3	STANDBY	~285	320(300)	정상
TC2601A	2040	92	37	3	ACCT	~277	315(300)	정상
TC2601B	2760	92	10	3		~276	315(300)	정상
TC2607A	2040	91	45	4	ECCT, XETU(in) STANDBY	~271	285(270)	정상
TC2607B	2760	91	25	4	STANDBY	~268	285(270)	정상
TC2611A	2040	89	42	4		~265	290(270)	정상
TC2611B	2760	89	29	4		~258	290(270)	정상
TC2617	2040	89	39	3		~242	290(270)	정상
TC2623A	2760	88	38	3		~235	280(270)	정상
TC2623B	2040	88	21	3		~230	280(270)	정상
TC2631A	2760	87	42	5		~229	245(230)	정상
TC2631B	2040	87	22	5		~227	245(230)	정상
TC2635A	2760	85	46	5	STANDBY	~227	240(230)	정상
TC2635B	2040	85	32	5		~220	240(230)	정상
TC2641A	2760	85	43	4		~218	240(230)	정상
TC2641B	2040	85	35	4		~204	240(230)	정상
TC2651A	2760	84	40	4	STANDBY	~194	240(230)	정상
TC2651B	2040	84	19	4	EXTU	~190	240(230)	정상
TC2657A	2760	82	44	4		~172	180(170)	정상
TC2657B	2040	82	27	4		~145	180(170)	정상

위의 표와 같이 TC1603B 에서 TC2657B 까지의 구간을 운행하면서 고속 주행에서도 ATC 지상 연속정보와 불연속정보를 정상적으로 수신하였고 사구간 제어(ACCT, ECCT)를 포함하여 ATC제한 속도에 의한 ATC자동 운전을 성공적으로 수행했음을 알 수 있다.

■ 로깅 정보

다음은 2006년 7월 18일의 동대구에서 광명 방향의 현장 시험시에 수신한 정보의 일부이다.

```
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 100, CSpeed: 35, Distance: 50, DToGo: 0, Amp.: 4029, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 101, CSpeed: 119, Distance: 183, DToGo: 617, Amp.: 4138, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 226, DToGo: 574, Amp.: 4138, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 228, DToGo: 572, Amp.: 4415, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 285, DToGo: 515, Amp.: 4646, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 328, DToGo: 472, Amp.: 4646, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 330, DToGo: 470, Amp.: 4805, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 119, Distance: 386, DToGo: 414, Amp.: 4761, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 101, CSpeed: 119, Distance: 431, DToGo: 369, Amp.: 4761, Carrier: 1,
```

```
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 101, CSpeed: 119, Distance: 433, DToGo: 367, Amp.: 4761, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 100, CSpeed: 119, Distance: 489, DToGo: 311, Amp.: 4860, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 100, CSpeed: 119, Distance: 531, DToGo: 269, Amp.: 4860, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 99, CSpeed: 119, Distance: 533, DToGo: 267, Amp.: 5188, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 98, CSpeed: 119, Distance: 588, DToGo: 212, Amp.: 5546, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 97, CSpeed: 119, Distance: 629, DToGo: 171, Amp.: 5546, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 96, CSpeed: 119, Distance: 631, DToGo: 169, Amp.: 5795, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 95, CSpeed: 119, Distance: 684, DToGo: 116, Amp.: 5098, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 93, CSpeed: 119, Distance: 724, DToGo: 76, Amp.: 5098, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 93, CSpeed: 119, Distance: 727, DToGo: 73, Amp.: 5169, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 92, CSpeed: 119, Distance: 778, DToGo: 22, Amp.: 5372, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 91, CSpeed: 119, Distance: 800, DToGo: 0, Amp.: 5372, Carrier: 1,
* Security: 41, Gradient: 1, Distance: 26, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 90, CSpeed: 119, Distance: 800, DToGo: 0, Amp.: 5379, Carrier: 1,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 88, CSpeed: 119, Distance: 800, DToGo: 0, Amp.: 8479, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 86, CSpeed: 119, Distance: 110, DToGo: 790, Amp.: 8479, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 84, CSpeed: 119, Distance: 157, DToGo: 743, Amp.: 4666, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 83, CSpeed: 119, Distance: 194, DToGo: 706, Amp.: 4666, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 81, CSpeed: 119, Distance: 240, DToGo: 660, Amp.: 5205, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 79, CSpeed: 119, Distance: 276, DToGo: 624, Amp.: 5205, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 77, CSpeed: 119, Distance: 319, DToGo: 581, Amp.: 5426, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 76, CSpeed: 119, Distance: 353, DToGo: 547, Amp.: 5426, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 74, CSpeed: 119, Distance: 395, DToGo: 505, Amp.: 6125, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 73, CSpeed: 119, Distance: 427, DToGo: 473, Amp.: 6125, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 71, CSpeed: 119, Distance: 469, DToGo: 431, Amp.: 6192, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 70, CSpeed: 119, Distance: 498, DToGo: 402, Amp.: 6192, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 70, CSpeed: 119, Distance: 500, DToGo: 400, Amp.: 6214, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 69, CSpeed: 119, Distance: 538, DToGo: 362, Amp.: 6762, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 69, CSpeed: 119, Distance: 568, DToGo: 332, Amp.: 6762, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 70, CSpeed: 119, Distance: 569, DToGo: 331, Amp.: 6870, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 70, CSpeed: 119, Distance: 607, DToGo: 293, Amp.: 6474, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 70, CSpeed: 119, Distance: 638, DToGo: 262, Amp.: 6923, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 71, CSpeed: 119, Distance: 679, DToGo: 221, Amp.: 6426, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 72, CSpeed: 119, Distance: 709, DToGo: 191, Amp.: 6426, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 71, CSpeed: 119, Distance: 710, DToGo: 190, Amp.: 6912, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 73, CSpeed: 119, Distance: 750, DToGo: 150, Amp.: 7332, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 74, CSpeed: 119, Distance: 781, DToGo: 119, Amp.: 7332, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 74, CSpeed: 119, Distance: 783, DToGo: 117, Amp.: 7542, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 75, CSpeed: 119, Distance: 824, DToGo: 76, Amp.: 7986, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 76, CSpeed: 119, Distance: 857, DToGo: 43, Amp.: 7986, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 78, CSpeed: 119, Distance: 900, DToGo: 0, Amp.: 7997, Carrier: 3,
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 79, CSpeed: 119, Distance: 900, DToGo: 0, Amp.: 7997, Carrier: 3,
```

```
* Security: 62, Gradient: 2, Distance: 28, Speed: 71, Operation: 1,
* TSpeed: 78, CSpeed: 119, Distance: 900, DToGo: 0, Amp.: 7997, Carrier: 3,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 80, CSpeed: 119, Distance: 900, DToGo: 0, Amp.: 5976, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 82, CSpeed: 180, Distance: 100, DToGo: 1200, Amp.: 5976, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 81, CSpeed: 180, Distance: 101, DToGo: 1199, Amp.: 5976, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 82, CSpeed: 180, Distance: 147, DToGo: 1153, Amp.: 2995, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 84, CSpeed: 180, Distance: 184, DToGo: 1116, Amp.: 3001, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 85, CSpeed: 180, Distance: 231, DToGo: 1069, Amp.: 3093, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 87, CSpeed: 180, Distance: 268, DToGo: 1032, Amp.: 3153, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 88, CSpeed: 180, Distance: 318, DToGo: 982, Amp.: 3257, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 89, CSpeed: 180, Distance: 355, DToGo: 945, Amp.: 3257, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 88, CSpeed: 180, Distance: 357, DToGo: 943, Amp.: 3428, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 90, CSpeed: 180, Distance: 407, DToGo: 893, Amp.: 3288, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 91, CSpeed: 180, Distance: 445, DToGo: 855, Amp.: 3288, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 91, CSpeed: 180, Distance: 447, DToGo: 853, Amp.: 3341, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 92, CSpeed: 180, Distance: 498, DToGo: 802, Amp.: 3430, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 93, CSpeed: 180, Distance: 537, DToGo: 763, Amp.: 3430, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 94, CSpeed: 180, Distance: 539, DToGo: 761, Amp.: 3587, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 95, CSpeed: 180, Distance: 593, DToGo: 707, Amp.: 3860, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 96, CSpeed: 180, Distance: 631, DToGo: 669, Amp.: 3860, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 95, CSpeed: 180, Distance: 635, DToGo: 665, Amp.: 3860, Carrier: 1,
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 97, CSpeed: 180, Distance: 688, DToGo: 612, Amp.: 3914, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 98, CSpeed: 180, Distance: 729, DToGo: 571, Amp.: 3914, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 98, CSpeed: 180, Distance: 731, DToGo: 569, Amp.: 3914, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 99, CSpeed: 180, Distance: 786, DToGo: 514, Amp.: 4136, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 101, CSpeed: 180, Distance: 828, DToGo: 472, Amp.: 4136, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 101, CSpeed: 180, Distance: 830, DToGo: 470, Amp.: 4547, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 102, CSpeed: 180, Distance: 888, DToGo: 412, Amp.: 4641, Carrier: 1
* Security: 25, Gradient: 2, Distance: 36, Speed: 81, Operation: 1,
* TSpeed: 103, CSpeed: 180, Distance: 930, DToGo: 370, Amp.: 4641, Carrier: 1
```

(나) 불연속정보 처리 기능 시험

① 2006년 6월 27일 광명-동대구 주행 시험

광명에서 서대전까지의 본선 구간에서 고속 주행시에 정상적으로 지상 ATC 불연속 정보를 받아서 처리하는 성능시험을 수행하였다.

표 3.50 광명→동대구 주행시험처리정보

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC0433E	AM0457	정상
TC0639A	EXTU(in), ACCT	정상
TC0645A	ECCT STANDBY	정상

궤도 번호	ATC 불연속(ITL) 정보	ATC 제어 상태
TC0645B	XETU(out) STANDBY	정상
TC0805A	EXTU(in)	정상
TC0811B	STANDBY	정상
TC0829	XETU	정상
TC0853	ACCT AM1203	정상
TC1203A	ECCT, EXTU, STANDBY	정상
TC1203C	AM1213	정상
TC1213A	STANDBY, STANDBY	정상
TC1213D	AM1213	정상
TC1603A	XETU	정상
TC1603E	EXTU	정상
TC1657A	AM1657	정상
TC1811B	ACCT	정상
TC1815	ECCT STANDBY	정상
TC1819	STANDBY	정상
TC1821B	STANDBY	정상
TC1849	XETU	정상
TC1867	AM2003	정상
TC2015B	STANDBY	정상
TC2015C	AM2033	정상
TC2033C	XETU(in)	정상
TC2033D	AM2053	정상
TC2053	EXTU(out)	정상
TC2057A	STANDBY, ACCT	정상
TC2205A	ECCT STANDBY	정상
TC2205B	STANDBY	정상
TC2221B	XETU(in)	정상
TC2223	STANDBY	정상
TC2227	EXTU(out)	정상
TC2231B	XETU(in)	정상
TC2237B	STANDBY	정상
TC2265B	AM2403	정상
TC2403A	EXTU(out)	정상
TC2415B	STANDBY AM2433	정상
TC2433D	AM2453	정상
TC2453B	STANDBY	정상
TC2601A	ACCT	정상
TC2607A	ECCT, XETU(in) STANDBY	정상
TC2607B	STANDBY	정상
TC2635A	STANDBY	정상
TC2651A	STANDBY	정상
TC2651B	EXTU	정상
TC2667	AM2803	정상
TC2803B	EXTU	정상
TC2813A	ALP	정상

(다) 천탄진 부근(신부터널 전방)에서의 누적된 로깅 자료 검토

야간 시운전시에 해당 구간에서 동일한 신호 조건으로 주행한 것을 분석한 것으로 모두 정상신호를 받고 처리했음을 알 수 있으며 그 결과의 일부를 아래와 같이 정리하였다.

① 2006년 7월 10일 1시 22분경 신부터널 부근으로 통과

궤도번호 / ATC정보	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	1(RRR)		1(RRR)	1(RRR)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	NP	4
제한속도	35	35	전환	35	35	수신	3(35)
열차속도	19	29		29	31		0(정차)
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ NP 수신에 의한 정상 제어 수행(지상 정보 정상적으로 수신)

TC2802A 궤도를 진입하면서 바로 NP 정보를 수신하였으며 따라서 ATC에 의한 속도 제한이 투입됨.

■ 해당로깅자료

```
* Security: 48, Gradient: 4, Distance: 16, Speed: 1, Operation: 1,
* TSpeed: 31, CSpeed: 35, Distance: 450, DToGo: 0, Amp.: 2911, Carrier: 1,

 R[26365]:0x 0,
 L[26365]:0x 0,
 R[26365]:0x 6, 0x80, 0x 0, 0x 0, 0xc0, RCount = 0
 R[26367]:0x20,
 L[26367]:0x 0,
...
 L[26423]:0xc0,

**** New block section.****

* Security: 20, Gradient: 4, Distance: 40, Speed: 89, Operation: 1,
* TSpeed: 32, CSpeed: 35, Distance: 450, DToGo: 0, Amp.: 7259, Carrier: 3,

 From ATC : Tcn_ATC_NOW_LMTSPEED_VALUE (port No. 326) = 290
 From ATC : Tcn_ATC_NEXT_LMTSPEED_VALUE (port No. 325) = 270
 From ATC : Tcn_ATC_BACKUP (port No. 328) = 0x8000
 R[26493]:0x 0,
 L[26493]:0x 0,
 R[26497]:0x 0,
 L[26497]:0x 0,
 R[26499]:0x 0,
 L[26507]:0xfe,
 R[26507]:0xf0,
 L[26507]:0x3a,
 R[26507]:0x40,
 L[26507]:0x 0,
 R[26507]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x1d, 0x 0, RCount = 0
 L[26507]:0x68, 0x 1, 0x 1, 0x 0, 0x3a, LCount  = 0
 Intermittent : Miscellaneous message was received
              : Absolute STOP message was received
 R[26508]:0x40,
 L[26508]:0x 0,
 R[26508]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x1d, 0x 0, RCount = 0
 L[26508]:0x68, 0x 1, 0x 1, 0x 0, 0x3a, LCount  = 0
 R[26509]:0x40,
 L[26509]:0x 0,
 R[26509]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x1d, 0x 0, RCount = 1
 L[26509]:0x68, 0x 1, 0x 1, 0x 0, 0x3a, LCount  = 1

 From ATC : Tcn_ATC_NOW_LMTSPEED_VALUE (port No. 326) = 3
 R[26510]:0x40,
```

```
L[26510]:0x 0,
R[26510]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x1d, 0x 0, RCount = 2
L[26510]:0x68, 0x 1, 0x 1, 0x 0, 0x3a, LCount = 2
R[26511]:0x40,
L[26511]:0x 0,
R[26511]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x1d, 0x 0, RCount = 3
L[26511]:0x68, 0x 1, 0x 1, 0x 0, 0x3a, LCount = 3
```

② 2006년 7월 10일 2시 40분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

궤도번호 / ATC정보	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16	Arming	40
ATC구배코드	3	4	T2 전환	4	4	Check	4
제한속도	35	140		140	140	수신	290
열차속도	19	41		43	50		71

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

같은 날 주행하면서 수신한 신호의 정보에 따라서 정상적으로 주행함.

■ 해당 로깅 자료

```
* Security: 32, Gradient: 4, Distance: 16, Speed: 77, Operation: 1,
* TSpeed: 62, CSpeed: 140, Distance: 312, DToGo: 138, Amp.: 3240, Carrier: 1,
 From ATC : Tcn_ATC_TRAIN SPEED (port No. 327) = 63
 From ATC : Tcn_ATC_TRAIN_SPEED (port No. 327) = 64
* Security: 47, Gradient: 4, Distance: 16, Speed: 89, Operation: 1,
* TSpeed: 64, CSpeed: 140, Distance: 356, DToGo: 94, Amp.: 3240, Carrier: 1,
R[16232]:0x 2, 0x 4, 0x 0, 0x40, 0x 0, RCount = 0
 L[16232]:0x68, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x3a, LCount = 0
 R[16233]:0x 0,                                          <- Arming Check 수신
 L[16233]:0x 0,
 R[16233]:0x 2, 0x 4, 0x 0, 0x40, 0x 0, RCount = 1
 L[16233]:0x68, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x3a, LCount = 0
 R[16234]:0x 0,
 L[16234]:0x 0,
 R[16234]:0x 2, 0x 4, 0x 0, 0x40, 0x 0, RCount = 2
 L[16234]:0x68, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x3a, LCount = 1
 R[16235]:0x 0,
 L[16235]:0x 0,
From ATC : Tcn_ATC_TRAIN SPEED (port No. 327) = 71
* Security: 20, Gradient: 4, Distance: 40, Speed: 89, Operation: 1,
* TSpeed: 71, CSpeed: 290, Distance: 450, DToGo: 0, Amp.: 6933, Carrier: 3,
```

③ 2006년 5월 21일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

- 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과
- 비교 - 1시 31분경(신탄진→고덕) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	14	28		24	53	수신	58
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행
- 비교 - 2시 46분경(신탄진→고양) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	10	58		69	84	수신	103
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

④ 2006년 5월 14일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

- 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.
- 비교 - 1시 15분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	24	50		49	48	수신	53
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행
- 비교 - 3시 2분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	15	32		36	41	수신	41
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑤ 2006년 4월 24일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

■ 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.

■ 비교 - 2시 10분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	22	33		38	45	수신	70
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑥ 2006년 3월 13일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

■ 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.

■ 비교 - 1시 19분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	22	61		70	86	수신	111
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑦ 2005년 11월 14일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

- 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.
- 비교 - 1시 41분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	16	68		74	99	수신	112
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행
- 비교 - 3시 19분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	16	73		81	87	수신	113
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑧ 2005년 11월 8일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

- 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.
- 비교 - 1시 0분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	14	52		51	50	수신	48
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

■ 비교 - 1시 59분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	18	80		87	112	수신	119
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

■ 비교 - 2시 53분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
속도코드	1(RRR)	1(RRR)	1(RRR)	77(130)	T2 전환	77(130)	77(130)	Arming Check 수신	89 (270)
거리코드	29	32	29	32		22	16		40
구배코드	3	4	3	4		4	4		4
제한속도	35	140	35	140		140	140		290
열차속도	6	33 → 0	14	26		87	112		119
궤도주파수	2760	2040	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

(출발하던 중 정차 후 후진하여 다시 출발)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑨ 2004년 1월 30일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

■ 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.

■ 비교 0시 33분경(신탄진→광명) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	15	56		74	94	수신	105
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

■ 비교 - 2시 31분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	25	55		63	75	수신	107
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑩ 2003년 12월 11일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

■ 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.

■ 비교 - 7시 55분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	23	24		33	27	수신	26
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑪ 2003년 11월 21일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

■ 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.

■ 비교 - 7시 8분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	13	45		59	64	수신	84
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

■ 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

⑫ 2003년 11월 15일 신부터널 부근으로 통과하던 열차의 상태

- 속도 코드 77번, 현시 속도 130을 받고 통과.
- 비교 - 20시 26분경(신탄진→천안) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	11	46		61	82	수신	110
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행
- 비교 - 21시 26분경(신탄진→오송) 동일구간 주행시 열차 상태

	TC2813A	TC2803B		TC2856C	TC2856D	TC2802A	
ATC속도코드	1(RRR)	77(130)		77(130)	77(130)		89(270)
ATC거리코드	29	32		22	16		40
ATC구배코드	3	4	T2	4	4	Arming	4
제한속도	35	140	전환	140	140	Check	290
열차속도	20	38		41	62	수신	67
궤도주파수	2760	2040		3120	2400		3120
T1/T2	T1	T1		T2	T2		T2

→ (열차의 진행방향)

- 수신한 신호에 따라서 정상적으로 주행

나. 유지보수를 위한 장애시 조치사항

(1) 출발전 시험 시퀀스

출발전 시험은 차량 기동후에 유지보수 요원이 SW-TSATC-01스위치를 OBD TEST로 위치시켜 ATC/ATS의 기능 점검을 수행하도록 할때 ATC에서 자체적으로 실시되는 기능 시험이다. 이 시험이 개시되면 ATC는 운전자 모니터 화면에 시험 내용과 결과를 표시하게 된다. 시험을 하는 항목이 다음과 같다.

- 운전자 모니터 실행 및 통신 상태 시험
- Local 랙의 각 보드 상태 검사
- ATC 전체의 종합 검사
- ATC/ATS 전환 시험
- ATS 신호 및 모드 전환 시험
- 시험 결과 표시 및 전송

(2) 장애시 조치 사항

시운전 주행중에 보수요원 투입전에 시행할 수 있는 조치사항들을 정리하였다. ATC에서 장애 발생을 가정하여 10개의 상황별 원인과 조치할 수 있는 방법을 Flow chart방식으로 작성하였다.

- ATC 정보 표시장치가 작동하지 않음
- ATC 표시장치내 열차 속도 비정상적으로 표시
- "ATC 고장" 현시(OBCS 화면에 현시)
- ATC 표시장치에 "무신호" 현시
- ATC 표시장치에 "R" 현시
- "ATC 비상정지", " ATS 비상정지" 현시
- "TSL, VDS, SCU, MEFA 비상정지" 현시
- "/30" 속도 제한 현시
- "/70" 속도 제한 현시
- "ATC 통과" 현시

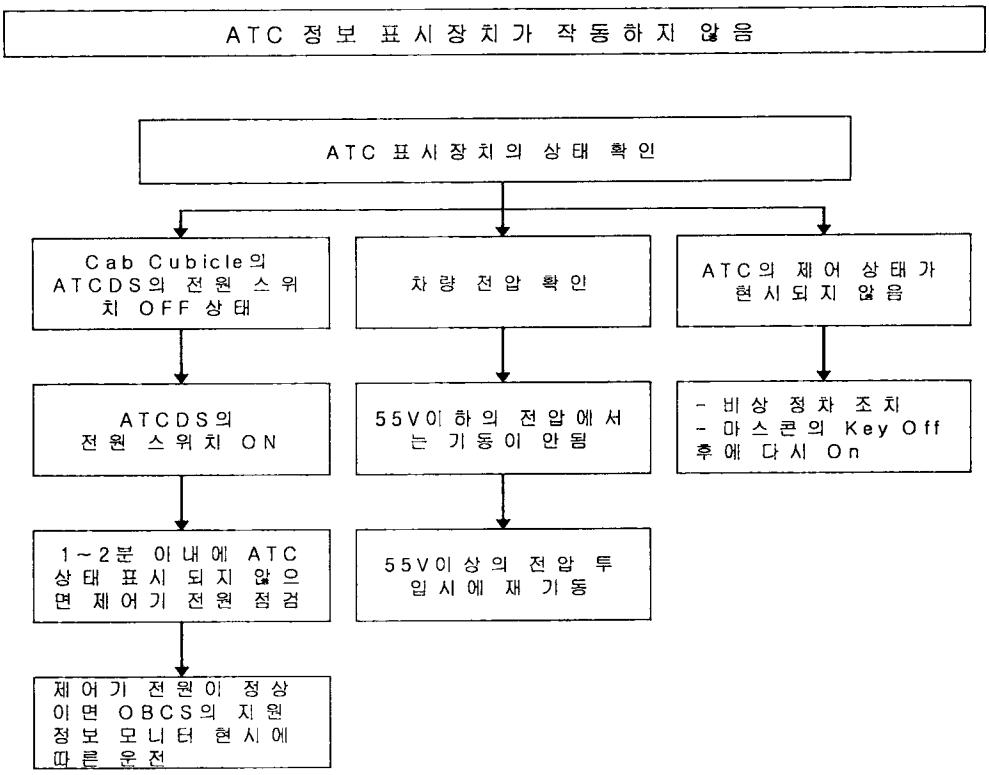


그림 3.20 ATC 정보표시장치가 작동하지 않을 때 조치사항

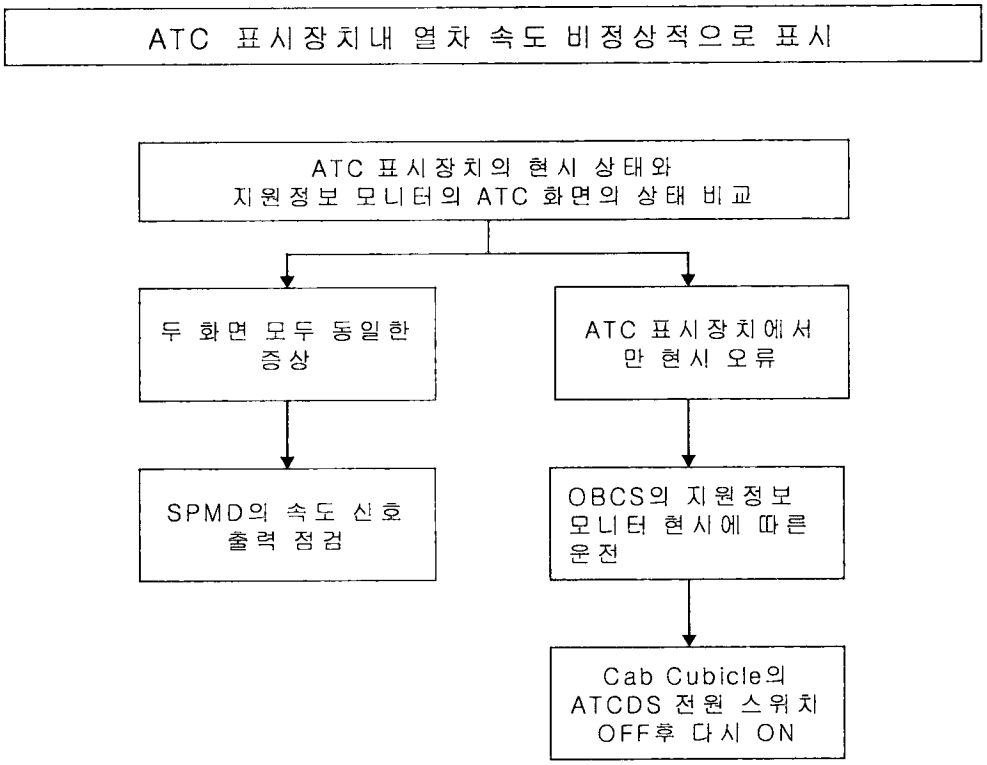


그림 3.21 ATC 표시장치내 열차 속도가 비정상적으로 표시될 때 조치사항

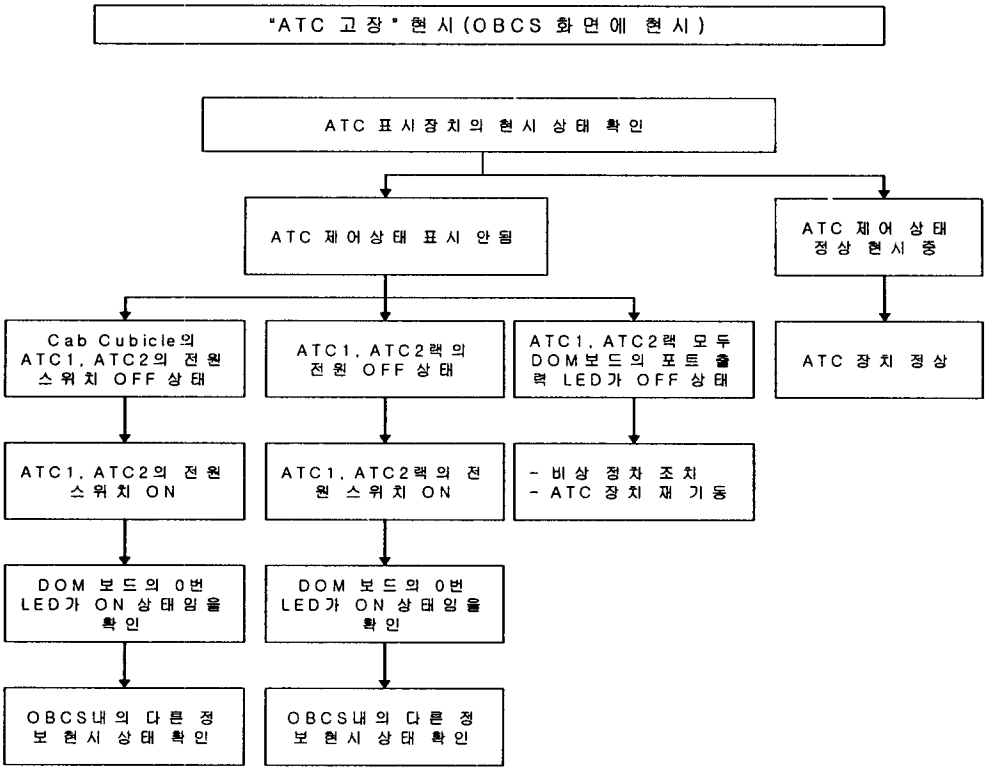


그림 3.22 "ATC 고장"현시시 조치사항

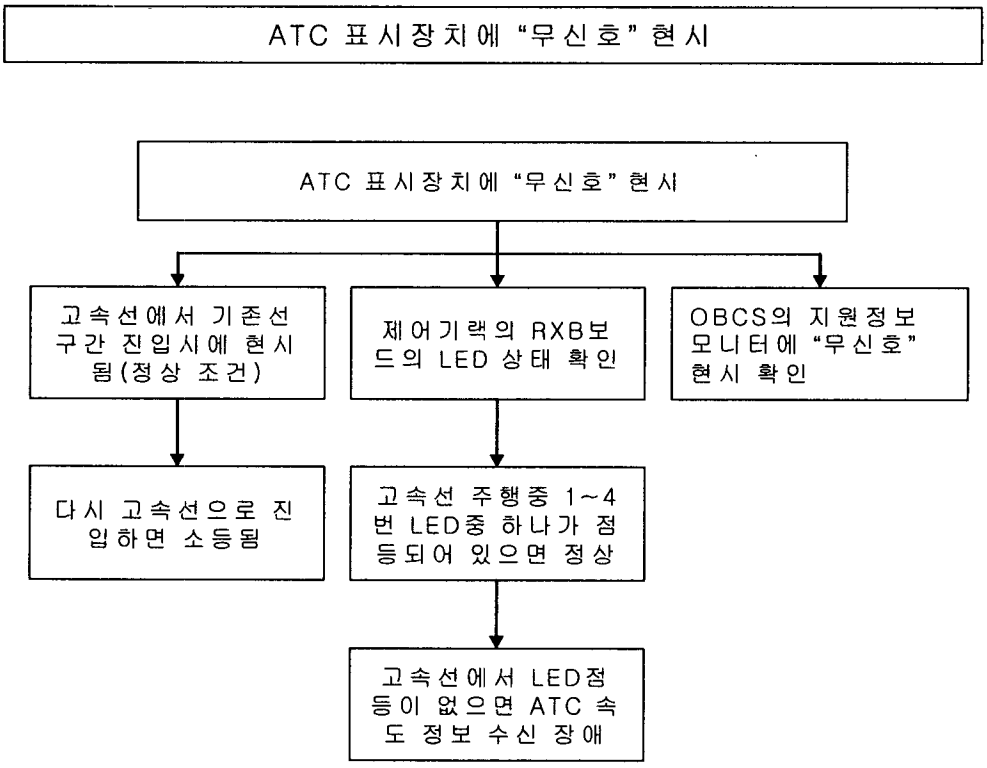


그림 3.23 "무신호"현시시 조치사항

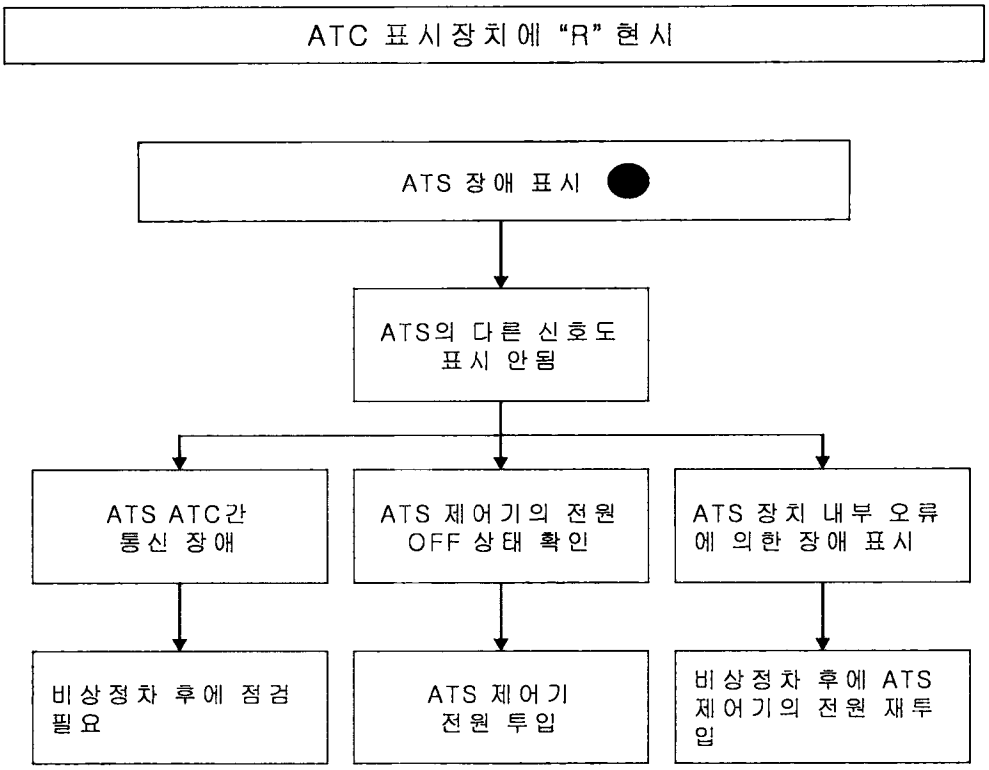


그림 3.24 "R" 현시시 조치사항

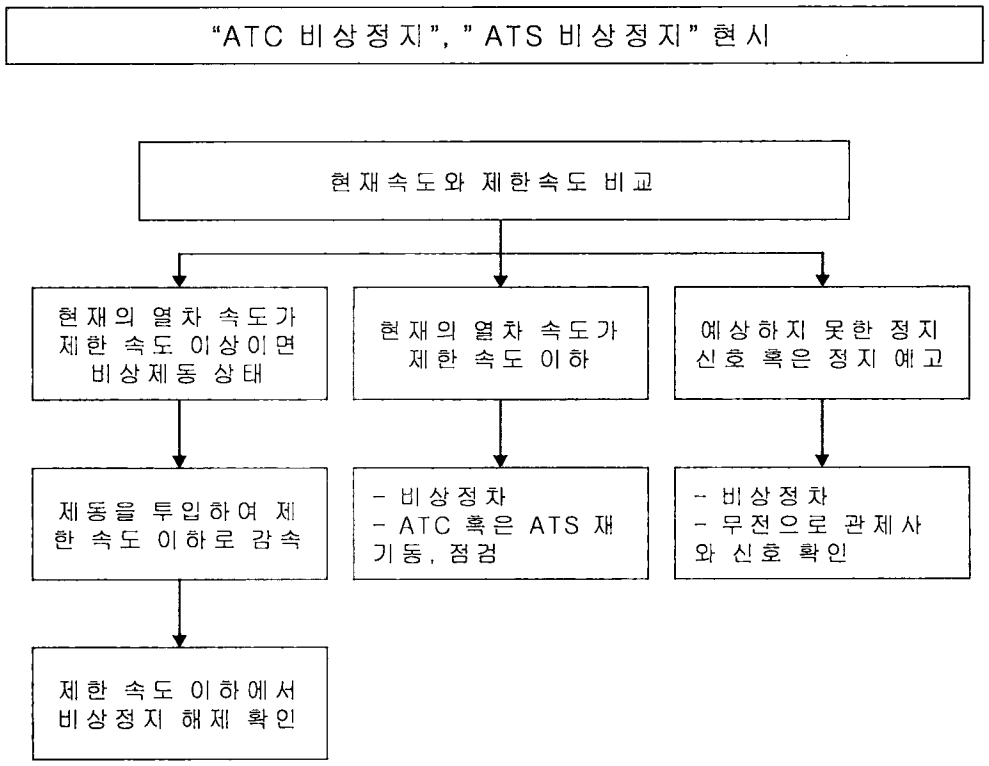


그림 3.25 "ATC비상정지","ATS 비상정지"현시시 조치사항

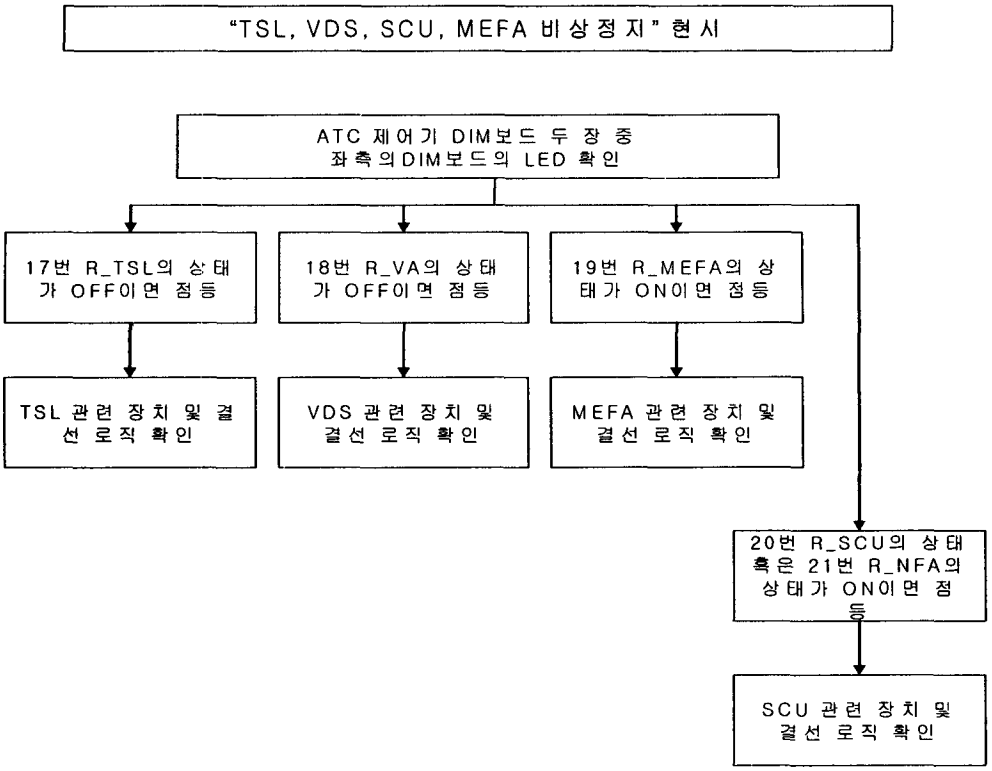


그림 3.26 "TSL, VDS, SCU, MEFA비상정지" 현시시 조치사항

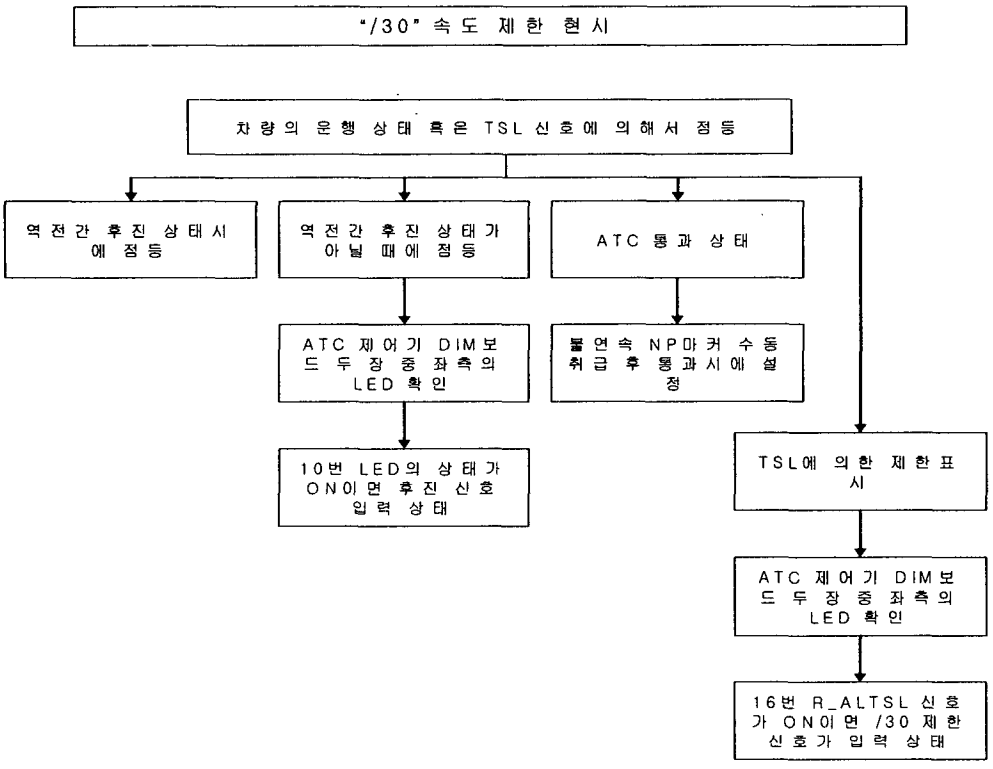


그림 3.27 "/30" 속도제한 현시시 조치사항

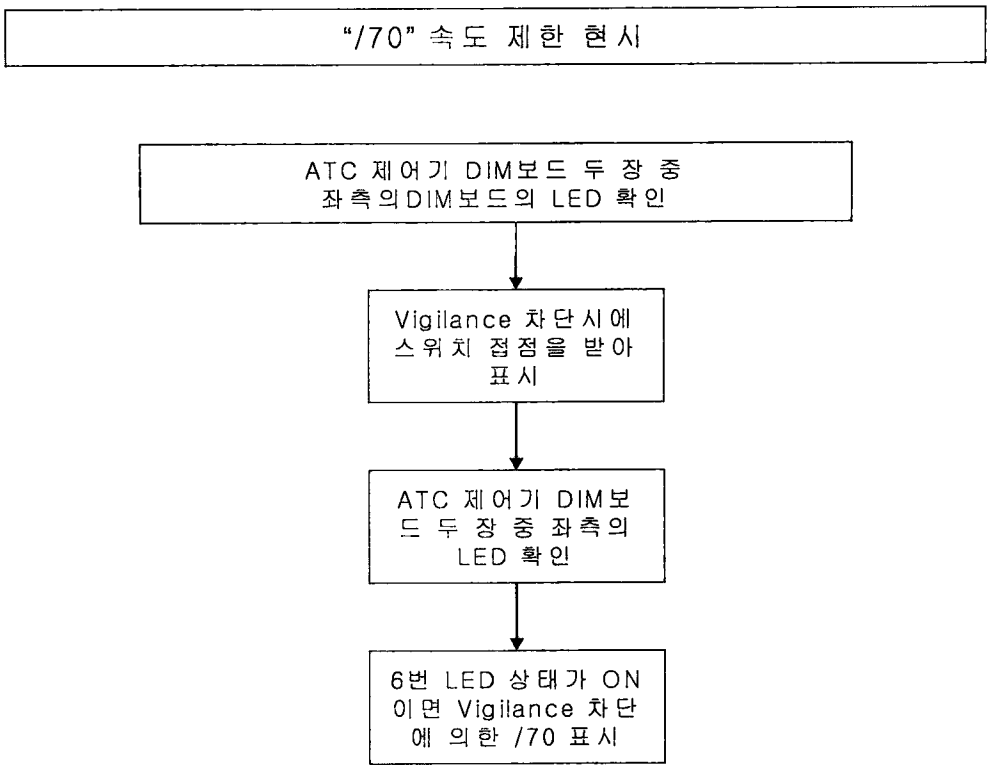


그림 3.28 "/70"속도 제한 현시시 조치사항

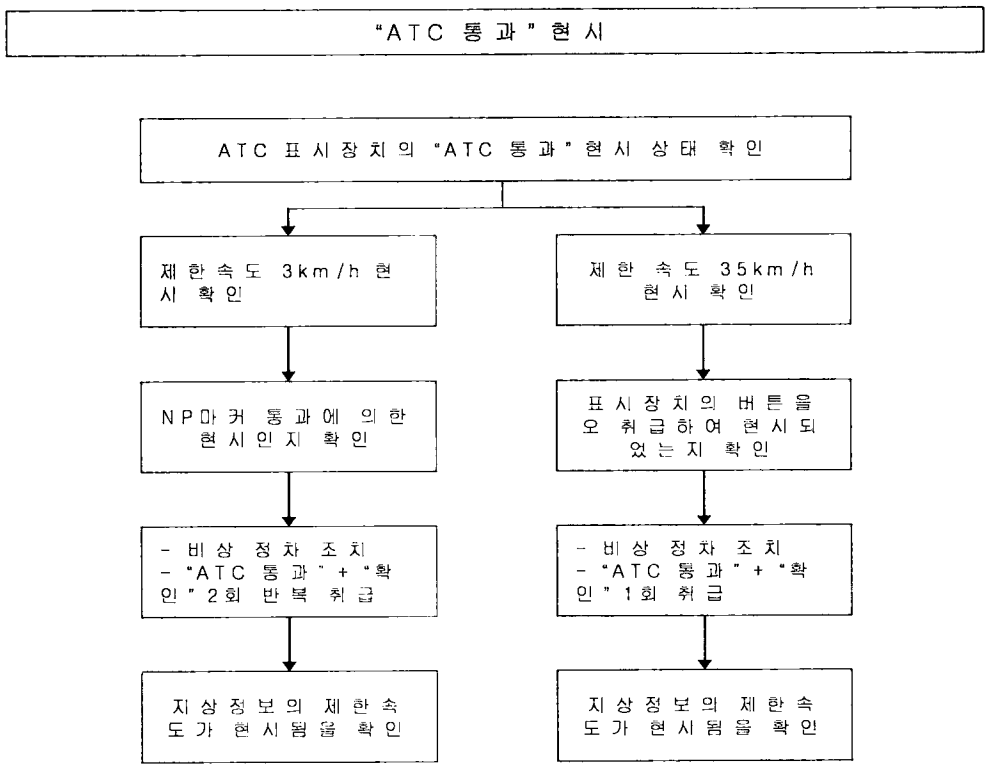


그림 3.29 "ATC 통과" 현시시 조치사항

다. 신뢰성 환경 시험

ATC의 제어기에 사용되는 DO보드에 대한 신뢰성 시험이 수행하였다. DO보드의 신뢰성 시험은 예측한 MTBF의 만족 여부를 가속 수명 시험을 통해서 확인하는 것으로써 65℃의 온도에서 1,808 시간(약 75일)을 시행하는 것을 목표로 삼고 있다.

이를 위해서 서브랙에 DO보드를 4장 설치하여 구성을 하였으며 DO보드로부터 10초마다 정보를 수신하여 저장하도록 세트를 구성하여 시험하였다.

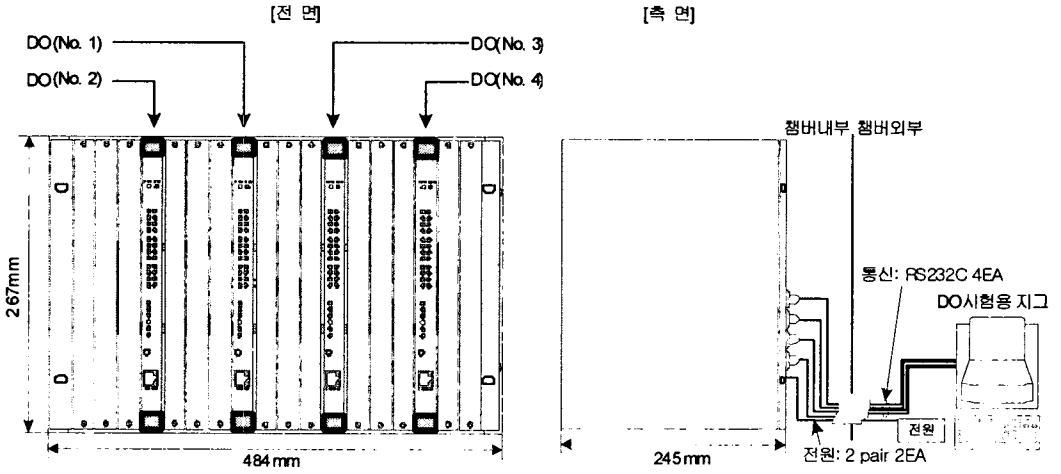


그림 3.30 실험장비의 구성

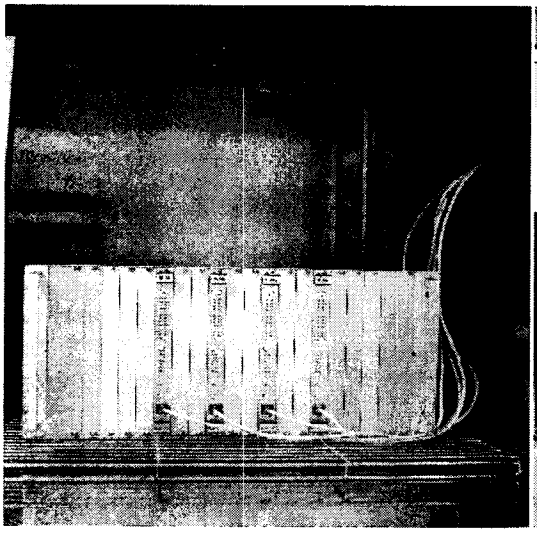


그림 3.31 시험용 서브랙

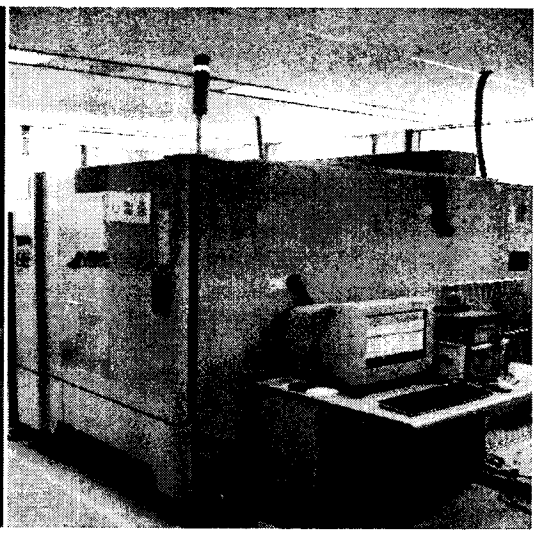


그림 3.32 시험용 지그

다음은 각각의 DO보드에서 시험용 지그로 전달되는 메시지의 일부이다. DO 보드는 전원이 투입된 이후로 시간이 누적되어 10초마다 출력 데이터를 바꾸어 출력을 보내며 보드의 상태는 Status 값을 보고 판단할 수 있다. 전송 데이터가 다음과 같다.

```
=> 40day 23hour 20min 0sec , Data =  80000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 20min 10sec , Data =  100000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 20min 20sec , Data =  200000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 20min 30sec , Data =  1, Board Status = 0
=> 40day 23hour 20min 40sec , Data =  2, Board Status = 0
=> 40day 23hour 20min 50sec , Data =  4, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 0sec , Data =  8, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 10sec , Data =  10, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 20sec , Data =  20, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 30sec , Data =  40, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 40sec , Data =  80, Board Status = 0
=> 40day 23hour 21min 50sec , Data =  100, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 0sec , Data =  200, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 10sec , Data =  400, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 20sec , Data =  800, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 30sec , Data =  1000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 40sec , Data  2000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 22min 50sec , Data =  4000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 0sec , Data =  8000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 10sec , Data =  10000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 20sec , Data =  20000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 30sec , Data =  40000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 40sec , Data =  80000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 23min 50sec , Data =  100000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 0sec , Data =  200000, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 10sec , Data  1, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 20sec , Data =  2, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 30sec , Data =  4, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 40sec , Data  8, Board Status = 0
=> 40day 23hour 24min 50sec , Data =  10, Board Status = 0
=> 40day 23hour 25min 0sec , Data =  20, Board Status = 0
=> 40day 23hour 25min 10sec , Data  40, Board Status = 0
```

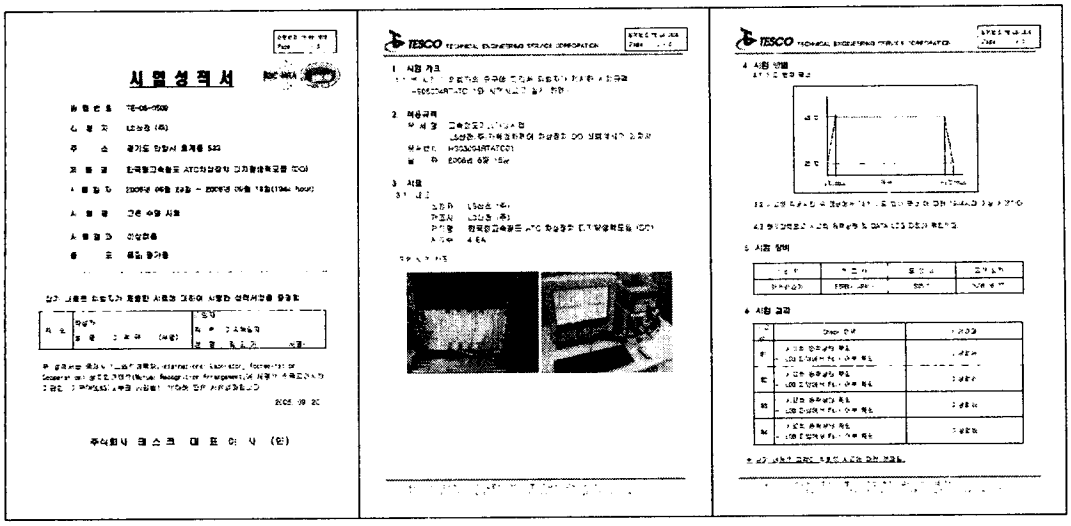


그림 3.33 자동열차제어장치 디지털출력모듈의 시험성적서

5. 5차년도 연구개발내용 및 결과

가. 현장 중점검

2007년 5월 7일 중점검기간 후반에 시운전에 앞서서 ATC장치의 기능 점검과 지상 송신기에 의한 ATC신호 수신 시험을 수행하였다.

(1) 작업내용(PC1, PC2 공통)

① ATC 제어기와 운전화면의 부팅 점검 시행

② 지상의 연속정보 송신기에 의한 연속 속도 정보 수신 확인

- RRR - 90 - 170 - 230 - 270 - 300 속도 정상 수신 확인

③ 과속에 의한 비상제동 투입 확인

- 170속도 제한하에서 SPMD에서 202km/h를 전송하여 알람과 비상제동 투입 확인

④ 지상의 불연속정보 송신기에 의한 불연속정보 수신 확인

- 고속선 진입, 기존선 진입 처리
- 절연구간(사구간) 신호 수신 제어
- 가선변경구간 신호 수신 제어

(2) 시험 모습

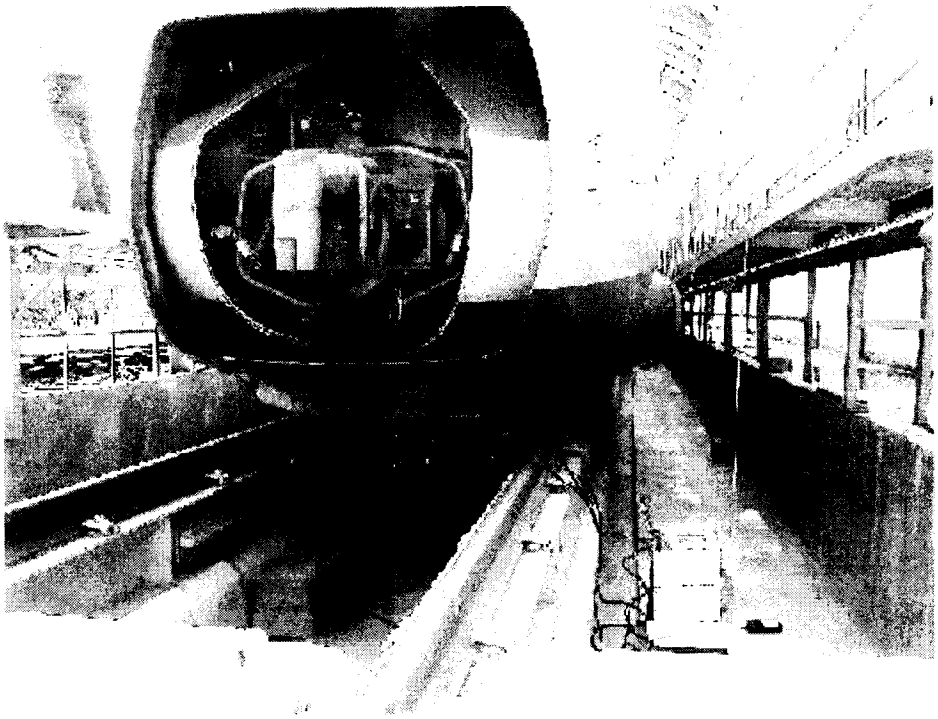


그림 3.34 지상 송신기와 안테나 설치 모습

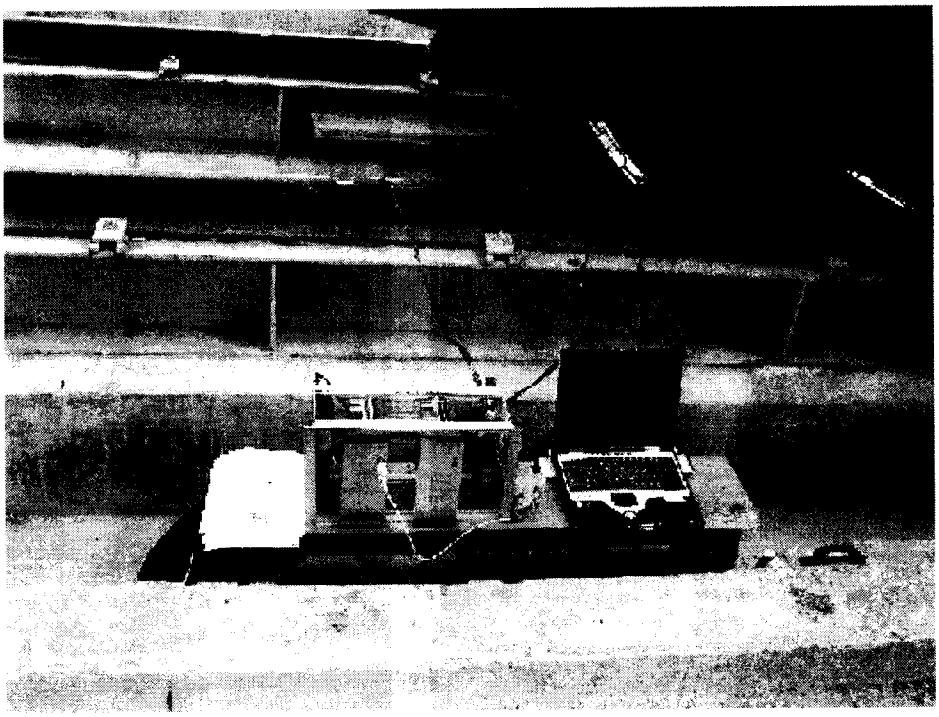
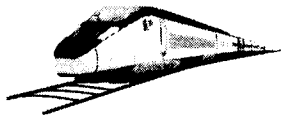


그림 3.35 지상 연속, 불연속 정보 송신기

나. 시험절차서 및 결과보고서

(1) 이중계 상태 표시

한국형 고속열차 5차년도 성능 개선 시험 (KOREA HIGH SPEED TRAIN)	

ATC 운전자 모니터
제어기 이중계 상태 표시

파일명 : 운전자모니터이중계상태표시.doc
워드프로세서 : MS Word 2002

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	1/10

개 정 내 용

번호	개정내용	날짜	작성자	서명	비고
A	최초작성	07.6.26			
B	시험 결과 내용 추가	07.07.10			

	기관명/부서/직급	성명	날짜	서명
시운전단 작성자	LS산전/중앙연구소/		2007. 7.	
시운전단 검토자	한국형고속열차시운전단/개선반장		2007. 8.	
시운전단 승인자	한국형고속열차시운전단/책임자		2007. 8.	

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	2/10

목 차

1. 목적 및 적용범위 ·····4

2. 관련자료 ·····4

3. 시험항목 ·····4

4. 시험장비 ·····4

5. 시험조건 ·····4

6. 시험방법 및 절차 ·····5

시험결과보고서 ·····7

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	3/10

1. 목적 및 적용범위

본 절차서는 한국형 고속열차가 편성되고 정지한 상태에서 ATC 제어기의 이중계 상태를 표시하는 시험에 대하여 규정한다.

2. 관련자료

- HV, LV Schematic Diagram
- Control System Specification

3. 시험 항목

3-1 운전화면상에 ATC 제어기 이중계 상태 표시

3-2 운전화면상에 ATC 제어기 이중계 상태 전환 표시

4. 시험 장비

ATC 제어기 정보 Logging용 컴퓨터

5. 시험 조건

1) 본 시험은 편성열차 정지 상태에서 시행한다.
2) 가선전압 가압상태에서 시행한다.
3) 모든 Connector 연결상태가 양호한지 확인한다.
4) Key ON 및 Battery투입 제어상태로 시험한다.
5) 모든 NFB 및 스위치는 정상상태로 한다.
6) 시험 절차와 안전에 유의하여 시험을 진행 시킨다.

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	3/10

6. 시험 방법 및 절차

6-1 운전자 모니터 표시 초기화 확인

시험 방법	결과 판정 기준
운전자 모니터 전원 투입하여 운전자 모니터 표시 화면의 초기화 완료를 확인한다.	초기 화면의 정상 표시 확인

6-2 Logging 기능 확인

시험 방법	결과 판정 기준
ATC 제어기의 Logging 기능을 확인한다.	노트북 PC와 ATC 제어기를 시리얼 케이블을 이용하여 연결한 후, ATC 제어기로부터 수신한 Logging 데이터가 노트북 PC의 통신 프로그램상에 정상으로 표시되는지 확인

6-3 운전화면상에 ATC 제어기 이중계상태 표시

시험 방법	결과 판정 기준
운전화면상의 이중계 상태를 표시하는 영역의 초기 상태는 1 이 녹색등으로 현시하고 2 는 바탕색인 회색을 표시한다. 이때 녹색 현시된 번호쪽의 제어기 서브랙이 Active이고 회색으로 현시된 쪽이 Standby이다.	운전화면상의 1 이 녹색, 2 는 회색을 현시하는지 확인한다.

6-4 운전화면상에 ATC 제어기 이중계 상태 전환 표시

시험 방법	결과 판정 기준
이중계 상태를 표시를 시험하기 위해서 Active / Standby 수동 절체를 수행하고 고장 상태를 표시하는 시험을 위해서 서브랙의 전원을 OFF하여 시험을 진행한다. l 1계, 2계 Active / Standby 전환 표시 l 1계 고장 상태 표시 l 2계 고장 상태 표시 l 1계, 2계 고장 상태 표시	절체시에 ATC 운전화면에서 1 과 2 의 현시 색상이 상호 바뀌는지 확인하고 단일계의 고장시에 고장계의 현시색상이 노랑색으로 바뀌는지, 그리고 1,2계 모두 고장시에 붉은색으로 현시하는지 확인한다.

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	5/10

시험 결과 보고서

시험명	ATC 운전자 모니터 제어기 이중계 상태 표시 시험		시험항목코드		REV	B
시험구분	성능개선 시험		차종	한국형 고속열차		
시험일시	2007. 7. 5.	시험환경	온도: 27.9 ℃	습도: %	날씨: 흐림	
계측장비						

1. 운전화면상에 ATC 제어기 이중계 상태 표시

시험 항목	시험 결과			판 정
	판정 기준	결 과		
		PC1	PC2	
1) ATC 제어기의 초기 상태 표시	ATC 운전화면상에서 1 이 녹색, 2 는 회색을 현시하는지 확인			

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	7/10

2. 운전화면상에 ATC 제어기 이중계 상태 전환 표시

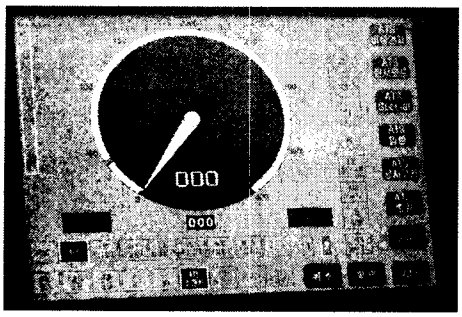
시험 항목	시험 결과			판 정
	판정 기준	결 과		
		PC1	PC2	
1) 1계 Standby, 2계 Active 전환 표시	운전화면에서 1 이 회색, 2 이 녹색 현시 확인			
2) 1계 Active, 2계 Standby 전환 표시	운전화면에서 1 이 녹색, 2 이 회색 현시 확인			
3) 1계 고장 상태 표시	운전화면에서 1 이 노랑색, 2 이 녹색 현시 확인			
4) 2계 고장 상태 표시	운전화면에서 1 이 녹색색, 2 이 노랑색 현시 확인			
5) 1계, 2계 고장 상태 표시	운전화면에서 1 과 2 가 붉은색 현시 확인			

구 분	한국형고속열차시운전단						비 고
	검사자				검토자	확인자	(협 조)
소 속	LS산전	LS산전	신뢰성 시험반		개선반장	책임자	신뢰성 시험반장
성 명							
서 명							

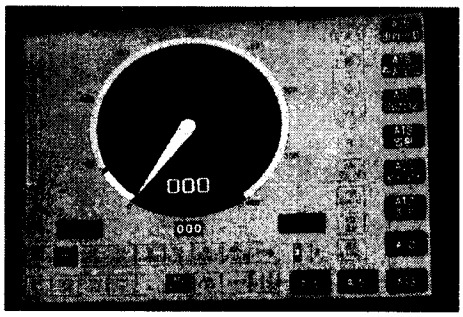
날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	8/10

시험 첨부 자료

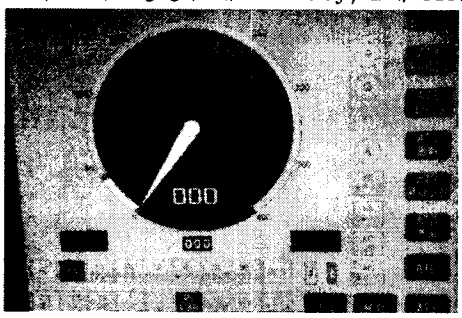
1. 사진 자료



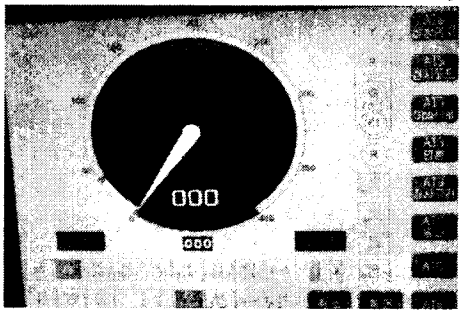
1계, 2계 모두 정상(1계 Standby, 2계 Active)



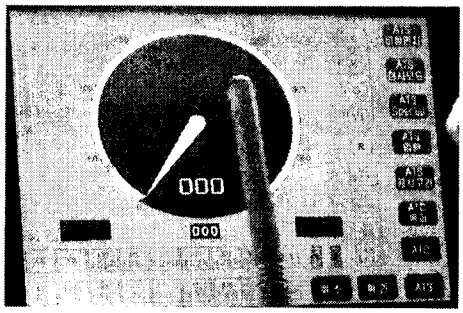
1계, 2계 모두 정상(1계 Active, 2계 Standby



1계 고장, 2계 정상(Active)



1계 정상(Active), 2계 고장



1계, 2계 모두 고장

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	9/10

2. 로깅 자료

(1) ATC2를 Active로 전환

> this is ATC1

Local_DO_Fail = 0 | Remote_DO_Fail = 0

Local_Active = 0 | Remote_Active = 1

Local_WD_En = 1 | Remote_WD_En = 1

Local_CPU_OK = 1 | Remote_CPU_OK = 1

State Transition occurred on THU JUL 05 09:32:05 2007

(2) ATC1을 Active로 전환

> this is ATC1

Local_DO_Fail = 0 | Remote_DO_Fail = 0

Local_Active = 1 | Remote_Active = 0

Local_WD_En = 1 | Remote_WD_En = 1

Local_CPU_OK = 1 | Remote_CPU_OK = 1

State Transition occurred on THU JUL 05 09:33:25 2007

(3) ATC1을 전원 Off하여 ATC2를 Active로 전환

> this is ATC2

Local_DO_Fail = 0 | Remote_DO_Fail = 0

Local_Active = 1 | Remote_Active = 0

Local_WD_En = 1 | Remote_WD_En = 0

Local_CPU_OK = 1 | Remote_CPU_OK = 0

State Transition occurred on THU JUL 05 09:54:16 2007

(4)ATC2를 전원 Off하여 ATC1을 Active로 전환

> this is ATC1

Local_DO_Fail = 0 | Remote_DO_Fail = 0

Local_Active = 1 | Remote_Active = 0

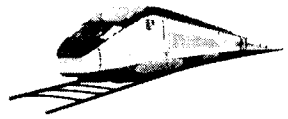
Local_WD_En = 1 | Remote_WD_En = 0

Local_CPU_OK = 1 | Remote_CPU_OK = 0

State Transition occurred on THU JUL 05 09:57:02 2007

<table>
<tr><td>날짜</td><td>개정번호</td><td>날짜</td><td>개정번호</td><td colspan="2" rowspan="2">작성기관명: LS 산전</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>2007. 7.</td><td>B</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2007. 6.</td><td>A</td><td></td><td></td><td>WBS No :</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>시험항목코드 :</td><td>10/10</td></tr>
</table>

(2) 불연속 정보 수신 시험

한국형 고속열차 5차년도 성능 개선 시험 (KOREA HIGH SPEED TRAIN)	

ATC 불연속정보 수신 시험절차서

파일명 : 불연속수신시험절차서.doc
워드프로세서 : MS Word 2002

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	1/14

개 정 내 용

번호	개정내용	날짜	작성자	서명	비고
A	최초작성	07.6.26			
B	시험 결과 내용 추가	07.07.10			

	기관명/부서/직급	성명	날짜	서명
시운전단 작성자	LS산전/중앙연구소/		2007. 7.	
시운전단 검토자	한국형고속열차시운전단/개선반장		2007. 8.	
시운전단 승인자	한국형고속열차시운전단/책임자		2007. 8.	

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	2/14

목 차

1. 목적 및 적용범위 ·····4

2. 관련자료 ·····4

3. 시험항목 ·····4

4. 시험장비 ·····4

5. 시험조건 ·····4

6. 시험방법 및 절차 ·····5

시험결과보고서 ·····7

시험첨부자료 ·····9

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	3/14

1. 목적 및 적용범위

본 절차서는 한국형 고속열차가 편성되고 정지한 상태에서 ATC 불연속정보 수신 시험에 대하여 규정한다.

2. 관련자료

- HV, LV Schematic Diagram
- Control System Specification

3. 시험 항목

3-1 ATC 불연속 정보 수신 및 처리 기능 시험

3-2 운전 모니터 표시 확인

4. 시험 장비

- ATC 불연속 정보 송신 시뮬레이터
- ATC 제어기 정보 Logging용 컴퓨터

5. 시험 조건

1) 본 시험은 편성열차 정지 상태에서 시행한다.
2) 가선전압 가압상태에서 시행한다.
3) 모든 Connector 연결상태가 양호한지 확인한다.
4) Key ON 및 Battery투입 제어상태로 시험한다.
5) 모든 NFB 및 스위치는 정상상태로 한다.
6) 시험 절차와 안전에 유의하여 시험을 진행 시킨다.

6. 시험 방법 및 절차

6-1 시뮬레이터 기동 확인

시험 방법	결과 판정 기준
ATC 불연속 정보 송신 시뮬레이터의 전원을 투입하여 정상 동작 여부를 확인한다.	시뮬레이터의 전면 LED 'WD' 의 점멸 확인

6-2 운전자 모니터 표시 초기화 확인

시험 방법	결과 판정 기준
운전자 모니터 전원 투입하여 운전자 모니터 표시 화면의 초기화 완료를 확인한다.	초기 화면의 정상 표시 확인

6-3 Logging 기능 확인

시험 방법	결과 판정 기준
ATC 제어기의 Logging 기능을 확인한다.	노트북 PC와 ATC 제어기를 시리얼 케이블을 이용하여 연결한 후, ATC 제어기로부터 수신한 Logging 데이터가 노트북 PC의 통신 프로그램상에 정상으로 표시되는지 확인

6-4 ATC 불연속 정보 수신 시험

시험 방법	결과 판정 기준
ATC 불연속 정보 송신 시뮬레이터를 이용하여 다음의 정보를 전송한다. l ATC Arming / Disarming 정보 l 절연구간(사구간) 예고 l 가선변경구간 예고 차량 하부의 Loop를 통해서 송신한 정보를 차상 불연속 안테나에서 수신하여 ATC 제어기에 연결한 Logging 용 컴퓨터에서 수신정보 확인한다.	송신 시뮬레이터에서 전송한 정보와 ATC 제어기 정보 Logging용 컴퓨터의 수신 정보를 상호 비교한다.

6-5 운전자 모니터 표시 확인

시험 방법	결과 판정 기준
지상 송신 시뮬레이터에서 각각의 정보를 전송하면 수신한 정보를 ATC의 연산을 거쳐서 운전 화면상에 상태를 정상적으로 표시하는지의 여부를 확인한다. l ATC Arming시에는 ATC 모드 표시를 확인 l ATC Disarming시에는 ATS 모드 표시를 확인 l 절연구간 예고시에는 사구간 표시를 확인 l 가선변경구간 예고시에는 가선변경구간 표시를 확인 사구간 & 가선변경구간 표시는 지상신호를 원상 복귀해도 열차가 정지상태에서 시험하므로 계속 현시상태로 유지되어야 한다.	ATC 운전화면에서 ATC, ATS, 사구간, 가선변경구간 표시가 현시되는 지 확인한다.

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	6/14

시험 결과 보고서

시험명	ATC 불연속 정보 수신 시험		시험항목코드		REV	B
시험구분	성능개선 시험		차종	한국형 고속열차		
시험일시	2007. 7. 5.	시험환경	온도: 27.9 ℃	습도: %	날씨: 흐림	
계측장비						

1. ATC 불연속 정보 수신 시험

시험 항목	시험 결과			판 정
	판정 기준	결 과		
	Logging 내용	PC1	PC2	
1) ATC Arming	Arming/Disarming message was received, Arming cab-signal T1/2 표시			
2) ATC Disarming	Arming//Disarming message was received, entering classical line 표시			
3) 절연구간 예고	Cut current & lower panto - AODJ 표시			정지시 사구간 계속 현시
4) 가선변경구간 예고	Cut current & lower panto - ABP 표시			

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	7/14

2. 운전자 모니터 표시 확인

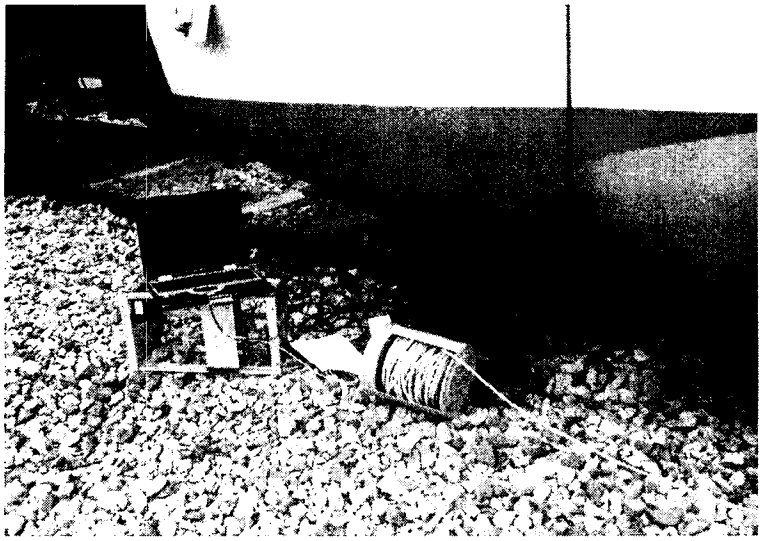
시험 항목	시험 결과			판 정
	판정 기준	결 과		
		PC1	PC2	
1) ATC Arming 표시	ATC 운전화면에 ATC 표시 확인			
2) ATC Disarming 표시	ATC 운전화면에 ATS 표시 확인			
3) 절연구간 예고 표시	ATC 운전화면에 사구간 표시 확인			정지시 사구간 계속 현시
4) 가선변경구간 예고 표시	ATC 운전화면에 가선변경구간 표시 확인			

구 분	한국형고속열차시운전단						비 고
	검사자				검토자	확인자	(협 조)
소 속	LS산전	LS산전	신뢰성 시험반		개선반장	책임자	신뢰성 시험반장
성 명							
서 명							

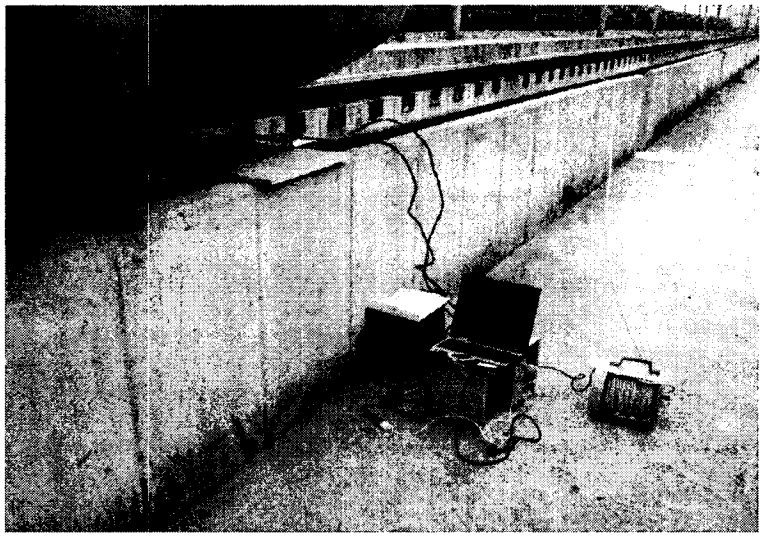
날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	8/14

시험 첨부 자료

1. 사진 자료

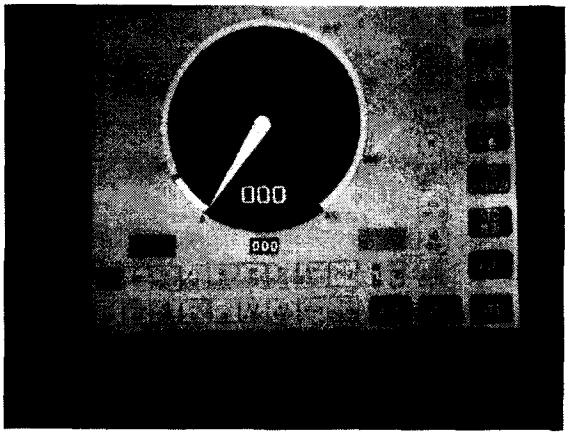


시뮬레이터 세팅(PC1)

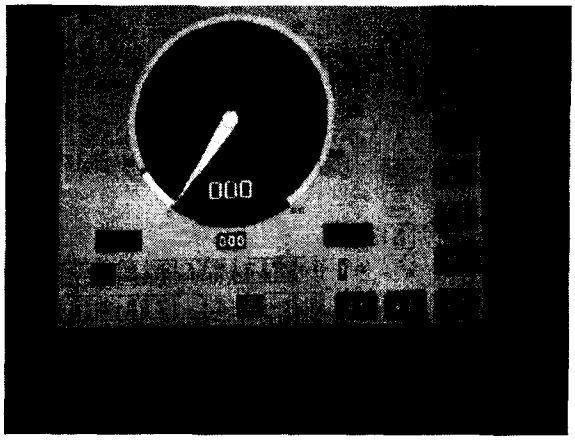


시뮬레이터 세팅(PC2)

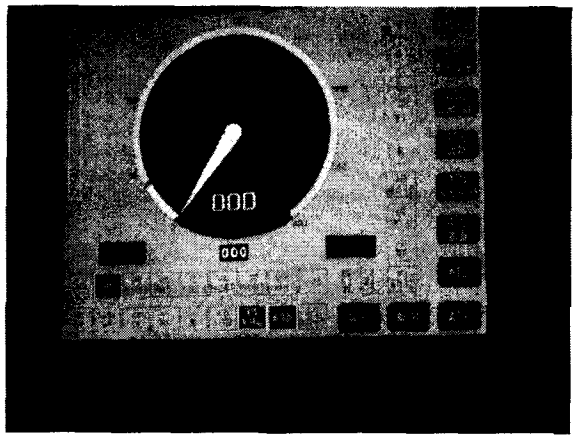
날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	9/14



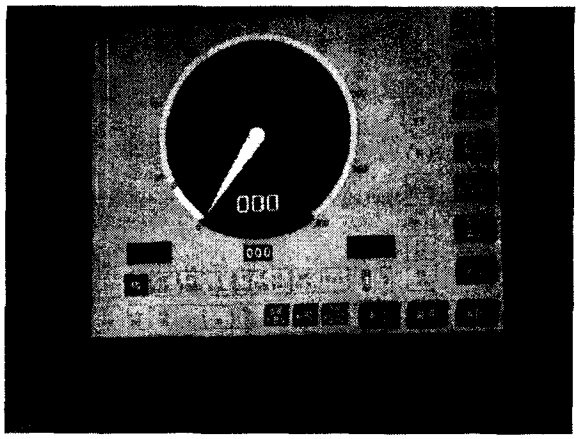
ATC Arming(ATC 표시)



ATC Disarming(ATS 표시)



절연구간(사구간) 예고



표시가선변경구간 예고 표시

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	10/14

2. 로깅 자료

(1) ATC Arming

```
R[42930]:0x 0,
 L[42930]:0x41,
 R[42931]:0x38,
 L[42931]:0x 0,
 R[42931]:0x 0, 0x20, 0x 0, 0x17, 0x 0, RCount = 0
 L[42931]:0x80, 0x 0, 0x 1, 0x 0, 0x41, LCount  = 0
 Intermittent : Arming/Disarming message was received
 Intermittent: arming cab-signal T2
 R[42932]:0x38,
 L[42932]:0x 0,
 L[42932]:0x80, 0x 0, 0x 1, 0x 0, 0x41, LCount  = 0
 From ATC : Tcn_ATC_DISPLAY_CONT_STAT (port No. 324) = 0x1
 From ATC : Tcn_ATC_NEXT_LMTSPEED_VALUE (port No. 325) = 0
 From ATC : Tcn_ATC_BACKUP (port No. 328) = 0x1000
 R[42933]:0x 0,
 L[42933]:0x 0,
 R[42933]:0x20, 0x 0, 0x17, 0x 0, 0x38, RCount = 0
 L[42933]:0x80, 0x 0, 0x 1, 0x 0, 0x41, LCount  = 1
 R[42934]:0x 0,
 L[42934]:0x 0,
 R[42934]:0x20, 0x 0, 0x17, 0x 0, 0x38, RCount = 0
 R[42935]:0x 0,
 L[42935]:0x80,
 R[42935]:0x20, 0x 0, 0x17, 0x 0, 0x38, RCount = 1
 L[42935]:0x 0, 0x 1, 0x 0, 0x41, 0x 0, LCount  = 2
 R[42936]:0x 0,
 L[42936]:0x80,
 L[42936]:0x 0, 0x 1, 0x 0, 0x41, 0x 0, LCount  = 0
to ATS : E05N6782 - 0x2, THU JUL 05 10:34:172007
 R[42937]:0x20,
 L[42937]:0x80,
```

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	11/14

(2) ATC Disarming

```
L[43732]:0xd4,
 R[45291]:0x 0,
 L[45291]:0x 0,
 R[45291]:0x38, 0x 1, 0x20, 0x 0, 0x e, RCount = 0
 R[45292]:0x 0,
 L[45292]:0x41,
 R[45293]:0x38,
 L[45293]:0x 0,
 R[45293]:0x 1, 0x20, 0x 0, 0x e, 0x 0, RCount = 0
 L[45293]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x41, LCount  = 0
 Intermittent : Arming/Disarming message was received
 Intermittent: entering classical line
 From ATC : Tcn_ATC_DISPLAY_CONT_STAT (port No. 324) = 0x22
 From ATC : Tcn_ATC_NEXT_LMTSPEED_VALUE (port No. 325) = 35
 R[45294]:0x38,
 L[45294]:0x 0,
 L[45294]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x41, LCount  = 0
 R[45295]:0x 1,
 L[45295]:0x 0,
 R[45295]:0x20, 0x 0, 0x e, 0x 0, 0x38, RCount = 0
 L[45295]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x41, LCount  = 1
 R[45296]:0x 1,
 L[45296]:0x 0,
 R[45296]:0x20, 0x 0, 0x e, 0x 0, 0x38, RCount = 0
 R[45297]:0x 1,
 L[45297]:0x 0,
 R[45297]:0x20, 0x 0, 0x e, 0x 0, 0x38, RCount = 1
 L[45297]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x41, 0x 0, LCount  = 2
to ATS : B05N1383 - 0x2, THU JUL 05 10:34:582007
 From ATC : Tcn_ATC_BACKUP (port No. 328) = 0x8000
 R[45298]:0x 1,
 L[45298]:0x 0,
 L[45298]:0x 0, 0x 0, 0x 0, 0x41, 0x 0, LCount  = 0
```

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	12/14

(3) 절연구간 예고 신호

```
R[46040]:0xe6,
 L[46040]:0x84,
 R[46827]:0x 0,
 L[46827]:0x 0,
 R[46828]:0x38,
 L[46828]:0x43,
 R[46829]:0x30,
 L[46829]:0x3c,
 R[46830]:0x60,
 L[46830]:0x 0,
 R[46830]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x38, 0x30, RCount = 0
 L[46830]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x43, 0x3c, LCount  = 0
 Intermittent : Cut current & lower panto message was received
              : Cut current message was received
 Intermittent : cut current & lower panto - AODJ
 From ATC : Tcn_ATC_BACKUP (port No. 328) = 0x8200
 R[46831]:0x60,
 L[46831]:0x 0,
 R[46831]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x38, 0x30, RCount = 0
 L[46831]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x43, 0x3c, LCount  = 0
 R[46832]:0x60,
 L[46832]:0x 0,
 R[46832]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x38, 0x30, RCount = 1
 L[46832]:0x 0, 0x d, 0x 0, 0x43, 0x3c, LCount  = 1
 From ATC : Tcn_ATC_PWR_LINE_STAT (port No. 321) = 0x1
 R[46833]:0x60,
 L[46833]:0x 0,
```

날짜	개정번호	날짜	개정번호	작성기관명: LS 산전	
2007. 7.	B			WBS No :	
2007. 6.	A			시험항목코드 :	13/14

다. 가속수명시험

(1) 목 적

본 시험은 LS산전㈜에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 자동열차제어차상장치 (이하 'ATC차상장치')의 구성요소인 연속정보 및 불연속정보 수신모듈에 대한 신뢰성시험을 위한 절차를 기술한 것이다.

(2) 시험목적

본 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써 각각 연속/불연속 정보수신 모듈 4개가 65℃에서 정상동작을 1,944시간(약 81일)이상 수행하는 것을 목표로 하였다.

(3) 시험환경구축

본 신뢰성시험은 그림과 같이 각각의 연속/불연속 정보 수신모듈과 지그로 구성된다. 모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 모듈의 정상동작을 위한 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치한다.

(4) 시험방법 및 결과판정

시험기관에서는 지그에 의해 수행되는 연속 수신보드와 불연속 수신보드 각각의 4대 모듈 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

(가) 로그파일의 기록내용

지그는 아래의 표와 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표 3.51 모듈의 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력 사양

구분	세부구분	전기적 특성	채널 수	기능사항
전원요소	전원	DC 5V ±00V	1	상시 공급
통신 (입출력)	유지보수 콘솔	RS232C	8	보드별로 약 10초에 한번씩 내부 상태정보 출력

(나) 지그의 동작내용

위의 기능사양에 의해 수신한 각 보드의 상태 정보는 지그내의 저장용 프로그램에 의해서 정상 여부를 판단하여 아래의 저장용 프로그램을 통하여 로그파일로 저장된다.

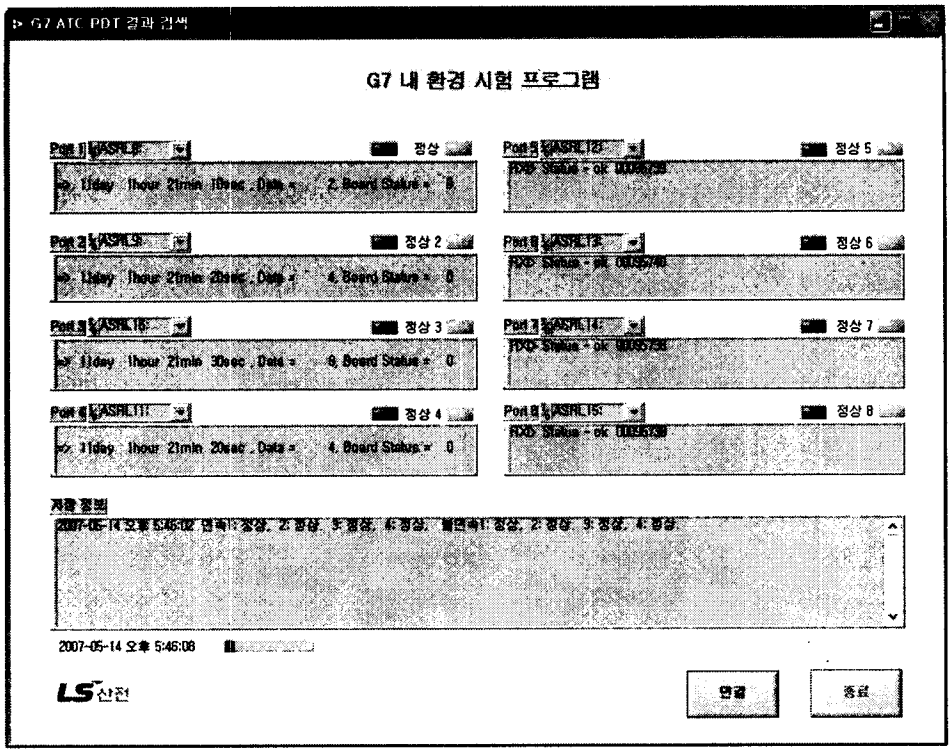


그림 3.36 지그내의 저장용 프로그램

표 3.52 로그파일의 출력 양식

시간	연속 1 ~ 4	불연속 1 ~ 4	비고
YY-MM-DD HH:MM:SS	정상 / 고장	정상 / 고장	약 1분마다 저장

저장의 예)

2007-04-09 오후 1:54:48 연속1: 정상, 2: 정상, 3: 정상, 4: 정상, 불연속1: 정상, 2: 정상, 3: 정상, 4: 정상,

(다) 고장의 판단

동작중인 모듈은 시험목적의 보증시간이 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 따라서 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 검토하여야하며, 만약 연속, 불연속 각각의 모듈 4대 중 하나라도 고장이 발생하는 경우 시험을 중단하고 시험 의뢰자에게 통보한다.

(5) 시험 사진

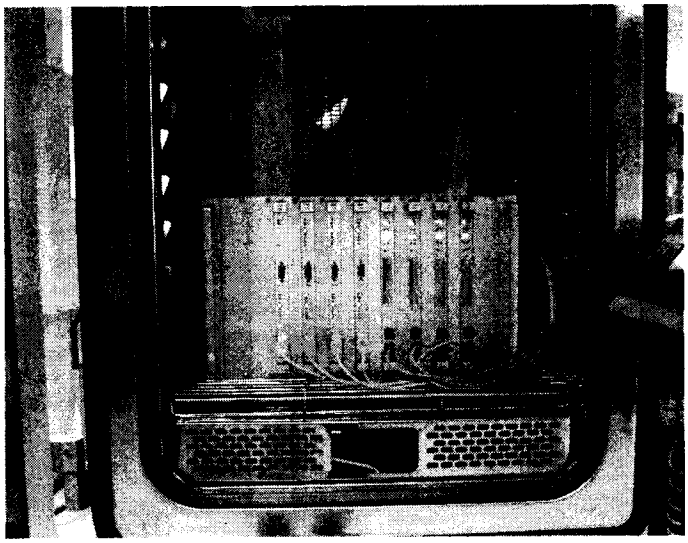


그림 3.37 시험 시료를 챔버에 설치한 모습

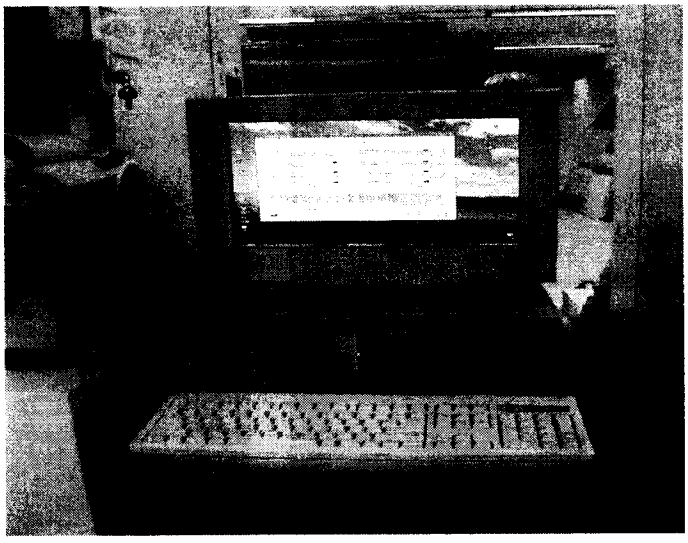


그림 3.38 지그의 설치 모습

(6) 저장된 로그(일부)

2007-05-28 오후 4:03:35	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:04:35	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:05:36	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:06:36	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:07:36	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:08:36	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:09:36	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:10:37	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:11:37	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:12:37	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:13:37	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:14:37	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:15:38	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:16:38	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:17:38	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:18:38	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:19:38	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:20:39	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,
2007-05-28 오후 4:21:39	연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,	불연속1:	정상,	2:	정상,	3:	정상,	4:	정상,

(6) 시험결과

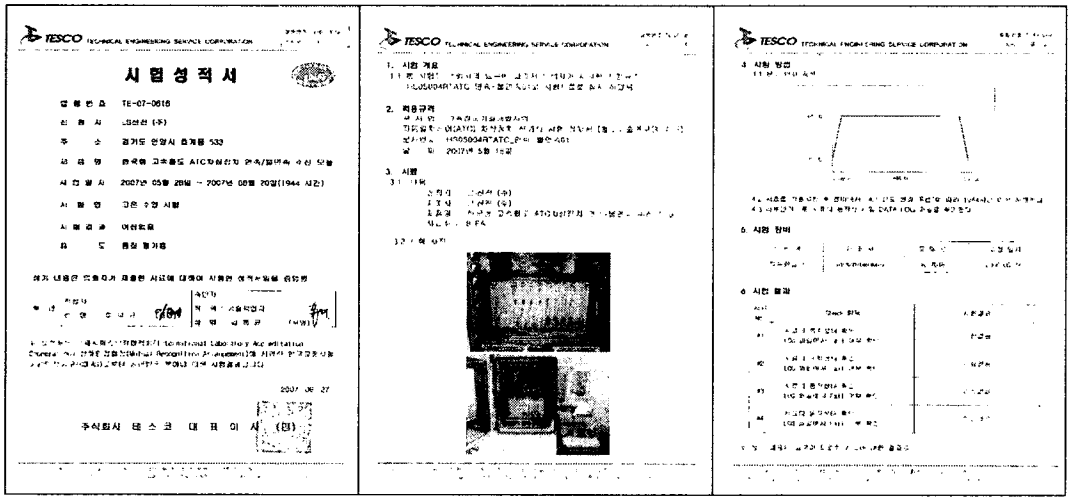


그림 3.39 자동열차제어장치 연속/불연속 수신모듈 시험성적서

제 3 절 전자연동장치 분야

본 장에서는 신뢰성분야에서 수행한 신뢰성 및 안전성 이론연구결과와 자동열차제어장치 및 전자연동장치의 신뢰도예측을 위한 수행하였다. 또한 안전성 활동을 전자연동장치 선로전환기모듈을 대상으로 수행하여 위험측고장률 정량화를 위한 체계의 적절성을 입증하였다.

1. 1차년도 연구개발내용 및 결과

본 시험의 목적은 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 사업으로 개발중인 신호시스템 중 전자연동장치에 대하여 현장 안정화 시험을 통하여 전자연동장치가 실제 운용환경에서의 안정화와 현장 적용을 위한 신뢰성향상을 위해 철도 환경적응 및 각종 연동논리 시험과 소프트웨어와 하드웨어의 기능을 보강하는데 있다.

가. 현장 안정화 방안

(1) 절체 시험 개요

고속철도기술개발사업의 일환인 고속철도 열차제어시스템 안정화 기술개발 과제의 전자연동장치 현장 운용시험 관련하여 기존 전기연동장치를 신설 전자연동장치로의 절체를 위한 작업이다.

(2) 절체방안

(가) 기본개념

차량운행의 중단 없이 연동장치를 시험용 전자연동장치로 교체하기 위하여 신설설비의 시운전이 완료되기 전까지 계전연동설비와 전자연동설비가 일정 기간 동안 공존해야하는 절체공정이 필요하기 때문에 기존설비의 조사와 단계별 절체방안을 확립하여 절체기간동안 안전과 신뢰성을 바탕으로 조업에 영향을 최소화하여 원활한 시운전 시험이 이루어지도록 한다.

구 분	설 비	사용 유무			비 고
		신 설	재사용	절 체	
운영실	Switching HUB	O	-	-	
	LCP	O	-	-	
	작업지시 CTC	-	-	-	
	전원설비(분전반)	O	-	-	
	표시반	-	-	-	
신호기계실	유지보수 CRT	-	-	-	
	연동논리부	O	-	-	
	통신처리부	O	-	-	
	현장단말부	O	-	-	
	분선반	O	-	O	기존분선반 절체
	전원설비	O	-	-	

* 현장설비 및 기계실 현장설비간의 Interface Cable은 기존 설비를 이용함.

(나) 절체 및 신설설비 구성

구 분	설 비	수 량	비 고
전자연동장치	연동논리부	1식	Rack x 1 Unit
	전자단말부	2식	1xIM, 1xPM, 2xSM
	LCP	1식	본체x2, Monitorx1
	통신장치부	1식	
	절체 Panel/분선반	1식	
	전원설비(분전반등)	1식	

(다) 현장설비 제어설비 구성

설 비 명		수 량	제어출력	상태입력	비 고
신호기	주신호기	6	Y,R,G	-	
	중계신호기	3	Y,R,G	-	
	진로선별등	2	On-Off		
폐색장치	폐색표시	8		On-Off	
	폐색제어	6	On-Off	-	
ATS	ATS 전원제어	3	On-Off		
전기선로전환기	쌍동형	2	정/반위	정/반위	
궤도회로		9	-	점유정보	궤도계전기입력

(라) 기본계획

① 전자단말랙은 신호기계실 및 현장에 분산하여 배치하며 Network의 형식은 광케이블을 사용한 이중계로 구성한다.

② 절체공정은 신호기계실내 계전기실에서 이루어지며 절체작업은 현장설비 제어케이블이 인입된 기존 분선반에서 분기하여 실내에서 이루어지는 것으로 한다.

③ 계전기실별로 절체장비의 설치 및 결선작업 후 지역 및 진로별로 구분하여 단계적으로 절체 시운전을 완료하고 최종 절체 완료시 일괄 절체 시험한다.

④ 기존 전원설비에서 신설되는 전자연동장치의 전원용량을 수용하는 것으로 하며 전자연동장치용 전원은 전용 Power Supply를 사용하여 공급한다.

⑤ 현장설비 제어전원은 기존설비를 재사용한다.

⑥ 현장 케이블 및 모든 현장설비는 기존설비를 재사용하는 것으로 한다.

⑦ 건널목경보장치와 전원검지 Line의 절체 및 상태정보는 계전기실의 건널목 제어반에서 인출하는 것으로 한다.

⑧ 절체작업 및 시운전을 위해 연동장치에 의한 제어 및 표시기능의 중단이 불가피하므로 철도청의 협조를 받아 작업시간을 확보하며, 작업의 회수는 연동장치의 운전 중단시간을 최소화 할 수 있도록 철도청과 협의하여 결정한다. (운행에 지장을 받지 않는 야간 시간의 이용 등)

(마) 표시 및 제어정보 입력 과정

① 현장 신호설비(신호기, 선로전환기, 궤도회로 등)를 통하여 발생하는 각종 표시 및 제어정보를 기존 연동장치 및 신설되는 전자연동장치에 입력한다.

- 선로전환기 상태 정보
- 궤도회로 점유상태 정보
- 신호기 상태 정보
- 진로구성등 상태 정보

② 표시 및 제어정보 입력은 절체 과정중 가장 중요한 요소 중의 하나로서 기존 현장 신호설비를 개량하지 않고 재사용하기 때문에 기존 연동장치와 신설되는 연동장치에 관련 정보가 동시에 입력 또는 선택할 수 있는 별도의 절체 장비를 설치한다.

③ 기존 연동장치 및 신설 전자연동장치로 동시에(또는 일부) 입력시키는 작업은 현장 설비 및 실내설비의 상태를 정확히 파악하기 전에 수행하는 것은 매우 불안전하므로 치밀한 사전조사와 계획을 요구하게 된다.

④ 이 정보의 입력과정은 현장 설비 수에 따른 단계를 면밀히 검토하여 운송작업에 최대한 지장 없이 수행하여야 한다.

(바) 표시/제어정보의 처리 과정

표시/제어정보가 입력되면 Fail safe CPU를 사용하여 I/O 단말의 기능을 실현하는 과정이다

① 표시/제어정보는 연동로직 처리를 수행하는 가장 기본적인 요소이므로 정보의 신뢰성이 요구되는 과정이다

② 이 정보를 기본으로 연동로직처리를 하므로 이를 처리, 전달하여 주는 전자단말은 Fail safe CPU를 사용함은 물론 이중계로 구성하여 정보의 신뢰성을 높이는 일이 무엇보다 중요하다.

③ 표시/제어 정보의 용량에 따라 전자단말의 I/O를 적정하게 배분하는 작업은 고유의 System의 기능 실행 주기를 결정하는 요소이다.

(사) 연동로직 연산 처리과정

표시/제어정보를 기본으로 입력 처리된 전자단말로부터 이중계로 구성된 광 Network를 통하여 전송된 Data를 수신하여 이 정보를 연산처리를 하여 CTC에 송신 및 LCP에 신호설비의 상태를 표시한다.

① 전송 Network

안정된 정보 흐름을 유지하기 위하여 이중계로 구성하고 유도 및 외부 환경에 대처 가능한 광케이블로 구성한다.

② 연동처리 Software

연동조건 등을 연동도표에 따라 입력하고 연동 논리 처리를 해석, 실행 할 수 있는 Data를 만들 수 있는 전용의 Compiler이다.

(아) 절체 시스템 Data 흐름도

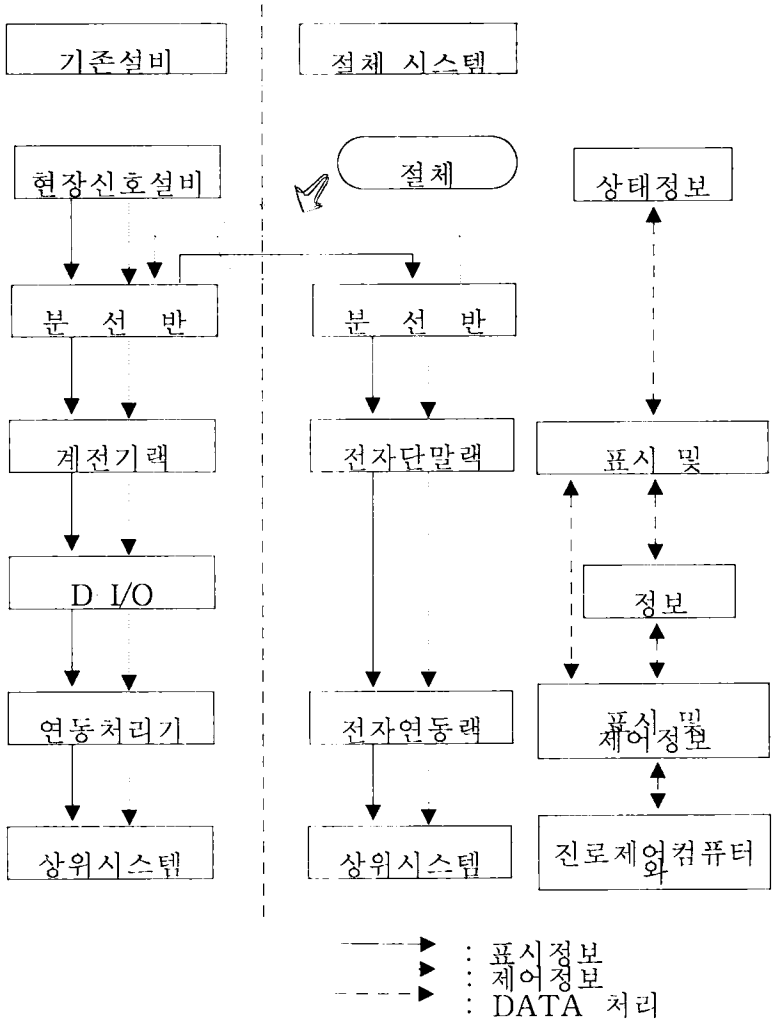


그림 3.40 절체시스템 데이터 흐름도

(3) 절체장비

(가) 주요설비 구성

① 절체분선반 - 신설

절체 작업시 표시/제어정보 입력을 기존 분선반에서 분기하여 계전연동장치 및 신설 전자연동장치에 입력시키기 위한 설비로서 전원용 및 제어/표시용 단자와 절체용 릴레이 및 스위치가 내장된 설비이다.

② 전원설비

기존 전원설비를 이용하며 기존설비 또는 신설 전자연동장치에서 현장 설비로 전원을 일괄 또는 부분 공급할 수 있도록 전원공급장치가 필요하다.

③ 부대설비

기타 부대설비(건널목장치, 전원검지정보 등) 및 DTS와 연결하여 입/출력 처리를 수행하기 위한 Interface용 Relay가 필요하다.

④ 전자단말 장치

현장신호기기와 분선반을 통하여 직접 접속을 하는 2중계 제어 유니트이다.

⑤ 전자연동랙

각 전자단말과 단말회선 경유에 의해 Data Interface를 하며 Main-system, Sub-system의 2중계 운전으로 Hot-standby 방식으로 운전한다.

⑥ 통신부 Network

전자연동장치와 전자단말장치간의 정보송수신을 광케이블을 통해 고속으로 접속시킨다.

(나) 절체 상세 Block Diagram

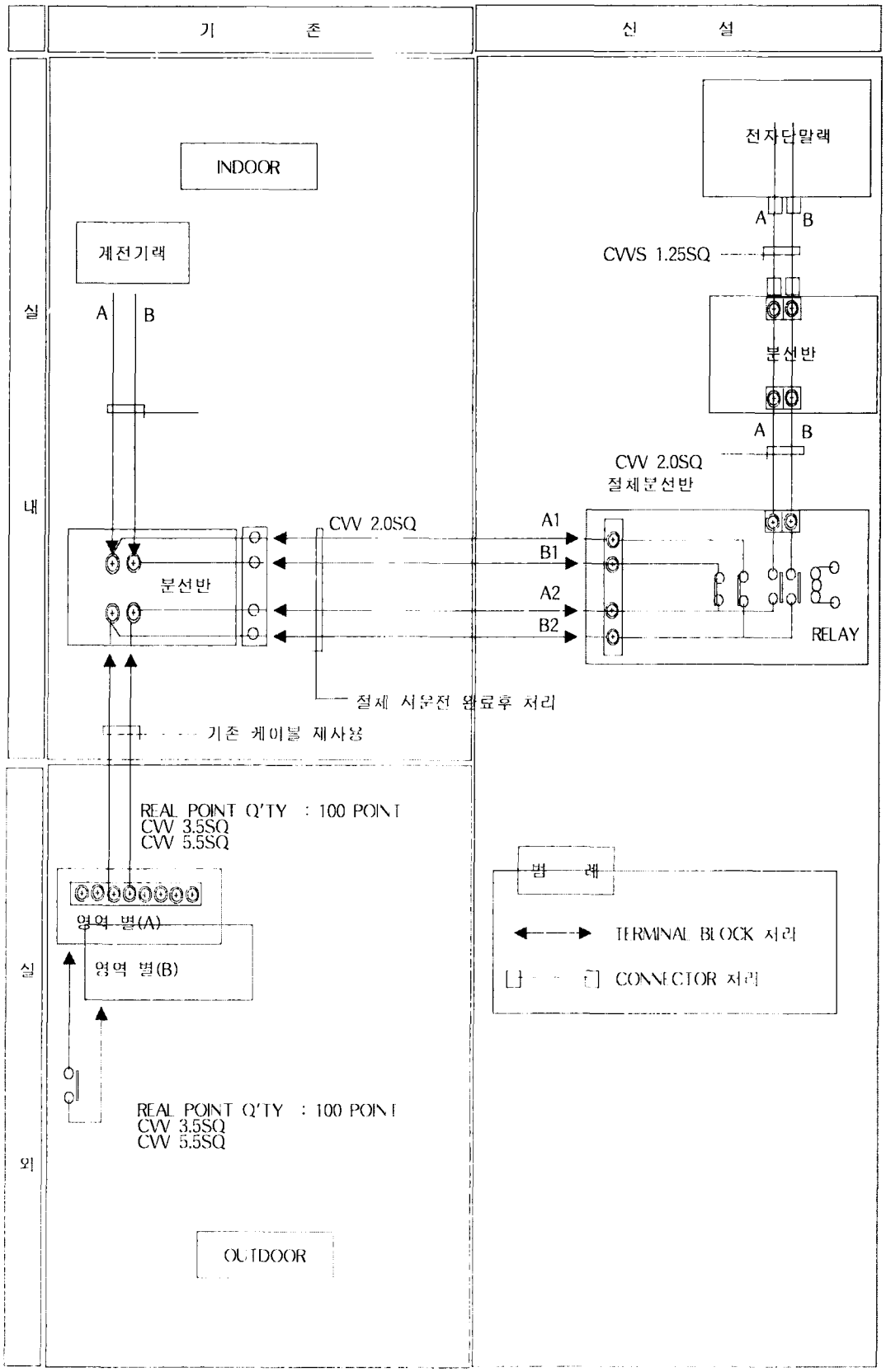


그림 3.41 전체상세 다이어그램

(다) 전원설비

① 전원공급방안

- 현장설비 제어전원은 기존에 사용하고 있는 계전기실 전원을 계전기실 분전반에서 병렬로 분기하여 전자단말랙에 직접 공급하여 사용한다.
- 선로전환기 Motor 및 표시전원, 건널목 경보장치, 기타 현장설비에 공급되는 전원은 기존설비(현장전원)를 재사용한다.(AC, DC)
- 신설 전자연동장치의 전원은 별도 전원 장치를 신설하여 공급한다.

② 전원공급 계통도

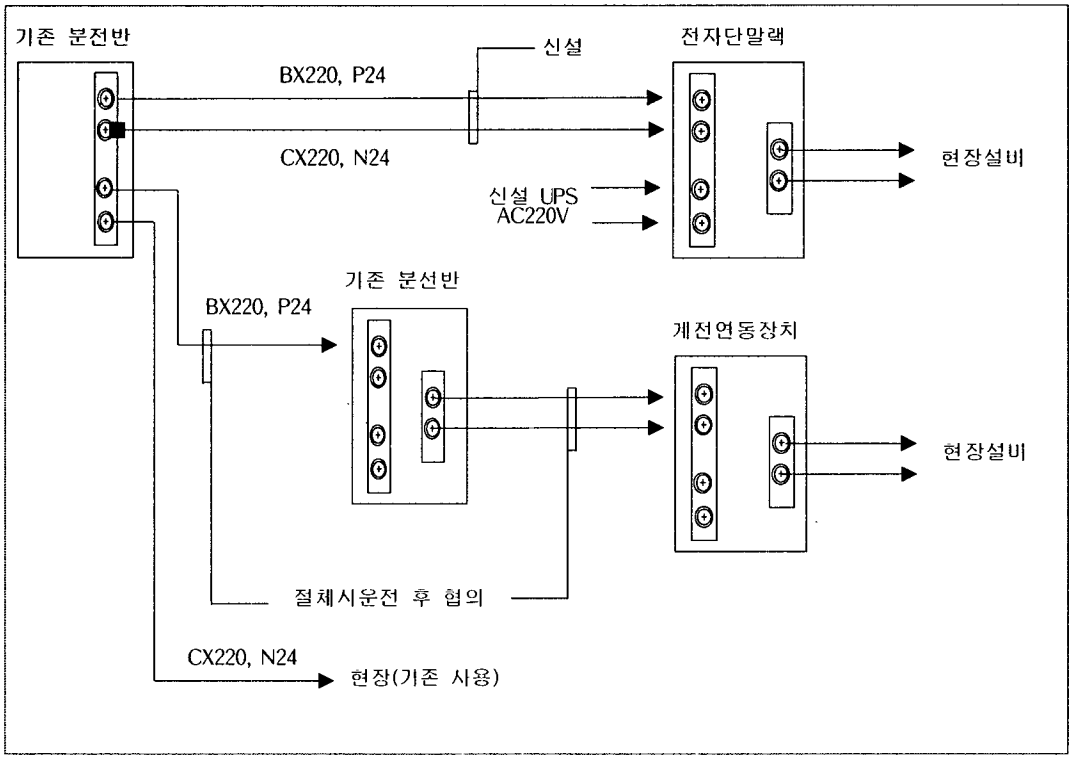


그림 3.42 전원통급계통도

나. 현장시험의 구성

(1) 현장시험 대상역의 구조

전자연동장치개발 현장안정화 시험을 위하여 태백선 청령포역(단선신호장)을 대상역의 규모는 아래와 같다.

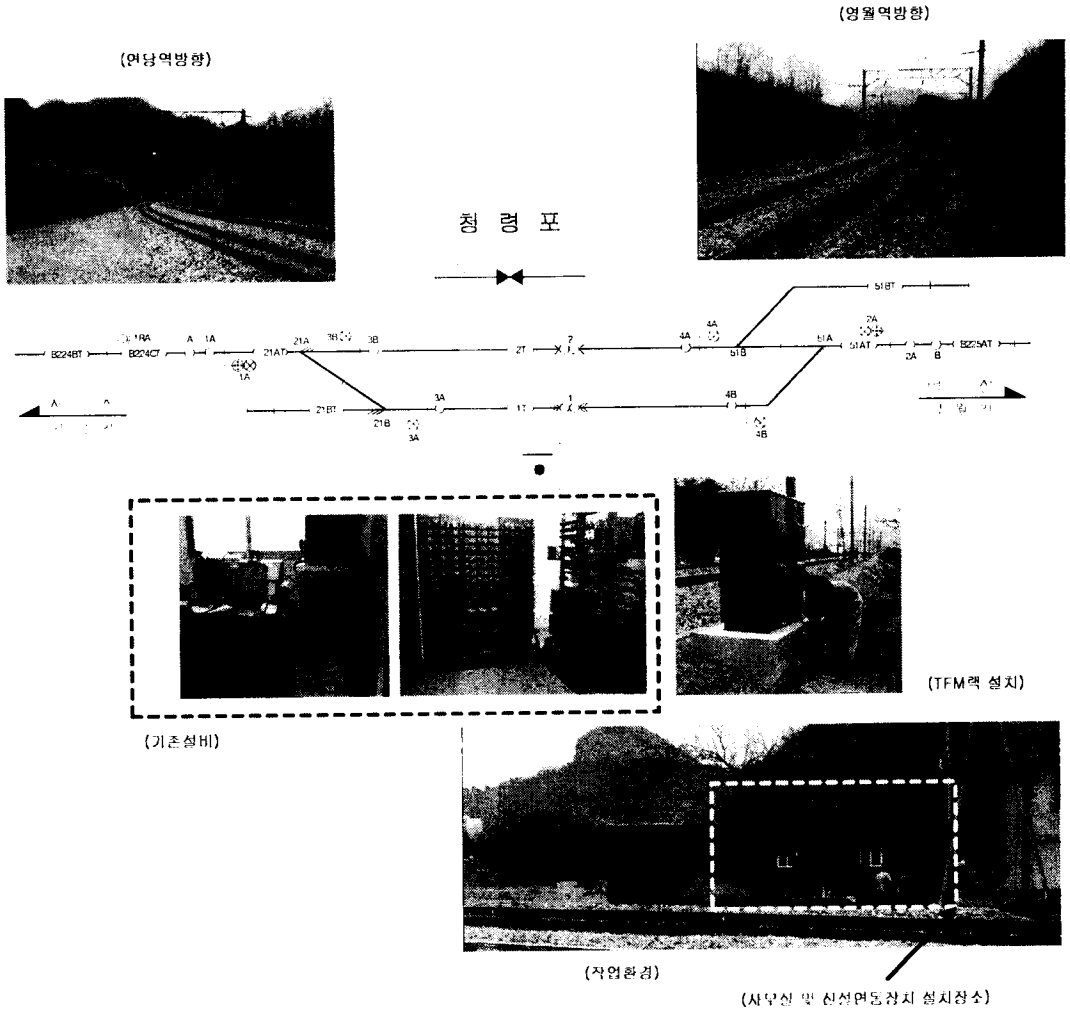


그림 3.43 전자연동장치 현장안정화 시험

(2) 절체시험 인원 편성

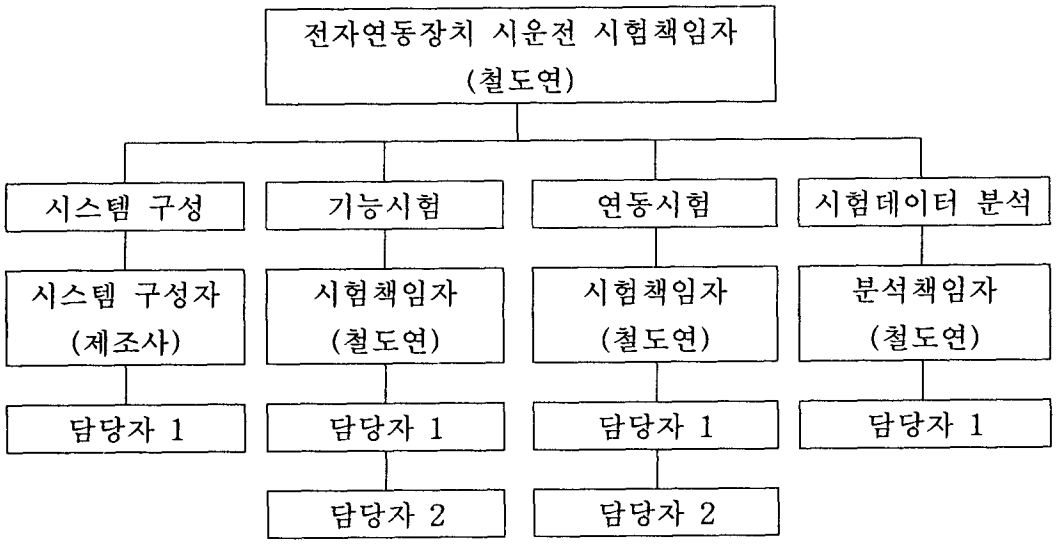
■ 1차 : 연동검사 시험[시공사, 철도기술연구원]

※ 절체작업시험 이전에 연동검사시험 수행

(가) 시험 수행 조직

절체작업 시행전 시공사, 철도기술연구원에서 자체시험 후 지정된 책임 검사자

① 연동검사 시행



② 구성원 임무

구성원		임 무	비고
연구책임자		전자연동장치 시운전시험 총괄	
기능시험	분야책임자	기능시험 총괄	
	담당자 1	기능시험	
	담당자 2	결과 데이터 분석	
연동시험	분야책임자	연동시험 총괄	
	담당자 1	기능시험	
	담당자 2	시험결과 데이터 분석	
시험데이터 분석	분야책임자	시험데이터 분석 총괄	
	담당자 1	시험세부항목별 데이터 분석	

③ 연동검사표의 작성

연동장치의 기능확인을 위해 연동검사 및 각종 시험을 시행하여 연동도표와 동일하게 신호설비가 기능을 발휘할 수 있는가를 판정하는 것으로 이에 대한 방법으로서 연동검사표를 작성하여 검사의 진행내용을 순서대로 자세하게 기재하도록 하여 누가 하여도 동일하게 검사를 하도록 한다. 이 검사순서에 의해 확인사항을 check하여 누락되지 않도록 기능 확인을 실시한다.

④ 연동검사 확인사항

■ 선로전환기 단독 전환시험

- 정,반위 방향 및 쇄정상태와 확인
- 신호전구의 단심 또는 선로전환기 불일치 경보제공 유무

■ 궤도회로 단락시험

- 부정동작 시험
- 궤도회로 단락전후 진로취급시 진로구성상태 확인

■ 철사쇄정시험

- 궤도회로 단락후 선로전환기 전환여부 확인여부

■ 신호취급 선로전환기 연동전환 시험

- 선로전환기를 진로 취급하고자 하는 반대 방향으로 단독 전환시키고 신호 취급하여 해당된 진로로 연동전환 상태 확인
- 신호 취급으로 연동 전환후 진로쇄정여부 확인 및 관계 진로의 선로전환기 단독취급 하여 전환여부 확인

■ 신호제어 및 진로쇄정 시험

- 신호 현시후 관계진로 선로전환기 전환방향 및 진로쇄정상태 확인
- 선택된 진로 신호 취급후 타 진로 신호취급 상호 쇄정상태 확인
- 해당 진로선별 구간외의 관계없는 진로의 정상취급 가능여부 확인
- 해당 진로의 선로전환기 불일치 상태에서 신호현시 여부 확인
- 해당 진로 신호 현시후 선로전환기를 불일치로 할 경우 신호현시 확인
- 궤도 단락후 신호 취급시 현시 여부와 신호 현시후 궤도 단락시 신호 현시 확인

■ 진로제어(쇄정 및 해정) 시험

- 신호취급후 궤도회로 순차적 단락, 복귀시 진로(구분진로) 해정여부 over lap 진로 선로전환기의 본선 도착후 해정여부 확인

■ 접근, 보류쇄정 시험

- 신호현시후 접근(보류쇄정)궤도 단락시 시소시간의 적정여부 확인 (장내 90초±10%, 출발 및 입환신호(표지포함) 30초±10%)
- 쇄정표시 점등 및 섬광표시 동작 확인
- 연동 도표상 접근궤도의 설정과 표시제어부상의 일치여부 확인

■ 기타 쇄정 시험

- 연동도표상 편쇄정, 폐로쇄정에 해당된 궤도의 단락 및 복귀시 신호 현시 상태 확인

■ 신호 현시계열 및 진로표시기 시험

- 신호현시계열에 의한 본선 및 부본선 출발 및 장내의 현시계열 확인
- 장내 및 출발신호기와 진로선별등 진로표시상태 적정여부 확인

■ 진로 취급시 표시제어부의 상태및 구성 정상 확인

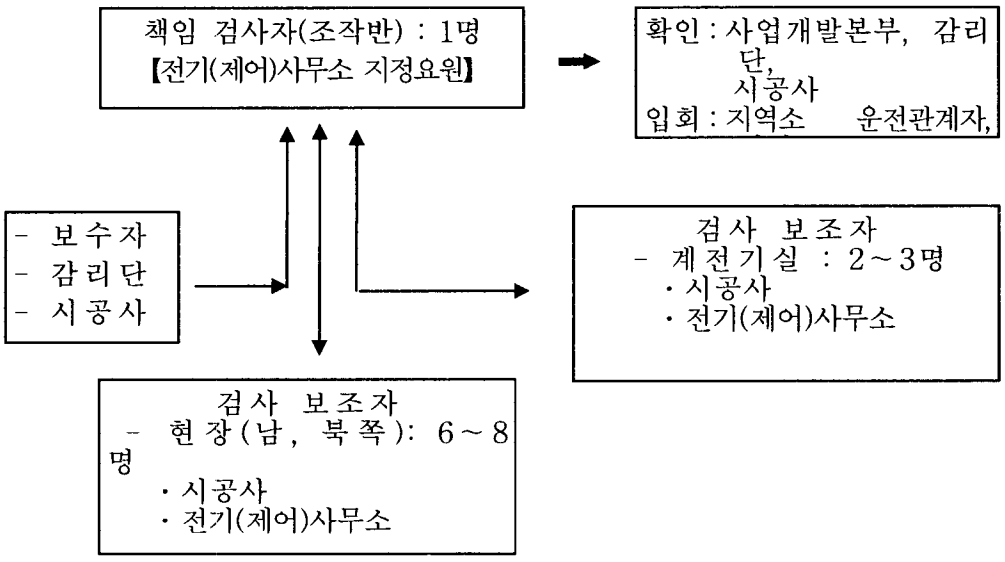
⑤ 절체 작업전 확인사항

신호설비의 종합적인 기능과 연동조건을 확인하는 연동검사로서, 검사누락 또는 미흡한 부분이 있을 경우 열차운전 사고를 초래할 우려가 있으므로, 체계적이고 효율적인 운용관리로 연동장치의 안전도 및 신뢰성을 제고하여 열차안전운행을 확보하기위해 절체 작업전 한국철도기술연구원 안전성능 인증연구 센터로부터 현장 설비가 연결되지 않은 상태에서 자체 연동검사 시험을 시행

■ 2차 : 절체시험[지역 전기(제어)사무소 총괄]

※ 사용중지 시간내에 절체시험을 수행.

(나) 시험수행 조직



① 구성원 임무

조 편 성			비 고
검 사 자	위 치	인원(명)	
책임 검사자	조 작 반	1 명	- 책임자가 사전 임명한 후 절체작업 운전명령에서 지정된자
검사 보조자	계전기실	2 ~ 3 명	- 인원편성은 책임 검사자가 연동검사전 지정한 후 임무부여
	현 장	6 ~ 8 명	
보 수 자	조작반 또는 현장	2 ~ 3 명	- 현장 및 계전기실 보수인원 - 절체시험검사조와 별도로 검사중 오류나 시정사항 발생시 즉시 조치할 수 있는 현장인원을 책임 검사자가 연동검사전 편성하여 임무부여
입회 및 확인자	조작반 및 현장	3 ~ 6 명	- 지역사무소 운전관계자, 역장, 전기(제어)사무소장, 감리단 또는 기타

(3) 절체시험 후 사용개시 정상동작

① 확인사항

절체를 완료하고 사용개시를 위한 첫 열차 운행시 다음사항을 확인

- 해당진로 확인 및 궤도회로, 선로전환기, 신호기 등의 이상유무 확인
- ATS 지상장치의 정상 동작 확인
- 폐색장치 기능 확인
- 사용개시후 신호제반설비 정상동작 확인

② 절체시험검사 관계자(지역사무소, 역장, 감독자, 감리원 시공사 등)와 합동으로 연동검사 및 해당 신호설비 기능을 종합적으로 확인한 후 서명 날인

(4) 절체작업내용 및 위치

- 전기연동장치/전자연동장치 절체 Switch 기능시험 (운전 취급실)
- 전자연동장치 ↔ 태백선 CTC간 정보송수신 시험
- 전자연동장치의 현장설비 제어시험(신호기, 선로전환기, 폐색, ATS등)
- 전자연동장치의 선로전환기 단독시험 및 전기연동장치 연동시험
- 전자연동장치의 연동검사

(마) 세부작업별 작업절차 및 내용

① 전기연동장치/전자연동장치 절체 Switch 기능시험

- 운전취급실에 위치한 절체 Switch 조작에 따른 상호간의 제어차단 및 안전확보여부 확인
- 기능시험은 LOCAL 운전모드상태에서 시행
- 기능시험 절차

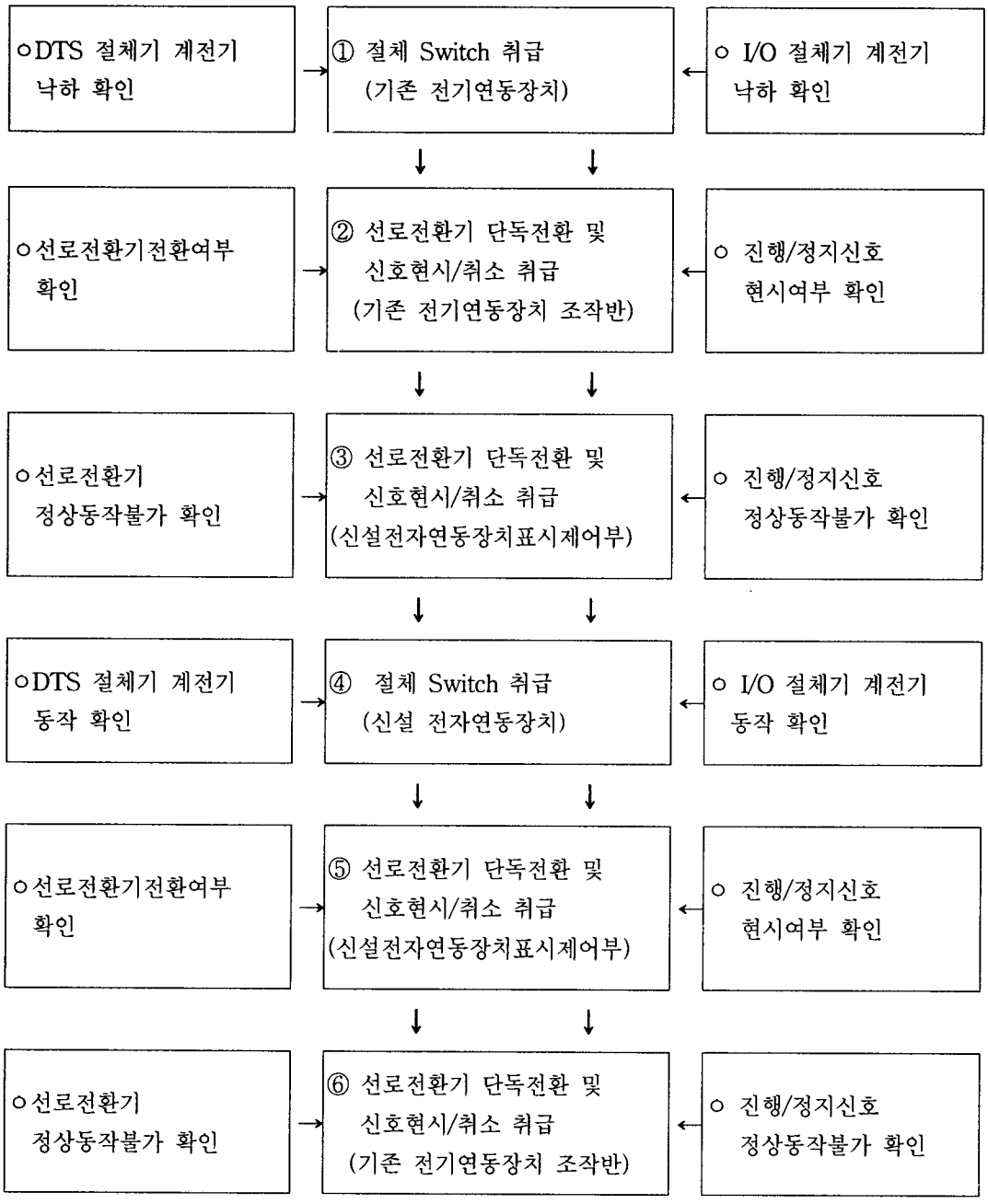


그림 3.44 기능시험절차

② 전자연동장치 ↔ 태백선 CTC 간 정보송수신 시험

- 신호기계실의 LDTS를 통한 CTC와의 송수신정보 정확성 확인
- 신설전자연동장치 운영상태에서 시행
- 운전모드 설정 시험

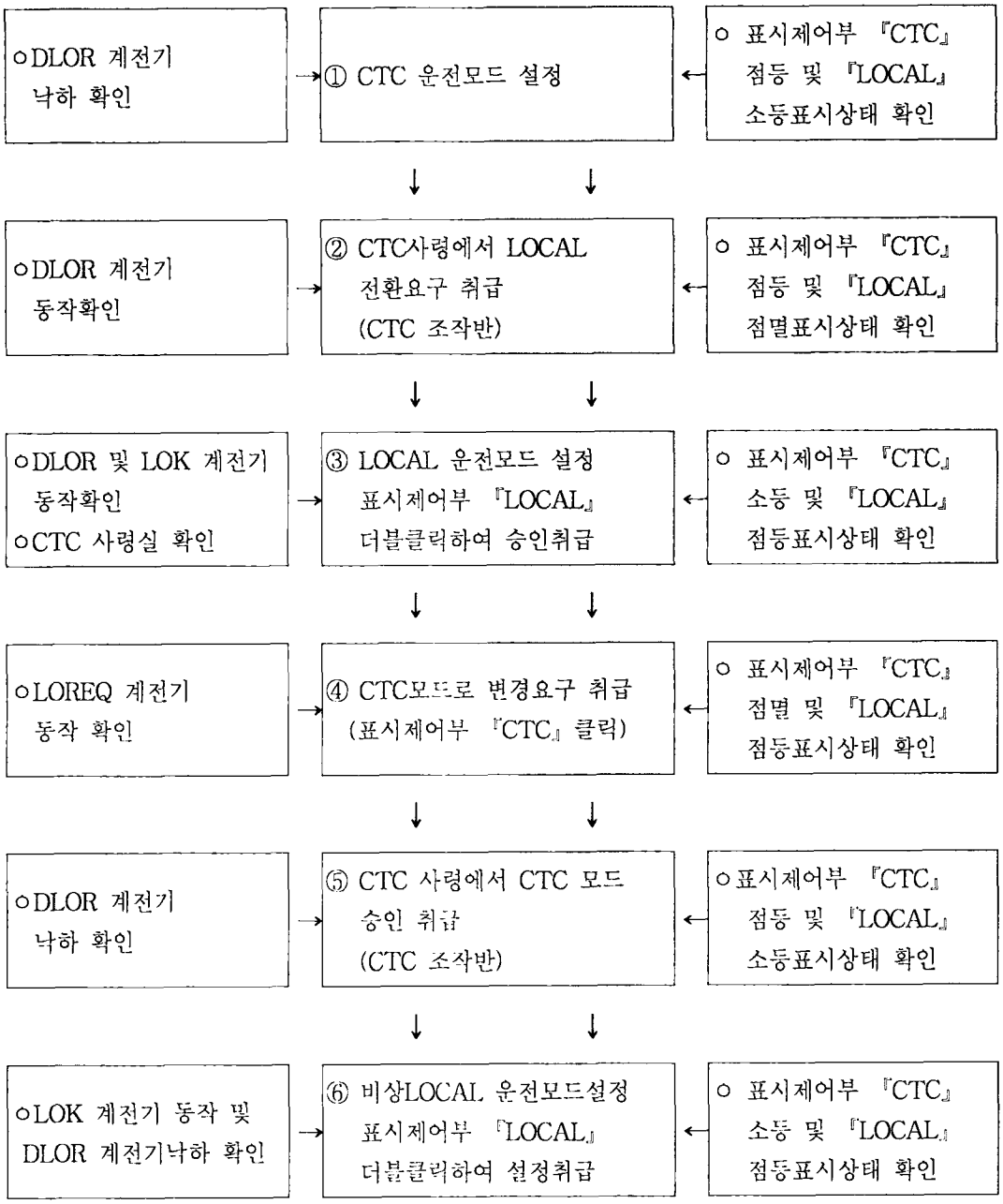


그림 3.45 운전모드 설정시험

■ CTC 제어정보 설정 시험

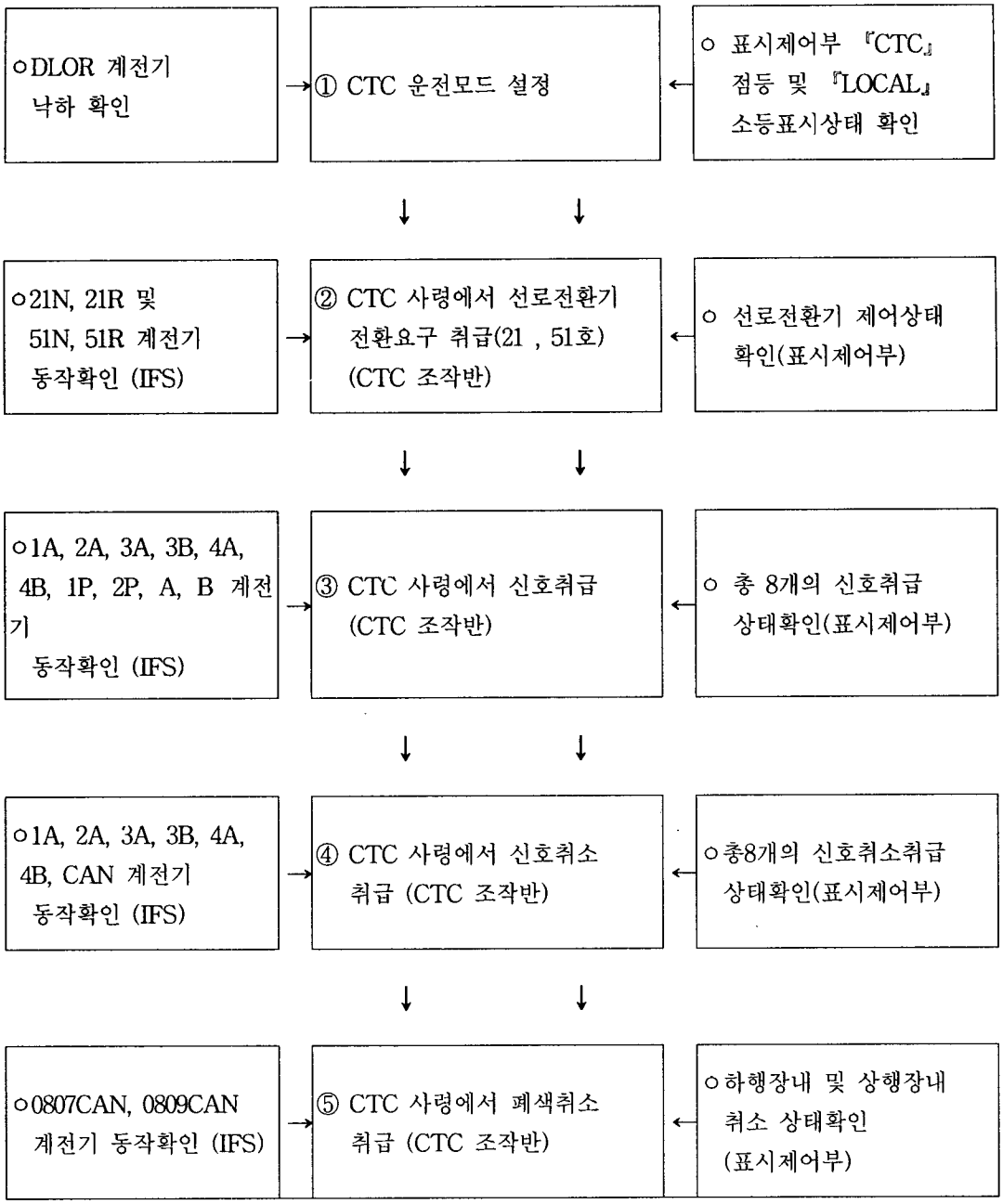


그림 3.46 CTC 제어정보 설정 시험

■ CTC 표시정보 설정 시험



그림 3.47 CTC 표시정보 설정 시험

③ 전자연동장치 현장설비제어 시험

- 현장제어부 및 절체기를 통한 신설 전자연동장치와 현장설비간의 결선 확인
- 제어시험은 LOCAL 운전모드상태에서 시행
- 신호현시 제어 시험



그림 3.48 신호현시 제어시험

■ 선로전환기 제어 시험

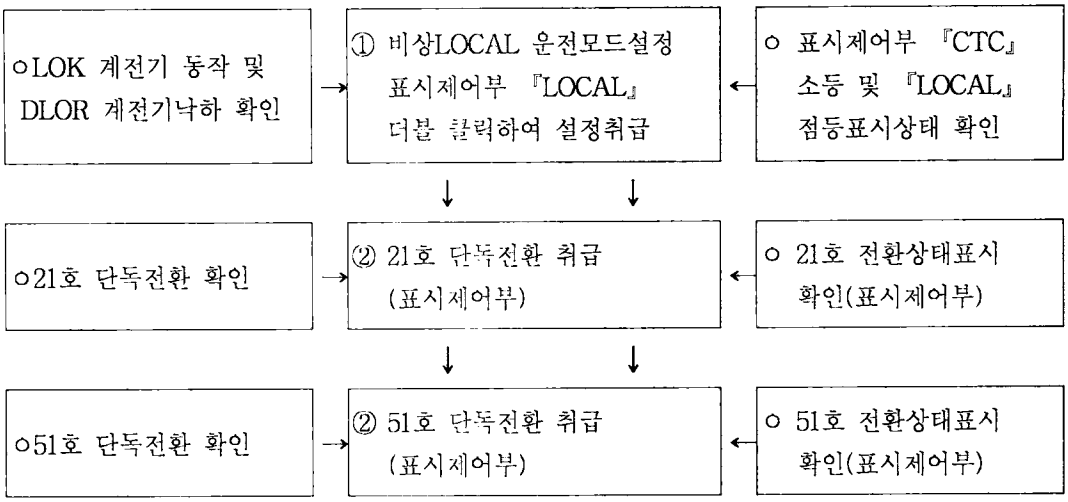


그림 3.49 선로전환기 제어시험

④ 전자연동장치 연동검사 시험

■ 운전취급에 적정을 기하고 열차안전운행을 확보하기 위하여 역구내 신호설비인 신호기, 선로전환기, 궤도회로, ATS 장치, 역간 폐색장치 등과 건널목 보안장치의 종합적인 기능과 연동조건의 확인을 위해 시행

■ 제어시험은 LOCAL 운전모드 상태에서 시행

■ 선로전환기 단독전환시험

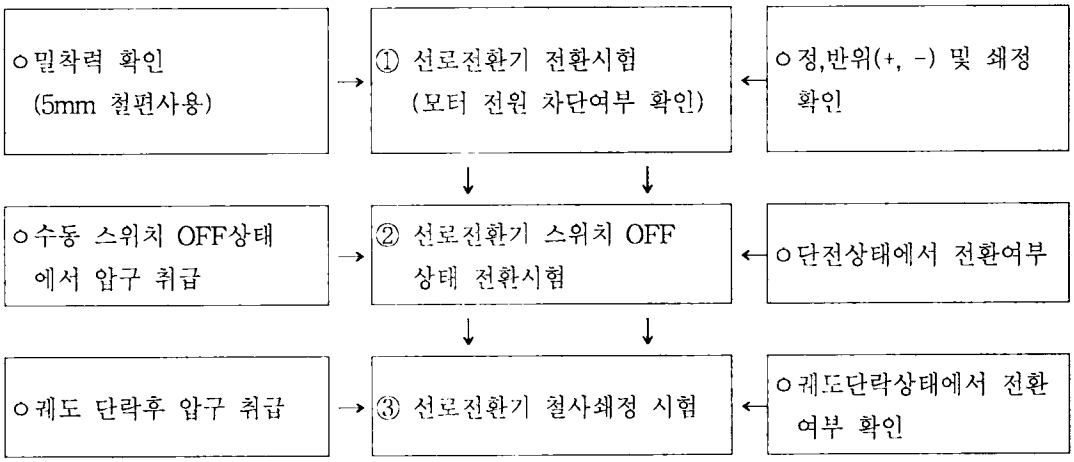


그림 3.50 선로전환기 단독전환시험

■ 연동시험순서

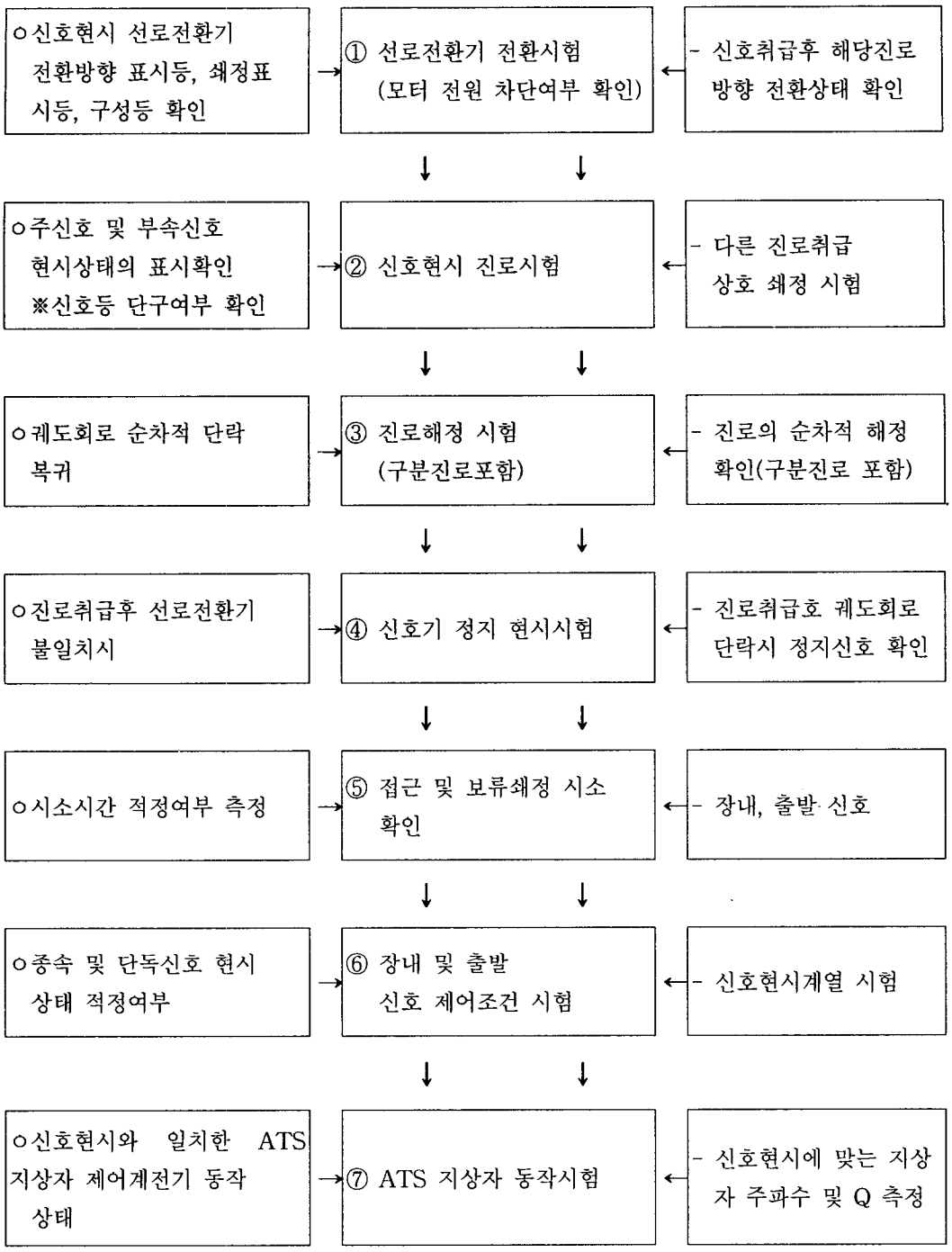


그림 3.51 연동시험순서

다. 현장 온도 변화 시험

(1) 개요

시제품의 실효성을 확인하기 위해서 실시하는 온도 변화시험은 전기, 전자 및 프로그램된 전자 장비에서 특히 중요하다. 이러한 전자소자들은 모두 장시간 사용하면 열이 나는 특성이 있다. 실시간 열차운행으로 인해 현장 선로변에 설치 되어있는 신호기모듈, 선로전환기모듈, 궤도회로모듈 등 현장제어부 함체 내부 장비들이 장시간 운용으로 고장이 나지 않을까하는 걱정이 들지만 오히려 뜨거워지는 것이 정상이고 원활히 잘 동작하고 있다는 것을 반증해준다. 반대로 외부에서 열을 느낄 수 없다면, 내부에서 발생한 열이 시스템 내부에 그대로 존재한다는 뜻이고, 이런 상황이 오래 지속되면 시스템이 다운되어 기계고장의 원인이 될 수도 있다. 함체 내부에는 열을 방출, 신속히 그 열을 식혀주며 열전도율이 구리보다 수백배 높은 냉각장치인 히트파이프가 내장되어있다. 이는 아무런 동력이 필요없이 발생열을 외부로 배출할 수 있는 부품으로, 무동력의 자연냉각방식이기 때문에 팬에서 발생하는 소음이 없다. 현장 선로변에 노출되어 있는 TFM Rack내의 Air to-Heat Pipe 열교환기가 내장된 함체에 온도센서를 설치하고 전원을 투입 하여 동작을 하게한 후 열 교환기를 통해 유입되는 내부의 온도와 외부의 온도변화를 측정 하고자 한다.

(2) 시험 방법

본 시험은 함체의 도어에 열교환기를 실장한 후에 Internal Fan(정격전압 220V)와 External Fan(정격전압 AC 220V)을 구동하면서 현장 운용시험을 수행되었다. 온도측정의 센서는 함체 내부의 상단, 중단, 하단, 외부 각각 4군데에 설치를 하였다. 온도 데이터는 디지털 온도계로 측정한 다음 PM Module의 Console 232 Port를 통해 연동논리부로 전달된다. 데이터 기록상태는 유지보수부 컴퓨터 로그에 저장이 된다.

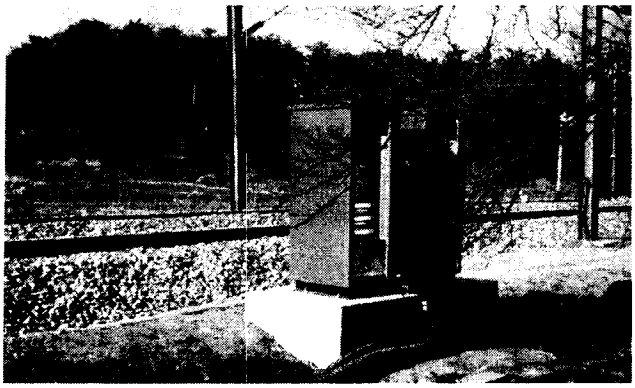


그림 3.52 TFM Rack의 설치 장소



그림 3.53 온도 센서 설치



그림 3.54 현장제어부 모듈전면

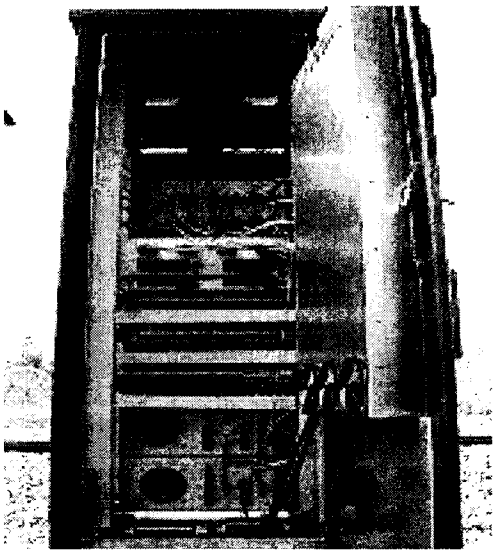


그림 3.55 현장제어부 모듈후면

다음은 본 시험에 사용된 함체에 설치된 장비들의 목록이다.

- Thermocouple K-Ty 4EA
- PM Module 2EA
- SM Module 1EA
- LD-64 2EA
- Power 12V 2EA
- Power 24-36V

(3) 시험 결과

시험 결과의 그래프는 다음과 같다. 다음식은 내부 온도를 구하는 식이다.

$$T = t + \frac{W}{q + h \times A}$$

$$46℃ = 35℃ + \frac{327\,W}{20\,W/℃ + 5.5\,W/m^2℃ \times 3.8m^2} + \alpha(8월4일)$$

$$35℃ = 28℃ + \frac{327\,W}{20\,W/℃ + 5.5\,W/m^2℃ \times 3.8m^2} + \alpha(8월3일)$$

- T : 내부온도 (The enclosure temperature)
- t : 외기온도 (The ambient temperature)
- W : Panel 내부의 발열량(heat loss)
- h : Panel 열전달 효율 5.5 $W/m^2℃$
- A : Panel 표면적 (The surface area of the panel)
- q : Thermal output (W/℃)
- α : 환경적인 요인의 가열

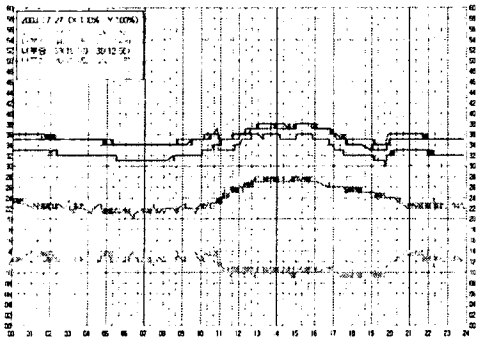


그림 3.56 7월 27일 온도 변화

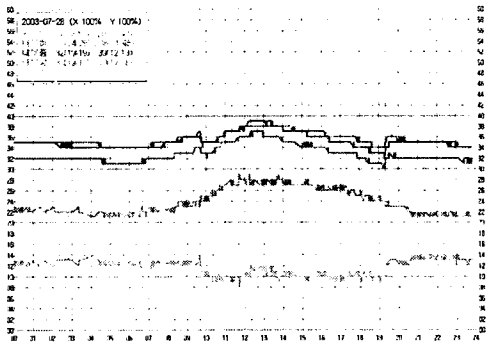


그림 3.57 7월 28일 온도 변화

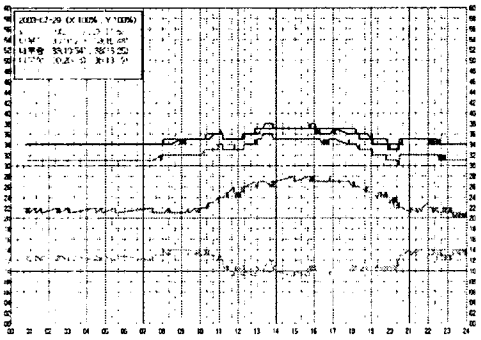


그림 3.58 7월 29일 온도 변화

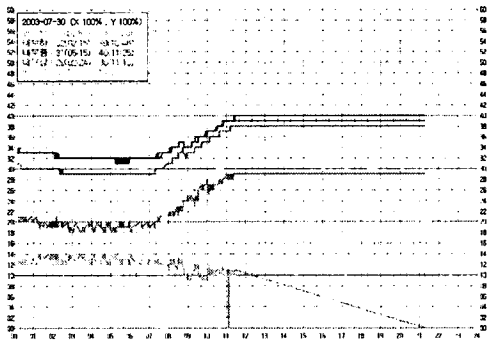


그림 3.59 7월 30일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
7/27	비	28	20	36	30	38	33	38	34	14	09	
		12:52	06:23	12:38	19:45	12:56	18:59	13:43	05:15	01:09	11:16	
7/28	비	29	21	37	30	39	32	38	34	14	08	
		11:43	02:50	12:18	19:17	12:13	19:19	11:45	04:26	02:50	11:43	
7/29	비	28	20	36	30	38	33	38	33	14	09	
		14:58	23:18	13:19	20:26	13:25	19:54	15:46	20:26	08:02	11:47	
7/30	구름	29℃	18	38	29	40	31	39	32	14	10	
		1:00	02:51	11:13	02:24	11:25	05:15	10:46	02:15	00:16	11:05	

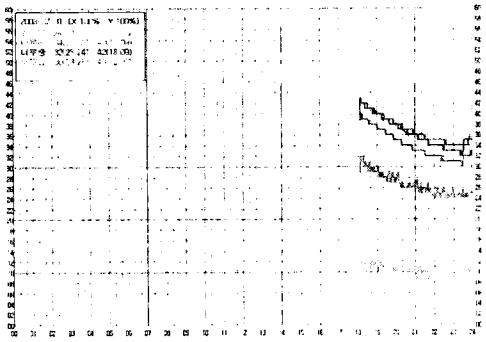


그림 3.60 7월 31일 온도 변화

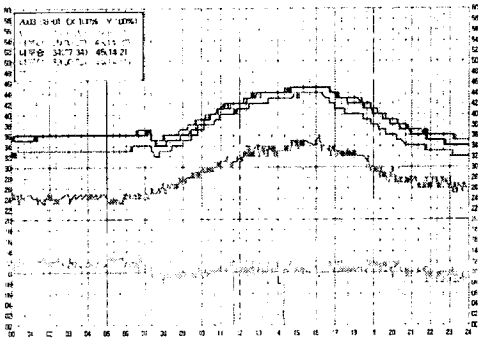


그림 3.61 8월 1일 온도 변화

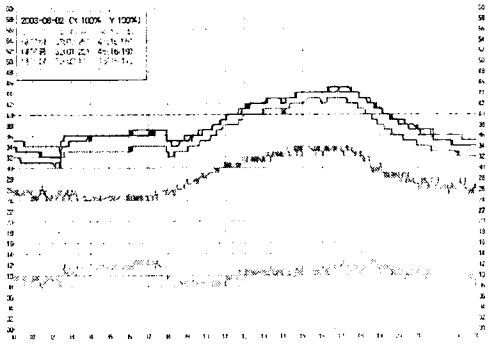


그림 3.62 8월 2일 온도 변화

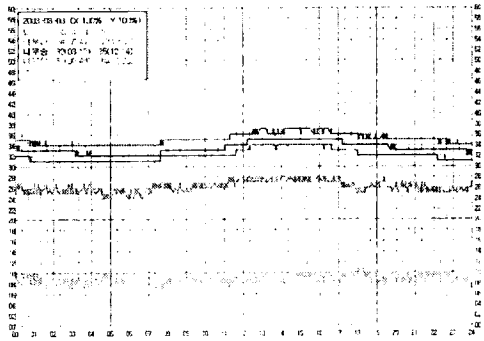


그림 3.63 8월 3일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
7/31	맑음	32	24	40	30	42	32	43	34	13	08	
		18:09	22:03	18:09	23:08	18:09	23:24	18:09	22:23	18:09	21:06	
8/1	구름	36	23	44	32	45	34	45	35	13	09	
		16:10	00:25	14:51	00:00	14:21	07:34	14:22	00:00	00:25	11:43	
8/2	구름	34	24	43	30	45	32	45	33	13	07	
		14:14	00:59	15:17	02:11	16:19	01:22	16:55	02:55	06:02	01:31	
8/3	비	28	24	34	31	35	32	37	34	11	07	
		11:15	04:38	12:23	00:46	12:14	03:10	12:31	00:47	17:56	01:01	

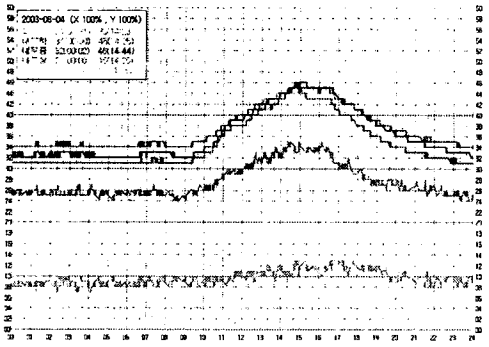


그림 3.64 8월 4일 온도 변화

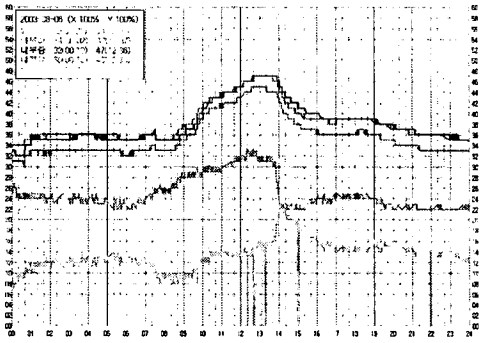


그림 3.65 8월 6일 온도 변화

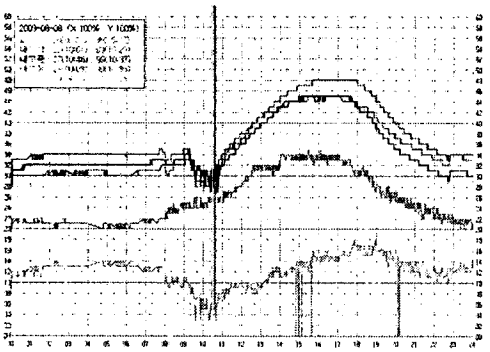


그림 3.66 8월 8일 온도 변화

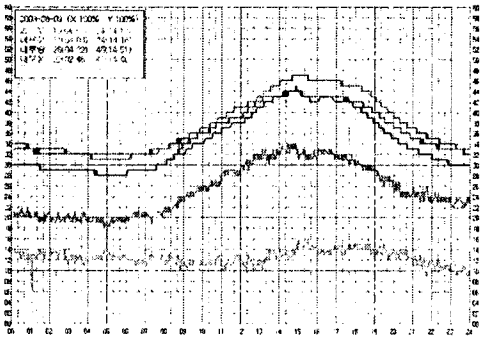


그림 3.67 8월 9일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
8/4	비	35	24	45	31	46	32	45	34	13	07	
		14:23	04:31	14:35	00:00	14:44	00:02	14:25	00:00	14:45	01:17	
8/6	비	33	22	45	30	47	32	47	34	23	07	
		12:20	05:21	12:33	00:36	12:36	00:10	12:37	00:02	14:02	12:23	
8/8	맑음	35	20	48	28	45	27	45	27	16	03	
		15:28	00:03	10:35	00:03	10:37	10:46	10:29	10:01	10:38	14:50	
8/9	맑음	34	18	47	32	45	28	44	31	16	10	
		14:12	04:51	14:40	02:46	14:51	04:22	14:16	04:08	15:01	01:07	

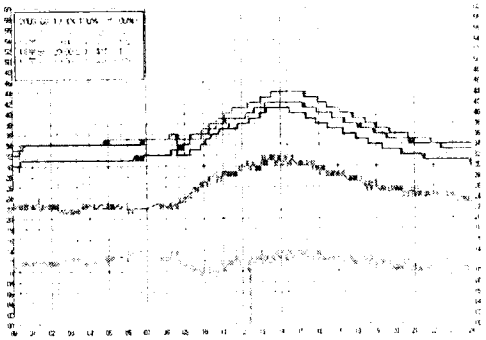


그림 3.68 8월 10일 온도 변화

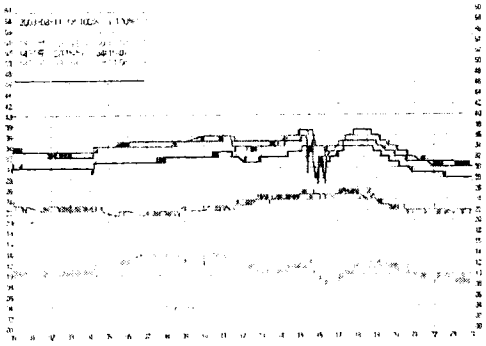


그림 3.69 8월 11일 온도 변화

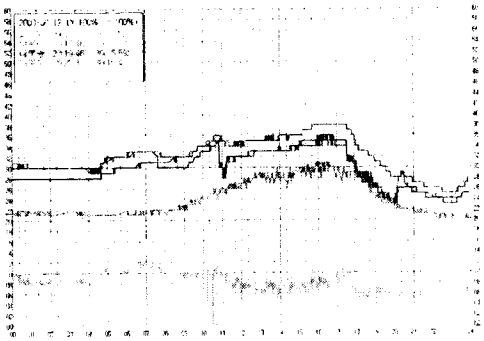


그림 3.70 8월 12일 온도 변화

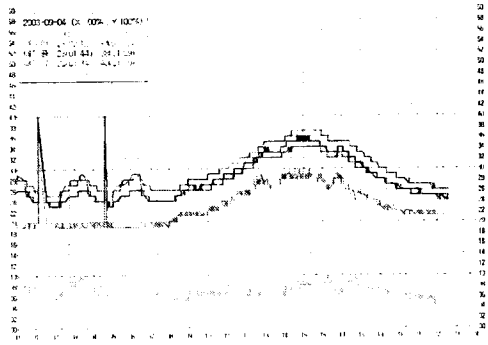


그림 3.71 9월 4일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
8/10	비	32	21	44	33	41	29	42	32	14	09	
		13:04	01:28	13:32	00:01	13:13	00:21	13:13	00:01	06:04	12:25	
8/11	비	26	21	37	30	34	27	36	27	14	08	
		15:09	05:23	14:56	23:07	15:07	15:57	10:48	15:57	18:32	03:42	
8/12	맑음	31	20	38	25	36	23	35	23	12	05	
		15:18	22:12	15:42	22:30	15:59	19:46	10:22	19:46	17:55	10:10	
9/4	흐림	33	19	40	25	38	23	38	23	10	04	
		15:00	00:00	15:00	00:00	15:00	01:34	15:00	02:12	02:46	08:34	

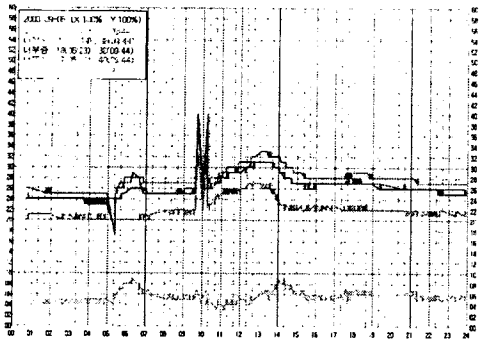


그림 3.72 9월 5일 온도 변화

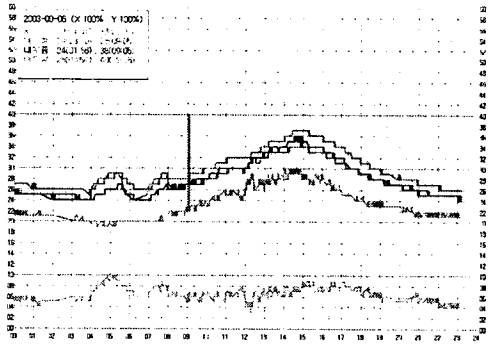


그림 3.73 9월 6일 온도 변화

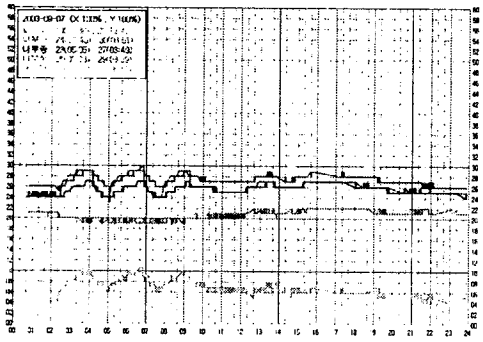


그림 3.74 9월 7일 온도 변화

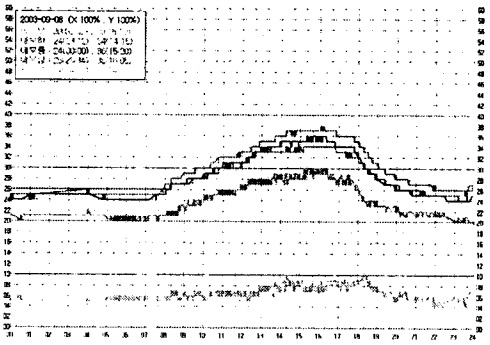


그림 3.75 9월 8일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/5	비	33	20	40	17	38	18	38	24	09	03	
		09:44	00:47	09:44	05:23	09;44	05;23	09:44	00:49	06:18	10:47	
9/6	맑음	33	19	40	25	38	24	38	24	10	03	
		09:05	04:01	09:05	03:54	09:05	01:56	09:05	03:10	04:53	12;19	
9/7	비	22	19	29	25	27	23	30	24	11	04	
		12:42	03:38	03:39	02:23	03:39	05:05	06:51	00:48	06:51	02:23	
9/8	비	30	20	38	25	36	24	34	24	10	04	
		15:12	00:32	16:05	23:34	15:20	00:00	14:15	23:12	14:20	04:00	

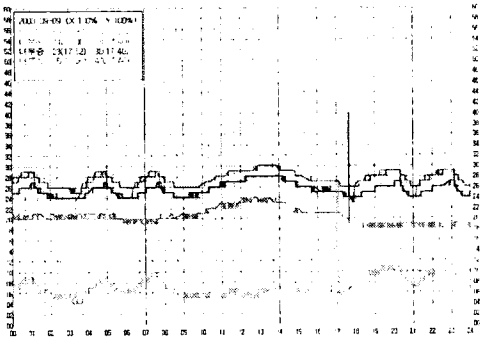


그림 3.76 9월 9일 온도 변화

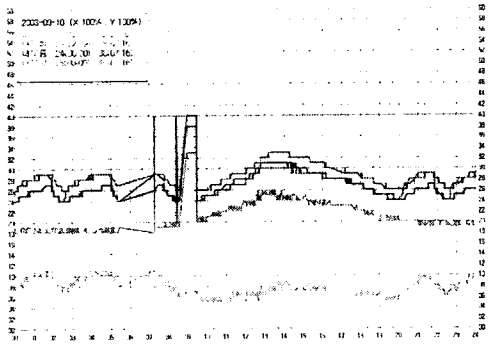


그림 3.77 9월 10일 온도 변화

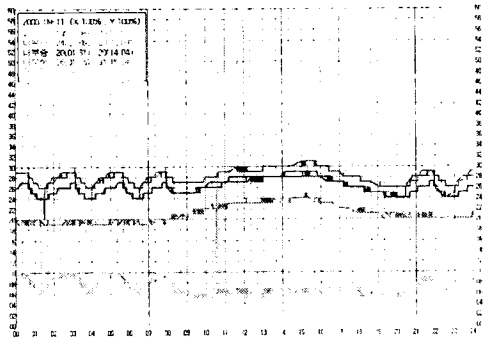


그림 3.78 9월 11일 온도 변화

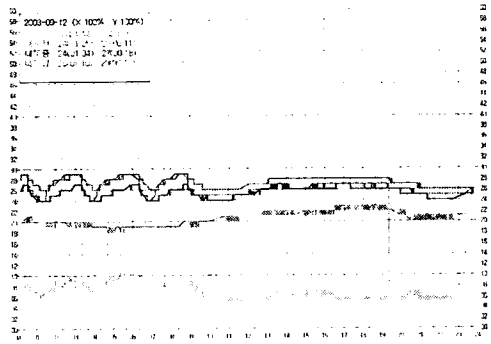


그림 3.79 9월 12일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/9	비	33	18	40	25	38	23	38	24	11	04	
		17:40	18:25	17:40	03:06	17:40	17:52	17:40	02:00	17:07	03:06	
9/10	흐림	33	18	40	26	38	24	38	24	11	05	
		07:16	00:00	07:16	00:00	07:16	00:00	07:16	02:19	01:03	09:37	
9/11	흐림	25	19	31	26	29	20	30	24	12	05	
		15:12	00:06	15:04	01:15	14:04	01:31	03:08	01:09	10:35	09:21	
9/12	비	23	18	29	26	27	24	29	24	11	05	
		16:33	04:44	00:11	01:10	00:18	01:04	00:11	01:05	19:24	10:50	

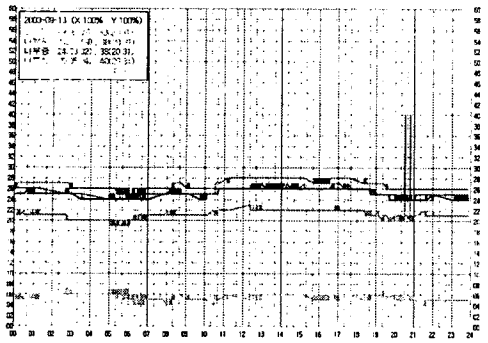


그림 3.80 9월 13일 온도 변화

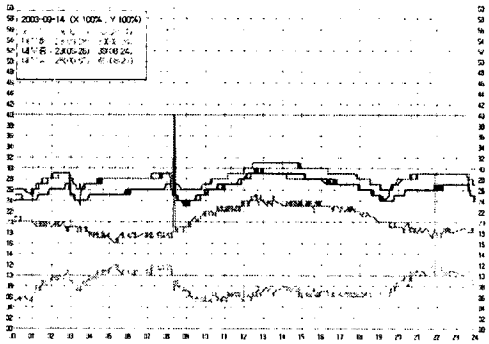


그림 3.81 9월 14일 온도 변화

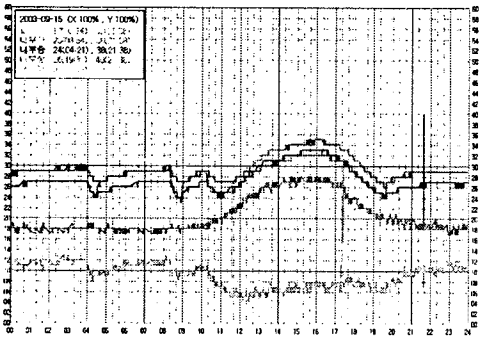


그림 3.82 9월 16일 온도 변화

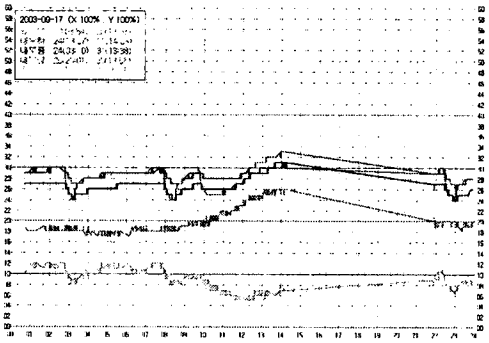


그림 3.83 9월 17일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/13	비	33	19	40	25	38	24	38	24	07	04	
		20:31	05:03	20:31	05:24	20:31	03:32	20:31	04:59	02:45	06:17	
9/14	흐림	33	16	40	25	38	23	38	23	12	05	
		08:24	05:20	08:24	00:58	08:24	03:28	08:24	03:28	21:55	00:07	
9/16	맑음	33	17	40	26	38	24	38	23	13	04	
		21:38	00:14	21:38	19:31	21:38	04:21	21:38	08:54	17:27	12:09	
9/17	구름	26	17	33	26	31	24	31	24	12	05	
		13:07	03:54	13:56	23:01	13:38	03:10	14:03	03:07	05:11	11:36	

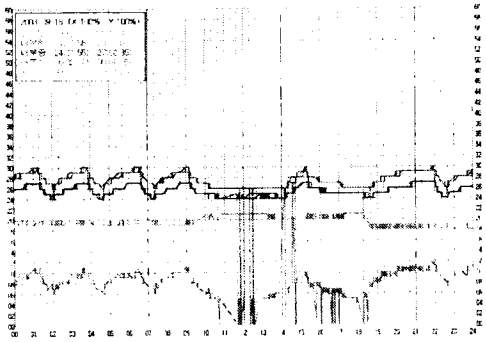


그림 3.84 9월 18일 온도 변화

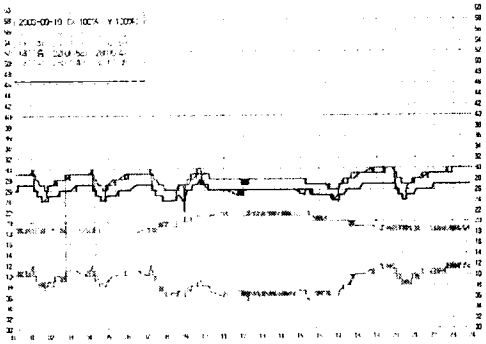


그림 3.85 9월 19일 온도 변화

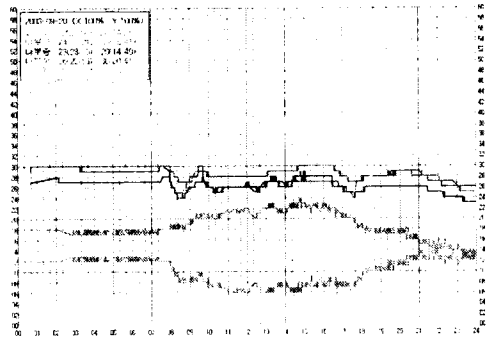


그림 3.86 9월 20일 온도 변화

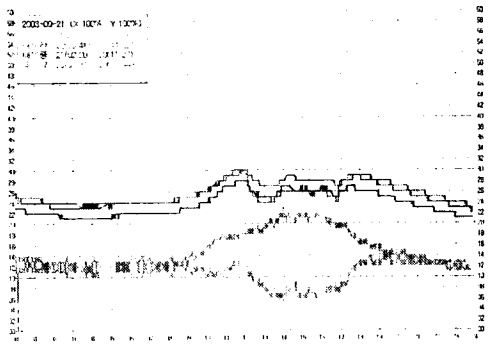


그림 3.87 9월 21일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/18	비	21	18	30	26	27	24	30	24	11	03	
		10:07	18:37	01:15	02:02	00:35	01:55	01:01	01:55	14:35	10:43	
9/19	흐림	22	18	30	26	28	22	30	24	12	05	
		11:00	00:16	01:05	01:42	09:47	08:58	01:03	01:33	02:47	09:20	
9/20	구름	24	12	30	26	29	23	30	24	13	05	
		14:26	23:50	00:41	22:58	14:49	23:19	00:41	08:21	20:02	14:26	
9/21	맑음	23	11	30	22	28	21	30	22	14	05	
		13:58	03:02	11:44	03:31	11:27	02:20	11:22	23:48	18:32	00:08	

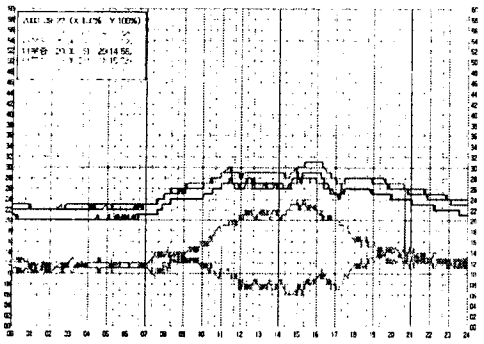


그림 3.88 9월 22일 온도 변화

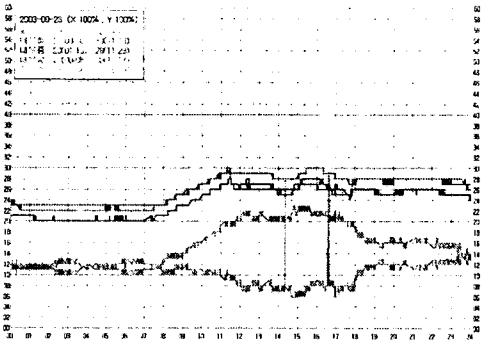


그림 3.89 9월 23일 온도 변화

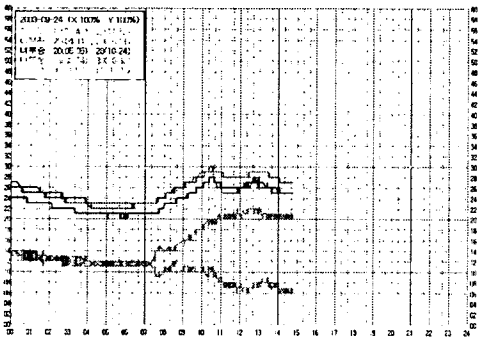


그림 3.90 9월 24일 온도 변화

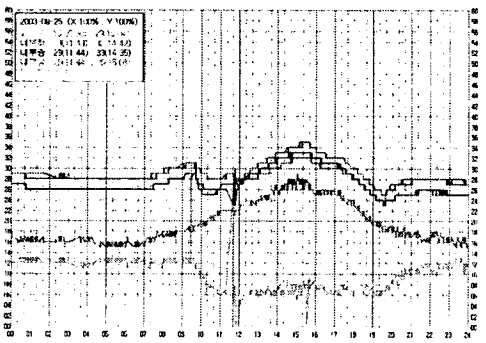


그림 3.91 9월 25일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/22	맑음	24	10	31	22	29	20	30	22	15	06	
		14:58	00:04	15:23	00:53	14:58	00:15	11:22	00:04	20:41	14:27	
9/23	맑음	23	10	30	23	28	20	30	22	13	05	
		14:48	02:23	11:27	00:05	11:23	01:13	11:18	00:30	16:38	14:48	
9/24	맑음	22	11	30	23	28	20	30	22	14	06	
		11:52	02:41	10:33	03:54	10:24	05:05	10:21	04:11	00:05	11:52	
9/25	맑음	29	15	35	25	33	23	32	23	13	04	
		15:04	02:50	15:08	11:44	14:35	11:44	14:42	11:43	09:29	11:43	

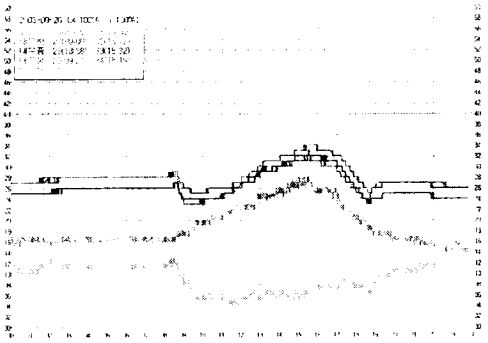


그림 3.92 9월 26일 온도 변화

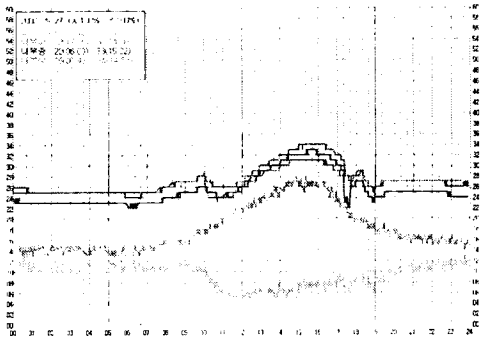


그림 3.93 9월 27일 온도 변화

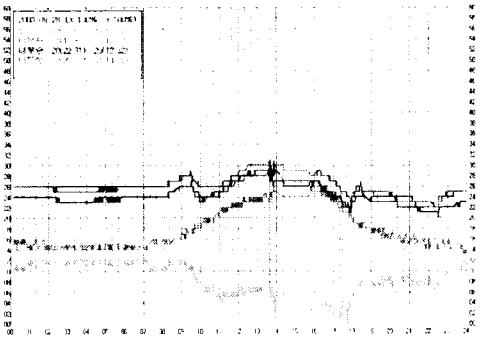


그림 3.94 9월 28일 온도 변화

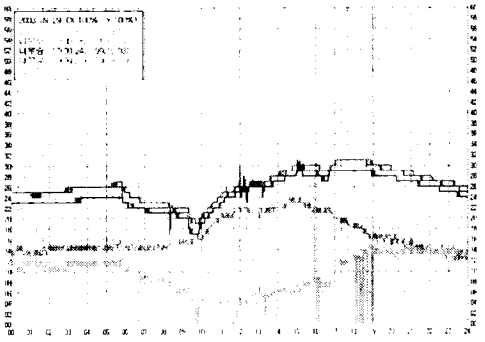


그림 3.95 9월 29일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/26	맑음	28	14	34	25	33	23	32	23	13	04	
		14:42	22:39	15:19	09:21	15:32	18:38	15:19	09:00	02:05	11:24	
9/27	맑음	28	12	34	25	33	22	31	22	13	04	
		14:52	05:40	14:58	00:43	15:22	06:09	14:30	17:34	00:29	11:40	
9/28	맑음	26	13	31	22	29	20	31	21	12	00	
		13:51	23:50	13:35	22:16	12:32	22:31	13:40	17:51	13:38	13:54	
9/29	맑음	24	12	31	19	31	17	31	17	14	00	
		14:40	22:53	19:08	09:26	19:08	09:24	17:04	09:25	19:08	07:42	

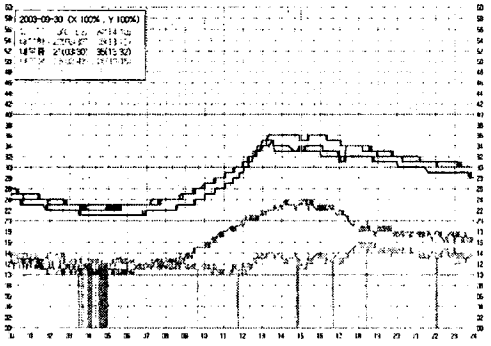


그림 3.96 9월 30일 온도 변화

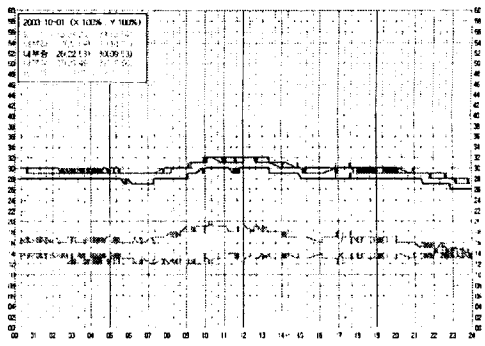


그림 3.97 10월 1일 온도 변화

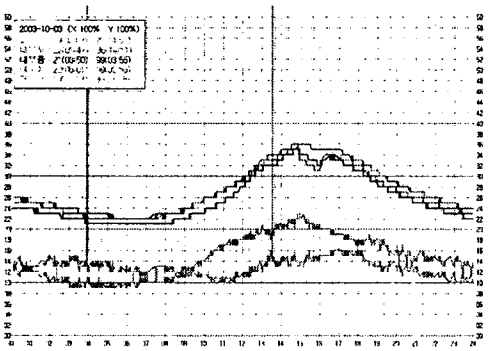


그림 3.98 10월 3일 온도 변화

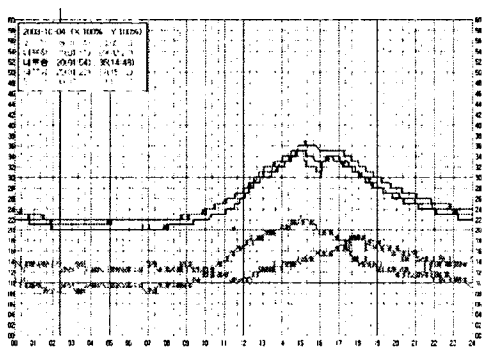


그림 3.99 10월 4일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
9/30	맑음	24	10	36	23	35	21	35	22	16	0	
		14:10	01:52	13:15	02:43	13:32	03:30	13:12	03:33	18:07	03:30	
10/1	비	20	13	32	27	30	26	32	27	15	11	
		10:14	23:23	09:56	23:49	09:53	22:53	10:02	23:09	22:03	09:01	
10/3	맑음	23	09	36	22	36	31	36	22	16	10	
		14:51	03:03	03:55	05:01	03:55	03:50	14:51	03:47	03:55	10:23	
10/4	맑음	37	08	37	22	35	20	35	21	19	10	
		02:23	01:34	15:12	01:29	14:48	01:54	02:23	01:51	17:34	02:23	

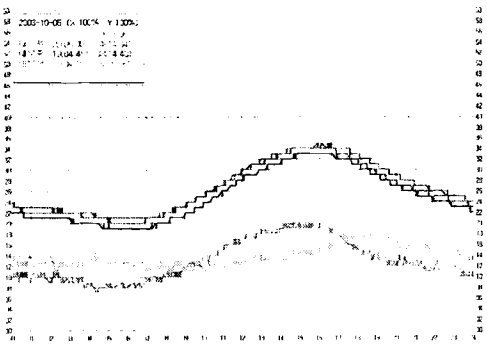


그림 3.100 10월 5일 온도 변화

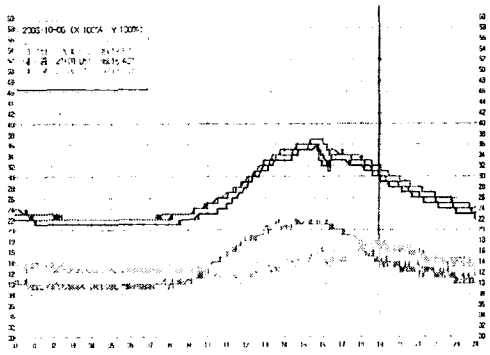


그림 3.101 10월 6일 온도 변화

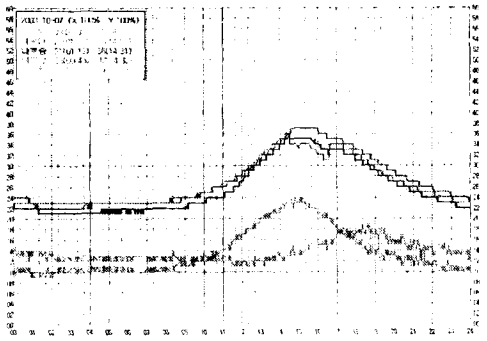


그림 3.102 10월 7일 온도 변화

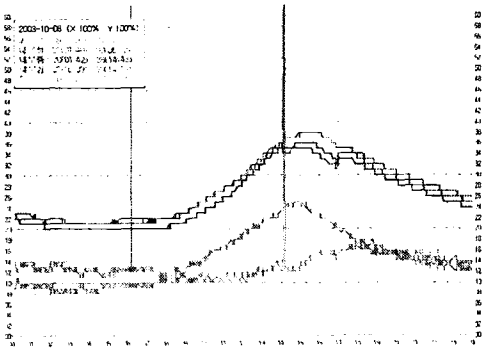


그림 3.103 10월 8일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/5	구름	20	07	35	21	33	19	34	20	19	11	
		14:06	04:20	15:56	04:19	14:43	04:45	14:34	05:00	18:08	02:12	
10/6	맑음	35	09	37	22	36	21	35	22	19	10	
		18:57	00:42	15:20	02:01	15;42	01:05	18:57	00:50	19:00	18:57	
10/7	맑음	24	09	37	23	36	21	36	22	19	11	
		14:35	00:06	14:33	00:46	14:31	01:19	14:24	01:09	18:20	11:27	
10/8	맑음	25	08	38	21	36	20	37	21	18	10	
		14:20	02:00	14:13	02:39	14:43	01:42	06:12	01:40	06:12	09:05	

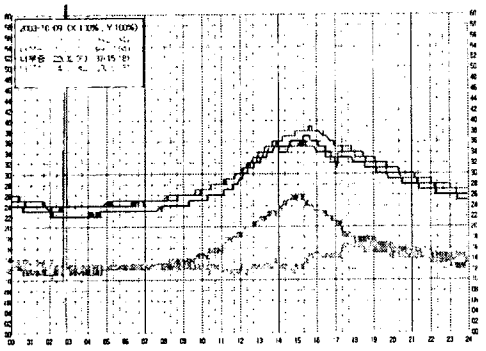


그림 3.104 10월 9일 온도 변화

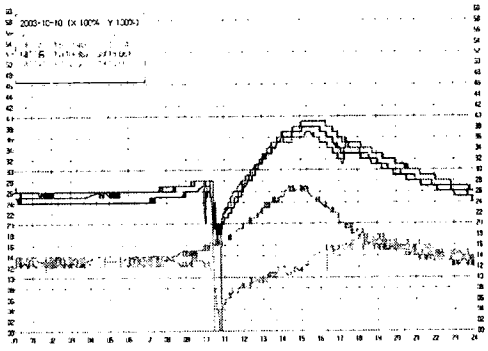


그림 3.105 10월 10일 온도 변화

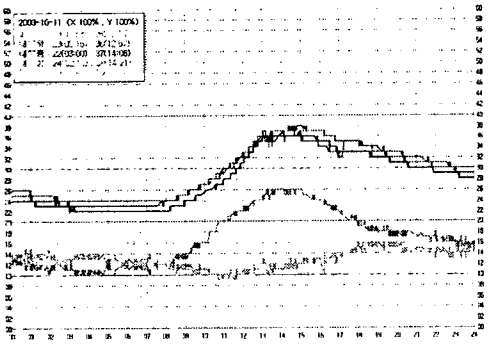


그림 3.106 10월 11일 온도 변화

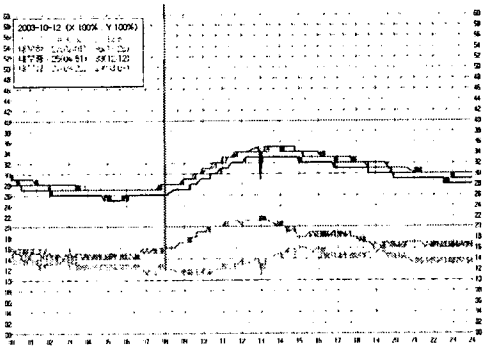


그림 3.107 10월 12일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/9	맑음	26	10	39	24	37	22	36	23	18	11	
		02:54	02:07	15:35	01:38	15:18	02:05	02:54	02:04	19:03	02:54	
10/10	맑음	27	12	39	18	38	17	37	18	28	09	
		14:24	00:21	15:05	10:38	15:06	10:38	14:04	10:40	10:27	10:27	
10/11	흐림	26	10	38	24	37	22	36	23	16	09	
		13:13	01:53	14:21	02:13	14:08	03:00	12:57	02:15	17:57	10:45	
10/12	비	22	14	35	27	33	25	35	27	15	11	
		12:56	00:32	08:03	03:23	12:12	04:51	13:25	02:01	08:03	06:51	

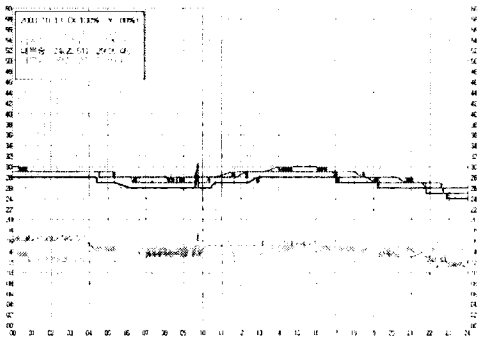


그림 3.108 10월 13일 온도 변화

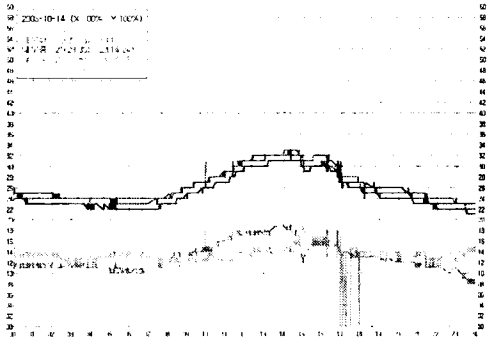


그림 3.109 10월 14일 온도 변화

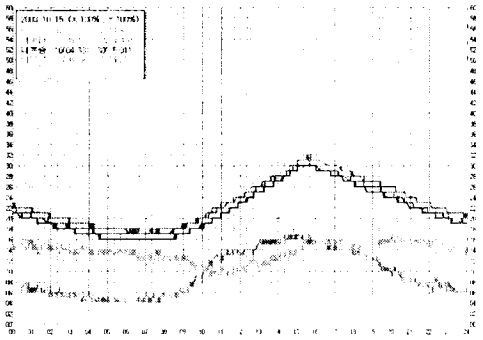


그림 3.110 10월 15일 온도 변화

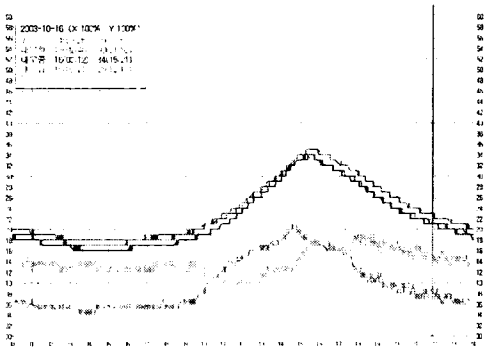


그림 3.111 10월 16일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/13	비	18	11	31	26	29	24	31	25	16	12	
		09:46	22:24	09:46	22:35	09:46	22:51	09:46	22:42	2:24	00:49	
10/14	비	19	08	33	23	32	21	33	22	19	12	
		13:41	23:37	14:01	22:57	14:24	23:33	14:14	23:28	14:59	16:59	
10/15	맑음	18	04	32	17	30	16	30	17	17	09	
		14:50	03:37	15:32	06:09	15:01	04:33	14:49	04:12	15:39	10:22	
10/16	맑음	21	04	35	18	34	16	32	19	19	09	
		21:52	03:26	15:15	02:21	15:21	03:12	15:21	02:40	17:48	21:52	

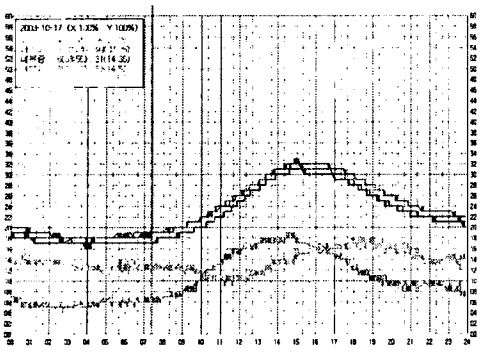


그림 3.112 10월 17일 온도 변화

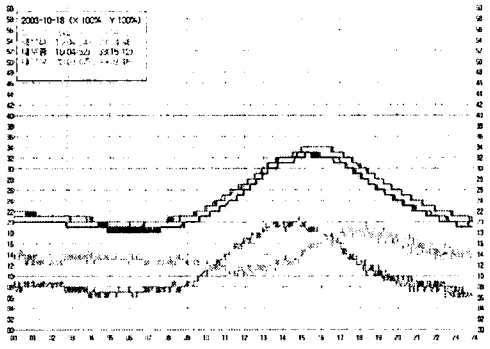


그림 3.113 10월 18일 온도 변화

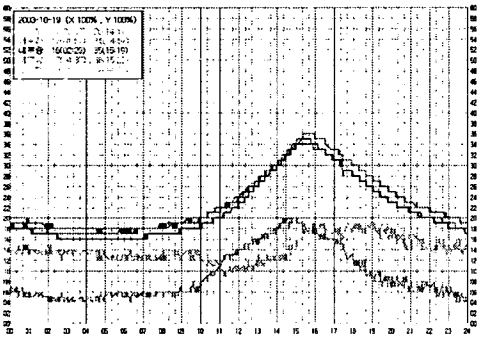


그림 3.114 10월 19일 온도 변화

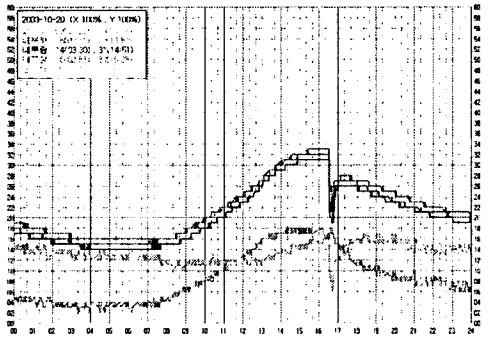


그림 3.115 10월 20일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/17	맑음	19	04	33	18	31	16	31	17	18	09	
		07:25	02:45	14:52	02:10	14:36	03:55	07:25	02:34	17:57	07:25	
10/18	맑음	21	06	34	20	33	18	33	19	20	10	
		14:52	03:54	02:46	03:47	15:12	04:52	14:46	04:24	02:46	11:15	
10/19	맑음	20	04	36	17	35	16	34	17	32	09	
		14:19	02;00	15:22	04:37	15:19	02:29	14:57	01:57	14:28	11:14	
10/20	맑음	18	02	33	16	31	14	32	15	17	06	
		14:16	03:22	15:25	02:53	14:51	03:30	14:52	02:51	16:29	16:43	

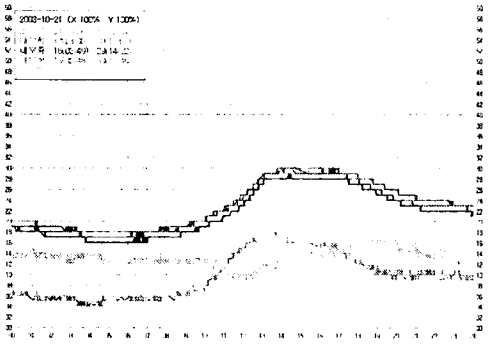


그림 3.116 10월 21일 온도 변화

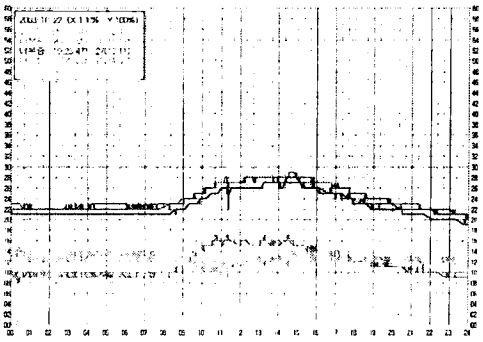


그림 3.117 10월 22일 온도 변화

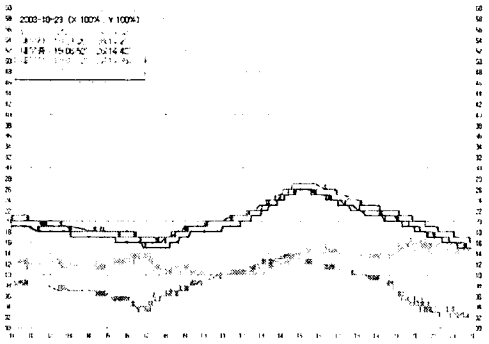


그림 3.118 10월 23일 온도 변화

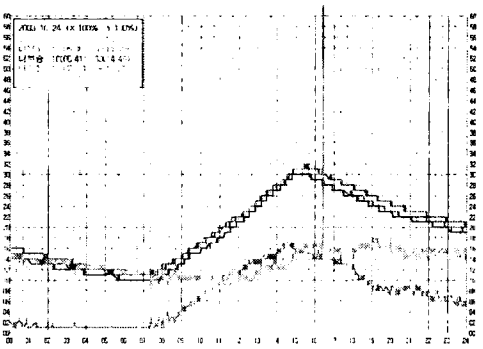


그림 3.119 10월 24일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/21	맑음	18	04	30	18	29	16	30	17	17	09	
		12:47	03:24	13:46	02:48	14:22	03:49	13:59	03:30	17:51	11:29	
10/22	맑음	17	08	29	21	27	19	28	20	15	08	
		10:44	00:24	14:33	23:09	13:11	23:47	11:12	23:51	00:24	11:22	
10/23	맑음	14	02	27	16	26	15	26	15	17	09	
		14:02	22:17	14:35	07:32	14:42	06:52	14:23	23:35	20:45	08:16	
10/24	맑음	17	00	32	11	30	10	30	11	18	08	
		14:20	00:10	16:27	07:21	14:49	05:41	14:40	05:08	16:27	07:25	

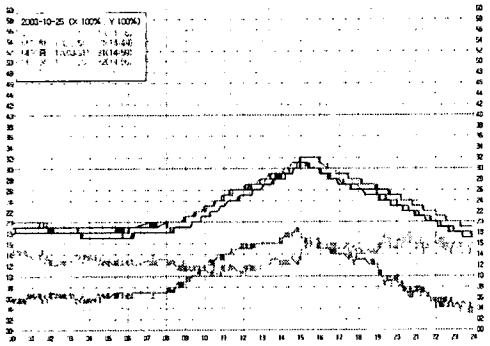


그림 3.120 10월 25일 온도 변화

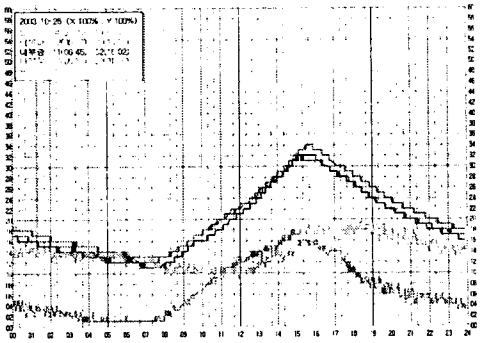


그림 3.121 10월 26일 온도 변화

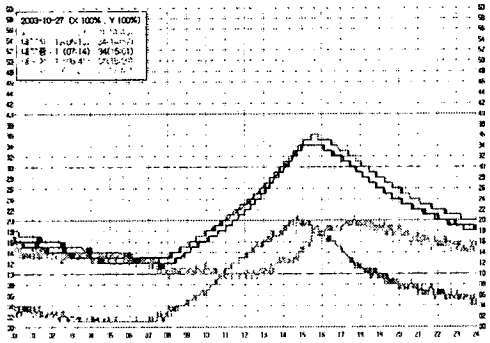


그림 3.122 10월 27일 온도 변화

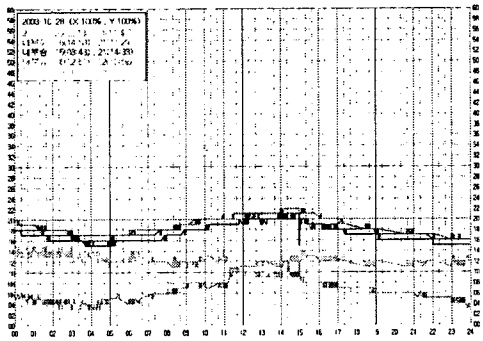


그림 3.123 10월 28일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/25	비	19	03	32	19	31	17	31	17	18	10	
		14:48	23:17	14:56	01:25	14:59	03:31	14:49	23:51	19:22	10:15	
10/26	맑음	21	01	36	13	34	11	34	12	21	09	
		14:44	03:09	01:16	05:51	15:02	06:45	15:05	06:00	01:16	10:43	
10/27	맑음	11	03	22	16	21	15	21	15	15	10	
		14:45	02:23	15:29	05:43	15:01	07:14	14:57	06:13	17:43	08:03	
10/28	비	29	01	29	12	28	10	28	11	18	09	
		11:47	02:18	13:59	22:56	14:33	03:43	11:29	14:58	00:01	11:19	

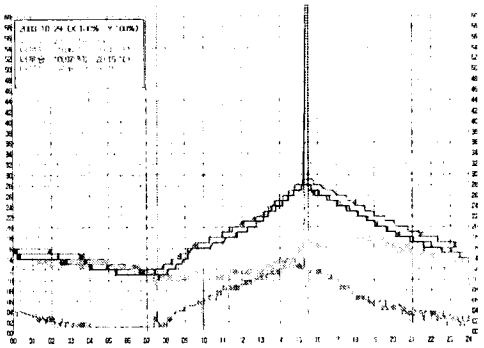


그림 3.124 10월 29일 온도 변화

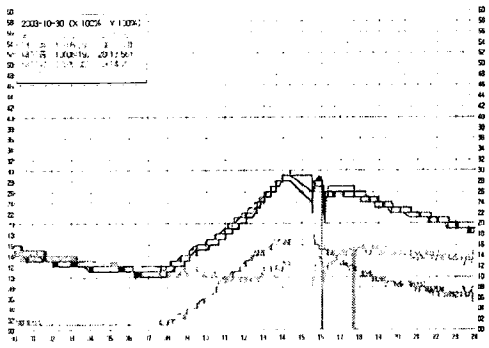


그림 3.125 10월 30일 온도 변화

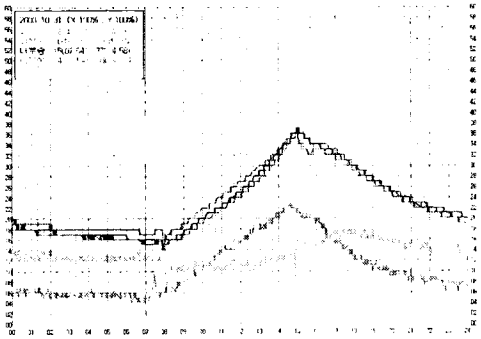


그림 3.126 10월 31일 온도 변화

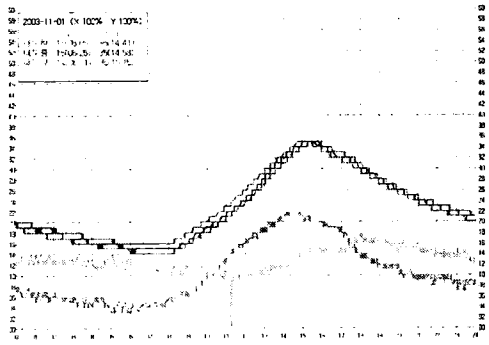


그림 3.127 11월 1일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
10/29	맑음	18	01	30	12	28	10	29	11	27	08	
		15:32	02:09	15:13	06:13	15:10	07:39	07:35	06:35	07:35	09:59	
10/30	맑음	23	04	36	14	37	15	37	16	18	10	
		15:36	00:00	14:23	05:02	13:56	06:19	13:59	05:29	16:04	15:31	
10/31	맑음	23	04	36	14	37	15	37	16	18	00	
		14:36	06:15	14:55	07:54	14:58	07:54	15:00	07:55	16:58	05:10	
11/01	맑음	22	03	35	14	35	15	35	16	18	09	
		14:07	05:01	15:15	06:01	14:58	05:25	14:41	05:05	18:00	11:13	

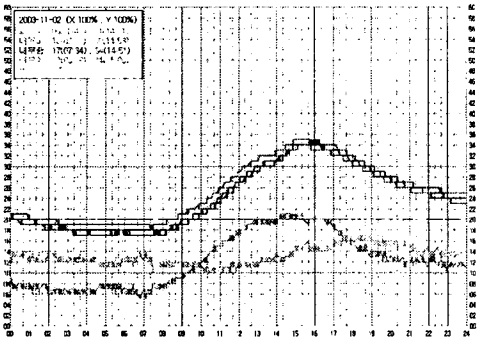


그림 3.128 11월 2일 온도 변화

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
11/02	맑음	21	05	34	17	34	17	35	18	17	10	
		14:11	06:49	15:06	03:19	14:51	07:34	14:53	07:21	17:29	07:30	

(4) 결과분석

(가) 함체 내부의 온도를 기본적으로 안정적인 범위인 -20℃～+60℃에서 +50℃를 적정치를 두었는데 5O℃를 넘은 데이터가 없었고 안정된 최적온도를 보여주었다.

(나) 각각의 모듈들이 주어진 사용 환경조건하에 고장 없이 시험기간 동안 최초의 성능상태를 유지하였다.

(다) 최고 온도와 최저 온도 유지 시간을 살펴보면 한국철도기술연구원 안전성 인증센터에서 시험 했던 고온, 저온 시험(R02-0011)의 -30℃～ 70℃ 에서의 11시간 30분의 내성 시험에 시간과 온도가 시험 내에 들어가는 것을 알 수 있으며 시험 이상이나 이하의 온도 조건이 발생하지 않은 것을 알 수 있었다.

(라) 외부 온도의 상승과 관계없이 일정한 간격을 유지 하고 있음을 보아 외부에서의 환경적인 변화가 내부의 발열에 영향을 미치지 않는다.

라. 현장 적용 안전성/신뢰성 보완

(1) 연동논리부 신뢰성 보안

전자연동장치 연동논리부는 대기 이중계방식(Hot-Standby)으로 시스템에 입력된 데이터를 병렬로 처리하는 구조로, 동작계에 극복할 수 없는 결함이 발생하여 시스템에서 절체가 이루어지는 경우에 동작계의 출력을 차단하고 대기계의 출력을 활성화시키는 방식으로 구성되었다. 이러한 연동논리부의 신뢰성은 현장설비를 통한 절체시험을 통해서 입증되었으며, 연동논리부가 동작하는 동안, 연동논리부의 결함을 감시하는 부분인 결함검출회로는 상용마이크로프로세서인 MC68EN360의 내부에 내장된 결함검출 회로에 의해 하드웨어적으로 검출되며, 모듈내부에 장치된 EPLD의 논리체크회로에 의해서도 연산이 재확인된다. 연동논리부는 외부와의 모든 인터페이스를 통신에 의존한다. 이러한 연동논리부의 통신데이터 인터페이스 부분에 드라이버계층에서의 결함검출 기법을 사용하였다. 드라이버 소프트웨어를 개발하면서, N-version 프로그래밍, Roll-Back, Hamming Code이론 등의 신뢰성과 연관된 프로그램 기법을 도입하여, 시뮬레이션 하였으며, 실제의 포팅에 적용하여 결함검출에 걸리는 시간을 최소화하였다. 시스템의 신뢰도에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인 결함검출 시간 최소화를 성공하여, 시스템 전반에 걸친 신뢰성의 향상을 이루었다.

(2) 선로전환기 제어 모듈의 보안

현장 단말 제어부 중에서 선로전환기를 제어하는 부분으로 하나의 선로전환기 제어모듈은 8대의 NS형 선로전환기를 제어할 수 있다. 선로전환기 제어모듈은 CPU모듈을 두 개 장착한 단일 모듈 2대를 병렬로 연결하여 사용한다. 선로전환기 제어모듈은 연동논리부로부터 받은 명령을 CPU모듈에서 처리하여 디지털 출력신호로 출력하기 위해 병렬 출력 디바이스를 가지고 있으며, 선로전환기의 상태를 감시하고, 출력에 관계되는 장치의 상태와 출력신호 확인을 위한 디지털 입력신호를 받기 위해 병렬 입력 디바이스를 가지고 있으며 부정 출력 차단 및 검지는 연산 처리의 오류, 하드웨어의 소손, 기타 외부요인 등으로 인하여 CPU 모듈 또는 입출력 모듈 스스로 안전측(Fail-safe) 처리가 불가능한 부정 출력 또는 입력이 검지되는 경우에 이를 강제적으로 차단하기 위한 회로를 내장하였다.

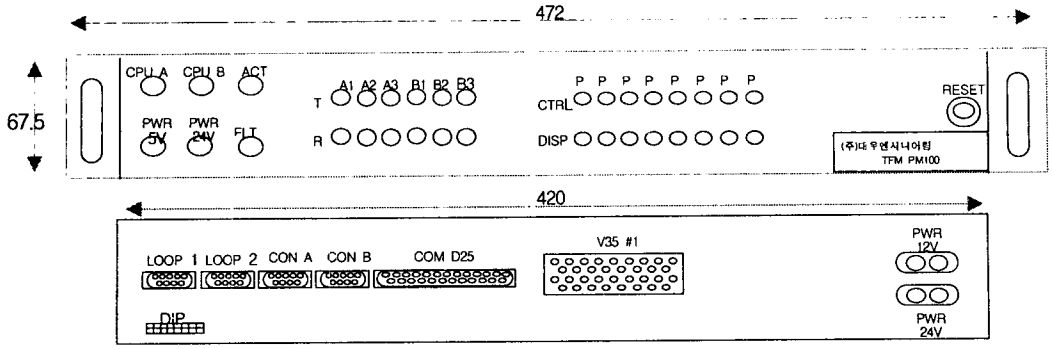


그림 3.129 현장 선로전환기 단말 제어모듈의 외형

- [Px]는 현장 선로전환기 제어모듈에 연결된 선로전환기를 의미한다. 8대의 선로전환기의 상태를 동시에 볼 수 있다.
- [CTRL]은 선로전환기의 제어신호를 의미하는 부분으로, 정위상태에는 청색, 반위상태에서는 황색, 선로전환기 출력부의 고장 시에는 적색을 표시한다.
- [DISP]는 선로전환기의 전환상태를 의미하는 부분으로, 선로전환기의 표시신호를 그대로 출력하므로, 선로전환기의 실재 전환상태를 나타낸다.
- 현장 연결은 현장 제어라인을 컨넥터를 사용하여 직접 연결을 했으나 Relay를 사용하여 평상시에는 분리 되었다가 제어전원 투입 전에 Relay를 구동하여 제어 라인을 연결 전원을 투입한다

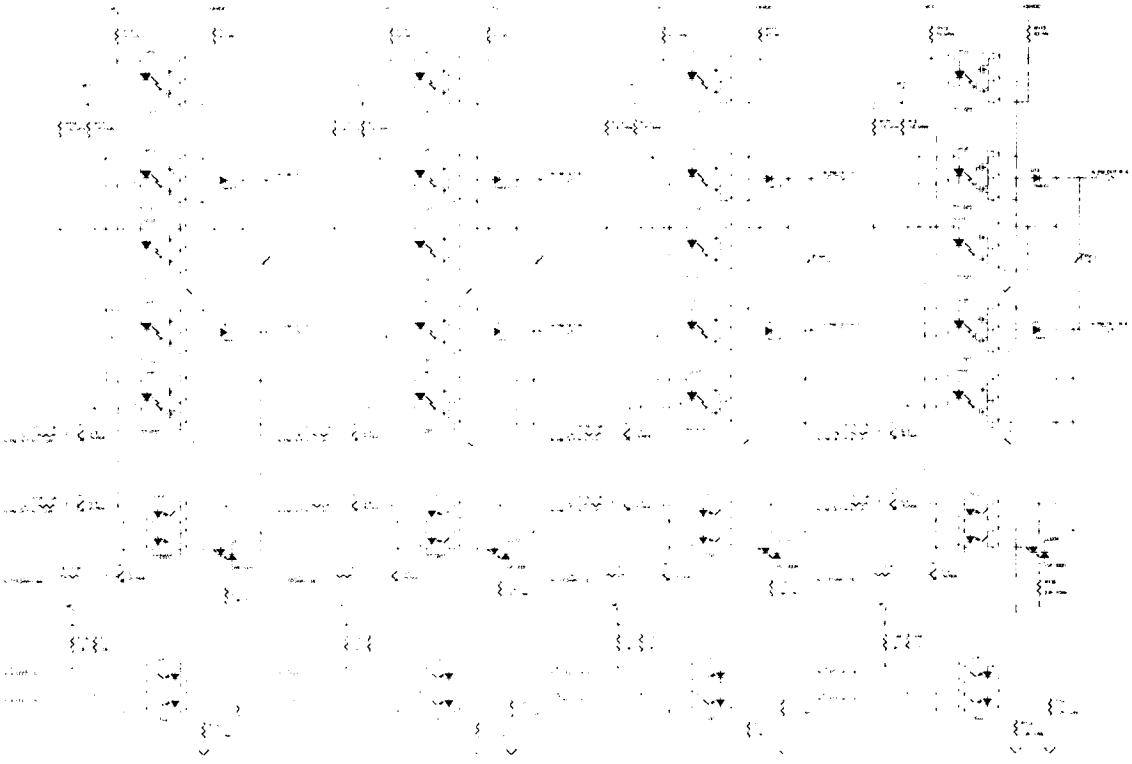


그림 3.130 현장 선로전환기 제어 모듈의 출력부 회로도

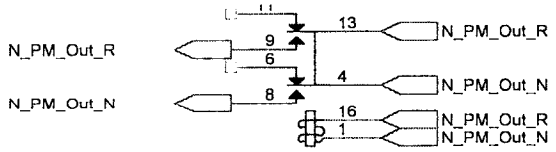


그림 3.131 현장 선로전환기 제어 모듈의 출력부 추가된 사항

(3) 신호기 제어모듈의 하드웨어 보완 사항

현장 단말 제어부 중에서 신호기를 제어하는 부분으로 하나의 신호기 제어모듈은 3등쌍심형 신호기 6대를 제어할 수 있다. 신호기 제어모듈은 CPU모듈을 두 개 장착한 단일 모듈 2대를 병렬로 연결하여 사용한다. 신호기 제어모듈은 연동논리부로부터 받은 명령을 CPU모듈에서 처리하여 디지털 출력신호로 출력하기 위해 병렬 출력 디바이스를 가지고 있으며, 신호기의 상태를 가시하고, 출력에 관계되는 장치의 상태와 출력신호 확인을 위한 디지털 입력신호를 받기 위해 병렬 입력 디바이스를 가지고 있으며 AMP부(DC 24V를 AC 50V로 스위칭하며, 단심을 검지하는 회로 내장)와 함께 출력에 대한 전압 검지 회로를 추가함으로서 혼촉이나 결선의 오류로 인한 문제점을 해결하였다.

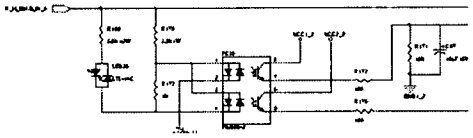


그림 3.132 신호기 제어 모듈 전압 검지 회로추가 사항

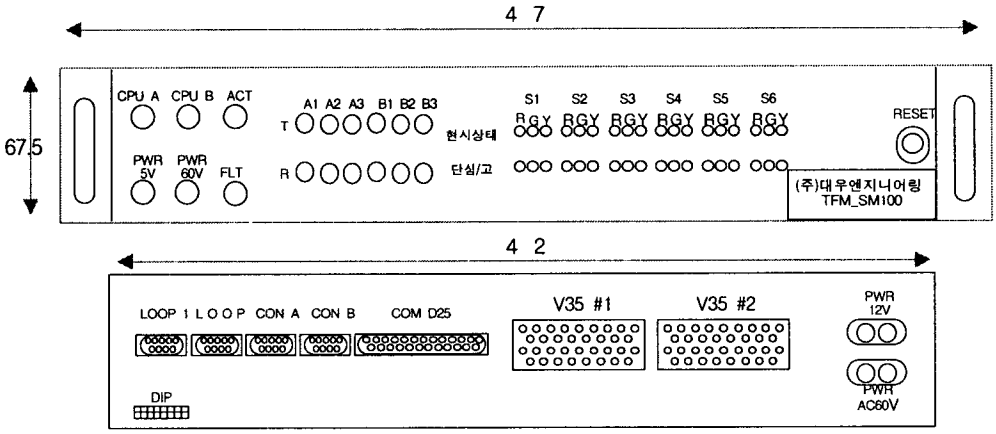


그림 3.133 현장 신호기 제어모듈의 외형

- [Sx]는 현장 신호기 제어모듈에 연결된 신호기를 의미한다. 6대의 신호기의 상태를 동시에 볼 수 있다.
- [현시상태]는 선로전환기의 제어신호를 의미하는 부분으로, 점등시 신호기 등의 색깔에 해당하는 색의 LED가 점등된다.
- [단심/고장]은 신호기의 현시상태를 의미하는 부분으로, 신호기의 단심상태를 표시한다. 주심 단심일 경우는 부심으로 제어가 나가고 있기 때문에 현시상태와 단심/고장이 같이 들어오게 되고, 주심 담심에 이어 부심 단심이 될 경우는 현시상태에는 꺼지게 되고 단심/고장만 들어오게 된다.
- [단심 해제시 자동 복구] 주심이나 부심까지 단심이 되었다가 복구가 되었을때 자동적으로 체크를 하여 복귀를 하게 된다. 주심이나 부심이 단심되었다가 전구를 갈아 끼우게 되면 자동 복귀되고 깔아 끼우고 불이 들어오게 되면 자동 복귀된다.
- [현장 신호등과 연결] 현장의 신호등과 연결전에 융단 휴즈을 두어 출력단 이후 혼촉 이나 결선 오류에 대비함. 융단 휴즈는 Monitering을 통한 상시 감시한다.

■ [12V 전원 차단이때 Red 켜기]제어 Relay 결선을 다음과 같이 바꾸어 모듈 전원이 차단되어 작동 불능이때도 Red등 현시가능

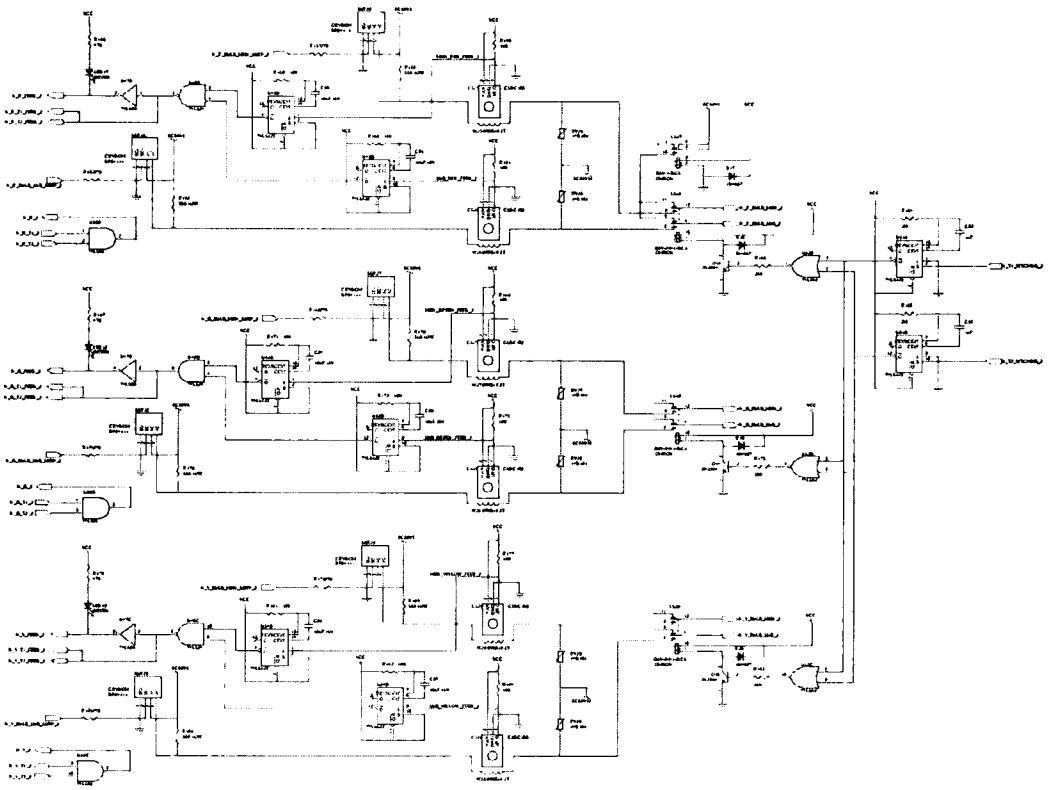


그림 3.134 신호기제어모듈 12V 전원 차단시 Red 현시 추가된 사항

. 2. 2차년도 연구개발내용 및 결과

가. 전자연동장치 현장기능시험

(1) 기능시험 항목

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
1)연동논리부의 하드웨어 리셋 시험	1.연동논리부 전면에 설치된 리셋버튼을 0.5초 정도 누른다.	1.전면의 리셋버튼이 눌리면, 하드웨어 적인 신호가 연동논리부 내부의 리셋칩에 인가되어, CPU에 리셋신호가 전달된다. 2.CPU는 리셋신호를 입력받아, 내부 레지스터를 초기화시키고, 운영체제를 RAM에 복사한다. 3.운영체제 초기 루틴이 동작한다.	1. 시스템이 초기화된다. -연동논리부의 모든 입출력이 초기화된다. -리셋 LED가 점등되었다가 리셋버튼을 놓으면 소등된다. -콘솔에 해당하는 통신 TX LED가 잠시 점멸한다.	
2)연동논리부의 RAM시험	1.연동논리부 BUG ROM환경에서 메모리 테스트를 시험한다.	1.화면상에 메모리테스트 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.논리부 내부의 RAM에 $AA가 써지고, 읽혀진다. 3.논리부 내부의 RAM에 $55가 써지고 읽혀진다.	1.RAM에 평가중인 어드레스 값이 콘솔에 출력되며, 시험이 끝나면, 성공적으로 RAM 테스트가 이루어졌다는 메시지가 출력된다.	
3)연동논리부의 DRAM 시험	1.연동논리부 BUG ROM환경에서 메모리 테스트 시험한다.	1.화면상에 메모리테스트 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.논리부 내부의 DRAM에 $AA가 써지고, 읽혀진다. 3.논리부 내부의 DRAM에 $55가 써지고 읽혀진다.	1.DRAM에 평가중인 어드레스 값이 콘솔에 출력되며, 시험이 끝나면, 성공적으로 RAM 테스트가 이루어졌다는 메시지가 출력된다.	
4)연동논리부 RTC 읽기시험	1.연동논리부 BUG ROM환경에서 현재시간 표시 명령을 수행한다.	1.화면에 현재시간 출력 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.현재시간이 유지보수 콘솔에 출력된다.	1.시간출력 명령을 연속적으로 실행시켜 시간이 증가하는 지를 검사	
5)연동논리부 RTC 쓰기 시험	1.연동논리부 BUG ROM환경에서 현재시간 입력 명령을 수행한다.	1.화면에 현재시간 설정 명령을 입력하고 엔터를 친다. 2.현재시간을 hh/mm/ss의 형식으로 입력하고, 엔터를 친다.	1.입력을 종료하고, 현재시간 출력명령을 수행하여, 현재시간이 수정되었는지를 확인한다.	
6)연동논리부 시리얼 통신의 동작시험	1.채널에 해당하는 시리얼 포트로 입력을 받고, 받은 값을 같은 포트로 리턴한다.	1.시리얼 테스트용 소프트웨어를 사용하여 시험 포트를 설정한다. 2.시험표준에 맞는 시리얼 프로토콜을 사용하여 입력받는다. 3.입력받은 데이터를 다시 해당하는 포트로 출력한다.	1.올바른 입력이 들어오면, 해당하는 포트의 RX LED가 점멸한다. 2.입력받은 데이터가 콘솔로 출력된다. 3.콘솔에 출력된 데이터와 일치하는 아스키 값이 해당하는 포트로 출력된다. 4.데이터 출력시에 TX LED가 점멸한다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
7)연동논리부 이더넷 통신의 수신 동작 시험	1.이더넷 연결 커넥터에 RJ45 표준 LAN커넥터를 사용하여 10M의 허브에 연동논리부를 장치한다.	1.케이블이 트레픽이 있는 허브에 연결되면, LNK와 AUI LED가 점멸한다. 2.연동논리부와 같은 망에 연결된 장비에서 트레픽을 발생하는 경우 TR LED가 점멸한다.	1.연동논리부에 IP를 부여한 후에 다른 장치에서 Ping을 실행하여 응답이 돌아오는 지를 확인한다.	
8)연동논리부 이더넷 통신의 송신 동작 시험	1.이더넷 연결 커넥터에 RJ45 표준 LAN커넥터를 사용하여 10M의 허브에 연동논리부를 장치한다.	1.케이블이 트레픽이 있는 허브에 연결되면, LNK와 AUI LED가 점멸한다. 2.연동논리부와 같은 망에 연결된 장비에서 트레픽을 발생하는 경우 TR LED가 점멸한다.	1.연동논리부에 소프트웨어를 사용하여, 서버에 FTP접속을 시도하여, 로그인이 되는지를 검사한다.	
9)연동논리부의 파워 온 리셋 기능 시험	1.전원이 인가된 백플레인에 보드를 장착하여, 정상동작하는지를 검사	1.백플레인에 전원을 인가한다. 2.보드를 백플레인에 삽입한다.	1.유지보수자 콘솔에 로고가 올바르게 출력되고, 연동논리부의 동작이 수행되는 지를 검사	
10)연동논리부 Local 전환 스위치의 기능시험	1.전면판 하단에 설치된 토글 스위치를 조작한다. 2.논리부가 올바르게 스위치 값을 입력받는지를 검사한다.	1.토글스위치의 입력값이 변경되면, CPU로의 포트입력값이 변경된다. 2.CPU는 해당하는 포트의 입력값을 읽어들여, 유지보수 콘솔로 출력한다.	1.토글스위치를 변경할 때 마다, 출력되는 포트의 레지스터 값이 변경되는 지를 검사한다.	
11)연동논리부 이중계 동작 중에서 파워 온 마스터 기능시험	1.이중계의 CPU보드를 랙에 삽입한 상태에서 시스템의 전원을 차단하였다가 인가한다.	1.이중계의 CPU보드는 전원이 인가되면, 자신이 미리 사용자에 의한 설정에 의해 동작계인지 대기계인지를 결정한다.	1.이중계로 장치된 CPU보드 중에 전면에 보았을 때 왼쪽의 보드에 위치한 MA LED가 점등되는지를 검사.	
12)연동논리부 이중계 동작 중에서 출력기능시험	1.이중계 CPU보드에서 시스템 레벨의 출력명령을 내보내고, 이때 동작계에서만 출력이 나가야 한다.	1.이중계로 설치된 연동논리부 시스템에 출력명령을 입력하면, 동작계에서만 출력이 발생한다.	1.동작계의 TX LED만 점등되고, 대기계의 출력 TX LED는 소등상태를 유지하는 지를 검사.	
13)연동논리부 이중계 동작 중에서 입력기능시험	1.이중계 CPU보드에서 시스템 레벨의 입력명령이 수신되면, 동작계와 대기계에 같은 내용이 수신되	1.통신포트를 통해 입력된 데이터는 동작계와 대기계에 모두 수신된다. 2.대기계는 동작계와 동일하게 명령을 연산하지만 출력은 내보내지 않는다.	1.동작계와 대기계의 각각의 모니터링 콘솔을 설치하고, 공통의 입력을 주면, 소프트웨어가 처리되는 결과가 콘솔을 통해 출력되는 지를 검사.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	고, 처리된다.			
14)연동논리부 이중계 동작중에서 마스터 결함극복 기능시험	1.이중계로 동작중인 시스템의 동작계에 소프트웨어 또는 하드웨어적인 결함을 주입한다.	1.동작계에서 결함이 발생하면, 대기계의 MA LED가 점등된다. 2.동작계가 된 대기계는 연산 후 결과를 출력한다. 3. 결함이 발생한 동작계는 출력을 정지하고, FA LED를 점등한다.	1.동작계의 FA LED가 점등되는 지를 검사. 2.결함이 발생한 모듈에 FA LED가 점등되는 지를 검사. 3.계속되는 처리에서 동작계가 출력을 내보내는 지를 검사.	
15)연동논리부 이중계 동작중에서 슬레이브 결함극복 기능시험	1.이중계로 동작중인 시스템의 대기계에 소프트웨어 또는 하드웨어적인 결함을 주입한다.	1.대기계에서 결함이 발생하면 대기계의 FA LED가 점등된다. 2.대기계에 결함이 발생하여, 결함이 격리되어도, 동작계에는 영향을 미치지 않는다.	1.대기계의 FA LED가 점등되는 지를 검사 2.시스템이 원활하게 연속적으로 동작하는 지를 검사	

(2) 전자연동장치 Vital Network(SHR)부 기능 시험 항목

■ 기능 시험 항목

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
1)SHR의 하드웨어 리셋시험	1.SHR 전면에 설치된 리셋버튼을 0.5초 정도 누른다.	1.전면이 리셋버튼이 눌리면, 하드웨어 적인 신호가 SHR 내부의 리셋칩에 인가되어, FPGA에 리셋신호가 전달된다. 2.FPGA는 리셋신호를 입력받아,CONFIGURATION ROM으로부터 하드웨어 내용을 인식받아 초기화한다.	1. 시스템이 초기화된다. -SHR의 모든 입출력이 초기화된다. -리셋 LED가 점등되었다가 리셋버튼을 놓으면 소등된다. -콘솔에 해당하는 통신 TX LED가 잠시 점멸한다.	
2)SHR의 초기화	1.전면에 표시된 SELF TESTING의 LED가 점멸한다.	1.시스템에 전원이 인가되고 리셋이 실행되면 시스템 내부의 FPGA에서 경로 설정 및 DIP SW의 세팅을 점검하는 LED가 점멸한다.	SELF TESTING LED가 점멸하고 각 세팅에 해당되는 LED가 현시된다.	
3)속도 지정	1.전면에 설치된 DIP SW중에서 9600/19200을 세팅한다.	9600 ENABLE / 19200 ENABLE의 값을 세팅한다. DIP SW를 하부로 내리면 설정이 되는데 만일 두가지 모드를 전부세팅하거나 혹은 전부세팅을 하지않는 경우는 오동작으로 판단되어 출력이 되지 않는다.	9600 BPS/19200 BPS에 해당되는 LED가 현시되며 모드설정이 잘못 선정된 경우 SYSTEM FAIL LED를 현시한다.	
4)LOOP TEST	1.전면에 설치된 DIP SW중에서 LOOP A ENABLE 혹	지정된 경로대신에 강제적으로 경로를 선정하는 모드로 RXA에서 TXB로 그리고 TXA에서 RXB로 경로가	각 세팅에 해당하는 LED를 현시한다. LOOP A ENABLE LOOP B ENABLE	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	은 LOOP B ENABLE를 세팅한다. 한번에 두가지 모드선정이 가능하다.	설정된다. 1.LOOP A ENABLE : RXA에서 TXB로 경로설정 2.LOOP B ENABLE : RXB에서 TXA로 경로설정		
5)TEST ENABLE	1.TEST A ENABLE과 TEST B ENABLE을 DIP SW를 세팅한다. 한번에 두가지 모드선정이 가능하다.	1.TXA에서 RXB로 약속된 제어테스트 데이터를 송신한다. 2.RXB에서 제어테스트 데이터를 수신하여 내부에 설정된 값과 비교하여 올바른지를 확인한다. 3.TEST A ENABLE : TXA에서 데이터 송신하며 RXA에서 테스트모드로 전환되어 테스트 데이터를 비교한다. TEST B ENABLE : TXB에서 데이터 송신하며 RXB에서 테스트모드로 전환되어 테스트 데이터를 비교한다.	수신된 데이터가 올바른지 비교하여 상태를 표시한다. TEST SIGNAL A OK, TEST SIGNAL B OK를 현시하며 만일 테스트모드로 세팅되었음에도 불구하고 위 두가지 LED가 현시되지 않을 경우 시스템의 고장으로 판단하여 SYSTEM FAIL이 현시된다.	
6)THRU MODE	1.SHR은 NORMAL MODE와 THRU MODE로 구분이 되며 DIP SW로 세팅한다.	THRU MODE SW가 세팅되지 않은 경우는 NORMAL MODE로 동작을 하며 THRU MODE 선정후 MASTER와 SLAVE 모두 씨리얼 데이터를 상하위에 전송하지 않고 광데이터를 전송하는 동작만 한다.	DIP SW 값을 판단하여 상시 NORMAL MODE로 현시하나 세팅후는 THRU MODE로 현시된다.	
7)BUZZ OFF	1.DIP SW로 세팅되어 BUZZ를 해제한다.	상시 시스템 고장시 발생하는 BUZZ의 설정을 해제한다.	BUZZ 소리가 나지 않는 다.	
8)광 데이터 수신	1.광데이터 수신시 발생한다.	MASTER와 SLAVE 혹은 SLAVE와 SLAVE사이에 수신되는 광데이터를 나타낸다.	RX OPTIC A DATA IN RX OPTIC B DATA IN 두가지 LED가 현시되며 각각 A와 B 경로로 수신됨을 나타낸다.	
9)광데이터 송신	1.광데이터 송신시 발생한다.	MASTER와 SLAVE 혹은 SLAVE와 SLAVE사이에 송신되는 광데이터를 나타낸다.	RX OPTIC A DATA IN RX OPTIC B DATA IN 두가지 LED가 현시되며 각각 A와 B 경로로 송신됨을 나타낸다.	
9)전원부	시스템에 공급되는 DC5V의 케이블 연결을 확인한다.	전원이 인가되지 않거나 혹은 휴즈가 끊어진 경우를 제외하고 점검한다.	POWER LED의 현시를 확인한다.	
10)광선로 파손	시스템에 광선로가 연결되지	인접한 MASTER나 SLAVE에 광케이블이 연결되어있는	광선로의 안전성을 확인하므로 상시 LED가 켜	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	않는 경우를 확인한다.	지를 점검한다.	지지 않으며 광선로의 파손이 발생할 경루 아래 두가지로 현시한다. LINK A BREAK LINK B BREAK	
11) 선로 확인	송수신에 사용되는 선로를 확인한다.	시스템 내부에서 설정되는 경로를 표시한다.	상시 A 경로를 사용하고 광경로 파손시 B 경로를 사용한다. 아래의 두가지로 현시한다. LINK DIR A LINK DIR B	
12) 직렬 통신 확인	상위 연동시스템과 하위 TFM의 직렬통신을 확인한다	MASTER는 RS232 4포트 SLAVE는 RS232 2포트 RS485 2포트	연동장치 혹은 TFM과의 연결상태를 나타내며 데이터의 전송시 점멸한다.	

(3) 전자연동장치 현장 제어부 기능 시험 항목

■ 기능 시험 항목

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
1)현장제어부의 하드웨어 리셋 시험	1.현장제어부 전면에 설치된 리셋버튼을 0.5초 정도 누른다.	1.전면의 리셋버튼이 눌리면, 하드웨어 적인 신호가 현장제어부 내부의 리셋칩에 인가되어, CPU에 리셋신호가 전달된다. 2.CPU는 리셋신호를 입력받아, 내부 레지스터를 초기화시키고, 운영체제를 RAM에 복사한다. 3.운영체제 초기 루틴이 동작한다.	1. 시스템이 초기화된다. -현장제어부의 모든 입출력이 초기화된다. -리셋 LED가 점등되었다가 리셋버튼을 놓으면 소등된다. -콘솔에 해당하는 통신 TX LED가 잠시 점멸한다.	
2)현장제어부의 RAM시험	1.현장제어부 BUG ROM환경에서 메모리 테스트를 시험한다.	1.화면상에 메모리테스트 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.현장제어부 내부의 RAM에 $AA가 써지고, 읽혀진다. 3.현장제어부 내부의 RAM에 $55가 써지고 읽혀진다.	1.RAM에 평가중인 어드레스 값이 콘솔에 출력되며, 시험이 끝나면, 성공적으로 RAM 테스트가 이루어졌다는 메시지가 출력된다.	
3)현장제어부의 공유 메모리 시험	1.현장제어부의 공유메모리를 테스트한다.	1.화면상에 공유메모리테스트 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.현장제어부 내부의 공유메모리에 $AA가 써지고, 읽혀진다. 3.현장제어부 내부의 공유메모리에 $55가 써지고 읽혀진다.	1.공유메모리에 평가중인 어드레스 값이 콘솔에 출력되며, 시험이 끝나면, 성공적으로 공유메모리 테스트가 이루어졌다는 메시지가 출력된다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
4)현장제어부 RTC 읽기시험	1.현장제어부 BUG ROM환경에서 현재시간 표시 명령을 수행한다.	1.화면에 현재시간 출력 명령을 입력하고 엔터를 친다. 2.현재시간이 유지보수 콘솔에 출력된다.	1.시간출력 명령을 연속적으로 실행시켜 시간이 증가하는 지를 검사	
5)현장제어부 RTC 쓰기 시험	1.현장제어부 BUG ROM환경에서 현재시간 입력 명령을 수행한다.	1.화면에 현재시간 설정 명령을 입력하고 엔터를 입력한다. 2.현재시간을 hh/mm/ss의 형식으로 입력하고, 엔터를 입력한다.	1.입력을 종료하고, 현재시간 출력명령을 수행하여, 현재시간이 수정되었는지를 확인한다.	
6)현장제어부 시리얼 통신의 동작시험	1.채널에 해당하는 시리얼 포트로 입력을 받고, 받은 값을 같은 포트로 리턴한다.	1.시리얼 테스트용 소프트웨어를 사용하여 시험 포트를 설정한다. 2.시험표준에 맞는 시리얼 프로토콜을 사용하여 입력받는다. 3.입력받은 데이터를 다시 해당하는 포트로 출력한다.	1.올바른 입력이 들어오면, 해당하는 포트의 RX LED가 점멸한다. 2.입력받은 데이터가 콘솔로 출력된다. 3.콘솔에 출력된 데이터와 일치하는 아스키값이 해당하는 포트로 출력된다. 4.데이터 출력시에 TX LED가 점멸한다.	
7)현장범용출력제어모듈의 출력시험	1.현장범용 출력제어모듈에 출력명령을 내린다.	1.현장범용 출력제어모듈에 명령이 수행되면, 해당하는 포트에 출력신호가 발생된다. 2.모듈 내부의 병렬포트에서 발생한 전기적 신호는 스위칭 소자를 제어한다.	1.올바른 출력이 발생하면, 해당하는 포트의 LED가 점등된다. 2.출력에 해당하는 터미널에 입력포인트와 출력포인트가 쇼트된다.	
8)현장범용출력제어모듈의 결함 검출기능 시험	1.현장범용 출력제어 모듈의 단일계에 2개의 CPU모듈에 상이한 값을 주입하여, 비교값이 틀리게 한다.	1.단일모듈에 존재하는 2개의 CPU모듈의 비교값이 상이하다. 2.출력을 차단하고 FA LED를 점등한다. 3.단일모듈의 CPU보드들이 안전측으로 Halt상태에 들어간다.	1.비교값이 틀려진 단일모듈의 모든 출력의 접점들이 오픈상태로 된다. 2.시리얼 입력에 대한 응답을 하지 않는다. 3.FA LED가 점등된다.	
9)현장제어부의 파워 온 리셋기능 시험	1.전원이 인가된 커넥터에 모듈을 장착하여, 정상 동작하는지를 검사	1.전원분배기에 전원을 인가한다. 2.모듈에 전원분배기 커넥터를 삽입하다.	1.유지보수자 콘솔에 로고가 올바르게 출력되고, 현장제어부의 동작이 수행되는 지를 검사	
10)현장범용출력모듈의 절체기능 시험	1.논리부에서 해당하는 이중계의 범용출력모듈에 절체 명령을 가한다.	1.절체명령에 모듈에 인가된다. 2.동작계는 대기계로 전환되고, 대기계는 동작계로 동작한다.	1.ACT LED가 들어와 있는 동작계의 LED가 소등된다. 2.대기계의 ACT LED가 점등된다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
11)현장제어부 이중계 동작 중에서 워터 파워 마스터 기능시험	1.이중계의 현장제어부 모듈을 랙에 삽입한 상태에서 시스템의 전원을 차단하였다가 인가한다.	1.이중계의 CPU보드는 전원이 인가되면, 자신이 미리 사용자에 의한 설정에 의해 동장계인지 대기계인지를 결정한다.	1.이중계로 장치된 현장제어모듈 대기계의 ACT LED가 점등되는 지를 확인	
12)현장제어모듈의 이중계 동작 중에서 출력기능시험	1.이중계 현장제어모듈에서 시스템 레벨의 출력명령을 내보내고, 이때 동작계에서만 출력이 나가야 한다.	1.이중계로 설치된 현장제어모듈 시스템에 출력명령을 입력하면, 동작계에서만 출력이 발생한다.	1.동작계의 접점에서 성공적으로 제어신호 출력이 나오는 지를 검사.	
13)현장제어 모듈 이중계 동작 중에서 입력 기능 시험	1.현장제어모듈에서 시스템 레벨의 입력명령이 수신되면, 동작계와 대기계에 같은 내용이 수신되고, 처리된다.	1.입력포트를 통해 입력된 데이터는 동작계와 대기계에 모두 수신된다. 2.대기계는 동작계와 동일하게 명령을 연산하지만 출력은 내보내지 않는다.	1.동작계와 대기계의 각각의 모니터링 콘솔을 설치하고, 공통의 입력을 주면, 소프트웨어가 처리되는 결과가 콘솔을 통해 출력되는 지를 검사.	
14)현장제어모듈 이중계 동작 중에서 마스터 결함 극복 기능시험	1.이중계로 동작중인 시스템의 동작계에 소프트웨어 또는 하드웨어적인 결함을 주입한다.	1.동작계에서 결함이 발생하면, 대기계의 ACT LED가 점등된다. 2.동작계가 된 대기계는 연산 후 결과를 출력한다. 3. 결함이 발생한 동작계는 출력을 정지하고, FA LED를 점등한다.	1.동작계의 FA LED가 점등되는 지를 검사. 2.결함이 발생한 모듈에 FA LED가 점등되는 지를 검사. 3.계속되는 처리에서 동작계가 출력을 내보내는 지를 검사.	
15)현장제어모듈 이중계 동작 중에서 슬레이브 결함 극복 기능시험	1.이중계로 동작중인 시스템의 대기계에 소프트웨어 또는 하드웨어적인 결함을 주입한다.	1.대기계에서 결함이 발생하면 대기계의 FA LED가 점등된다. 2.대기계에 결함이 발생하여, 결함이 격리되어도, 동작계에는 영향을 미치지 않는다.	1.대기계의 FA LED가 점등되는 지를 검사 2.시스템이 원활하게 연속적으로 동작하는 지를 검사	
16)현장범용입력 제어모듈의 입력시험	1.현장범용 입력제어모듈에 입력상태를 체크한다.	1.현장범용 입력제어모듈에 입력명령이 수행되면, 해당하는 포트에 입력값을 읽어들인다. 2.모듈내부의 스위칭소자에 입력되는 DC24V값을 읽어들여, 병렬입력소자로 디지털신호가 들어온다.	1.올바른 입력이 발생하면, 해당하는 포트의 LED가 점등된다. 2.입력에 해당하는 병렬디바이스에 디지털신호가 입력된다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
17)현장범용입력제어모듈의결함검출기능시험	1.현장범용 입력 제어 모듈의 단일계에 2개의 CPU모듈에 상이한 값을 주입하여, 비교값이 틀리게 한다.	1.단일모듈에 존재하는 2개의 CPU모듈의 비교값이 상이하다. 2.입력이 차단되고, FA LED가 점등된다. 3.단일모듈의 CPU보드들이 안전측으로 Halt상태에 들어간다.	1.비교값이 틀려진 단일 모듈의 모든 입력의 접점들이, 병렬로 연결된 다른 모듈의 입력값에 영향을 미치지 않는다. 2.시리얼 입력에 대한 응답을 하지 않는다. 3.FA LED가 점등된다.	
18)현장범용입력모듈의절체기능시험	1.논리부에서 해당하는 이중계의 범용입력모듈에 절체 명령을 가한다.	1.절체명령이 모듈에 인가된다. 2.동작계는 대기계로 전환되고, 대기계는 동작계로 동작한다.	1.ACT LED가 들어와 있는 동작계의 LED가 소등된다. 2.대기계의 ACT LED가 점등된다.	
19)현장신호기제어모듈의신호기'R'점등시험	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'와 'G'소등명령을 실행한다.	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'와 'G'신호의 소등명령이 실행된다. 2.자기검사 회로에 의해 'R'신호가 점등된다.	1.출력대상 'R'신호기에 해당하는 전면 LED가 적색으로 점등된다. 2.출력대상 'R'신호기에 연결된 터미널에서 AC50V가 측정된다.	
21)현장신호기제어모듈의신호기'Y'점등시험	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'점등명령을 실행한다.	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'신호의 점등명령이 실행된다. 2.자기검사 회로에 의해 단선이 검사되고 'Y'에 해당하는 출력이 나간다.	1.출력대상 'Y'신호기에 해당하는 전면 LED가 황색으로 점등된다. 2.출력대상 'Y'신호기에 연결된 터미널에서 AC50V가 측정된다.	
22)현장신호기제어모듈의신호기'R'단선시험	1.현장신호기 제어모듈에서 'R'연결된 주심을 단선 시킨다.	1.현장신호기 제어모듈에서 'R'신호의 주심단선이 검출된다. 2.단선된 등의 부심에 출력신호가 인가된다.	1.출력대상 'R'신호기에 해당하는 전면 단선 LED가 적색으로 점등된다. 2.출력대상 'R'신호기에 연결된 부심터미널에서 AC50V가 측정된다.	
23)현장신호기제어모듈의신호기'G'단선시험	1.현장신호기 제어모듈에서 'G'연결된 주심을 단선 시킨다.	1.현장신호기 제어모듈에서 'G'신호의 주심단선이 검출된다. 2.단선된 등의 부심에 출력신호가 인가된다.	1.출력대상 'G'신호기에 해당하는 전면 단선 LED가 적색으로 점등된다. 2.출력대상 'G'신호기에 연결된 부심터미널에서 AC50V가 측정된다.	
24)현장신호기제어모듈의신호기'Y'단선시험	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'연결된 주심을 단선 시킨다.	1.현장신호기 제어모듈에서 'Y'신호의 주심단선이 검출된다. 2.단선된 등의 부심에 출력신호가 인가된다.	1.출력대상 'Y'신호기에 해당하는 전면 단선 LED가 적색으로 점등된다.	
25)현장신호기제	1.현장신호기 제어모듈의 단일	1.단일모듈에 존재하는 2개의 CPU모듈의 비교값이 상이	1.비교값이 틀려진 단일 모듈의 모든 신호기출	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
어모듈의 결함검출 기능시험	계에 2개의 CPU모듈에 상이한 값을 주입하여, 비교값이 틀리게 한다.	하다. 2.출력을 차단하고 FA LED를 점등한다. 3.단일모듈의 CPU보드들이 안전측으로 Halt상태에 들어간다.	력의 접점들이 오픈상태로 된다. 2.시리얼 입력에 대한 응답을 하지 않는다. 3.FA LED가 점등된다.	
26)현장신호기제어모듈의 절체기능시험	1.논리부에서 해당하는 이중계의 현장신호기 제어모듈에 절체 명령을 가한다.	1.절체명령이 모듈에 인가된다. 2.동작계는 대기계로 전환되고, 대기계는 동작계로 동작한다.	1.ACT LED가 들어와 있는 동작계의 LED가 소등된다. 2.대기계의 ACT LED가 점등된다.	
27)현장선로전환기제어모듈의 전환기능 시험	1.논리부에서 전환하려는 전철기의 전환명령을 내린다.	1.현장선로전환기 제어모듈은 논리부로부터 전철기 전환명령을 받는다. 2.현장선로전환기 제어모듈이 전환명령을 출력하면, 디지털 신호는 스위칭 소자를 거쳐 DC24V의 전철기 제어신호를 출력한다.	1.전환하려는 전철기의 방향 LED가 바뀐다. 2.전환하려는 전철기에 연결된 'N', 'R'커넥터 접점이 쇼트로 구성된다.	
28)현장선로전환기제어모듈의 상태표시기능 시험	1.전철기의 상태를 전면의 LED로 출력하고, 입력 레지스터를 읽어들여 상태를 파악한다.	1.전철기의 표시입력 'N'과 'R'에 해당하는 입력이 모듈에 들어온다. 2.입력레지스터를 읽어 입력값을 상위로 전송한다.	1.전철기가 전환되면, 해당 전철기 방향 LED가 현재의 방향을 현시한다. 2.해당하는 레지스터의 값을 읽어들이면, 전철기의 현재방향 값이 읽어진다.	
29)현장선로전환기제어모듈의 결함검출기능 시험	1.현장선로전환기 제어모듈의 단일계에 2개의 CPU모듈에 상이한 값을 주입하여, 비교값이 틀리게 한다.	1.단일모듈에 존재하는 2개의 CPU모듈의 비교값이 상이하다. 2.출력을 차단하고 FA LED를 점등한다. 3.단일모듈의 CPU보드들이 안전측으로 Halt상태에 들어간다.	1.비교값이 틀려진 단일모듈의 모든 전철기 제어접점들이 오픈상태로 된다. 2.시리얼 입력에 대한 응답을 하지 않는다. 3.FA LED가 점등된다.	
30)현장선로전환기제어모듈의 절체기능시험	1.논리부에서 해당하는 이중계의 범용출력모듈에 절체 명령을 가한다.	1.절체명령이 모듈에 인가된다. 2.동작계는 대기계로 전환되고, 대기계는 동작계로 동작한다.	1.ACT LED가 들어와 있는 동작계의 LED가 소등된다. 2.대기계의 ACT LED가 점등된다.	

(4) 연동기능 시험항목

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
1) 선로전환기 단독 전환	1. CPB Button과 번호란에 있는 해당 선로전환기 Button을 취급한다.	1. 해당 선로 전환기를 DClick 한다. 2. Dialog 창에서 정위 혹은 반위를 설정한다.	1. 대응하는 방향으로 선로전환기는 전환할 것. - 해당 선로전환기가 전환중 표시 - 선로전환기 전환 표시(정위/반위)	
2)진로 설정	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 성보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. 진로를 취소한다. 취급 Button란의 출발점과 취소 Button(CSSB)을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 취소한다.	1. 진로에 해당하는 궤도가 "진로해정"을 표시한다. 녹색 -> 백색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 정지를 표시한다.	
	3. 취급 Button란의 출발점과 진로가 없는 모든 착점을 취급한다.	- LCP의 기능 Test 조건은 아님		
3)병렬 진로의 설정	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 성보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. '1'의 진로와 병렬로 구성되는 전체 진로를 설정한다. 병렬 진로의 취급 Button란 출발점과 도착점을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 성보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다. 4. '1'의 진로 및 신호 표시는 변화가 없어야 한다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
4)지장 진로의 검사	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. '1'의 진로내의 선로전환기 개통방향과 다른 개통방향을 갖는 진로(지장진로)를 설정한다. -지장진로의 취급Button란 출발점과 도착점을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정 불가 Message를 받아 현시한다.	1. 모든 선로전환기는 전환하지 않아야 하며 지장진로는 구성되지 않아야 한다. 2. '1'의 진로 및 신호 표시는 변화가 없어야 한다.	
5) 철사 쇄정 (단지 궤도회로만인 경우)	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정 중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색으로 현시한다. 3. 신호기를 현시한다.	
6) 철사 쇄정 (과방호 검사)	1. 철사쇄정과 관계없는 궤도회로를 단락한후 전환한다.		1.대응하는 선로전환기는 전환한다	
7) 표시 쇄정	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. 접근 쇄정 구간의 궤도회로를 단락후 신호를 해정한다.		1. 시소해정등이 점등한다. 2. 신호기는 정지신호를 현시한다.	
	3. 신호현시 반응회로의 정지현시조건을 차단한		1. 관계하는 선로전환기는 소정의 시분이 경과하여도 해정되지 않는다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	다. -복수의 신호인 경우는 차단/회복의 과정을 반복한다.		2. 시소해정표시가 되지 않는다.	
8) 신호 제어 (궤도회로만인 경우)	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. 신호제어에 관계있는 모든 궤도회로를 각각 단락/개방한다.		1. 단락시, 신호기는 정지신호를 현시 한다. 2. 개방시, 신호기는 진행을 현시한다.	
	3. 신호제어에 관계있는 선로전환기의 제어조건과 표시조건을 각각 차단/회복한다.		1. 차단시, 신호기는 정지현시한다. 2. 회복시, 신호기는 진행을 현시한다.	
	4. 기타 신호제어에 기재되어 있는 조건을 각각 차단/회복한다.		1. 차단시, 신호기는 정지현시한다. 2. 회복시, 신호기는 진행을 현시한다.	
10) 진로 쇄정 (신호기와 선로전환기 상호간의 검사)	1. 해당 진로를 설정한다. 취급 Button란의 출발점과 도착점 Button을 취급한다.	1. 해당 신호기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로를 선택하여 설정한후 IXL로 정보를 송신한다. 3. IXL로부터 진로설정중 및 진로 설정 상태를 받아 현시한다.	1. 해당 진로에 관계하는 선로전환기들이 전환중(황색 Blink) -> 전환 쇄정된다. 2. 진로에 해당하는 궤도가 백색 -> 황색 -> 녹색 으로 현시한다. 3. 신호기의 표시등이 진행을 표시한다.	
	2. 진로와 관계있는 모든 선로전환기를 진로와 반대 방향으로 전환한다.	1. 해당 선로전환기를 DClick 한다. 2. Dialog창에서 해당 진로와 반대 방향으로 설정한후 IXL로 정보를 송신한다.	1. 대응하는 선로전환기는 전환하지 않는다.	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	3. 신호기의 내방 제1궤도 회로를 단락한 후 신호를 해정한다.		1. 신호기는 정위 현시하며, 진로는 쇄정된 상태로 있는다.	
	4. 신호기의 내방 제2궤도를 단락한 후, 제1궤도 회로를 개방한후 제1궤도회로 구간에 있는 선로전환기를 전환한다. 이후 진행방향으로 차례로 궤도회로를 단락, 개방한 후, 선로전환기를 전환한다.		1. 단락한 궤도회로를 포함한 내방구간의 선로전환기는 전환하지 않는다. 2. 단락을 개방한 궤도회로내의 선로전환기는 전환한다. 3. 과주여유거리내의 선로전환기는 최종구분 진로내 궤도회로의 단락을 개방한 후에 전환한다.	
* 사용정지 (사용정지 선로전환기를 포함한 진로)	1. 선로전환기 사용정지를 설정/해제를 한다.	1. 해당 선로전환기를 DClick 한다. 2. 설정/해제를 확인한다.	1. 선로 전환기의 사용정지 설정/해제가 정상적으로 수행한다.	
	2. 선로전환기의 사용정지를 설정한 후 선로전환기를 포함하는 진로를 설정한다.		1. 해당하는 진로가 설정되지 않는다. 2. 경계신호 현시를 가진 신호기에서 과주방호구간이 편쇄정의 경우는 경계신호현시에 해당하는 진로가 설정된다.	
	3. 해당하는 진로를 해정한 후 사용정지 선로전환기와 관계없는 진로를 설정한다. (과방호의 Check)		1. 해당 진로가 설정된다.	
* 사용정지 (진로에 포함된 선로전환기)	1. 해당하는 통상진로를 설정한 후 선로전환기의 사용정지를 설정한다.		1. 선로전환기의 사용정지가 설정되지 않는다.	
* 사용정지 (사용정지 신	1. 신호기의 사용정지 설정/해제	1. 신호기 Setting 창(Dialog)을 Click 한다. 2. 설정/해제를 확인한다.	1. 신호기 사용정지의 설정/해제가 정상적으로 수행된다.	
	2. 신호기의 사		1. 해당하는 통상진로가	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
호기의 진로)	용정지를 설정한 후 해당 진로를 설정한다.		설정되지 않는다.	
	3. 해당하는 진로를 해정한 후 사용중지 신호기와 관계없는 진로를 설정한다. (과방호의 Check)		1. 해당 진로가 설정된다.	
* 사용정지 (사용중인 진로에 대한 신호기 사용중지)	1. 해당하는 진로를 설정한 후 신호기의 사용정지를 설정한다.		1. 신호기의 사용정지가 설정되지 않는다.	
* 사용정지 (사용정지 선로전환기를 포함한 진로)	1. 선로전환기 사용정지를 설정/해제를 한다.	1. 해당 선로전환기를 DClick 한다. 2. 설정/해제를 확인한다.	1. 선로 전환기의 사용정지 설정/해제가 정상적으로 수행한다.	
	2. 선로전환기의 사용정지를 설정한 후 선로전환기를 포함하는 진로를 설정한다.		1. 해당하는 진로가 설정되지 않는다. 2. 경계신호 현시를 가진 신호기에서 과주방호구간이 편쇄정의 경우는 경계신호현시에 해당하는 진로가 설정된다.	
	3. 해당하는 진로를 해정한 후 사용정지 선로전환기와 관계없는 진로를 설정한다. (과방호의 Check)		1. 해당 진로가 설정된다.	
* 사용정지 (진로에 포함된 선로전환기)	1. 해당하는 통상진로를 설정한 후 선로전환기의 사용정지를 설정한다.		1. 선로전환기의 사용정지가 설정되지 않는다.	
* 사용정지 (사용정지 신호기의 진로)	1. 신호기의 사용정지 설정/해제	1. 신호기 Setting 창(Dialog)을 Click 한다. 2. 설정/해제를 확인한다.	1. 신호기 사용정지의 설정/해제가 정상적으로 수행된다.	
	2. 신호기의 사용정지를 설정한 후 해당 진로를 설정한다.		1. 해당하는 통상진로가 설정되지 않는다.	
	3. 해당하는 신		1. 해당 진로가 설정된	

기능항목	취급 및 검사 방법	취급 Flow	판정 기준 및 확인 방법	판정
	로를 해정한 후 사용중지 신호기와 관계없는 진로를 설정한다. (과방호의 Check)		다.	
* 사용정지 (사용중인 진로에 대한 신호기 사용중지)	1. 해당하는 진로를 설정한 후 신호기의 사용정지를 설정한다.		1. 신호기의 사용정지가 설정되지 않는다.	

나. 전자연동장치 현장안정화 시험데이터

(1) 현장 제어부 온도 데이터

현장 제어부 온도 데이타는 선로변의 온도와 기후변화에 노출 되어 있는 현장 제어부의 내·외부의 온도를 측정하고 현장 제어부 Rack의 열 차단과 보온성능, 기후 변화에 따른 Rack의 성능, 현장 제어 모듈의 동작 온도 시험의 현장 적용 등을 점검하기 위해여 실시하였다.

- 위치 : 태백선 청령포역 선로변
- 측정 기간 : 2003.11 - 2004. 6

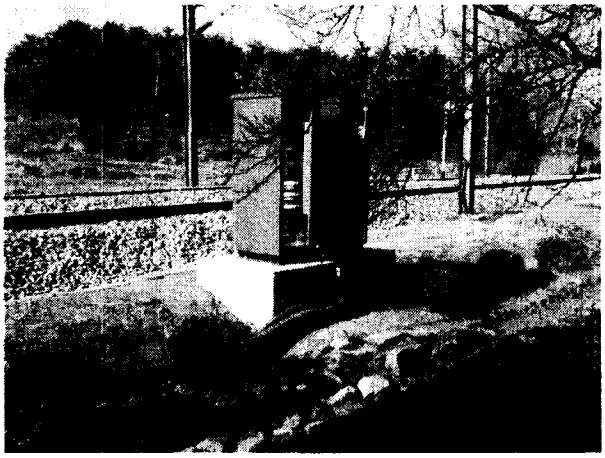


그림 3.135 연동장치설치 장소 사진

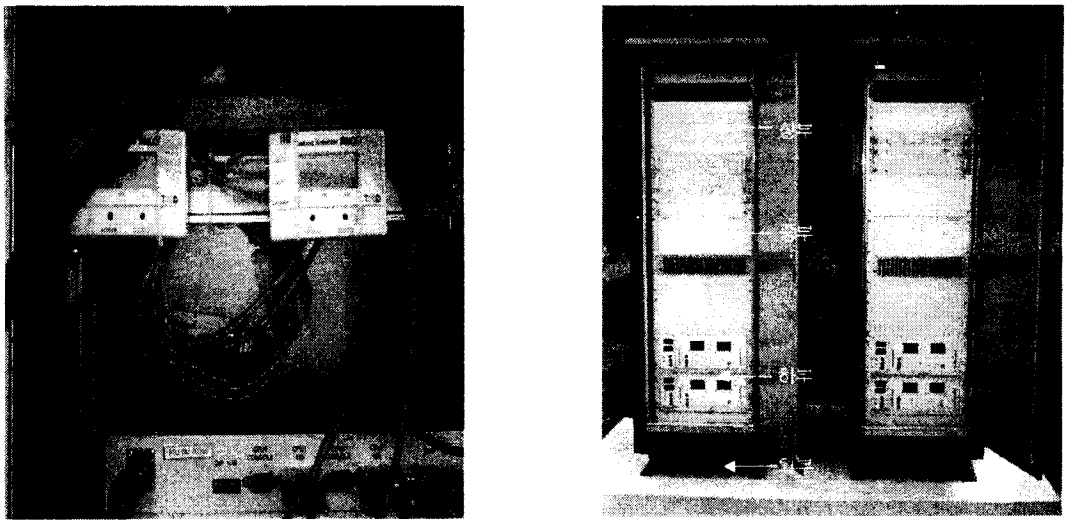


그림 3.136 온도 센서 장착 및 센서위치

(가) 시험 방법

시험 방법은 현장 제어부 Rack에 상, 중, 하, 외부 네 부분에 온도 센서를 설치하고 철도운용 환경의 변화에 따라 온도 센서의 Data 상태를 그래프로 분석하는 것으로 하였다.

① 가장 온도가 상승했던 날은 6월 4일이며 상태추이는 다음과 같다.

- 외부 최고 온도 : 36℃
- 내부 최고 온도 : 43℃
- 내부 최고 온도 지점 : 함체 하부
- 온도 유지 시간 : 13:40~16:40
- 최고 온도 유지시 온도 : 42℃

선로변의 환경 특성이 지열에 영향을 많이 받아 태양열과 지열이 가장 중첩되어 있는 오후 2시부터 3시 사이에 가장 높은 것으로 나왔으며 최고 정점을 유지하는 시간이 3시간을 유지하는 것으로 미루어 환경적 요인에서 지열의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

② 시험 기간 중 가장 온도가 내려간 것은 1월 24일이며 상태추이는 다음과 같다.

- 외부 최저 온도 : 17℃
- 내부 최저 온도 : 8℃

■ 내부 최고 온도 지점 : 함체 상부

■ 온도 유지 시간 : 04:30 ~ 08:50

■ 최저 온도 유지 시 온도 : -8℃

저온에서는 상부가 중부, 하부와는 달리 발열하는 장치가 없어 중부와 하부보다 낮게 온도가 낮게 나왔으며, 선로 전환기 제어 모듈 장치와 신호기 제어 모듈이 저온에서 발생하는 열은 약 2℃ 정도를 내는 것을 알 수 있으며 스스로의 발생하는 열로 저온에서도 시스템 안정화를 가지는 것을 알 수 있다.

③ 시간에 따른 온도변화 그래프 :

x축은 시간(h), y축은 온도(℃)로 매 시간 자동 업데이트된 자료이다.

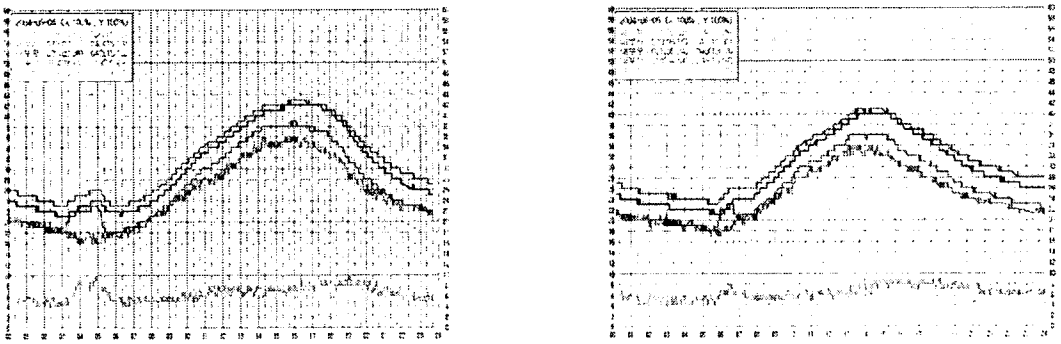


그림 3.137 하절기 온도시험데이터(6월 4일, 5일 온도 변화)

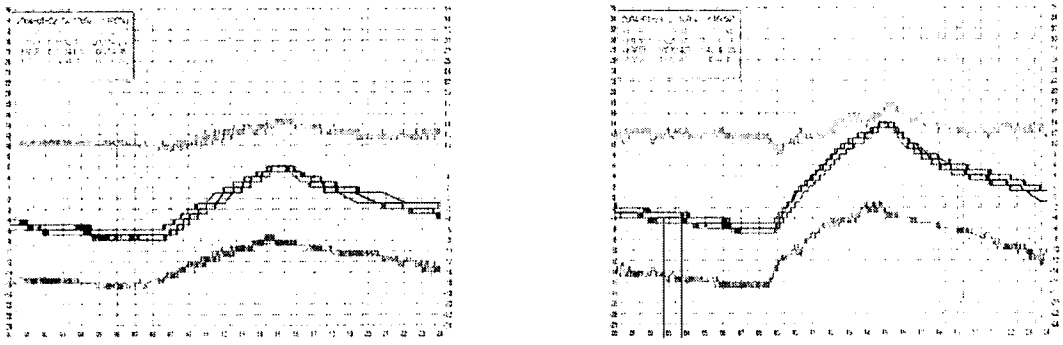


그림 3.138 동절기 온도시험데이터(1월 22일, 23일 온도 변화)

날짜	날씨	외부(℃)		상단(℃)		중단(℃)		하단(℃)		편차(℃)		비고
		최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	최고	최저	
6/4	맑음	36	16	39	18	42	21	43	23	10	4	
		14:12	03:52	15:49	02:13	15:15	02:36	15:38	02:31	04:38	00:30	
6/5	맑음	34	17	36	18	40	21	41	23	9	4	
		13:05	05:38	13:07	04:54	13:33	05:24	13:30	05:15	13:52	01:25	
1/22	맑음	-7	-17	6	-8	6	-7	6	-6	15	9	
		14:58	04:50	15:27	04:38	14:36	04:09	14:24	03:45	14:24	07:17	
1/23	맑음	-1	-17	13	-7	14	-7	14	-5	18	8	
		13:50	05:34	14:36	02:42	14:38	02:42	14:39	05:57	15:07	08:52	

(2) 현장시험 유지보수 기록내역

순번	일시	조치내역
1	2003.09.30	IFS : 자동폐색 취소조건 변경 ○ 변경전 : 진로설정후 장내궤도 진입 후 폐색궤도 복구시 폐색 취소 설정 ○ 변경후 : 진로설정후 폐색궤도 점유 후 장내궤도 진입시 폐색 취소 설정
2		IFS : 진로선별등 현시조건 변경 ○ 변경전 : 진로쇄정후 현시 및 진로해정후 소등 ○ 변경후 : 진로쇄정후 현시 및 장내 진입후 소등
3		IXL : 중계신호기 현 시조건 변경 ○ 변경전 : 신호 현시후 중계신호 현시 및 소속 궤도 점유시 정지 현시(1RA.3RA,3RB) ○ 변경후 : 신호 현시후 중계신호 현시 및 소속궤도 점유시 정지현시(1RA) 신호 현시후 중계신호 현시(3RA,3RB)
4	2003.10.24 ~ 2003.10.30	○ 4B진행 주심단심 표시 10/24 : 07:56 10/26 : 08:02 10/27 : 07:41 10/29 : 07:37, 14:27 10/30 : 07:36 ○ 원인 신호기계실내 전기연동장치와 전자연동장치간의 절체분선반상의 4B진행 신호의 주심신호의 절체계전기의 접점 불량 파악
5	2003.10.29 09:14	○ 21호 선로전환기 부정출력발생 3B_A 출발신호의 취급으로 선로전환기 구동 중 부정출력 검지기능의 동작으로 전자연동장치의 시스템 가동정지발생(09:15-전기연동장치) ○ 원인 : 선로전환기의 제어신호에 부정출력검지 기능의 동작 ○ 조치 : 11:30-원인파악후 전자연동장치 절체후 제어시험수행
6	2003.10.30	○ 시스템 보수내역 - 09:00 : 전기연동장치로 시스템 절체 - 09:30~15:00 : 전자연동장치 절체분선반의 4B 절체

순번	일시	조치내역
		계전기 시험 및 교체 선로전환기 부정출력 검지기능 보완 (제어신호의 출력차단후 일정시간-3초 경과후 부정출력검지 기능의 동작) 및 제어시험 - 15:30 : 전자연동장치 연동검사 시행 - 16:00 : 전자연동장치 사용개시
7	2003.12.19 ~ 2004.01.14	○ 상황 :- LCP #2 컴퓨터 다운 - 화면은 정지전 화면상태 유지, LCP #1 알람 - 발생일자 : 2003.12.19 10:07 2004.01.07 20:34 2004.01.09 11:42 2004.01.13 13:40 2004.01 14 09:05 ◎ 조치 : LCP #1 운영, LCP #2 컴퓨터 재부팅
8	2003.12.19 ~ 2004.01.14	○ 상황 :- LCP #2 컴퓨터 다운 - 화면은 정지전 화면상태 유지, LCP #1 알람 - 발생일자 : 2003.12.19 10:07 2004.01.07 20:34 2004.01.09 11:42 2004.01.13 13:40 2004.01 14 09:05 ◎ 조치 : LCP #1 운영, LCP #2 컴퓨터 재부팅
9	2004.01.13	○ 상황 : - CTC 컴퓨터 다운 - LCP 화면에서 DTS 경고 알람 발생 - 발생시간 : 06:03 ◎ 조치 : CTC 의 컴퓨터 재부팅
10	2004.01.15	◎ 유지보수 : LCP#2 및 CTC 의 컴퓨터 신형으로 교체 산업용 컴퓨터사양 - CPU : Pentium IV 2.0G - RAM : 256M - VGA : Raden 128M(PCI) - LAN : Intel Pro 100VE - HDD : MAXTOR 40G
11	2004.01.22 ~ 2004.01.27	○ 상황 : - CTC 컴퓨터 05:50~06:59까지 7회 리셋. - 최초 발생일자:01/22 05:50:03 - 전기연동장치로 전환 운영 - 01/25 현장도착 CTC 컴퓨터 점검. ◎ 조치 : - 01/27 산업용 PC 제작사 현장 조사 (LineTech 이봉연 대리외 1명)
12	2004.01.28	-시간 :15 :00 15평형 전기온풍기 설치후 온도변화 모니터링
13	2004.01.30	- 현장제어부(TFM) 절연기 및 온도조절기 설치(AM 11:20) 1. 14:00 ~15:00 => 전자연동장치자체시험 2. 15:35 => 전자연동장치 절체 3. 15:35~15:45 => 연동검사 4. 15:45 => 사용개시

<table>
<tr><th>순번</th><th>일시</th><th>조치내역</th></tr>
<tr><td>14</td><td>2004.01.21
~
2004.01.30</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2"></th><th colspan="2">외부온도(℃)</th><th colspan="2">내부온도(℃)</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>최고</th><th>최저</th><th>최고</th><th>최저</th></tr>
<tr><td>1/21</td><td>-5</td><td>-14</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1/22</td><td>-7</td><td>-17</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1/23</td><td>-1</td><td>-17</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1/27</td><td>2</td><td>-14</td><td>13.2</td><td>-0.7</td><td>온도센서 장착</td></tr>
<tr><td>1/28</td><td>3</td><td>-13</td><td>27.4</td><td>23.5</td><td>온풍기 가동</td></tr>
<tr><td>1/29</td><td>2</td><td>-10</td><td>29.2</td><td>24.2</td><td>“</td></tr>
<tr><td>1/30</td><td>2</td><td>-11</td><td>27.0</td><td>20.7</td><td>“</td></tr>
</table>
< 온풍기 설치전·후 온도 데이타 >
</td></tr>
</table>

(3) LDTS ⇔ 전자연동장치 I/F 시스템간 제어정보 Routine 보완

CTC(LDTS)로부터 진로제어정보를 DC24V Level의 Digital Input으로 수신하여 전자연동장치로 정보를 전달하는 시스템(CTC I/F System)에서 예측하지 못한 상태의 오정보입력으로 진로설정/취소를 반복(200msec 동안 35회)하는 전문을 전자연동장치로 송신한 문제가 발생된 적이 있었다. 전자연동장치는 연동기능의 수행(진로설정 및 취소)과 현장설비를 정상적으로 반복제어(선로전환기 제어 및 신호기현시) 하였으나 Data폭주로 인해서 전자연동장치가 표시제어부 및 CTC I/F 시스템을 통한 진로선별등은 현시하지 못하고 표시정보 누락되는 경우이다. CTC I/F 시스템의 Digital Input 정보처리 Routine을 보완 수정하여 LDTS로부터 비정상적인 Sequence의 입력을 Filtering하고 LDTS와 정보를 송수신하는 시스템에서 CTC의 제어명령 처리시 신호취급 과 신호취소 조건을 상호 비교하여 비정상적인 정보입력을 원천적으로 제거함으로서 전자연동장치로 정상적인 정보를 송신하였다.

다음은 현장정보처리 로깅데이타의 일부이다.

```
                    <<<< 청량포역  ALARM MESSAGE >>>>
Date   : 2004 02-29
Time   : 20:00:01 ~ 20:03:59
Level  : 연동 동작, 연동 장애, System, Information
Device : 전체 정보
  Time    Level Message
20:00:11    S    DIN( 3 , 3B) Set...
20:00:11    S    DIN( 6 , A) Set...
20:00:11    O    진로요청 송신[3B A]
20:00:13    O    진로 [3B_A] 설정 취급
20:00:13    O    선로전환기 [21]호 정위쇄정
20:00:13    O    신호기 [3B] 쇄정
20:00:13    I    진로 [3B A] 쇄정중
20:00:13    S    DOUT( 34 , 3LR) Set...
20:00:14    S    DIN( 35 , 3DPR) Set...
20:00:14    I    IXL1 : 폐색정보 송신[0011100100]
```

```
20:00:14   I   IXL2 : 폐색정보 송신[0011100100]
20:00:14   S    DIN( 41 , UPBDR) Set...
20:00:14   I   IXL1 : 폐색정보 송신[0011100110]
20:00:14   I   IXL2 : 폐색정보 송신[0011100110]
20:00:15   I   신호현시요구 [3B-A] 설정 O.K
20:00:14   S    DOUT( 19 , 07UPZK) Set...
20:00:17   I   SIG[3B] cur_F_Fil[R OxOO OxOO] IN[G OxOO OxOO] [1 2 2]
20:00:17   I   진로 [3B-A] 설정요구 처리 O.K
20:00:17   O    신호기 [3B] 진행 신호현시
20:00:16   S    DOUT( 31 , 3BLHPR) Set...
20:00:17   I   진로 [3B_A] 쇄정
20:00:16   S    DOUT( 15 , 3BASR) Set...
20:00:16   S    DOUT( 41 , 3B-MR) Set...
20:00:16   S    DOUT( 62 , 3B-R) Set...
20:00:18   I   SIG[3RB] cur_F_Fil[R OxOO OxOO] IN[G OxOO OxOO] [1 5 3]
20:00:18   O    신호기 [3RB] 진행 신호현시
20:00:21   S    DIN( 3 , 3B) Clear...
20:00:21   S    DIN( 6 , A) Clear...
20:00:22   S    DIN( 1 , 2A) Set...
20:00:22   S    DIN( 9 , 2P) Set...
20:00:22   O    진로요청 송신[2A_2UP]
20:00:24   O    진로 [2A_2UP] 설정 취급
20:00:24   O    선로전환기 [21]호 정위쇄정
20:00:24   O    선로전환기 [51]호 반위쇄정
20:00:24   I   신호현시요구 [2A-2UP] 설정 O.K
20:00:24   O    신호기 [2A] 쇄정
20:00:24   I   진로 [2A_2UP] 쇄정중
20:00:25   I   SIG[2A] cur_F_Fil[R OxOO OxOO] IN[G OxOO OxOO] [1 2 3]
20:00:25   I   진로 [2A-2UP] 설정요구 처리 O.K
20:00:25   O    신호기 [2A] 진행 신호현시
20:00:25   S    DOUT( 0 , 2ALHPR) Set...
20:00:25   S    DOUT( 59 , 2ACR) Set...
20:00:25   I   진로 [2A_2UP] 쇄정
20:00:25   S    DOUT( 10 , 2AASR) Set...
20:00:25   S    DOUT( 38 , 2AGPR) Set...
20:00:25   S    DOUT( 51 , 2AU_C) Set...
20:00:25   S    DOUT( 53 , 2AU_R) Set...
20:00:25   S    DOUT( 58 , 3A-3BCR) Set...
20:00:31   S    DIN( 1 , 2A) Clear...
20:00:31   S    DIN( 9 , 2P) Clear...
20:01:18   O    궤도 [B225ABT] 점유(장내접근)
20:01:17   S    DOUT( 3 , 225TPR) Set...
20:02:02   O    궤도 [51AT] 점유
20:02:02   O    신호기 [2A] 해정
20:02:02   S    AUTO 2CNR
20:02:02   S    DOUT( 4 , 51ATPR) Set...
20:02:02   S    DOUT( 39 , 2CNR) Set...
20:02:02   S    DOUT( 51 , 2AU_C) Clear...
20:02:02   S    DOUT( 53 , 2AU_R) Clear...
20:02:02   S    DIN( 37 , UPDIRPR) Clear...
20:02:02   I   IXL1 : 폐색정보 송신[0011000110]
20:02:02   I   IXL2 : 폐색정보 송신[0011000110]
20:02:02   S    DOUT( 39 , 2CNR) Clear...
20:02:02   S    DOUT( 22 , 09UPZK) Clear...
20:02:04   I   SIG[2A] cur_F_Fil[G OxOO OxOO] IN[R OxOO OxOO] [1 2 2]
20:02:04   O    신호기 [2A] 정지
20:02:03   S    DOUT( 0 , 2ALHPR) Clear...
20:02:03   S    DOUT( 38 , 2AGPR) Clear...
================================================================================
Page : 1, Print time : 04-03-09 16:15:48
                                <<<< 청령포역  ALARM MESSAGE >>>>
Date    : 2004-02-29
Time    : 20:00:01 ~ 20:03:59
Level   : 연동 동작, 연동 장애, System, Information
Device : 전체 정보
================================================================================
Time    Level Message
================================================================================
20:02:03   S    DOUT( 59 , 2ACR) Clear...
20:02:12   O    궤도 [B225ABT] 복구
20:02:12   S    DOUT( 3 , 225TPR) Clear...
20:02:13   O    궤도 [51BT] 점유
20:02:12   S    DOUT( 5 , 51BTPR) Set...
20:02:13   S    DIN( 37 , UPDIRPR) Set...
20:02:13   I   IXL1 : 폐색정보 송신[0011100110]
20:02:13   I   IXL2 : 폐색정보 송신[0011100110]
20:02:15   O    궤도 [2T] 점유
```

20:02:14 S DOUT(22 , 09UPZK) Set...
20:02:14 S DOUT(7 , 2TPR) Set...
20:02:20 I ALARM 취소 설정 [B] 해제OK ...
20:02:24 O 궤도 [51AT] 복구
20:02:24 S DOUT(4 , 51ATPR) Clear...
20:02:26 O 궤도 [51BT] 복구
20:02:26 S DOUT(5 , 51BTPR) Clear...
20:02:26 I 진로 [2A_2UP] 해정
20:02:26 S DOUT(10 , 2AASR) Clear...
20:02:26 S DOUT(58 , 3A-3BCR) Clear...
20:02:40 O 궤도 [21AT] 점유
20:02:40 O 신호기 [3B] 해정
20:02:39 S DOUT(30 , 21ATPR) Set...
20:02:41 I SIG[3B] cur_F_Fil[G OxOO OxOO] IN[R OxOO OxOO] [1 2 1]
20:02:41 O 신호기 [3B] 정지
20:02:40 S DOUT(31 , 3BLHPR) Clear...
20:02:40 S DOUT(41 , 3B-MR) Clear...
20:02:40 S DOUT(62 , 3B-R) Clear...
20:02:42 I SIG[3RB] cur_F_Fil[G OxOO OxOO] IN[R OxOO OxOO] [1 5 2]
20:02:42 O 신호기 [3RB] 정지
20:02:50 O 궤도 [2T] 복구
20:02:50 S DOUT(7 , 2TPR) Clear...
20:02:53 S DIN(35 , 3DPR) Clear...
20:02:53 I IXL1 : 폐색정보 송신[0001100110]
20:02:53 I IXL2 : 폐색정보 송신[0001100110]
20:02:54 O 궤도 [B224CT] 점유
20:02:54 S DOUT(28 , 224TPR) Set...
20:02:54 S DOUT(34 , 3LR) Clear...
20:02:54 S DOUT(19 , 07UPZK) Clear...
20:03:02 S DIN(1 , 2A) Set...
20:03:02 S DIN(8 , 1P) Set...
20:03:02 O 진로요청 송신[2A_1UP]
20:03:04 O 진로 [2A_1UP] 설정 취급
20:03:04 O 선로전환기 [21]호 정위쇄정
20:03:04 O 선로전환기 [51]호 정위제어
20:03:04 I 진로설정요구 [2A-1UP] 설정중...
20:03:04 O 신호기 [2A] 쇄정
20:03:04 S DOUT(9 , 51RKR) Clear...
20:03:04 I 진로 [2A_1UP] 쇄정중
20:03:05 I Pnt[51A] S[M] M[O] F[O] L[D] p[R] b0[40] [1 4 2]
20:03:05 I Pnt[51B] S[M] M[O] F[O] L[D] p[R] b0[40] [1 4 2]
20:03:04 S DOUT(14 , PD1K) Set...
20:03:06 O 궤도 [21AT] 복구
20:03:07 I 진로 [3B_A] 해정
20:03:06 S DOUT(15 , 3BASR) Clear...
20:03:06 S DOUT(30 , 21ATPR) Clear...
20:03:09 I Pnt[51A] S[N] M[O] F[O] L[D] p[M] b0[60] [1 4 2]
20:03:09 I Pnt[51B] S[N] M[O] F[O] L[D] p[M] b0[60] [1 4 2]
20:03:09 O 선로전환기 [51]호 정위쇄정
20:03:09 I 신호현시요구 [2A-1UP] 설정 O.K
20:03:09 S DOUT(8 , 51NKR) Set...
20:03:09 S DOUT(14 , PD1K) Clear...
20:03:11 I SIG[2A] cur_F_Fil[R OxOO OxOO] IN[Y OxOO OxOO] [1 2 4]
20:03:11 I 진로 [2A-1UP] 설정요구 처리 O.K
20:03:11 O 신호기 [2A] 주의 신호현시
20:03:10 S DOUT(0 , 2ALHPR) Set...
20:03:10 S DOUT(59 , 2ACR) Set...
20:03:10 S DOUT(38 , 2AGPR) Set...
20:03:11 I 진로 [2A_1UP] 쇄정

Page : 2, Print time : 04-03-09 16:15:48

<<<< 청령포역 ALARM MESSAGE >>>>

Date : 2004-02-29
Time : 20:00:01 ~ 20:03:59
Level : 연동 동작, 연동 장애, System, Information
Device : 전체 정보

Time	Level	Message
20:03:10	S	DOUT(10 , 2AASR) Set...
20:03:10	S	DOUT(51 , 2AU C) Set...
20:03:10	S	DOUT(52 , 2AU L) Set...
20:03:11	S	DIN(1 , 2A) Clear...
20:03:11	S	DIN(8 , 1P) Clear...
20:03:26	O	궤도 [B224ABT] 점유
20:03:37	O	궤도 [B224CT] 복구
20:03:54	S	DIN(1 , 2A) Set...

20:03:54 S DIN(12 , CAN) Set...
20:03:54 O 진로취소 송신[2A]
20:03:56 O 신호기 [2A] 취소 취급
20:03:56 I 진로 [2A_1UP] 취소요구 처리OK
20:03:57 I SIG[2A] cur_F_Fil[Y OxOO OxOO] IN[R OxOO OxOO] [1 2 1]
20:03:57 O 신호기 [2A] 정지
20:03:57 O 신호기 [2A] 해정
20:03:57 S DOUT(0 , 2ALHPR) Clear...
20:03:57 S DOUT(51 , 2AU_C) Clear...
20:03:57 S DOUT(52 , 2AU_L) Clear...
20:03:57 S DOUT(59 , 2ACR) Clear...
20:03:57 S DOUT(38 , 2AGPR) Clear...
20:03:57 I 진로 [2A_1UP] 해정
20:03:57 S DOUT(10 , 2AASR) Clear...
20:03:59 S DIN(9 , 2P) Set...
20:03:59 O 진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59 O 진로취소 송신[2A]

```
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
20:03:59   O   진로요청 송신[2A_2UP]
20:03:59   O   진로취소 송신[2A]
==========
Page : 4, Print time : 04-03-09 16:15:48
```

(4) 현장시험 기능시험결과

① 취급방법에서의 공통 적용사항

시험항목	시험기준	시험결과	비고
마우스 취급 확인	마우스에 의한 취급이 가능하여야 함.	마우스에 의한 취급 양호	표시에 나타나는 모든 선로전환기, 신호기, 폐색, 모드 등에 대하여 시행한 결과
키보드 취급 확인	키보드에 의한 취급이 가능하여야 함.	키보드에 의한 취급 양호	
취급의 시작	해당 아이콘을 두 번 클릭시 시작될 것	취급의 시작 양호	
취급의 실행	「취급확인」 창의 '확인' 클릭시 실행될 것	「취급확인」 창의 '확인' 클릭시 실행 양호	
	「취급확인」 창에서 'Enter'키를 눌렀을 때 실행될 것	「취급확인」 창에서 'Enter'키를 눌렀을 때 실행 양호	
취급의 취소	「취급확인」 창의 '취소' 클릭시 취소될 것	「취급확인」 창의 '취소' 클릭시 취소 양호	
	「취급확인」 창에서 'Esc'키를 눌렀을 때 취소될것	「취급확인」 창에서 'Esc'키를 눌렀을 때 취소 양호	

② 철사쇄정 및 선로전환기 취급

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
선로전환기의 단독취급	해당 선로전환기의 「취급확인」 창이 표출될 것	해당 선로전환기의 「취급확인」 창이 표출 양호	21호, 51호 선로전환기대상으로 확인한 결과
	「취급확인」 창의 '확인' 클릭시 전환될 것	「취급확인」 창의 '확인' 클릭시 전환양호	
철사쇄정	궤도회로 단락시 선로전환기가 전환되지 않을 것	궤도회로 단락시 선로전환기가 전환되지 않음	
	궤도회로 단락시 선로전환기가 전환되지 않을 것 (선로전환기:쌍동이상, 궤도회로:2개이상)	궤도회로 단락시 선로전환기가 전환되지 않음 (선로전환기:쌍동이상, 궤도회로:2개이상)	
	관계없는 궤도회로의 일부 또는 전부 단락시 선로전환기가	관계없는 궤도회로의 일부 또는 전부 단락시 선로전환기가	

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
	전환될 것	전환 양호	
선로전환기 제어전원의 차단	표시회로(KR) 구성후 제어전원(실내 WR 및 현장 전철제어계전기)이 차단될 것	표시회로(KR) 구성후 제어전원(실내 WR 및 현장 전철제어계전기)차단 양호	
선로전환기의 불일치 표시	표시회로가 구성되지 않을 경우 불일치 표시	표시회로가 구성되지 않을 경우 불일치 표시양호	
	최종제어된 위치(실내WR 기준)와 표시회로의 구성위치가 일치되지 않는 경우 불일치 표시	최종제어된 위치(실내WR 기준)와 표시회로의 구성위치가 일치되지 않는 경우 불일치 표시양호	
	최종 제어된 쪽의 궤도표시가 주황색으로 섬광할 것	최종 제어된 쪽의 궤도표시가 주황색으로 섬광양호	
	쌍동이상의 경우 각 선로전환기는 동일하게 표시할 것	쌍동이상의 경우 각 선로전환기는 동일하게 표시양호	
연동취급시 순차전환	연동취급시 0.5초 간격으로 순차적으로 전환될 것 (대역의 경우 0.25초까지 가능)	연동취급시 0.5초 간격으로 순차적으로 전환 양호 (대역의 경우 0.25초까지 가능)	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행한 결과

③ 신호제어 및 진로쇄정

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
신호취급	「도착지점 선택」 창 표시	「도착지점 선택」 창 표시양호	1A, 3B, 3A, 4A, 4B, 2A에 대해 시행한 결과
	도착지점선택시 해당진로를 황색으로 표시	도착지점선택시 해당진로를 황색으로 표시양호	
	「도착지점 선택」 창 삭제후 「취급 확인」 창 표시	「도착지점 선택」 창 삭제후 「취급 확인」 창 표시양호	
	취급완료후 진로선별 시작할 것	취급완료후 진로선별 시작양호	
진로선별 및 진로구성	신호취급후 선로전환기는 해당방향으로 전환될 것	신호취급후 선로전환기는 해당방향으로 전환양호	
	전환 완료시 구분진로 단위로 쇄정	전환 완료시 구분진로 단위로 쇄정양호	
	쇄정후 해당진로는 황색으로 진로구성여부 확인	쇄정후 해당진로는 황색으로 진로구성여부확인 양호	
진로구성 및 예비진로의 표시	장내, 출발, 엄호, 입환신호기의 경우에는 진로쇄정궤도와 도착지점의 궤도를 포함한 구간 표시	장내, 출발, 엄호, 입환신호기의 경우에는 진로쇄정궤도와 도착지점의 궤도를 포함한 구간 표시양호	
	입환표지와 유도신호기의 경우에는 진로쇄정구간표시	입환표지와 유도신호기의 경우에는 진로쇄정구간표시양호	
진로구성표시	진로가 쇄정되지 않은 경우 백색으로 표시	진로가 쇄정되지 않은 경우 백색으로 표시양호	
	신호가 현시되지 않는 경우 구분진로 단위로 황색으로 표시	신호가 현시되지 않는 경우 구분진로 단위로 황색으로 표시양호	

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
	진로가 해정되지 않은 경우 구분진로단위로 황색으로 표시	진로가 해정되지 않은 경우 구분진로단위로 황색으로 표시양호	
	신호가 현시된 경우 해당진로를 녹색으로 표시	신호가 현시된 경우 해당진로를 녹색으로 표시양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행한 결과
	열차진행시 전방진로를 녹색으로 표시	열차진행시 전방진로를 녹색으로 표시양호	
신호 현시	진로구성완료 후 진행신호를 현시할 것	진로구성완료 후 진행신호를 현시양호	
	모니터의 신호기 표시는 황색에서 녹색으로 표시	모니터의 신호기 표시는 황색에서 녹색으로 표시양호	
진로쇄정	다른 취급에 의해 해정되거나 전환되지 않을 것	다른 취급에 의해 해정되거나 전환되지 않는 기능양호	
	신호 현시 상태가 변하지 않을 것	신호 현시 상태가 변하지 않음양호	
신호취소취급	신호기 두 번 클릭시 「취급확인」 창 표시	신호기 두 번 클릭시 「취급확인」 창 표시양호	1A, 3B, 3A, 4A, 4B, 2A에 대해 시행한 결과
	확인 클릭시 정지신호 현시할 것	확인 클릭시 정지신호 현시양호	
신호현시후 궤도회로 단락	정지신호 현시후 진로쇄정상태는 변함이 없을것	정지신호 현시후 진로쇄정상태는 변함이 없음양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP, 3A_AP, 3B_AP, 4A_BP, 4B_BP에 대해 시행한 결과
신호현시후 단락된 궤도회로의 복구	정지신호 유지할 것	정지신호 유지양호	
	진로구성상태는 변함이 없을 것	진로구성상태 변함없음 양호	
	진로구성표시는 황색으로 표시	진로구성표시는 황색표시 양호	
신호현시후 궤도회로 단락시 신호취소	해당신호기를 두 번클릭하여 선택될 것	해당신호기를 두 번클릭하여 선택양호	
	진로가 해정될 것	진로 해정양호	
신호현시후 궤도회로 단락시 신호 재취급	해당신호기를 두 번 클릭하여 선택될 것	해당신호기를 두 번 클릭하여 선택양호	
	별도의 신호취급없이 재현시될 것	별도의 신호취급없이 재현시양호	
신호제어와 무관한 궤도회로의 단락 또는 복구	신호의 현시상태는 변함이 없을 것	신호의 현시상태는 변함없음 양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행한 결과
신호현시후 선로전환기 불일치	정지신호 현시후 진로쇄정상태는 변함이 없을것	정지신호 현시후 진로쇄정상태는 변함없음 양호	21호, 51호 선로전환기 포함진로대상으로 확인한 결과
	신호취소취급에 의한 해정이 가능할 것	신호취소취급에 의한 해정양호	
신호현시후 선로전환기불일치의 복구	정지신호를 계속 유지하며 진로쇄정상태는 변함이없을것	정지신호를 계속 유지하며 진로쇄정상태는 변함없음 양호	
	신호취소취급에 의한 해정이 가능할 것	신호취소취급에 의한 해정양호	
신호현시후 선로전환기불일치의	별도의 신호취급없이 재현시될 것	별도의 신호취급없이 재현시양호	

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
복구시 신호재취급			
신호현시후 신호기 내방의 첫 번째 궤도회로 단락	즉시 정지신호 현시할 것	즉시 정지신호 현시양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행 한 결과
	전방의 진로구성과 쇄정상태를 유지할 것	전방의 진로구성과 쇄정상태를 유지양호	
두 개의 궤도회로 동시단락후 후방 궤도회로 복구	후방 궤도의 진로는 해정될 것	후방 궤도의 진로는 해정양호	
	전방의 진로구성과 쇄정상태를 유지할 것	전방의 진로구성과 쇄정상태를 유지양호	
단락 궤도의 진로표시	녹색에서 적색으로 변환될 것	녹색에서 적색으로 변환양호	
단락궤도의 선로전환기 방향표시	녹색에서 적색으로 변환될 것	녹색에서 적색으로 변환양호	
선로전환기해정	진로내에 단락된 궤도회로가 없고 접근 및 보류쇄정이 설정되지 않은 경우 해정될 것	진로내에 단락된 궤도회로가 없고 접근 및 보류쇄정이 설정되지 않은 경우 해정양호	1A, 3B, 3A, 4A, 4B, 2A에 대해 시행 한 결과
신호취소	해당 신호취소와 무관한 다른 신호의 취급, 취소, 진로쇄정상태, 신호현시상태에 영향이 없을것	해당 신호취소와 무관한 다른 신호의 취급, 취소, 진로쇄정상태, 신호현시상태에 영향이 없음 양호	
선로전환기 공유	공통으로 쇄정된 선로전환기는 어느 한 진로의 신호취소에 의하여 해정되지 않을 것	공통으로 쇄정된 선로전환기는 어느 한 진로의 신호취소에 의하여 해정되지 않음 양호	
신호제어와 관련된 궤도회로 단락	단락된 궤도를 제외한 구분진로단위로 진로선별이 될 것	단락된 궤도를 제외한 구분진로단위로 진로선별이 양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행 한 결과
	전환된 선로전환기는 쇄정될 것	전환된 선로전환기는 쇄정양호	
	신호취소에 의해 해정될 것	신호취소에 의해 해정양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP, 3A_AP, 3B_AP, 4A_BP, 4B_BP에 대해 시행 한 결과
신호제어와 관련된 궤도회로 복구	진로선별이 완료될것	진로선별이 완료양호	
	진로구성 표시	진로구성 표시양호	
	진행신호 현시	진행신호 현시양호	
비상해정취급	신호취급후 진로쇄정 궤도회로의 추가단락등 변화시의 진로해정은 구분진로 비상해정취급에 따를 것.	신호취급후 진로쇄정 궤도회로의 추가단락등 변화시의 진로해정은 구분진로 비상해정취급에 양호하게 따름	
신호취급	다른 방향으로 쇄정된 선로전환기가 있는 경우 해당진로로의 신호취급은 할수 없을 것	다른 방향으로 쇄정된 선로전환기가 있는 경우 해당진로로의 신호취급 불가능 양호	-
선로전환기 불일치	선로전환기가 불일치중인 진로로 신호취급시 다른 선로전환기는 전환되어 쇄정상태로 유지할 것	선로전환기가 불일치중인 진로로 신호취급시 다른 선로전환기는 전환되어 쇄정상태로 유지양호	21호, 51호 선로전환기 대상으로 확인한 결

시험항목	시험기준	시험결과	비고 (적용대상)
	불일치중인 선로전환기가 복구될 것	불일치중인 선로전환기가 복구양호	과
	선로전환기 쇄정후 진로선별 완료될 것	선로전환기 쇄정후 진로선별 완료양호	
	진로구성표시할 것	진로구성표시 양호	
	진행신호현시할 것	진행신호현시 양호	
부분쇄정진로의 해정	신호취소에 의해 해정될 것	신호취소에 의해 해정양호	21호, 51호 선로전환기 포함진로대상으로 확인
신호현시후 진로쇄정구간 임의 궤도회로 단락	신호취소취급시 해당진로는 해정되지 않을 것	신호취소취급시 해당진로는 해정되지 않음 양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP, 3A_AP, 3B_AP, 4A_BP, 4B_BP에 대해 시행한 결과
구분진로 비상해정 취급	단락된 구분진로를 제외한 진로는 개별해정될 것	단락된 구분진로를 제외한 진로는 개별해정양호	
구분진로 비상해정 취급순서	1) 구분해정할 진로쇄정 궤도를 더블클릭 2) 구분진로 비상해정 확인창 표출 확인버튼 누름 3) 취급사유 입력창 표출 4) 취급자 및 취급사유 입력 확인버튼 누름 5) 구분진로해정	1) 구분해정할 진로쇄정 궤도를 더블클릭 2) 구분진로 비상해정 확인창 표출 확인버튼 누름 3) 취급사유 입력창 표출 4) 취급자 및 취급사유 입력 확인버튼 누름 5) 구분진로해정양호	
구분진로 비상해정 확인창 표시	"진로내에 운행중인 열차가 없는지 다시 한번 확인하시기 바랍니다."는 내용을 표출할 것	"진로내에 운행중인 열차가 없는지 다시 한번 확인하시기 바랍니다."는 내용을 표출양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행한 결과
구분진로 비상해정확인	취급사유입력창에는 취급내용이 표시되어야 하고 반드시 취급자 이름과 취급사유를 입력받은후 해정될것	취급사유입력창에는 취급내용 표시양호, 취급자 이름과 취급사유를 입력받은 후 해정양호	
구분진로 비상해정 취급실적	일시, 내용, 취급자, 사유를 자동으로 기록 및 출력이 가능할 것	일시, 내용, 취급자, 사유를 자동으로 기록 및 출력양호	
정지신호이외의 신호현시시 소등	해당 신호기는 그보다 하위신호를 현시	해당 신호기는 그보다 하위신호 현시양호	1A, 3B, 3A, 4A, 4B, 2A에 대해 시행한 결과
	후방의 신호현시는 현시계열에 따를 것	후방의 신호현시는 현시계열에 양호하게 따름	

④ 과주여유거리의 확보

시험항목	시험기준	시험결과	비고
도착지점 외방의 선로전환기 쇄정	해당진로의 신호취급시 해당방향으로 쇄정될 것	해당진로의 신호취급시 해당방향으로 쇄정양호	21호, 51호 선로전환기 포함진로 대상으로 확인한 결과
	진로구성표시는 하지 않을 것	진로구성표시는 하지않음 양호	
과주여유거리내의 선로전환기 비쇄정	신호기는 진행신호를 현시하지 않을 것	신호기는 진행신호를 현시하지않음 양호	
과주여유거리내의 쇄정된 선로전환기 해정	진로쇄정구간의 모든 구분진로가 해정된 후 해정	진로쇄정구간의 모든 구분진로가 해정된 후 해정양호	
단서조건에 의한 쇄정	신호취급후 단서조건이 양호하지 않을 때는 정지신호를 현시하고, 진로상태에 변함이 없을 것	신호취급후 단서조건이 양호하지 않을 때는 정지신호 현시 양호, 이때 진로상태에 변함없음 양호	-
	신호현시후 궤도 단락시 신호취소 또는 신호 재취급이 가능할 것	신호현시후 궤도 단락시 신호취소 또는 신호 재취급이 양호	재취급시 4A 또는 1A에 대해 시행한 결과

⑤ 상호쇄정

시험항목	시험기준	시험결과	비고
신호기와 신호기간의 정위 쇄정	신호취급을 하여 신호기에 진행신호를 현시하였거나 진로구성일 때 쇄정될 것	신호취급을 하여 신호기에 진행신호를 현시하였거나 진로구성일 때 쇄정양호	1A_2DN, 1A_1DN, 2A_1UP, 2A_2UP에 대해 시행한 결과
	신호취급을 한후 열차진행 또는 장애로 인하여 신호기는 정지신호를 현시하였으나 해당진로가 모두 해정되지 않았을 때 쇄정되지 않을 것	신호취급을 한후 열차진행 또는 장애로 인하여 신호기는 정지신호를 현시하였으나 해당진로가 모두 해정되지 않았을 때 쇄정되지 않음양호	
	신호가 접근 또는 보류쇄정 시소중일 때 쇄정될 것	신호가 접근 또는 보류쇄정 시소중일 때 쇄정양호	

⑥ 접근 및 보류쇄정

시험항목	시험기준	시험결과	비고
신호취소시 접근쇄정구간의 궤도회로 단락	신호기가 정지신호로 변경된후 접근쇄정시분(90초)동안 진로가 해정되지 않을것	신호기가 정지신호로 변경된후 접근쇄정시분(90초)동안 진로가 해정되지 않음양호	접근쇄정에 해당하는 진로에 대하여 모두 실행한 결과
접근(보류)쇄정 시소	시소표시등이 점멸하고 진로구성표시는 변함이 없을것	시소표시등이 점멸하고 진로구성표시는 변함이 없음양호	
진로해정	해당시분(90초) 경과후 진로는 해정될 것	해당시분(90초) 경과후 진로는 해정양호	
장내신호기의 접근 구간에 열차 진입	해당 궤도표시를 적색으로 점멸하고 경고음 발생	해당 궤도표시를 적색으로 점멸하고 경고음 발생양호	
열차에 의한 신호기의 내방궤도 점유	구분진로해정이 정상적일것	구분진로해정이 양호	

⑦ 폐색제어

시험항목	시험기준	시험결과	비고
출발신호의 현시	출발신호 취급시 정상적인 폐색수속(단선의 경우 폐색구간 쇄정)이 이루어 진후 진행신호 현시	출발신호 취급시 정상적인 폐색수속(단선의 경우 폐색구간 쇄정)이 이루어 진후 진행신호 현시양호	해당 폐색조건에서 동일시행한 결과
출발신호취급시 폐색장애 발생	선로전환기는 전환되어 쇄정을 완료하고 신호기는 진행신호를 현시하지 않을 것	선로전환기는 전환되어 쇄정을 완료하고 신호기는 진행신호를 현시하지 않음양호	
출발신호취급시 폐색장애 복구	신호기는 진행신호를 현시	신호기는 진행신호를 현시양호	
출발신호취급시 폐색장애 발생한 경우 신호취소취급	쇄정된 진로는 해정되고, 진로구성표시할 것	쇄정된 진로는 해정되고, 진로구성표시양호	
출발신호 현시후 폐색장애 발생	해당신호는 즉시 정지신호를 현시하고 진로쇄정상태는 변함이 없을 것	해당신호는 즉시 정지신호를 현시하고 진로쇄정상태는 변함 없음양호	해당 폐색조건에서 동일시행한 결과
출발신호현시후 폐색장애 복구	정지신호를 계속 유지하여야 하고, 진로쇄정상태는 변함이 없을 것	정지신호를 계속 유지하여야 하고, 진로쇄정상태는 변함이 없음양호	해당 폐색조건에서 동일시행한 결과
폐색구간의 해정	정상적인 열차의 운행에 의한 해정, 폐색취소취급 및 개통취급 이외의 경우에는 해정되지 않을 것	정상적인 열차의 운행에 의한 해정, 폐색취소취급 및 개통취급 이외의 경우에는 해정되지 않음양호	

⑧ 취급모드의 변경

시험항목	시험기준	시험결과	비고
LOCAL 취급으로의 전환완료	LOCAL 표시등을 두 번클릭시 전환완료	LOCAL 표시등을 두 번클릭시 전환완료양호	표시제어부 취급모드에 대하여 시행한 결과
	CTC 표시등 소등(회색)	CTC 표시등 소등(회색)양호	
	LOCAL 표시등 녹색으로 점등	LOCAL 표시등 녹색으로 점등양호	
	CTC장치로부터 제어명령이 입력되어도 실행되지 않을 것	CTC장치로부터 제어명령이 입력되어도 실행되지 않음 양호	
LOCAL 취급으로의 비상전환	LOCAL 표시등을 두 번클릭시 「비상 LOCAL 전환 확인」 창을 표시	LOCAL 표시등을 두 번클릭시 「비상 LOCAL 전환 확인」 창을 표시양호	
	확인을 클릭할 때 LOCAL 취급으로 전환될 것	확인을 클릭할 때 LOCAL 취급으로 전환양호	
「비상 LOCAL 전환 확인」창 전환	취급자 이름과 취급사유를 입력받은후 전환될 것	취급자 이름과 취급사유를 입력받은후 전환양호	
	취급실적에 대하여 일시, 내용, 취급자, 사유를 자동으로 기록토록 하고, 출력이 가능할 것	취급실적에 대하여 일시, 내용, 취급자, 사유를 자동으로 기록양호, 출력양호	
CTC취급으로의 전환	CTC표시등을 두 번 클릭시 전환될 것	CTC표시등을 두 번 클릭시 전환양호	표시제어부 취급모드에 대하여 시행한 결과
	LOCAL 표시등 녹색으로 점등	LOCAL 표시등 녹색으로 점등양호	
	CTC 표시등 녹색으로 점멸	CTC 표시등 녹색으로 점멸 양호	
CTC 사령에서의 전환취급	LOCAL 표시등 소등(회색)	LOCAL 표시등 소등(회색) 양호	
	CTC표시등이 녹색으로 점등되며, CTC취급으로 전환	CTC표시등이 녹색으로 점등되며, CTC취급으로 전환 양호	
CTC전환중 신호취급	CTC로 전환 요구중인 상태와 전환된 상태에서는 운전취급에 지장을 미치는 어떠한 취급도 실행되지 않을 것	CTC로 전환 요구중인 상태와 전환된 상태에서는 운전취급에 지장을 미치는 어떠한 취급불가 양호	
CTC전환요구 취소	점멸중인 CTC 표시등을 두번 클릭하여 취소	점멸중인 CTC 표시등을 두번 클릭하여 취소양호	
	CTC 표시등 소등	CTC 표시등 소등양호	
LOCAL 취급으로의 전환	CTC사령에서 전환취급확인	CTC사령에서 전환취급확인 양호	
	CTC 표시등 녹색으로 점등	CTC 표시등 녹색으로 점등 양호	
	LOCAL 표시등 녹색으로 점멸	LOCAL 표시등 녹색으로 점멸양호	

⑨ 운용시험절차

시험항목	시험기준	시험결과	비고
치명적 오류검사	동작중인 전자연동장치에 저장된 메시지를 주기적으로 검사하여 오동작이 없을 것	동작중인 전자연동장치에 저장된 메시지를 주기적으로 검사하여 오동작에 관한 데이터 없음	수집된 현장 동작 데이터 분석결과
정상동작검사	전자연동장치 동작과 CTC 사령실 전문이 일치할 것	전자연동장치 동작과 CTC 사령실 전문이 일치	

(5) 전자연동장치 업그레이드 사항

① 연동논리부 안전성 보완 사항

전자 연동 장지 연동 논리부는 대기 이중계(Hot-Standby)으로 시스템이 입력 데이터를 병렬로 처리하는 구조로, 동작계에서 극복 할 수 없는 결함이 발생하여 시스템에서 절체가 이루어지는 경우에 동적계의 출력을 차단하고 대기계의 출력을 활성화 시키는 방식으로 구성되어 있다. 이러한 동작의 일환으로 대기계가 동작계의 출력을 차단하고 대기계가 출력을 활성화가 되고 나서는 동작계 논리부의 교체가 필요하다. 이때 교체 보드가 동작중인 논리부의 출력에 영향을 주어서는 안 되며 전원의 안정화를 유지한 상태에서 교체가 가능하도록 Hot-swapping 기능을 추가 하였다. VME Bus와 연결되는 모든 출력에 보호 기능을 둠으로 고장 수리를 안전을 확보한 상태에서 수행 할 수 있게 하였다.

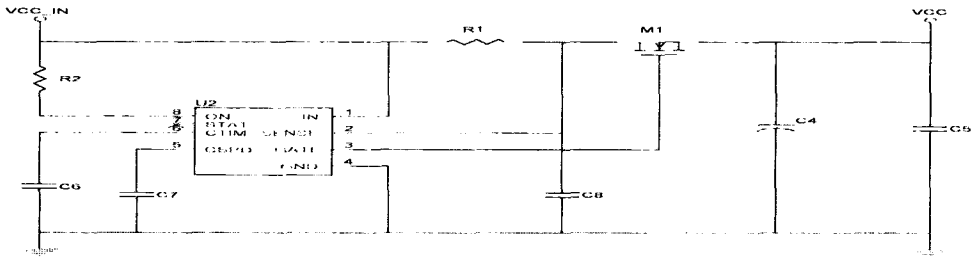


그림 3.139 연동 논리부 Hot-swapping 회로도

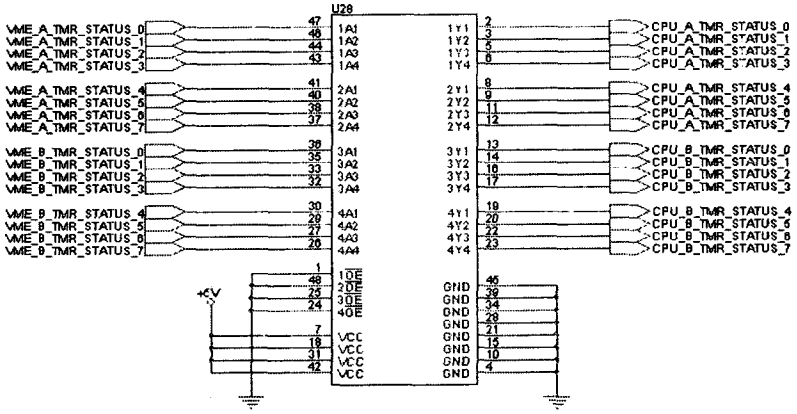


그림 3.140 연동논리부 VME Bus Buffer 회로도

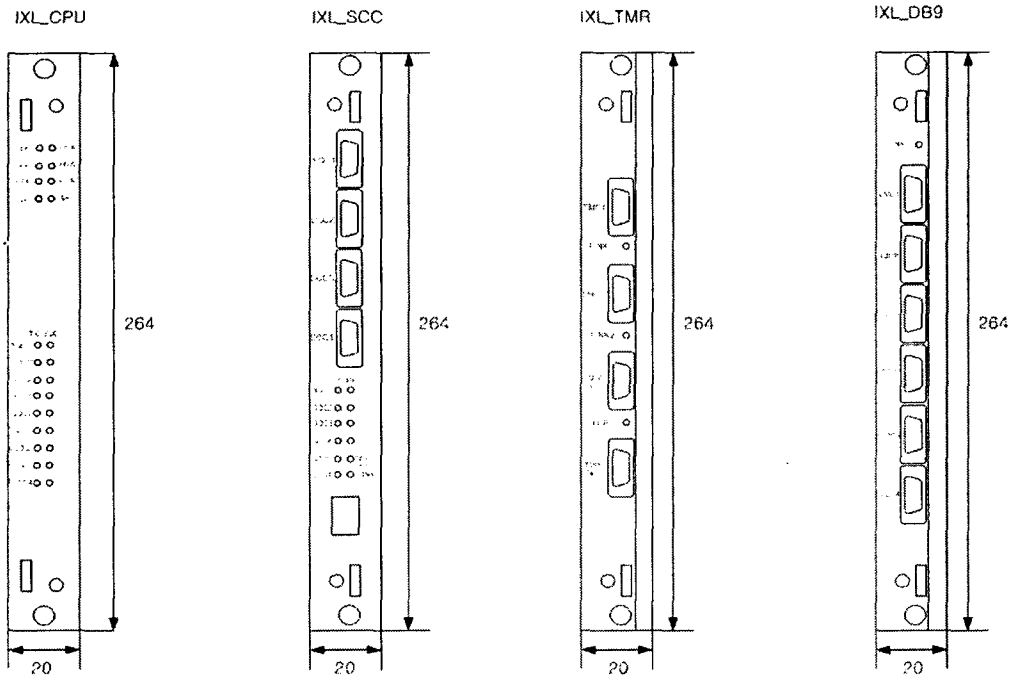


그림 3.141 연동 논리부의 외형도

- TX, RX, Link는 통신과 관련되 상태를 보여주는 LED로써 TX는 전체적인 통신의 송신부의 상태를 표시하고 RX는 수신부의 상태를 표시한다. Link는Ethernet의 연결 상태를 표시하며 정상적인 상태일 때 점등 된다.
- MAS는 시스템 동작시 주기적으로 Blue로 점멸 표시 된다.
- COL는 Ethernet 통신선로의 송신Line과 수신Line이 충돌 하였을때 Red로 표시 된다.

■ DELAY는 연동 DATA 처리 지연 시 Green으로 표시된다.

■ HALT는 연동논리부의 자기 진단에서 이상 발생시 Red로 표시된다.

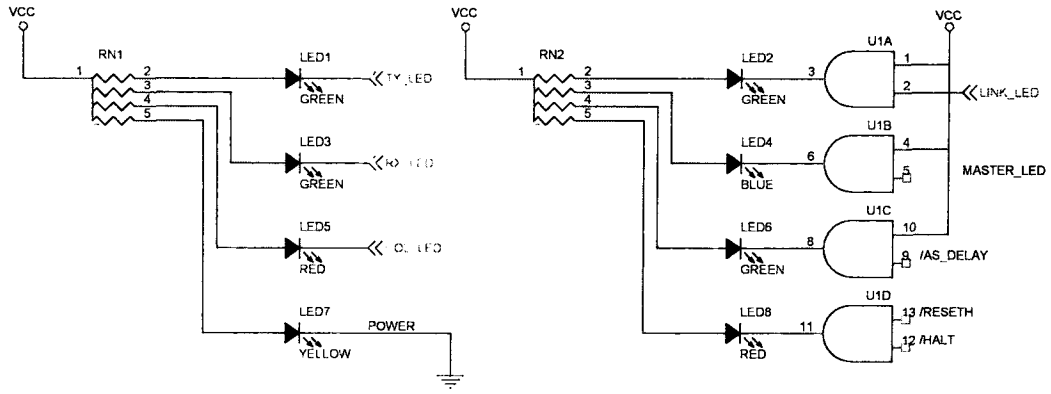


그림 3.142 연동 논리부 COL 회로도

1) 연동논리부의 결함주입 시험

연동논리부를 검증하기위해 몇 가지 상황을 시뮬레이션 하는 결함을 임의로 주입하여 시스템의 안전측동작 및 결함허용 특성을 시험하였다.

연동논리부는 자체적인 결함검출로직을 마이크로컨트롤러와 여분관리로직에 내장하고 있어서 결함이 발생하면, 동작계의 출력은 차단되고 대기계의 출력이 활성화되는 대기이중계(Hot Standby)구조로 구성되어있다.

시스템에서 발생할 수 있는 결함은 메모리에 의한 결함과 나머지 디바이스에 의해 발생될 수 있는 결함으로 나뉘어 볼 수 있으며, 이러한 결함의 발생은 시스템에서 소프트웨어적인 검출과, 시스템 동작에 대한 궤환값의 연산으로 얻어질 수 있다. 그림 3.143는 시스템에서 결함이 발생한 것과 같은 효과를 내도록 시뮬레이션된 데이터를 시스템에 주입하여, 시스템이 안전측으로 동작하는 지를 시험한 데이터이다.

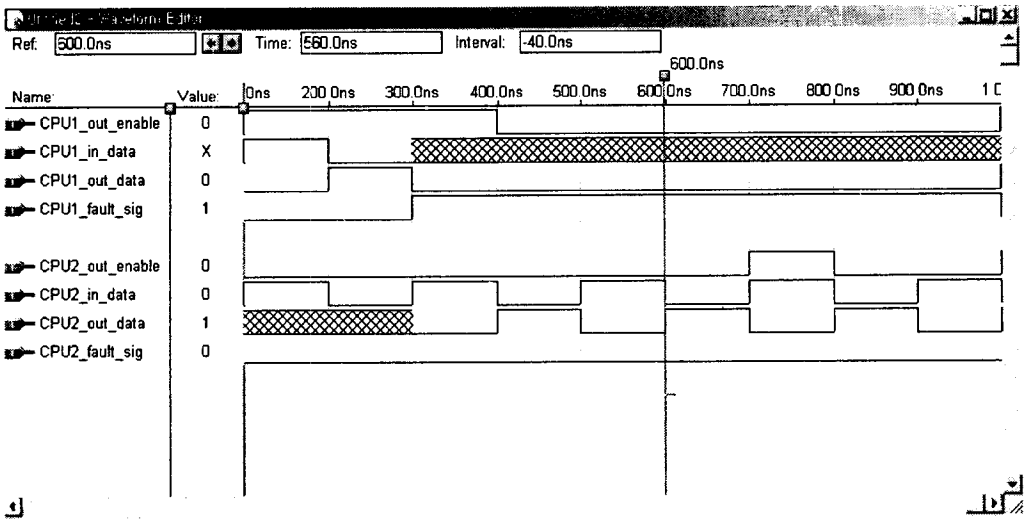


그림 3.143 연동논리부의 결함주입

2) 선로전환기 제어모듈 보완사항

현장 단말 제어부 중에서 선로 전환기를 제어 하는 부분으로 하나의 선로 전환기 제어 모듈은 8대의 NS형 선로전환기를 제어 할 수 있다. 선로 전환기 제어모듈은 CPU모듈 두개를 장착한 단일 모듈 2대를 병렬로 연결하여 사용한다. 비교 연산을 통하여 같은 처리 결과에 대해서만 동작을 하게 되고 이 처리결과를 EPLD에서 다시 안전측(Fail-Safe) 동작인지를 확인한 다음 제어 동작을 하게 된다. 여기에 제어 출력 전에 전류 감시 기능과 출력을 차단 회로를 추가하여 제어 동작을 하지 않을 때 낙뢰 피해 예방, 현장에서 이상 신호로 인한 모듈의 손실, 출력 회로의 과전류에 대하여 보호를 확보하고 부정출력에 대해서는 검지 회로를 추가하여 사용하지 않는 출력 (High-Impedance -⊕, ⊖-High-Impedance, ⊕-⊕, ⊖-⊖)에 대해서는 출력이 발생하지 않게 하고 외부 또는 물리적인 요인에 의해 발생될 경우는 메시지 출력과 출력 고장 LED를 추가하여 확인이 가능하게 하였다.

검지회로는 출력 최종단과 연결하여 최종출력에 대한 신뢰성을 높였다. 선로전환기 표시 입력 회로는 저 전압 신호 차단과 저전류 신호차단으로 부정 신호 입력 차단을 보안 하고 Chattering 방지 프로그램으로 선로 전환기 표시 입력 신호와 시스템 전체의 신뢰성의 향상을 이루었다.

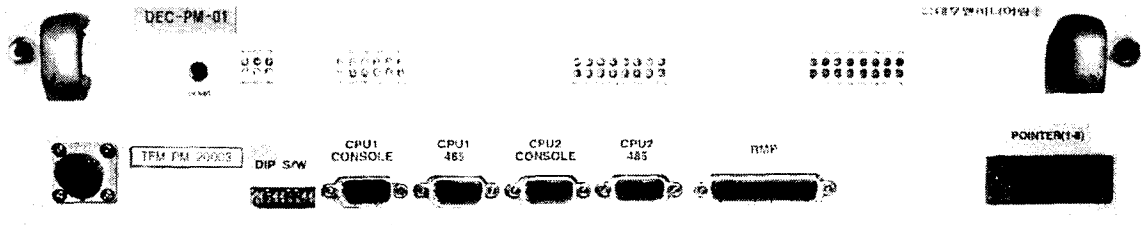


그림 3.144 현장 선로 전환기 단말 제어 모듈의 외형

그림은 현장 선로 전환기 제어 모듈의 외형이다.

- CPU는 내장되어 있는 CPU모듈의 동작상황을 표시하며 동작시 0.5sec내에 Flashing하여 상태를 표시한다.
- 통신부분의 LED는 CPU #1과 CPU #2의 통신 상태를 확인 할 수 있으며 모든 통신 Port를 표시하고 있다.
- 출력제어는 EPLD의 제어의 안전측 동작 확인 상태를 의미하는 부분으로, 안전측 동작일때 표시한다.
- 출력 고장은 선로 전환기의 제어시 과전류나 부정 출력이 발생을 표시하며 출력 고장이 발생시 출력의 제어는 차단된다.

3) 출력 전류 감시

출력 전류 감시는 정상 출력 전류에서는 동작을 하지 않으나 과전류시 동작하여 출력을 즉시 차단하며 과전류 발생원인 해소가 될 때까지 출력을 차단한다. 전류 감시를 제어 출력단자에 두어 제어 전류의 감시가 용이하게 하였으며 Isolator로 출력단자와 감시 단자를 전기적으로 분리하여 과전류 발생시에도 모듈을 보호하였다.

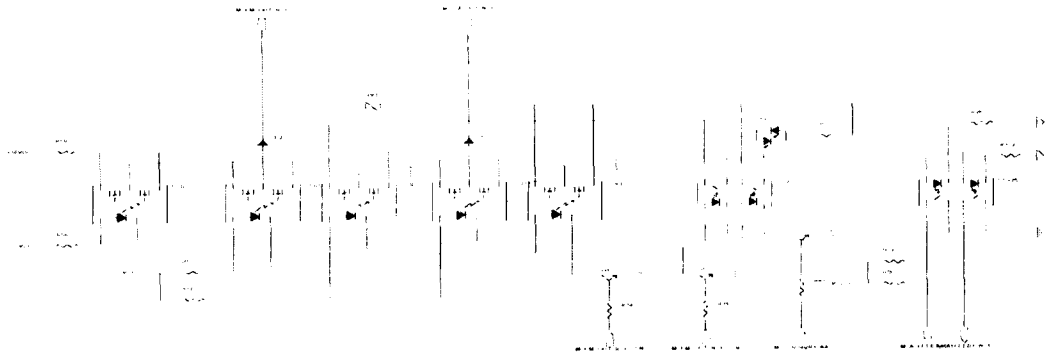


그림 3.145 선로전환기 제어모듈 출력 변경전

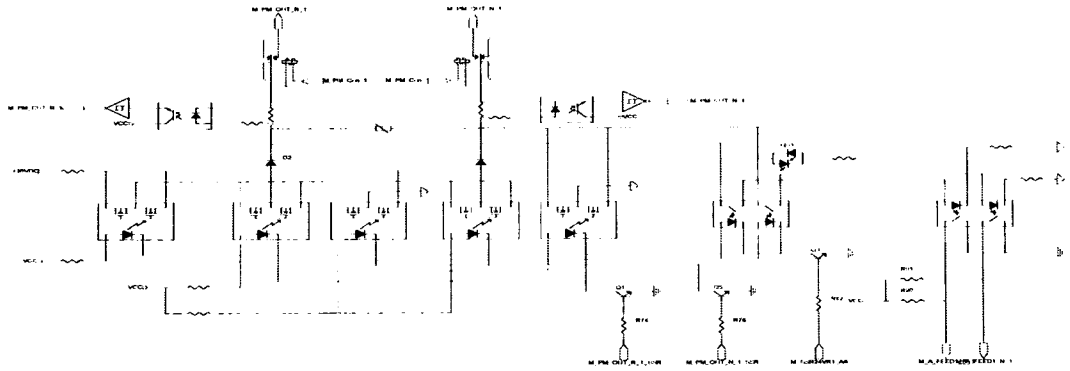


그림 3.146 선로전환기 제어모듈 출력 변경후

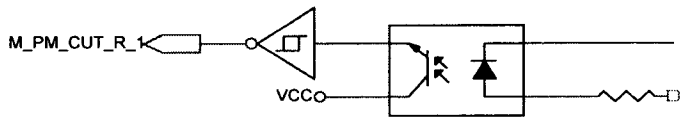


그림 3.147 선로전환기 제어모듈 출력 전류 감시 회로

4) 출력 차단 회로

출력 차단회로는 출력단자를 평상시는 회로를 개방하였다가 출력이 있을때만 출력회로를 구성하여 출력을 하게 하였다. 출력 회로를 개방함으로써 현장에서 모듈로 들어 올 수 있는 부정 전압 및 전류를 차단하고 예비 제어 출력으로 정상동작 확인 후 출력함으로써 제어 출력의 이중화가 가능하여 신뢰성 향상을 이루었다.

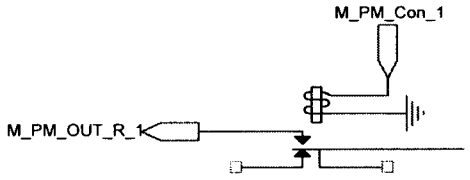


그림 3.148선로전환기 제어모듈 출력 차단 회로

5) 선로전환기 부정출력 감시회로

선로 전환기 부정 출력 감시 회로는 출력에 최종단에 연결되어 출력에 대한 상태를 감시하게 되며 부정 출력(High-Impedance -⊕, ⊖-High-Impedance,

⊕-⊕, ⊖-⊖)에 대해서는 EPLD에 송신하여 출력에 대하여 차단하며 오출력에 대한 감시도 병행하게 된다. 외부의 또는 물리적 요인 등으로 발생될 경우에도 부정 출력 검지회로가 동작되며 출력이 차단된다.

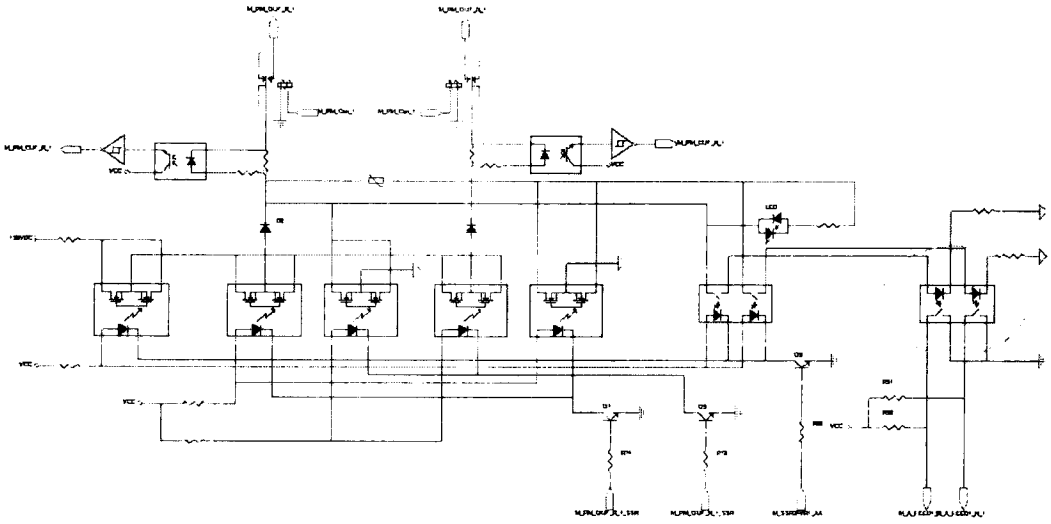


그림 3.149 선로전환기 제어모듈 부정 출력 감시 회로

6) 선로 전환기 입력 상태 표시부

상태 입력 표시에서는 저 전압 입력과 저 전류 입력 시 차단 기능을 추가하여 부정 입력 신호를 차단하였다. 저 전압 신호에 대해서는 18V이하의 입력신호에 대해서는 차단 기능을 두었으며 25mA 이하의 저 전류의 입력신호에 대해서도 차단을 하여 현장에서 입력되는 부정 입력 신호 차단하여 선로 전환기 상태 정보에 대하여 신뢰성 향상을 이루었다.

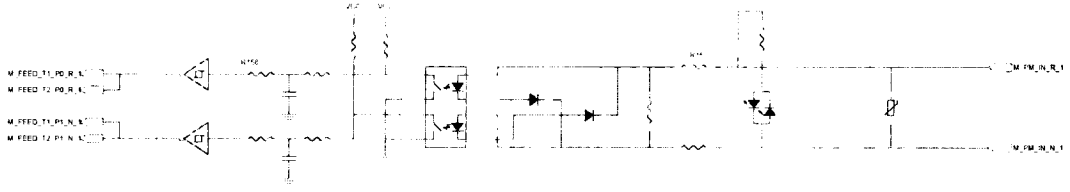


그림 3.150 선로전환기 제어모듈 상태 입력 회로 변경전

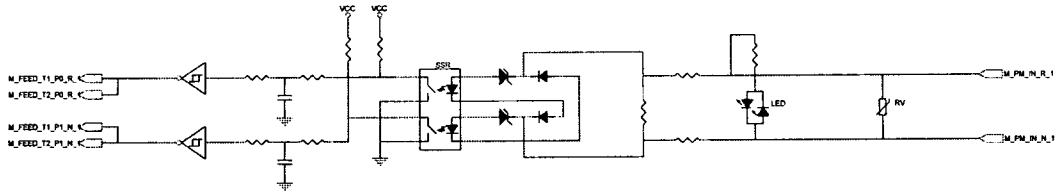


그림 3.151 선로전환기 제어모듈 상태 입력 회로 변경후

7) Chattering 방지 프로그램

다음과 같이 선로 전환기 표시 상태 입력에 대하여 Chattering을 방지하는 프로그램을 적용시켜 신뢰성 있는 신호를 얻을 수 있었다.

```
if ( R != 0x00|| N != 0x00 || PntPwrCnt[idx] > 10 || PntCtrlFlg[idx] == 'T' )
  PntMovCnt[idx] = 0;
else
 {
   if ( ++PntMovCnt[idx] <= 2 )
    {
        if ( DevStat[idx] == 'N' )
           N = 0x01;
           else if ( DevStat[idx] == 'R' )
               R = 0x02;
      if ( (R != 0x00 || N != 0x00) && thermo_mode != 'T')
                 printf3("<Chattering-%2d>\n",idx+1);
       }
 }
```

8) 선로전환기제어모듈의 결함주입 시험

선로전환기제어모듈은 NS타입선로전환기와 인터페이스하는 모듈로 하나의 선로전환기를 제어하기 위한 제어신호 2라인과 제어궤환 2라인으로 인터페이스를 한다. 현장적응시험에서는 선로전환기를 제어하기위한 2라인의 출력부분에 결함을 주입하여, 결함이 발생즉시 검출되어 결함을 극복한 후에 선로전환기를 성공적으로 전환시키는 지를 시뮬레이션 하였다. 그림 3.152은 선로전환기제어모듈의 출력스위칭 소자에 결함을 주입하여, 위와 같은 결함허용 특성이 관찰되는 것을 나타낸 것이다.

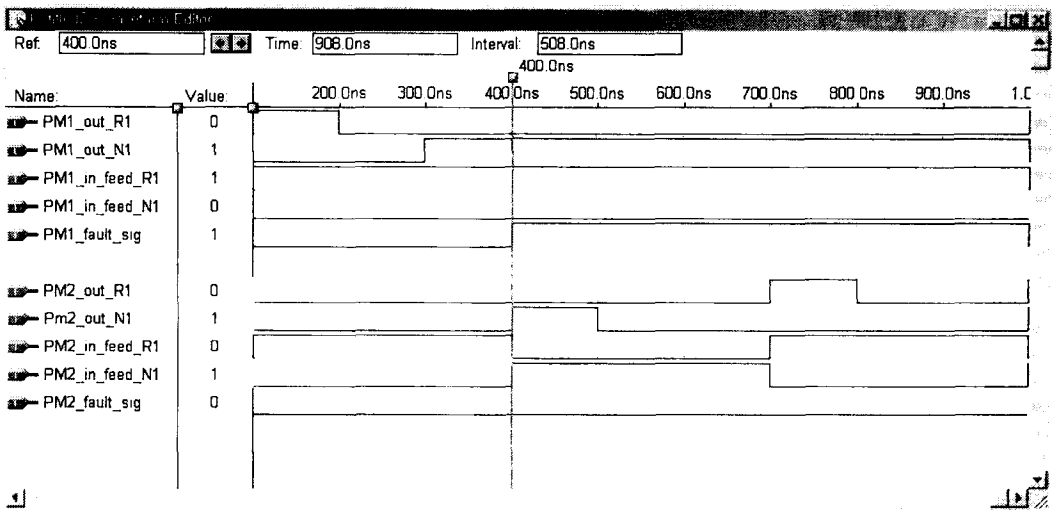


그림 3.152 선로전환기제어모듈의 제어출력에 결함주입

② 신호기 제어모듈의 보완사항

현장 제어부 중에서 신호기를 제어 하는 부분으로 하나의 신호기 제어 모듈은 3등 쌍심형 신호기 6대를 제어 할 수 있다. 신호기 제어 모듈은 CPU 모듈을 Dual로 장착한 단일 모듈 2대를 병렬로 연결하며 최종 출력단자에 전압 검지 회로를 두어 전류 감시와 전압 감시를 병행하였다. 전류 검지는 AMP에서 하며 쌍심형 필라멘트에 맞게 설계되어 주심과 부심 점등 시 모두 전류를 체크할 수 있도록 하였다. Module의 주전원 차단 시 에서도 Red등의 현시를 유지할 수 있으며 전류감시로 주심과 부심의 단심여부를 체크하게 된다. 연동 논리부 프로그램 수정으로 상위등의 주심 부심 모두 소등 시 하위등이 점등되게 프로그램 하였다. 전압 감시는 최종단자에서 전압을 검지하는 방식으로 점등 유무에 관계없이 외부 결선에 대해서 감시를 하며 출력이 없는 상황에서 전압이 체크되거나 외부 전압 인입에 대해서도 감시하여 출력을 차단하게 된다. 배선의 혼촉으로 결선오류에서 오는 부정 현시와 외부 조건까지 감시 하게 된다. 단심 상황 해제 시 주심 자동 복귀 기능을 추가하여 순간적인 접촉 불량으로 단심이 발생 하였을 때에는 자동으로 단심 해지가 되며 메시지 출력으로 로그에 기록되게 되여 단심 사용자의 편리성과 단심 복귀 시간을 최소화 하여 시스템의 안전성과 신뢰성을 향상하였다.

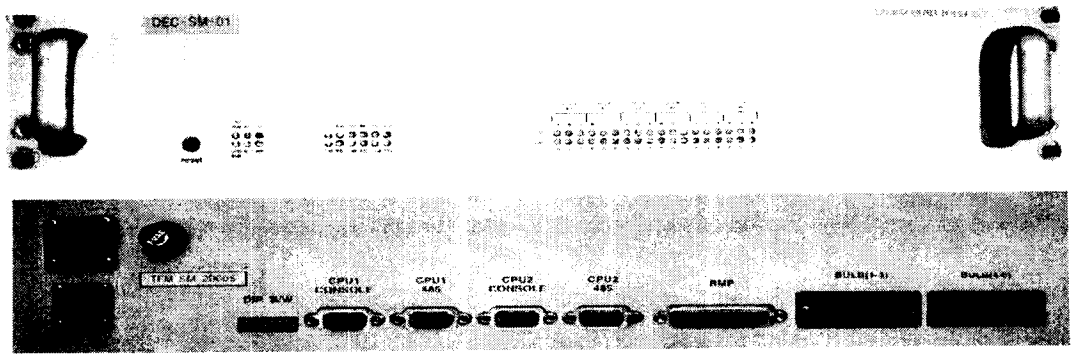


그림 3.153 신호기제어모듈의 외형

- CPU는 내장되어 있는 CPU모듈의 동작상황을 표시하며 동작 시 0.5Sec 내에 Flashing하여 상태를 표시한다. CPU LED는 신호기 제어와 연결되어 CPU LED의 Flashing을 하지 않으면 CPU 이상으로 판단하고 현재 출력을 차단하고 안전측 동작을 하게 된다.
- 통신부분의 LED는 CPU #1과 CPU #2의 통신 상태를 확인 할 수 있으며 모든 통신 Port를 표시하고 있다.
- 신호기 출력의 ERR는 EPLD의 제어의 안전측 동작 상태를 의미하는 부분으로, 안전측 동작일때 표시한다. 주심 단심일 경우 ERR에 상태가 표시 되며 OP와 ERR가 같이 표시되고 부심 단심일 경우는 OP는 표시되지 않고 ERR만 표시하여 상태를 구분하였다.
- 신호기 출력의 OP는 신호기 출력 시 출력 상태 표시를 하며 주심 출력과 부심출력 모두 표시 된다.

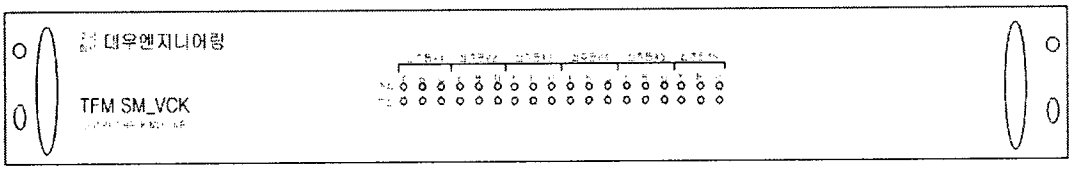


그림 3.154 신호기 전압검지 모듈의 외형

- 주심과 부심의 전압을 따로 표시 하고 있으며 신호기 모듈과 병렬 통신을 통하여 전압 상태를 통신한다.
- 한 신호등에서 2개 이상의 전압이 발생하여도 각각 표시하며 상태를 알려준다.

■ 출력에 의한 전압과 외부에 입력되는 전압은 각각의 LED 색깔을 달리 하여 표시하였다.

1) 전압 검지 회로

신호기 최종 출력 부분에 연결되어 신호기 제어 모듈의 출력의 전압과 외부 입력에 의한 전압을 검지 할 수 있게 보완 수정 하였으며 신뢰성 향상을 위하여 진동 회로를 추가하여 실시간 검지가 가능하게 하였다. LED는 두가지 색깔을 표시를 가능하게 하여 출력 전압과 입력 전압에 대해서 다르게 표시 하여 현장에서 상태가 확인 가능하게 하였다. 단일계로 동작 시에도 동작이 가능하며 단일계, 이중계 동작시에도 연결이 가능하게 설계를 하였다.

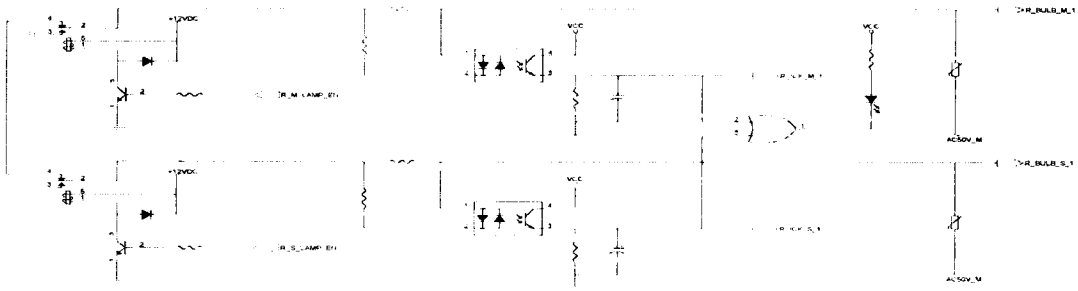


그림 3.155 신호기전압검지 모듈의 검지 회로 추가 사항

2) 전류 검지 회로

전류 검지 회로 출력단에 연결되어 신호기 제어 모듈의 출력의 전류를 감지하여 신호기의 단심을 감시 할 수 있게 보안 수정하였으며 Isolator로 제어전원과 분리하여 출력전류에서 회로를 보호하였다. 신호등의 주심과 부심에 각각 적용하여 부심의 단심 시에도 검지가 가능하며 주심단심 상황과 부심 단심 상황을 LED로 표시하여 현장에서 구분이 가능하게 하였다.

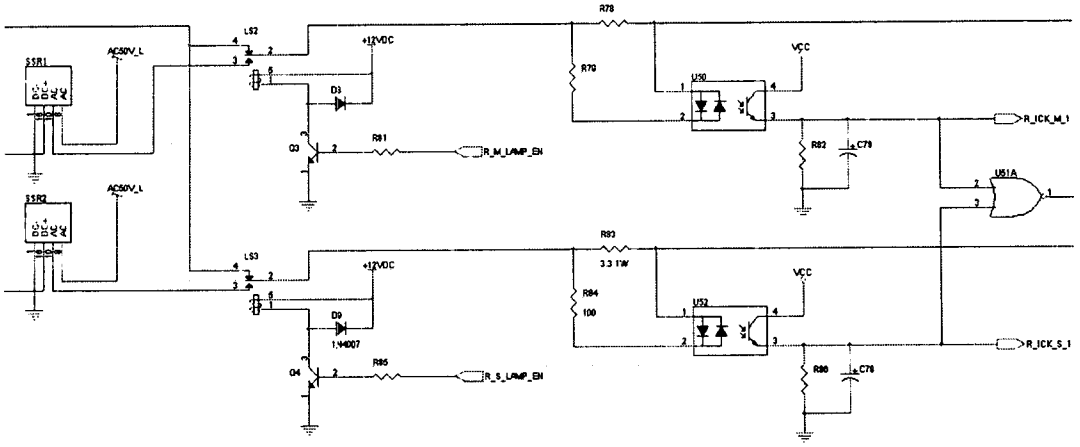


그림 3.156 신호기전류검지 모듈의 검지 회로 추가 사항

3) 단심 복구 자동 검지 회로

주심 단심 시 부심으로 자동 절체 되며 순간적인 전류 방해로 단심에 상황에 대비하여 순간적인 단심에 대해서는 알람으로 표시하고 단심 상황이 해제되면 주심으로 복귀 된다. 주심이 단심 되어 부심으로 현시되고 있을 때 전구가 교체되어 단심 상황이 해제 되면 자동으로 주심으로 전환된다.

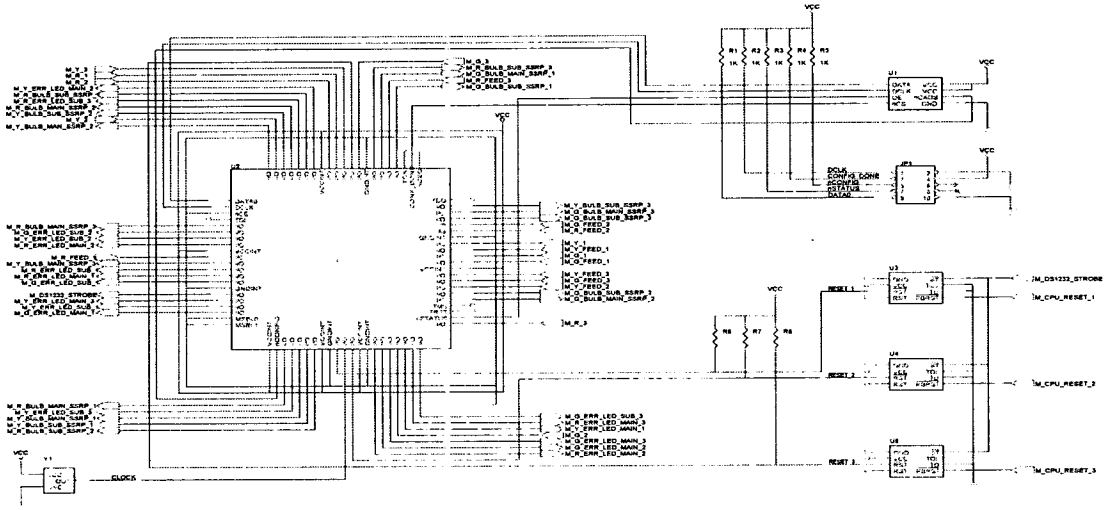


그림 3.157 신호기제어모듈의 단심 해제 시 자동 복귀 회로

4) 신호기제어모듈의 결함주입 시험

신호기제어모듈은 쌍심형3등신호기와 인터페이스 하는 모듈로 하나의 신호기 등을 제어하기 위한 주심제어라인과 부심제어라인으로 인터페이스를 한다. 현장적응시험에서는 신호기를 제어하기위한 주심제어라인의 출력부분에 결함을 주입하여, 결함이 발생즉시 검출되어 결함을 극복한 후에 신호기를 성공적으로 점등시키는 지를 시뮬레이션 하였다. 그림 3.158은 신호기제어모듈의 출력스위

칭 소자에 결함을 주입하여, 위와 같은 결함허용 특성이 관찰되는 것을 나타낸 것이다.

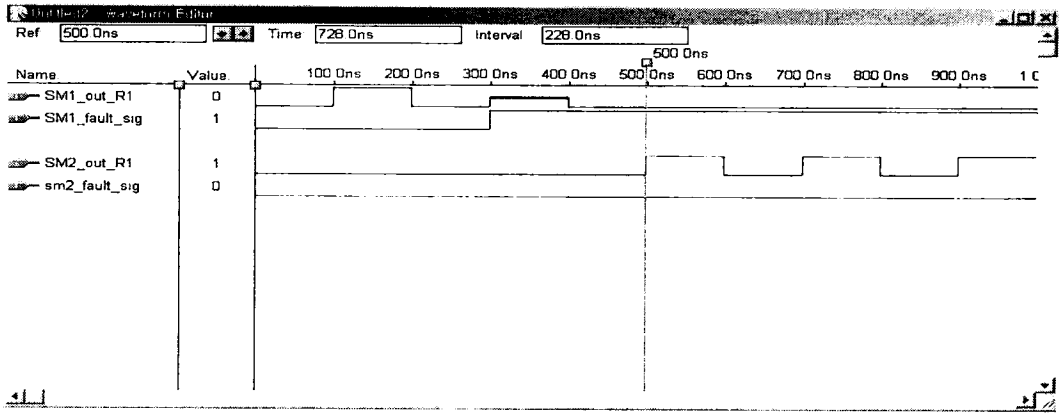


그림 3.158 신호기제어모듈의 제어출력에 결함주입

③ 입력제어모듈

현장 단말 제어부 중에서 입력을 제어 하는 부분으로 하나의 입력 제어 모듈은 32개의 정보를 수용 할 수 있다. 입력 제어모듈은 CPU모듈 Dual을 장착한 단일 모듈 2대를 병렬로 연결하여 사용한다. 각각의 CPU 비교 연산을 통하여 같은 처리 결과에 대해서만 동작을 하게 되고 이 처리결과를 연동 논리부에 전달 처리한다. 입력 모듈의 보완 사항은 철도 용품 표준 규격 철도 6330-3256다의 입력 Module 의 조건인 저전압 입력 차단과 저전류 입력의 차단 회로를 추가 하여 부정 입력 시 Off 동작으로 안전측 동작을 하게 하였으며 Chattering 방지 프로그램으로 현장으로 인입 되는 부정 입력을 차단하고 정상적인 신호에 의해서만 동작하게 하여 신뢰성 향상을 이루었다.

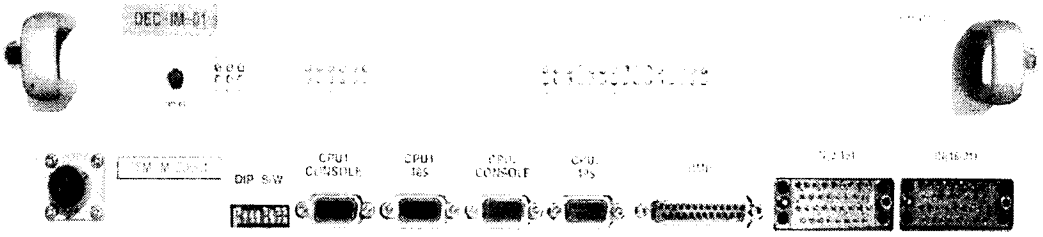


그림 3.159 입력 제어 모듈의 외형

- CPU는 내장되어 있는 CPU모듈의 동작상황을 표시하며 동작 시 0.5Sec 내에 Flashing하여 상태를 표시한다.
- 통신부분의 LED는 CPU #1과 CPU #2의 통신 상태를 확인 할 수 있으며 모든 통신 Port를 표시하고 있다.
- 입력 신호는 24V의 입력 신호를 표시하며 18V이하이거나 25mA이하의 입력 신호의 대해서 차단을 한다.

1) 저 전압 및 저 전류 차단

입력 상태 표시에서는 저 전압 입력과 저전류 입력 시 차단 기능을 추가하여 부정 입력 신호를 차단하였다. 저 전압 신호에 대해서는 18V이하의 입력 신호에 대해서는 차단 기능을 두었으며 25mA 이하의 저전류의 입력신호에 대해서도 차단을 하여 현장에서 입력되는 부정 입력 신호를 차단하는 회로를 내장 하였다.

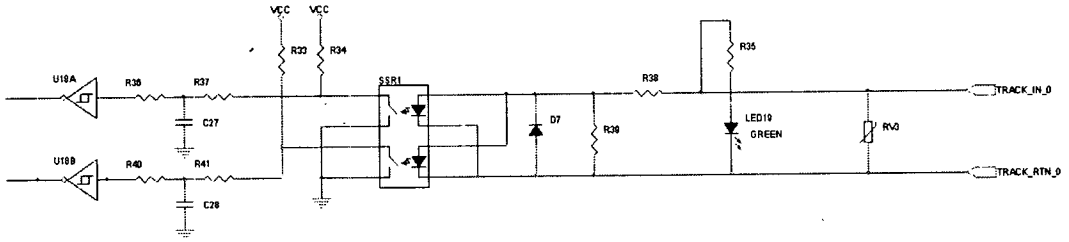


그림 3.160 입력제어모듈의 저전압 및 저전류 차단 회로 변경전

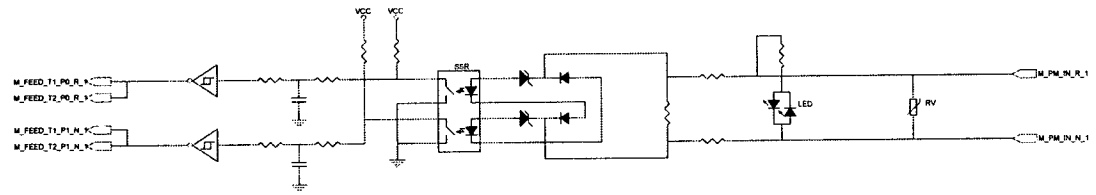


그림 3.161 입력제어모듈의 저전압 및 저전류 차단 회로 변경후

2) 범용입력모듈의 결함주입 시험

범용입력모듈은 범용입력제어장치와 인터페이스 하는 모듈로 하나의 범용입력제어장치의 입력을 판단하기 위한 입력신호 1라인으로 인터페이스를 한다. 현장적응시험에서는 범용입력제어장치의 입력을 받기위한 1라인의 입력부분에 결함을 주입하여, 결함이 발생즉시 검출되어 결함을 극복한 후에 범용입력제어기의 입력을 성공적으로 입력받는 지를 시뮬레이션 하였다. 그림 3.162는 범용입력모듈의 입력스위칭 소자에 결함을 주입하여, 위와 같은 결함허용 특성이 관찰되는 것을 나타낸 것이다.

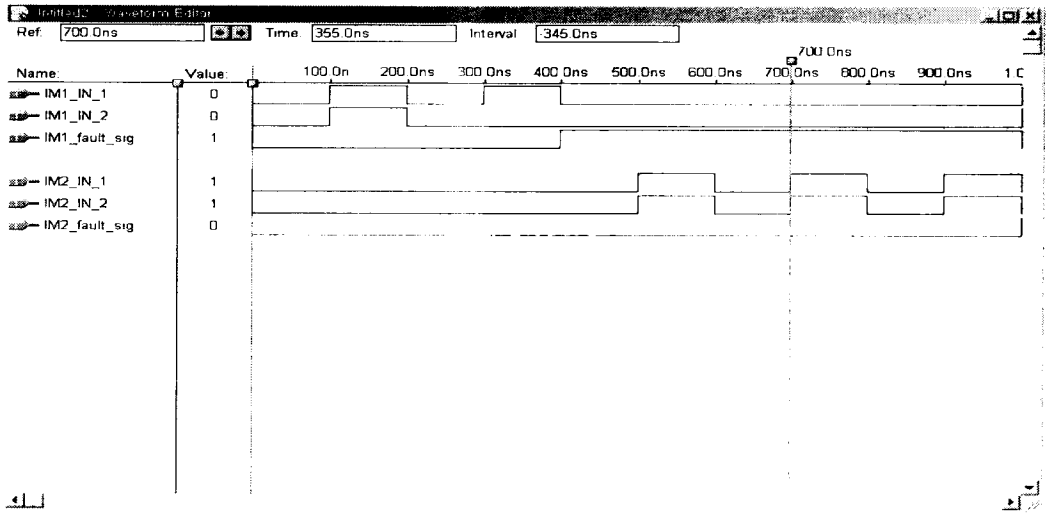


그림 3.162 범용입력모듈의 제어입력에 결함주입

3. 3차년도 연구개발내용 및 결과

가. 전자연동장치 업그레이드 현황

(1) 연동 논리부

전자 연동 장치는 연동 논리를 통하여 열차 운행을 직접 제어 하는 만큼 대기 이중계(Hot-Standby)방식과 결함 허용(Fault Tolerant) 방식을 채택하여 안전성과 신뢰성을 확보하였다. 대기 이중계 방식은 입력 신호를 병렬로 받아 서로의 연산을 비교한 다음 동작계가 출력을 제어 하는 방식으로 되어있으며 결함 허용에서는 결함이 발생하여도 시스템 성능의 저하를 가져오지 않게 대비를 하여 Non Stop 운영이 가능하게 하였다.

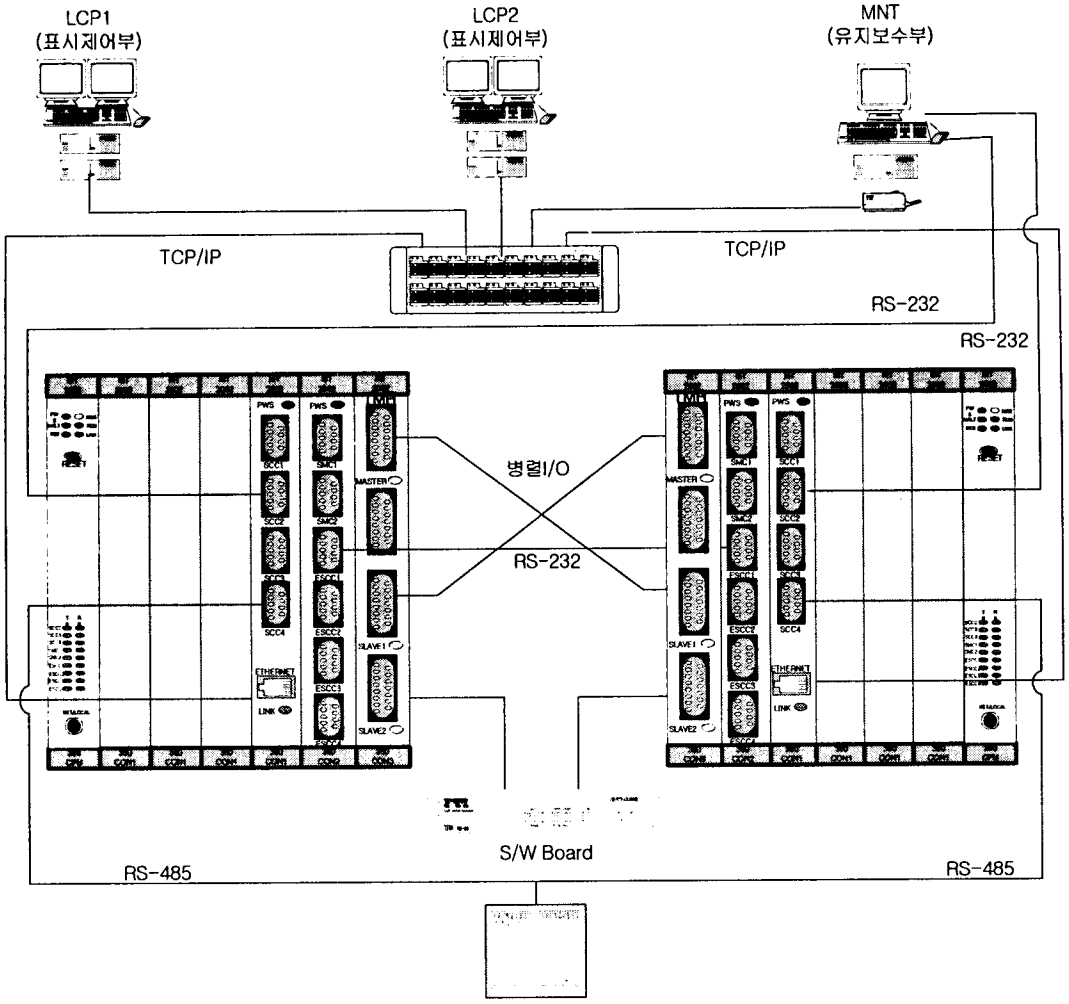


그림 3.163 연동 논리부의 구성도

연동 논리부(IXL)는 전면부의 CPU와 후면부의 통신 Port로 이루어져 있으며, CPU전면에서는 LED를 통하여 CPU의 동작 상태를 현장에서 확인이 가능하게 되어있으며 각각의 LED내용은 다음과 같다.

- TX : 통신의 송신의 상태
- RX : 통신의 수신의 상태
- COL: 동작상태
- 5V : 전원 상태
- Link : Ethernet 연결 상태
- Mas: 동작계 상태
- Delay:상태 지연 여부
- Halt : Fault 여부확인
- SMC1~2 : 내부 통신상태
- SCC 2~4, ESCC 1~4: 외부 통신과 확장 통신 Port

연동 논리부의 통신 Port 구성은 다음과 같이 이루어져 있으며 SCC 1~4 Port는 Dip S/W의 설정값으로 RS-232C이나 RS-422으로의 통신 방법의 전환이 가능하다.

Port 명	통신 방법			연결 Port	비고
	RS-232C	RS-422(Base)	Ethernet		
Ethernet			O	HUB	
SCC1	O				통신방법 전환가능
SCC2	O			MNT Consol	통신방법 전환가능
SCC3	O			SCC2	통신방법 전환가능
SCC4		O		LD64	통신방법 전환가능
ESCC1	O				확장 대기
ESCC2	O				확장 대기
ESCC3	O				확장 대기
ESCC4	O				확장 대기

Ethernet통신 Port의 경우 HUB를 통하여 운영자 조작반과 유지보수부로 직접연결이 되며 Ethernet통신을 통한 대역폭의 확장과 다중 통신이 가능하여 시스템간의 상호 감시가 가능하게 되었으며, 기계실의 HUB에서 운영자 조작반의 거리가 멀거나 선로의 상태가 좋지 않을 경우 광 Convertor로 광 매체로 전환하여 운영자 조작반과 통신하게 되어 항상 양호한 통신 선로 상태를 유지 할 수 있게 되었다.

① 하드웨어 업그레이드

- 입/출력 Port의 보호기능: 입/출력 Port에 입출력 Buffer를 설치하여 보호
- 정전시 Date 유지 기능 : 전원이 공급되지 않아도 자체 베터리가 설치 되어 있어 현재 상태 Date를 정전시에도 유지 할 수 있게 하였다.
- 자기 검지 회로 강화 : 입/출력과 파워의 모니터링 기능의 강화로 외부의 상태에 대해서도 검지를 할 수 있게 하였다.
- Hot-Swaping 기능 내장 : Hot-Swaping 기능을 내장함으로써 안정적인 Board수리 및 교체가 가능하도록 하였다.

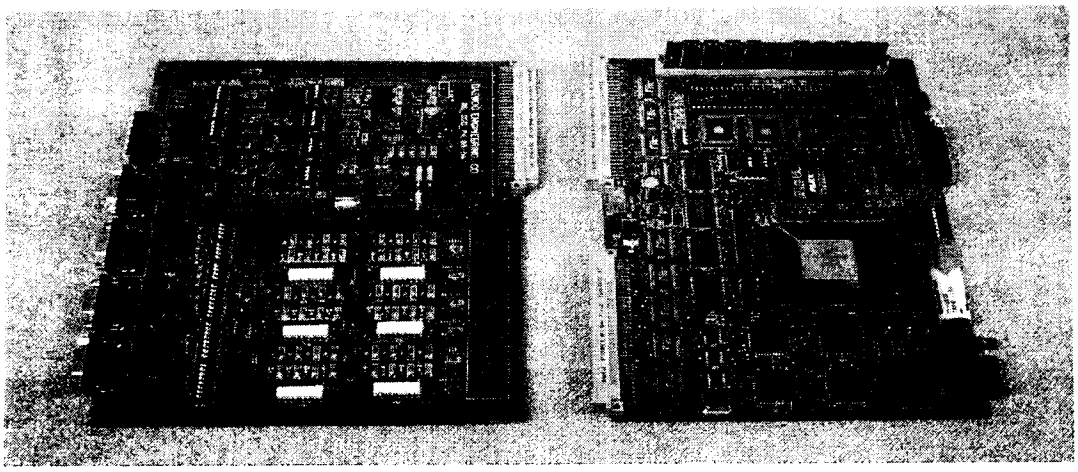


그림 3.164 연동 논리부 PCB 사진

- 통신 Port : SCC 1~4 Port에 대하여 RS-232C와 RS-422를 DIP S/W로 선택 할 수 있게 하여 통신 방법의 확장성을 기하였다.
- 입/출력 Port : 입/출 Port의 입/출력을 Dip S/W로 설정하게 하여 입/출력 Port에 유연성과 확장성을 확보 하였다.
- 시스템 절체 : 연동 논리부의 시스템 계간 절치와 통신 절체를 한 모듈로 통합하여 계간 절체시 같은 시각에 절체가 이루어지게 하였으며, 동작계에 이상시 계간 절체와 통신 절체가 같이 이루어지게 함으로서 안전성을 도모하였다.

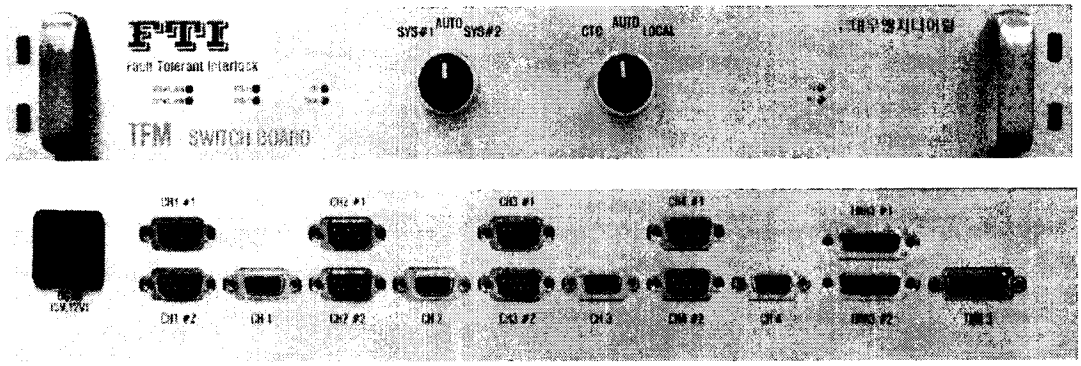


그림 3.165 시스템 절체 모듈 전/후면

시스템 절체 모듈은 시스템 절체 스위치와 비상 모드 전환 스위치로 이루어져 있으며, 시스템 절체 스위치는 Auto 상태에서는 시스템간의 통신에 의하여 동작계가 정해지며 SYS #1, SYS #2는 수동 모드로 연동 논리부 1계, 2계로 동

작계를 부여한다. 비상 모드 전환 스위치는 Auto 상태에서는 DTS의 명령을 받아 CTC 제어 모드와 Local 제어 모드로 전환 하지만 모드 변경이 되지 않거나 비상시 CTC, Local로 스위치를 전환하게 되면 DTS의 명령 없이도 모드 변경이 가능한 비상 모드 전환 스위치이다.

(2) 현장 제어부

현장 제어부는 연동 논리부에서 처리한 결과를 통신으로 전달 받아 현장을 제어하고 현장 설비의 상태를 연동논리부에 전달해주는 역할을 하는 부분으로써 현장에 직접 설치가 되어 온도와 낙뢰 등 환경적인 요인에 대한 보호와 대기 이중계와 결함 허용 방식으로 자체 안정성과 신뢰성을 확보 하였다.

① 선로전환기 모듈

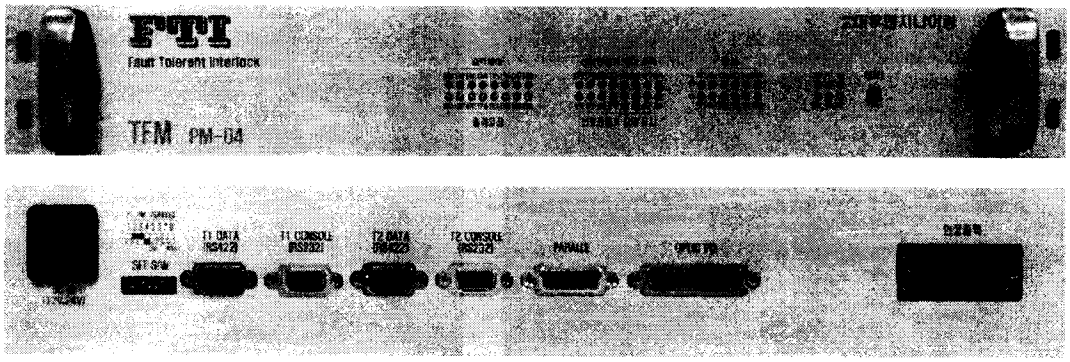


그림 3.166 선로 전환기 모듈 전/후면

선로 전환기 모듈은 현장 제어부 중에서 선로 전환기 제어를 위하여 제작된 모듈로서 한대의 선로 전환기 모듈은 NS형 전철기 8대를 동시에 제어 할 수 있으며, 연동 논리부에서 제어시 2대의 CPU가 계별 적으로 연산으로 처리한 후 DPRAM에서 비교 연산을 하게 된다. 제어 도중 에러가 발생하게 된다면 EPLD에서 실시간 검지하여 부정 연산에 대한 출력을 막게 되며, 제어를 하지 않을 때는 WLR 계전기를 사용해 선로 전환기의 구동 Relay를 쇼트 시켜 놓아 만일에 있을 사고에 대비하였다. 출력 전류에 대하여 과전류 보호회로를 구성하여 과전류 시 자동 차단이 되며 현장 상황이 정상적으로 이루어 질 때 출력 차단이 해제 되어 현장에 대한 제어를 빠른 시간에 복구 할 수 있도록 하고 낙뢰 피해 예방과 현장에서 이상 신호로 인한 모듈의 손실 및 출력 회로의 과전

류에 대하여 보호를 확보하고 부정출력에 대해서는 검지 회로를 추가하여 사용하지 않는 출력 (High-Impedance -⊕, ⊖-High-Impedance, ⊕-⊕, ⊖-⊖)에 대해서는 출력이 발생하지 않게 하고 외부 또는 물리적인 요인에 의해 발생될 경우는 메시지 출력과 출력 고장 LED를 추가하여 확인이 가능하게 하였다.

- 출력 제어 : EPLD에서 출력 제어에 대한 검지 내용으로 Green이면 정상 Red이면 부정 출력으로 표시 된다.
- 출력 고장 : EPLD에서 부정 출력에 대한 검지 내용으로 Red이면 부정 출력으로 표시 된다.

1) 하드웨어 업그레이드 상황

- EPLD의 검지 기능의 강화 : 출력단에 출력의 대한 검지 회로를 보강하여 최종 출력단에서 검지 하였다.
- Optic I/O Port: Optic I/O Port를 신설하여 출력에 대한 확장성을 확보
- 출력에 대한 전류 : 출력 전류를 높여서 장거리에 있는 선로 전환기나 쌍동형 선로 전환기 제어 시에도 충분한 전력을 전달 할 수 있게 하였다.

다음은 선로 전환기 모듈의 각 Point 별 기기 성능 테스트 기록이다.

PM Module Module Number: P4001

Port Num (출력)		출력전압 (24V)	출력 전류	과전류 검지	보호회로 동작전압	보호회로 동작복귀 시간(Sec)	부정 출력 검지			
							⊕-⊕	⊖-⊖	Z-⊕	Z-⊖
1	정 출력	24	522mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	521mA	575mA	4	1	O	O	O	O
2	정 출력	24	510mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	512mA	575mA	4	1	O	O	O	O
3	정 출력	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	502mA	575mA	4	1	O	O	O	O
4	정 출력	24	480mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	514mA	575mA	4	1	O	O	O	O
5	정 출력	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	522mA	575mA	4	1	O	O	O	O
6	정 출력	24	519mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	520mA	575mA	4	1	O	O	O	O
7	정 출력	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O
8	정 출력	24	490mA	575mA	4	1	O	O	O	O
	반 출력	24	485mA	575mA	4	1	O	O	O	O

- 출력 전압이 24V일때 출력 전류는 약 500mA 정도까지의 정격 전류를 출력하며 과전류 검지는 575mA에서 동작한다.
- 과전류 발생 후 차단과 과전류 원인 제거 후 복귀시간까지는 1 Sec 미만으로 된다.
- 부정 출력 검지는 정상 적인 출력이 아닌 ⊕-⊕, ⊖-⊖, Z-⊕, Z-⊖에 대하여 부정출력 검지 여부를 직접 확인하며 검사 위치는 최종 출력단에서 실시 하였다.

② 신호기 제어 모듈

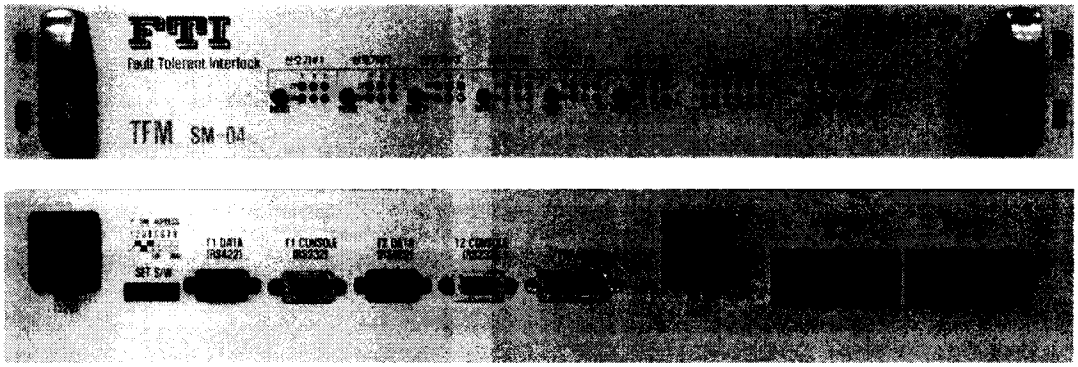


그림 3.167 신호기 제어 모듈 전/후면

현장 제어부에서 신호기 제어를 담당하는 모듈로 3등 쌍심형 신호기 6대를 동시에 제어 할 수 있으며 연동장치와의 통신으로 제어 출력을 받은 것을 각각의 CPU가 연산 처리하여 DPRAM에서 비교하여 결과가 같을 때 출력을 내보내며 출력 도중에 부정 출력이 발생하면 EPLD에서 검지하여 출력을 차단하여 안전성을 확보하였다. 단심 검지는 쌍심형 필라멘트에 맞게 주심과 부심을 모두 감시하도록 하였으며 모듈 전원 차단 시에도 Red등의 현시를 유지 할 수 있도록 하였다. 전압 감시 부분도 병행하여 AC50을 기준으로 ±20%의 전압을 감지하여 전류 검지 부분과 전압 검지를 통한 안정성과 정확성을 확보 하였다. 그리고 상위등 주/부심 단심 후 하위 등을 점등하여 열차 운행을 유지 할 수 있도록 하였고 접점 불량으로 순간적인 단심일때 자동 복귀 되도록 보안하여 현장에서 일어 날수 있는 결점을 보안 하였다. 그리고 주/부심 단심으로 전구를 교체할 때에는 교체 후 바로 확인이 가능하게 자동 단심 복귀 시스템을 갖추고 있으며 등별로 Reset S/W를 따로 두어 시스템을 Reset 하지 않아도 등별

Reset이 가능하게 하여 사용자 편이와 효율성을 높였다.

1) 하드웨어 업그레이드 상황

- 출력제어 : 각 출력 Point 별로 출력제어를 따로 두어 제어 시간을 단축하였다.
- Reset 스위치 : 각 등별로 Reset S/W를 추가하여 등별 Reset이 가능하게 하여 출력이 전구 교환 후 출력 제어가 나가지 않아도 단심 복귀 되게 하였다. Reset S/W가 나가지 않아도 교환 후 출력 제어가 나가면 단심 복귀가 된다.
- 3등 신호등 외 : 4등 5등 신호기 제어를 위해 2개의 신호 출력을 같이 쓸 수 있도록 하드웨어를 설계하여 확장성을 확보 하였다.

다음은 신호기 제어 모듈의 각 Point 별 기기 성능 테스트 기록이다.

SM Module Module Number: S4001

Port Num (출력)		출력전압 (50V AC)	출력 전류	단심검지	단심 검지시간(Sec)	단심 복귀시간(Sec)
1	R_주심	50	482mA	O	2	2
	R_부심	50	490mA	O	1.5	2
	G_주심	50	500mA	O	2	2
	G_부심	50	510mA	O	1.5	2
	Y_주심	50	491mA	O	2	2.5
	Y_부심	50	502mA	O	2	2
2	R_주심	50	504mA	O	2	2
	R_부심	50	506mA	O	1.5	2
	G_주심	50	498mA	O	1.5	2
	G_부심	50	495mA	O	2	2
	Y_주심	50	502mA	O	15	2
	Y_부심	50	503mA	O	2	2.5
3	R_주심	50	505mA	O	1.5	2
	R_부심	50	506mA	O	1	2
	G_주심	50	507mA	O	1.5	2
	G_부심	50	500mA	O	2	2
	Y_주심	50	498mA	O	1.5	2
	Y_부심	50	499mA	O	2	2
4	R_주심	50	504mA	O	2	2.5
	R_부심	50	507mA	O	2	2
	G_주심	50	505mA	O	1.5	2
	G_부심	50	506mA	O	1	2
	Y_주심	50	507mA	O	1.5	2
	Y_부심	50	508mA	O	2	2

Port Num (출력)		출력전압 (50V AC)	출력 전류	단심검지	단심 검지시간(Sec)	단심 복귀시간(Sec)
5	R_주심	50	499mA	O	1.5	2
	R_부심	50	498mA	O	1.5	2
	G_주심	50	495mA	O	2	2
	G_부심	50	504mA	O	2	2
	Y_주심	50	498mA	O	2	2
	Y_부심	50	499mA	O	1.5	2.5
6	R_주심	50	507mA	O	1.5	2
	R_부심	50	508mA	O	2	2
	G_주심	50	502mA	O	2	2
	G_부심	50	507mA	O	1.5	2
	Y_주심	50	508mA	O	1.5	2.5
	Y_부심	50	509mA	O	1.5	2

- 출력 전압이 50V AC였을 때 출력 전류는 약 500mA이다.
- 단심 검지는 주/부심 모두 사용하며 부심 단심시 연동 논리부와 통신이 되지 않을 경우 Red등이 현시 된다.
- 단심 검지까지는 1.5~2Sec 정도가 소요 되며 단심 상황이 해제되고 복귀 되는 시간까지는 2~2.5Sec가 소요된다.

③ 신호기 부정 출력 검지 모듈

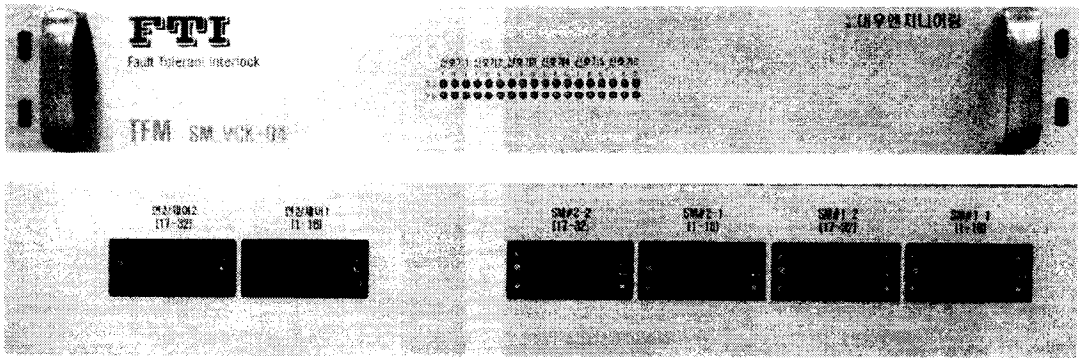


그림 3.168 신호기 부정출력검지 모듈 전/후면

신호기 부정 출력 검지 모듈은 신호기 제어 모듈에서 나오는 출력을 받아서 전압 검지 부분과 과도한 전류일 때 잔류를 차단했다가 복귀 시켜주는 자동 전류 차단 기능을 내장 하고 있으며 신호기 제어 모듈 이중계 설치 시 출력을 현장 제어쪽으로 보낼 수 있게 병합하는 역할도 수행하고 있다. 전압 검지 부분에서 신호기 제어 모듈에서 나는 전압뿐만 아니라 현장에서 들어오는 전압에

대해서도 검지를 하고 있어 결선을 잘못난 혼촉으로 인한 점등에 대해서도 검지와 알람을 하여 신호기 제어에 안전성과 신뢰성을 확보하였다.

■ LED의 표시는 각 신호기 마다 구분이 되어 있으며, 각 등 마다 표시가 된다.

■ 윗열은 각 등의 주심을 해당하고 있으며, 아랫열은 각등의 부심을 표시한다.

1) 하드웨어 업그레이드

■ 이중계 설치시 동작계와 대기계의 출력을 병합하여 결선을 단순화 시켰다.

■ 과전류에 대하여 차단기능을 설치하고 과전류가 해제시 자동으로 복귀되는 보호 회로를 추가 설치 하였다.

다음은 선호기 부정 출력 검지 모듈의 각 Point 별 기기 성능 테스트 기록이다.

SM_VCK Module Module Number: SV4001

Port Num (출력)		출력 전압 (50V AC)	출력 전류	전압 검지	최저 전압 검지(40V)	최고 전압 검지(60V)
1	R_주심	50	480mA	O	O	O
	R_부심	50	488mA	O	O	O
	G_주심	50	498mA	O	O	O
	G_부심	50	508mA	O	O	O
	Y_주심	50	489mA	O	O	O
	Y_부심	50	500mA	O	O	O
2	R_주심	50	502mA	O	O	O
	R_부심	50	504mA	O	O	O
	G_주심	50	496mA	O	O	O
	G_부심	50	493mA	O	O	O
	Y_주심	50	500mA	O	O	O
	Y_부심	50	501mA	O	O	O
3	R_주심	50	503mA	O	O	O
	R_부심	50	504mA	O	O	O
	G_주심	50	505mA	O	O	O
	G_부심	50	498mA	O	O	O
	Y_주심	50	496mA	O	O	O
	Y_부심	50	497mA	O	O	O
4	R_주심	50	502mA	O	O	O
	R_부심	50	505mA	O	O	O
	G_주심	50	503mA	O	O	O
	G_부심	50	504mA	O	O	O
	Y_주심	50	505mA	O	O	O

Port Num (출력)		출력 전압 (50V AC)	출력 전류	전압 검지	최저 전압 검지(40V)	최고 전압 검지(60V)
	Y_부심	50	506mA	O	O	O
5	R_주심	50	497mA	O	O	O
	R_부심	50	496mA	O	O	O
	G_주심	50	493mA	O	O	O
	G_부심	50	502mA	O	O	O
	Y_주심	50	496mA	O	O	O
	Y_부심	50	497mA	O	O	O
6	R_주심	50	505mA	O	O	O
	R_부심	50	506mA	O	O	O
	G_주심	50	500mA	O	O	O
	G_부심	50	505mA	O	O	O
	Y_주심	50	506mA	O	O	O
	Y_부심	50	507mA	O	O	O

④ 입력 제어 모듈

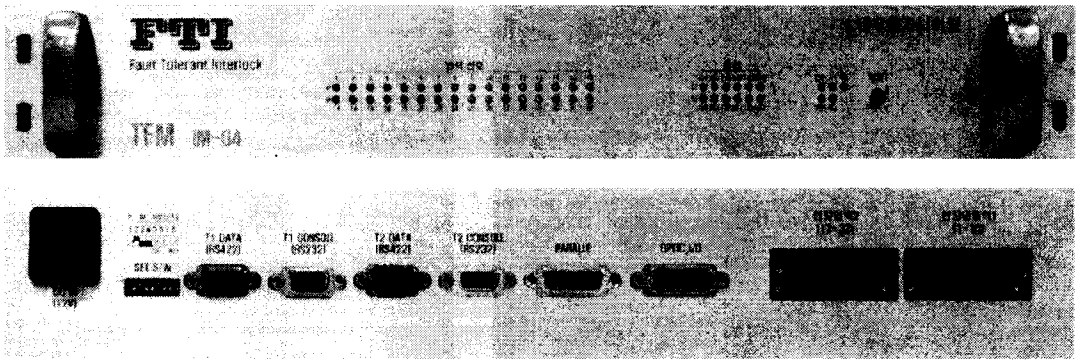


그림 3.169 입력 제어 모듈 전/후면

현장에 입력 신호를 받아 연동장치에 전달해주는 모듈로서 24V의 입력을 받아 처리하게 되며 한 모듈 당 32개의 입력 정보를 수용할 수 있다. 이중계와 단일계로 운용할 수 있으며 입력에 신호에 대한 내부 이중 검사로 안전성을 향상하였다. 또한 입력 모듈의 보완 사항은 철도 용품 표준 규격 철도 6330 3256 다의 입력 모듈의 저전압 입력 차단과 저전류 입력의 차단 회로를 추가하여 부정 입력 시 Off 동작으로 안전측 동작을 하게 하였으며 입력이 500ms 동안 유지가 되어야 입력 신호로 인지하여 Chattering를 방지 하였다. 현장으로 인입되는 부정 입력을 차단하고 정상적인 신호에 의해서만 동작하게 하여 신뢰성

향상을 이루었다.

- LED의 변경상항은 두가지 색깔의 LED를 적용하여 정상적인 입력 일 때 Green을 표시하며 내부적인 요인이나 정상적인 입력이 아닐 때는 Yellow를 표시하게 하였다.

1) 하드웨어 업그레이드 상황

- Chattering 방지 : 입력 신호에서 500ms 이상일때 정상 신호로 입력 받아 연동장치와 통신한다.
- LED : 정상적인 입력일때는 Green을 표시하나 입력 신호의 비교에서 서로 틀리게 되면 Yellow를 표시한다.
- Optic I/O Port: Optic I/O Port를 신설하여 출력에 대한 확장성을 확보하였다.

다음은 입력 제어 모듈의 각 Point 별 기기 성능 테스트 기록이다.

IM Module Module Number: I4001

Port Number	24V 인가	허용입력 (30V 이상)	18V±2V L->H	18V±2V L->H	24V 입력 전류 (25mA±20%)
1	24	O	17.68	17.44	25.27
2	24	O	18.58	18.26	25.31
3	24	O	18.03	17.85	25.92
4	24	O	17.25	17.11	25.18
5	24	O	17.40	17.22	25.26
6	24	O	18.00	17.82	25.20
7	24	O	18.39	18.17	25.31
8	24	O	18.27	18.03	25.18
9	24	O	17.35	17.61	25.26
10	24	O	17.71	17.23	25.30
11	24	O	18.07	17.54	25.33
12	24	O	17.85	17.42	25.34
13	24	O	18.12	17.88	25.02
14	24	O	17.69	17.49	25.17
15	24	O	18.06	17.63	25.22
16	24	O	17.61	17.23	25.25
17	24	O	17.75	17.59	25.33
18	24	O	17.77	17.11	25.17
19	24	O	17.69	17.21	25.26
20	24	O	17.13	17.53	25.28

Port Number	24V 인가	허용입력 (30V 이상)	18V±2V L->H	18V±2V L->H	24V 입력 전류 (25mA±20%)
21	24	O	17.96	18.02	25.36
22	24	O	17.33	18.44	25.31
23	24	O	17.57	18.74	25.18
24	24	O	17.97	17.99	25.28
25	24	O	17.41	18.09	25.20
26	24	O	18.08	18.14	25.34
27	24	O	18.02	18.22	25.33
28	24	O	18.04	18.00	25.24
29	24	O	17.89	18.32	25.33
30	24	O	17.31	18.69	25.31
31	24	O	17.54	18.45	25.26
32	24	O	18.05	18.21	25.11

- 입력 신호에 24V 인가시 전류는 약 25mA 정도 소요가 되며 그 이하의 전류의 대해서는 입력 신호로 받아 드리지 않는다.
- 입력 신호 인가시 18V 전압 부터 입력 신호를 받으며, 그 이하의 신호에 대해서는 차단한다.
- 입력 신호 해제시 18V 전압 부터 입력 신호를 해제하며, 그 이하의 신호에 대해서는 차단한다.

⑤ 출력 제어 모듈

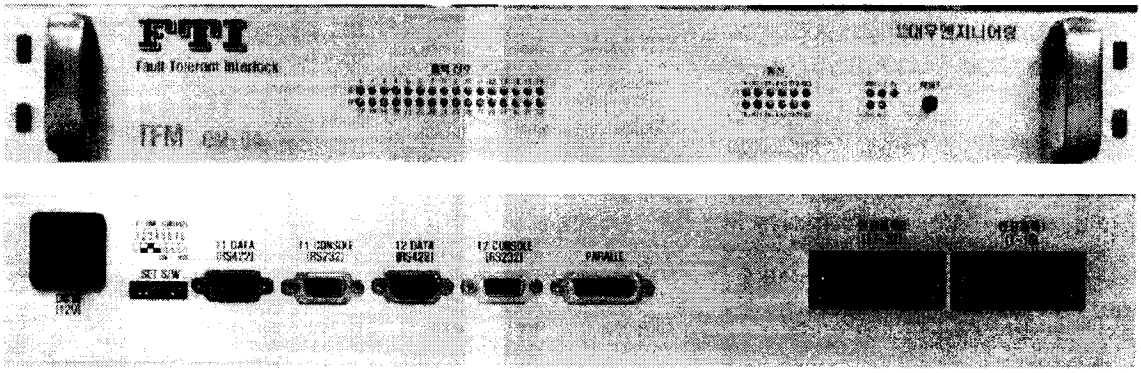


그림 3.170 출력 제어 모듈 전/후면

출력 제어 모듈은 현장 기기에 출력을 담당하는 모듈로서 24V의 전원을 인가 받아 현장 기기를 제어 하게 된다. 한 모듈 당 32개의 현장 기기를 제어 할 수 있으며 단일계와 이중계로 운용 할 수 있다. 현장의 기기가 모듈의 연결되

면 미세 전류의 감지로서 현장 기기 연결을 감지하게 되고 현장 기기의 제어 상태와 현제 상태를 검지 할 수 있다. 철도 용품 표준 규격 철도 6330-3256다의 출력 모듈의 보안 상황에 맞게 출력에 대한 전류 검지와 과전류시 출력에 차단과 복귀 회로를 내장하고 있으며 현장으로 나가는 출력 제어에 대해서는 출력단에서 출력 제어 검지를 통하여 부정 출력이 나가는 것을 차단하여 신뢰성 향상을 이루었다.

1) 하드웨어 업그레이드 상황

- 현장 기기 : 현장 기기가 출력 제어 모듈에 연결 되었을때 미세 전류 검지를 통하여 현장측 장비 유무를 판단하고 상태를 확인 할 수 있도록 하였다.
- 과전류 검지 : 과전류 검지 시간을 단축 할 수 있도록 회로를 재구성 하였으며 과전류 복귀 시간도 단축하여 다수의 과전류 검지에도 대응 할 수 있도록 하였다.

다음은 출력 제어 모듈의 각 Point 별 기기 성능 테스트 기록이다.

OM Module Module Number: O4001

Port Number	출력전압 (24V)	출력 전류	과전류 검지	보호회로 동작전압	보호회로 동작복귀 시간(Sec)	부정 출력 검지			
						⊕-⊕	⊖-⊖	Z-⊕	Z-⊖
1	24	515mA	575mA	4	1	O	O	O	O
2	24	521mA	575mA	4	1	O	O	O	O
3	24	510mA	575mA	4	1	O	O	O	O
4	24	512mA	575mA	4	1	O	O	O	O
5	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
6	24	502mA	575mA	4	1	O	O	O	O
7	24	480mA	575mA	4	1	O	O	O	O
8	24	514mA	575mA	4	1	O	O	O	O
9	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
10	24	522mA	575mA	4	1	O	O	O	O
11	24	519mA	575mA	4	1	O	O	O	O
12	24	520mA	575mA	4	1	O	O	O	O
13	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
14	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O
15	24	490mA	575mA	4	1	O	O	O	O
16	24	521mA	575mA	4	1	O	O	O	O
17	24	510mA	575mA	4	1	O	O	O	O

Port Number	출력전압 (24V)	출력 전류	과전류 검지	보호회로 동작전압	보호회로 동작복귀 시간(Sec)	부정 출력 검지			
						⊕-⊕	⊖-⊖	Z-⊕	Z-⊖
18	24	512mA	575mA	4	1	O	O	O	O
19	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
20	24	502mA	575mA	4	1	O	O	O	O
21	24	480mA	575mA	4	1	O	O	O	O
22	24	514mA	575mA	4	1	O	O	O	O
23	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
24	24	522mA	575mA	4	1	O	O	O	O
25	24	519mA	575mA	4	1	O	O	O	O
26	24	520mA	575mA	4	1	O	O	O	O
27	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
28	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O
29	24	492mA	575mA	4	1	O	O	O	O
30	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
31	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
32	24	485mA	575mA	4	1	O	O	O	O

- 출력 전압이 24V일 때 출력 전류는 약 500mA 정도까지의 정격 전류를 출력하며 과전류 검지는 575mA에서 동작한다.
- 과전류 발생 후 차단과 과전류 원인 제거 후 복귀시간까지는 1Sec 미만으로 된다.
- 부정 출력 검지는 정상 적인 출력이 아닌 ⊕ ⊕, ⊖ ⊖, Z ⊕, Z-⊖에 대하여 부정 출력 검지 여부를 직접 확인하며 검사 위치는 출력단에서 실시하였다.

⑥입/출력 제어 모듈

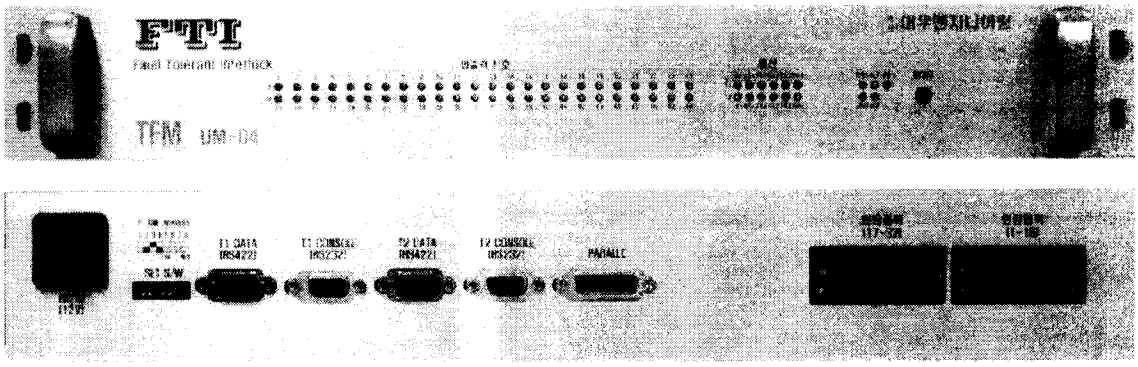


그림 3.171 입/출력 제어 모듈 전/후면

입/출력 제어 모듈은 입력과 출력이 동시에 필요한 곳을 담당하는 모듈로서 24V의 입력과 24V의 출력을 할 수 있도록 하였다. 한 모듈당 입력 24개 출력 24개를 할 수 있으며 단일계와 이중계 구성이 가능하다. 입력 부분에 대해서는 저 전압 입력 차단과 저전류 입력의 차단 회로를 구성하고 있으면 부정 입력시 Off 동작을 하고 있다. 출력 부분에 대해서는 출력에 대한 전류 검지와 과전류시 출력에 차단 복귀 회로를 내장하여 부정 출력이 나가는 것을 차단하고 있다. 입력과 출력에 대한 속도를 향상하고 보호회로를 내장하여 신뢰성을 향상하였다.

1) 하드웨어 업그레이드

- Chattering 방지 : 입력 신호에서 500mS 이상일때 정상 신호로 입력 받아 연동장치와 통신한다.
- LED : 정상적인 입력일때는 Green을 표시하나 입력 신호의 비교에서 서로 틀리게 되면 Yellow를 표시한다.
- 현장 기기 : 현장 기기가 출력 제어 모듈에 연결 되었을때 미세 전류 검지를 통하여 현장측 장비 유무를 판단하고 상태를 확인 할수 있도록 하였다.
- 과전류 검지 : 과전류 검지 시간을 단축 할 수 있도록 회로를 재구성 하였으며, 과전류 복귀 시간도 단축하여 다수의 과전류 검지에도 대응 할 수 있도록 하였다.

UM Module Module Number: U4001

Port Number	출력전압 (24V)	출력 전류	과전류 검지	보호회로 동작전압	보호회로 동작복귀 시간(Sec)	부정 출력 검지			
						⊕-⊕	⊖-⊖	Z-⊕	Z-⊖
1	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
2	24	510mA	575mA	4	1	O	O	O	O
3	24	512mA	575mA	4	1	O	O	O	O
4	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
5	24	502mA	575mA	4	1	O	O	O	O
6	24	480mA	575mA	4	1	O	O	O	O
7	24	514mA	575mA	4	1	O	O	O	O
8	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
9	24	522mA	575mA	4	1	O	O	O	O
10	24	519mA	575mA	4	1	O	O	O	O
11	24	520mA	575mA	4	1	O	O	O	O
12	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
13	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O

Port Number	출력전압 (24V)	출력 전류	과전류 검지	보호회로 동작전압	보호회로 동작복귀 시간(Sec)	부정 출력 검지			
						⊕-⊕	⊖-⊖	Z-⊕	Z-⊖
14	24	492mA	575mA	4	1	O	O	O	O
15	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
16	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
17	24	520mA	575mA	4	1	O	O	O	O
18	24	482mA	575mA	4	1	O	O	O	O
19	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O
20	24	492mA	575mA	4	1	O	O	O	O
21	24	495mA	575mA	4	1	O	O	O	O
22	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
23	24	499mA	575mA	4	1	O	O	O	O
24	24	500mA	575mA	4	1	O	O	O	O

Port Number	24V 인가	허용입력(30V 이상)	18V±2V L->H	18V±2V L->H	24V 입력전류 (25mA±20%)
25	24	O	17.69	18.17	25.26
26	24	O	18.07	17.54	25.33
27	24	O	17.85	17.42	25.34
28	24	O	18.12	17.88	25.02
29	24	O	17.69	17.49	25.17
30	24	O	18.06	17.63	25.22
31	24	O	17.61	17.23	25.25
32	24	O	17.75	17.59	25.33
33	24	O	17.77	17.11	25.17
34	24	O	17.69	17.21	25.26
35	24	O	17.13	17.53	25.28
36	24	O	17.96	18.02	25.36
37	24	O	17.33	18.44	25.31
38	24	O	18.03	17.85	25.92
39	24	O	17.25	17.11	25.18
40	24	O	17.40	17.22	25.26
41	24	O	18.00	17.82	25.20
42	24	O	18.39	18.17	25.31
43	24	O	18.27	18.03	25.18
44	24	O	17.35	17.61	25.26
45	24	O	17.77	17.11	25.17
46	24	O	17.69	17.21	25.26
47	24	O	17.13	17.53	25.28
48	24	O	17.77	17.42	25.36

- 출력 전압이 24V일때 출력 전류는 약 500mA 정도까지의 정격 전류를 출력하며 과전류 검지는 575mA에서 동작한다.
- 과전류 발생 후 차단과 과전류 원인 제거 후 복귀시간까지는 1Sec 미만으로 된다.
- 부정 출력 검지는 정상 적인 출력이 아닌 ⊕ ⊕, ⊖ ⊖, Z ⊕, Z ⊖에 대하여 부정 출력 검지 여부를 직접 확인하며 검사 위치는 출력단에서 실시하였다.
- 입력 신호에 24V 인가시 전류는 약 25mA 정도 소요가 되며 그 이하의

전류의 대해서는 입력 신호로 받아 드리지 않는다.

- 입력 신호 인가시 18V 전압 부터 입력 신호를 받으며, 그 이하의 신호에 대해서는 차단한다.
- 입력 신호 해제시 18V 전압 부터 입력 신호를 해제하며, 그 이하의 신호에 대해서는 차단한다.

4. 4차년도 연구개발내용 및 결과

가. 전자연동장치 신뢰성시험

(1) 공인기관 신뢰성시험

전자연동장치의 신뢰성 시험은 다음과 같은 신뢰성 시험 방안을 토대로 국제 공인시험인증기관에서 시험을 수행하고 있다.

(가) 목 적

본 문서는 고속철도기술개발사업 "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발" 과제의 전자연동장치의 신뢰성시험시 온도 스트레스에 대한 신뢰성 시험방안 수립을 위함이다.

(나) 성능보증시험

제작된 전자연동장치시스템은 보드단위로 평균고장시간(MTBF)이 예측되었다. 따라서, 예측된 MTBF의 입증을 위해 온도 요소를 고려한 가속시험을 통해 예측치를 입증한다.

(2) 공인기관 신뢰성시험 현황

(가) 신뢰성시험 사진자료

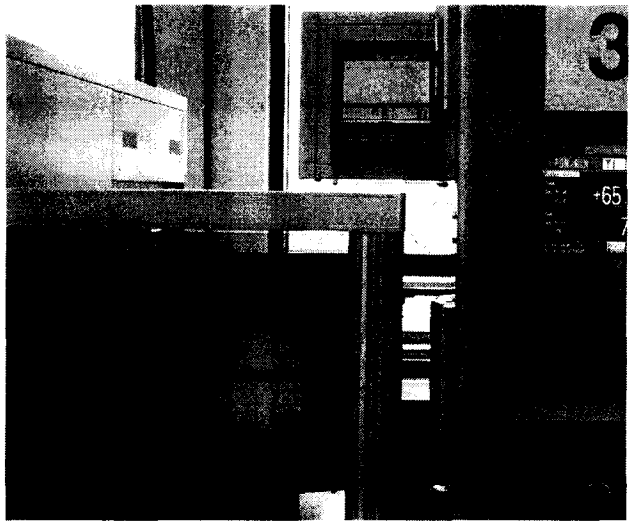


그림 3.172 신뢰성 시험 자료사진1

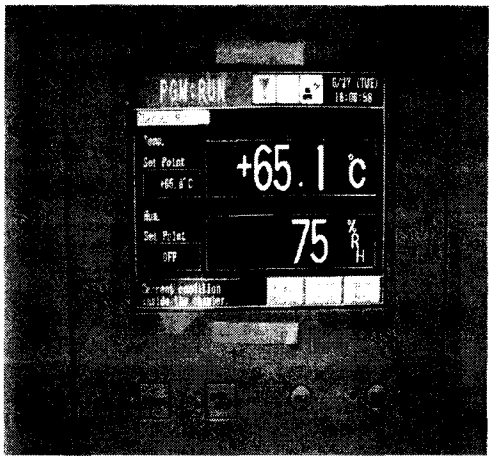


그림 3.173 신뢰성 시험 자료사진2

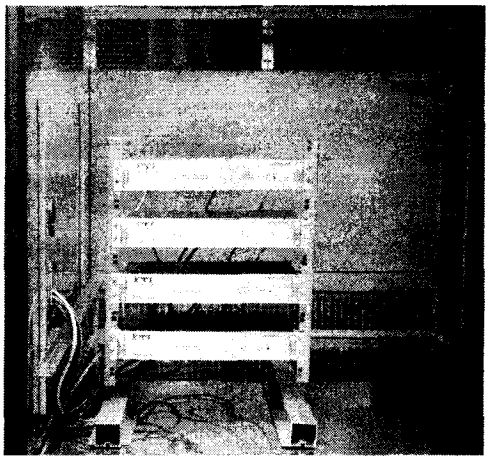


그림 3.174 신뢰성 시험 자료사진3

(나) 신뢰성시험 LOG

2006-06-28 00:00:05 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output - [10]	Port[#1]
2006-06-28 00:00:05 [OM-No #3] 000000	SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:05 [OM-No #3] 000010	SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output - [10]	Port[#3]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output - [10]	Port[#0]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No #1] 000000	SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No #1] 000010	SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No #4] 000000	SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No #4] 000010	SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:06 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output - [10]	Port[#2]

```
2006-06-28 00:00:07 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:07 [OM-No #2]  000010                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:14 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [20]      Port[#1]
2006-06-28 00:00:14 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:14 [OM-No #3]  000001                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [20]      Port[#3]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No #1]  000001                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No #4]  000001                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:15 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [20]      Port[#0]
2006-06-28 00:00:16 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [20]      Port[#2]
2006-06-28 00:00:16 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:16 [OM-No #2]  000001                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:24 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [01]      Port[#1]
2006-06-28 00:00:24 [OM-No #3]  100001                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:24 [OM-No #3]  100000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [01]      Port[#3]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No #1]  100001                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No #1]  100000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [01]      Port[#0]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No #4]  100001                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:25 [OM-No #4]  100000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:26 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [01]      Port[#2]
2006-06-28 00:00:26 [OM-No #2]  100001                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:26 [OM-No #2]  100000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:34 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [02]      Port[#1]
2006-06-28 00:00:34 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:34 [OM-No #3]  010000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #1]  010000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [02]      Port[#3]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [02]      Port[#0]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #4]  010000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [02]      Port[#2]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:35 [OM-No #2]  010000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:43 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [04]      Port[#1]
2006-06-28 00:00:43 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:43 [OM-No #3]  001000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [04]      Port[#3]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [04]      Port[#0]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No #1]  001000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:44 [OM-No #4]  001000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:45 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [04]      Port[#2]
2006-06-28 00:00:45 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:45 [OM-No #2]  001000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:53 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [08]      Port[#1]
2006-06-28 00:00:53 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
```

```
2006-06-28 00:00:53 [OM-No #3]  000100                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [08]      Port[#3]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [08]      Port[#0]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No #1]  000100                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:54 [OM-No #4]  000100                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:00:55 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [08]      Port[#2]
2006-06-28 00:00:55 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:00:55 [OM-No #2]  000100                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:03 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [10]      Port[#1]
2006-06-28 00:01:03 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:03 [OM-No #3]  000010                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [10]      Port[#3]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [10]      Port[#0]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #1]  000010                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #4]  000010                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [10]      Port[#2]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:04 [OM-No #2]  000010                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:12 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [20]      Port[#1]
2006-06-28 00:01:12 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:12 [OM-No #3]  000001                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [20]      Port[#3]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [20]      Port[#0]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No #1]  000001                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No #4]  000000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:13 [OM-No #4]  000001                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:14 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [20]      Port[#2]
2006-06-28 00:01:14 [OM-No #2]  000000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:14 [OM-No #2]  000001                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:22 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [01]      Port[#1]
2006-06-28 00:01:22 [OM-No #3]  100001                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:22 [OM-No #3]  100000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [01]      Port[#3]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [01]      Port[#0]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No #1]  100001                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No #1]  100000                          SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No #4]  100001                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:23 [OM-No #4]  100000                          SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:24 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [01]      Port[#2]
2006-06-28 00:01:24 [OM-No #2]  100001                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:24 [OM-No #2]  100000                          SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:32 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [02]      Port[#1]
2006-06-28 00:01:32 [OM-No #3]  000000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:32 [OM-No #3]  010000                          SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [02]      Port[#3]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No # 0] OM[4]-Cpu[1] output = [02]      Port[#0]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No #1]  000000                          SerialPort[#1]
```

2006-06-28 00:01:33 [OM-No #1] 010000	SerialPort[#1]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No #4] 000000	SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No #4] 010000	SerialPort[#4]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No # 2] OM[2]-Cpu[1] output = [02]	Port[#2]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No #2] 000000	SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:33 [OM-No #2] 010000	SerialPort[#2]
2006-06-28 00:01:41 [OM-No # 1] OM[3]-Cpu[1] output = [04]	Port[#1]
2006-06-28 00:01:41 [OM-No #3] 000000	SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:41 [OM-No #3] 001000	SerialPort[#3]
2006-06-28 00:01:42 [OM-No # 3] OM[1]-Cpu[1] output = [04]	Port[#3]
2006-06-28 00:01:42 [OM-No #1] 000000	SerialPort[#1]

(3) 공인기관 신뢰성시험 절차서

(가) 출력모듈(OM)

① 목 적

본 문서는 ㈜대우엔지니어링에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 전자연동장치 현장제어모듈(이하 'TFM')의 구성요소인 출력모듈(이하 'OM')에 대한 신뢰성시험을 위한 절차서이다.

② 시험목적

OM의 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써, 시험시간의 산출근거는 "㈜대우엔지니어링 한국형고속철도 전자연동장치 신뢰성시험절차서(HS05004RTEIS01)에서 제공하며, 산출된 신뢰성시험의 목표는 다음과 같다.

4개의OM이65℃에서정상동작을2,445시간(약102일)이상수행

③ 시험환경구축

OM의 신뢰성시험은 그림 3.175과 같이 4대의 OM과 지그로 구성된다. OM 모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 OM의 정상동작을 위한 출력확인 및 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치된다.

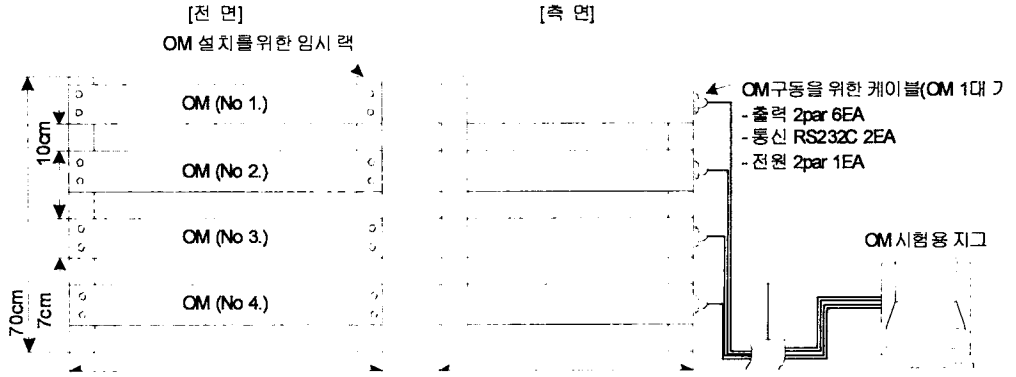


그림 3.175 OM 시험환경

④ 시험방법 및 결과판정

시험기관은 지그에 의해 수행되는 OM 4대의 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

1) 로그파일의 기록내용

지그는 표 3.53와 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표 3.53 OM 신뢰성 시험을 위한 지그의 입출력 사양

구분	세부구분	전기적 특성	채널 수	기능사항
출력요소	전원	DC12V	4	상시 공급
	접점	DC24V	24	모두 Close상태에서 1포트씩 10분 주기로 오름차순 Open, 모두 Open되면 1포트씩 10분 주기로 내림차순 Close
통신(입출력)요소	유지보수 콘솔	RS232C	8	10분에 1회씩 시스템 상태 정보 출력

2) 지그의 동작내용

표 3.52의 기능사항에 의해 다음사항이 표 3.54과 같이 로그파일로 생성된다.

- 지그의 OM입력 상태
- OM으로부터의 시스템 상태 수신
- OM으로부터의 출력 data 상태 수신

표 3.54 OM 로그파일의 출력양식

시간	OM 번호	CPU출력상태	지그입력상태	자체평가
YY/MM/DD HH/MM/SS				OK / FAIL

⑤ 고장의 판단

동작중인 OM모듈은 시험목적의 보증시간이 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 따라서 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 검토하여야 하며, 만약 4대의 OM 중 하나라도 고장이 발생하는 경우 시험을 중단하고 시험의뢰자에게 통보한다.

5. 5차년도 연구개발내용 및 결과

가. 전자연동장치 신뢰성시험

(1) 공인기관 신뢰성시험

전자연동장치의 신뢰성 시험은 다음과 같은 신뢰성 시험 방안을 토대로 국제공인시험인증기관에서 시험을 수행하고 있다.

(가) 목 적

본 문서는 고속철도기술개발사업 "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발" 과제의 전자연동장치의 신뢰성시험시 온도 스트레스에 대한 신뢰성 시험방안 수립을 위함이다.

(나) 성능보증시험

제작된 전자연동장치시스템은 보드단위로 평균고장시간(MTBF)이 예측되었다. 따라서, 예측된 MTBF의 입증을 위해 온도 요소를 고려한 가속시험을 통해 예측치를 입증한다.

(3) 공인기관 신뢰성시험 현황

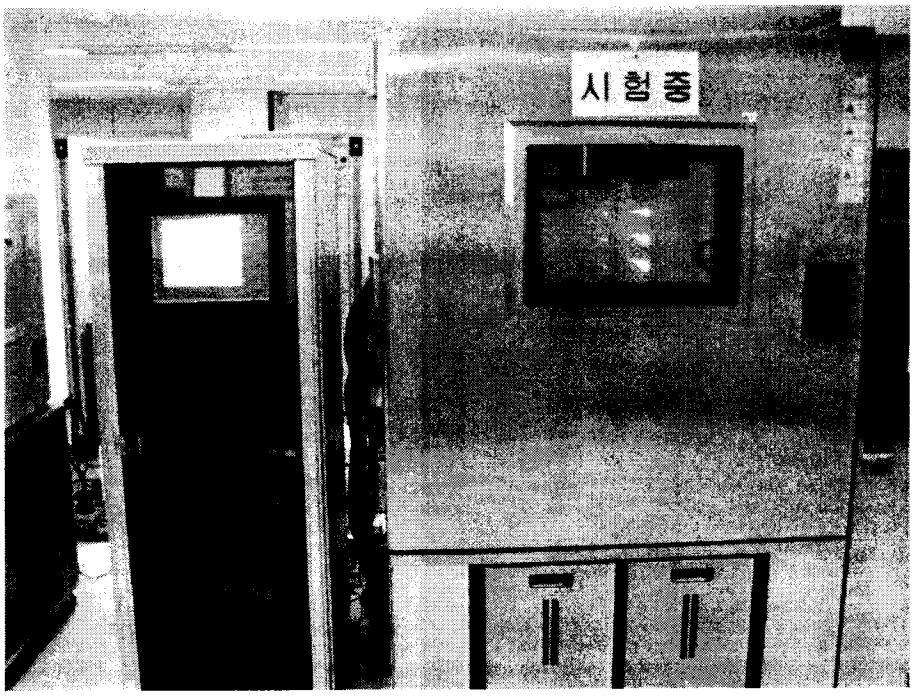


그림 3.176 신뢰성 시험 자료사진 1

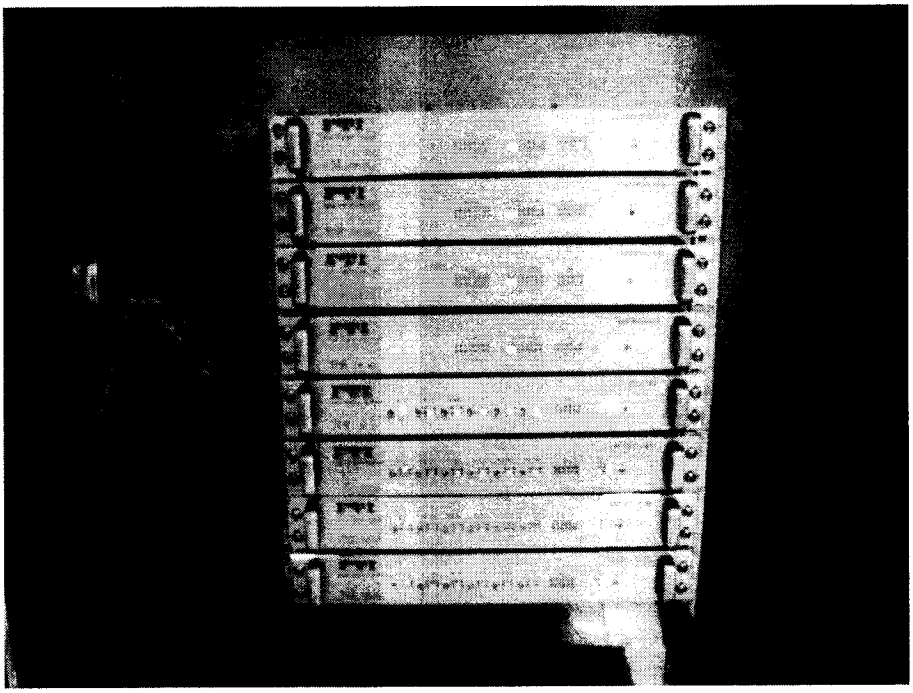


그림 3.177 신뢰성 시험 자료사진 2

(2) 공인기관 신뢰성시험 절차서

(가) 입력모듈(IM)

① 목 적

본 문서는 ㈜대우엔지니어링에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 전자연동장치 현장제어모듈(이하 'TFM')의 구성요소인 입력모듈(이하 'IM')에 대한 신뢰성시험을 위한 절차서이다.

② 시험목적

IM의 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써, 시험시간의 산출근거는 "㈜대우엔지니어링 한국형고속철도 전자연동장치 신뢰성시험절차서(HS05004RTEIS01)에서 제공하며, 산출된 신뢰성시험의 목표는 다음과 같다.

4개의IM이65℃에서정상동작을3,588시간(약150일)이상수행

③ 시험환경구축

IM의 신뢰성시험은 그림 3.178과 같이 4대의 IM과 지그로 구성된다. IM모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 IM의 정상동작을 위한 출력확인 및 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치된다.

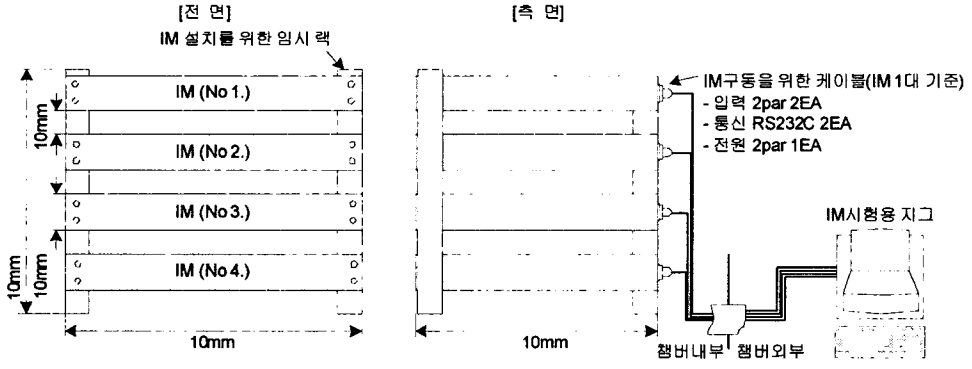


그림 3.178 IM 시험환경

④ 시험방법 및 결과판정

시험기관은 지그에 의해 수행되는 IM 4대의 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

1) 로그파일의 기록내용

지그는 표 3.55와 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표 3.55 IM 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력사양

구분	세부구분	전기적 특성	채널 수	기능사항
출력요소	전원	DC12V	4	상시 공급
	접점	DC24V	8	모두 Close상태에서 1포트씩 10초 주기로 오름차순 Open, 모두 Open되면 1포트씩 10초 주기로 내림차순 Close
통신(입출력)요소	유지보수 콘솔	RS232C	8	- 10분에 1회씩 시스템 상태정보 출력 - 입력 Data 변동시 상태출력

2) 지그의 동작내용

표 3.56의 기능사항에 의해 다음사항이 표 3.55와 같이 로그파일로 생성된다.

- 지그의 IM입력을 위한 접점 구성
- IM으로부터의 시스템 상태 수신
- IM으로부터의 입력 data 상태 수신

표 3.56 IM 로그파일의 출력양식

시간	IM 번호	CPU출력상태	지그입력상태	자체평가
YY/MM/DD HH/MM/SS				OK/FAIL

⑤ 고장의 판단

동작중인 IM모듈은 시험목적의 보증시간이 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 따라서 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 검토하여야 하며, 만약 4대의 IM 중 하나라도 고장이 발생하는 경우 시험을 중단하고 시험의뢰자에게 통보한다.

(나) 선로전환기모듈(PM)

① 목 적

본 문서는 ㈜대우엔지니어링에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 전자연동장치 현장제어모듈(이하 'TFM')의 구성요소인 선로전환기모듈(이하 'PM')에 대한 신뢰성시험을 위한 절차서이다.

② 시험목적

PM의 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써, 시험시간의 산출근거는 "㈜대우엔지니어링 한국형고속철도 전자연동장치 신뢰성시험절차서(HS05004RTEIS01)에서 제공하며, 산출된 신뢰성시험의 목표는 다음과 같다.

4개의 PM이 65℃에서 정상동작을 1,128시간(약 47일) 이상 수행

③ 시험환경구축

PM의 신뢰성시험은 그림 3.179와 같이 4대의 PM과 지그로 구성된다. PM모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 PM의 정상동작을 위한 출력확인 및 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치된다.

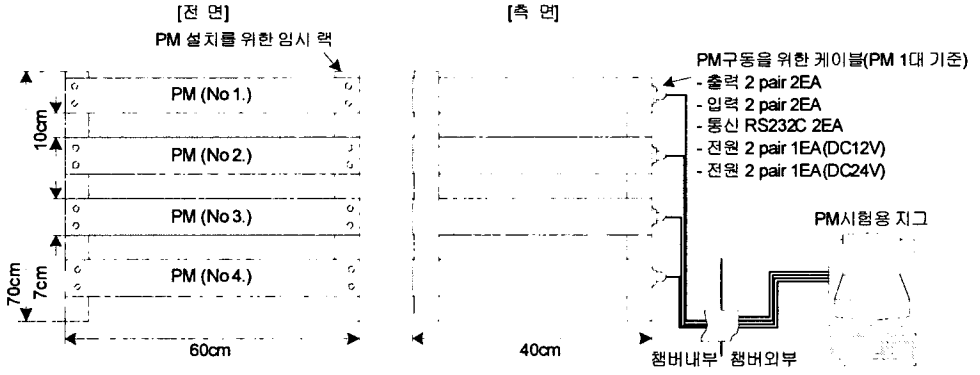


그림 3.179 PM 시험환경

④ 시험방법 및 결과판정

시험기관은 지그에 의해 수행되는 PM 4대의 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

1) 로그파일의 기록내용

지그는 표 3.57와 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표 3.57 PM 신뢰성시험을 위한 지그의 입출력 사양

구분	세부구분	전기적 특성	채널수	기능사항
출력요소	전원	DC12V	4	상시 공급
	전원	DC24V	4	상시 공급
	접점	DC24V	16	10분 주기로 지그의 출력포트에서 각 PM의 입력으로 +24V,0V 정보를 입력 각 PM은 입력된 정보를 각PM의 출력포트로 출력
통신(입출력) 요소	유지보수 콘솔	RS232C	8	10분에 1회씩 시스템 상태정보 출력

2) 지그의 동작내용

표 3.57의 기능사항에 의해 다음사항이 표 3.38와 같이 로그파일로 생성된다.

- 지그의 PM입력 상태
- 지그의 PM출력 상태
- PM으로부터의 시스템 상태 수신
- PM으로부터의 입출력 data 상태 수신

표 3.58 PM의 로그파일의 출력양식

시간	PM 번호	CPU출력상태	지그입출력상태	자체평가
YY/MM/DD HH/MM/SS				OK / FAIL

⑤ 고장의 판단

동작중인 PM모듈은 시험목적의 보증시간이 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 따라서 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 검토하여야 하며, 만약 4대의 PM 중 하나라도 고장이 발생하는 경우 시험을 중단하고 시험의뢰자에게 통보한다.

(다) 신호기모듈(SM)

① 목 적

본 문서는 ㈜대우엔지니어링에서 개발한 고속철도기술개발사업 한국형고속철도 전자연동장치 현장제어모듈(이하 'TFM')의 구성요소인 신호기모듈(이하 'SM')에 대한 신뢰성시험을 위한 절차서이다.

② 시험목적

SM의 신뢰성시험은 예측된 MTBF의 만족여부를 가속수명시험을 통해 확인하는 것으로써, 시험시간의 산출근거는 "㈜대우엔지니어링 한국형고속철도 전자연동장치 신뢰성시험절차서(HS05004RTEIS01)에서 제공하며, 산출된 신뢰성시험의 목표는 다음과 같다.

4개의SM이65℃에서정상동작을1,488시간(약62일)이상수행

③ 시험환경구축

SM의 신뢰성시험은 그림 3.180과 같이 4대의 SM과 지그로 구성된다. SM모듈은 챔버내부에 설치되며, 지그는 SM의 정상동작을 위한 출력확인 및 동작상태 감시를 위해 챔버의 외부에 제작사가 설치된다.

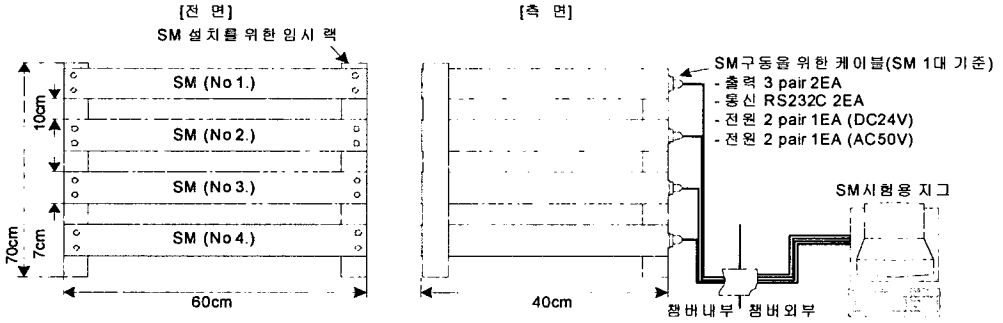


그림 3.180 SM 시험환경

④ 시험방법 및 결과판정

시험기관은 지그에 의해 수행되는 SM 4대의 동작정보를 로그파일로 확인하여 시험결과를 판정한다.

1) 로그파일의 기록내용

지그는 표 3.59과 같은 입출력 및 기능사양을 갖는다.

표 3.59 SM의 신뢰성 시험을 위한 지그의 입출력사양

구분	세부구분	전기적 특성	채널수	기능사항
출력요소	전원	DC12V	4	상시 공급
	전원	AC50V	4	상시 공급
	접점	AC50V	24	10분 주기로 SM의 출력포트에서 R,G,Y 정보를 출력
통신(입출력)요소	유지보수 콘솔	RS232C	8	10분에 1회씩 시스템 상태정보 출력

2) 지그의 동작내용

표 3.59의 기능사항에 의해 다음사항이 표 3.60와 같이 로그파일로 생성된다.

- 지그의 SM입력 상태
- SM으로부터의 시스템 상태 수신
- SM으로부터의 입출력 data 상태 수신

표 3.60 SM 로그파일의 출력양식

시간	SM 번호	CPU출력상태	지그입력상태	자체평가
YY/MM/DD HH/MM/SS				OK / FAIL

⑤ 고장의 판단

동작중인 SM모듈은 시험목적의 보증시간이 완료되기 이전에 고장이 발생할 수 있다. 따라서 시험자는 24시간 단위로 지그의 로그데이터를 검토하여야 하며, 만약 4대의 SM 중 하나라도 고장이 발생하는 경우 시험을 중단하고 시험의뢰자에게 통보한다.

(3) 공인기관 신뢰성시험 성적서

발행번호:TE-07-0617
Page : 1 / 3

시 험 성 적 서

발 행 번 호 : TE-07-0617

신 청 자 : (주) 대우엔지니어링

주 소 : 경기도 성남시 분당구 수내동 9-3

제 품 명 : 한국형고속철도 TFM 연동장치 현장제어모듈 (PM, SM)

시 험 일 자 : 2007년 07월 12일 ~ 2007년 08월 23일(960 hour)

시 험 명 : 고온 수명 시험

시 험 결 과 : 이상없음

용 도 : 품질 평가용

상기 내용은 의뢰자가 제출한 시료에 대하여 시행한 성적서임을 증명함.

확 인	작성자 성 명 : 이 덕 규 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명)

위 성적서는 국제시험소인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국교정시험기관인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 따른 시험결과입니다.

2007. 08. 24.

주식회사 테 스 코 대 표 이 사 (인)

그림 3.181 공인기관 시험 성적서

나. 전자연동장치 전자파 시험

(1) 공인기관 전자파시험

전자연동장치의 전자파 시험은 한국철도표준규격 KRS SG0015-06R에서 4.7 전자파 적합성 시험 방안을 토대로 국제공인시험인증기관에서 시험을 수행하고 있다.

(가) 목 적

본 문서는 고속철도기술개발사업 "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발" 과제의 전자연동장치의 전자파 적합성 시험을 위함이다.

(나) 성능보증시험

다음은 한국철도표준규격 KRS SG0015-06R에서 4.7전자파 적합성 시험 방안을 발췌한 내용입니다.

(다) 전자파 적합성 시험

(1) 시험대상 및 시험조건

① 전자파 발생강도의 측정은 전원장치 (24V정류기, 연동논리부 및 광통신부의 전원모듈, 무정전전원장치)를 대상으로 하며 장치별로 정격전압 및 정격부하에서 시행한다.

② 전기적 과도현상 내구성시험, 서지 내성시험, 고주파 전자계 유도 전도방해 내성시험, 방사고주파 전자계 내성시험, 정전기 방전 내구성시험은 연동논리부 (시스템랙 일체), 광통신부, 표시제어부, 무정전전원장치를 대상으로 하며 정상적인 동작상태로 구성후 시행한다.

(2) 전기적 과도현상 내구성 시험

① 전기적 과도현상 시험은 KSC IEC 61000-4-4에 따라 시행하며 기기간의 접속부는 3등급으로 외부 장치간 접속부 및 전원선에 대해서는 4등급으로 시행한다.

② 시험전압은 정 부 양극성에 대하여 각각 5분간 시행 하였을 때 입출력 상태

및 표시제어부 화면의 표시상태 변함이 없이 정상 동작하여야 하며 이상동작, 고장, 기타 결함이 없어야 한다.

(3) 서지 내성 시험

① 서지 내성 시험은 KSC IEC 61000-4-5에 따라 시행하며 기기간의 접속부는 2등급으로 ,외부 장치간 접속부 및 전원선에 대해서는 4등급으로 시행한다.

② 시험전압은 IEC 60060-1에 따라 1.2/50㎲의 파형으로 정/부 양극성에 대하여 각각 1분 간격, 5회씩 인가하였을 때 입출력 상태 및 표시제어부 화면의 표시상태 변함이 없이 정상 동작하여야 하며 이상동작, 고장, 기타 결함이 없어야 한다.

③ 차폐되지 않은 접속부는 KSC IEC 61000-4-5의 6.3에 따르고 차폐된 접속부는 KSC IEC 61000-4-5의 6.5에 따라 시행한다.

(4) 고주파 전자계유도 전도방해 내성 시험

고주파 전자계유도 전도방해 시험은 KSC IEC 61000-4-6에 따라 시행하고 시험등급은 3등급으로 한다.

(5) 방사 고주파 전자계 내성 시험

고주파 방사 전자계 내성시험은 KSC IEC 61000-4-3에 따라 시행하며 시험등급은 3등급으로 한다. 이때 입출력 상태 및 표시제어부 화면의 표시상태변함이 없이 정상 동작하여야 하며 이상동작, 고장, 기타 결함이 없어야 한다.

(6) 정전기 방전 내구성 시험

정전기 방전 시험은 KSC 0263에 따라 시행하며 시험 등급은 접촉방전 2등급으로 하고 첩촉방전이 불가능할 경우 기중방전 3등급으로 한다. 이때 입출력 태 및 표시제어부 화면의 표시상태 변함이 없이 정상 동작하여야 하며 이상동작, 고장, 기타 결함이 없어야 한다.

(7) 전자파 발생강도의 측정

① 전자파 발생 강도의 측정은 별도의 측정실에서 하여야 하며 측정실, 측정

방법 및 측정기는 IEC (국제 전기기술 위원회)의 CISPR 11:1997 6항. 및 7.항에 의한다.

② 전자파 방출의 허용한계는 다음과 같다.

포트	주파수범위	허용한계치	비고
외함	30Hz~230Hz	30dB($\mu N/m$)	30m거리에서 측정시 준첨두치
	230Hz~1000Hz	37dB($\mu N/m$)	30m거리에서 측정시 준첨두치
교류전원 입력	0.15MHz~0.5MHz	79dB($\mu N/m$)	준첨두치
		66dB($\mu N/m$)	평균
	0.5MHz~5MHz	73dB($\mu N/m$)	준첨두치
		60dB($\mu N/m$)	평균
	5MHz~30MHz	73dB($\mu N/m$)	준첨두치
		60dB($\mu N/m$)	평균

③ 외함으로부터의 방사노이즈는 10m거리에서 측정할 경우 허용치는 10dB 증가된 값으로 하며, 3m 거리에서 측정할 경우 20dB 증가된 값으로 적용한다.

④ 교류전원 입력포트에서의 전도성 노이즈는 발생회수가 5회/분 미만인 서지 노이즈는 포함시키지 않으며, 30회/분 이상인 서지 노이즈에 대하여 적용한다. 단, 5~30회/분인 서지 노이즈는 한계치를 20 log 30/N dB(N은 발생회수) 만큼 완화하여 적용한다.

(2) 공인기관 신뢰성시험 현황

(가) 신뢰성시험 사진자료

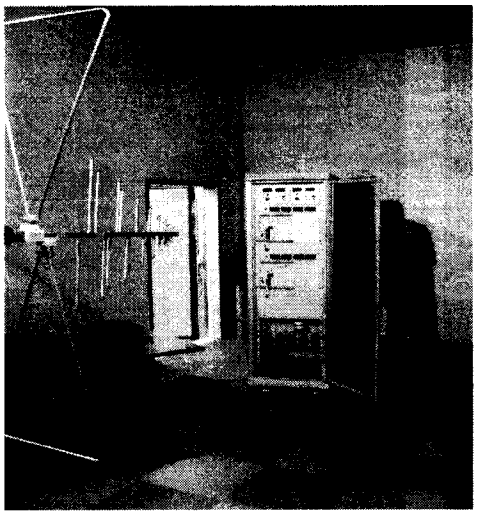


그림 3.182 EMI 시험

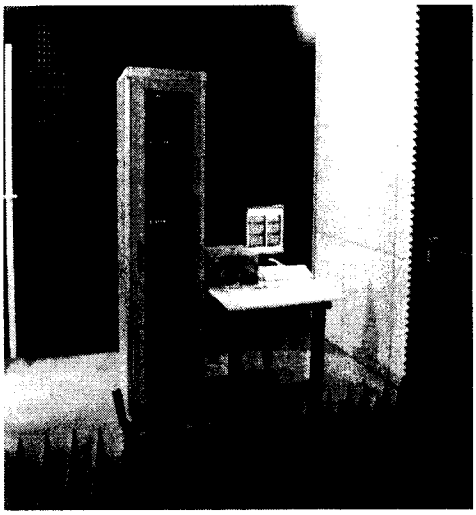


그림 3.183 EMS 시험

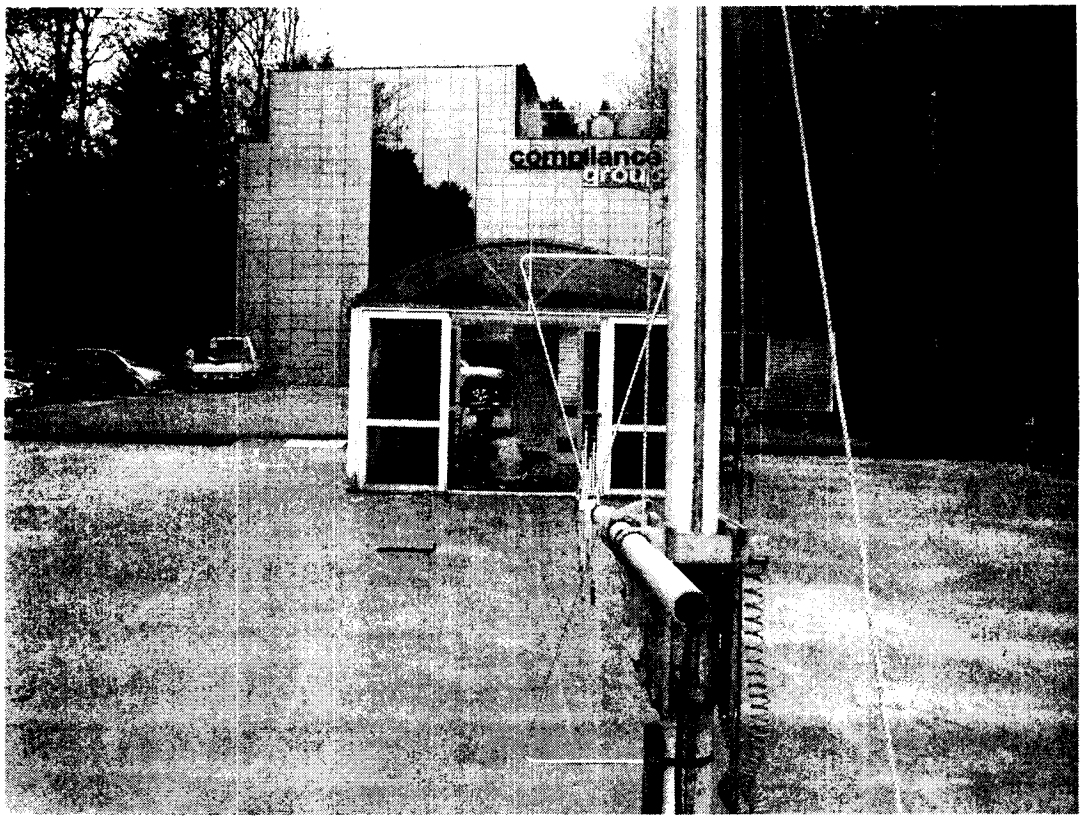
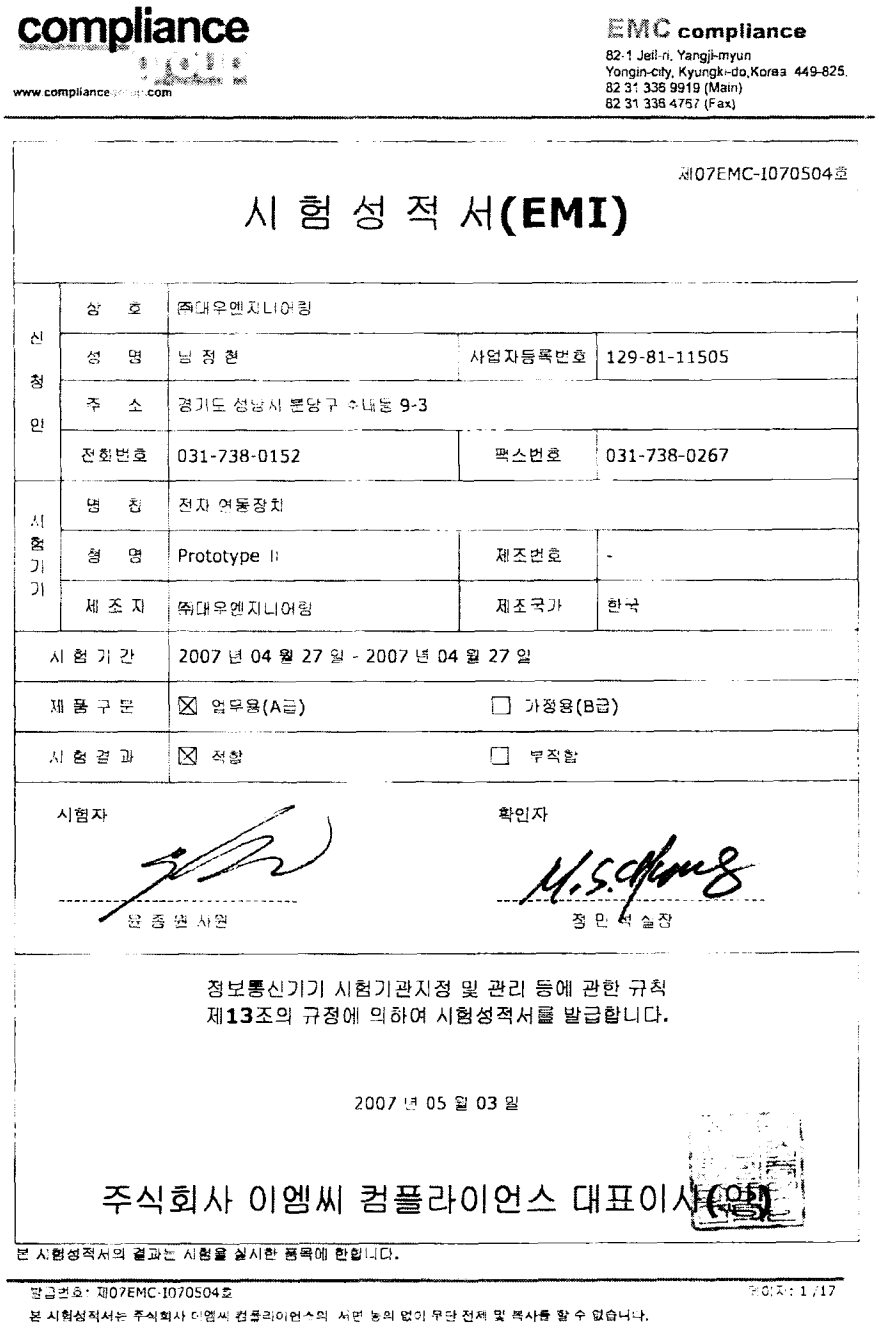


그림 3.184 옥외 전자파 시험 장면

(3) 공인기관 전자파 적합성 시험성적서



compliance
www.compliance.com

EMC compliance
82-1 Jeil-ri, Yangji-myun
Yongin-city, Kyungki-do,Korea 449-825.
82 31 336 9919 (Main)
82 31 336 4757 (Fax)

제07EMC-I070504호

시 험 성 적 서(EMI)

신청인	상 호	㈜대우엔지니어링		
	성 명	님 정 현	사업자등록번호	129-81-11505
	주 소	경기도 성남시 분당구 수내동 9-3		
	전화번호	031-738-0152	팩스번호	031-738-0267
시험기기	명 칭	전자 여동장치		
	형 명	Prototype II	제조번호	-
	제 조 지	㈜대우엔지니어링	제조국가	한국
시 험 기 간		2007 년 04 월 27 일 - 2007 년 04 월 27 일		
제 품 구 분		☒ 업무용(A급)	☐ 가정용(B급)	
시 험 결 과		☒ 적합	☐ 부적합	

시험자 ..... 확인자 .....

문 종 원 사원 정 민 석 실장

정보통신기기 시험기관지정 및 관리 등에 관한 규칙
제13조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.

2007 년 05 월 03 일

주식회사 이엠씨 컴플라이언스 대표이사 (인)

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

발급번호: 제07EMC-I070504호

본 시험성적서는 주식회사 이엠씨 컴플라이언스의 서면 동의 없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

그림 3.185 공인 기관 시험 성적서(EMI)

compliance
www.compliancegroup.com

EMC compliance
82-1 Jeil-ri, Yangji-myun
Yongin-city, Kyungki-do,Korea 449-825.
82 31 336 9919 (Main)
82 31 336 4767 (Fax)

제07EMC-S070504호

시 험 성 적 서(EMS)

신청인	상 호	㈜대우인지니어링		
	성 명	남 정 현	사업자등록번호	129-81-11505
	주 소	경기도 성남시 분당구 수내동 9-3		
	전화번호	031-738-0152	팩스번호	031-738-0267
시험기기	명 칭	전자 연동장치		
	형 명	Prototype II	제조번호	-
	제 조 지	㈜대우엔지니어링	제조국가	한국
시 험 기 간		2007 년 04 월 27 일 - 2007 년 04 월 30 일		
제 품 구 분		☒ 업무용(A급)	☐ 가정용(B급)	
시 험 결 과		☒ 적합	☐ 부적합	

시험자 윤 종 원 사원

확인자 성 인 석 실장

정보통신기기 시험기관지정 및 관리 등에 관한 규칙
제**13**조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.

2007 년 05 월 03 일

주식회사 이엠씨 컴플라이언스 대표이사(인)

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

본 시험성적서는 주식회사 이엠씨 컴플라이언스의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

그림 3.186 공인 기관 시험 성적서(EMS)

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

당해 연도 연구목표에 대한 달성도는 표 4.1에 자체평가 되었으며, 평가의 근거로써 정성적 연구성과 및 정량적 연구성과를 본 절에 제시하였다.

표 4.1 연차별 연구개발목표 및 달성도(신뢰성분야)

분야	연차	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
신뢰성	1차 년도	시제품안정화시험 -H/W 및 S/W 신뢰성평가기본이론조사 -고장분석절차개발 -문서화	-신뢰성 평가기본이론 조사 -시스템의 신뢰성향상을 위한 Fault-Tolerant -결함, 오류, 고장의 분석 -국제규격에 의한 문서화조사	100
	2차 년도	시제품안정화시험 -FMEA, FTA 수행 -가속수명시험방법개발 -신뢰성 향상프로그램 개발 -신뢰성시험 방법개발 -문서화	-자동열차제어장치 FMEA수행을 위한 위험원분석 -FTA기본이론 조사 및 적용 -가속수명시험 조사 및 평가방법 제시 -소프트웨어 신뢰도예측이론 조사	100
	3차 년도	시제품안정화시험 -H/W 및 S/W 신뢰성예측 -H/W 및 S/W 신뢰성 시험 -H/W 가속수명시험 -문서화	-열차제어시스템 신뢰성예측절차 개발 -열차제어시스템 신뢰도예측보고서 -위험측고장률예측 절차개발 -규격에 의한 문서화 -소프트웨어 신뢰도예측 절차개발 -가속시험절차서 개발 중	100
	4차 년도	신뢰성확보 -시험전문기관 신뢰성시험 -유지보수 기준(안) 작성	-열차제어시스템 안정화를 위한 설계변경사항을 전자장치의 신뢰도예측 지침인 미국방규격 MIL-HDBK-217FN2를 기준으로 하부구성요소의 평균고장시간(MTBF)예측 -열차제어시스템 가속시험을 위한 스트레스 요인의 선정(설계범위 내에서의 온도변화에 따른 하부구성요소의 MTBF변화 패턴의 추정) -하부구성요소를 구성하는 전자부품의 종류(집적회로, 콘덴서, 저항 등)별 활성화 에너지를 반영한 고장률예측 -아레니우스 방정식을 통한 온도에 따른 하부구성요소 수명산출 -통계적 접근에 의한 신뢰성시험결과에	100

분야	연차	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
			대한 유효수준별 수명의 가속비 추정 -자동열차제어장치 DO와 전자연동장치 OM의 신뢰성시험을 위한 시험절차서 작성 -유지보수관련 미국방규격 MIL-STD-470, 471, 472N1의 분석 -유지보수의 구성요소인 예방유지보수와 교정유지보수에 대한 개념정립 및 열차제어시스템에 적용하기 위한 수행절차의 요구사항 도출 -예방유지보수를 위한 체계인 신뢰도기반 유지보수기법(RCM)의 기본이론 조사 -교정유지보수의 정량적 평가기준인 MTTR산출을 위한 기본이론 조사 및 요건분석 -한국형고속철도 열차제어시스템 유지보수를 위한 요구사항 도출	
	5차 년도	-유지보수체계 구축을 위한 요구사항제시 -열차제어시스템 MTTR의 정량적 평가체계구축 및 평가 -신뢰성관련 문서보완 및 완료 -신뢰성시험 자체실시	-4차년도에 수행한 미국방규격 MIL-STD-470, MIL-HDBK-472N1의 요구사항을 만족하는 열차제어시스템 유지보수기준(안)을 보완하여 상세 유지보수기준을 제시 -유지보수기준을 토대로 제작사와 운영기관의 조직구성에 따른 유지보수체계와 시스템 수명주기인 시간범위의 유지보수체계를 수립하기 위한 요구사항을 제시 -정량적 유지보수체계의 핵심사항인 MTTR을 평가하기 위한 절차를 개발하여, 자동열차제어장치와 전자연동장치의 MTTR을 평가 -공인기관에서 실시한 품목(자동열차제어장치 DO, 전자연동장치 OM)과 유사한 하부구성요소들을 대상으로 한국형고속철도 열차제어시스템 신뢰성시험 지그를 개발하여 자체적인 신뢰성시험 실시 -최종 보완된 열차제어시스템의 MTBF 예측과 입증보고서를 작성	100

표 4.2 연차별 연구개발목표 및 달성도(자동열차제어장치분야)

분야	연차	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
자동열차제어장치	1차 년도	·시제품 안정화 시험 -차량탑재 시운전 시험 -내구성 시험 ·ATC 시스템 보완제작 ·안정화 시험을 위한 유지보수 (1)	-경부선 본선에서의 ATC시운전 -고장정보에 의한 시스템 업그레이드 -고장정보 분석에 의한 시스템 신뢰도 특성분석	100
	2차 년도	·시제품 안정화 시험(2) -시운전 시험 및 보완 -가속수명시험 대상선정 및 가속수명시험 절차개발 -ATC 신뢰성 향상을 위한 개량(2) -ATC 시스템 문서화작업	-경부본선시 운전 시험 수행 -기능 및 신뢰성 향상을 위한 개량 -위험원 분석을 위한 기능분석	100
	3차 년도	·시제품 안정화 시험 및 H/W 및 S/W 대폭개량(2) -ATC H/W 가속수명시험 -ATC S/W 신뢰성 시험 -ATC H/W 보완제작 -ATC S/W 보완제작 ·ATC 시스템 문서화작업 ·시제품 안정화 시험(3)	-시운전 데이터에 의한 시스템 하드웨어/소프트웨어 수정보완 -신뢰도예측에 의한 시스템 업그레이드 -가속시험 준비 중	100
	4차 년도	·자동열차제어장치 신뢰성확보 -자동열차제어장치 시험전문기관 신뢰성시험 -고장데이터 분석 및 설계보완	-고속선에서 자동열차제어장치 안정화를 위한 시운전시험실시 및 고장정보 분석 -차량과의 인터페이스(OBCS) 향상을 위한 설계변경 -운전자표시장치의 고장발생을 허용하기 위한 백업화면 보완 -보완사항에 대한 운전자 매뉴얼 및 고장대응 시나리오 개발 -불연속 정보처리, 출발전 자기검사, 안전측동작을 보증하는 CGSP스위치, 차상제어장치의 계관리 상태표시 등 성능향상을 위한 보완 -시운전과 병행하여 중점검 및 종합점검 실시 -전자장치 신뢰성시험의 국가지정시험기관(KOLAS)에서 자동열차제어장치 DO 모듈의 신뢰성시험 실시 -자동열차제어장치 유지보수기준 작성을 위한 요구사항 도출	100

분야	연차	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
	5차 년도	·자동열차제어장치 유지보수체계 구축	·유지보수 체계구축 -유지보수 체계 구축 -시험기관 신뢰성 시험 -신뢰성시험결과 및 MTTR 평가결과에 따른 보완 및 완료 ·교육/훈련 매뉴얼 작성	100

표 4.3 연차별 연구개발목표 및 달성도(전자연동장치분야)

분야	연차	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
전자연동장치	1차 년도	·전자연동장치 안정화 시험(1) ·안정화 시험을 위한 유지보수(1)	-태백선 청령포역에서 시운전 -고장정보에 의한 시스템 업그레이드 -고장정보 분석에 의한 시템 신뢰도 특성 분석	100
	2차 년도	- 가속수명시험 절차개발 - H/W 업그레이드 - S/W 업그레이드 - 안정화 시험을 위한 유지보수(2)	-태백선 청령포역 시운전 시험 수행 (공인기관 시험성적서 취득) -기능 및 신뢰성 향상을 위한 개량 -위험원 분석을 위한 기능분석	100
	3차 년도	·전자연동장치 신뢰성 예측 및 분석 -설계안전을 위한 시험 -설계안전을 가속수명 시험 ·시험설계실시 ·재현시험 및 표준화 ·신뢰성 예측 ·안정화 시험을 위한 유지보수(3)	-시운전 데이터에 의한 시스템 하드웨어/소프트웨어 수정보완 -신뢰도예측에 의한 시스템 업그레이드 -가속시험	100
	4차 년도	·전자연동장치 신뢰성확보 -전자연동장치 시험전문기관 신뢰성시험 -고장데이터 분석 및 설계보안	-현장제어모듈(TFM) 자체환경시험 실시(11개월)를 통한 시제품 안정화 -자체시운전시 발생된 문제점 보완을 위한 보완(연동논리부 통신모듈의 신뢰성 향상, 선로전환기 안전동작 보완, 신호기 제어모듈의 단심검지기능 보완, 출력모듈의 무부하에 대한 실시간 검지 기능 보완, 역구내 선형편집기의 기능보완, 고장발생에 대한 알람기능 보완 등) -실용화를 위한 표준규격(안)작성 -분산형 전자연동장치 표준사양 정립 -전자장치 신뢰성시험의 국가지정시험기관(KOLAS)에서 전자연동장치 OM모듈의 신뢰성시험 실시 -전자연동장치 유지보수기준 작성을 위한 요구사항 도출	100
	5차 년도	·전자연동장치 유지보수체계구축	·유지보수 체계구축 -유지보수 체계 구축 -시험기관 신뢰성 시험 -신뢰성시험결과 및 MTTR 평가결과에 따른 보완 및 완료 ·교육/훈련 매뉴얼 작성	

1. 정성적 연구성과

본 연구는 G7사업에서 시제품으로 개발된 자동열차제어장치와 전자연동장치의 상용화를 위한 안정화연구이다. 자동열차제어장치는 역과 역사이를 운행하는 열차의 제한속도초과를 감시하고 지리적 정보를 수집하여 열차의 안전한 운행을 지원하는 장치이며, 전자연동장치는 역구내에서 궤도회로를 통해 추적된 열차의 위치를 바탕으로 신호기와 선로전환기를 제어하여 열차의 진로를 제어하는 장치이다.

본 연구에서는 이러한 열차제어시스템 기술을 확보하였으며, 기술확보의 입증을 위해 자동열차제어장치의 경우 현재 운영중인 고속선에서 차상장치를 시험하였으며, 전자연동장치의 경우 태백선 청령포역에서 영업선에 대한 서비스를 제공하는 시운전을 수행하였거나 수행 중에 있다. 이러한 열차제어시스템 기술의 확보는 향후 추진되는 신규철도망의 건설이나 기존 고속선 및 일반선의 개량 또는 유지보수시에 국내기술로 개발된 시스템의 공급이 가능하게 하였으며, 본 연구성과의 일부 실용화 사례에서 알 수 있듯이 외국 시스템과의 경쟁력도 상당부분 확보된 상태이다.

열차제어시스템에서 고장이 발생하는 경우 서비스제공의 중단으로 인해 대규모 운행지연이 발생할 수 있으므로, 열차제어시스템의 고장을 분석하여 발생빈도를 최소화하고 발생된 고장에 대해서는 기능복귀시간을 최소화 하는 것이 매우 중요하다.

자동열차제어장치와 전자연동장치의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구는 각각의 장치를 결함허용구조로 설계하여 단일고장에 대하여 시스템기능상실이 발생하는 것을 최소화 하였으며, 정량적으로는 하부구성요소단위 MTBF를 100,000시간 이상 확보하도록 개발수명주기 전반을 관리하였다. 이러한 관리를 위해 열차제어시스템을 구성하는 장치를 부품단위로 미국방규격에 의해 고장률을 예측하여 목표신뢰도와 비교하였으며, MTBF예측치의 비교결과를 분석하여 설계를 보완하였다. 또한, 예측치와 실제 제작된 장치의 실제 고장률오차를 최소화하기 위해 하부구성요소단위 신뢰성시험을 통한 MTBF의 입증을 수행하였다. 열차제어시스템 신뢰성확보를 위한 일련의 절차는 높은 신뢰성을 요구하는 유사 응용분야인 원자력, 항공, 군수, 화학플렌트, 금융 등의 제어분야에 적용이 가능하다.

2. 정량적 연구성과

가. 특허등록/실용신안/디자인/프로그램출원 및 등록

구분	명칭	출원국	출원 및 등록자	출원		등록	
				출원일	출원번호	등록일	등록번호
특허 출원	AF궤도회로 수신장치 및 그의 제어방법	대한민국	엄정규 외	2003.04.14	P03-023425		
특허 출원	선로주변 환경 정보 알림장치 및 처리방법	대한민국	이왕희 외	2003.04.14	P03-023424		
특허 출원	궤도회로 전류 측정장치	대한민국	이왕희 외	2003.09.02	P03-061161		
특허 등록	철도제어시스템의 시리얼 데이터 중재장치	대한민국	신덕호 외			2005.01.20	0468888
특허 등록	쌍심형 3등 3현시 철도 신호기 에프터-쌍심형 제어시스템	대한민국	신덕호 외			2005.01.20	0468890
특허 등록	철도신호 장비 시리얼 데이터 통신감시 시스템	대한민국	신덕호 외			2005.01.20	0468887
특허 등록	Control system for pair-type 3-light 3-state display railroad signal lamp	영국	신덕호 외			2006.06.01	GB2411034
프로그램 등록	한국형고속철도 전자연동장치 현장제어입력모듈(IM)의 가속수명 시험을 위한 신뢰성시험기 제어 프로그램	대한민국	이강미 외			2007.05.14	2007-01-129-002433

나. 논문게재현황

구분	논문명	학술지명	ISBN ISSN	Vol. (No)	게재 년도	국명
일반 학회지	철도신호시스템에서의 향상된 안전성확보방안에 대한 연구	한국철도학회	0	제6권 제2호	2003	대한민국
일반 논문지	컴퓨터기반 철도신호제어시스템의 안전성 확보에 관한 연구	대한전기학회	0	제54B권 제11호	2004	대한민국
일반 논문지	컴퓨터기반 자동열차제어장치의 안전성확보에 관한 연구	대한전기학회	0	제54B권 제6호	2005	대한민국
일반 논문지	TFM에 대한 내장형제어기의 위험측고장률예측에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제8권 제2호	2005	대한민국
일반 논문지	자동열차방호장치와 건널목보안장치의 인터페이스 안전요구사항에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제8권 제2호	2005	대한민국
일반 논문지	HAZOP Study를 사용한 ATSRX의 위험원도출 및 리스크 완화에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제8권 제6호	2005	대한민국
일반 논문지	한국형고속철도 열차제어시스템 하부구성요소 신뢰도입증에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제9권 제6호	2006	대한민국
일반 논문지	한국형고속철도 열차제어시스템 하부구성요소 신뢰도예측에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제9권 제4호	2006	대한민국
일반 논문지	열차제어시스템의 안전입증에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제9권 제4호	2006	대한민국
일반 논문지	자기검사회로를 이용한 대기이중계구조 결함허용제어기의 설계 및 신뢰도평가에 관한 연구	한국철도학회	1738-6225	제9권 제6호	2006	대한민국
일반 논문지	철도신호 내장형제어기 안전성 향상을 위한 워치독타이머 설계 및 평가	한국철도학회	1738-6225	제10권 제6호	2007	대한민국

다. 학술대회 발표현황

논문제목	학술회의 명칭	국 명	발표년도	학술대회 논문집명
고속전철 차량간 구성변화의 능동적 동작을 위한 통신규약에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2003	추계학술대회
열차 제어를 위한 무선통신 시스템의 생존선 검토	한국철도학회	대한민국	2003	추계학술대회
통신을 이용한 열차제어시스템에서의 간격제어를 위한 알고리즘 개발	대한전기학회	대한민국	2003	춘계학술대회
The Development of Automatic Train Spacing Algorithm in Train control System	IFAC Symposium	대한한국	2003	발표집
자동열차제어장치 요구사양도출에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2003	추계학술대회
내장형 철도신호제어시스템의 정량적 RAMS평가에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2003	추계학술대회
소프트웨어 결함허용능력 향상을 통한 고안전 전자연동장치 개발	FTCC	대한민국	2003	발표집
결함허용 시스템의 하드웨어 여분구조에 대한 연구	한국철도학회	대한민국	2003	춘계학술대회
한국 고속전철 궤도회로의 수학적 모델링	한국철도학회	대한민국	2004	춘계학술대회
FPGA를 이용한 한국형 고속전철 불연속 정보 수신보드 개발에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2004	춘계학술대회
Simulation Algorithm an implementation of a VLF	ICCAS	대한한국	2004	발표집
자동열차제어장치의 제어알고리즘 분석과 개량방안에 관한 연구	대한전기학회	대한민국	2004	하계학술대회
전기적 위험요인에 대한 열차제어시스템의 예비위험요인분석	대한전기학회	대한민국	2004	하계학술대회
한국 고속전철 궤도회로의 수학적 모델링	한국철도학회	대한민국	2004	춘계학술대회
고속선 연속 정보 메시지 및 레벨 측정을 위한 차상 신호 검측장치 설계	한국철도학회	대한민국	2005	춘계학술대회
열차제어시스템 고장률예측 및 입증에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2005	추계학술대회

논문제목	학술회의 명칭	국 명	발표년도	학술대회 논문집명
한국형고속철도 열차제어시스템 사후유지보수도 평가에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2006	춘계학술대회
한국 고속 철도에서의 열차 검지 개선에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2006	춘계학술대회
예비위험원분석을 통한 ATP시스템의 위험원 도출에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2006	춘계학술대회
전치왜곡기로 인한 고속이동통신의 성능향상기법	대한전자공학회	대한민국	2006	하계학술대회
Performance improvement of the MC-CDMA system suitable for the high speed mobile communication	ICEE	태국	2006	발표집
철도신호제어용 소프트웨어의 신뢰도 모델링에 관한 연구	대한전기학회	대한민국	2006	춘계학술대회
A Study on Design and Reliability Assessment for embedded Hot-Standby Sparing	ICEE	홍콩	2007	발표집
A Study on the Reliability Demonstration of ATC and IXL	ICEE	홍콩	2007	발표집
A study on Reliability Prediction of ATC and IXL for Korea High Speed Train	ICEE	홍콩	2007	발표집
철도신호용 임베디드시스템의 고장모드도출에 관한 연구	한국철도학회	대한민국	2007	발표집

라. 교육 및 지도 활용

구 분	교육명	교육내용	교육대상	교육시간	교육인원
교육훈련	ATP시스템 RAMS	열차제어시스템 RAMS	태정/LG CNS컨소시엄	3	20
	결함허용시스템	철도의 결함허용적용사례	남서울대학교	2	50
	ATP시스템 RAMS	RAMS기본	한국철도공사	8	25
	전기전자시스템 RAMS	RAMS적용사례	(주)테스코	2	40
	철도신호 RAMS	철도의 RAMS기본 및 적용사례	서울메트로	24	40

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 신뢰성 분야

전자부품으로 구성된 제어기를 사용하여 높은 신뢰도가 요구되는 제어를 수행하는 원자력, 항공, 화학플렌트 등의 분야에 대하여 개발수명주기별로 신뢰도를 정량적으로 관리하는데 활용할 수 있다. 또한, 하부구성요소단위 신뢰성시험을 통합 예측신뢰도의 입증방법으로 열차제어분야 기존설비의 잔존수명평가를 수행하면, 장치별 내구연한 할당의 적정성, 사용 중인 시스템의 현재 신뢰도를 평가하여 운영 및 유지보수의 효율성을 극대화 할 수 있다.

제 2 절 자동열차제어장치 분야

개발이 완료된 시스템은 표준화를 통해 시험·평가한 후 실용화를 목표로 하여, 개발된 시스템이 적용된 고속 전철 및 일반 전철은 내수 시장과 수출 시장에 진출하여 경쟁력을 높일 수 있도록 한다. 본 연구는 기술개발의 초기단계부터 산·학·연이 공동으로 참여하였으며, 개발 후에도 협력 업체로 기술을 전수하는 방법을 채택하기 때문에 기업군별 기술 보호와 기술 파급이라는 두 가지 목적을 동시에 획득할 수 있다. 자동열차제어장치의 실용화 방안은 두 단계로 나눌 수 있으며, 1단계에서는 국내외 일반철도와 도시철도는 물론 향후 건설되는 고속철도를 활용대상으로 하고 있다. 2단계에서는 높은 신뢰도를 갖는 자동열차제어장치의 핵심기술인 결함허용 설계기법을 철도분야 뿐만 아니라 항공, 원자력 등의 안전필수 응용분야의 핵심부분에 진출하고자 한다.

제 3 절 전자연동장치 분야

개발된 전자연동장치의 실용화를 위해서는 정부의 적극적인 지원과 생산·제조업체와 긴밀한 산·학·연 체제를 지속적으로 유지하여 기능개선 및 새로운 기술의 접목을 추구하여야 하며, 실용화를 위한 단계적 적용분야로서, 국내외 일반철도, 도시철도, 신규고속선, 도시형 경량전철에 대한 진출을 예상하고 있다.

여백

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

본 장에서는 당해 연도 연구수행과 관련하여 영국철도의 열차제어시스템 신뢰성 및 안전성의 관리체계에 대한 교육을 시행하였다. 영국철도는 철도시스템으로 인해 발생할 수 있는 위험원을 허용할 수 있는 수준으로 완화하기 위해 ALARP이론을 사용하고 있으며, 위험원은 신뢰도의 핵심요소인 고장률을 포함하므로, 안전성활동은 신뢰성활동을 포함한다고 할 수 있다. 따라서 영국 교육전문기관에서 수료한 영국철도 안전관리지침인 Yellow Book을 중심으로 ALARP이론에 대한 내용을 요약하였으며, ALARP이론을 국내 열차제어시스템 분야에 적용하기 위한 방안을 본 장에 기술한다.

철도운영에서 열차제어시스템의 고장, 결함은 열차충돌, 탈선 등 파국적인 사고를 초래하기 때문에 열차제어시스템에 대한 위험관리와 안전성 인증의 중요성은 국제적으로 강조되어 왔다.

이를 위해 국제규격인 IEC 62278은 전기전자프로그래머블제어기로서 열차제어시스템의 RAMS(신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성) 요구사양을, IEC 62425(EN 50129)는 제어시스템에 적용되는 전자시스템에 대한 안전요건 그리고 열차방호를 위한 열차제어시스템의 신호통신처리소프트웨어의 안전요건으로서 IEC 62279(EN 50128) 등이 열차제어시스템의 안전성 관련 국제규격으로 제정되어 있다.

국내 철도도 열차제어시스템 대부분이 컴퓨터화된 전자장비로 구성됨에 따라 특별한 징후없이 발생하는 제어기의 내부고장에 대한 위험측 고장요인을 분석하고, 그 발생빈도와 피해심각도를 일정수준 이하로 관리하기 위한 위험도(Risk)평가를 핵심으로 하는 안전연구를 지속해 왔다.

현재 한국철도공사(KORAIL)의 ATP시스템 도입사업은 위험도 평가를 통해 안전요구사항을 도출하고 이를 근거로 시스템 안전성을 판단하고 있으며, 유럽 각국에서도 철도운영환경에 따라 영국 ALARP(As Low As Reasonably Practicable), 프랑스 GAMAB, 독일 MEM 등 위험도 평가에 기반한 적절한 안전관리 원칙을 적용하고 있다.

특히 영국철도는 국제규격과 유럽규격을 준수하여 열차제어시스템의 개념설계부터 폐기까지 전 수명주기 동안 위험원(Hazard)을 도출하고 위험도를 평가

하여 허용수준 이하로 관리하는데 필요한 안전활동의 문서화 및 승인절차를 철도시설관리자(Network-Rail)가 Yellow Book이라는 지침으로써 권고하고 있으며, 여기서 안전성을 판단하는 핵심원칙으로서 ALARP을 적용한다.

본 장에서는 현재 국내 열차제어시스템에 대한 안전성 입증활동 사례로서 한국철도공사의 차상신호시스템 도입사업인 ATP시스템 지상장치에 대한 인터페이스 안전성 활동을 분석하고, ALARP이론을 적용하여 안전성 입증이 가능한지를 검토하였다. 그리고 ALARP 원칙에 따른 위험도 평가를 적용하기 위한 가정 및 요구 데이터를 분석하여 향후 국내 철도시스템의 안전입증에 필요한 요구사항을 도출하고자 한다.

제 1 절 국내 열차제어시스템의 안전입증 절차현황

국내 열차제어시스템에 대한 안전성활동은 2001년 철도청(KNR)의 "철도신호제품에 대한 신뢰성과 안전성 검증기준 제정연구"와 2001년 철도청지시 2001-49호 "열차제어시스템 안전성확보 기술 권고안"을 시작으로 열차제어시스템의 위험원을 도출(Identification)하고 위험도를 평가하여 허용가능한 수준으로 완화하기 위한 체계를 수립하였다. 이후 이러한 안전성 활동은 2002년 KORAIL "통합관제실 CTC 소프트웨어의 안전성연구" 및 2004년 KORAL "차상신호(ATP)시스템 도입사업의 RAMS활동"까지 적용되면서 2005년 철도안전법 제정에도 기여하였다.

이와 같은 위험분석 및 위험도 평가를 기반으로 하는 국내 열차제어시스템 안전성활동체계를 그림 6.1에 제시한다.

1. KORAIL ATP 시스템의 위험도 허용수준 설정

예비위험원분석을 통해 ATP시스템에 내제된 위험원을 도출하고 이들의 위험도를 완화할 수 있는 안전대책을 시스템설계 단계의 안전요구사항으로 활용한다.

이때 위험도의 허용수준은 앞에서 제시한 ALARP이론과 같은 이론적 평가기준을 사용할 수 있으나, ATP시스템 안전성활동에서는 표 6.1과 같은 위험도 허용수준을 안전계획서(Safety Plan)에 설정하여 해당 위험원이 허용할 수 있는 수준으로 제어됨을 입증하는 것으로 수행한다. 따라서 시스템의 모든 위험

원에 대해 표 6.1의 위험도 허용수준을 적용하여 "Intolerable, Undesirable" 영역의 위험원에 대해서는 안전대책을 검토하여 "Tolerable, Negligible"영역으로 위험도가 완화되었음을 입증하는 종합안전대책기술서(Safety Case)를 작성하고 이를 독립안전성평가자(ISA, Independent Safety Assessment)나 최종사용자가 승인하는 것으로서 안전성입증 활동이 종료된다.

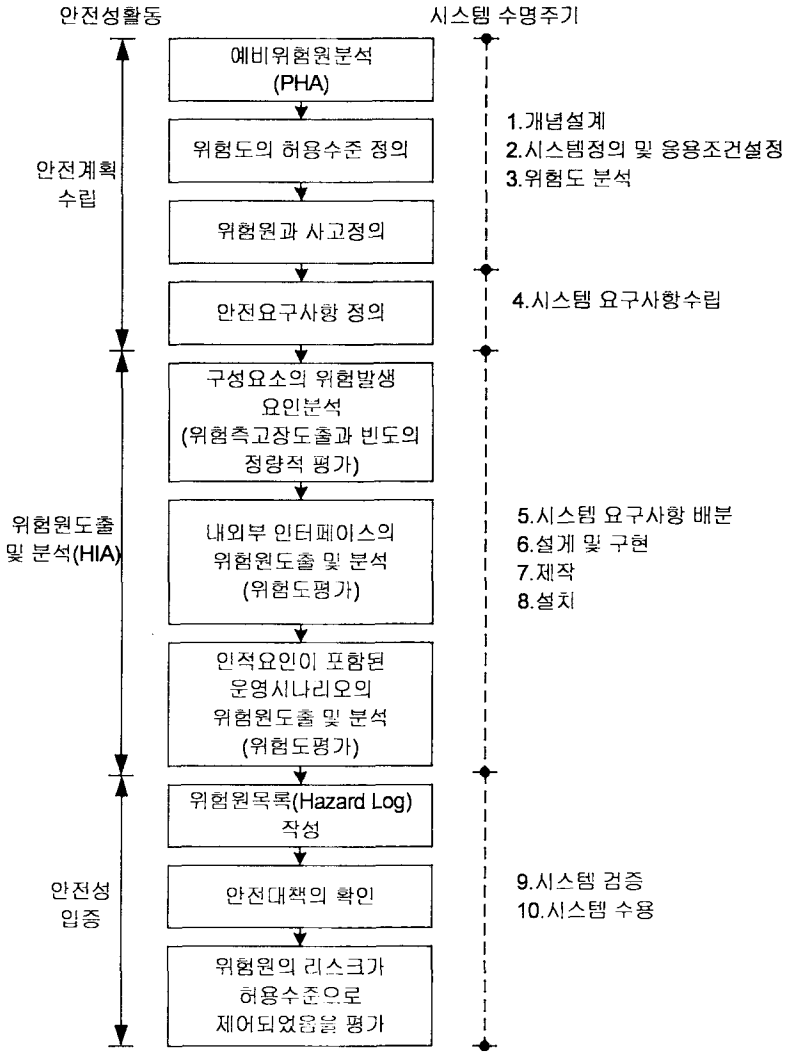


그림 6.1 위험도 평가를 통한 안전성 입증의 업무흐름

PHA : Preliminary Hazard Identification, HIA : Hazard Identification and Analysis

표 6.1 ATP시스템의 위험도 허용수준 매트릭스

설 명	치명적인위험 (Catastrophic) 3인이상 사망	중대한 위험 (Critical) 1인이상 사망, 3인미만 사망	경미한 위험 (Marginal) 1인이상 중상, 10인미만 중상	사소한 위험 (Insignificant) 1인이상 경상, 20인미만 중상
빈번한 발생 (Frequent) [10-3/h 초과]	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Undesirable
가능성 있는 발생 (Probable) [10-4초과, 10-3/h 이하]	Intolerable	Intolerable	Undesirable	Tolerable
종종 발생 가능 (Occasional) [10-6초과, 10-4/h 이하]	Intolerable	Undesirable	Undesirable	Tolerable
발생가능성이 미약함(Remote) [10-8초과, 10-6/h 이하]	Undesirable	Undesirable	Tolerable	Negligible
발생가능성이 거의없음(Improbable) [10-9초과, 10-8/h 이하]	Tolerable	Tolerable	Negligible	Negligible
발생가능성이 전혀없음(Incredible) [10-9이하]	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible

2. ATP시스템 지상장치 인터페이스 위험원 도출 및 분석

ATP시스템 지상장치의 내부구성 및 인터페이스는 그림 6.2와 같다. ATP시스템 지상장치 인터페이스는 ATP지상장치와 기존 KORAIL장치와의 물리적 인터페이스를 범위로 하며, 위험원 도출을 위해 인터페이스별로 Guide Word를 기준으로 이상현상(Deviation)을 예측하여 위험원을 도출하는 HAZOP Study기법을 사용하였다. ATP지상장치의 인터페이스 요인은 선로변전자유닛(LEU, Line-side Electronic Unit)의 아날로그 전원입력, 신호기상태 검지를 위한 비접촉방식 아날로그 입력, 건널목 제어기와의 인터페이스인 지장물검지계전기와 경보장치 고장검지계전기의 접점입력, ATP차상장치와의 텔레파워링 및 텔레그램신호, LEU의 자기검사기능 등으로 구성된다. 표 6.2는 5현시 구간의 신호기 입력에 대한 HAZOP Study의 예이다.

HAZOP Study 워크시트는 국제규격에서 제시하지만 차상신호(ATP)시스템 도입사업의 위험원 도출에서는 FMECA(Failure Mode Effect and Criticality Analysis)의 장점인 위험원별 위험도평가를 HAZOP Study 워크시트에 포함시켜 동시에 수행하도록 별도의 양식을 표 6.2와 같이 구성하였다. 따라서 위험원 도출과 함께 사고결과에 따른 위험원의 관리와 안전대책 반영 후의 위험도평가

를 통해 안전계획서에 제시된 안전의 허용수준 만족여부를 정량적 기준에 의해 평가할 수 있다.

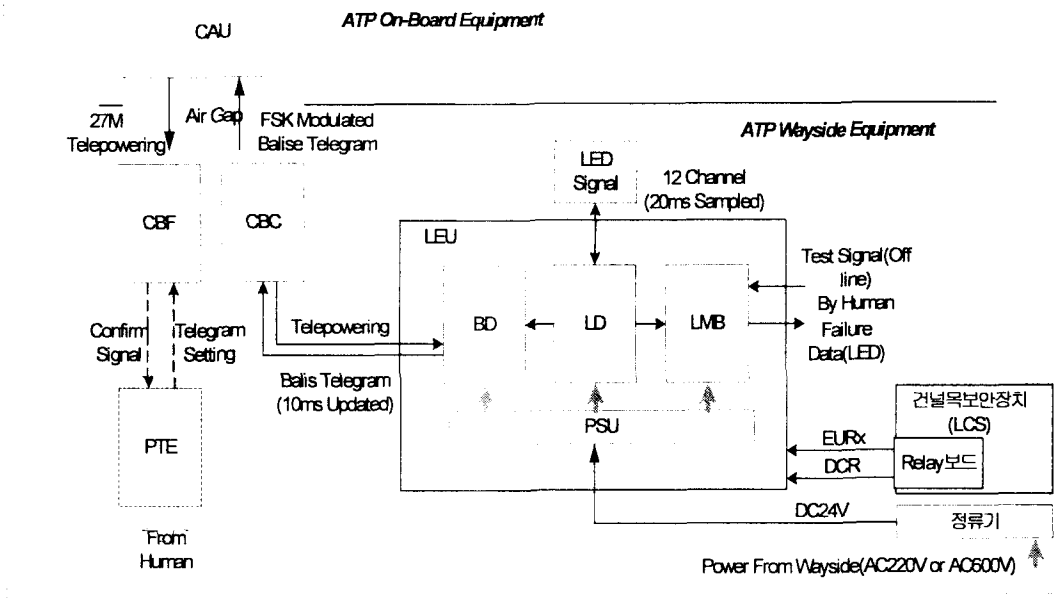


그림 6.2 ATP시스템 지상장치 구성도

LD : Lamp Detector / BD : Balise Driver / CAU : Compact Antenna Unit
CBF : Compact Balise Fixed / CBC : Compact Balise Controller
PSU : Power Supply Unit / LCS : Level Crossing
LMB : LEU Monitoring Board / LEU : Line-side Electronic Unit
PTE : Programming Test Equipment

HAZOP Study를 통해 도출된 위험원은 PHA에서 도출된 위험원의 하부 위험원으로써, 위험원을 발생시키는 원인(Casual Effect)에 가까운 형태로 주어진다.

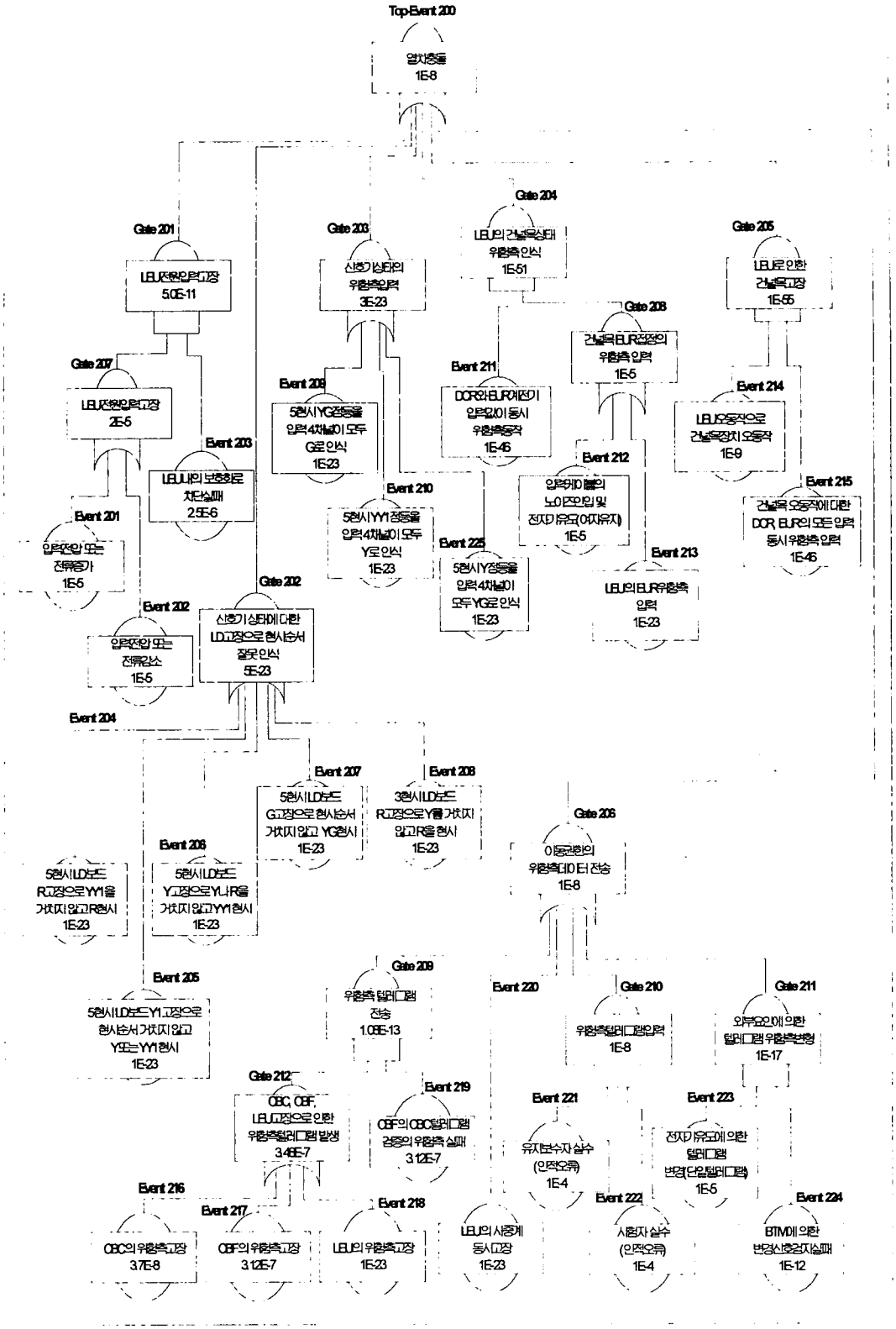


그림 6.3 위험원분석을 위한 FTA 예(ATP시스템 지상장치 IF)

표 6.2 ATP지상인터페이스의 HAZOP Study 예(5현시 신호기와 LEU의 인터페이스)

HAZOP Study 대상: LD입력(5현시구간 G)														
참조도면번호: 근거3				갱신번호: V1.0									소요시간:	
참여구성원: ATP시스템 RAMS컨설팅부서, 시스템 검토그룹(SEG), ATP지상장치 설계제작사 엔지니어													회의일시:	
기능	Guide Word	이상현상	원인	결과(ATP지상장치의 최종상태)	대책 전Risk F	S	R	안전대책	대책 후Risk F	S	R		세부조치내역	조치주체
LD입력 (5현시구간 G)	No	신호기의 상태와 관계없이 단일상태로 고정	LEU의 LD보드고장	상용제동 (장애텔레그램전송)	3	D	3D	다중화 설계	6	D	6D		LEU의 LD보드 구성을 사중계방식으로 구현	BT
	More	입력전류의 과다 (허용전류 이상)	LEU-신호기 케이블에 이상신호 유도	상용제동 (장애텔레그램전송)	3	D	3D	실드케이블사용	4	D	4D		LEU-신호기 실드케이블 사용	TJ
								보호회로 내장					과전류방지회로 (내부전원감시 및 차단회로)	BT
	Less	입력전류의 미흡 (5W미만-3W이상)	LD내부 전원불량	상용제동 (장애텔레그램전송)	3	D	3D	전원감시에 의한 안전측 차단	4	D	4D		LD의 전원상태 감시회로 (신호기 상태입력 불안전 텔레그램을 전송)	BT
			단선등에 의한 케이블저항증가											
	As well as	해당 없음												
	Part of	충분한 시간동안 상태입력이 유지되지 않음(20msec 이하)	신호기 점등고장 (ABS or EIS고장)	운행지연 (G신호전송실패)	-	-	-	없음	-	-	-		프로젝트의 범위를 벗어남	-
			LEU의 LD보드고장	정상동작	-	-	-	안전측설계	-	-	-		20ms단위의 실시간 신호기상태 감시(신호기 최종 입력상태를 유지)	BT
	Reverse	신호기 반대상태 입력(점등) (신호기 G점등을 소등으로 인식)	LEU의 LD보드고장	비상제동 (정지텔레그램전송)	3	A	3A	고장진단논리	6	A	6A		모든 신호기 소등시 정지텔레그램 전송되도록 BD의 논리를 구현	BT
		신호기 반대상태 입력(점등) (신호기YG점등을 Y로 인식)	LEU의 LD보드고장	운행지연 (안전측텔레그램 전송)	-	-	R	다중화 설계	-	-	R		LD와 BD를 사중계로 구성하여 고장률을 SIL4수준으로 확보	BT
		신호기 반대상태 입력(소등) (신호기 G소등을 YG으로 인식)	LEU의 LD보드고장	운행지연 (안전측텔레그램 전송)	-	-	R	다중화 설계	-	-	R		LD와 BD를 사중계로 구성하여 고장률을 SIL4수준으로 확보	BT
		신호기 반대상태 입력(소등) (신호기 G소등을 YY1G로 인식)	LEU의 LD보드고장	상용제동 (장애텔레그램전송)	3	D	3D	고장진단논리	6	D	6D		YY1G가 점등되면 고장으로 인식하는 논리를 BD에 적용 (장애텔레그램 전송)	BT
		신호기 반대상태 입력(소등) (신호기 G소등을 RG로 인식)	LEU의 LD보드고장	상용제동 (장애텔레그램전송)	3	D	3D	다중화 설계	6	D	6D		RG가 점등되면 고장으로 인식하는 논리를 BD에 적용 (장애텔레그램 전송)	BT
	Other than	신호현시순서와 상이한 입력	신호기 점등고장 (ABS or EIS고장)	열차충돌 (G신호전송실패)	-	-	-	없음	-	-	-		프로젝트의 범위를 벗어남	-
			LEU의 LD보드고장	열차충돌 (G신호전송실패)	3	D	3D	고장진단논리	6	D	6D		현시순서를 지키지 않고 YG를 현시(LEU의 신호기 상태입력에서 오류가 발생하여 현시순서가 잘못 입력될 확률은 LD보드 사중화로 인해 SIL4수준으로 확보 따라서, 입력20msec단위로 샘플링하여 최종 신호기상태에 해당하는 텔레그램 전송)	BT
	Early	해당 없음												
	Late	해당 없음												
	Before	해당 없음												
	After	해당 없음												

[기타사항]
1.
[변경이력]
1. 2006.03.28 : Guide Word를 포함한 Worksheet 1차 완성(설계엔지니어 및 SEG에 검토의뢰)
2. 2006.04.14 : 11차, 12차 HAZOP 미팅결과 반영(신호기 현시순서에 따른 텔레그램, 신호기 상태입력 오류에 따른 텔레그램, 점등과 소등의 판단정격)

LD Lamp Detector / BD Balise Driver / LEU Line-side Electronic Unit / SIL Safety Integrity Level / ABS Automatic Block System / EIS Electronic Interlocking System

따라서 각각의 하부 위험원 결과의 발생빈도는 그림 6.3과 같이 결함트리 분

석기법을 사용(FTA분석의 이벤트 발생확률 입증자료의 예는 표 6.3과 같다.)하며, 각각의 위험원에 대한 심각도를 표 6.4와 같이 가정한 후 위험도를 평가하여 정량적 위험도의 평가결과와 요구사항을 비교한다.

표 6.3 FTA이벤트의 산출근거 예

이벤트번호	산출근거	적용빈도[h]
Event 203	LEU의 기능고장 2.5E-6 Reference : 구성요소 기능의 HIA보고서 (CP04011-ETC-0169)	2.5E-6
Event 204	LEU의 위험측고장(LEU기능고장률 2.5E-6의 4배) Reference : 구성요소 기능의 HIA보고서 (CP04011-ETC-0169)	1E-23

표 6.4 ATP시스템의 심각도 분류에 따른 해당사고의 가정

심각도	등급	설 명	해당사고
치명적인 위험 (Catastrophic)	A	인명의 사상, 시스템의 손실 또는 심각한 환경상의 피해를 유발하는 위험	열차충돌
중대한 위험 (Critical)	B	심각한 인명의 상해, 직업상의 질병 및 중요한 시스템 또는 환경상의 피해를 초래하는 위험	인명사상
중요하지 않은 위험 (Marginal)	C	최소한의 상해, 직업상의 질병 및 최소한 시스템 또는 환경상의 피해를 초래하는 위험	비상제동
사소한 위험 (Insignificant)	D	최소한의 상해, 직업상의 질병보다는 작고, 최소한의 시스템 및 환경상의 피해보다 작은 영향을 초래하는 위험	상용제동
신뢰성관련 (Reliability Related)	R	인명이나 환경상에 피해를 발생하지 않으나 경제적 손실을 동반하는 위험	운행지연

HAZOP Study를 통해 도출된 위험원은 안전대책이 적용된 최종시스템의 위험도 평가를 위해 그림 6.3의 FTA분석에서와 같이 PHA에서 도출된 위험원을 최상위 위험원으로 선정하여 인적오류가 포함된 최종위험원의 발생빈도를 평가한다.

표 6.5 발생빈도 정량화를 위한 가정

이상요인	산출근거	적용빈도[h]
전원 및 신호이상	ATP시스템에 공급되는 전원이나 신호의 이상확률로써, 프로젝트의 범위를 벗어나는 사항에 대하여 일괄 적용한다.	1E-5
인적오류	사용자의 인적오류에 대한 발생빈도를 일괄 적용한다.	1E-4

3. KORAIL ATP시스템 지상장치의 안전성 입증

도출된 위험원의 위험도 평가결과는 안전요구사항의 허용 위험도 만족여부를 확인하기 위한 위험원 목록(Hazard Log)을 표 6.6과 같이 문서화함으로써 안전대책을 반영한 시스템의 위험도가 허용 수준으로 제어될 수 있음을 그림 6.4를 통해 입증할 수 있다.

표 6.6 ATP 지상장치 인터페이스 위험원 목록 사례

위험원 ID	위험원 설명	최종Risk			사고결과 (영향분석)	원 인	관련 장치	관련 구성 요소	안전대책	기타사항 (조치주체)	상태
		F	S	R							
HIF-WS002	유지보수 인력 보호실패	4	B	4B	인명 사상	1.유지보수 작업오류 2.유지보수 관리절차 실패	ATP지상장치	지상장치 유지보수	1.운영기관 관련규정 준수 2.유지보수시 열차방호 및 작업구간 관리에 대한 절차구축	1.KR 2.KR	완료
HIF-WS003	장애텔레그램전송에 의한 열차 상용제동 발생	3	D	3D	상용 제동	1.신원계통 이상 2.3현시에 대한 LD 보드 고장 3.5현시에 대한 LD 보드 고장	ATP지상장치	LEU의 신호기 상태 입력(LD보드)	1.LEU내부의 LD전원감시 기능 포함 2.신호기 비가용상태 안전측 현시시에 장애텔레그램 전송 3.신호기 상태를 실시간 검지하여 고장시 장애텔레그램 송신	1.BT 2.BT 3.BT	완료

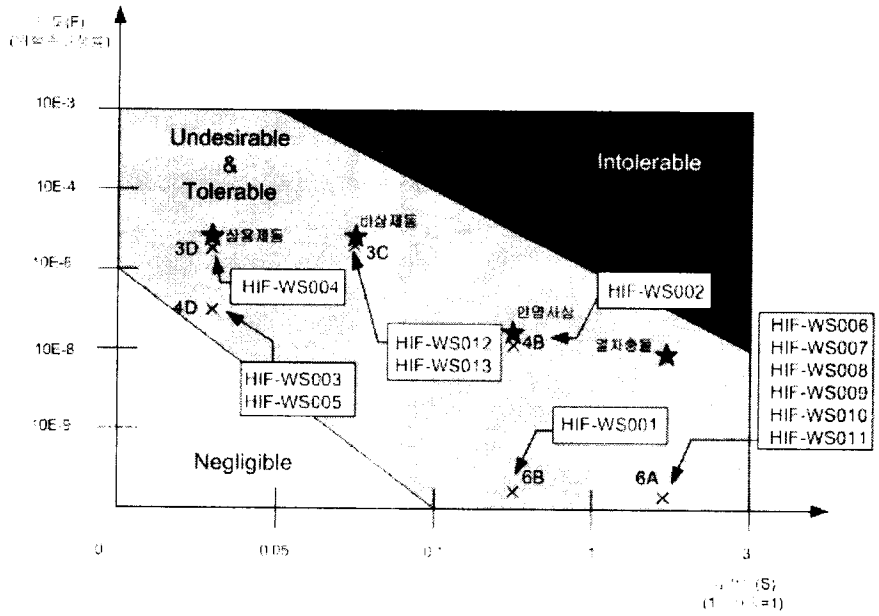


그림 6.4 ATP 차상신호시스템 지상인터페이스 안전성 입증

제 2 절 ALARP이론을 적용한 안전입증 요구사항 검토

영국철도는 ALARP이론으로 안전성을 입증하기 위해 Yellow Book에서 그림 6.5와 같은 7단계의 안전성활동 절차를 제시하고 있다.

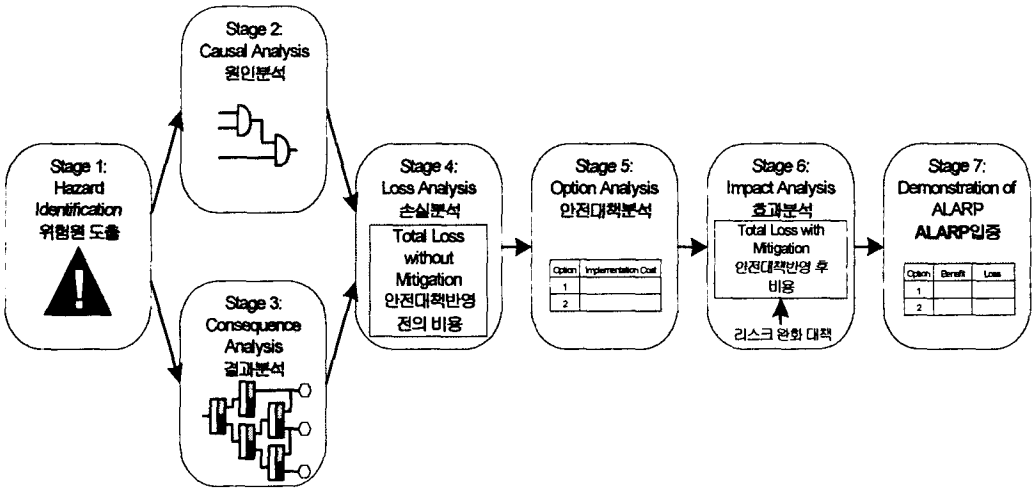


그림 6.5 ALARP이론을 적용한 영국철도 안전활동 7단계

7단계 안전성활동 중 1단계와 2단계인 위험원도출 및 분석은 본 장의 2.국내 열차제어분야 위험도평가방식 안전활동의 HIA(Hazard Identification and Analysis)와 동일하게 수행되지만, 3단계의 결과분석과 4단계의 손실분석은 위험도 평가방식의 빈도분석과 약간의 차이점을 가지고 있다. 국내 위험도 평가방식에서는 위험도의 정량화를 위해 위험원의 발생빈도계산을 안전대책이 모두 반영된 시스템의 최종상태와 인적오류의 발생빈도에 대한 가정을 통해 시스템의 최종상태에 대한 위험도를 평가하는 반면, Yellow Book에서는 안전대책과 인적오류를 빈도분석과 별도로 이벤트트리(ETA, Event Tree Analysis)형태의 결과분석으로 분류하여 수행한다. 이러한 방식은 기존 철도사고의 손실비용을 기반으로 위험원으로 인한 사고의 손실분석을 수행한다.

1. Yellow Book활동체계에 따른 위험원 원인과 결과분석

ATP시스템 지상장치 인터페이스에 대한 안전성활동을 Yellow Book에서 제시하는 7단계 활동으로 수행하면 그림 6.3의 결함트리분석결과는 안전활동의 3단계와 4단계에서 그림 6.6과 같이 변경된다.

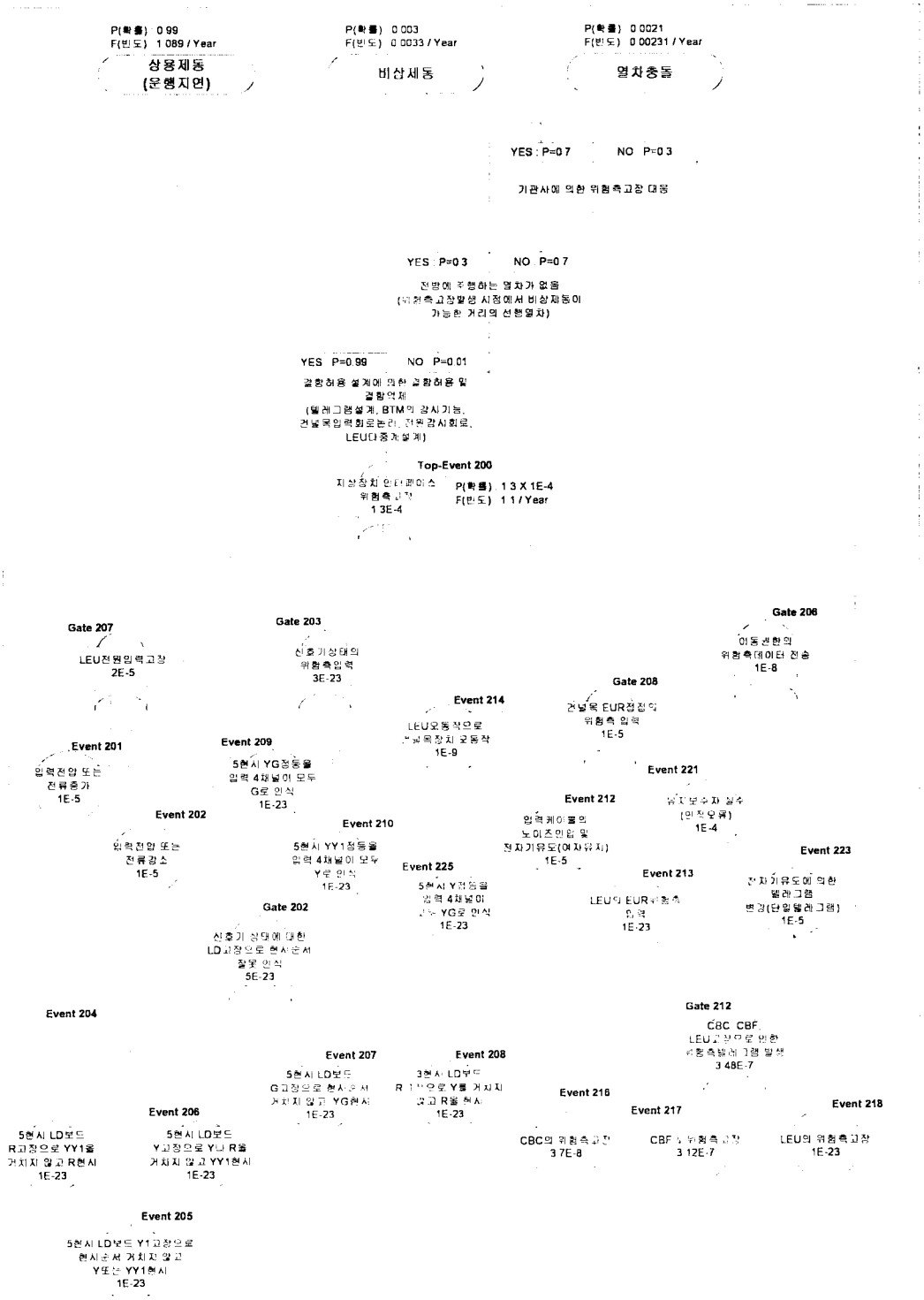


그림 6.6 위험원의 원인과 결과분석 예(ATP 지상장치 IF)

ALARP이론은 안전대책의 적용 전과 적용 후의 손실비용을 별도로 산출해야 한다. 그림 6.6은 FTA와 ETA를 통한 위험원의 원인 및 결과분석을 안전대책의 적용 전 시스템을 대상으로 계산한 결과이다.

2. ALARP이론 적용을 위한 손실분석 및 가정

ALARP이론을 만족하기 위한 손실분석을 위해서는 발생된 사고의 사회적 손실비용을 계산해야 한다. 현재 국내에는 위험원의 결과분석으로 도출된 운행지연(상용제동), 비상제동, 열차충돌에 대한 운영환경별 사회적 비용이 제시되어 있지 않으므로, 영국의 손실비용을 가정으로 활용한다. 영국 철도에서는 그림 6.6과 같이 치명적 사상(Fatalities), 심각한 사상(Major Injurers), 경미한 사상(Minor injuries)에 대하여 각각의 비율을 식(6.1)과 같이 정의하고 있다.

$$1 \text{ Fatality} = 10 \text{ Major Injury} = 200 \text{ Minor Injury} \qquad \text{(식 6.1)}$$

따라서, 그림 6.6의 위험원 결과분석에 따른 상용제동, 비상제동, 열차충돌에 대하여 각각의 인명손실의 크기와 경제적 손실비용을 표 6.7과 같이 가정해야 한다.

표 6.7 사고결과의 인명손실과 경제적손실의 가정 예

사고결과	인명손실	경제적 손실
열차충돌	30 치명적 사상 50 심각한 사상 200 경미한 사상 합계 36 치명적 사상	720억원
비상제동	2 심각한 사상 6 경미한 사상 합계 0.23 치명적 사상	4.6억원
상용제동 (운행지연)	2 경미한 사상 합계 0.01 치명적 사상	0.2억원

*치명적사상 1건의 경제적 손실은 20억원(1백만 파운드)으로 가정

각각의 사고결과는 가정에 의해 산출된 손실을 정량적인 경제적 가치로 환산하기 위해 그림 6.6에서 도출된 발생확률을 곱하여 연간손실비용을 표 6.8과 같이 산출한다.

표 6.8 ATP지상장치 인터페이스관련 사고의 손실분석

사고결과	손실분석	연간손실비용
열차충돌	720억원 × 0.00231	1.663억원
비상제동	4.6억원 × 0.0033	0.015억원
상용제동 (운행지연)	0.2억원 × 1.089	0.217억원
	합 계	1.895억원

*그림 6.6의 발생빈도(F)는 ETA분석결과에 위험원 발생확률인 시간당고장률을 지상장치가 24시간 동작하므로, 년간 발생빈도로 변환하기 위해 8760배하여 산출.

3. ALARP이론을 적용한 안전확보 입증

위험원으로 인한 사고의 손실분석까지 완료되면 그림 6.5의 5단계인 안전대책의 비용분석을 수행한다. 안전대책에 소요되는 비용은 설계비용 및 시스템변경비용 그리고 변경된 설계가 반영된 시스템의 유지보수비용을 모두 연간소요비용으로 산출하며, 이를 표 6.8의 안전대책반영 전 연간손실비용과 비교하면 표 6.9와 같다.

표 6.9 ALARP이론을 적용한 안전입증 예(ATP지상장치 인터페이스)

	연간손실 (억원/년)	대책으로 인한 연간이득(억)	대책을 위한 연간비용(억원)	대책의 필요성
현재설계	1.895	-	-	-
대책 A	0.11[1]	1.785[2]	1.00[3]	Yes
대책 B	1.55[1]	0.345	1.00	No

1)은 안전대책을 적용한 후 손실분석에 의한 결과, 2)변경 전 손실비용에서 변경 후 손실비용을 제한 값, 3)변경에 소요되는 비용을 연간비용으로 환산한 값.

표 6.9의 안전대책 A를 적용한 후 년간 사고의 손실비용 0.11억원과, 안전대책이 적용된 시스템의 안전대책을 위한 연간 추가 유지보수비용 1억은 모두 본 논문의 가정으로써, 실제 안전대책이 수립된 이후에 소요비용이 정량적으로 산출되어야 한다.

따라서 표 6.9의 비교결과 대책A는 안전대책 적용 전후 사고손실비용의 차가 안전대책을 위한 투자비용보다 크므로 대책A는 반영되어야 하며, 대책B는 안전대책 적용 전후 사고손실비용의 차가 안전대책을 위한 투자비용보다 작으므

로 반영하지 않는다. ALARP이론은 표 6.9와 같이 예측할 수 있는 안전대책에 대하여 모두 손익을 계산하여 위험원목록과 함께 안전승인기관의 승인을 받아야 하며, 이때 모든 안전대책이 고려되었는가의 보장은 종합안전대책기술서의 절차를 토대로 승인기관이 활동의 건전성을 정성적으로 평가하여 시스템의 안전성확보를 승인한다.

4. ALARP의 적용방안 검토

안전성확보를 입증하기 위한 절대적인 방법은 현재까지 존재하지 않는다. 다만, 안전입증을 승인해야 하는 최종사용자는 안전성활동절차의 합리성과 객관성의 향상을 지향한다는 공통의 목표를 갖는다.

ALARP이론은 영국철도에서 반영되어 많은 수행실적과 검증을 거친 방법으로, 경제적 이득이라는 정량적 가치기준을 사용함으로써, 안전성활동의 합리성에는 긍정적인 효과를 주는 것이 자명하다. 하지만 현재 국내철도의 열차제어시스템 안전성분야에 ALARP을 적용하기 위해서는 프로젝트 전주기에 걸쳐서 비용을 예측하고 평가하는 비용기반수명주기관리(LCC, Life Cycle Cost)기법 등이 먼저 전제되어야 한다.

표 6.10 위험도평가방식과 ALARP이론의 가정요인에 대한 분석

	위험도평가방식	ALARP이론
가정요인	1. 허용할 수 있는 위험도수준 2. 인명사상의 심각도에 대한 클래스 화 3. 인적오류에 대한 발생빈도 4. 자연재해의 발생빈도	1. 사고별 손실비용 2. 인적오류 3. 인명사상의 심각도에 대한 클래스 화
가정의 정당화	최종사용자 또는 독립안전인증기관의 승인취득	과거 사고데이터의 연구로써 손실비용 및 발생빈도의 정량화와 지속적인 관리

또한, 표 6.10과 같이 위험도평가방식과 ALARP이론을 적용하기 위한 각각의 가정요인 항목비교에서와 같이 사고에 대한 사회적 손실비용, 인적오류에 대한 정량화기법 그리고 사고의 빈도와 심각도에 대한 기준의 확립이 무엇보다 중요하다. 이러한 가정요인의 최소화는 안전성활동의 객관성과 비례할 것이다.

제 3 절 열차제어시스템 안전성인증에 대한 국외현황 검토결과

본 장에서는 현재 국내철도 열차제어시스템분야에서 시스템 안전성입증을 위해 사용되는 위험도평가방법과 영국철도에서 적용하고 있는 ALARP이론을 ATP시스템 지상장치 인터페이스를 대상으로 각각 적용하였다. 동일한 대상에 대한 각각의 적용을 통해 위험도평가방식과 ALARP이론을 적용하기 위한 가정요인들을 도출하였으며, 사용된 가정의 최소화 및 정량화가 안전확보의 객관성과 비례함을 입증하였다. 다행히 도출된 가정요인들을 객관화하기 위해 국내 철도안전분야에서는 2004년 건설교통부 주관으로 철도종합안전기술개발사업을 수행 중에 있으므로, 본 장에서 가정으로 사용된 여러 요인이 정량화 및 객관화될 것으로 판단되며, 특히 사고의 손실비용통계 및 위험도완화의 정량적 기준은 정보의 정확성과 객관성을 위해 영국의 경우와 같이 국가의 주도로 지속적으로 연구 및 관리되어야 한다.

여백

제 7 장 참고문헌

[1] 한국철도기술연구원(2002), 고속철도기술개발사업, 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발, 1차년도 최종보고서

[2] 한국철도기술연구원(2003), 고속철도기술개발사업, 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발, 2차년도 최종보고서

[3] 한국철도기술연구원(2004), 고속철도기술개발사업, 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발, 3차년도 최종보고서

[4] 한국철도기술연구원(2005), 고속철도기술개발사업, 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발, 4차년도 최종보고서

[5] IEC62278(2002), "Railway applications-Specification and demonstration of RAMS", pp.59-65

[6] 한국철도기술연구원(2001), "철도신호제품에 대한 신뢰성과 안전성 검증기준 제정 연구"보고서.

[7] Railtrack(2000), "Engineering safety Management Issue 3, Yellow Book 3", Chapter 8.

[8] 한국철도기술연구원(2005), "차상신호(ATP)시스템 구축사업의 RAMS활동계획서"

[9] MIL-STD-882C(1993), "System Safety Program Requirements"

[10] 한국철도기술연구원(2006), "차상신호(ATP)시스템 구축사업의 위험원도출 및 분석보고서(지상장치 인터페이스)"

[11] IEC61882(2001), "Hazard and operability studies(HAZOP Studies) - Application guide"

[12] Lloyd's Register Rail Limited/Atkins Rail Limited, "Engineering Safety Management Engineers' Overview, Module 3: Change Fundamentals", pp.11

[13] Lloyd's Register Rail Limited/Atkins Rail Limited, "Engineering Safety Management Engineers' Overview, Module 3: Change Fundamentals", pp.88

[14] 한국철도기술연구원(2005), "철도사고 위험요인(PHA) 분석기술 개발 연구보고서"

[15] MIL-HDBK-472N1, " Maintainability Prediction"

[16] MIL-STD-471A, " Maintainability Verification/Demonstration/Evaluation"

[17] MIL-HDBK-470A, " Designing and Developing Maintainable Products And Systems"

[18] MIL-STD-721," Definitions of Terms for Reliability and Maintainability"

[19] MIL-STD-756, "Reliability Modeling and Prediction"

[20] MIL-STD-1629," Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis"

[21] MIL-STD-280, "Definitions of Item Levels, Item Exchangeability, Models and Related Terms

[22] MIL-STD-1369, "Integrated Logistic Support Program Requirements"

[23] MIL-STD-1388-1, "Logistics Support Analysis"

[24] MIL-STD-1472,"Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities"

[25] MIL-STD-2155," Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System"

[26] RADC-TR-78-169 Maintainability Prediction and Analysis Study

[27] RADC-TR-70-89 Maintainability Prediction and Demonstration Techniques (Final Report)

[28] RADC-TR-69-356 Maintainability Prediction and Demonstration Techniques (2 Volumes)

[29] IEC 362 Guide for the Collection of Reliability, Availability, and Maintainability Data from Field Performance of Electronic Items

[20] IEC 706 - 1 Guide on Maintainability of Equipment - Part 1: Sections One, Two and Three: Introduction, Requirements and Maintainability Programme

[31] IEC 706 - 2 Guide on Maintainability of Equipment - Part 2: Section Five: Maintainability Studies During the Design Phase

[32] IEC 706 - 3 Guide on Maintainability of Equipment - Part 3: Sections Six and Seven: Verification and Collection, Analysis and Presentation of Data

[33] IEC 706 - 4 Guide on Maintainability of Equipment - Part 4: Section 8: Maintenance and Maintenance Support Planning

[34] IEC 706 - 5 Guide on Maintainability of Equipment - Part 5: Section 4: Diagnostic Testing

[35] IEC 706 - 6 Guide on Maintainability of Equipment - Part 6: Section 9: Statistical Methods in Maintainability Evaluation

[36] IEC 863 Presentation Of Reliability, Maintainability and Availability Predictions

[37] DOD 5000.40 Reliability and Maintainability

[38] RADC-TR-78-169 Maintainability Prediction and Analysis Study

[39] RADC-TR-70-89 Maintainability Prediction and Demonstration Techniques (Final Report)

[40] RADC-TR-69-356 Maintainability Prediction and Demonstration Techniques (2 Volumes)

[41] NAVAIR 01-1A-33 Maintainability Engineering Handbook

[42] NAVAIR 01-1A-31 Reliability and Maintainability Management Handbook

[43] Bryan Dodson, Dennis Nolan "Reliability Engineering Handbook"

[44] 오석문외, 한국철도학회논문집," RCM을 이용한 한국 고속철도 차량의 유지보수체계 구축" 2001년

[45] 임병옥외, 한국철도학회논문집, " 고속철도차량(KTX) RCM적용에 관한 연구", 2005년

부록1. 고속선 열차제어시스템 유지보수체계 분석
(위탁연구기관 보고서)

목 차

제 1 장 유지보수시스템 ····· 1

제 1 절 유지보수정의 및 종류 ····· 1

1. 유지보수정의 ····· 1

2. 보전예방보수 ····· 1

3. 예방유지보수 ····· 2

4. 검사 ····· 2

제 2 절 고장메커니즘 ····· 3

제 3 절 예방정비 검수 일정 최적화 기술 ····· 5

1. 예방유지보수 ····· 5

2. 예방교환시간 결정 ····· 6

3. 최적 수명 교환법 ····· 7

제 2 장 유지보수시스템 체계 국내적용 ····· 8

제 1 절 유지보수체계 ····· 8

1. 유지보수 현황 및 전력 ····· 8

2. 고장 분류 ····· 8

3. 점검주기 ····· 9

제 2 절 시스템분석 ····· 18

1. 연동장치의 시스템구성 ····· 18

2. 자동열차제어장치 구성 ····· 27

제 3 절 시험평가 ····· 32

1. 연동장치 시험절차 ····· 32

2. 자동열차제어장치 시험 ····· 39

3. 시스템 모델링 ····· 41

4. 시스템 분석 ····· 42

표 목 차

<표 1.1> 부품에 대한 열화메커니즘(1) ····· 3
<표 1.2> 부품에 대한 열화메커니즘(2) ····· 4
<표 2.1> 연동장치 기능시험과 판단요소 ····· 32
<표 2.2> 연동장치의 표시기능과 판단요소 ····· 33
<표 2.3> 연동장치의 통신기능과 판단요소 ····· 33
<표 2.4> 연동장치의 현장 제어 기능과 판단요소 ····· 34
<표 2.5> 연동장치의 유지보수 기능과 판단요소 ····· 35
<표 2.6> 연동장치 기능과 시스템연결도 ····· 36
<표 2.7> 연동장치의 표시기능과 시스템 연결도 ····· 37
<표 2.8> 연동장치의 통신기능과 시스템 연결도 ····· 37
<표 2.9> 연동장치의 현장 제어 기능과 시스템 연결도 ····· 37
<표 2.10> 연동장치의 유지보수 기능과 시스템 연결도 ····· 38
<표 2.11> ATC Service 검지여부 ····· 39
<표 2.12> ATC Service 검지여부 ····· 40

그 림 목 차

[그림 1.1] MTTF =100 (λ= 0.01)인 부품을 매 50시간 마다 교환할 때에 대한 신뢰도 대 시간 곡선 ····· 5
[그림 1.2] 예방정비교환과 보전교환에 대한 비용곡선 ····· 6
[그림 2.1] 연동장치 하드웨어구성 ····· 19
[그림 2.2] 연동장치 소프트웨어구성 ····· 20
[그림 2.3] 연동장치 시스템 구조 ····· 20
[그림 2.4] 연동장치 서브시스템 ····· 21
[그림 2.5] 신호기제어 프로세스 ····· 22
[그림 2.6] 입환신호기제어 프로세스 ····· 22
[그림 2.7] 입환표지제어 프로세스 ····· 23
[그림 2.8] 단독레버취급 ····· 23
[그림 2.9] 사용정지기기 설정 ····· 23
[그림 2.10] 선로폐쇄취급 ····· 24
[그림 2.11] 보수용차 취급 ····· 24
[그림 2.12] 현장기기조건설정 ····· 24
[그림 2.13] 연동장치의 타이밍 차트 ····· 25
[그림 2.14] 연동프로세스모듈 ····· 25
[그림 2.15] 연동장치의 유지보수모듈 ····· 26
[그림 2.16] 연동장치의 스케쥴모듈 ····· 26
[그림 2.17] ATC 지상장치 ····· 27
[그림 2.18] ATC 차상장치 ····· 28
[그림 2.19] ATC 지상장치의 소프트웨어 ····· 29
[그림 2.20] ATC 차상장치의 소프트웨어 ····· 29
[그림 2.21] ATC 시스템 연결도 ····· 30
[그림 2.22] 실노선 장애의 무작위 발생에 대한 Markov 체인 ····· 44
[그림 2.23] 사용 불가능(보전정비)한 시스템 수 ····· 48

[그림 2.24] 상호교환 변수 51

제 1 장 유지보수시스템

제 1 절 유지보수정의 및 종류

1. 유지보수정의

수리 가능한 시스템을 적정하게 취급하기 위해서는, 먼저 그 시스템에서 부품이 어떻게 수리(부품이 작동될 수 있도록 유지보수 행동)를 할 수 있는가를 이해를 하여야 한다. 일반적으로 유지보수는 고장이 발생한 유니트를 작동상태나 혹은 운용상태에서 고장이 발생하지 않도록 하는 것이다. 수리 가능한 시스템에서 유지보수는 시스템의 수명에 아주 중요한 역할을 한다. 유지보수는 신뢰성, 가용성, 고장시간, 운용비용 등 시스템 전체에 영향을 미친다. 일반적으로, 유지보수 행위는 보전 유지보수, 예방유지보수 및 검사의 3부분으로 구분된다.

2. 보전예방보수

보전유지보수는 고장난 시스템을 운용 가능한 상태로 회복시키는 것이다. 이것은 통상 시스템의 고장에 대해서 책임이 있는 부품을 교환하거나 수리를 하는 것이다. 보전유지보수는 부품의 고장시간을 미리 알 수 없기 때문에 예측할 수 없는 유지보수 주기를 갖는다. 보전유지보수의 목적은 가능한 빨리 시간 안에 만족스러운 운용 상태로 시스템을 복구하는 것이다. 보전예방보수는 통상 3단계로 이루어진다.

가. 문제의 진단

유지보수자는 고장난 부품을 찾아내거나 시스템 고장원인을 예측해야 한다.

나. 고장부품의 수리 혹은 교환

시스템의 고장원인이 밝혀지면, 유지보수행동은 원인에 역점을 두어, 시스템에 고장의 원인이 된 부품을 교환하거나 수리를 한다.

다. 유지보수 행위의 확인

관련된 부품을 수리 혹은 교환을 한 후에, 유지보수자는 시스템이 정확하게 작동을 하는지 확인을 해야 한다.

3. 예방유지보수

보전유지보수와 달리 예방유지보수는 시스템이 지속적으로 운전이 가능하도록 고장이 발생하기 전에 부품을 교환하는 것이다. 예방유지보수의 계획은 부품의 마모, 지속적 운용에 필요한 핵심부품 등 과거의 데이터에 근거하여 결정을 한다. 비용은 예방유지 계획에서 중요한 요소이다. (참고: 신뢰도도 중요요소이며, 신뢰도와 위험도는 비용으로 나타낼 수 있기 때문에 비용이 일반적인 요소이다.) 많은 경우에 있어서, 운용에서 값 비싼 시스템 사용불능으로 이어질 수 있는 시스템 고장을 기다리는 것보다 미리 정해진 시간에 따라 부품을 교환하는 것이 비용적으로 상당히 민감하다.

4. 검사

검사는 밝혀지지 않은 고장(잠재고장)을 찾아내는데 사용을 한다. 일반적으로, 고장이 발견되지 않는 한 검사 동안에 부품에 대해서 유지보수행위를 하지 않는다. 그런 경우에 보전유지보수가 시작된다. 검사 동안에 검사항목에 대한 부분복구가 시행되는 경우도 있다. 예를 들면, 계획된 주기 사이에 엔진오일을 검사할 때, 오일의 일정레벨을 유지하기 위해서 오일을 첨가할 수 있다.

제 2 절 고장메커니즘

전동차 시스템은 서브시스템으로 구성되어 있으며, 서브시스템은 다양한 부품으로 구성되어 있다. 부품의 구성은 금속, 플라스틱, 고무 등으로 구성되어 있고, 서로 접합하기 위한 접착제, 피막제, 윤활제 등으로 구성되어 있다. 부품은 콘크리트, 건축자재, 전기장치, 램프, 베어링, 기계적 구성물 등으로 구성되어 있다. 각 부품을 구성하고 있는 재료, 접합부분, 보호부분 등으로 되어 있고, 이것들은 시간, 스트레스 등이 부가됨에 따라 열화 된다. 표 1.1, 표 1.2에서는 각각 부품에 따라 열화메커니즘을 나타내었다.

<표 1.1> 부품에 대한 열화메커니즘(1)

종류	설명	성능	스트레스
금속	합성물, 용접, 접합제 결합제, 부속품 등의 금속	피로수명, 파열, 균열의 발생과 퍼짐, 부식	기계적 부하, 온도, 구조 및 마리 상태 등
플라스틱	Polymer, PVC, 우레탄, 폴리에스터 등	피로수명, 마모손상, 기계적 성질, 색상의 고착성	기계적 부하, 온도의 변화, 건조 등
접착제	에폭시	수명, 접착력	기계적 부하, 주기율, 부하의 형태, 습도 및 온도 등
절연체 및 단열제	폴리에틸렌 및 에폭시 수지 등의 고체, 트랜스 오일 등의 액체, 기체 및 이들의 합성물 콘덴서, 전선, 변압기, 모터, 발전기, 전기장치 등에 사용	고장시간	온도, 전압, 온도와 전압의 사이클 및 쇼크, 진동, 기계적 부하, 방사 및 습도 등
고무 및 탄성체	고무를 비롯한 탄성물, 타이어, 산업용 벨트	피로수명, 마모정도	기계적 부하, 온도, 표상구조 및 건조화등
식품 및 약품	맛, pH, 습도의 증감상태, 미생물의 성장, 색상 및 특정화학반응	변질되지 않은 채 보관할 수 있는 저장기간으로 성능측정	온도, 습도, 화학작용, 폐하지수, 산소 및 태양열 방사 등
윤활제	그라파이트, 몰리브덴 이황화물, 테프론, 오일, 그리스 및 기타 윤활제	윤활제의 산화, 증발, 오염의 정도	속도, 온도, 물, 구리 철 및 먼지 등의 오염물질
보호코팅 및 페인트	페인트, 중합체, 산화방지제, 양극 산화알루미늄, 전기도금물의 풍화	색상, 광택, 물리적 보전성 등	온도, 습도, 태양열의 방사 등의 풍화요인과 기계적 부하 등
원자로 구성물	연로봉 등의 원자로 구성물	강도, 전율, 파열점 등	온도, 기계적 부하, 오염물질, 방사선 등

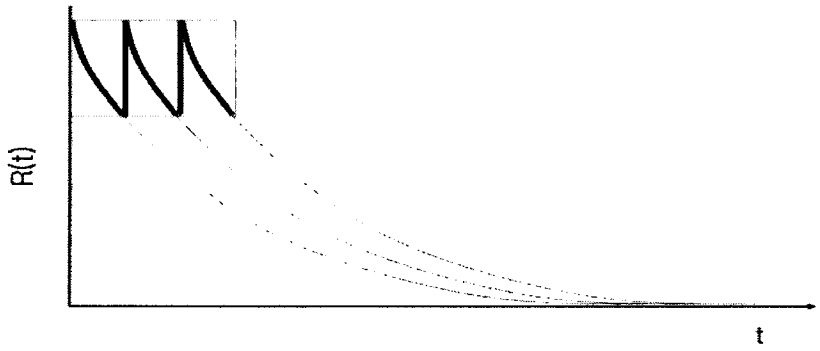
<표 1.2> 부품에 대한 열화메커니즘(2)

종 류	설 명	성 능	스트레스
콘크리트 및 세멘트		시멘트 또는 콘크리트가 시공된 지 28일 후의 강도	온도
건축 자재	목재, 플라스틱합성물, 유리 및 기타 건축자재	마찰에 대한 저항성, 색상의 고착성, 강도 및 그 외의 기계적 성질	기계적 부하, 온도 및 습도 등의 풍화요인
저항기	두꺼운 필름, 금속산화물, 열분해 및 카본필름 저항기	수명	온도, 전류, 전압, power, 진동 습도, 방사선
전기장치	스위치, 회로차단기, 계전기 등	부식, 수명	높은 순환율, 온도, 오염물, 전류 등
전지	전지, 태양전지	수명, 자체방전, 전류, 방전율	온도, 전류밀도, 충전 및 방전의 비율 등
램프	백열등, 형광등, 수은등 플래쉬 등	수명, 효율성, 빛의 발산도 등	전압, 온도, 진동, 기계적, 전기적 충격
베어링	회전베어링, 볼베어링, 미끄럼 베어링	수명, 마모손상 정도	과속, 기계적 부하, 오염물질
기계적 구성품	자동차 및 수압장치, 도구 및 기어 등의 기계적 구성품	수명, 마모손상	기계적 부하, 진동, 온도 및 기타 환경적 요소와 이들 요소의 결합형태

제 3 절 예방정비 검수 일정 최적화 기술

1. 예방유지보수

부품이 불변의 고장률(지수분포)을 가지고 있다면 예방유지보수는 부품의 고장발생에 영향이 없다는 것을 분명히 해둘 필요가 있다. 이것을 증명하기 위해서, 어떤 부품이 MTTF =100 시간 즉 고장률은 $\lambda = 0.01$ 이고 50시간마다 예방유지보수를 한다. 신뢰성과 시간에 대한 도표가 그림 1.1에 나타내었다. 이 부품은 매 50시간마다 교환되며, 따라서 이 부품의 신뢰도는 "1" 즉100%로 된다. 겉으로는, 예방유지보수활동이 상당히 높은 신뢰도로 그 부품을 유지해 주는 것처럼 보인다.



[그림 1.1] MTTF =100 ($\lambda = 0.01$)인 부품을 매 50시간 마다 교환할 때에 대한 신뢰도 대 시간 곡선

단독부품에 대해서 다음에 오는 경우를 고려해 볼 수 있다.

■ 1번째 경우 : 0에서 60시간 까지 부품의 신뢰도

예방 유지보수는 부품을 50시간에서 교환하고, 10시간이 지난 후 즉 총 60시간 신뢰도는 50시간 경과 후 신뢰도 $R(t=50) = 60.65\%$와 10시간 지난 후의 신뢰도 $R(t=10) = 90.48\%$ 과의 곱으로 나타내어진다.

$R(t=60) = R(t=50) \times R(t=10)$ 이다. 따라서 50시간에서 예방유지보수를 하고, 10시간이 경과한 부품의 신뢰도는 $R(t=60) = 90.48\%$이다.

■ 2번째 경우 : 50시간에서 60시간의 부품의 신뢰성

예방 유지보수에서는 부품을 50시간에서 교환을 하였으며, 그리고, 10시간 임무동안은 단지 교환된 부품의 신뢰도($R(t=10) = 90.48\%$)에 관계한다. 유지보수

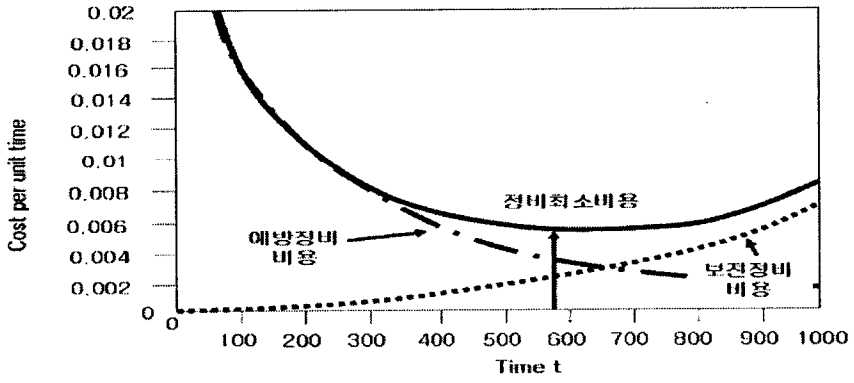
가 없는 경우에, 부품이 60시간까지 동작될 신뢰도는 50시간까지 동작된 부품이 60시간까지 동작되는 조건 신뢰도이다.

즉 $R_c(T=60|50) = R(60)/R(50) = 90.84\%$ 이다.

위의 결과에서 보듯이, 예방유지보수를 실행하던, 하지 않던 결과는 같다.

2. 예방교환시간 결정

앞에서 언급한 바와 같이, 어떤 부품이 시간에 따라 고장률이 증가한다면, 그 때에는 체계적인 예방유지보수 계획이 시스템의 가용성을 향상시킬 수 있다. 그렇지 않으면, 예방유지보수 비용이 기대이익을 초과할 수 있다. 예방유지보수 계획의 목적은 전체적인 비용을 절감하거나 신뢰도 목표를 맞추는데 있다. 예방유지보수 목적을 달성하기 위해, 계획된 유지보수를 위해서 적정한 주기를 결정해야 한다. 적정한 교환모델을 만드는 것이 하나의 방법이다. 이 모델은 앞에서 언급한 조건과 일치한다. 부품의 마모 특성이 있는 경우는 부품의 고장률이 시간에 따라서 증가한다. 계획 없이 실행되는 비용에 비해서 계획된 부품 교환 비용은 상당히 낮다.



[그림 1.2] 예방정비교환과 보전교환에 대한 비용곡선

그림 1.2에서 단위시간 당 비용과 시간에 대한 비용을 나타내고 있다. 이 그림에서, 보전교환비용은 교환주기가 증가하면서 상승하는 것을 알 수 있다. 다시 말하면, 예방유지보수를 적게 하면 할수록, 보전유지보수 비용은 증가한다. 명백하게, 오랫동안 부품을 운용하면 할수록, 고장이 발생할 수 있는 쪽으로 고장률은 증가하고, 보전유지보수가 증가한다. 반대로 예방유지보수 비용도 같다.

예방유지보수를 늦추면 늦출수록, 예방유지보수 비용은 감소한다. 반면에, 예방유지보수를 자주실행을 하면은, 보다 많은 비용이 필요하다. 2개의 비용을 고려하면, 비용을 최소화하는 최적점을 찾을 수 있다. 다시 말하면, 예방유지보수를 기간을 최대화하고, 고장률을 최소화하는 균형점을 찾을 수 있다.

3. 최적 수명 교환법

예방유지보수에 대한 최적시간을 결정하기 위해서, 비용과 위험도를 나타내는 수학적 모델 필요하다. 수학적 모델을 개발에서, 부품이 시간 t전에서 고장이 발생하면은 보전유지보수가 수행될 것이고, 시간 t에서 고장이 발생하지 않으면 예방유지보수를 실행할 것이다. 다시 말하면, 어느 것이든 첫 번째 발생하는 것으로 부품은 고장이 발생하면 교체를 하고, 시간 t까지 고장이 발생하지 않으면 교환을 하게 된다. 최적 교체시간은 단위시간당비용 $C_{PUT}(t)$을 최소화에서 얻을 수 있다. $C_{PUT}(t)$는 다음과 같다.

$$C_{PUT}(t) = \frac{Total\,\mathrm{Expected}\,Replacement\,Cost\,per\,Cycle}{\mathrm{Expected}\,Cycle\,Length}$$

$$= \frac{C_P \bullet R(t) + C_U \bullet [1 - R(t)]}{\int_0^t R(S)\,ds}$$

- R(t) = 시간 t에서 신뢰도
- CP = 계획된 교체비용
- CU = 계획되지 않은 교체비용

최적 교체주기 t는 $C_{PUT}(t)$를 최적화 하는 시간이다. 이것은 t에 대한 다음과 같은 식을 풀면 얻을 수 있다.

$$\frac{d[C_{PUT}(t)]}{dt} = 0 \ \text{OR} \ \frac{d}{dt}\left[\frac{C_P \bullet R(t) + C_U[1 - R(t)]}{\int_0^t R(S)\,dS}\right] = 0$$

위의 식을 사용하기 위해서는 시스템에 대한 신뢰도를 구하여야 하며, 열차에 대한 고장모드를 예측해야 되고, 시스템 유지보수 행위에 대한 비용을 산출하여야 한다.

제 2 장 유지보수시스템 체계 국내적용

제 1 절 유지보수체계

1. 유지보수 현황 및 전력

일반적으로 열차제어 시스템 유지보수시스템의 중요요소는 일상 검사절차, 운행 중 수리/예방 유지보수, 계획분해점검 및 예방유지보수이다. 예방 유지보수 정비는 할당된 장비에 대해서 최적의 성능, 효율, 안전 및 신뢰성을 확보하기 위하여 사전에 설정된 주기에 따라 수행된다. 대부분의 열차제어 시스템의 경우는 운용키로 수 보다는 주기를 정하여 예방정비 검사를 시행하고 있다.

예방정비에는 점검, 검사 및 보수로 분류할 수 있다. "점검"이라 함은 시스템의 운전상태 및 이상 유무를 확인하는 것이며, "검사"라 함은 검사기준에 의하여 시스템의 상태 및 동작 등을 조사, 판단하는 것이다. "보수"라 함은 신호시스템의 불량부분 및 장애발생의 우려가 있는 부분을 조정, 수리 또는 교환하는 것을 말한다.

2. 고장 분류

가. 연동장치

서브시스템		고장분류
논리부	착오해정	연동장치의 쇄정조건이 해정 되어서는 아니 될 때 해정 된 경우
	해정불능	연동장치의 해정조건이 동작하여야 할 때 동작하지 않았을 경우
신호기	착오신호 현시	진로개통표시기(입환신호기 포함)가 정지신호를 현시 하여야 할 때 진행신호를 현시한 경우
	착오표시	진로표시기(문자형 포함)가 표시하여서는 안 될 때 표시하는 경우 또는 정당하지 아니한 진로표시를 하였을 경우
	정지신호 현시	진로개통표시기, 입환신호기가 진행신호를 현시하여야 할 때 정지신호를 현시 하였을 경우
	현시불량	진로개통표시기, 입환 신호기가 두 가지의 신호를 현시하였을 때 또는 두 가지의 신호를 교대로 현시 하였을 경우
	현시불능	진로개통표시기, 입환 신호기, Dwell Light가 소등 등의 원인으로 해당신호를 현시하지 아니하였을 경우
	표시불량	입환신호기, 진로개통표시기의 진로표시기가 불명확한 표시를 하였을 경우.
		선로가 개통되어 있을 때의 표시를 하여야 할 때 선로가 개통되지 않음을 표시하였을 경우
선로 전환기	전환불능	선로전환기가 전환되어야 할 때 전환되지 않는 경우
	착오전환	선로전환기가 전환되어서는 아니 될 때 전환된 경우

나. 신호기 현시

서브시스템	고장분류
착오신호	ATC신호가 정지신호이어야 할 때 진행을 지시하는 신호에 상당하는 주파수(속도코드)를 송신할 때
부정신호	ATC신호가 해당 주파수(속도코드)보다 높은 주파수(속도코드)를 송신할 때
무정보	궤도장치가 송신 불능이거나 무정보가 되었을 때
제한신호	ATC신호가 해당 속도코드보다 낮은 속도코드를 송신할
제한정보	TWC 통신시 열차운전상 일부 기능을 저하시키는 정보를 송수신할 때 또는 PSM의 응동이 불량할 때
무신호	ATC신호의 송신 불능일 때 또는 차상에서 수신할 수 없는 주파수(속도코드)를 송신할 때

3. 점검주기

설비	점검 항목	철도공사의 유지보수주기					SNCF 유지보수 주기
		일	주	월	6개월	12개월	
연동장치(IXL)	1. 발광 다이오드의 기능 상태		○				
	2. FEPOL의 전원장치 상태		○				SNCF 유사 설비의 경우에는 1 년
	3. FEPOL의 환풍기 상태		○				SNCF 유사 설비의 경우에는 6 개월
	4. ISSI TT와 CAMZ의 키보드, 화면, 마우스, 및 프린터 상태		○				SNCF 유사 설비의 경우에는 1 년
	5. 경보 검지기 및 LCP의 경보 수신 장치 상태			○			
	6. FEPOL 경보등의 경보 발생 장치 시험				○		
	7. EDLM, ODLM, LDT의 기능 시험			○			1 년
	8. SSI 회로의 차단기 기능 시험				○		
	9. FEPOL의 모듈, 콘넥터 및 연결관 접속 상태				○		1 년
	10. SSI의 콘넥터 및 연결관 접속 상태					○	1 년
분기기	1. 절연 이음매, 볼트 및 너트의 조임 상태			○			6 개월
	2. 도관(연결관) 및 윤활 상태			○			6 개월
	3. 전기선로전환기 전환 레버의 기능 상태				○		6 개월
	4. 전환력 및 토오크측정					○	6 개월
	5. 설비의 느슨한 연결 상태					○	6 개월
	*Paulve와 Vcc의 밀착세정장치						6 개월

설비	점검 항목	철도공사의 유지보수주기					SNCF 유지보수 주기
		일	주	월	6개월	12개월	
궤도회로	1. 절연 이음매, 볼트 및 너트의 조임 상태				○		1 년
	2. 궤도회로 전압측정				○		1 년
	3. 절연, 케이블, 접촉 상태				○		1 년
	4. 궤도회로 주파수측정					○	UMCTVM430 궤도회로의 경우에는 불필요
	5. 수신단 전압측정					○	6 개월
	6. 보상 콘덴서의 임피던스측정					○	지상에서의 유지보수시 취급하지 않고, 검측 차량에 의해 실행함. 지상에서는 단지 결함에 대한 연구를 실행할 경우에만 취급함.
케이블	1. ZCO3 케이블 유지보수, 케이블의 차폐 확인						궤도회로간의 주파수 간섭을 방지하기 위한 중요 유지보수 작업으로 주기는 1 년,
	* 선로의 전기적 연결 확인(횡축연결, 금속구조물 보호 장치...)						1 년
장내 진입 신호등	* 진입 허용 신호등 및 전력 공급선의 전압				○		1 년
	2. 청결 및 표지 부착 상태				○		1 년. 지역별로 상이할 수 있음.
	3. 지지대 상태					○	1 년
	4. 표지판의 페인트 상태					○	1 년. 지역별로 상이할 수 있음.
	5. 표지판 가시거리					○	1 년
TVM430 장비	1. 모든 장비의 발광 다이오드 기능 상태		○				1 년
	2. LME의 키보드, 화면, 마우스, 및 프린터 상태		○				1 년
	3. 모든 설비의 환풍기 상태		○				6 개월 지역별로 상이할 수 있음
	4. LME의 메시지 저장 상태			○			
	5. 차단기의 기능 상태			○			1 년
	6. 모듈, 콘넥터 및 연결관 접속 상태				○		1 년 분해없이 육안 검사 실시
	7. BSP 루프 위치 및 발생 가능한 파손 상태 확인					○	1 년
	8. BSP 루프의 출력 전압 및 전류 측정					○	1 년
	9. TAD125 내부 연결관 상태					○	1 년
	* 시험대에서의 예비품 시험						예비품의 성능을 확인하기 위한 필수 항목

설비	점검 항목	철도공사의 유지보수주기					SNCF 유지보수 주기
		일	주	월	6개월	12개월	
차축 온도 검지장치 (HBD)	1. 측정 장치 설치 상태 및 가능한 파손 상태 확인				○		1 년
	2. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		1 년
	3. 설비랙의 LED 기능 상태				○		1 년
	4. 측정 장치 값 확인					○	1 년
	5. 측정 장치의 오염 계수 확인					○	1 년
	* 에어콘						1 년, 여름 이전에 실시
	* 중앙 통제장치, 경보 확인		○				매일
보수자 횡단 장치	1. 명령 스위치 및 신호등 기능 상태				○		1 년
	2. 신호등 점등 시간 확인				○		1 년
	3. 모든 연결관 및 케이블 상태				○		1 년
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		1 년
	5. 제어 조건 시험					○	1 년
터널 경보 장치	1. 설치함의 "Master" 상태		○				프랑스에는 이러한 유형의 설비가 없음
	2. 누름 스위치 및 경보기의 기능 상태				○		
	3. 정보 전송 상태				○		
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		
	5. 제어 조건 시험					○	
지장물 검지장치	1. 검지 선로의 설치 상태				○		6 개월
	2. 모든 연결관 및 케이블 상태				○		6 개월
	3. 지장물 검지 기능 (검지선 접촉시)				○		1 년
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		1 년
	5. 지장물 검지선 단선시의 제어 속도 확인					○	1 년
끌림 검지 장치	1. 검지기 설치 상태				○		프랑스에는 이러한 유형의 설비가 없음
	2. 끌림 장치 기능 (검지기 접촉시)				○		
	3. 모든 연결관 및 케이블 상태				○		
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		
	5. 끌림 검지기 접촉시의 제어 속도 확인					○	
레일온도 검지 장치	1. 검지기 설치 상태				○		프랑스에는 이러한 유형의 설비가 없음
	2. 제어함의 온도 표시 상태				○		
	3. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		
	4. 온도 검지 시험					○	
기상 검지	1. 모든 설비의 주변 상태				○		
	2. 설치 상태 및 모든 설비의 반생				○		

설비	점검 항목	철도공사의 유지보수주기					SNCF 유지보수 주기
		일	주	월	6개월	12개월	
장치	가능한 파손 상태						
	3. 모든 연결관 및 케이블 상태				○		
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		
	5. 기상 검지장치의 기능					○	1 년
분기기 히팅 장치	1. 설치 상태 및 모든 설비의 발생 가능한 파손 상태			○			1 년
	2. 선로변 제어함의 조정					○	1 년
	3. 예열 기증 시험					○	1 년
	* 히팅장치의 저항 절연 상태						1 년
CTC	1. 조작 화면 확인		○				1 년
	2. 정보 송수신 상태		○				1 년
	3. 모든 설비의 기능		○				1 년
	4. 모든 구성 설비의 전압 및 전류 측정				○		1 년
전력 공급 장치	1. 전압, 전류 측정			○			1 년
	2. 모든 지시등의 출력 상태			○			1 년
	3. 계측기 상태 및 표시된 계측값 상태			○			1 년
	4. 부하 및 무부하시의 전압 측정 및 축전지 전류 측정				○		1 년
	5. 모든 스위치 출력 기능 및 과열 발생 확인				○		1 년, 고전력 설비의 설치 시에는 적외선 카메라에 의해 확인
	6. 모든 연결선 확인				○		1 년
	7. 축전지 전해질의 수위 및 밀도				○		1 년
	8. 접지 저항 측정					○	1 년
케이블	1. 케이블 종단 연결 상태 확인				○		1 년
	2. 케이블 관 상태 확인				○		1 년
	3. 지지대의 상태 확인				○		1 년
	4. 절연 저항 측정					2년에 1번	1 년, 전기연동장치(계전기 사용)의 절연 결함의 자동 검출시
안전 스위치	1. 계전기 전압 측정				○		유지보수시 취급하지 않음
	2. 스위치 설치 상태				○		1 년
	3. 스위치 동작시의 제한 속도					○	1 년
	접촉의 절연 상태						1 년
안전 계전기	1. 입력 전압 측정				○		유지보수시 취급하지 않음, 단지 장애 발생 시에만 취급.
	2. 설치 상태 및 봉인 상태 확인				○		1 년
	3. 회로 연결 상태				○		1 년
	* 자주 사용하지 않은 계전기에 대한 기능 시험						1 년

설비	점검 항목	철도공사의 유지보수주기					SNCF 유지보수 주기
		일	주	월	6개월	12개월	
기계실의 원격 감시장치	1. 비디오 상태 점검		○				·프랑스에는 이러한 유형의 설비가 없음
	2. 기록 기능 점검		○				
	3. DB의 저장 기능 점검		○				
	4. 경보 기능 시험					○	

구 분	설비종별	점 검 항 목	점검주기	비 고
1. 신호기 및 표지	1. 신호기, 진로표시기, 문자형 다진로표시기	(1) 소켓, 커넥터 접속 상태	6M	
		(2) 기내 트랜스 단자이완 여부	〃	
		(3) 쇄정 상태	〃	
		(4) LED 표시상태	〃	
		(5) PCB 동작상태	〃	
		(6) 기내 단자전압 측정	〃	
	2. 기타 표지류	(1) 표지류 손상 및 부착상태	6M	
2. 전기 선로전환기 및 간류	1. 전기 선로전환기 및 간류	(1) 기기 동작상태(소음 포함)	M	
		(2) 간류 취부상태	"	
		(3) 기내 급유상태	〃	
		(4) 내부단자 이완 및 조임 상태	3M	
		(5) 퓨우즈 및 N.F.B 접속 상태	〃	
		(6) CAM Bar 유격상태	6M	
		(7) 제어 및 표시 전원, 전압	〃	
		(8) 록크롯트와 쇄정부간 간격 및 마모상태	〃	
		(9) 전동기의 전압, 전류	〃	
		(10) 클러치 동작상태	〃	
		(11) 5mm 철편시험	〃	
		(12) 푸쉬버튼 기능	〃	
		(13) 회로제어기, 제어계전기 동작 및 짹판 상태	Y 4Y	
		(14) 동작 시분	〃	
		(15) 콘덴서 상태(누액여부등)		
3. 연동장치	1. 조작반 및 표시반(MP, LCP, LDP, MTO, LCTC(SC), OC)	(1) 단자이완 및 조임 상태	3M	
		(2) 외함 균열, 손상 상태	〃	
		(3) 커넥터 접속 상태	〃	
		(4) 컨버터 동작상태	〃	
		(5) 전원상태	〃	
		(6) 연동검사	4Y	
	2. 직병렬 컨버터 장치(ATO, LCP, Track, CVT/SR, LDU/DIU) LCP/LDP Controller	(1) 단자이완 및 조임 상태	3M	
		(2) 커넥터 접속 상태	〃	
		(3) PCB 동작상태	〃	
		(4) 전원전압(DC12, 24V)	〃	
	3. 전자연동	(1) 단자이완 및 조임 상태	M	

구 분	설비종별	점 검 항 목	점검주기	비 고
	장 치	(2) 커넥터 접속 상태	〃	
		(3) PCB 동작상태	〃	
		(4) System 계전기 동작상태	〃	
		(5) 전원전압 (DC12V, 12±5V, 24V, 28V)	3M	
		(6) DC/DC 컨버터 입, 출력 전압	〃	
		(7) 모듈 절체 시험	6M	
		(6) Vital Cut-Off 시험	Y	
4. 궤도회로 장치	1. PF궤도회로	(1) 각종 본드류, 잠바류 손상, 취부상태	M	
		(2) 단자이완 및 균열상태	〃	
		(3) 절연상태 이상유무	〃	
		(4) 케이블헷드 단자이완상태	6M	
		(5) 궤도계전기 국부전압	〃	
		(6) 궤도변압기 입력전압	〃	
		(7) 궤도변압기 출력전압	〃	
		(8) 한류장치 전압	6M	
		(9) 송전 전압	〃	
		(10) 착전 전압	〃	
		(11) 궤도계전기 입력전압[MT 2차측]	〃	
		(12) 계전기변압기 입력전압[MT 1차측]	〃	
		(13) 단락감도	4Y	
	2. AF궤도회로	(1) 미니본드 취부상태 및 단자이완 유무	3M	
		(2) 인입선 손상 및 접속 상태	〃	
		(3) 리드선 손상 및 취부상태	〃	
		(4) 상용/예비 절체시험	〃	
		(5) Tx Output 전압	6M	
		(6) Rx Input 전압	〃	
		(7) Cab 송수신 전압(FL/FH) : 수신전압 6호선 제외	〃	
		(8) 차상반송주파수(FL/FH)	Y	
		(9) Rx Output 전압	〃	
		(10) 계전기 동작 전압	〃	
		(11) 열차 검지 주파수	〃	
		(12) 지상 최고속도 코드비	〃	
		(13) Cab 수신레벨 측정	〃	
	3. PDT 및 Loop Coil	(1) M.T 단자 이완여부	3M	
		(2) Loop-Coil 단선, 혼선 및 정리	〃	

구 분	설비종별	점 검 항 목	점검주기	비 고
	- NL, RL - ATS -Dead Section - PDT	상태 (3) 차상반송주파수(FL/FH) (4) 지상 최고속도 코드비 (5) Cab 송신전압(FL/FH) (6) Cab 수신레벨	Y 〃 〃 〃	
5. 전선로 장 치	1. 케이블	(1) 케이블 정리 및 포박상태 (2) 케이블 부식 및 손상 상태 (3) 케이블 단말처리 상태 (4) 메인전원 케이블 절연저항 (SR - 접속함)	6M 〃 〃 4Y	
	2. 기계실배선반, 기구함	(1) 배선반 단자이완 및 손상 상태 (2) 단선 혼촉 및 정리상태 (3) 선명 표시상태	3M 〃 〃	
	3. 배선용차단기	(1) 취부상태 (2) 부식 손상상태	3M 〃	
	4. 관로 및 케이블랙	(1) 관로의 파손, 가라앉음 뚜껑의 탈락 유무 (2) 케이블랙 부식 및 손상상태	3M 4Y	
6. 전원장치	1. 무정전 전원장치(UPS)	(1) 청소상태 (2) 균열, 부식상태 (3) 온도 상승(과열) 여부 (4) ATS 입력 및 출력 전압 (5) UPS 정류기 출력전압 (6) 인버터 출력전압 (7) AVR 출력전압 (8) 전선 손상 유무 (9) 단자 및 조음부 이완유무 (10) NFB 및 퓨우즈 접속 상태 (11) ATS 절체시험 (12) 바이패스 절체시험 (13) 전원절체 동작시 연동장치의 오동작 유무 (14) 절연저항(ATS, AVR, UPS)	3M 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 6M 〃 〃 4Y	
	2. LCTC용 UPS	(1) 입, 출력 전압상태 (2) 밧데리 동작 시험	3M 6M	
	3. LDTS용 UPS	(1) 입,출력 전압상태 (2) 밧데리 동작 시험	3M 6M	
	4. 정류기 - B28T/R	(1) 단자 및 조음부 이완유무 (2) 온도상승 정도 및 이상소음 여부	3M 〃	

구 분	설비종별	점 검 항 목	점검주기	비 고
	- B24V - B12V - B12±5V (LDP, MP용 포함)	(3) 정류기 출력전압, 전류 (4) 절체시험 (5) 접지검지기 동작상태 (6) 전원선 열화상태 (7) 정류기 맥류상태	〃 〃 〃 Y 〃	
	5. 축전지	(1) 전해액 상태 (2) 축전지 총 전압 (3) 단자 조임 및 부식상태 (4) Cell별 단자 전압 (5) 전해액 비중 및 온도 (6) 충방전시험(방전 30분 후 전압점검)	M 3M 〃 6M 〃 Y	
7. 계전기	계전기	(1) 취부 및 LOCK 상태 (2) 배선 접속상태 (3) 동작 전압(인가전압)	3M 〃 6M	
8. 통신장치	1. 컨버터, MODEM, HUB	(1) 케이블 짝 접속상태 (2) 각종 단자 이완유무	M 〃	
	2. 절체스위치 (HADAX, SCU)	(1) 각종 단자 이완유무 (2) 절체시험 (3) SCU 입, 출력 전압 (4) SCU 컨넥터 접속상태	M 〃 3M 〃	
	3. 컴퓨터	(1) CRT 표시 상태 (2) Printer 동작상태 (3) 정밀점검 (4) 절체 시험	M 〃 3M 〃	
9. ATO장치	1. 출입문 개방 루프, 정위치 정차코일	(1) 출입문 개방 루프 손상유무 (2) 정위치정차코일 취부 상태 (3) Dwell-Light 취부상태 (4) 출입문 개방 루프 전송레벨 (중앙, 양끝) (5) PSM 공진주파수	M 3M 〃 6M Y	
	2. TWC 장치	(1) TWC Loop Coil 손상유무 (2) 송신 주파수 (3) 입력전압 및 LED 상태 (4) 커넥터 접속상태 (5) 절체시험(수동) (6) TWC 파형 상태 (7) 전송레벨 측정(dB)	M 6M 〃 〃 〃 〃 Y	
	3. ATO 장치	(1) System 계전기 동작상태 (2) 단자이완 및 조임상태	M 〃	

구 분	설비종별	점 검 항 목	점검주기	비 고
		(3) DC/DC 컨버터 입, 출력전압	6M	
		(4) 절체시험	〃	
10. DTS장치	LDTS	(1) 손상 및 부식 유무	3M	
		(2) 단자이완 및 커넥터 접속 상태	〃	
		(3) 입출력 전압	〃	
		(4) 계 절체동작 시험	6M	
		(5) 배선 접속상태		
11. 기타장치	1. 경고등	(1) 경고등 취부상태	M	
		(2) 경고등 동작상태	〃	
	2. 열차경보 제어장치	(1) 경보등 취부 및 동작상태	M	
		(2) 검지센서 취부 및 동작상태	〃	
		(3) 제어함 단자조임, 취부상태	3M	
		(4) 카메라 설치, 동작상태	〃	
		(5) 각종 표시 LED, 램프 점등상태	〃	

제 2 절 시스템분석

1. 연동장치의 시스템구성

연동장치의 기능을 수행하기 위해서 하드웨어와 소프트웨어 기능으로 나눌 수 있으며 각각의 기능은 다음과 같다.

가. 하드웨어장치

(1) 논리부 제어장치

(2) 논리부 통신장치

(3) 현장제어장치

(4) 다이야 관리 컴퓨터

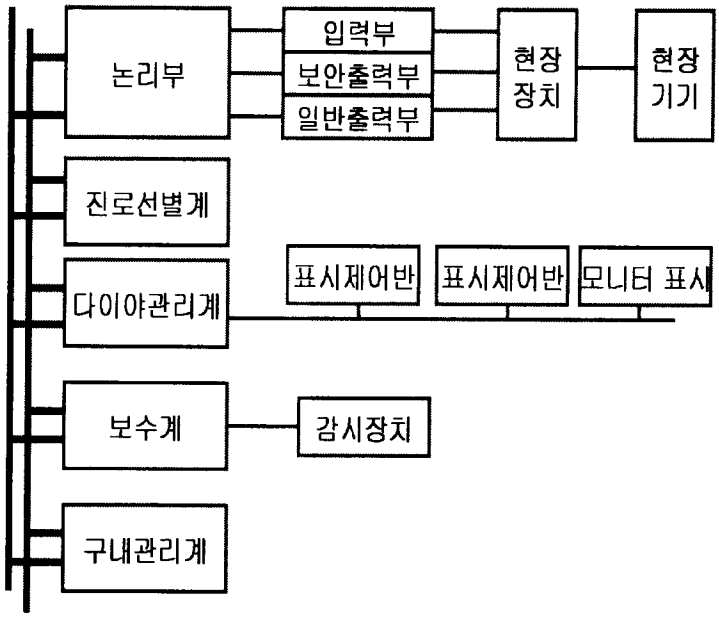
(5) 자동진로제어 컴퓨터

(6) 유지보수컴퓨터

(7) 외부시스템과 통신장치

(8) 광케이블

(8) 하드와이어



[그림 2.1] 연동장치 하드웨어구성

나. 소프트웨어구성

연동장치의 소프트웨어 구성은 다음과 같다.

(1) 연동처리모듈

(2) 선형도생성모듈

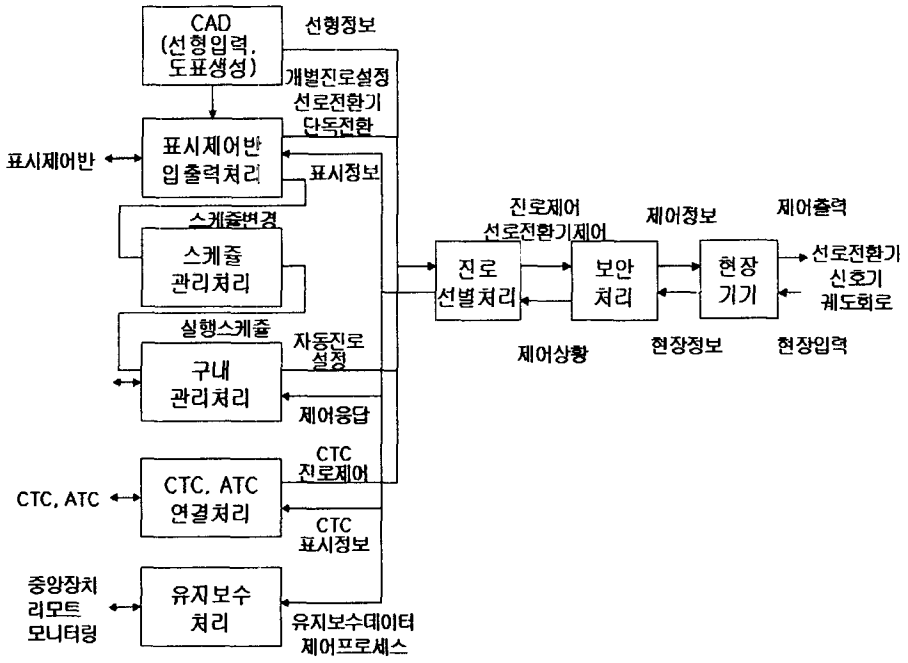
(3) 스케줄모듈

(4) 입출력 제어반 모듈

(5) 시스템관리 모듈

(6) 유지보수 모듈

(7) 통신처리 모듈

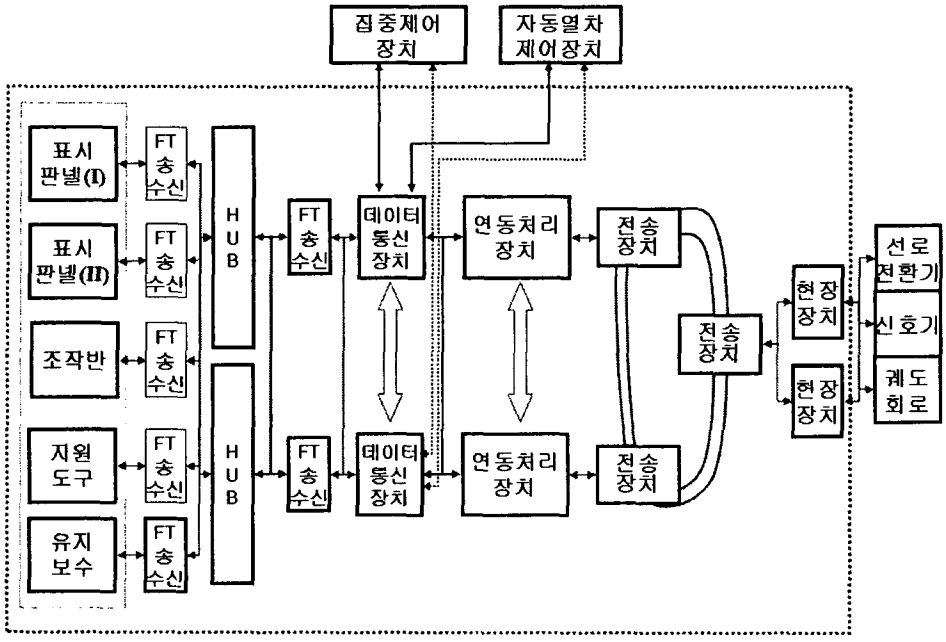


[그림 2.2] 연동장치 소프트웨어구성

다. 연동장치 시스템 구성도

(1) 시스템 구성도

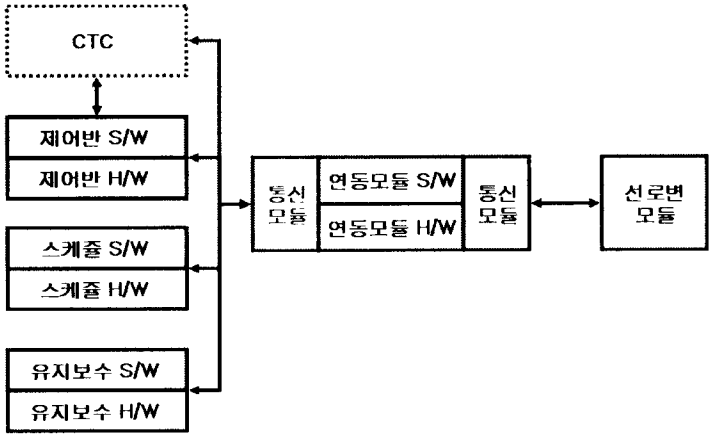
연동장치구조는 연동처리를 하는 연동모듈과 현장신호시스템은 바이탈 통신 시스템으로 연결되어 있고, 각 지원컴퓨터는 연동장치와 일반통신 시스템으로 연결되어 있다.



[그림 2.3] 연동장치 시스템 구조

(2) 연동장치 서브시스템

연동장치의 서브시스템은 신호기 제어 처리하는 연동모듈, 선로변 신호기를 제어하는 선로변 모듈, 제어반, 스케쥴링 컴퓨터 및 유지 보수 컴퓨터로 구성되어 있다. 각 서브시스템은 통신시스템으로 연결되어 작동된다.



[그림 2.4] 연동장치 서브시스템

(가) 연동모듈

연동모듈은 신호기 제어 관련된 모든 기능을 처리한다. 로컬모드일 경우에는 제어반에서 받은 정보를 처리하고, 선로변 및 연동모듈자체에서 발생하는 정보와 사건들을 CTC와 유지보수 모듈에 전송한다. 시스템은 safety critical 한 시스템으로서 2중화 또는 3중화를 한다.

(나) 선로변 모듈

선로변 모듈은 선로변 신호기의 동작을 명령하고, 신호기의 상태를 수집하여 연동모듈에 전송한다.

(다) 표시반 모듈

표시반 모듈은 로컬제어 필요한 명령을 입력하고, 현장정보를 현시한다. 선로배선도 등을 표시반에 작성할 수 있다.

(라) 스케쥴모듈

스케줄 모듈은 연동장치와 관련된 열차다이아를 관리하며, 구내관리기능 등을 담당한다.

(마) 유지관리 모듈

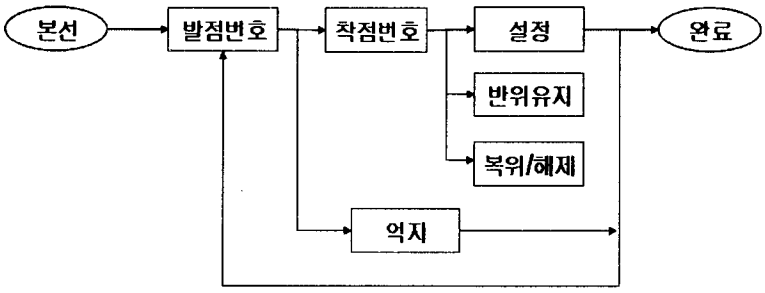
유지관리모듈은 시스템에서 발생하는 고장정보 및 상태정보를 수집하여 관리한다.

(3) 시스템 동작 process

(가) 연동장치 동작 절차

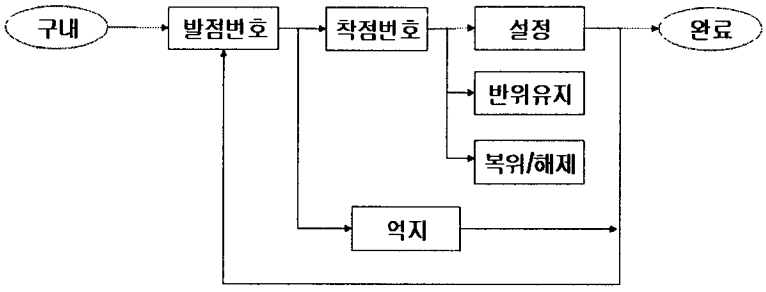
연동장치의 프로세스는 신호기제어, 입환신호기제어, 입환표지제어, 단독레버제어, 사용정지기설정, 선로폐쇄취급, 보수용차 취급 및 현장기기 조건 설정 등이 있다. 신호기제어는 진로제어로서 주신호기, 유도신호기, 개통레버, 조사레버, 방향레버등을 제어한다. 각 프로세스는 다음과 같다.

① 신호기제어 프로세스



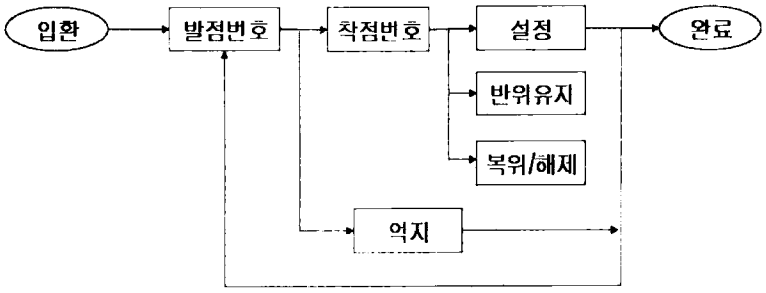
[그림 2.5] 신호기제어 프로세스

② 입환신호기제어 프로세스



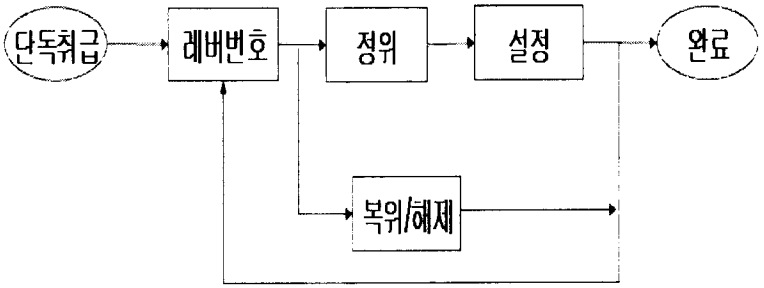
[그림 2.6] 입환신호기제어 프로세스

③ 입환표지제어 프로세스



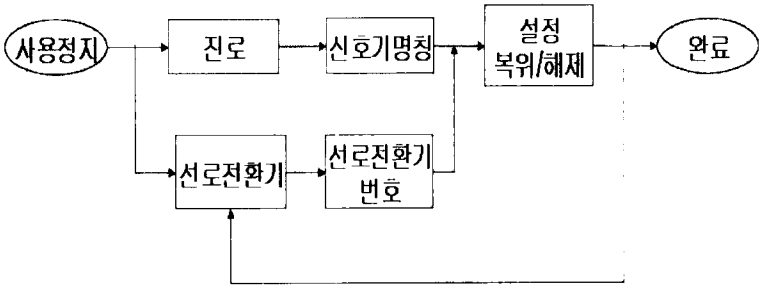
[그림 2.7] 입환표지제어 프로세스

④ 단독레버취급



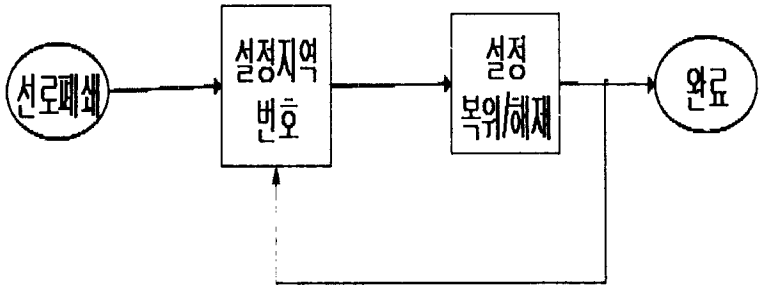
[그림 2.8] 단독레버취급

⑤ 사용정지기기 설정



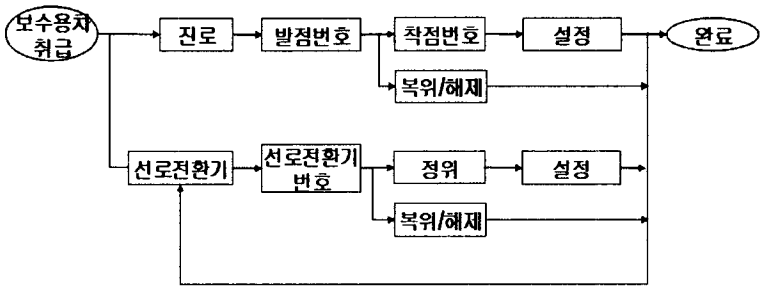
[그림 2.9] 사용정지기기 설정

⑥ 선로폐쇄취급



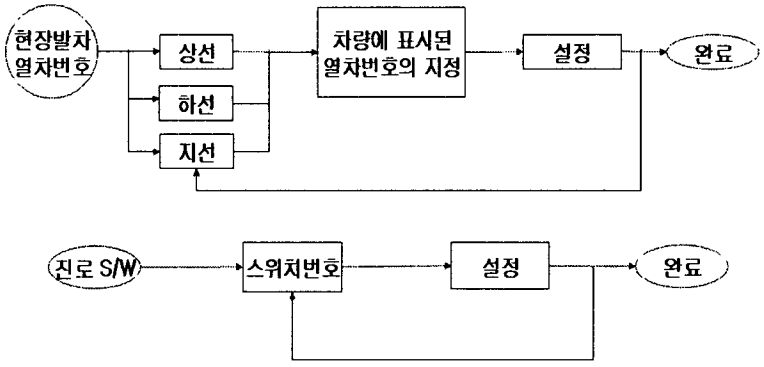
[그림 2.10] 선로폐쇄취급

⑦ 보수용차 취급



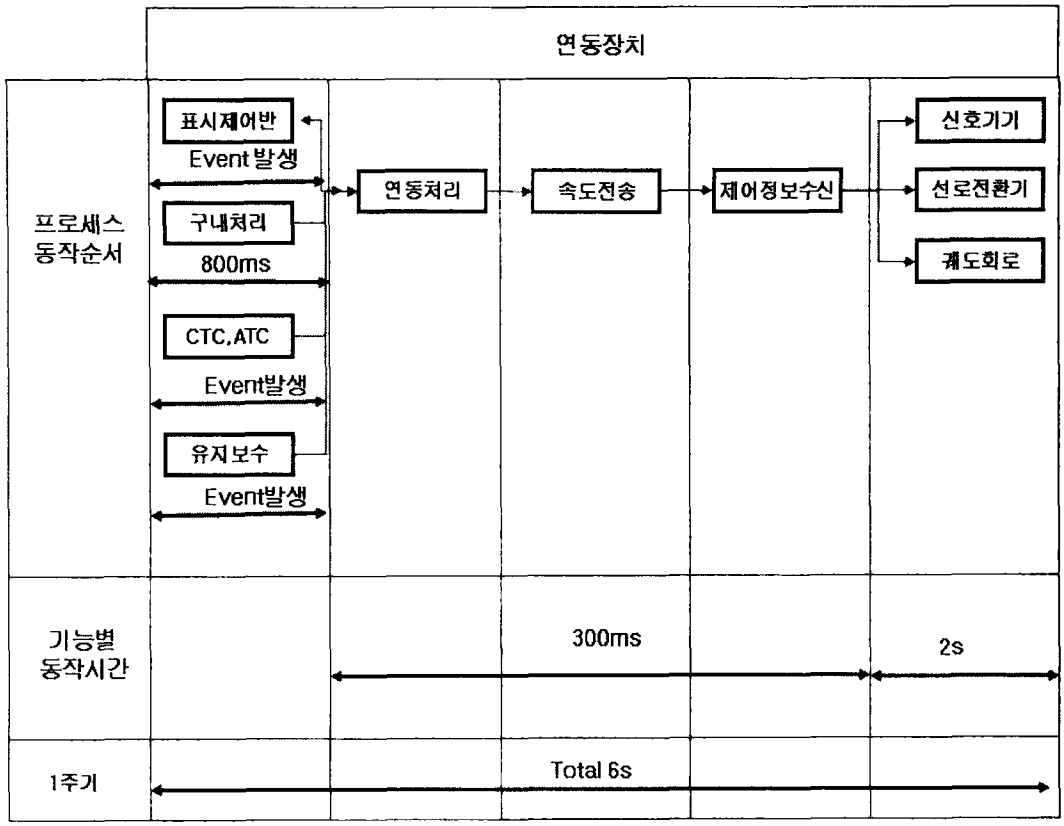
[그림 2.11] 보수용차 취급

⑧ 현장기기조건설정



[그림 2.12] 현장기기조건설정

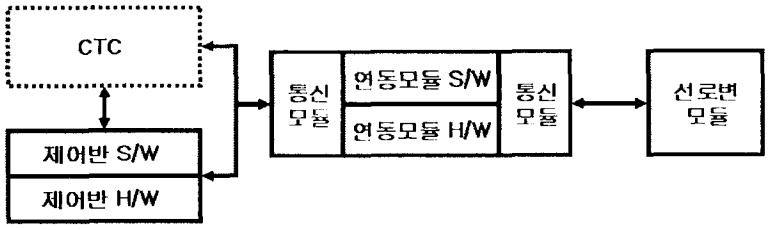
(나) 동작순서



[그림 2.13] 연동장치의 타이밍 차트

(4) 연동장치 서브시스템 동작도

(가) 연동프로세스모듈



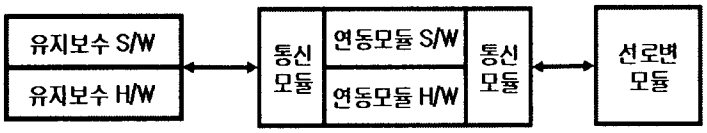
[그림 2.14] 연동프로세스모듈

연동 프로세스 모듈은 프로세스는 신호기제어, 입환신호기제어, 입환표지제어, 단독레버제어, 사용정지기설정, 선로폐쇄취급, 보수용차 취급 및 현장기기 조건 설정 등이 있다. 신호기제어는 진로제어로서 주신호기, 유도신호기, 개통

레버, 조사레버, 방향레버 등을 제어한다. 이 프로세스는 로컬제어모드에서는 제어반에서 제어명령이 발생을 하며, 원격모드일 경우에는 CTC에서 제어명령이 발생한다. 표시정보는 선로변 모듈 혹은 연동모듈에서 발생하여 제어반 및 CTC에 전송된다.

(나) 유지보수모듈

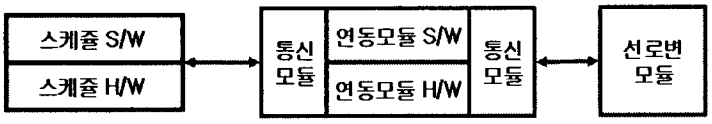
유지보수모듈은 동작기억·기록을 하여 제어출력, 신호기기의 변화 등을 발생 시각 순으로 기억하고, 보수자의 요청에 의해 기억정보를 제공한다. 고장표시·기록하기 위하여 각부의 고장을 한 장단위로 표시·인쇄를 하고, 신호기기의 고장발 시는 전신호기의 작동상태와 동작이력을 부가하여 인쇄한다.



[그림 2.15] 연동장치의 유지보수모듈

(다) 스케줄모듈

스케줄모듈은 운전계획의 작성, 운전계획의 변경, 운전계획의 인쇄 등의 계획과 진로의 자동설정, 진로설정의 자동판단, 열차번호의 관리 등 구내관리 등의 기능을 수행한다. 기능 수행은 스케줄모듈 전담 컴퓨터와 연동모듈에 의해서 수행된다.



[그림 2.16] 연동장치의 스케줄모듈

2. 자동열차제어장치 구성

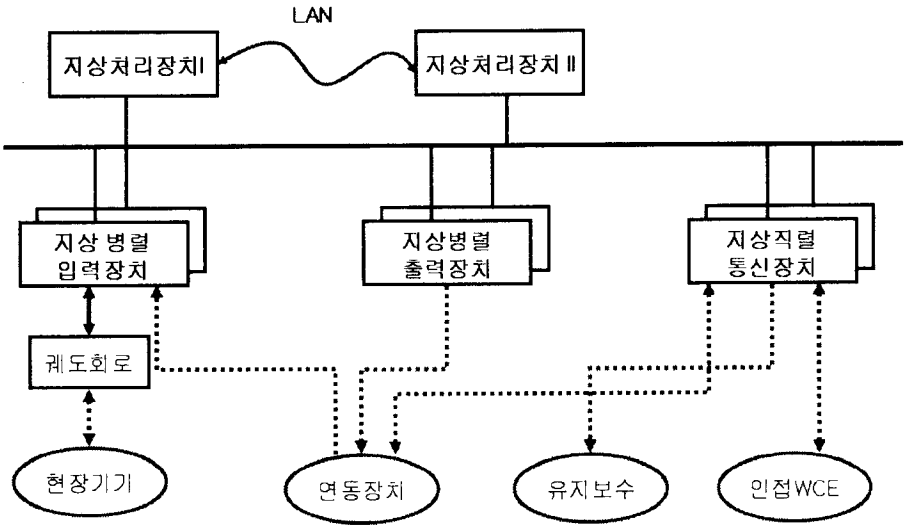
자동장치의 기능을 수행하기 위해서 하드웨어와 소프트웨어 기능으로 나눌 수 있으며 각각의 기능은 다음과 같다.

가. 하드웨어장치

(1) 지상장치

지상 장치는 지상정보수집 장치, 데이터 처리 및 속도생성장치, 정보저장장치, 궤도회로, 루프회로전송장치, 주변기기와 통신장치 등으로 구성되어 있다.

- 지상정보수집장치
- 데이터 처리 및 속도생성장치
- 정보저장장치
- 궤도회로
- 루프회로 전송장치
- 주변기기와 통신장치



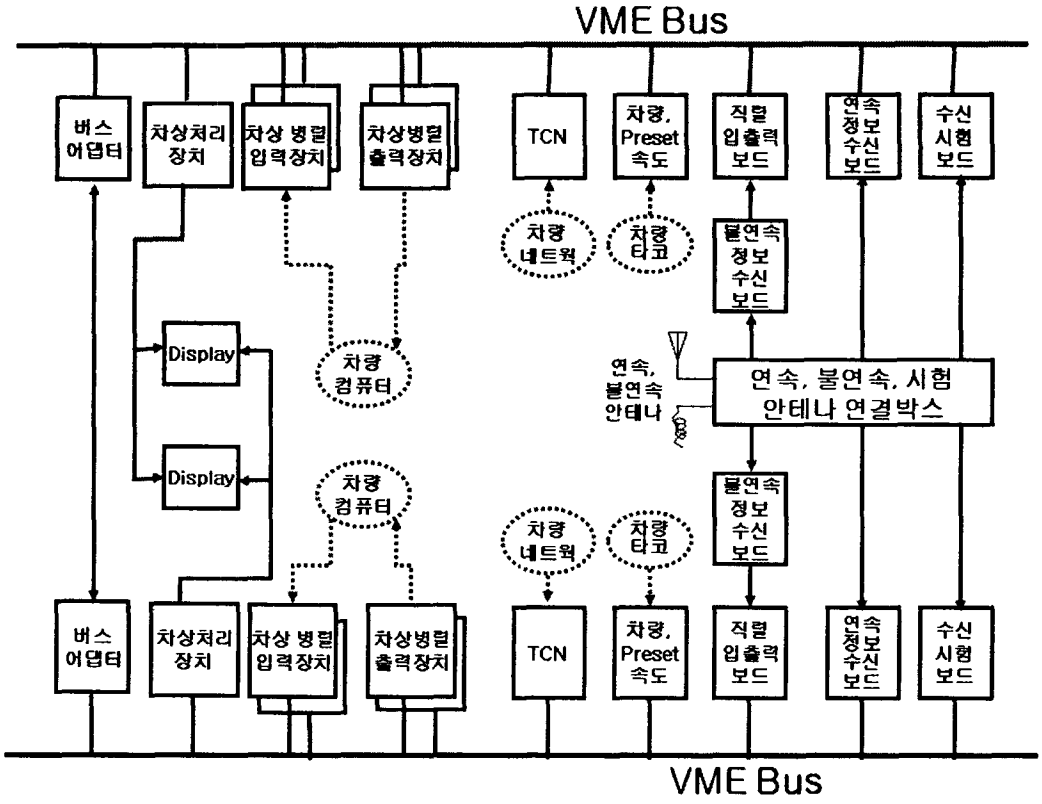
[그림 2.17] ATC 지상장치

(2) 차상장치

차상장치는 궤도회로정보수신안테나, 루프정보수신안테나, 정보처리장치, 속도감시 장치, 속도현시, 제동인가 및 운전기록 장치로 구성되어 있다.

- 궤도회로 정보수신 안테나
- 루프정보 수신안테나

- 정보처리장치
- 속도감시장치
- 속도현시
- 운전기록장치

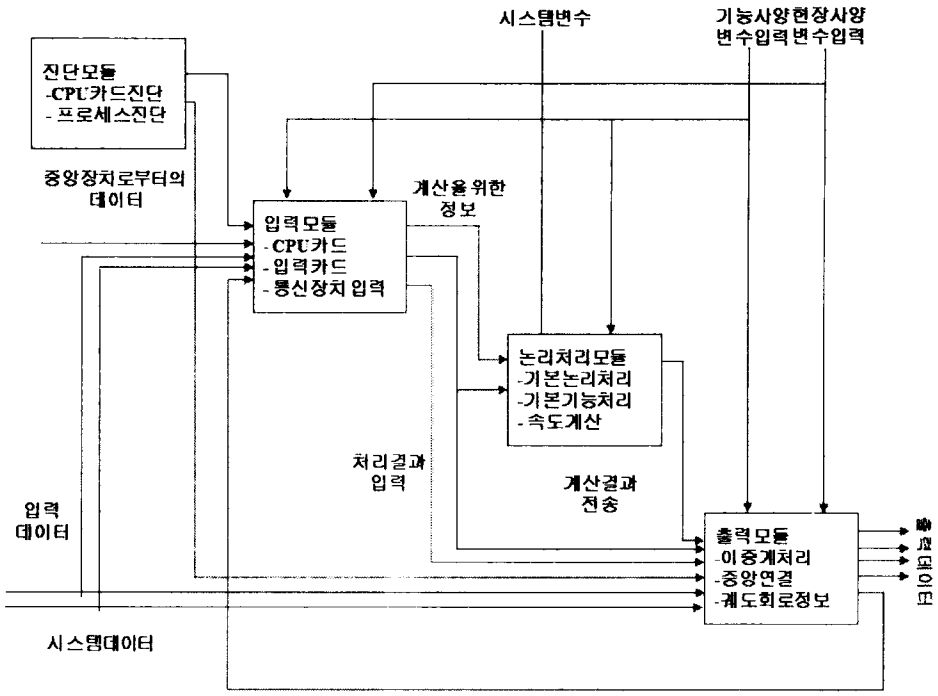


[그림 2.18] ATC 차상장치

나. 소프트웨어

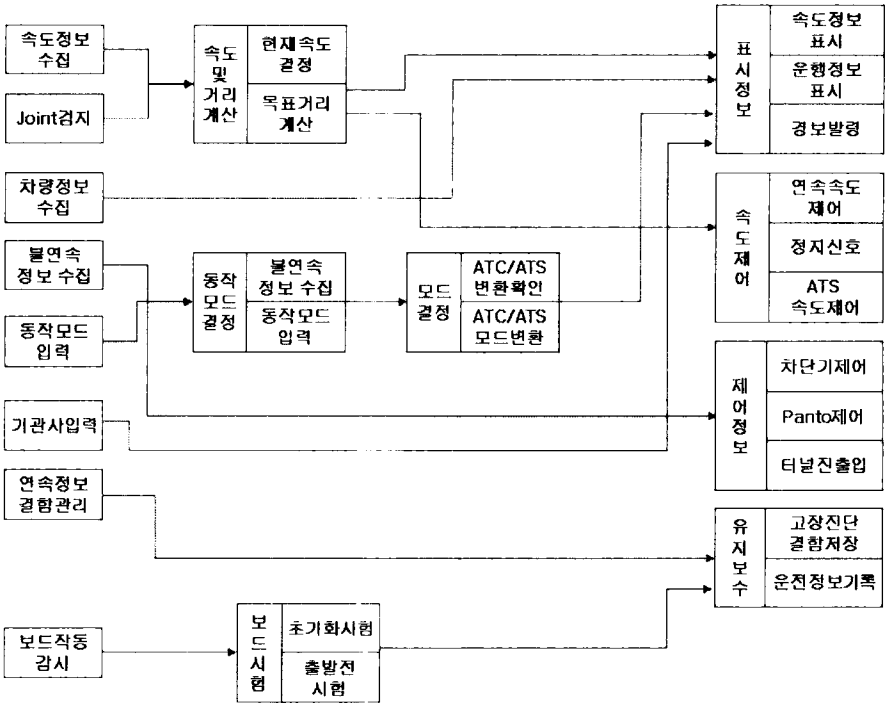
ATC 장치의 기본 개발은 ATC의 메인 프로세서, 그 부속 통신장치 및 궤도 회로이다. ATC의 동작에 필요한 주변장치는 통신장치를 이용하여 연결된다.

(1) 지상장치의 소프트웨어



[그림 2.19] ATC 지상장치의 소프트웨어

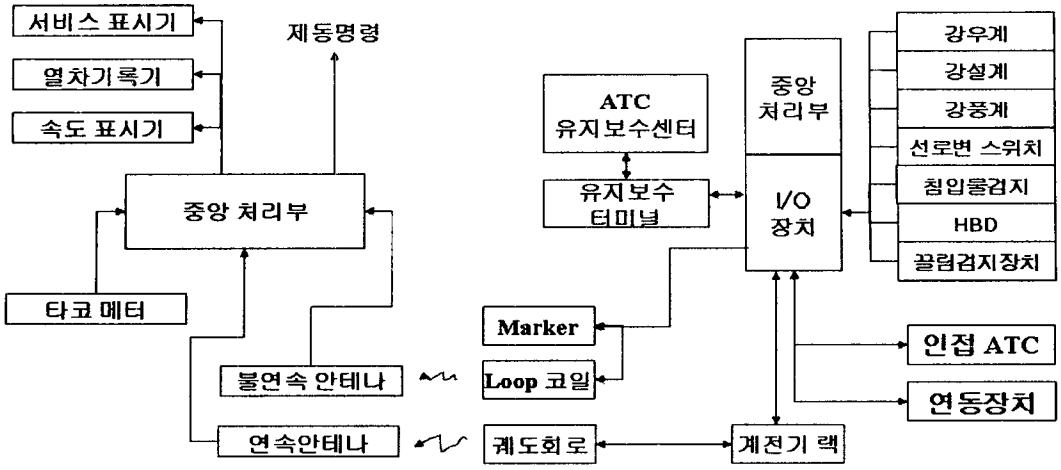
(2) 차상장치 소프트웨어



[그림 2.20] ATC 차상장치의 소프트웨어

다. 시스템 구성

(1) 시스템 구성

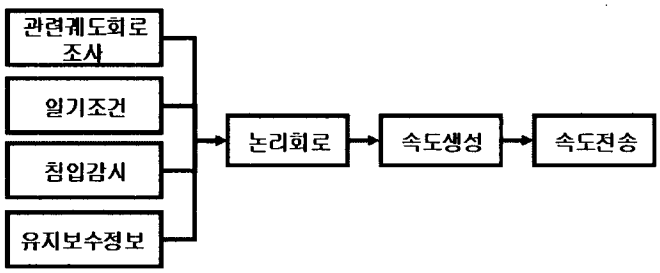


[그림 2.21] ATC 시스템 연결도

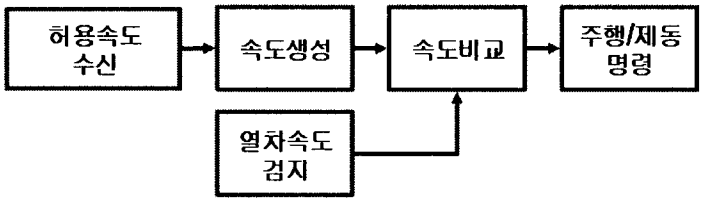
(2) 동작 process

시스템은 지상 장치, 차상장치로 이루어 있으며, 기능적으로는 열차위치검지, 열차속도계산, 열차속도전송, 열차 주행속도 검지기능으로 구성되어 있다.

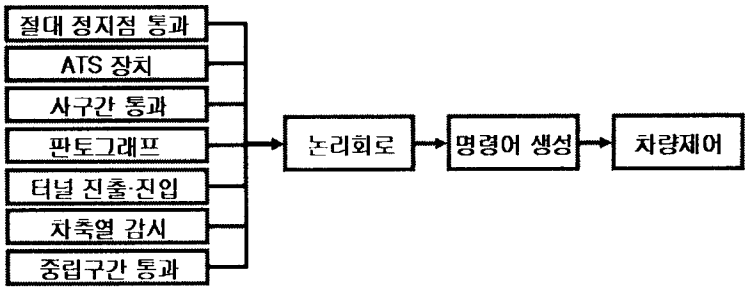
① 속도생성기능



② 속도제어기능

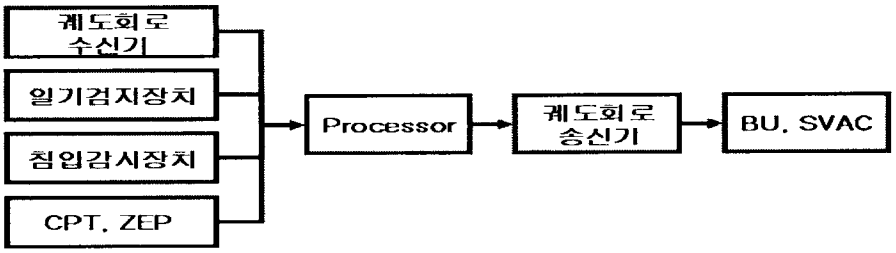


③ 열차제어기능

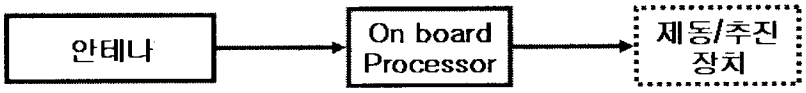


(3) 자동열차제어 서브시스템 동작도

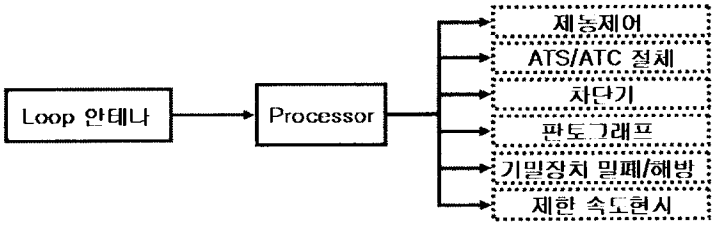
① 속도생성기능



② 속도제어기능



③ 열차제어기능



제 3 절 시험평가

1. 연동장치 시험절차

가. 시험항목

(1) 연동장치 기능시험

<표 2.1> 연동장치 기능시험과 판단요소

번호	번호	기 능	판단 요소
1	신호기 제어기능	선로 전환기 단독 전환	설비 전체의 기능처리 시험
2		신호제어(궤도회로만인 경우)	〃
3		신호제어(궤도회로에 선로전환기의 정위/반위 조건 등을 부가한 경우)	〃
4	진로설정	진로 설정	〃
5		병렬 진로의 설정	〃
6		지장 진로의 검사	〃
7	쇄정기능	철사 쇄정(단지 궤도회로만인 경우)	〃
8		철사쇄정(선로전환기의 정위/반위 조건 등을 부가한 경우)	〃
9		철사 쇄정(과주방호)	〃
10		표시 쇄정	〃
11		진로쇄정(신호기와 선로 전환기 상호간의 검사)	〃
12	현시기능	과주방호 Check	〃
13		보류 현시	〃
14		신호 현시 Check	〃
15	사용정지 기능	사용정지 선로 전환기를 포함한 진로	〃
16		진로에 포함된 선로 전환기	〃
17		사용정지 신호기의 진로	〃
18		사용 중인 진로에 대한 신호기 사용중지	〃

(2) 표시기능

<표 2.2> 연동장치의 표시기능과 판단요소

번호	기 능	판단 요소
1	LCP 정보 입력	- 선로전환기 단독전환요구, 진로설정요구, 진로취소요구, 현장 설비 사용정지/복구 요구, 모드 전환요구 등의 요구정보에 대한 정상적인 처리
2	LCP 정보 출력	- 현장 설비 및 시스템의 상태 정보에 대한 정상적인 출력처리
3	CTC 정보 입력	- 선로전환기 단독전환요구, 진로설정요구, 진로취소요구, 현장 설비 사용정지/복구 요구, 모드 전환요구 등의 요구정보에 대한 정상적인 처리
4	CTC 정보 출력	- 현장 설비 및 시스템의 상태 정보에 대한 정상적인 출력처리

(3) 통신기능

<표 2.3> 연동장치의 통신기능과 판단요소

번호	기 능	판단 요소
1	CTC와의 통신 처리	- TCP/IP 혹은 Serial을 통한 정상적인 통신처리 (Data 송수신 및 Error 처리)
2	LCP 와의 통신 처리	- TCP/IP를 통한 정상적인 통신처리 (Data 송수신 및 Error 처리)
3	CAD 시스템과의 통신 처리	- TCP/IP를 통한 정상적인 통신처리 (Data 송수신 및 Error 처리)
4	TFM과의 통신 처리	- 광통신을 통한 Polling 방식의 통신처리 (현장 설비 상태정보 입력/제어 정보 출력, 제어기기 상태정보 처리) - 2중 네트워크 처리 - H/W 및 S/W의 Fail-Safe 처리기능 - 규정된 Cycle Time(200-300msec) 내의 동작

(4) 현장 제어 기능

<표 2.4> 연동장치의 현장 제어 기능과 판단요소

번호	기 능	판단 요소
1	현장 제어 모듈의 Fail-Safe 처리	- 시스템 에러 발생 시 안전 상태로의 제어
2	신호기 제어모듈의 정보 입력	- 신호기의 현시 상태, 제어 상태, 단심 상태 정보의 입력 처리
3	선로전환기 제어모듈의 정보 입력	- 선로전환기의 상태, 제어 상태, 동작상태, 불일치 및 고장 정보 입력 처리
4	궤도회로 입력모듈의 정보 입력	- 궤도회로 계전기를 통한 상태 정보 입력
5	신호기 제어모듈의 정보 출력	- 신호기의 현시 제어 정보 출력 처리 - Zero Crossing Check를 통한 제어 정보 출력(신호기 현시) - 에러 발생시 정위(정지) 현시
6	선로전환기 제어모듈의 정보 출력	- 선로전환기의 제어 정보 출력 처리 - 불일치 처리

(5) 유지보수 기능

<표 2.5> 연동장치의 유지보수 기능과 판단요소

번호	기 능	판단 요소
1	사용자 인증	- 시스템 접근에 따른 사용자 인증 처리
2	시스템 상태 표시 Lamp 처리 기능	- 각종 시스템 상태 표시
3	Hot-Standby 처리기능	- 정상적인 Standby처리
4	통신장비(SHR)의 이상시 복구 기능	- 광통신장비의 회선 이상이나 일부 TFM의 이상 시 타 장비로의 파급 억제
5	Power ON 상태에서 TFM의 유지보수 기능	- Power ON 상태에서 착탈 가능
6	에러 발생 시 대처 기능	- H/W 및 S/W 상세 사양서 - 시스템 운영 메뉴얼 - 유지보수 메뉴얼 - 상태정보 Logging 및 상황 재현기능 - 운영자 교육

나. 서브시스템 연관기능

(1) 연동장치 기능시험

<표 2.6> 연동장치 기능과 시스템연결도

번호	번호	기 능	시스템 연결도
1	신호기 제어기능	선로 전환기 단독 전환	제어반↔통신모듈↔연동모듈↔통신모듈↔통신모듈↔통신모듈↔TFM 모듈
2		신호제어 (궤도회로만인 경우)	제어반↔통신모듈↔연동모듈↔통신모듈↔통신모듈↔TFM 모듈
3		신호제어(궤도회로에 선로전환기의 정위/반위 조건 등을 부가한 경우)	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
4	진로설정	진로 설정	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
5		병렬 진로의 설정	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
6		지장 진로의 검사	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
7	쇄정기능	철사 쇄정 (단지 궤도회로만인 경우)	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
8		철사쇄정 (선로전환기의 정위/반위 조건 등을 부가한 경우)	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
9		철사 쇄정(과주방호)	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
10		표시 쇄정	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
11		진로쇄정(신호기와 선로전환기 상호간의 검사)	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
12	현시기능	과주방호 Check	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
13		보류 현시	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
14		신호 현시 Check	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
15	사용정지 기능	사용정지 선로 전환기를 포함한 진로	제어반 ↔ 통신모듈 ↔ 연동모듈
16		진로에 포함된 선로 전환기	제어반↔통신모듈↔연동모듈
17		사용정지 신호기의 진로	제어반↔통신모듈↔연동모듈
18		사용 중인 진로에 대한 신호기 사용중지	제어반↔통신모듈↔연동모듈

(2) 표시기능

<표 2.7> 연동장치의 표시기능과 시스템 연결도

번호	기 능	시스템 연결도
1	LCP 정보 입력	제어반↔통신모듈↔연동모듈
2	LCP 정보 출력	제어반↔통신모듈↔연동모듈
3	CTC 정보 입력	제어반↔통신모듈↔연동모듈
4	CTC 정보 출력	제어반↔통신모듈↔연동모듈

(3) 통신기능

<표 2.8> 연동장치의 통신기능과 시스템 연결도

번호	기 능	시스템 연결도
1	CTC와의 통신 처리	제어반↔통신모듈↔연동모듈↔통신모듈↔CTC
2	LCP 와의 통신 처리	제어반↔통신모듈↔연동모듈
3	CAD 시스템과의 통신 처리	CAD↔통신모듈↔연동모듈
4	TFM과의 통신 처리	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)

(4) 현장 제어 기능

<표 2.9> 연동장치의 현장 제어 기능과 시스템 연결도

번호	기 능	시스템 연결도
1	현장 제어 모듈의 Fail-Safe 처리	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
2	신호기 제어모듈의 정보 입력	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
3	선로전환기 제어모듈의 정보 입력	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
4	궤도회로 입력모듈의 정보 입력	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
5	신호기 제어모듈의 정보 출력	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
6	선로전환기 제어모듈의 정보 출력	제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)

(마) 유지보수 기능

<표 2.10> 연동장치의 유지보수 기능과 시스템 연결도

번호	기 능	시스템 연결도
1	사용자 인증	유지보수 컴퓨터
1	시스템 상태 표시 Lamp 처리기능	유지보수 컴퓨터↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
2	Hot-Standby 처리기능	유지보수 컴퓨터↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
3	통신장비(SHR)의 이상시 복구 기능	유지보수 컴퓨터↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
4	Power ON 상태에서 TFM의 유지보수 기능	유지보수 컴퓨터↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)
5	에러 발생 시 대처 기능	유지보수 컴퓨터↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)

다. 연동장치 서브시스템 연결도

- 제어반↔통신모듈↔연동모듈
- 제어반↔통신모듈↔(연동모듈↔통신모듈)↔(통신모듈↔TFM 모듈)

2. 자동열차제어장치 시험

가. 시험항목

<표 2.11> ATC Service 검지여부

기능	세부기능	판단요소
열차검지	열차검지	-열차의 위치 현시여부
환경감시	강풍감시	-풍속의 표시여부
	강설감시	-적설량의 표시여부
	강우감시	-강우량의 표시여부
궤도감시	낙석감시	-침입물 검지여부
	차량추락감시	-침입물 검지여부
열차감시	차축열 감시	-차축열 검지여부
	끌림감지장치	-끌림검지여부
열차주행허용 속도 생성	속도생성	-생성속도의 적정성 여부
열차주행감시	속도감시	-속도 감시 및 제동체결여부
유지보수원 및 장비보호	보호기능	-속도제한 스위치의 작동여부
유지보수지원	유지보수	-유지보수 컴퓨터의 동작여부
집중제어장치 및 연동장치에 정보 제공	점유정보제공	-통신여부
열차제어	절대정지점 통과	-절대정지점 통과 시에 과주방지제어
	신호시스템 변경	-ATS 장치 작동 및 해제
	시구간통과	-사구간 통과 시 차단기 작동
	판토그래프 제어	-판토그래프 하강 및 상승
	터널진입 진출	-터널 진출·진입 시 열차의 기밀명령
	차축열 검지	-차축열 감시정보 수신
	중립구간 통과	-중립구간통과 시 차단기 작동
	선로변경	-궤도변경 시에 정보 수신

나. 서브시스템 연관기능

<표 2.12> ATC Service 검지여부

기능	세부기능	판단요소
열차검지	열차검지	궤도회로↔통신모듈↔지상논리부
환경감시	강풍감시	풍속계↔통신모듈↔지상논리부
	강설감시	적설계↔통신모듈↔지상논리부
	강우감시	강우계↔통신모듈↔지상논리부
궤도감시	낙석감시	이물질침입검지계↔통신모듈↔지상논리부
	차량추락감시	
열차감시	차축열 감시	HBD↔통신모듈↔지상논리부
	끌림감지장치	끌림감시장치↔통신모듈↔지상논리부
열차주행허용 속도 생성	속도생성	지상논리부↔통신모듈↔궤도회로↔안테나↔차상논리부
열차주행감시	속도감시	속도계↔차상장치↔제동장치
유지보수원 및 장비보호	보호기능	선로변장치↔지상논리부
유지보수지원	유지보수	궤도회로↔지상논리부↔유지보수 컴퓨터
집중제어장치 및 연동장치에 정보 제공	점유정보제공	궤도회로↔지상논리부↔CTC장치
열차제어	절대정지점 통과	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	신호시스템 변경	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	시구간통과	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	판토그래프 제어	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	터널진입 진출	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	차축열검지	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	중립구간 통과	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부
	선로변경	루프안테나↔차상안테나↔차상논리부

다. 자동열차제어장치 시스템 연관도

① 궤도회로↔통신모듈↔지상논리부

② 풍속계↔통신모듈↔지상논리부

③ 적설계↔통신모듈↔지상논리부

④ 강우계↔통신모듈↔지상논리부

⑤ 이물질침입검지계↔통신모듈↔지상논리부

⑥ HBD↔통신모듈↔지상논리부

⑦ 끌림감시장치↔통신모듈↔지상논리부

⑧ 지상논리부↔통신모듈↔궤도회로↔안테나↔차상논리부

⑨ 속도계↔차상장치↔제동장치

⑩ 선로변장치↔지상논리부

⑪ 궤도회로↔지상논리부↔유지보수 컴퓨터

⑫ 궤도회로↔지상논리부↔CTC장치

⑬ 루프안테나↔차상안테나↔차상논리부-차상서브시스템

3. 시스템 모델링

연동장치와 자동열차제어장치의 동작은 서브시스템이 직렬로 연결되어 있다. 연동장치와 자동열차제어 장치의 시스템 모델은 아래와 같이 나타낼 수 있다.



고장률은 각 시스템이 직렬구성을 하고 있으므로 열차시스템의 고장률은 다음과 같다.

$$\lambda_R = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

4. 시스템 분석

가. 열차제어시스템의 품질정의

(1) 정의

품질서비스를 정량화하기 위해서 여러 가지 방법이 제안되었다. 모든 것은 계획된 서비스에 실제서비스가 얼마큼 근접했는가를 척도로 이용한다. 일반적으로 사용하는 방법은 앞에서 나타낸 식을 이용한다.

$$QS = \exp\left[-\left(a\frac{T_r}{T_A} + b\frac{N_{CT}}{N_{PT}}\right)\right]$$

- T_A : 실제운용시간을 말하는 것으로 열차제어 시스템은 24시간 동작한다고 할 수 있다.
- T_r : 1주 동안 발생하는 여러 가지 실 노선 장애로부터 회복하는 필요한 시간이며, 가중화된 시간이다.
- N_{PT} : 기간 동안에 계획된 동작 시스템 수로서, 모든 시스템이 정상적으로 동작되도록 되어있다.
- N_{CT} : 시스템 예비율 부족으로 인하여 동작되지 못한 시스템 수를 나타낸다.

장애를 순간장애, 재부팅 및 교환 3개의 영역으로 구분할 수 있다.

(가) 순간장애

여러 가지 기술적인 문제에 의해서 순간장애가 발생하여 시스템이 순간 정지한다. 회복시간은 시스템이 정지해 있는 시간을 나타낸다.

(나) 재부팅

시스템이 장애가 발생하여 재부팅하는 상태이다. 회복시간은 시스템의 재부팅하여 정상적으로 동작까지 소요되는 시간을 나타낸다.

(다) 교환

시스템이 고장이 발생하여 동작이 불가능한 상태이며, 다른 시스템으로 교환을 해야 되는 상태이다. 회복시간은 교환 및 시스템이 정상동작 상태에 도달할 때까지의 시간이다.

(2) 해석

$$a\frac{T_r}{T_A}+b\frac{N_{CT}}{N_{PT}}=\ln QS$$

앞의 식은 쉽게 곱셈으로 나타낼 수 있다.

$$QS=QS1\times QS2$$

단, $QS1$과 $QS2$는 다음과 같이 정의 된다.

$$QS1=\exp\left(-a\frac{T_r}{T_A}\right)$$

$$QS2=\exp\left(-b\frac{N_{CT}}{N_{PT}}\right)$$

각각의 요소는 서로 다른 뜻을 갖는다. $QS1$의 요소는 운용성(Operability)이라 불리며 실제노선의 서비스 품질에 관한 장애의 영향을 측정한다. 그것은 운용에 영향을 미치는 시스템 고장의 함수이며, 고장이 영향을 얼마나 미치느냐를 고려한다.

$QS1$은 다음의 2가지 요소에 좌우된다.

- 장애의 빈도 즉, MTBSF에 해당한다.
- 장애에 따르는 회복시간 즉, t_d, t_0, t_s이다.

$QS2$ 요소는 다른 측면 즉 잠재적 신뢰성 및 유지보수성의 서비스 품질에 관련된 영향이다. 고려 요소는 다음과 같다.

시스템 고장(운용에 영향을 미치는 혹은 안 미치든 간에)을 고장확률 λ 즉, MTBF로 나타낸다. 고장수리시간 즉, MTTR로 표시한다.

어찌하든 주어진 점에서 열차군의 가용성은 다음의 것에 영향을 받는다.

- 고장발생빈도(MTBF)
- 고장수리시간(MTTR)
- 동시 유지보수 가능 시스템 대 수
- 유지보수 부품의 보유상태
- 노선에서 고장난 열차 대체를 위한 예비 시스템대수

중요한 요소로서는 고려해야 할 MTTR은 부품 확보, 보수원의 위치 및 기타

사항에 필요한 행정소요 및 물류시간을 포함해야 한다. 따라서 MTTR에 상수 요소를 곱해야 하며, 상수변수 값은 유지보수 데이터베이스로부터 추정을 해야 한다.

나. 서비스 품질

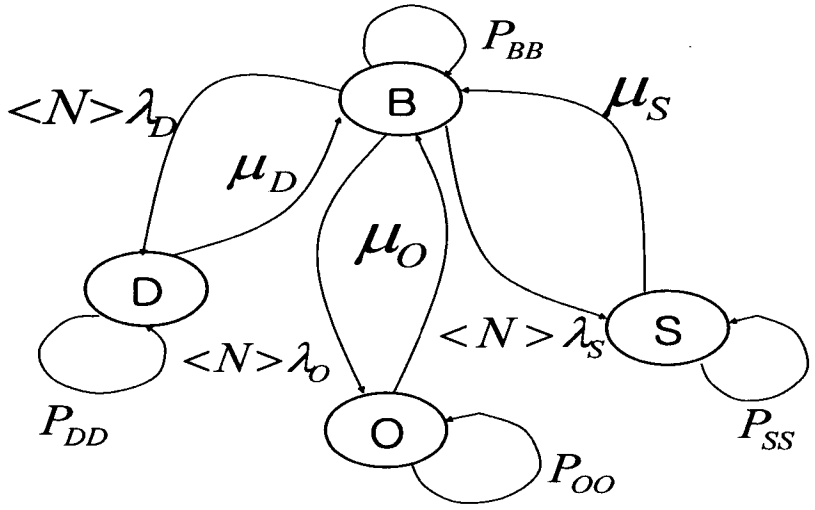
시스템 설계자는 물류에 대한 가정을 가지고 신뢰도 및 유지보수도의 예견된 수준에 따른 서비스 품질을 예측해야 한다. 해석적 방법 혹은 시뮬레이션을 이용하여 서비스 품질을 예측할 수 있다. 해석적 접근법이 아래에 소개되었다. $QS1, QS2$ 두 요소는 각각 분리해서 검토하였다.

(1) 운용성 예측

장애의 무작위 발생은 Markov 체인으로 나타내었다.

주어진 시간에서 시스템은 어느 한 상태로만 된다.

- B : 기본운용상태
- D : 순간 정지상태
- O : 재부팅상태
- S : 교환대기상태



[그림 2.22] 실노선 장애의 무작위 발생에 대한 Markov 체인

$$P_{BB} = 1 - \lambda_D - \lambda_o - \lambda_S$$

$$P_{DD} = 1 - \mu_D$$

$$P_{SS}=1-\mu_S$$

$$P_{oo}=1-\mu_o$$

각 상태간의 전환비율은 다음과 같이 얻는다.

- 실 노선에서 여러 형태의 장애 발생 빈도
- 장애 발생 후 회복시간

특히 λ_D, λ_o, λ_S는 순간정지상태, 재부팅상태 및 교환상태의 발생빈도를 나타낸다. B에서 D, B에서 O, B에서 S로 변환률은 $<N>\lambda_D$, $<N>\lambda_o$, $<N>\lambda_S$ 이며, <N>은 노선 상의 평균 열차 수 이다.

$$\lambda_D+\lambda_o+\lambda_S=\frac{1}{MTBSF}$$

D, O 및 S에서 B로 변환률은 다음과 같다.

$$\mu_D=\frac{1}{t_D},\ \mu_0=\frac{1}{t_0},\ \mu_s=\frac{1}{t_s}$$

단 t_s, t_D, t_o는 회복시간이다. Markov 체인에 대해서 Chapman-Kolmogorov 식을 풀면

$$P_B=\frac{1}{\left(1+M\left(\frac{\lambda_0}{\mu_0}+\frac{\lambda_D}{\mu_D}+\frac{\lambda_S}{\mu_S}\right)\right)}$$

$$P_D=N\frac{\lambda_D}{\mu_D}P_B$$

$$P_0=N\frac{\lambda_0}{\mu_0}P_B$$

$$P_S=N\frac{\lambda_S}{\mu_S}P_B$$

운용성 요소 $QS1$ 의 예측 $(QS1)$는 다음과 같이 주어진다.

$$(QS1)=\exp\left(a\frac{E(T_r)}{T_A}\right)$$

$$=\exp(a(P_D+2P_0+4P_S))$$

대규모 수에 대한 강력 법칙(strong)에 다라서 T_A가 무한대가 되면서 $\frac{T_0}{T_D}$는

P_0로 수렴한다. 따라서 T_A가 무한대로 되면서 $(QS1)$는 $QS1$로 수렴한다. $QS1$에 대한 예측은 MTBSF와 회복시간 t_s, t_D, t_o의 항목으로 나타낼 수 있다. k_D ,k_0, k_s을 정지, 회송, 구원대기 등의 실 노선 장애를 고려한 전체 수의 퍼센트라 하면, 다음과 같은 관계를 얻는다.

$$\lambda_D = \frac{k_D}{MTBSF}, \lambda_S = \frac{k_s}{MTBSF}, \lambda_0 = \frac{k_0}{MTBSF}$$

위의 식과 Chapman- Kolmogorov 식을 대입하면 $QS1$은 다음과 같다.

$$(QS1) = \exp\left(-a \times \frac{k_D t_D + 2k_0 t_0 + 4k_s t_s}{\frac{MTBSF}{N} + k_D t_D + k_0 t_0 + k_s t_s}\right)$$

운용품질의 운용요소 $QS1$는 장애 빈도의 감소함수이며, MTBSF의 증가함수이다.

$$\lim_{MTBFSF \to \infty} (QS1) = 1$$

열차군수 N과 물류회복시간 t_s, t_D, t_o의 감소함수이다.

$$\lim_{t_D, t_S, t_0 \to 0} (QS1) = 1$$

계약조건에 의한 회복시간에 대한 가정으로, 운용요소의 제약조건 $(QS1 > QS1\min)$은 $MTBSF$: $MTBSF > MTBSF\min$에 관한 제약조건으로 변환할 수 있다. 주어진 $MTBSF$ 값에 대해서 $QS1$에 대한 목표 값을 도달하도록 하는 계약에서 정의된 최대회복시간은 얼마인가를 결정하는 것이다.

(2) 취소된 동작요소의 예측

(가) 모델

예비 시스템 부족에 의해서 투입하지 못한 시스템 수(N_{CT})를 예측하기 위해서 모델링을 해야 하는 확률론적 프로세스는 시스템의 고장과 수리 절차이다. 시스템의 고장률은 λ, 수리율은 μ와 같다고 가정하고, 이 절차는 Markov 프로세스이다. 이 프로세스는 그림 2.23에 나타나 있고, 각 상태를 나타내는 숫자는 고장정비로는 사용할 수 없는 시스템 수이다.

$\mu = \frac{1}{MTTR}$이며, $MTTR$은 수리시간, 행정절차 및 물류시간이 포함된 값이다. 예방정비에서 시스템 수는 확정적이고, 일정하다고 할 수 있다. 2가지의 물류관련 변수를 고려해야 한다. 운용예비 시스템편성 수 r과 동시에 수리할 수 있는

시스템 편성 수 m이다. 운용상에서 시스템이 고장이 발생하면 고장난 시스템을 대체하기 위하여 예비시스템을 즉시 투입해야 한다. 상태 n 에서 시스템 고장률 즉, 상태n에서 상태 n+1로 변환률은 선로 상에 시스템 수와 시스템당 고장률 λ의 곱과 같다. 고장난 시스템이 비축 시스템 수를 초과하지 않으면 운용중인 시스템은 N과 같다. 고장난 시스템 수가 비축 시스템 수를 초과하면, 운용 중인 시스템 수는 시스템이 빠져나갈 때마다 한대씩 감소한다. 상태 n에서 수리율 즉, 상태 n에서 상태 n-1로 변환율은 시스템 수가 m(정비 피트 수)을 초과하지 않는 한 시스템 수와 시스템 당 수리율 μ의 곱과 같다. 그렇지 않으면 그것은 $m \times \mu$ 가 된다.

(나) Markov 프로세스의 정상상태 해

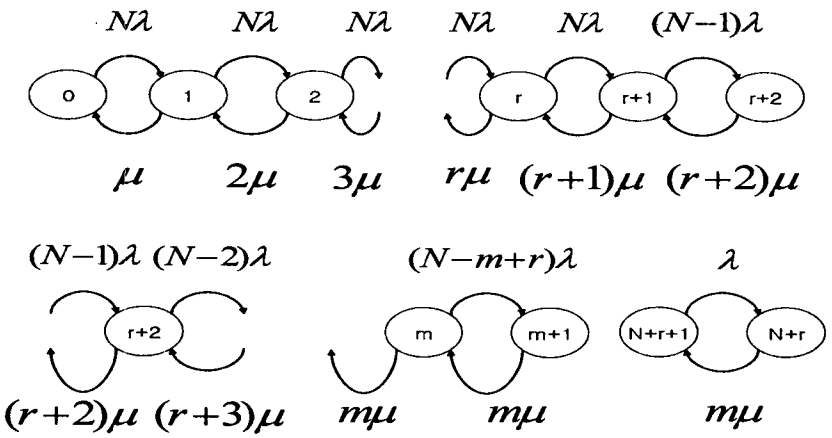
Markov 프로세스는 탄생-사망 프로세스를 갖는다. Chapman-Kolmogorov 식의 정상상태 해인 정상상태 확률을 구할 수 있으며, 다음과 같은 특성을 갖는다.

$$P_i = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \cdots \lambda_i}{\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_i} P_0$$

$$\sum P_i = 1$$

단 λ_i 는 상태 (i-1)에서 상태 i로 변환률을 나타내고, μ_i 는 상태 i에서 상태 (i-1)로의 변환률을 나타낸다. 정상상태 확률분포 P_i는 λ_i와 μ_i의 비율에 의해 결정된다. 그 비율은 ρ 라 칭하며 다음과 같다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$



[그림 2.23] 사용 불가능(보전정비)한 시스템 수
(m : 동시 수리 가능한 시스템 수, r : 예비 시스템 수)

위의 Markov 정상상태 확률의 식, 정상상태 확률분포의 비율 식, λ_i 및 μ_i의 해답은 다음과 같이 주어진다.

If $r < m$

① $P_k = P_0 \frac{N^k}{k!} \rho^k$ $\quad 0 \le k \le r$

② $P_k = P_0 N^r \frac{(k-r)!}{k!} \binom{N}{k-r} P^k$ $\quad r \le k \le m$

③ $P_k = P_0 N^r \frac{(k-r)!}{m!} \binom{N}{k-r} m^{m-k} \rho^k$ $\quad m \le k \le N+r$

④ $P_i = 0$ $\quad N+r \le i$

If $r \ge m$

① $P_k = P_0 \frac{N^k}{k!} \rho^k$ $\quad 0 \le k \le m$

② $P_k = P_0 \frac{N^k}{m!} m^{m-k} \rho^k$ $\quad m \le k \le r$

③ $P_k = P_0 \frac{N^k}{m!} m^{m-k} \times (k-r) \binom{N}{k-r} \rho^k$ $\quad r \le k \le N+r$

④ $P_i = 0$ $\quad N+r \le i$

(다) 동작 중지된 시스템의 기대 값 예측

고장난 시스템의 수가 비축 시스템 수를 초과하지 않으면, 시스템은 정상적으로 운용된다. Markov 체인의 상태 k 에서 시스템이 보내는 전체시간 T_k 동안, 즉 정확하게 k 시스템이 동작을 못하는 동안의 시간에서, 취소된 시스템동작 수는 다음과 같다.

$$RS_{Cancelled} = (k-r)\frac{T_k}{t}$$

t 는 한 주기 동작의 정상적인 기간이다.

$(k-r)$의 취소시스템은 그 시간 동안에 $\frac{T_k}{t}$ 동작을 수행한다. 동작시간 T_A 동안에 취소된 동작의 전체 수는 다음과 같다.

$$N_{CT} = \sum_{k=r+1}^{r+N} \frac{(k-r)T_k}{t}$$

큰 수의 강력법칙에 따라서, T_A가 무한대로 가면서, $\frac{T_k}{T_A}$는 확률 P_k 값에 수렴한다. 따라서 같은 기간에 계획 동작 수 N_{PT} 는 다음과 같이 주어진다.

$$\lim_{T\to\infty} \frac{N_{CT}}{T} = \sum_{k=r+1}^{r+N} \frac{(k-r)P_k}{t}$$

$\frac{N_{PT}}{T_A} = \frac{N}{t}$ 노선 상에 N 시스템 각각이 $\frac{T_A}{t}$ 주행을 수행한다. 따라서 취소된 동작의 전체 수의 식과 같은 기간에 계획 동작수의 식으로부터 다음 식이 얻어진다.

$$\lim_{T_t\to\infty} \frac{N_{CT}}{N_{PT}} = \sum_{k=r+a}^{r+N} \frac{(k-r)P_k}{N}$$

위의 식의 오른 쪽은 계획된 시스템 수당 동작 취소된 시스템 평균수를 나타낸다. 그리고 두 번째 평가자 즉 서비스품질의 고유요소 $QS2$ 는 다음과 같이 얻어진다.

$$(QS2) = \lim_{T_t\to\infty} \exp\left(-b\frac{N_{CT}}{N_{PT}}\right) = \exp\left(-b\sum_{k=r+1}^{r+N} \frac{(k-r)P_k}{N}\right)$$

위의 식으로부터 $QS2$는 다음의 요소들에 의해서 결정된다.

- 고유의 신뢰도 λ 및 고유의 유지보수 μ
- 물류요소 r과 m
- 편성 시스템 수 N (확률분포(P_k))

다. 상호교환분석

운용품질 목적은 다음과 같은 것을 수식화하는 것이다.

- 품질목표 QS_{obj}는 주어진다.
- 품질목표 범위는 목표 값을 중심으로 주어진다.

$$QS_a < QS_{obj} < QS_b$$

QS_a값보다 작은 QS값은 페널티를 주고, QS_b값이 QS값보다 크면 보너스를 준다. 궁극적으로 한계 값 $T_i(T_i < QS_a)$는 주어진다. 허용 한계 값에서 서비스 품질 값은 받아들일 수 없고, 전체 서비스 중단이 된다. 최적 값 문제 최소비용으로 어떻게 $QS > QS_a$ 만족하느냐 이구, 어떤 상황에서도 $(T_i > QS)$를 피하는 것이다.

그림 2.24에 표시된 것처럼, 교환변수는 다음과 같다.

- 제작자

① 높은 고유한 신뢰도λ 와 우수한 유지보수μ를 갖는 시스템과 설계를 한다. 이것은 $QS2$에 영향을 미친다.

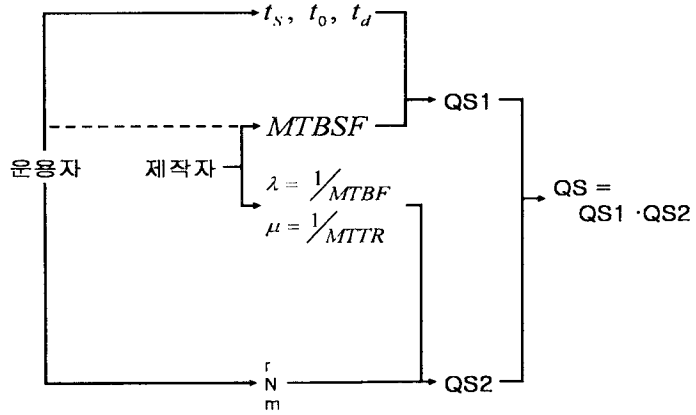
② 우수한 운용신뢰성($MTBSF$)을 갖도록 여분계와 같은 시스템 구조를 선택한다. 이것은 $QS1$에 영향을 미친다.

③ 회복을 짧게 하는 운용정책을 선택한다. 이것은 $QS1$에 영향을 미친다.

④ 운용상 비축시스템 r을 선택한다. 이것은 $QS2$에 영향을 미친다.

⑤ 유지보수 물류와 특히 유지보수 피트 m을 결정한다. 이것은 $QS2$에 영향을 미친다.

같은 결정변수는 LCC에 입력으로 된다. 따라서 비용과 효율성, 많은 부품의 생애주기비용 사이에서 많은 수의 적정교환이 발생한다. 예로서 교환변수는 다음과 같다.



[그림 2.24] 상호교환 변수

(1) 운용과 유지보수비요사이의 적정교환

여분계 장치는 고장에도 불구하고 기능을 유지하기 때문에 서비스 신뢰성을 향상시킨다. 어쨌든 부품이 증가하기 때문에 고유 신뢰성은 감소한다. 운용신뢰도가 높을수록 운용비용은 감소한다. 그러나 이것은 높은 유지보수비용을 지불해야 한다.

(2) 운용서비스품질과 취득비용 사이의 적정교환

운용 비축시스템을 추가함으로서 운용 결항의 백분율을 감소시킬 수 있다. 동작서비스 품질은 증가시키나, 초기취득비용이 증가한다.

(3) 동작서비스품질과 유지보수비용의 적정교환

많은 동시 수리가능 수는 수리에 필요한 시간을 감소시킬 수 있기 때문에 동작취소의 백분율을 감소시킨다. 그러나 유지보수 비용이 증가한다.

(4) 예방유지보수 및 보전유지보수

부가적으로 계획된 유지보수 신뢰도를 향상시키고, 따라서 보전유지보수비용을 감소시킨다.

부록2. 자동열차제어장치 FMEA

문서명

고속철도기술개발사업

자동열차제어 차상장치 Safety Case

(Safety Case - HSR ATC Onboard System)

본 문서는 한국형고속철도기술개발사업 "열차제어시스템 안정화기술개발(5차년)"의 연구결과물로써, LS산전(주)에서 개발한 자동열차제어(ATC) 차상장치의 Safety Case임. 본 문서는 연구과제 이외의 용도로 사용할 수 없으며, 안전승인을 위한 증빙으로 활용할 수 없다.

목 차

1. 개 요 5
1.1. 목 적 5
1.2. 참고문헌 5
1.3. 약어 및 용어 6
1.4. 적용위험원 7
1.5. 가정 및 제한사항 7
1.6. RAMS목표 7
2. ATC 기능설명 8
3. ATC의 FMEA 10
3.1. PSU의 FMEA 10
3.2. CPU의 FMEA 12
3.3. COM의 FMEA 29
3.4. DISCON_RX의 FMEA 37
3.5. CON_RX의 FMEA 44
3.6. DI의 FMEA 49
3.7. DO의 FMEA 56
4. 서비스지연 및 위험원별 FTA 67
4.1. 서비스지연 FTA 67
4.2. ATC_HD_001의 FTA 70
5. 결 론 71

그림 목차

그림1. ATC 차상장치의 구성도 8
그림2. COM의 구성도 29
그림3. DISCON_RX의 구성도 37
그림4. CON_RX의 구성도 44
그림5. DI의 구성도 49
그림6. DO의 구성도 56

표 목차

표1. ATC 적용 위험원 7
표2. ATC의 RAMS목표 7
표3. ATC의 인터페이스 및 기능 9
표4. PSU의 기능 10
표5. PSU의 FMEA 11
표6. CPU의 기능 12
표7. CPU의 FMEA 13
표8. COM의 인터페이스 및 기능 30
표9. COM의 FMEA 31
표10. DISCON_RX의 인터페이스 및 기능 38
표11. DISCON_RX의 FMEA 39
표12. CON_RX의 인터페이스 및 기능 45
표13. CON_RX의 FMEA 46
표14. DI의 인터페이스 및 기능 50
표15. DI의 FMEA 51
표16. DO의 인터페이스 및 기능 57
표17. DO의 FMEA 58

1. 개 요

본 문서는 한국형고속철도 자동열차제어(ATC) 차상장치 (이하 'ATC')의 Safety Case이다.

본 문서의 각 장들은 다음 사항들을 기술한다.

1장, 본 문서에 목적, 참고문헌, 약어 및 용어, 적용 위험원, 가정 및 제한사항, RAMS목표

2장, ATC의 기능정의

3장, FMEA

4장, 서비스지연 및 위험원별 FTA

5장, 결론

1.1. 목 적

본 문서는 고속철도기술개발사업 "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발"과제에 의해 LS산전(주) 에서 개발한 ATC의 평균서비스불능시간(MTBSF) 및 적용 위험원별 위험측고장률의 완화정도인 안전무결성레벨(SIL)을 고장모드영향분석(FMEA)과 결함트리분석(FTA)을 사용하여 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 참고문헌

본 문서에 적용하는 참고문헌은 다음과 같다.

근거 1 IEC 60812, "Analysis Techniques for System Reliability" - Procedure for FMEA

근거 2 IEC 61025, "Fault Tree Analysis"

1.3. 약어 및 용어

용 어	설 명
ATC	Automatic Train Control
ATS	Automaitec Train Stop
COM	Communication
CON_RX	Continuous Information Receiver Module
CPU	Central Processing Unit
DI	Digital Input
DISCON_RX	Discontinuous Information Receiver Module
DO	Digital Output
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
FTA	Failure Tree Analysis
HBD	Hot Box Detector
HD	Hazard
LRU	Line-side Replaceable Unit
MMI	Man Machine Interface
MTBSF	Mean Time Between Service Failure
MTTR	Mean Time To Repair
PSU	Power Supply Unit
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
SIL	Safety Integrity Level
TCN	Train Control Network
VCB	Vacuum Circuit Breaker
VIN	Velocity Input
VME	Versa Bus Modular Europe

1.4. 적용위험원

위험원(Hazard)은 사고발생의 원인으로써, 설계오류, 결함, 환경요인, 설치오류, 운영오류 등의 다양한 원인에 의해 발생된다.

본 문서에서는 별도의 예비위험원을 수행하지 않으며, 위험원의 발생원인은 장치내부의 결함발생으로 제한하여 표1과 같이 개발자 경험에 의한 전자연동장치의 대표적 위험원을 기준으로 정량적인 발생빈도를 산출한다.

표1. ATC 적용 위험원

위험원ID	위험원
ATC_HD_001	제한속도의 위험측진입에 대한 방호실패

1.5. 가정 및 제한사항

가. ATC 내부의 소프트웨어 오류에 의한 위험원은 본 보고서의 위험원발생원인에서 제외한다.

나. 본 ATC Safety Case는 제작사로부터 제공된 고장률, 수리시간 등의 정량적 데이터를 기준으로 작성되었으며, 제작사가 제공한 데이터의 건전성은 RAMS활동의 범위에 포함되지 않는다.

1.6. RAMS목표

ATC의 RAMS목표는 표2와 같다.

표2. ATC의 RAMS목표

항목	목표
신뢰도	LRU단위 모든고장에 대한 MTBF 100,000시간 이상 ATC의 MTBSF를 정량적으로 산출(KORAIL 차상신호사업의 목표를 근거, 10분이상의 운행지연을 서비스의 상실로 정의)
가용도	신뢰도와 유지보수도 목표에 따라 연동
교정유지보수도	결함에 대한 LRU단위 MTTR 2시간 이내
안전도	적용 위험원에 대하여 SIL 4(발생빈도 10^{-8}/hour 이하)

2. ATC 기능설명

ATC 차상장치는 지상에 설치된 불연속정보안테나와 궤도를 이용한 연속정보를 수신하여 운전상황에 적합한 제동패턴을 생성하여 열차를 과속으로부터 방호한다. 또한, 전차선절연구간, 공사구간, 터널, 교량 등의 운전상황 관련 정보를 처리하여 열차를 안전하게 제어한다.

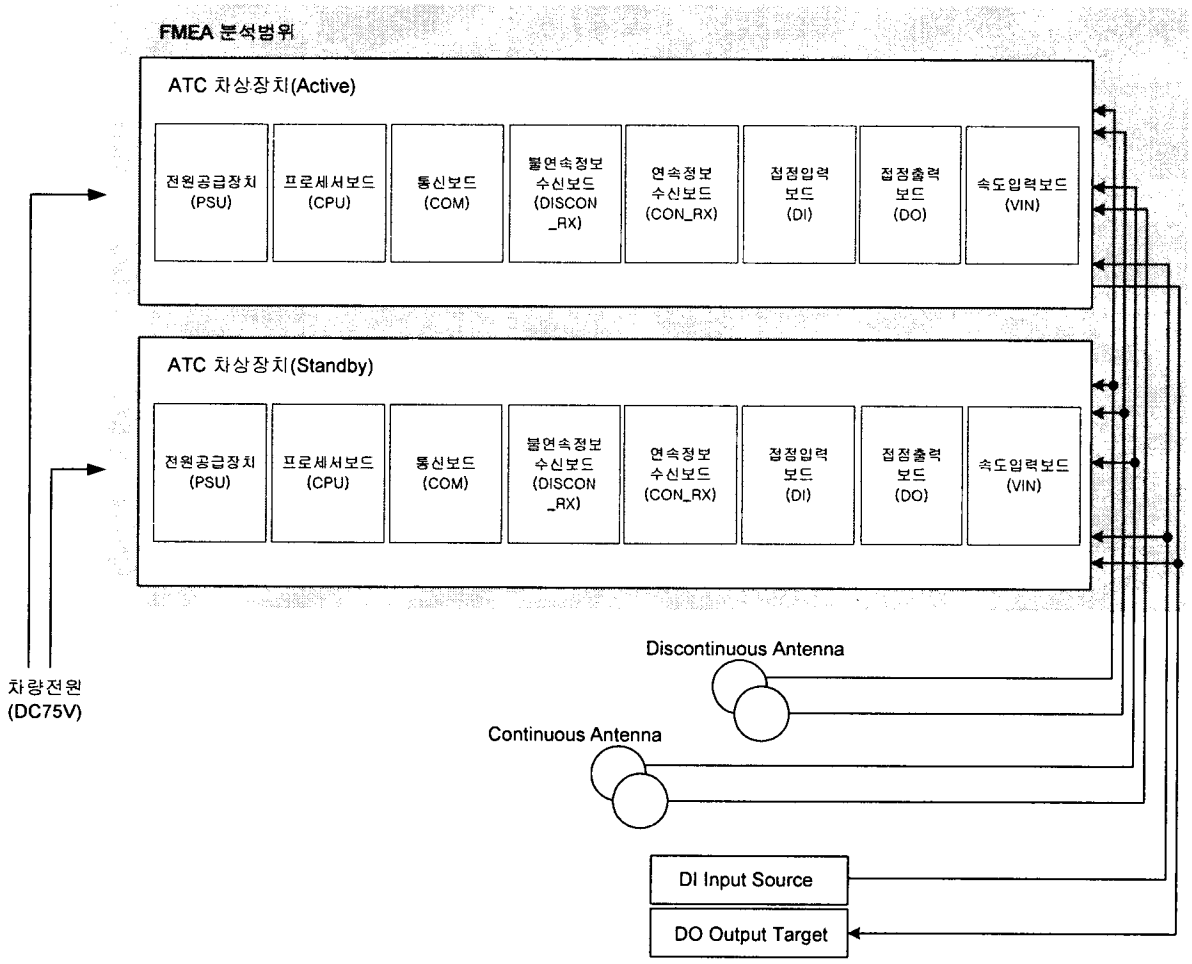


그림1. ATC 차상장치의 구성도

이중계로 구성된 ATC 차상장치는 그림1과 같이 전원공급장치, 프로세서보드, 통신보드, 불연속정보수신보드, 연속정보수신보드, 접점입력보드, 접점출력보드, 속도입력보드의 8개 하부구성요소로 구성되며, 각각의 하부구성요소의 기능은 표3과 같다.

표3. ATC의 인터페이스 및 기능

LRU	입력	출력	기능
PSU	차량	CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN	이중계의 각 단일계별로 설치된 PSU는 차량으로부터 공급된 전원을 사용하여 차상장치의 단일계별 전원공급
CPU	PSU, COM, CON_RX, DI, DO, VIN, TCN	COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, TCN	상용제품으로써 연속/불연속 정보, DI 및 TCN으로 입력되는 정보를 처리하여 열차를 안전하게 방호하기 위한 명령을 발생
COM	CPU, ATS, DISCON_RX	CPU, ATS	ATS 및 DISCON_RX와 시리얼통신 CPU와 VME통신
DISCON_RX	Discontinuous Antenna	COM	불연속안테나로부터 수신된 전기신호를 복호화하여 COM보드를 통해 불연속메시지를 CPU로 송신
CON_RX	Continuous Antenna	CPU	연속안테나로부터 수신된 전기신호를 복호화하여 VME버스를 통해 연속메시지를 CPU로 송신
DI	차량	CPU	판토그래프상태, VCB상태, 비상제동상태, 확인스위치 상태
DO	CPU	차량	판토그래프제어, VCB제어, 비상제동제어
VIN	차량	CPU	열차운행속도 입력

3. ATC의 FMEA

본 ATC의 Safety Case는 표3의 분류에 따라 각 LRU의 내부구성을 고장률로 표현하여 FMEA 를 실시한다.

3.1. PSU의 FMEA

ATC의 전원공급장치는 이중계로 구성된 ATC차상제어기 19" 랙에 각각 설치되어 차량으로부터 공급되는 전원을 변환하여 CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN모듈에 전원을 공급한다. 본 문서의 FMEA에 적용할 ATC 전원공급장치의 표시 및 기능은 표4와 같다.

표4. PSU의 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
PSU	-	λ_{PSU}	차량으로부터 공급되는 전원을 변환하여 CPU, COM, DISCON_RX, CON_RX, DI, DO, VIN모듈에 전원을 공급	2.02E-6

PSU에 대한 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표5와 같다.

표5. PSU의 FMEA

HAZOP Study 대상: PSU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
PSU	-	동작계 ATC랙의 PSU결함으로 전원공급차단	대기계가 동작계의 정지를 인식하여 결함검출	영향없음 (ATC랙 절체)	대기계가 동작계로 절체되면서 결함이 발생한 기존 동작계의 출력을 차단	운행지연	$\lambda_{PSU} X \lambda_{PSU}$	4.08E-12
		대기계 ATC랙의 PSU결함으로 전원공급차단	동작계가 대기계의 정지를 인식하여 결함검출	영향없음	동작계가 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 ATC랙의 PSU결함으로 과전압공급	대기계가 동작계의 오동작으로 결함발생을 검출 (오동작의 결과는 예상불가)	영향없음 (ATC랙 절체)	대기계가 동작계로 절체되면서 결함이 발생한 기존 동작계의 출력을 차단	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{PSU} X \lambda_{PSU}$	4.08E-12
		대기계 ATC랙의 PSU결함으로 과전압공급	동작계가 대기계의 오동작으로 결함발생을 검출 (오동작의 결과는 예상불가)	영향없음	동작계가 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{PSU} X \lambda_{PSU}$	4.08E-12
[기타사항] 1. PSU의 결함 중 결함발생으로 전원공급라인의 단락이 발생하는 결함은 제외.								

3.2. CPU의 FMEA

ATC의 CPU는 이중계로 구성된 ATC차상제어기 19" 랙에 각각 설치되어 다른 하부구성요소로부터 입력된 정보를 처리하여 제어명령을 발생시킨다. 본 FMEA는 CPU의 소프트웨어 고장률은 분석의 범위에서 제외하였으며, 상용보드를 적용한 CPU의 내부기능블럭별 고장률의 정량화가 불가능 하므로, 최악조건을 고려하여 CPU내부의 결함발생은 모두 CPU의 전체 고장률을 적용한다.

표6. CPU의 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
CPU	-	λ_{CPU}	DISCON_RX로부터 COM을 통해 수신된 불연속정보, CON_RX로부터 VME를 통해 수신된 연속정보, VIN, DI 및 COM을 통해 수신된 정보를 바탕으로 운전상황에 적합한 제동패턴을 생성하여 열차를 과속으로부터 방호하고 전차선절연구간, 공사구간, 터널, 교량 등의 운전상황관련 정보를 DO를 사용하여 열차를 안전하게 제어	9.58E-6

CPU에 대한 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표7과 같다.

표7. CPU의 FMEA

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DISCON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가절연구간통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가절연구간통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가절연구간과 관계없는 곳을 운영시 절연구간예고 또는 실행신호 수신	VCB차단 후 복귀 (복귀는 예고(실행)신호 수신시 절연구간정보를 근거)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 이상 없음)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가절연구간과 관계없는 곳을 운영시 절연구간예고 또는 실행신호 수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DISCON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가가선변경구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음 (ATC랙 절체)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 물리적 손실예상)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가가선변경구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가가선변경구간과 관계없는 곳을 운영시 가선변경구간예고 또는 실행신호 수신	판토그래프차단 (복귀는 기관사 수동복귀)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가가선변경구간과 관계없는 곳을 운영시 가선변경구간예고 또는 실행신호 수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가터널진출입구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음	승객 및 승무원의 이명현상 있을 수 있으나 운행에는 영향없음	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가터널진출입구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU 의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU의 결함은 대기계 CPU가 검출하고, COM결함은 CPU가 검출	영향없음	승객 및 승무원의 이명현상 있을 수 있으나 운행에는 영향없음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DISCON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가터널진출입구간과 관계없는 곳을 운영시 터널진출입구간 신호 수신	차량기밀장치제어관련 오류정보 전송	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가터널진출입구간과 관계없는 곳을 운영시 터널진출입구간 신호 수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가ATC/ATS전환구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU의 간헐결함발생으로 ATS구간 진출시에 발생하면 ATS구간종단의 정지신호를 ATS가 수신하여 비상제동 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	운행지연	CPU 간헐결함에 대해서는 ATS구간 종단의 정지신호에 의해 결함소멸시 비상제동 CPU 영구결함에 대해서는 대기계가 결함검출	운행지연	λ_{CPU} X λ_{CPU}	9.18E-11
			CPU의 간헐결함발생으로 ATC구간 진출시에 발생하면 ATC연속정보가 입력되지 않아 비상제동 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	운행지연	CPU 간헐결함에 대해서는 ATC구간에서 불연속정보가 입력되지 않으므로 결함소멸시 속도제한 CPU 영구결함에 대해서는 대기계가 결함검출	운행지연	λ_{CPU} X λ_{CPU}	9.18E-11

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DISCON_RX 처리	대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가ATC/ATS전환 구간 통과시 정보입력이 않됨	CPU의 간헐결함발생으로 ATS 구간 진출시에 발생하면 ATS구간종단의 정지신호를 ATS가 수신하여 비상제동 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU 간헐결함에 대해서는 ATS구간 종단의 정지신호에 의해 결함소멸시 비상제동 CPU 영구결함에 대해서는 동작계가 결함검출	영향없음	N/A	N/A
			CPU의 간헐결함발생으로 ATC 구간 진출시에 발생하면 ATC 연속정보가 입력되지 않아 비상제동 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU 간헐결함에 대해서는 ATC구간에서 불연속정보가 입력되지 않으므로 결함소멸시 속도제한 CPU 영구결함에 대해서는 동작계가 결함검출	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가ATC/ATS전환 구간과 관계없는 곳을 운영시 ATC/ATS전환구간 신호 수신	CPU의 간헐결함발생으로 ATS 구간 진출신호를 인식하면 ATC로 전환 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	운행지연	CPU 간헐결함에 대해서는 ATC구간에서 불연속정보가 입력되지 않으므로 결함소멸시 비상제동 CPU 영구결함에 대해서는 대기계가 결함검출	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
			CPU의 간헐결함발생으로 ATC 구간 진출신호를 인식하면 ATS로 전환 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	ATS모드 전환후 최초신호기가 없으므로 ATS에 의해 속도제한으로 운행	운행지연 (과업범위에서 제외)	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DISCON_RX 처리	대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 열차가ATC/ATS전환 구간과 관계없는 곳을 운영시 ATC/ATS전환구간 신호 수신	CPU의 간헐결함발생으로 ATS 구간 진출신호를 인식하면 ATC로 전환 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU 간헐결함에 대해서는 ATC구간에서 불연속정보가 입력되지 않으므로 결함소멸시 비상제동 CPU 영구결함에 대해서는 동작계가 결함검출	영향없음	N/A	N/A
			CPU의 간헐결함발생으로 ATC 구간 진출신호를 인식하면 ATS로 전환 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	ATS모드 전환후 최소신호기가 없으므로 ATS에 의해 속도제한으로 운행	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 차축온도 정상시 HBD정보과 수신	CPU의 간헐결함발생으로 HBD 정보가 수신되면 경보실행 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	기관사 판단에 따름	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 차축온도 정상시 HBD정보과 수신	CPU의 간헐결함발생으로 HBD 정보가 수신되도 영향없음 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	기관사 판단에 따름	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 차축온도과열시 HBD정보수신 실패	CPU의 간헐결함발생으로 HBD 정보가 수신되면 과온검지실패 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관 측지점에 따라 억제 영구결함은 계절체발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DISCON_RX 관련 기능 중 차축온도과열시 HBD정보수신 실패	CPU의 간헐결함발생으로 HBD 정보가 수신되면 과온검지실패 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관 측지점에 따라 억제 영구결함은 계절체발생	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	CON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 제한속도의 위험측수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	λ_{CPU} X λ_{CPU}	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 제한속도의 위험측수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 제한속도의 안전측수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	운행지연	λ_{CPU} X λ_{CPU}	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 제한속도의 안전측수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	CON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 구배정보의 위험측(하구배)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 구배정보의 위험측(하구배)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 구배정보의 안전측(상구배)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 구배정보의 안전측(상구배)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	CON_RX 처리	동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 폐색구간 길이의 위험측 (실제보다 길게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절제 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 폐색구간 길이의 위험측 (실제보다 길게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 폐색구간 길이의 안전측 (실제보다 짧게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절제 발생	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 CON_RX관련 기능 중 폐색구간 길이의 안전측 (실제보다 짧게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	VIN 처리	동작계 CPU결함으로 VIN관련 기능 중 열차운행속도의 위험측(실제보다 느리게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 VIN관련 기능 중 열차운행속도의 위험측(실제보다 느리게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 VIN관련 기능 중 열차운행속도의 안전측(실제보다 빠르게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU에 내장된 소프트웨어의 정보여분을 이용한 중복확인 영구결함은 계절체 발생	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{CPU}$	9.18E-11
		대기계 CPU결함으로 VIN관련 기능 중 열차운행속도의 안전측(실제보다 빠르게)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계의 연산결과는 운영에 반영되지 않음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DI 처리	동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 상승된 판토상태를 하강으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 상승된 판토가 하강으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토의 상승은 기관사에 의한 수동) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 상승된 판토상태를 하강으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 상승된 판토가 하강으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토의 상승은 기관사에 의한 수동) CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 하강된 판토상태를 상승으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 하강된 판토가 상승으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토하강은 판토상태와 무관하게 명령) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 하강된 판토상태를 상승으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 하강된 판토가 상승으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토하강은 판토상태와 무관하게 명령) CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DI 처리	동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 개방된 VCB상태를 연결로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 개방된 VCB가 연결로 인식되어도 영업운전에 영향없음 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 개방된 VCB상태를 연결으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 개방된 VCB가 연결로 인식되어도 영업운전에 영향없음 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 연결된 VCB상태를 개방으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 연결된 VCB가 개방으로 인식되어도 영업운전에 영향없음 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 연결된 VCB상태를 개방으로 수신	CPU의 간헐결함발생으로 연결된 VCB가 개방으로 인식되어도 영업운전에 영향없음 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DI 처리	동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 제동의 위험측(완해되었으나 제동으로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 제동의 위험측(완해되었으나 제동으로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 제동의 안전측(제동을 완해로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 제동의 안전측(제동을 완해로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생은 연속정보의 주기적수집 및 정보여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DI 처리	동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 확인스위치의 위험측(기관사가 취급하지 않은 상태를 취급으로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 위험측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 확인스위치의 위험측(기관사가 취급하지 않은 상태를 취급으로 인식)수신	CPU의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 위험측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 확인스위치의 안전측(기관사의 취급을 누락)수신	CPU의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 안전측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CPU결함으로 DI관련 기능 중 확인스위치의 안전측(기관사의 취급을 누락)수신	CPU의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 안전측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DO 처리	동작계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 판토제어의 위험측(하강요구시 실행불능)명령	CPU의 간헐결함발생으로 판토그래프제어의 위험측동작(자기검사 프로세서의 결함검출) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치에 의해 계절체 발생	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{DO}$	8.88E-11
		대기계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 판토제어의 위험측(하강요구시 실행불능)명령	간헐결함은 억제됨 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 VCB제어의 위험측(개방요구시 연결을 지속)명령	CPU의 간헐결함발생으로 VCB그래프제어의 위험측동작(자기검사 프로세서의 결함검출) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치에 의해 계절체 발생	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{DO}$	8.88E-11
		대기계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 VCB제어의 위험측(개방요구시 연결을 지속)명령	간헐결함은 억제됨 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 VCB제어의 안전측(연결요구시 개방을 지속)명령	CPU의 간헐결함발생으로 VCB제어의 안전측동작(자기검사 프로세서의 결함검출) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치에 의해 계절체 발생	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{DO}$	8.88E-11
		대기계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 VCB제어의 안전측(연결요구시 개방을 지속)명령	간헐결함은 억제됨 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CPU

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	DO 처리	동작계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 비상제동제어의 위험측(제동요구시 실행실패)명령	CPU의 간헐결함발생으로 비상제동제어의 위험측동작(자기검사 프로세서의 결함검출) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치에 의해 계절체 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{CPU} X \lambda_{DO}$	8.88E-11
		대기계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 비상제동제어의 위험측(제동요구시 실행실패)명령	간헐결함은 억제됨 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 비상제동제어의 안전측(제동이 요구되지 않는 상태에서 비상제동)명령	CPU의 간헐결함발생으로 비상제동제어의 안전측동작(자기검사 프로세서의 결함검출) CPU의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치에 의해 계절체 발생	운행지연	$\lambda_{CPU} X \lambda_{DO}$	8.88E-11
		대기계 CPU결함으로 DO관련 기능 중 비상제동제어의 안전측(제동이 요구되지 않는 상태에서 비상제동)명령	간헐결함은 억제됨 CPU의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

[기타사항]
1. 불연속정보는 절연구간 예고 및 실행, 가선변경구간 예고 및 실행, 터널 입출력, ATC/ATS전환구간, HBD로부터 수신정보.
2. 연속정보는 제한속도(다음구간 진입), 구배, 선로정보(예 경부 등), 폐색구간 길이.
3. 지상 불연속루프를 열차가 통과시 불연속정보가 입력되지 않는 고장은 분석에서 제외.
4. VCB Cut-off를 수행하지 않고 판토그래프를 하강하면 차량전장품의 전기적 손실예상.
5. 열차의 운행속도를 수집하는 VIN은 차량으로부터 물리적으로 3중화된 신호를 비교하여 처리.

HAZOP Study 대상: CPU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
6. DI는 판토상태, VCB상태, 비상제동상태, 확인스위치상태 입력 7. DO는 판토제어, VBC제어, 비상제동상태 출력 8. 판토제어는 하강은 ATC에 의한 자동, 상승은 기관사에 의한 수동. 9. 확인스위치는 제한속도초과시 발생하는 경보를 해제할 목적으로 기관사가 마스콘을 제동취급한 상태에서 확인스위치 취급해야 경보해제(경보해제되어도 ATC방호기능 유지) 10. CPU의 TCN관련 인터페이스는 영업운전에 영향이 없으므로 분석의 범위에서 제외. 11. 간헐결함은 약 30ms이내 동안 결함상태를 유지하는 상태이며, 이를 초과하는 결함상태는 영구결함.								

3.3. COM의 FMEA

COM은 그림2와 같이 구성된다.

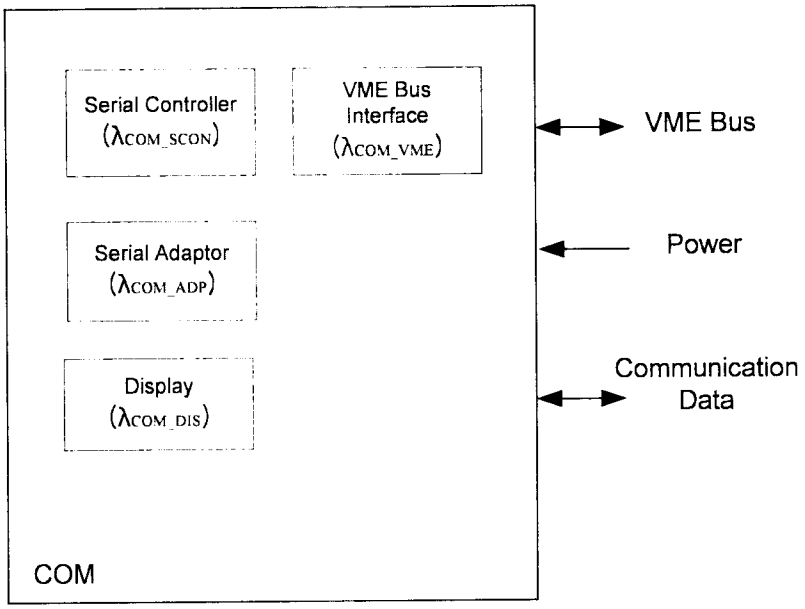


그림2. COM의 구성도

그림2의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표8과 같다.

표8. COM의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
COM	Serial Controller	λ_{COM_SCON}	Serial Adaptor로부터 수신된 디지털 신호를 VME Bus Interface로 전송하고, VME Bus Interface로부터 수신된 정보를 Serial Adaptor로 전달	3.44E-6
	VME Bus Interface	λ_{COM_VME}	CPU와 Serial Controller의 데이터 송수신	1.53E-6
	Serial Adaptor	λ_{COM_ADP}	DISCON_RX 및 ATS로부터 수신된 전기적 신호를 Serial Controller로 전달하고, Serial Controller로부터 수신된 전기적 신호를 ATS로 전달	1.15E-6
	Display	λ_{COM_DIS}	COM의 상태표시	3.80E-7
LRU		λ_{COM}		6.49E-6

그림2의 COM을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표9와 같다.

표9. COM의 FMEA

HAZOP Study 대상: COM							소요시간:	
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				회의일시:	
참여구성원:								
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 ATS의 오류정보를 ATS로 송신	간헐결함에 의해 COM이 ATS로 전송하는 데이터에 오류가 포함되면 ATS에서 오류검출하여 결함억제 영구결함에 의한 통신불능은 ATS 및 동작계 CPU에 의해 검지	영향없음 (ATC계절체 수행)	ATS내부의 정보여분에 의한 결함검출 및 억제로 안전측동작 확보 영구결함은 DO에 의해 계절체 수행	운행지연 (ATS장애는 사업범위에서 제외)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 ATS의 오류정보를 ATS로 송신	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되므로 발생된 간헐결함은 자연소멸 영구결함에 의한 통신불능은 ATS 및 대기계 CPU에 의해 검지	영향없음	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되어 대기계결함을 격리	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 ATS로부터 오류정보를 수신	간헐결함에 의해 COM이 ATS로부터 전송된 데이터에 오류가 포함되면 CPU에서 오류검출하여 결함억제 영구결함에 의한 통신불능은 동작계 CPU에 의해 검지	영향없음 (ATC계절체 수행)	동작계 CPU의 결함검출 및 억제로 안전측동작 확보 영구결함은 DO에 의해 계절체 수행	운행지연 (ATS장애는 사업범위에서 제외)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 ATS로부터 오류정보를 수신	간헐결함에 의해 COM이 ATS로부터 전송된 데이터에 오류가 포함되면 CPU에서 오류검출하여 결함억제 영구결함에 의한 통신불능은 동작계 CPU에 의해 검지	영향없음	대기계 COM의 결함은 대기계 CPU가 검출하여 안전측확보	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: COM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(절연구간 데이터수신실패)정보수신	동작계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(절연구간 데이터수신실패)정보수신	대기계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(가선변경구간 데이터수신실패)정보수신	동작계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 물리적 손실예상)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(가선변경구간 데이터수신실패)정보수신	대기계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(터널진출입 데이터수신실패)정보수신	동작계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: COM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(터널진출입 데이터수신실패)정보수신	대기계 COM의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(ATC/ATS전환구간 데이터수신실패)정보수신	동작계 COM의 결함발생으로 ATC/ATS전환구간 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(ATC/ATS전환구간 데이터수신실패)정보수신	대기계 COM의 결함발생으로 ATC/ATS전환구간 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(HBD경보 데이터수신실패)정보수신	동작계 COM의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신지 않으면 경보하지 않음 COM의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	COM의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관측지점에 따라 억제 CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 위험측(HBD경보 데이터수신실패)정보수신	대기계 COM의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신지 않으면 경보하지 않음 COM의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	COM의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관측지점에 따라 억제 CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: COM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 절연구간 데이터수신)정보수신	VCB차단 후 복귀 (복귀는 예고(실행)신호 수신시 절연구간정보를 근거)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 이상 없음)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 절연구간 데이터수신)정보수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 가선변경구간 데이터수신)정보수신	판토그래프차단 (복귀는 기관사 수동복귀)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$(\lambda_{COM\_SCON} + \lambda_{COM\_VME} + \lambda_{COM\_ADP}) \times \lambda_{DO}$	5.67E-11
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 가선변경구간 데이터수신)정보수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: COM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 터널진출입 데이터 수신)정보수신	차량기밀장치제어관련 오류정보 전송	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 터널진출입 데이터 수신)정보수신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A
		동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 ATC/ATS전환구간 데이터수신)정보수신	동작계 COM의 결함발생으로 전환구간과 관계없는 곳에서 ATC/ATS전환 정보입력되면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 ATC/ATS전환구간 데이터수신)정보수신	대기계 COM의 결함발생으로 전환구간과 관계없는 곳에서 ATC/ATS전환 정보입력되면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: COM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
COM	Serial Controller / VME Bus Interface / Serial Adaptor	동작계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 HBD경보 데이터수신)정보수신	COM의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신되면 경보실행 COM의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 Serial Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Serial Adaptor 결함으로 DISCON_RX의 안전측(불연속수신 없는 상태에서 HBD경보 데이터수신)정보수신	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되므로 영향없음 COM의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태 감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
	VME Bus Interface	동작계 COM의 VME Bus Interface 결함으로 동작계 ATC 랙 VME Bus데이터가 오염	동작계 COM의 간헐 또는 영구 결함으로 VME버스에 오류가 포함되면 동작계 CPU가 검지	영향없음 (ATC계절체 수행)	동작계 CPU의 VME Bus Error 검지기능에 의해 결함검출	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 VME Bus Interface 결함으로 동작계 ATC 랙 VME Bus데이터가 오염	대기계 COM의 간헐 또는 영구 결함으로 VME버스에 오류가 포함되면 대기계 CPU가 검지	영향없음	대기계 CPU의 VME Bus Error 검지기능에 의해 결함검출	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 COM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 COM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A

[기타사항]
1. COM보드는 ATS로 신호현시선택, 운행모드선택(공사구간 등), ATS활성화 명령(비활성화도 동일한 통신포트사용)를 송신
2. COM보드는 ATS로부터 열차속도, 신호상태, 절연구간 표시정보, 과속경보, ATS에 의한 비상제동을 입력
3. COM보드의 결함으로 인식되지 않는 간헐결함은 CPU FMEA의 운영시나리오에서 분석하였으므로, COM의 FMEA에서는 물리적 결함만 분석.

3.4. DISCON_RX의 FMEA

DISCON_RX는 그림3과 같이 구성된다.

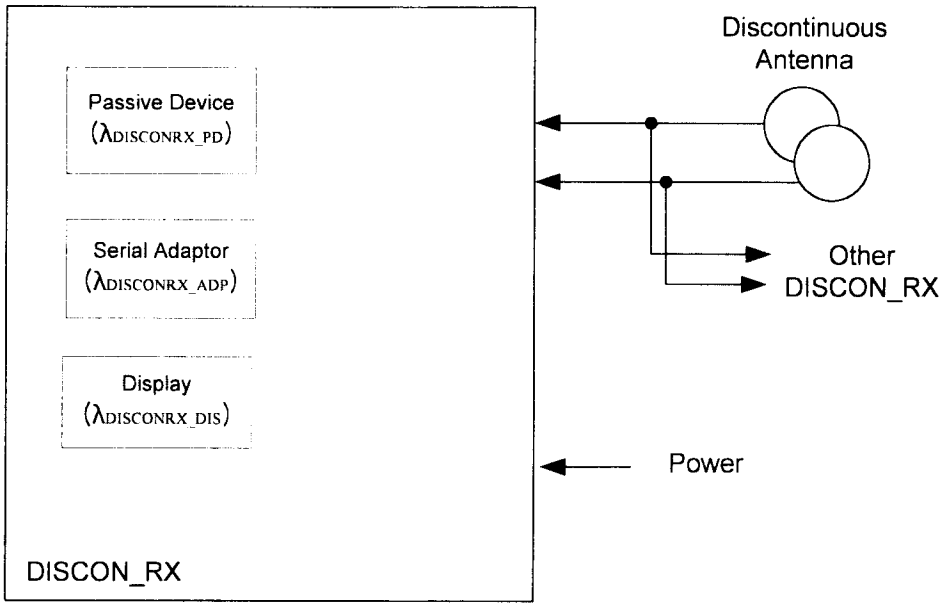


그림3. DISCON_RX의 구성도

그림3의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표10과 같다.

표10. DISCON_RX의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
DISCON_RX	Passive Device	$\lambda_{DISCONRX\_PD}$	Discontinous Antenna로부터 수신된 전기신호를 복조하여 Serial Adaptor로 전송	4.81E-6
	Display	$\lambda_{DISCONRX\_DIS}$	DISCON_RX의 상태표시	9.60E-7
	Serial Adaptor	$\lambda_{DISCONRX\_ADP}$	Passive Device로부터 입력된 신호를 COM으로 전송	2.89E-6
LRU		$\lambda_{DISCONRX}$		8.66E-6

그림3의 DISCON_RX을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표11과 같다.

표11. DISCON_RX의 FMEA

HAZOP Study 대상: DISCON_RX								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DISCON_RX	Passive Device / Serial Adaptor	동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(절연구간 데이터수신실패)정보송신	동작계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{DISCONRX} X \lambda_{CPU}$	8.30E-11
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(절연구간 데이터수신실패)성보송신	대기계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(가선변경구간 데이터수신실패)정보송신	동작계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 물리적 손실예상)	$\lambda_{DISCONRX} X \lambda_{CPU}$	8.30E-11
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(가선변경구간 데이터수신실패)정보송신	대기계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(터널진출입 데이터수신실패)정보송신	동작계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(터널진출입 데이터수신실패)정보송신	대기계 DISCON_RX의 결함발생으로 지상의 불연속루프 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DISCON_RX

참조도면번호:	갱신번호: V1.0	소요시간:
참여구성원:		회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DISCON_RX	Passive Device / Serial Adaptor	동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(ATC/ATS전환구간 데이터수신실패)정보송신	동작계 DISCON_RX의 결함발생으로 ATC/ATS전환구간 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(ATC/ATS전환구간 데이터수신실패)정보송신	대기계 DISCON_RX의 결함발생으로 ATC/ATS전환구간 통과시 정보입력이 되지않으면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(HBD경보 데이터수신실패)정보송신	동작계 DISCON_RX의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신지 않으면 경보하지 않음 COM의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	DISCON_RX의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관측지점에 따라 억제 CPU의 COM보드 주기적 상태감시(DISCON_RX의 오류는 COM데이터의 오류와 동일) 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 위험측(HBD경보 데이터수신실패)정보송신	대기계 DISCON_RX의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신지 않으면 경보하지 않음 COM의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	DISCON_RX의 간헐결함에 의한 오류는 주기적으로 설치된 HBD관측지점에 따라 억제 CPU의 COM보드 주기적 상태감시(DISCON_RX의 오류는 COM데이터의 오류와 동일) 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DISCON_RX			
참조도면번호:	갱신번호: V1.0	소요시간:	
참여구성원:		회의일시:	

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DISCON_RX	Passive Device / Serial Adaptor	동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 절연구간 데이터수신)정보송신	VCB차단 후 복귀 (복귀는 예고(실행)신호 수신시 절연구간정보를 근거)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 이상 없음)	$\lambda_{DISCONRX} \times \lambda_{CPU}$	8.30E-11
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 절연구간 데이터수신)정보송신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 가선변경구간 데이터수신)정보송신	판토그래프차단 (복귀는 기관사 수동복귀)	운행지연	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$\lambda_{DISCONRX} \times \lambda_{CPU}$	8.30E-11
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 가선변경구간 데이터수신)정보송신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 터널진출입 데이터수신)정보송신	차량기밀장치제어관련 오류정보 전송	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DISCON_RX

참조도면번호:	갱신번호: V1.0	소요시간:
참여구성원:		회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DISCON_RX	Passive Device / Serial Adaptor	대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 터널진출입 데이터 수신)정보송신	대기계의 출력은 동작계가 차단하므로 결함발생은 격리됨 (영향없음)	영향없음	차량기밀장치는 사업의 범위를 벗어남	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 ATC/ATS전환구간 데이터수신)정보송신	동작계 DISCON_RX의 결함발생으로 전환구간과 관계없는 곳에서 ATC/ATS전환 정보입력되면 CPU가 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 ATC/ATS전환구간 데이터수신)정보송신	대기계 DISCON_RX의 결함발생으로 전환구간과 관계없는 곳에서 ATC/ATS전환 정보입력되면 CPU가 검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 HBD경보 데이터수신)정보송신	동작계 DISCON_RX의 간헐결함발생으로 HBD정보가 수신되면 경보실행 COM의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Passive Device 또는 Serial Adaptor 결함으로 COM으로 안전측(불연속수신 없는 상태에서 HBD경보 데이터수신)정보송신	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되므로 영향없음 COM의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음	CPU의 COM보드 주기적 상태감시 및 동작계와 대기계 CPU의 주기적 상태감시	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DISCON_RX								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DISCON_RX	Display	동작계 DISCON_RX의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DISCON_RX의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
[기타사항] 1. DISCON_RX의 오류는 COM데이터의 오류와 동일. DISCON_RX 또는 COM중 어느 하나라도 결함이 발생하면 CPU에 의해 결함검출.								

3.5. CON_RX의 FMEA

CON_RX는 그림4와 같이 구성된다.

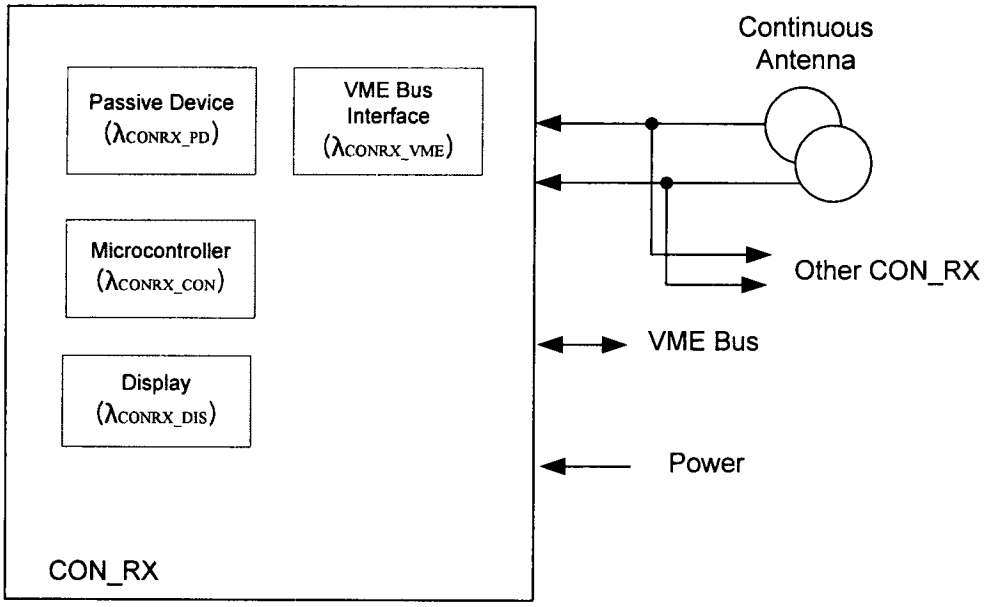


그림4. CON_RX의 구성도

그림4의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표12와 같다.

표12. CON_RX의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
CON_RX	Passive Device	λ_{CONRX_PD}	Continous Antenna로부터 수신된 전기신호를 복조하여 Microcontroller로 전송	1.68E-6
	VME BUS Interface	λ_{CONRX_VME}	Microcontroller에 처리된 연속정보를 CPU로 전송	1.26E-6
	Microcontroller	λ_{CONRX_CON}	Passive Device에서 수신된 디지털신호를 데이터처리하여VME BUS Interface로 전송	4.21E-6
	Display	λ_{CONRX_DIS}	CON_RX의 상태표시	4.20E-7
LRU		λ_{CONRX}		7.58E-6

그림4의 CON_RX을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표13과 같다.

표13. CON_RX의 FMEA

HAZOP Study 대상: CON_RX								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CON_RX	Passive Device	동작계 CON_RX의 Passive Device 결함으로 유효하지 않은 데이터를 Microcontroller로 송신	동작계 CON_RX 내부의 Microcontroller에서 전문의 무결성을 확인하여 오류를 검출	영향없음	간헐결함은 억제되며, 영구결함은 Microcontroller가 결함을 억제하여 CPU로 정보를 송신하지 못하므로, CPU가 결함을 검지	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 CON_RX의 Passive Device 결함으로 유효하지 않은 데이터를 Microcontroller로 송신	대기계 CON_RX 내부의 Microcontroller에서 전문의 무결성을 확인하여 오류를 검출	영향없음	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되며, 대기계의 고장은 동작계로 정보만 제공	영향없음	N/A	N/A
	VME Bus Interface	동작계 CON_RX의 VME Bus Interface 결함으로 동작계 ATC 랙 VME Bus데이터가 오염	동작계 CPU가 간헐결함과 영구결함을 모두 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(계절체 수행) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(계절체 수행)	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 CON_RX의 VME Bus Interface 결함으로 동작계 ATC 랙 VME Bus데이터가 오염	대기계 CPU가 간헐결함과 영구결함을 모두 검출	영향없음	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고)	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CON_RX								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CON_RX	Micro-controller	동작계 CON_RX의 Microcontroller 결함으로 제한속도의 위험측(실제 제한속도보다 높게)정보를 VME Bus Interface로 송신	동작계 CON_RX 내부의 Microcontroller 간헐결함은 주기적으로 갱신되는 정보에 의해 자동무시 영구결함은 CPU에 의해 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(계절체 수행) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(계절제 수행)	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 CON_RX의 Microcontroller 결함으로 제한속도의 위험측(실제 제한속도보다 높게)정보를 VME Bus Interface로 송신	대기계 CON_RX 내부의 Microcontroller 간헐결함은 주기적으로 갱신되는 정보에 의해 자동무시 영구결함은 CPU에 의해 검출	영향없음	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고)	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CON_RX의 Microcontroller 결함으로 제한속도의 안전측(실제 제한속도보다 낮게)정보를 VME Bus Interface로 송신	동작계 CON_RX 내부의 Microcontroller 간헐결함은 주기적으로 갱신되는 정보에 의해 자동무시 영구결함은 CPU에 의해 검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(계절체 수행) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(계절체 수행)	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: CON_RX								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CON_ RX	Micro-controller	대기계 CON_RX의 Microcontroller 결함으로 제한속도의 안전측(실제 제한속도보다 낮게)정보를 VME Bus Interface로 송신	대기계 CON_RX 내부의 Microcontroller 간헐결함은 주기적으로 갱신되는 정보에 의해 자동무시 영구결함은 CPU에 의해 검출	영향없음	간헐결함은 VME를 통해 CPU로 수신된 데이터테이블의 정보여분을 이용하여 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고) 영구결함은 CPU가 CON_RX의 상태를 지속적으로 감시하므로 결함을 검출(동작계에 대기계상태 보고)	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 CON_RX의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 CON_RX의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
[기타사항] 1. CON_RX은 약 2sec간격으로 연속안테나의 FSK신호를 복조하여 결과를 CPU로 제공하기 위한 메모리에 업데이트. 2. CPU는 연속정보의 수집을 위한 CON_RX의 메모리값을 30ms이하의 간격으로 업데이트.								

3.6. DI의 FMEA

DI는 그림5와 같이 구성된다.

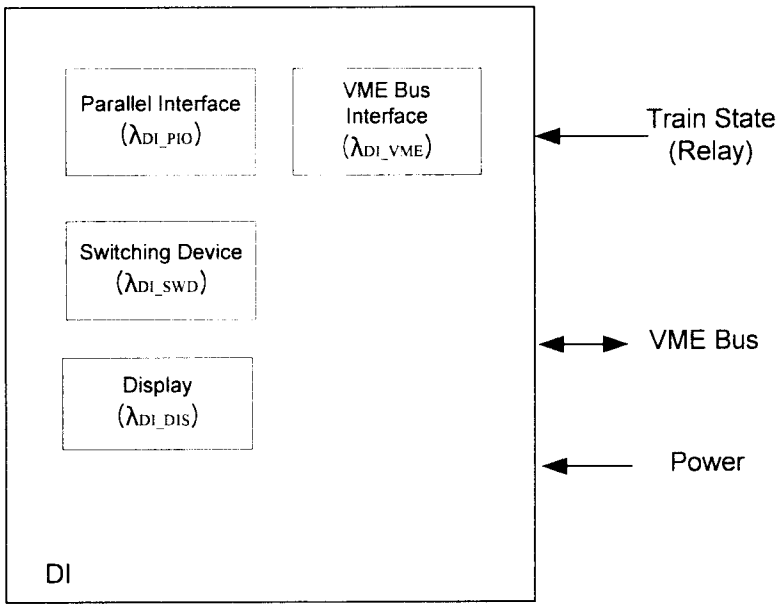


그림5. DI의 구성도

그림5의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표14와 같다.

표14. DI의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
DI	Parallel Interface	λ_{DI_PIO}	Switching Device의 접점신호를 Memory Mapped 형태로 엔코딩	2.74E-6
	VME BUS Interface	λ_{DI_VME}	Parallel Interface의 Memory Mapped 데이터를 VME버스를 통해 CPU로 전송	1.83E-6
	Switching Device	λ_{DI_SWD}	열차상태에 따른 계전기 조건을 입력받아 Parallel Interface로 전송	3.20E-6
	Display	λ_{DI_DIS}	DI의 상태표시	4.60E-7
LRU		λ_{DI}		8.22E-6

그림5의 DI를 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표15와 같다.

표15. DI의 FMEA

HAZOP Study 대상: DI								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DI	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 판토상태를 CPU로 오류송신(상승된 판토를 하강으로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 상승된 판토가 하강으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토의 상승은 기관사에 의한 수동) 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 판토상태를 CPU로 오류송신(상승된 판토를 하강으로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 상승된 판토가 하강으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토의 상승은 기관사에 의한 수동) 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 판토상태를 CPU로 오류송신(하강된 판토를 상승으로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 하강된 판토가 상승으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토하강은 판토상태와 무관하게 명령) 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DI

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DI	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 판토상태를 CPU로 오류송신(하강된 판토를 상승으로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 하강된 판토가 상승으로 인식되어도 영업운전에 영향없음(판토하강은 판토상태와 무관하게 명령) 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 VCB상태를 CPU로 오류송신(연결된 VCB를 개방으로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 연결된 VCB가 개방으로 인식되어도 영업운전에 영향없음 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 VCB상태를 CPU로 오류송신(연결된 VCB를 개방으로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 연결된 VCB가 개방으로 인식되어도 영업운전에 영향없음 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 VCB상태를 CPU로 오류송신(개방된 VCB를 연결로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 개방된 VCB가 연결로 인식되어도 영업운전에 영향없음 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 VCB상태를 CPU로 오류송신(개방된 VCB를 연결로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 개방된 VCB가 연결로 인식되어도 영업운전에 영향없음 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DI								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DI	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 비상제동상태를 CPU로 오류송신(제동을 완해로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 비상제동상태를 CPU로 오류송신(제동을 완해로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 비상제동상태를 CPU로 오류송신(완해를 제동으로 보고)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 비상제동상태를 CPU로 오류송신(완해를 제동으로 보고)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 제동의 위험측입력이 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DI

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DI	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 확인스위치상태를 CPU로 오류송신(기관사 취급을 누락)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 안전측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 확인스위치상태를 CPU로 오류송신(기관사 취급을 누락)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 안전측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 확인스위치상태를 CPU로 오류송신(기관사가 취급하지 않은 상태를 취급으로 인식)	동작계 DI의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 위험측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 동작계 DI의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	제동취급 후 열차운행속도와 제한속도를 지속적으로 비교 영구결함은 계절체 발생	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DI의 Parallel Controller 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device결함으로 확인스위치상태를 CPU로 오류송신(기관사가 취급하지 않은 상태를 취급으로 인식)	대기계 DI의 간헐결함발생으로 확인스위치입력이 위험측 수신되어도 열차의 감속이 수행되지 않으면 제동을 유지 대기계 DI의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DI								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DI	Display	동작계 DI의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DI의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
[기타사항]								

3.7. DO의 FMEA

DO는 그림6과 같이 구성된다.

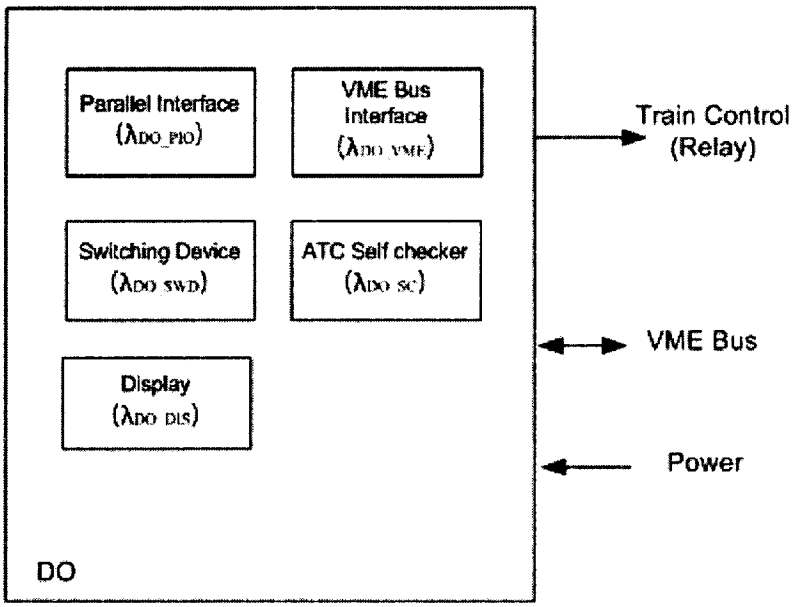


그림6. DO의 구성도

그림6의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표16과 같다.

표16. DO의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
DO	Parallel Interface	λ_{DO_PIO}	VME Bus Interface의 CPU제어명령을 Memory Mapped 형태로 디코딩	2.50E-6
	VME BUS Interface	λ_{DO_VME}	CPU의 Memory Mapped 제어데이터를 VME버스를 통해 Parallel Interface로 전송	1.07E-6
	Switching Device	λ_{DO_SWD}	Parallel Interface로부터 수신된 제어명령에 따라 열차제어를 위한 접점구성	3.92E-6
	Display	λ_{DO_DIS}	DO의 상태표시	3.60E-7
	ATC Self Checker	λ_{DO_SC}	이중계로 구성된 각각의 차상장치의 CPU제어출력검증 및 정상동작을 감시하여 여분관리수행	1.43E-6
LRU		λ_{DO}		9.27E-6

그림6의 DO를 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표17과 같다.

표17. DO의 FMEA

HAZOP Study 대상: DO								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DO	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	동작계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 판토상태를 CPU제어와 반대로 실행(판토하강제어를 수행불능)	동작계 DO의 간헐 또는 영구 결함발생으로 판토그래프제어의 하강제어실패는 DO내부의 ATC Self Checker가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치를 ATC Self Checker가 검지하여 계절체 발생	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$(\lambda_{DO\_PIO}+\lambda_{DO\_VME}+\lambda_{DO\_SWD})X\lambda_{DO\_SC}$	1.07E-11
		대기계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 판토상태를 CPU제어와 반대로 실행(판토하강제어를 수행불능)	간헐결함은 억제됨	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 VCB제어를 오류실행(연결요구시 개방을 지속)	동작계 DO의 간헐 또는 영구 결함발생으로 VCB연결요구실패는 DO내부의 ATC Self Checker가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치를 ATC Self Checker가 검지하여 계절체 발생	운행지연	$(\lambda_{DO\_PIO}+\lambda_{DO\_VME}+\lambda_{DO\_SWD})X\lambda_{DO\_SC}$	1.07E-11
		대기계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 VCB제어를 오류실행(연결요구시 개방을 지속)	간헐결함은 억제됨	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DO								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DO	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	동작계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 VCB제어를 오류실행(개방요구시 연결을 지속)	동작계 DO의 간헐 또는 영구 결함발생으로 VCB개방요구실패는 DO내부의 ATC Self Checker가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치를 ATC Self Checker가 검지하여 계절체 발생	운행지연 (차량에 전기적 손실예상)	$(\lambda_{DO\_PIO}+\lambda_{DO\_VME}+\lambda_{DO\_SWD})X\lambda_{DO\_SC}$	1.07E-11
		대기계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 VCB제어를 오류실행(개방요구시 연결을 지속)	간헐결함은 억제됨	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 제동제어를 오류실행(제동요구시 실행실패)	동작계 DO의 간헐 또는 영구 결함발생으로 제동요구실패는 DO내부의 ATC Self Checker가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치를 ATC Self Checker가 검지하여 계절체 발생	위험원동작 (ATC_HD001)	$(\lambda_{DO\_PIO}+\lambda_{DO\_VME}+\lambda_{DO\_SWD})X\lambda_{DO\_SC}$	1.07E-11
		대기계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 제동제어를 오류실행(제동요구시 실행실패)	간헐결함은 억제됨	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 제동제어를 오류실행(제동이 요구되지 않는 상태에서 비상제동)	동작계 DO의 간헐 또는 영구 결함발생으로 요구하지 않은 제동실행은 DO내부의 ATC Self Checker가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	간헐결함에 의해 제어명령이 수행되지 않아도 반복적인 사이클에 의해 수집된 수신정보와 제어정보의 불일치를 ATC Self Checker가 검지하여 계절체 발생	운행지연	$(\lambda_{DO\_PIO}+\lambda_{DO\_VME}+\lambda_{DO\_SWD})X\lambda_{DO\_SC}$	1.07E-11

HAZOP Study 대상: DO								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DO	Parallel Interface / VME Bus Interface / Switching Device	대기계 DO의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Switching Device 결함으로 CPU의 제동제어를 오류실행(제동이 요구되지 않는 상태에서 비상제동)	간헐결함은 억제됨	영향없음	결함이 발생한 대기계의 출력을 동작계가 차단	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 DO의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DO의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	ATC Self Checker	동작계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 위험측(결함이 발생한 ATC의 결함검출 및 차단실패)동작	결함이 발생한 ATC랙의 계절체 순간에 동작계가 되는 ATC랙의 ATC Self Checker에 결함이 발생하여 기존 고장난 동작계의 출력을 차단하지 못하면 검지할 수 없음	위험원동작	ATC전체의 출력은 예상할수 없음	위험원동작 (ATC_HD001)	$(\lambda_{CPU}+\lambda_{COM}+\lambda_{DISCONRX}+\lambda_{CON\_RX}+\lambda_{DI}+\lambda_{DO}+\lambda_{VIN})X\lambda_{DO\_SC}$	7.48E-11
		대기계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 위험측(결함이 발생한 ATC의 결함검출 및 차단실패)동작	결함이 발생한 기존 동작계와 계절체로 인해 기존 대기계가 동작계로 전환되므로 대기계는 없음.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DO								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
DO	ATC Self Checker	동작계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 정상동작중인 동작계를 고장으로 대기계에게 전송	간헐결함의 경우 대기계 DO의 Self Checker에서 결함억제 영구결함의 경우 절체수행	위험원동작	ATC전체의 출력은 예상할수 없음	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{DO} X \lambda_{DO}$	8.59E-11
		대기계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 정상동작중인 대기계를 고장으로 동작계에게 전송	현상태 유지 (MMI에 대기계 장애현시)	영향없음	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되어 안전측 확보	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 정상동작중인 대기계를 고장으로 수신	현상태 유지 (MMI에 대기계 장애현시)	영향없음	대기계의 출력은 동작계에 의해 차단되어 안전측 확보	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 정상동작중인 동작계를 고장으로 수신	간헐결함의 경우 대기계 DO의 Self Checker에서 결함억제 영구결함의 경우 절체수행	위험원동작	ATC전체의 출력은 예상할수 없음	위험원동작 (ATC_HD001)	$\lambda_{DO} X \lambda_{DO}$	8.59E-11
		동작계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 고장인 동작계를 정상으로 대기계에게 전송	간헐결함의 경우 대기계 DO의 Self Checker에서 결함억제	위험원동작	ATC전체의 출력은 예상할수 없음	위험원동작 (ATC_HD001)	$(\lambda_{CPU}+\lambda_{COM}+\lambda_{DISCONRX}+\lambda_{CON\_RX}+\lambda_{DI}+\lambda_{DO}+\lambda_{VIN}) X \lambda_{DO\_SC}$	7.48E-11
		대기계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 고장인 대기계를 정상으로 동작계에게 전송	현상태 유지 (MMI에도 정상으로 현시)	영향없음	시스템범위에서는 영향없음	영향없음	N/A	N/A
		동작계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 고장인 대기계를 정상으로 수신	현상태 유지 (MMI에도 정상으로 현시)	영향없음	시스템범위에서는 영향없음	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: DO								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
		대기계 DO의 ATC Self Checker의 결함으로 고장인 동작계를 정상으로 수신	간헐결함의 경우 대기계 DO의 Self Checker에서 결함억제	위험원동작	ATC전체의 출력은 예상할수 없음	위험원동작 (ATC_HD001)	$(\lambda_{CPU}+\lambda_{COM}+\lambda_{DISCONRX}+\lambda_{CON\_RX}+\lambda_{DI}+\lambda_{DO}+\lambda_{VIN})X\lambda_{DO\_SC}$	7.48E-11
[기타사항] 1. 판토그래프제어는 하강만 ATC가 수행. 2. 동작계와 대기계는 고속 직렬통신으로 연결되어 서로의 상태를 감시. 3. 계간 상태감시의 논리적 결함발생의 억제는 시변으로 순차변경되는 코드화로 설계되어 ATC Self Checker의 결함으로 인한 데이터고정도 검지. 4. 계간 상태감시의 물리적 결함발생의 억제는 정보여분을 적용한 오류검출기법을 사용하여 간헐 및 영구결함을 검지.								

3.8. VIN의 FMEA

VIN는 그림7과 같이 구성된다.

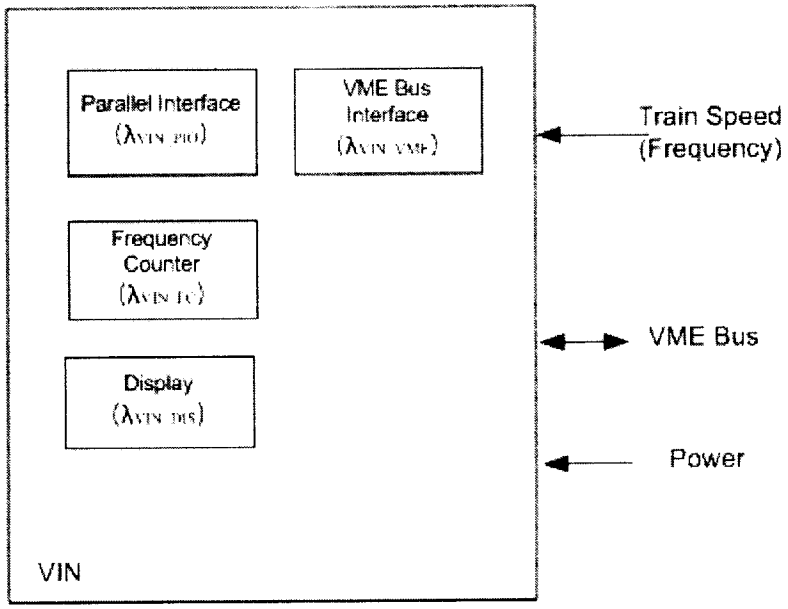


그림7. VIN의 구성도

그림7의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표18과 같다.

표18. VIN의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
VIN	Parallel Interface	λ_{VIN_PIO}	Frequency Counter로부터 수신된 열차속도 카운터값을 CPU로 전송하기 위해 VME Bus Interface로 전송	8.40E-7
	VME BUS Interface	λ_{VIN_VME}	Parallel Interface의 Memory Mapped 데이터를 VME버스를 통해 CPU로 전송	1.17E-6
	Frequency Counter	λ_{VIN_FC}	차량으로부터 수신되는 열차속도 주파수정보를 카운터를 사용하여 데이터를 Parallel Interface로 전송	1.34E-6
	Display	λ_{VIN_DIS}	VIN의 상태표시	1.70E-7
LRU		λ_{VIN}		2.51E-6

그림7의 VIN을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표19와 같다.

표19. VIN의 FMEA

HAZOP Study 대상: VIN								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
VIN	Parallel Interface / VME Bus Interface / Frequency Counter	동작계 VIN의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Frequency Counter 결함으로 열차의 속도를 위험측(실제열차속도보다 느리게)으로 CPU로 전송	동작계 VIN의 간헐결함발생은 동작계 CPU의 주기적검사 및 물리적여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 동작계 VIN의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	동작계 CPU에 의한 결함검출 및 계절체를 통한 허용	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 VIN의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Frequency Counter 결함으로 열차의 속도를 위험측(실제열차속도보다 느리게)으로 CPU로 전송	대기계 VIN의 간헐결함발생은 대기계 CPU의 주기적검사 및 물리적여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 대기계 VIN의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계 CPU에 의한 결함검출	영향없음	N/A	N/A
		동작계 VIN의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Frequency Counter 결함으로 열차의 속도를 안전측(실제열차속도보다 빠르게)으로 CPU로 전송	동작계 VIN의 간헐결함발생은 동작계 CPU의 주기적검사 및 물리적여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 동작계 VIN의 영구결함은 동작계 CPU가 결함검출	영향없음 (ATC계절체 수행)	동작계 CPU에 의한 결함검출 및 계절체를 통한 허용	영향없음 (ATC계절체 수행)	N/A	N/A
		대기계 VIN의 Parallel Intreface 또는 VME Bus Interface 또는 Frequency Counter 결함으로 열차의 속도를 안전측(실제열차속도보다 빠르게)으로 CPU로 전송	대기계 VIN의 간헐결함발생은 대기계 CPU의 주기적검사 및 물리적여분을 이용한 소프트웨어의 결함검출 대기계 VIN의 영구결함은 대기계 CPU가 결함검출	영향없음	대기계 CPU에 의한 결함검출	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: VIN

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

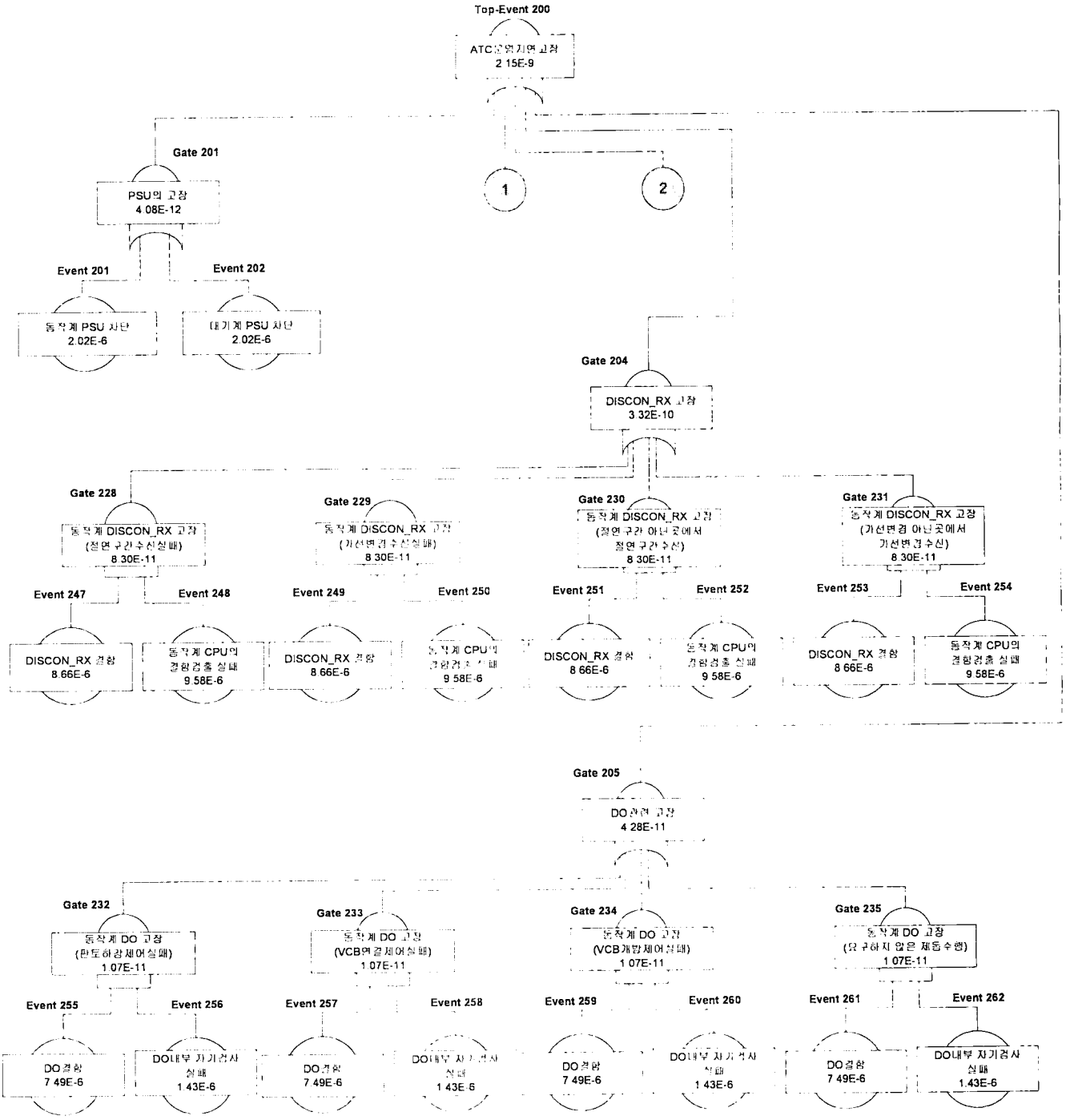
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
VIN	Display	동작계 DO의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 DO의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A

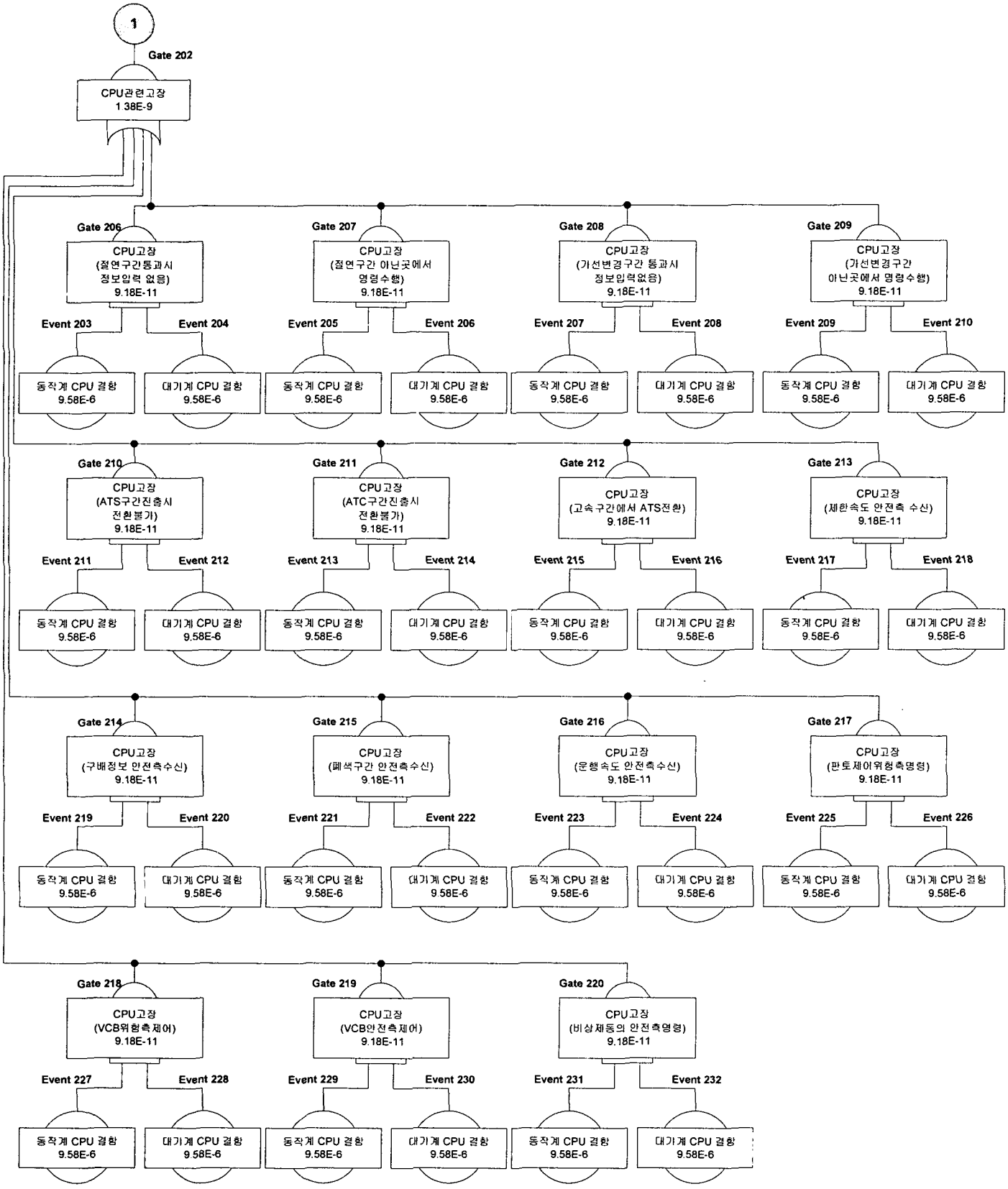
[기타사항]

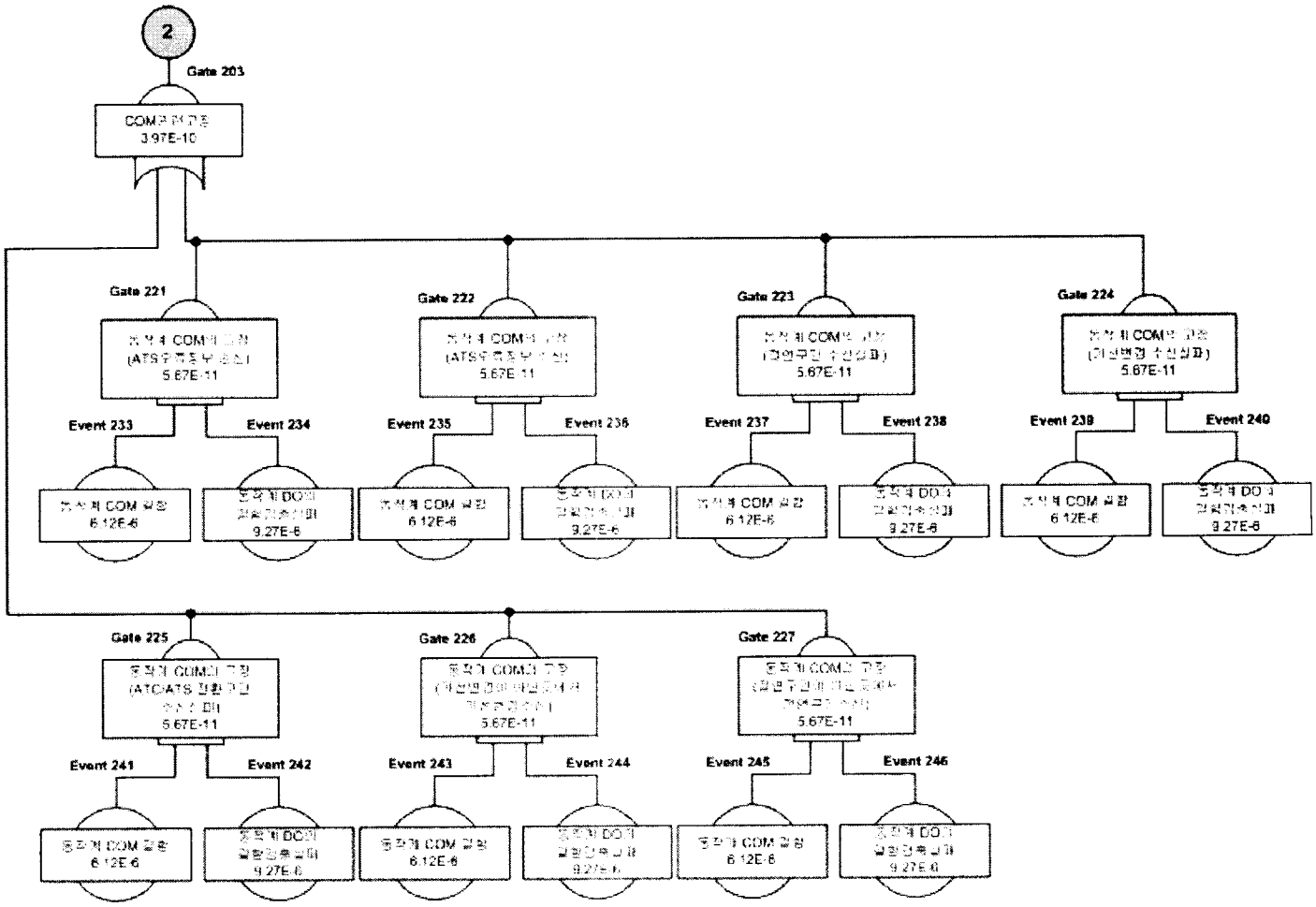
1. 차량에서 3중화로 보낸 속도관련 주파수신호를 3회선 각각에 카운터를 설치하여 3중 값을 CPU가 소프트웨어 보팅.

4. 서비스지연 및 위험원별 FTA

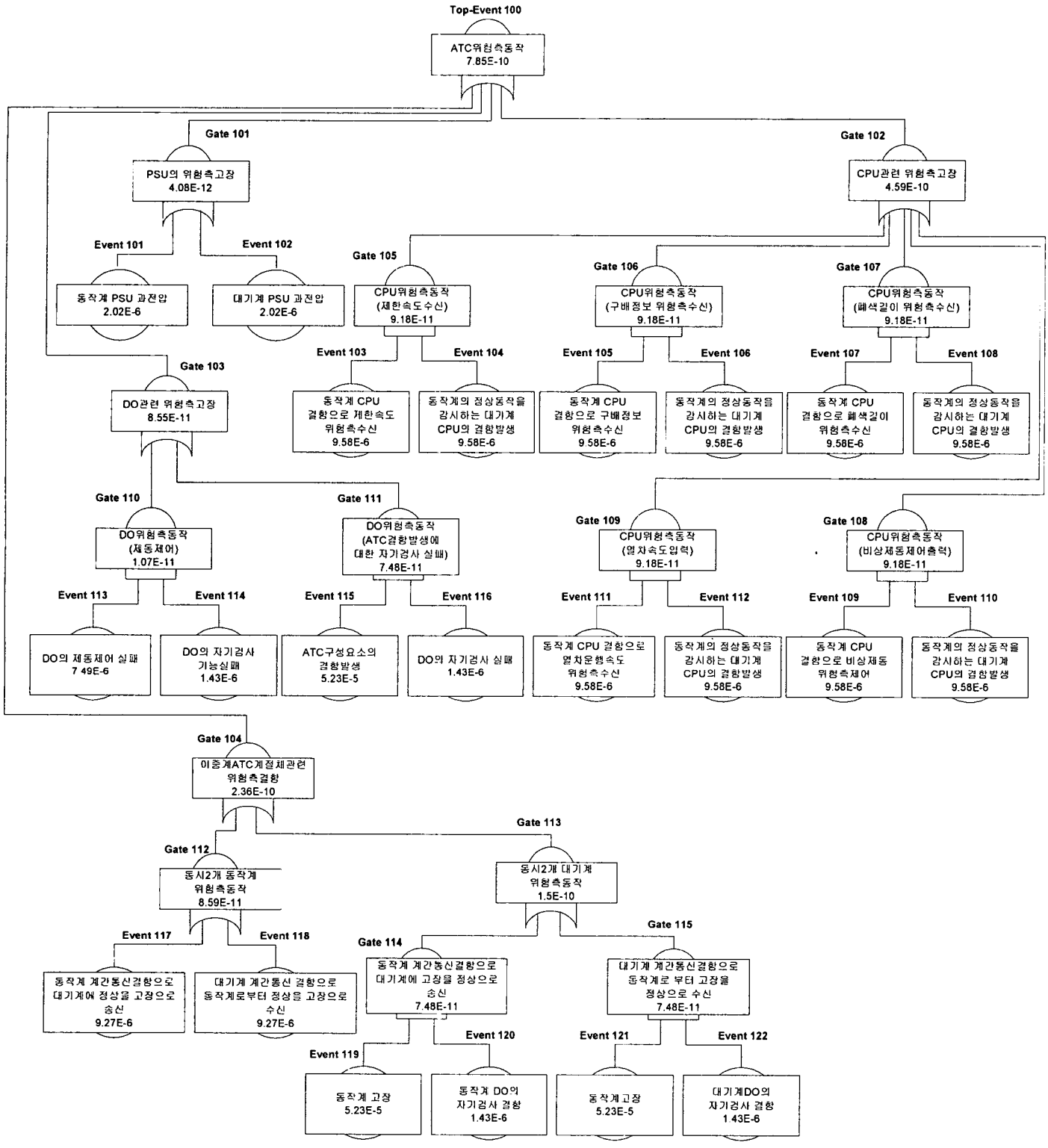
4.1. 서비스지연 FTA




1
Gate 202
CPU관련고장
1.38E-9
Gate 206
CPU고장
(절연구간통과시
정보입력 없음)
9.18E-11
Gate 207
CPU고장
(절연구간 아닌곳에서
명령수행)
9.18E-11
Gate 208
CPU고장
(가선변경구간 통과시
정보입력없음)
9.18E-11
Gate 209
CPU고장
(가선변경구간
아닌곳에서 명령수행)
9.18E-11
Event 203
Event 204
Event 205
Event 206
Event 207
Event 208
Event 209
Event 210
동작계 CPU 결함
9.58E-6
대기계 CPU 결함
9.58E-6
Gate 210
CPU고장
(ATS구간진출시
전환불가)
9.18E-11
Gate 211
CPU고장
(ATC구간진출시
전환불가)
9.18E-11
Gate 212
CPU고장
(고속구간에서 ATS전환)
9.18E-11
Gate 213
CPU고장
(제한속도 안전측 수신)
9.18E-11
Event 211
Event 212
Event 213
Event 214
Event 215
Event 216
Event 217
Event 218
Gate 214
CPU고장
(구배정보 안전측수신)
9.18E-11
Gate 215
CPU고장
(폐색구간 안전측수신)
9.18E-11
Gate 216
CPU고장
(운행속도 안전측수신)
9.18E-11
Gate 217
CPU고장
(판토제어위험측명령)
9.18E-11
Event 219
Event 220
Event 221
Event 222
Event 223
Event 224
Event 225
Event 226
Gate 218
CPU고장
(VCB위험측제어)
9.18E-11
Gate 219
CPU고장
(VCB안전측제어)
9.18E-11
Gate 220
CPU고장
(비상제동의 안전측명령)
9.18E-11
Event 227
Event 228
Event 229
Event 230
Event 231
Event 232


2
Gate 203
3.97E-10
Gate 221
5.67E-11
Gate 222
5.67E-11
Gate 223
5.67E-11
Gate 224
5.67E-11
Event 233
6.12E-6
Event 234
9.27E-6
Event 235
6.12E-6
Event 236
9.27E-6
Event 237
6.12E-6
Event 238
9.27E-6
Event 239
6.12E-6
Event 240
9.27E-6
Gate 225
5.67E-11
Gate 226
5.67E-11
Gate 227
5.67E-11
Event 241
6.12E-6
Event 242
9.27E-6
Event 243
6.12E-6
Event 244
Event 245
6.12E-6
Event 246
9.27E-6

4.2. ATC_HD_001의 FTA



5. 결 론

ATC의 RAMS평가결과를 요약하면 다음과 같다.

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	PSU	2.02×10^{-6}	495,050	0.2	304,800
2	CPU	9.58×10^{-6}	104,384	0.3	64,296
3	COM	6.49×10^{-6}	154,083	0.3	94,824
4	DISCON_RX	8.66×10^{-6}	115,473	0.3	71,064
5	CON_RX	7.58×10^{-6}	131,926	0.3	81,240
6	DI	8.22×10^{-6}	121,655	0.3	74,964
7	DO	9.27×10^{-6}	107,875	0.3	66,384
8	VIN	2.51×10^{-6}	398,406	0.3	245,280
9	MTBSF = 465,116,279 Hour				
10	MTTR = 0.29 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472를 기준으로 산출.				
11	Dangerours Failure Rate ATC_HD_001 = 7.85×10^{-10}(SIL4)				

[주의] 교체주기 계산에 필요한 와이블분포의 변수(α, β, γ)는 MTBF의 ±10%와, CM비용/PM비용 = 100을 가정하여 추정.

따라서, 본 문서의 1.6의 RAMS목표를 모두 만족한다.

부록3. 전자연동장치 FMEA

문서명

고속철도기술개발사업

전자연동장치 Safety Case

(Safety Case - HSR Interlocking System)

본 문서는 한국형고속철도기술개발사업 "열차제어시스템 안정화기술개발(5차년)"의 연구결과물로써, (주)대우엔지니어링에서 개발한 전자연동장치(IXL)의 Safety Case임. 본 문서는 연구과제 이외의 용도로 사용할 수 없으며, 안전승인을 위한 증빙으로 활용할 수 없다.

목 차

1. 개 요 5
1.1. 목 적 5
1.2. 참고문헌 5
1.3. 약어 및 용어 6
1.4. 적용위험원 7
1.5. 가정 및 제한사항 8
1.6. RAMS목표 8
2. IXL기능설명 9
3. IXL의 FMEA 11
3.1. IXL의 FMEA 11
3.2. SHR의 FMEA 20
3.3. TFM_PM의 FMEA 22
3.4. TFM_SM의 FMEA 35
3.5. TFM_IM의 FMEA 48
3.6. PSU의 FMEA 58
4. 서비스지연 및 위험원별 FTA 60
4.1. 서비스지연 FTA 60
4.2. IXL_HD_001의 FTA 65
4.3. IXL_HD_002의 FTA 66
4.4. IXL_HD_003의 FTA 67
5. 결 론 68

그림 목차

그림1. IXL의 구성도 9
그림2. IXL의 구성도 11
그림3. SHR의 구성도 20
그림4. TMF_PM의 구성도 22
그림5. TMF_SM의 구성도 35
그림6. TMF_IM의 구성도 48

표 목차

표1. IXL 적용 위험원 7
표2. IXL의 RAMS목표 8
표3. IXL의 인터페이스 및 기능 10
표4. IXL의 인터페이스 및 기능 12
표5. IXL의 FMEA 13
표6. SHR 인터페이스 및 기능 20
표7. SHR의 FMEA 21
표8. TFM_PM의 인터페이스 및 기능 23
표9. TFM_PM의 FMEA 25
표10. TFM_SM의 인터페이스 및 기능 36
표11. TFM_SM의 FMEA 38
표12. TFM_IM의 인터페이스 및 기능 49
표13. TFM_IM의 FMEA 50
표14. PSU의 종류별 기능 58
표15. PSU의 FMEA 59

1. 개 요

본 문서는 한국형고속철도 전자연동장치(이하 'IXL')의 Safety Case이다.

본 문서의 각 장들은 다음 사항들을 기술한다.

1장, 본 문서에 목적, 참고문헌, 약어 및 용어, 적용 위험원, 가정 및 제한사항, RAMS목표

2장, 전자연동장치 기능정의

3장, FMEA

4장, 서비스지연 및 위험원별 FTA

5장, 결론

1.1. 목 적

본 문서는 고속철도기술개발사업 "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발"과제에 의해 (주)대우엔지니어링에서 개발한 전자연동장치의 평균서비스불능시간(MTBSF) 및 적용 위험원별 위험측고장률의 완화정도인 안전무결성레벨(SIL)을 고장모드영향분석(FMEA)과 결함트리분석(FTA)을 사용하여 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 참고문헌

본 문서에 적용하는 참고문헌은 다음과 같다.

근거 1 IEC 60812, "Analysis Techniques for System Reliability" - Procedure for FMEA

근거 2 IEC 61025, "Fault Tree Analysis"

1.3. 약어 및 용어

용 어	설 명
CTC	Centralized Train Control
FMEA	Failure Mode Effect Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
HD	Hazard
IM	Input Module
IXL	Interlocking
LCP	Local Control Pannel
LRU	Line-side Replaceable Unit
MTBSF	Mean Time Between Service Failure
MTTR	Mean Time To Repair
OM	Output Module
PM	Pointer Module
PSU	Power Supply Unit
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
SHR	Self Healing Ring
SIL	Safety Integrity Level
SM	Signal Module
TFM	Track-side Functional Module

1.4. 적용위험원

위험원(Hazard)은 사고발생의 원인으로써, 설계오류, 결함, 환경요인, 설치오류, 운영오류 등의 다양한 원인에 의해 발생된다.

본 문서에서는 별도의 예비위험원을 수행하지 않으며, 위험원의 발생원인은 장치내부의 결함발생으로 제한하여 표1과 같이 개발자 경험에 의한 전자연동장치의 대표적 위험원을 기준으로 정량적인 발생빈도를 산출한다.

표1. IXL 적용 위험원

위험원ID	위험원
IXL_HD_001	신호를 위험측으로 현시
IXL_HD_002	선로전환기 반대방향 전환
IXL_HD_003	선로전환기의 도중전환

1.5. 가정 및 제한사항

가. IXL 내부의 소프트웨어 오류에 의한 위험원은 2003년 05월 14일부터 2004년 06월 30일까지 청령포역에서 실시한 공인기관 성능시험인 "성능검증시험성적서(한국철도기술연구원, R04-1152호, 2004.08.06)"에 의해 오류가 모두 제거되었다고 가정하여, 본 보고서의 위험원발생원인에서 제외한다.

나. 본 IXL Safety Case는 제작사로부터 제공된 고장률, 수리시간 등의 정량적 데이터를 기준으로 작성되었으며, 제작사가 제공한 데이터의 건전성은 RAMS활동의 범위에 포함되지 않는다.

1.6. RAMS목표

IXL의 RAMS목표는 표2와 같다.

표2. IXL의 RAMS목표

항목	목표
신뢰도	LRU단위 모든고장에 대한 MTBF 100,000시간 이상 IXL논리부, Switch Board, PM, SM, IM, OM, SHR 이 모두 1대씩 사용된 구성의 MTBSF를 정량적으로 산출
가용도	신뢰도와 유지보수도 목표에 따라 연동
교정유지보수도	결함에 대한 LRU단위 MTTR 2시간 이내
안전도	적용 위험원에 대하여 SIL 4(발생빈도 10^{-8}/hour 이하)

2. IXL기능설명

궤도회로에 의해 입력된 열차위치정보, 통합관제실 진로취급명령, 지역제어기 진로취급명령 등을 통해 신호기와 선로전환기를 제어하여 열차의 진로를 안전하게 제어하기 위한 IXL의 구성은 그림1과 같다.

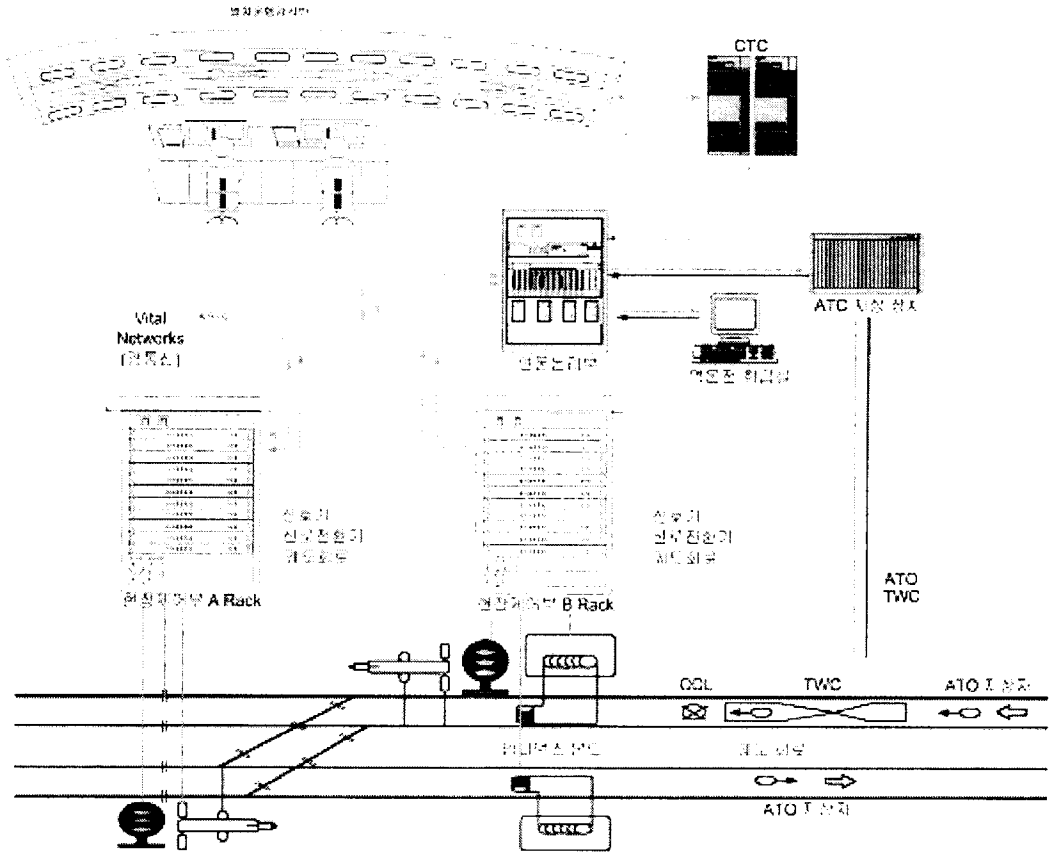


그림1. IXL의 구성도

IXL은 전원공급장치, IXL논리부, 현장제어부(TFM) 그리고 논리부와 현장제어부를 연결하는 SHR로 구분할 수 있으며 각각의 하부구성요소의 입출력인터페이스 및 기능은 표3과 같다.

표3. IXL의 인터페이스 및 기능

대분류	LRU	입력	출력	기능
IXL 논리부	CPU	CTC, LCP, SHR	LCP, SHR	SHR을 통해 입력된 TFM의 상태정보 및 LCP 또는 CTC의 취급정보에 따라 선로전환기 및 신호기의 제어명령을 생성(연동논리에 따른 연동처리)
	Switch Board	CPU#1, CPU#2	CPU#1, CPU#2	각각 자기검사회로를 포함한 이중계로 구성된 CPU의 계절체를 수행
SHR	SHR	CPU, TFM	CPU, TFM	IXL 및 TMF과 각각 전기적통신으로 연결되어, 원거리에 위치한 SHR끼리는 자기치유방식의 광통신으로 데이터를 전송
TFM	PM	SHR	선로전환기	IXL의 명령에 따라 선로전환기를 전환하고, 표시정보를 IXL에 보고
	SM	SHR	신호기	IXL의 명령에 따라 신호기를 제어하고, 신호기의 점등상태를 IXL에 보고
	OM	SHR	-	-
	IM	SHR	궤도계전기	궤도계전기의 상태를 IXL에 보고
PSU	PSU	IXL, TFM, SHR	IXL, TFM, SHR	IXL, TFM, SHR의 전원을 공급

3. IXL의 FMEA

본 IXL의 Safety Case는 표3의 분류에 따라 각 LRU의 내부구성을 고장률로 표현하여 FMEA 를 실시한다.

3.1. IXL의 FMEA

IXL은 그림2와 같이 이중계로 구성된 CPU와 이중계의 계절체를 제어하는 Switch Board로 구성된다.

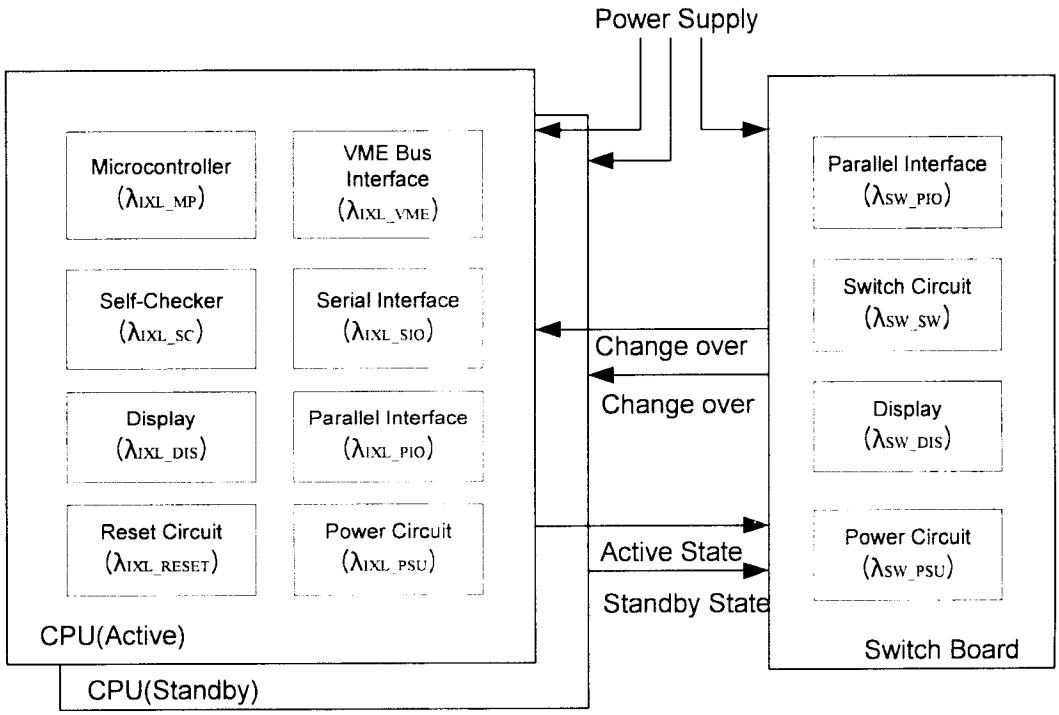


그림2. IXL의 구성도

그림2의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표4와 같다.

표4. IXL의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
CPU	Microcontroller	λ_{IXL_MP}	연동처리 마이크로컨트롤러	9.5E-7
	VME Bus Interface	λ_{IXL_VME}	VME인터페이스 회로	1.08E-6
	Self-Checker	λ_{IXL_SC}	-동작계 CPU의 경우 CPU내부결함을 검출하여 결함발생시 Parallel Interface를 통해 Switch Board로 결함발생 통보 -대기계 CPU의 경우 Parallel Interface를 통해 Switch Board에 의해 계절체 명령이 수신되면 대기계에서 동작계로 출력발생	1.05E-6
	Serial Interface	λ_{IXL_SIO}	SHR과 연결되어 TFM과 데이터 통신	1.05E-6
	Display	λ_{IXL_DIS}	CPU의 상태를 표시하는 LED부	1.15E-6
	Parallel Interface	λ_{IXL_PIO}	CPU계절체를 위한 데이터 송수신	1E-6
	Reset Circuit	λ_{IXL_RESET}	CPU의 Reset을 위한 스위치 및 주변회로	1.05E-6
	Power Cirucuit	λ_{IXL_PSU}	CPU의 입력전원 노이즈차단 회로	1.04E-6
LRU		λ_{IXL_CPU}		8.37E-6
Switch Board	Parallel Interface	λ_{IXL_PIO}	CPU의 상태입력 및 계절체를 위한 출력신호 발생	1.75E-6
	Switch Circuit	λ_{IXL_SW}	운영자에 의한 강제 계절체 취급 스위치	2.77E-6
	Display	λ_{IXL_DIS}	계절체 상태를 표시하는 LED부	1.05E-6
	Power Circuit	λ_{IXL_SBPSU}	Switch Board의 입력전원 노이즈차단 회로	1.05E-6
LRU		λ_{IXL_SB}		6.62E-6

그림2의 IXL을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표5와 같다.

표5. IXL의 FMEA

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	Micro Controller	동작계의 프로세서 정지	동작계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 동작계전면에 Halt LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작 정보의 정지	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_MP} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.29E-12
		대기계의 프로세서 정지	대기계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 대기계전면에 Halt LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작 정보의 정지	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A
		동작계의 원하지 않는 재시작	동작계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 Switch Board로 전송되는 동작 정보의 초기화(지속적인 재시작의 경우 지속적인 초기화 신호 송신)	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_MP} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.29E-12
		대기계의 원하지 않는 재시작	대기계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 대기계전면에 Halt LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작 정보의 정지	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	VME Bus Interface	동작계 VME버스쪽으로 잘못된 어드레스 또는 데이터 발생	VME에 연결된 카드 없으므로 영향없음	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 VME버스쪽으로 잘못된 어드레스 또는 데이터 발생	VME에 연결된 카드 없으므로 영향없음	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		동작계 CPU버스 쪽으로 잘못된 어드레스 또는 데이터 발생	동작계 Microcontroller의 버스 에러 발생하여 동작계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 동작계전면에 Bus Error LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작정보의 정지	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_VME} X \lambda_{IXL\_SB}$	7.15E-12
		대기계 CPU버스 쪽으로 잘못된 어드레스 또는 데이터 발생	대기계 Microcontroller의 버스 에러 발생하여 대기계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 대기계전면에 Bus Error LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작정보의 정지	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A
	Self-Checker	동작계 정상시에 Self-Checker결함발생으로 동작계 차단	Switch Board에 의해 동작계 차단이 검지 Switch Board 전면의 동작계 상태 LED의 고장현시	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SC} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.95E-12

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	Self-Checker	대기계 정상시에 Self-Checker결함발생으로 대기계 차단	Switch Board에 의해 대기계 차단이 검지 Switch Board 전면의 대기계 상태 LED의 고장현시	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A
		동작계 결함발생시 Self-Cherker결함발생으로 결함검출 실패	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 신호기 및 선로전환기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	동작계 Microcontroller, Self-Checker의 동시고장 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD001 IXL_HD002 IX_HD003)	$\lambda_{IXL\_SC} X \lambda_{IXL\_MP}$	9.98E-13
		대기계 결함발생시 Self-Cherker결함발생으로 결함검출 실패	결과를 예상할 수 없음 (동작계와 대기계가 TFM으로 동시에 유효한 정보전송 가능)	안전측장애	IXL의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, TMF내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SC} X \lambda_{TFM}$	1.79E-11
	Serial Interface	동작계 직렬인터페이스 간헐결함으로 TFM으로 오류정보 송신	TFM에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (동작계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	안전측장애	IXL의 동작계가 오류정보를 간헐적으로 TFM으로 전송해도 전송되는 전문의 정보여분에 의해 TFM은 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SIO} X \lambda_{TFM}$	1.79E-11
		대기계 직렬인터페이스 간헐결함으로 TFM으로 오류정보 송신	TFM에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (대기계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	안전측장애	IXL의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, TMF내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SIO} X \lambda_{TFM}$	1.79E-11

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	Serial Interface	동작계 직렬인터페이스 간헐결함으로 CTC로부터 오류정보 수신	오류가 포함된 정보는 Microcontroller내부의 소프트웨어에 의해 오류가 검출 수신된 전문의 위험측오류는 Microcontroller내부의 소프트웨어 연동논리에 의해 무시	안전측장애	Microcontroller의 오류검출에 의해 안전측이 확보되며, 오류상태가 지속되면 유지보수콘솔로 경보발생(자동절체는 발생하지 않음)	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SIO} X \lambda_{IXL\_MP}$	9.98E-13
		대기계 직렬인터페이스 간헐결함으로 CTC로부터 오류정보 수신	오류가 포함된 정보는 Microcontroller내부의 소프트웨어에 의해 오류가 검출 수신된 전문의 위험측오류는 Microcontroller내부의 소프트웨어 연동논리에 의해 무시	안전측장애	Microcontroller의 오류검출에 의해 안전측이 확보되며, 오류상태가 지속되면 유지보수콘솔로 경보발생(자동절체는 발생하지 않음)	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_SIO} X \lambda_{IXL\_MP}$	9.98E-13
	Display	동작계 LED의 오동작	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 LED의 오동작	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	Paralle Interface	동작계 Parallel Interface결함으로 정상CPU에서 Switch Board로 고장정보 전송	Switch Board에 의해 동작계 차단이 검지 Switch Board 전면의 동작계 상태 LED의 고장현시	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PIO} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.62E-12
		대기계 Parallel Interface결함으로 정상CPU에서 Switch Board로 고장정보 전송	Switch Board에 의해 대기계 차단이 검지 Switch Board 전면의 대기계 상태 LED의 고장현시	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	Paralle Interface	동작계 Parallel Interface결함으로 대기계로 전환명령 수신	동작계와 대기계가 모두 대기계로 전환 Switch Board의 상태 LED로 이중계가 모두 대기계로 전환	안전측장애	Switch Board의 대기계 출력차단에 의해 TFM으로 아무 명령도 전송되지 않음	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_P10} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.62E-12
		대기계 Parallel Interface결함으로 동작계로 전환명령 수신	TFM에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (대기계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	안전측장애	IXL의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, TMF내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_P10} X \lambda_{TFM}$	1.71E-11
	Reset Circuit	동작계 Reset Circuit의 결함으로 동작계 재시작(위 CPU Microcontroller의 재시작과 동일)	동작계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 Switch Board로 전송되는 동작정보의 초기화(지속적인 재시작의 경우 지속적인 초기화 신호 송신)	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board에 의해 대기계로 절체되어 IXL이 예상할 수 없는 상태로 동작하는 것을 방지 (결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단) 대기계가 동작계로 전환되어 지속적인 연동처리 수행	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_RESET} X$ λ_{IXL_SB}	6.95E-12
		대기계 Reset Circuit의 결함으로 대기계 재시작(위 CPU Microcontroller의 재시작과 동일)	대기계 내부의 Self Checker에 의해 결함검지 대기계전면에 Hait LED점등 및 Switch Board로 전송되는 동작정보의 정지	영향없음	Switch Board에 의해 대기계고장이 인식되며, 계절체는 발생하지 않음(결함이 발생한 Microcontroller의 출력을 차단)	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
CPU	Power Circuit	동작계 전원공급 차단	동작계의 차단을 Switch Board가 인식하여 전면 LED로 상태를 표시	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board가 대기계를 동작계로 전환시키고, 전원공급이 중단된 모듈의 출력을 차단	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PSU} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.95E-12
		대기계 전원공급 차단	Switch Board에 의해 대기계의 전원공급 차단을 인식하여 전면 LED로 상태를 표시	영향없음	Switch Board가 전원공급이 중단된 대기계의 출력을 차단 (운영에 지장없음)	영향없음	N/A	N/A
		동작계 전원공급 과다	동작계내부의 퓨즈의 동작계 차단으로 Switch Board가 인식하여 LED로 상태를 표시	영향없음 (IXL계절체)	Switch Board가 대기계를 동작계로 전환시키고, 전원공급이 중단된 모듈의 출력을 차단	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PSU} X \lambda_{IXL\_SB}$	6.95E-12
		대기계 전원공급 과다	대기계내부의 퓨즈의 대기계 차단으로 Switch Board가 인식하여 LED로 상태를 표시)	영향없음	Switch Board가 전원공급이 중단된 대기계의 출력을 차단 (운영에 지장없음)	영향없음	N/A	N/A
Switch Board	Paralle Interface	Switch Board의 Paralle Interface 결함으로 정상동작계를 고장으로 인식	Switch Board가 동작계의 차단으로 인식하여 전면 LED로 상태를 표시	영향없음 (IXL계절체)	IXL의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, TMF내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PIO} X \lambda_{TFM}$	1.71E-11
		Switch Board의 Paralle Interface 결함으로 정상대기계를 고장으로 인식	Switch Board가 대기계의 차단으로 인식하여 전면 LED로 상태를 표시	영향없음	Switch Board가 고장으로 인식된 대기계의 출력을 차단 (운영에 지장없음)	영향없음	N/A	N/A
		Switch Board의 Paralle Interface 결함으로 고장동작계를 정상으로 인식	동작계와 대기계가 모두 대기계로 전환 Switch Board의 상태 LED로 이중계가 모두 대기계로 전환	안전측장애	IXL의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, TMF내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PIO} X \lambda_{TFM}$	1.71E-11

HAZOP Study 대상: IXL								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
Switch Board	Switch Circuit	Switch Board의 Paralle Interface 결함으로 고장대기계를 정상으로 인식	Switch Board가 대기계의 차단으로 인식하여 전면 LED로 상태를 표시	영향없음	Switch Board가 고장으로 인식된 대기계의 출력을 차단 (운영에 지장없음)	영향없음	N/A	N/A
		Switch Board의 Switch결함으로 결함이 발생한 CPU쪽으로 수동고정	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 신호기 및 선로전환기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	동작계 Microcontroller, Self-Checker, Switch Board_Switch Circuit의 동시고장 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (모든위험원)	$\lambda_{IXL\_SW} X \lambda_{IXL\_MP} X \lambda_{IXL\_SC}$	2.76E-18
	Display	Switch Board의 LED결함으로 실제상태와 다르게 표시	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	Power Circuit	Switch Board의 입력전원차단	동작계와 대기계의 출력이 모두 차단 Switch Board의 상태 LED를 통해 유지보수요구	안전측장애	Switch Board의 모든 출력차단에 의해 TFM으로 아무 명령도 전송되지 않음	운행지연 (IXL의 불능)	λ_{IXL_SBPSU}	1.05E-6
		Switch Board의 Power Circuit결함으로 Switch Board의 예상할 수 없는 상태	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 신호기 및 선로전환기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	동작계 Microcontroller, Self-Checker, Switch Board_Switch Circuit의 동시고장 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (모든위험원)	$\lambda_{IXL\_SBPSU} X \lambda_{IXL\_MP} X \lambda_{IXL\_SC}$	1.05E-18

[기타사항]
1. 소프트웨어 의한 프로세서 연산오류는 성능시험을 통해 검증되었으므로 제외.
[변경이력]
1. 2007.10.07 초안작성

3.2. SHR의 FMEA

SHR은 상용제품으로써 그림3과 같이 광통신으로 링네트워크를 구성하여 IXL과 TFM의 데이터를 송수신한다.

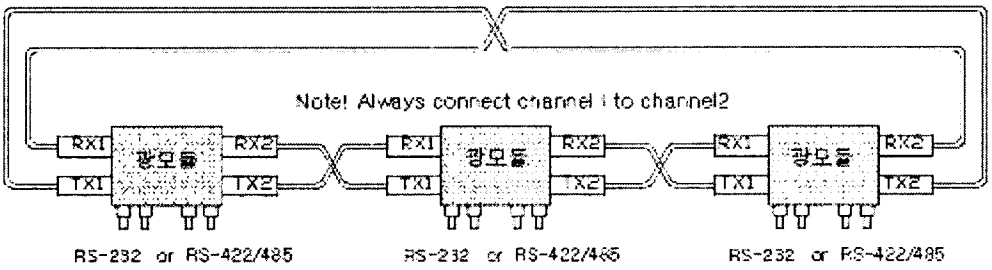


그림3. SHR의 구성도

그림3의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표6과 같다.

표6. SHR 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
SHR	IXL연결 SHR	λ_{SHR}	IXL과 TFM과의 송수신 데이터를 SHR 광망과 IXL의 전기적 연결을 통해 인터페이스	2.65E-6
	TFM연결 SHR	λ_{SHR}	IXL과 TFM과의 송수신 데이터를 SHR 광망과 TFM의 전기적 연결을 통해 인터페이스	2.65E-6

[주의]IXL과 TFM에 연결하는 SHR은 동일함.

그림3의 SHR 의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표7과 같다.

표7. SHR의 FMEA

HAZOP Study 대상: SHR								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
SHR	SHR	IXL과 연결된 SHR의 간헐결함에 의해 위험측데이터 전송	위험측데이터의 전송은 TFM이 IXL로 명령의 확인을 요청하는 과정에서 검출	영향없음 (IXL계절체)	상태가 지속되는 경우 IXL의 절체를 통해 SHR통신채널을 변경	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SHR} X \lambda_{IXL\_SB}$	1.75E-11
		TFM과 연결된 SHR의 간헐결함에 의해 위험측데이터 전송	위험측데이터의 전송은 TFM이 IXL로 명령의 확인을 요청하는 과정에서 검출	영향없음 (TFM 계절체)	상태가 지속되는 경우 TFM의 절체를 통해 SHR통신채널을 변경	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{SHR} X \lambda_{TFM}$	4.52E-11
		IXL과 연결된 SHR의 영구결함에 의해 데이터 송수신 불능	SHR결함에 의한 데이터전송 불능은 TFM이 IXL로 명령의 확인을 요청하는 과정에서 검출	영향없음 (IXL계절체)	상태가 지속되는 경우 IXL의 절체를 통해 SHR통신채널을 변경	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SHR} X \lambda_{TFM}$	4.52E-11
		TFM과 연결된 SHR의 영구결함에 의해 데이터 송수신 불능	SHR결함에 의한 데이터전송 불능은 TFM이 IXL로 명령의 확인을 요청하는 과정에서 검출	영향없음 (TFM 계절체)	상태가 지속되는 경우 TFM의 절체를 통해 SHR통신채널을 변경	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{SHR} X \lambda_{TFM}$	4.52E-11
		SHR간의 광통신라인 단절	SHR의 단선검지기능에 의해 회선이 교체되며, IXL과 TFM의 계절체는 발생하지 않음	영향없음 (SHR회선 교체)	SHR특성에 따라 단절된 광통신라인을 우회하여 통신	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SHR} X \lambda_{SHR}$	7.02E-12
[기타사항] 1. 소프트웨어 의한 프로세서 연산오류는 성능시험을 통해 검증되었으므로 제외. [변경이력] 1. 2007.10.07 초안작성								

3.3. TFM_PM의 FMEA

TFM_PM은 그림4와 같이 내부에 Dual-Micorocontoller를 갖는 단일계가 대기이중계로 구성된다.

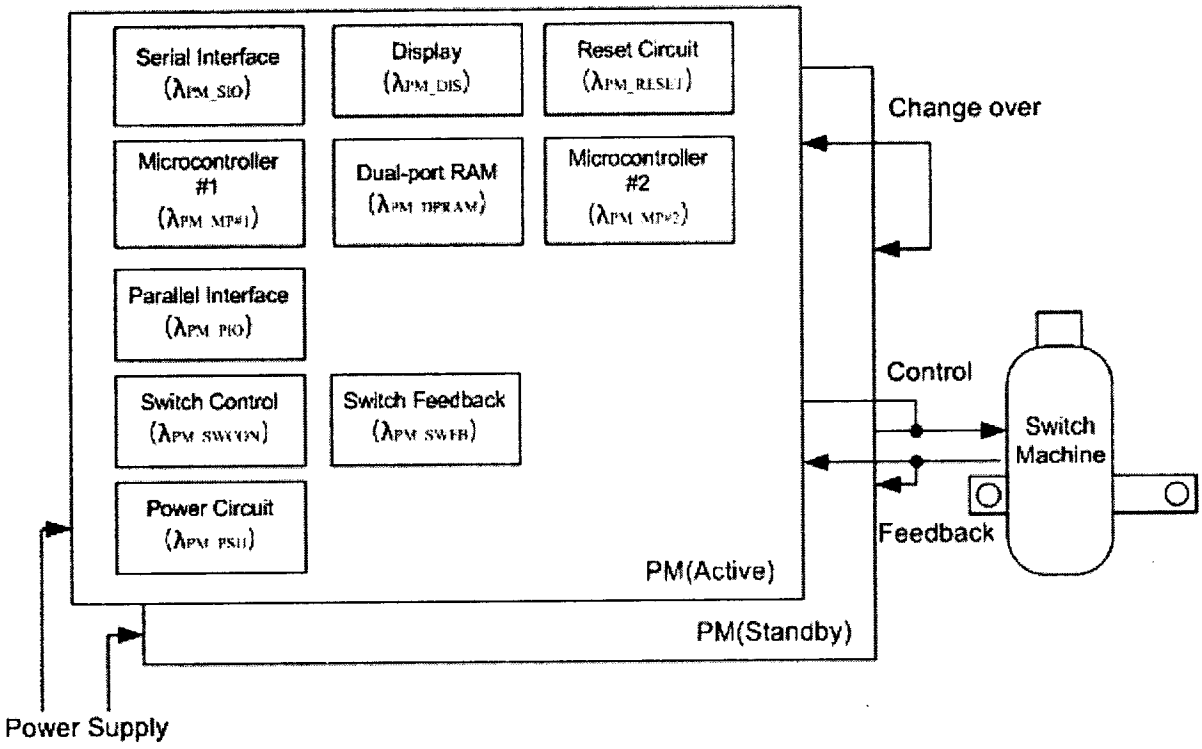


그림4. TMF_PM의 구성도

그림4의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표8과 같다.

표8. TFM_PM의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
TFM_PM	Serial Interface	λ_{PM_SIO}	SHR을 통해 입력된 IXL의 선로전환기 제어정보를 실행하고, 선로전환기 제어실행의 결과를 SHR을 통해 IXL로 전송	3.5E-7
	Display	λ_{PM_DIS}	PM의 동작상태 및 선로전환기 전환상태를 표시	1.05E-6
	Reset Circuit	λ_{PM_RESET}	PM의 수동 재시작을 수행하기 위한 스위치 및 회로	9.5E-7
	Microcontroller	$\lambda_{PM\_MP\#x}$	IXL로부터 수신된 명령을 수행하는 Dual구조의 Microcontroller는 Dual-port RAM을 사용하여 동기화된 각 컨트롤로의 연산결과를 비교하여 불일치시 Dual의 Microcontroller가 모두 정지	7.4E-7
	Dual-port RAM	λ_{PM_DPRAM}	Dual의 Microcontroller의 연산결과를 상호비교하기 위한 메모리	9.8E-7
	Parallel Interface	λ_{PM_PIO}	Dual로 구성된 동작계PM과 대기계PM이 상호상태를 감시하여 동작계결함발생으로 차단시 대기계가 동작계의 임무를 수행하기 위한 데이터 교환 선로전환기 제어를 위한 디지털수준의 신호를 Switch Control로 전송하고, 전환된 선로전환기 상태를 Switch Feedback을 통해 입력받아 Microcontroller로 전송	8.7E-7
	Switch Control	λ_{PM_SWCON}	Parallel Interface로부터 입력된 디지털 신호를 선로전환기 제어명령을 위한 DC24V의 접점으로 구성 Switch Control은 내부적으로 직렬이중화로 설계하여 이중화된 Switch Control회로의 내부에서 단일결함 발생시 안전측상태로(접점의 전기적 분리) 를 유지	9.8E-7

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
	Switch Feedback	λ_{PM_SWFB}	선로전환기 로부터 입력된 DC24V의 접점신호를 Microcontroller를 위한 디지털 신호로 변환 Switch Control은 내부적으로 직렬이중화로 설계하여 이중화된 Switch Control회로의 내부에서 단일결함 발생시 안전측상태로(접점의 전기적 분리) 를 유지	8.5E-7
	Power Circuit	λ_{PM_PSU}	TFM_PM의 동작을 위해 외부에서 공급되는 DC24V를 Microcontroller를 위한 DC5V로 변환	8.5E-7
LRU		λ_{PM}		7.62E-6

그림4의 TFM_PM을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표9와 같다.

표9. TFM_PM의 FMEA

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Serial Interface	동작계 PM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (동작계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음 (TFM 계절체)	TFM의 동작계가 오류정보를 간헐적으로 IXL로 전송해도 전송되는 전문의 정보여분에 의해 TFM은 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD002 XIL_HD003)	$\lambda_{PM\_SIO} X \lambda_{IXL}$	5.25E-12
		대기계 PM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (대기계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음	TFM의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, IXL내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD002 IXL_HD003)	$\lambda_{PM\_SIO} X \lambda_{IXL}$	5.25E-12
		동작계 PM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SIO} X \lambda_{PM}$	2.67E-12
		대기계 PM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 PM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SIO} X \lambda_{PM}$	2.67E-12

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Serial Interface	대기계 PM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 PM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SIO} \times \lambda_{PM}$	2.67E-12
		대기계 PM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 PM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	Reset Circuit	동작계 PM의 Reset Circuit 결함으로 동작계 PM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_RESET} \times \lambda_{PM}$	7.24E-12
		대기계 PM의 Reset Circuit 결함으로 대기계 PM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_PM

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Micro-controller	동작계 PM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_MP} X \lambda_{PM}$	5.64E-12
		동작계 PM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_MP} X \lambda_{PM}$	5.64E-12
		대기계 PM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Dual-port RAM	동작계 PM의 Dual-port RAM결함 (간헐, 영구)발생	동작계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_DPRAM} X \lambda_{PM}$	7.47E-12
		대기계 PM의 Dual-port RAM결함 (간헐, 영구)발생	대기계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Parallel Interface	동작계 PM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 PM에 동작계 차단신호 송신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 선로전환기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD002 IXL_HD003)	$0.5\lambda_{PM\_PIO} X$ $0.5\lambda_{PM\_PIO}$	1.89E-13
		대기계 PM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 PM에 대기계 차단신호 송신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Parallel Interface	동작계 PM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 PM으로부터 수신되는 대기계의 상태를 차단으로 잘못 수신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 PM으로부터 수신되는 동작계의 상태를 차단으로 잘못 수신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 대기계가 선로전환기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD002 IXL_HD003)	$0.5\lambda_{PM\_PIO}$ X $0.5\lambda_{PM\_PIO}$	1.89E-13
		동작계 PM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로 선로전환기 제어신호 오류출력	동작계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{PM_PIO} X λ_{PM}	6.63E-12
		동작계 PM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로 선로전환기 제어신호 오류출력	동작계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{PM_PIO} X λ_{PM}	6.63E-12

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Parallel Interface	대기계 PM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로 선로전환기 제어신호 오류출력	대기계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로 선로전환기 제어신호 오류출력	대기계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		동작계 PM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로부터 수신되는 선로전환 기상태입력을 오류입력	동작계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_P10} X \lambda_{PM}$	6.63E-12
		동작계 PM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로부터 수신되는 선로전환 기상태입력을 오류입력	동작계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_P10} X \lambda_{PM}$	6.63E-12

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Parallel Interface	대기계 PM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로부터 수신되는 선로전환 기상태입력을 오류입력	대기계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Switch Control로부터 수신되는 선로전환 기상태입력을 오류입력	대기계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Switch Control	동작계 PM의 Microcontroller #1쪽 Switch Control회로 결함으로 선로전환기 제어의 잘못된 접점구성	동작계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SWCON} X \lambda_{PM}$	7.47E-12

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:			갱신번호: V1.0				소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Switch Control	동작계 PM의 Microcontroller #2쪽 Switch Control회로 결함으로 선로 전환기 제어의 잘못된 접점구성	동작계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SWCON} X \lambda_{PM}$	7.47E-12
		대기계 PM의 Microcontroller #1쪽 Switch Control회로 결함으로 선로 전환기 제어의 잘못된 접점구성	대기계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Microcontroller #2쪽 Switch Control회로 결함으로 선로 전환기 제어의 잘못된 접점구성	대기계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Switch Feedback	동작계 PM의 Switch Control회로 결함으로 Microcontroller #1으로 잘못된 선로전환기 표시정보 전송	동작계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SWFB} \times \lambda_{PM}$	6.48E-12
		동작계 PM의 Switch Control회로 결함으로 Microcontroller #2로 잘못된 선로전환기 표시정보 전송	동작계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_SWFB} \times \lambda_{PM}$	6.48E-12
		대기계 PM의 Switch Control회로 결함으로 Microcontroller #1으로 잘못된 선로전환기 표시정보 전송	대기계 PM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		대기계 PM의 Switch Control회로 결함으로 Microcontroller #2로 잘못된 선로전환기 표시정보 전송	대기계 PM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_PM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _PM	Power Circuit	정상전원공급에 대하여 동작계 PM의 Power Circuit 결함에 의해 PM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	동작계 PM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 PM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{PM\_PSU} X \lambda_{PM}$	6.48E-12
		정상전원공급에 대하여 대기계 PM의 Power Circuit 결함에 의해 PM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	대기계 PM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 PM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

[기타사항]
1. 소프트웨어 의한 프로세서 연산오류는 성능시험을 통해 검증되었으므로 제외.
2. Display 현시오류로 발생하는 유지보수자의 잘못된 유지보수에 의한 고장확산은 분석에서 제외.
[변경이력]
1. 2007.10.07 초안작성

3.4. TFM_SM의 FMEA

TFM_SM은 그림5와 같이 내부에 Dual-Micorocontoller를 갖는 단일계가 대기이중계로 구성된다.

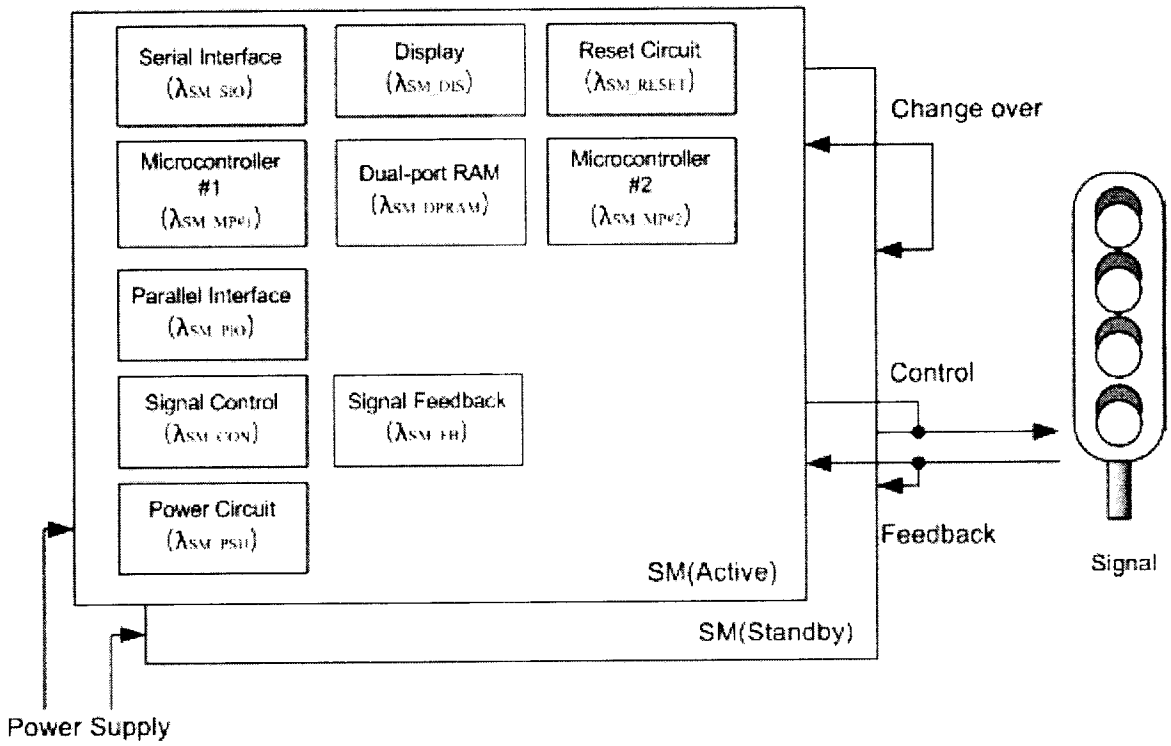


그림5. TMF_SM의 구성도

그림5의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표10과 같다.

표10. TFM_SM의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
TFM_SM	Serial Interface	λ_{SM_SIO}	SHR을 통해 입력된 IXL의 신호기 제어정보를 실행하고, 신호기 제어실행의 결과를 SHR을 통해 IXL로 전송	3.5E-7
	Display	λ_{SM_DIS}	SM의 동작상태 및 신호기 현시상태를 표시	7.5E-7
	Reset Circuit	λ_{SM_RESET}	SM의 수동 재시작을 수행하기 위한 스위치 및 회로	9.5E-7
	Microcontroller	$\lambda_{SM\_MP\#x}$	IXL로부터 수신된 명령을 수행하는 Dual구조의 Microcontroller는 Dual-port RAM을 사용하여 동기화된 각 컨트롤로의 연산결과를 비교하여 불일치시 Dual의 Microcontroller가 모두 정지	7.4E-7
	Dual-port RAM	λ_{SM_DPRAM}	Dual의 Microcontroller의 연산결과를 상호비교하기 위한 메모리	9.1E-7
	Parallel Interface	λ_{SM_PIO}	Dual로 구성된 동작계SM과 대기계SM이 상호상태를 감시하여 동작계결함발생으로 차단시 대기계가 동작계의 임무를 수행하기 위한 데이터 교환 신호기 제어를 위한 디지털수준의 신호를 Signal Control로 전송하고, 전환된 선로전환기 상태를 Signal Feedback을 통해 입력받아 Microcontroller로 전송	8.6E-7
	Signal Control	λ_{SM_CON}	Parallel Interface로부터 입력된 디지털 신호를 신호기 제어명령을 위한 AC50V의 접점으로 구성 Switch Control은 내부적으로 직렬이중화로 설계하여 이중화된 Switch Control회로의 내부에서 단일결함 발생시 안전측상태로(접점의 전기적 분리) 를 유지	7.8E-7

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
	Signal Feedback	λ_{SM_FB}	신호기현시상태를 전류센서로 입력받아 접점신호를 Microcontroller를 위한 디지털 신호로 변환 Switch Control은 내부적으로 직렬이중화로 설계하여 이중화된 Switch Control회로의 내부에서 단일결함 발생시 안전측상태로(접점의 전기적 분리) 를 유지	5.5E-7
	Power Circuit	λ_{SM_PSU}	TFM_SM의 동작을 위해 외부에서 공급되는 DC24V를 Microcontroller를 위한 DC5V로 변환	3.5E-7
LRU		λ_{SM}		6.24E-6

그림5의 TFM_SM을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표11과 같다.

표11. TFM_SM의 FMEA

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Serial Interface	동작계 SM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (동작계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음 (TFM 계절체)	TFM의 동작계가 오류정보를 간헐적으로 IXL로 전송해도 전송되는 전문의 정보여분에 의해 TFM은 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD001)	$\lambda_{SM\_S10} X \lambda_{IXL}$	5.25E-12
		대기계 SM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (대기계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음	TFM의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, IXL내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD001)	$\lambda_{SM\_S10} X \lambda_{IXL}$	5.25E-12
		동작계 SM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_S10} X \lambda_{IXL}$	5.25E-12
		대기계 SM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 SM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_S10} X \lambda_{SM}$	2.18E-12

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Serial Interface	대기계 SM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 SM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_SIO} X \lambda_{SM}$	2.18E-12
		대기계 SM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 SM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Display결함으로 동작상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	Reset Circuit	동작계 SM의 Reset Circuit 결함으로 동작계 SM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_RESET} X \lambda_{SM}$	5.93E-12
		대기계 SM의 Reset Circuit 결함으로 대기계 SM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Micro-controller	동작계 SM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_MP} X \lambda_{SM}$	4.62E-12
		동작계 SM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_MP} X \lambda_{SM}$	4.62E-12
		대기계 SM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Dual-port RAM	동작계 SM의 Dual-port RAM결함(간헐, 영구)발생	동작계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_DPRAM} X \lambda_{SM}$	5.68E-12
		대기계 SM의 Dual-port RAM결함(간헐, 영구)발생	대기계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Parallel Interface	동작계 SM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 SM에 동작계 차단신호 송신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 신호기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD001)	$0.5\lambda_{SM\_P10} X$ $0.5\lambda_{SM\_P10}$	1.85E-13
		대기계 SM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 SM에 대기계 차단신호 송신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Parallel Interface	동작계 SM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 SM으로부터 수신되는 대기계의 상태를 차단으로 잘못 수신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 SM으로부터 수신되는 동작계의 상태를 차단으로 잘못 수신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 대기계가 신호기의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD001)	$0.5\lambda_{SM\_PIO}$ X $0.5\lambda_{SM\_PIO}$	1.85E-13
		동작계 SM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로 신호기 제어신호 오류출력	동작계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{SM_PIO} X λ_{SM}	5.37E-12
		동작계 SM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로 신호기 제어신호 오류출력	동작계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{SM_PIO} X λ_{SM}	5.37E-12

HAZOP Study 대상: TFM_SM

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Parallel Interface	대기계 SM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로 신호기 제어신호 오류출력	대기계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로 신호기 제어신호 오류출력	대기계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		동작계 SM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로부터 수신되는 신호기상태입력을 오류입력	동작계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_P10} X \lambda_{SM}$	5.37E-12
		동작계 SM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로부터 수신되는 신호기상태입력을 오류입력	동작계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_P10} X \lambda_{SM}$	5.37E-12

HAZOP Study 대상: TFM_SM

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Parallel Interface	대기계 SM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로부터 수신되는 신호기상 태입력을 오류입력	대기계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Signal Control로부터 수신되는 신호기상 태입력을 오류입력	대기계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Signal Control	동작계 SM의 Microcontroller #1쪽 Signal Control회로 결함으로 신호기 제어의 잘못된 접점구성	동작계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_CON} X \lambda_{SM}$	4.87E-12

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Signal Control	동작계 SM의 Microcontroller #2쪽 Signal Control회로 결함으로 신호기 제어의 잘못된 접점구성	동작계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_CON} X \lambda_{SM}$	4.87E-12
		대기계 SM의 Microcontroller #1쪽 Signal Control회로 결함으로 신호기 제어의 잘못된 접점구성	대기계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Microcontroller #2쪽 Signal Control회로 결함으로 신호기 제어의 잘못된 접점구성	대기계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단 Microcontroller #1과 #2가 모두 동일한 출력으로 접점을 구성해야 제어신호가 출력	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_SM

참조도면번호:	갱신번호: V1.0	소요시간:
참여구성원:		회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Signal Feedback	동작계 SM의 Signal Control회로 결함으로 Microcontroller #1으로 잘못된 신호기 현시정보 전송	동작계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_FB} X \lambda_{SM}$	3.43E-12
		동작계 SM의 Signal Control회로 결함으로 Microcontroller #2로 잘못된 신호기 현시정보 전송	동작계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_FB} X \lambda_{SM}$	3.43E-12
		대기계 SM의 Signal Control회로 결함으로 Microcontroller #1으로 잘못된 신호기 현시정보 전송	대기계 SM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		대기계 SM의 Signal Control회로 결함으로 Microcontroller #2로 잘못된 신호기 현시정보 전송	대기계 SM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 SM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_SM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _SM	Power Circuit	정상전원공급에 대하여 동작계 SM의 Power Circuit 결함에 의해 SM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	동작계 SM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 SM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{SM\_PSU} X \lambda_{SM}$	2.18E-12
		정상전원공급에 대하여 대기계 SM의 Power Circuit 결함에 의해 SM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	대기계 SM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 SM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

[기타사항]
1. 소프트웨어 의한 프로세서 연산오류는 성능시험을 통해 검증되었으므로 제외.
2. Display 현시오류로 발생하는 유지보수자의 잘못된 유지보수에 의한 고장확산은 분석에서 제외.
[변경이력]
1. 2007.10.07 초안작성

3.5. TFM_IM의 FMEA

TFM_IM은 그림6과 같이 내부에 Dual-Micorocontoller를 갖는 단일계가 대기이중계로 구성된다.

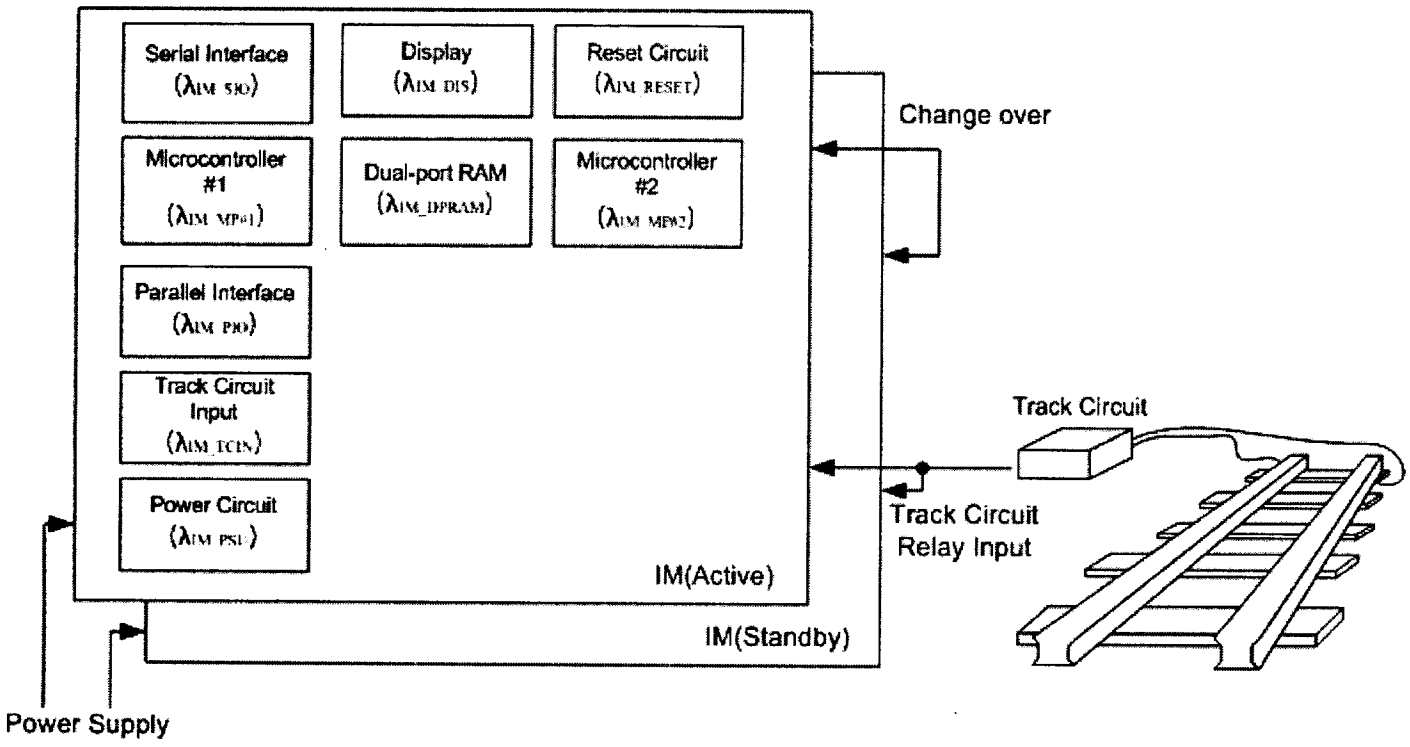


그림6. TMF_IM의 구성도

그림6의 각 하부구성요소의 기능을 정리하면 표12와 같다.

표12. TFM_IM의 인터페이스 및 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
TFM_IM	Serial Interface	λ_{IM_SIO}	열차위치에 따른 궤도계전기 상태를 SHR을 통해 IXL로 전송	3.4E-7
	Display	λ_{IM_DIS}	IM의 동작상태 및 신호기 현시상태를 표시	3.8E-7
	Reset Circuit	λ_{IM_RESET}	IM의 수동 재시작을 수행하기 위한 스위치 및 회로	4E-7
	Microcontroller	$\lambda_{IM\_MP\#x}$	IXL로부터 수신된 명령을 수행하는 Dual구조의 Microcontroller는 Dual-port RAM을 사용하여 동기화된 각 컨트롤로의 연산결과를 비교하여 불일치시 Dual의 Microcontroller가 모두 정지	2.8E-7
	Dual-port RAM	λ_{IM_DPRAM}	Dual의 Microcontroller의 연산결과를 상호비교하기 위한 메모리	4.3E-7
	Parallel Interface	λ_{IM_PIO}	Dual로 구성된 동작계IM과 대기계IM이 상호상태를 감시하여 동작계결함발생으로 차단시 대기계가 동작계의 임무를 수행하기 위한 데이터 교환 궤도계전기의 상태를 Track Circuit Input회로를 통해 입력받아 Microcontroller로 전송	4.2E-7
	Track Circuit Input	λ_{IM_TCIN}	궤도계전기의 입력을 이중화된 Track Circuit Input회로에의해 동일입력에 대하여 2개로 디지털 신호를 생성하여 각각을 Microcontroller #1과 Microcontroller #2로 전송	4.5E-7
	Power Circuit	λ_{IM_PSU}	TFM_IM의 동작을 위해 외부에서 공급되는 DC24V를 Microcontroller를 위한 DC5V로 변환	4.9E-7
LRU		λ_{IM}		3.19E-6

그림6의 TFM_IM을 구성하는 하부구성요소의 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표13과 같다.

표13. TFM_IM의 FMEA

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Serial Interface	동작계 IM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (동작계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음 (TFM 계절체)	TFM의 동작계가 오류정보를 간헐적으로 IXL로 전송해도 전송되는 전문의 정보여분에 의해 TFM은 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD001 IXL_HD002 IXL_HD003)	$\lambda_{IM\_SIO} X \lambda_{IXL}$	5.1E-12
		대기계 IM의 Serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 오류정보 송신	IXL에 의해 오류정보를 안전하게 처리 (대기계의 자체진단불가, 지속적인 간헐결함발생은 시스템의 성능저하로 발전)	영향없음	TFM의 동작계와 대기계가 동시에 제어명령을 발생하여도, IXL내부의 IXL명령확인 절차에 의한 안전측동작 확보	위험측동작 (IXL_HD001 IXL_HD002 IXL_HD003)	$\lambda_{IM\_SIO} X \lambda_{IXL}$	5.1E-12
		동작계 IM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_SIO} X \lambda_{IXL}$	5.1E-12
		대기계 IM의 Serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정보송신 실패	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 IM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_SIO} X \lambda_{IM}$	1.08E-12

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Serial Interface	대기계 IM의 serial Interface 간헐 결함으로 IXL로 정상정보 수신오류	IXL에 의해 결함이 발생한 모듈의 검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		동작계 IM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (동작계의 자체진단불가)	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_SIO} X \lambda_{IM}$	1.08E-12
		대기계 IM의 serial Interface 영구 결함으로 IXL로 정상정보 수신실패	IXL의 요청에 따라 TFM이 응답을 하지 않으므로 IXL에 의해 결함검출 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
	Display	동작계 IM의 Display결함으로 동작 상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 IM의 Display결함으로 동작 상태 현시오류	운영효율저하	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
	Reset Circuit	동작계 IM의 Reset Circuit 결함으로 동작계 IM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_RESET} X \lambda_{IM}$	1.28E-12
		대기계 IM의 Reset Circuit 결함으로 대기계 IM의 재시작 또는 정지	IXL에 의해 의도하지 않은 재시작 또는 정지가 검지	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_IM

참조도면번호: | 갱신번호: V1.0 | 소요시간:

참여구성원: | 회의일시:

LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Micro-controller	동작계 IM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_MP} X \lambda_{IM}$	8.93E-13
		동작계 IM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	동작계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_MP} X \lambda_{IM}$	8.93E-13
		대기계 IM의 Microcontroller #1의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 IM의 Microcontroller #2의 결함(재시작, 정지, 연산오류)발생	대기계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Dual-port RAM	동작계 IM의 Dual-port RAM결함 (간헐, 영구)발생	동작계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_DPRAM} X \lambda_{IM}$	1.37E-12
		대기계 IM의 Dual-port RAM결함 (간헐, 영구)발생	대기계의 Dual-port RAM을 사용하는 Microcontroller#1과 Microcontroller#2의 데이터교환이 중지되어 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Parallel Interface	동작계 IM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 IM에 동작계 차단신호 송신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 동작계가 궤도회로의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD001 IXL_HD002 IXL_HD003)	$0.5\lambda_{IM\_PIO} X$ $0.5\lambda_{IM\_PIO}$	4.41E-14
		대기계 IM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 IM에 대기계 차단신호 송신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Parallel Interface	동작계 IM의 Parallel Interface 결함발생으로 대기계 IM으로부터 수신되는 대기계의 상태를 차단으로 잘못 수신	동작계가 대기계를 결함발생에 의한 차단으로 인식 (대기계의 자체진단불가)	영향없음	N/A	영향없음	N/A	N/A
		대기계 IM의 Parallel Interface 결함발생으로 동작계 IM으로부터 수신되는 동작계의 상태를 차단으로 잘못 수신	결과를 예상할 수 없음 (결함이 발생한 대기계가 궤도회로의 위험측 제어명령을 전송할 수 있음)	위험측장애	계관리와 관련된 Parallel Interface의 이중화된 소자를 사용하여 단일결함에 대한 고장모드 발생빈도를 SIL4이하로 관리	위험측동작 (IXL_HD001 IXL_HD002 IXL_HD003)	$0.5\lambda_{IM\_PIO}$ X $0.5\lambda_{IM\_PIO}$	4.41E-14
		동작계 IM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Track Circuit Input의 오류입력	동작계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{IM_PIO} X λ_{IM}	1.34E-12
		동작계 IM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Track Circuit Input의 오류입력	동작계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	λ_{IM_PIO} X λ_{IM}	1.34E-12

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Parallel Interface	대기계 IM의 Microcontroller #1쪽 Parallel Interface 결함으로 Track Circuit Input의 오류입력	대기계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
		대기계 IM의 Microcontroller #2쪽 Parallel Interface 결함으로 Track Circuit Input의 오류입력	대기계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 대기계가 차단되었음을 유지보수콘솔로 경고하여 유지보수시행	영향없음	N/A	N/A
	Track Circuit Input	동작계 IM의 Microcontroller #1쪽 Track Circuit Input회로 결함으로 Parallel Interface로 잘못된 신호전송	동작계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_PIO} X \lambda_{IM}$	1.34E-12
		동작계 IM의 Microcontroller #2쪽 Track Circuit Input회로 결함으로 Parallel Interface로 잘못된 신호전송	동작계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 IM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_PIO} X \lambda_{IM}$	1.34E-12

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
TFM _IM	Track Circuit Input	대기계 IM의 Microcontroller #1쪽 Track Circuit Input회로 결함으로 Parallel Interface로 잘못된 신호전송	대기계 IM의 Microcontroller #2와의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
		대기계 IM의 Microcontroller #2쪽 Track Circuit Input회로 결함으로 Parallel Interface로 잘못된 신호전송	대기계 IM의 Microcontroller #1과의 비교결과가 불일치 하여 PM자체적으로 결함검출 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A
	Power Circuit	정상전원공급에 대하여 동작계 IM의 Power Circuit 결함에 의해 IM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	동작계 IM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 IM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 동작계 차단을 인식	영향없음 (TFM 계절체)	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 동작계의 출력을 차단하고 대기계를 동작계로 전환	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{IM\_PSU} X \lambda_{IM}$	1.56E-12
		정상전원공급에 대하여 대기계 IM의 Power Circuit 결함에 의해 IM 내부로 잘못된 전원공급(단전, 과전)	대기계 IM내부의 전원감시 및 차단회로에 의해 과전시 해당 IM이 차단되며, 이러한 과전과 단전에 대하여 주기적으로 송수신되는 IXL과의 데이터전송이 중지되므로, IXL이 결함발생에 의한 대기계 차단을 인식	영향없음	IXL이 이중계로 구성된 TFM의 계절체 명령을 수행하여 결함이 발생한 대기계의 출력을 차단	영향없음	N/A	N/A

HAZOP Study 대상: TFM_IM								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
[기타사항] 1. 소프트웨어 의한 프로세서 연산오류는 성능시험을 통해 검증되었으므로 제외. 2. Display 현시오류로 발생하는 유지보수자의 잘못된 유지보수에 의한 고장확산은 분석에서 제외. [변경이력] 1. 2007.10.07 초안작성								

3.6. PSU의 FMEA

IXL의 전원공급장치는 기계실의 IXL논리부랙에 설치하여 IXL논리부 및 IXL쪽 SHR의 전원을 공급하는 이중계구조 전원공급장치와 TFM랙에 설치하여 PM, SM, OM 및 SHR에 전원을 공급하는 이중계구조 전원공급장치로 분류된다. 각각의 전원공급장치를 기능별로 정리하면 표14와 같다.

표14. PSU의 종류별 기능

LRU	하부구성요소	표시	기능	고장률 (/h)
PSU	IXL논리부의 PSU	λ_{IXL_PSU}	이중계로 구성되고 기계실에 설치된 IXL랙의 IXL_CPU와 SHR에 전원을 공급	1.25E-6
	TFM랙의 PSU	λ_{TFM_PSU}	이중계로 구성되고 TFM랙의 PM, SM, OM, SHR에 전원을 공급	1.25E-6

각각의 PSU에 대한 안전측고장 및 위험측고장에 대한 FMEA를 수행하면 표15와 같다.

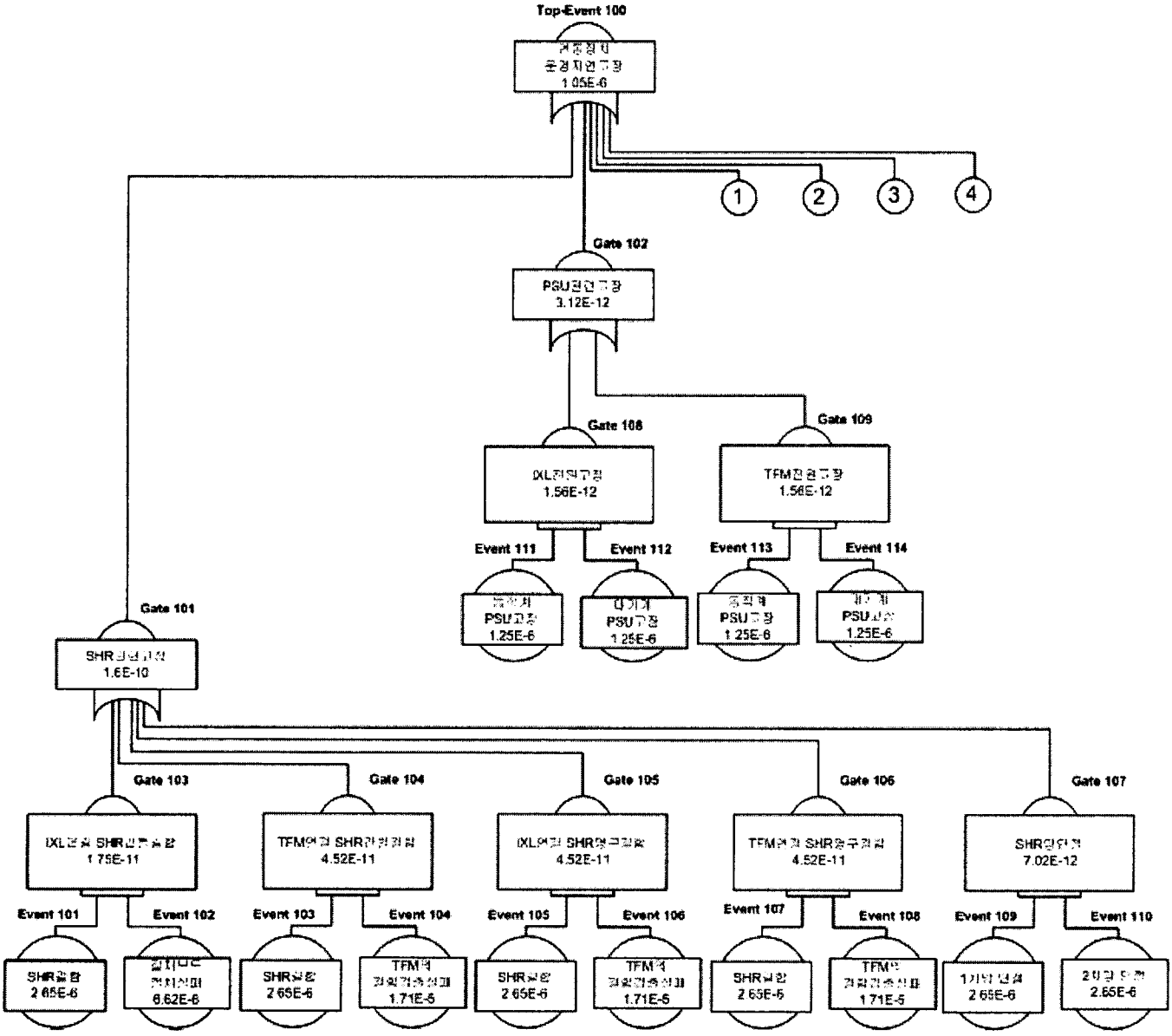
표15. PSU의 FMEA

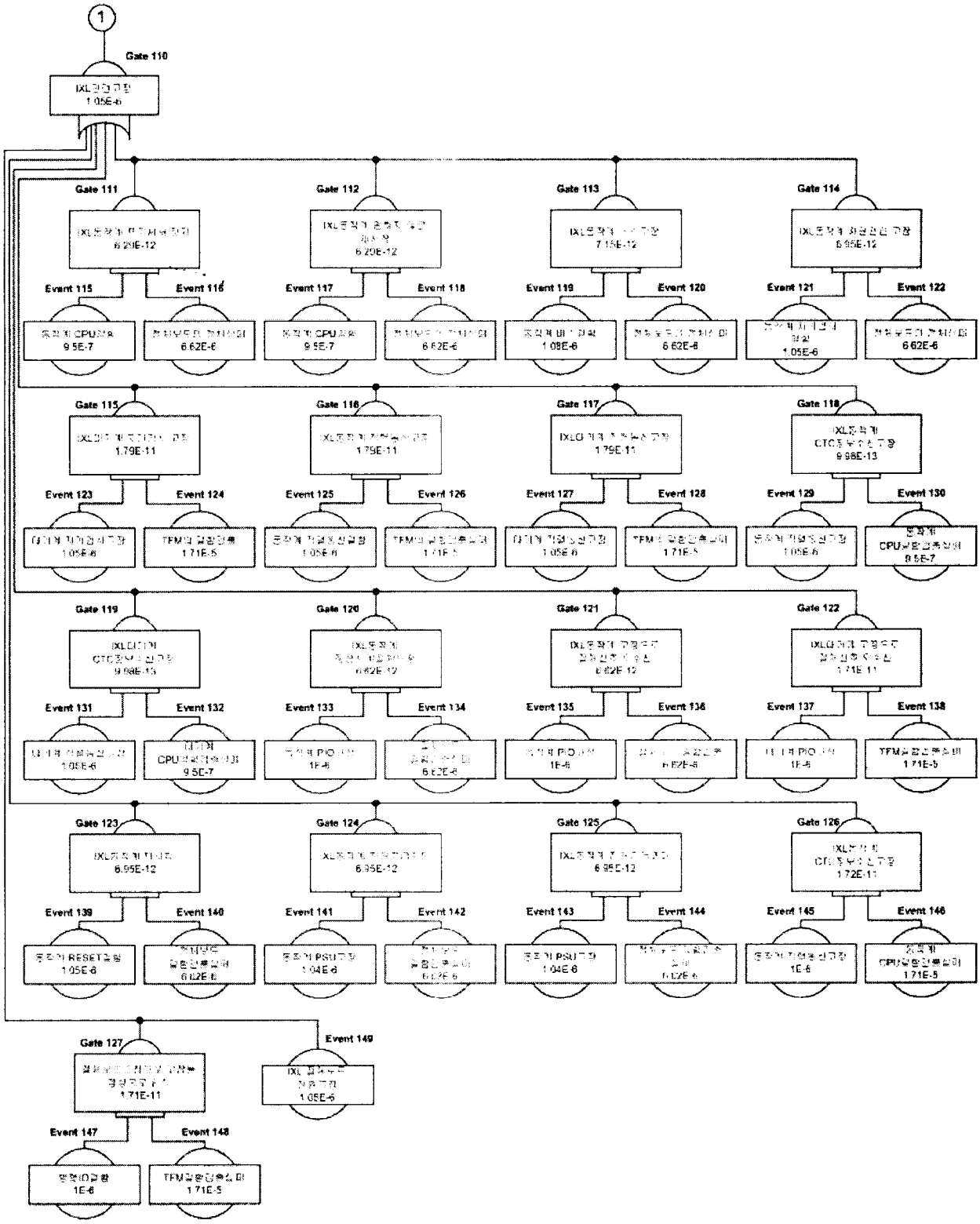
HAZOP Study 대상: PSU								
참조도면번호:				갱신번호: V1.0			소요시간:	
참여구성원:							회의일시:	
LRU	구성요소	고장모드(발생빈도 /hour)	LRU결과	전체시스템 결과	안전대책	모든 대책 실패시 결과	발생빈도 산출식	대책 후 발생빈도 (/hour)
PSU	IXL논리부의 PSU	IXL논리부 PSU의 동작계 PSU의 결함으로 인한 전원공급중단	유지보수요구	영향없음	대기계가 병렬로 전원을 공급하여 동작계 전원공급 중단시 IXL논리부의 동작은 영향없음	운행지연 (IXL의 불능)	$\lambda_{IXL\_PSU} X \lambda_{IXL\_PSU}$	1.56E-12
		IXL논리부 PSU의 대기계 PSU의 결함으로 인한 전원공급중단	유지보수요구	영향없음	동작계가 병렬로 전원을 공급하여 동작계 전원공급 중단시 IXL논리부의 동작은 영향없음	영향없음	N/A	N/A
	TFM랙의 PSU	TFM랙의 PSU의 동작계 PSU의 결함으로 인한 전원공급중단	유지보수요구	영향없음	대기계가 병렬로 전원을 공급하여 동작계 전원공급 중단시 TFM랙의 동작은 영향없음	운행지연 (TFM의 불능)	$\lambda_{TFM\_PSU} X \lambda_{TFM\_PSU}$	1.56E-12
		TFM랙의 PSU의 대기계 PSU의 결함으로 인한 전원공급중단	유지보수요구	영향없음	동작계가 병렬로 전원을 공급하여 동작계 전원공급 중단시 TFM랙의 동작은 영향없음	영향없음	N/A	N/A

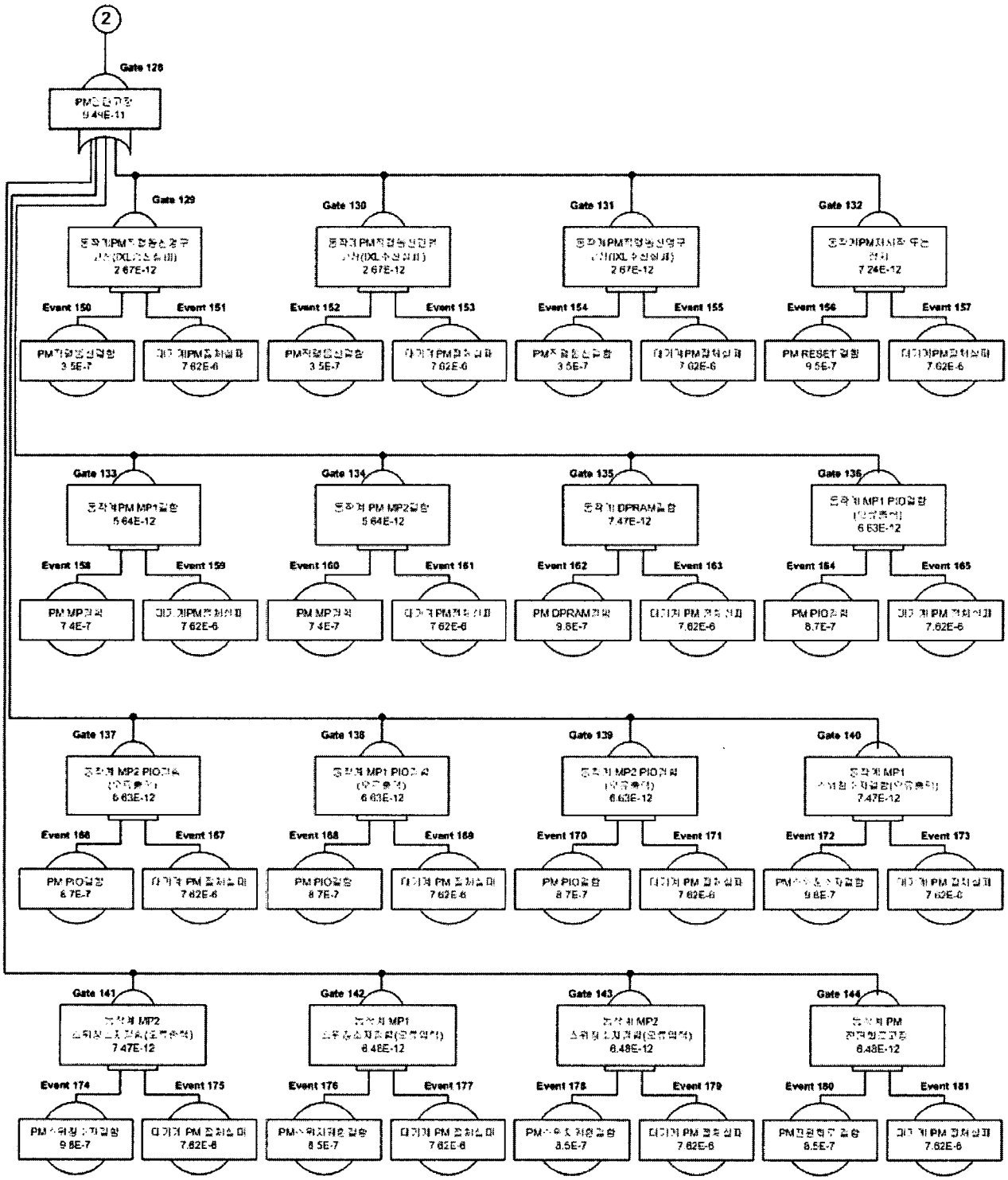
[기타사항]
1. PSU의 결함 중 결함발생으로 전원공급라인의 단락이 발생하는 결함은 제외.
[변경이력]
1. 2007.10.07 초안작성.

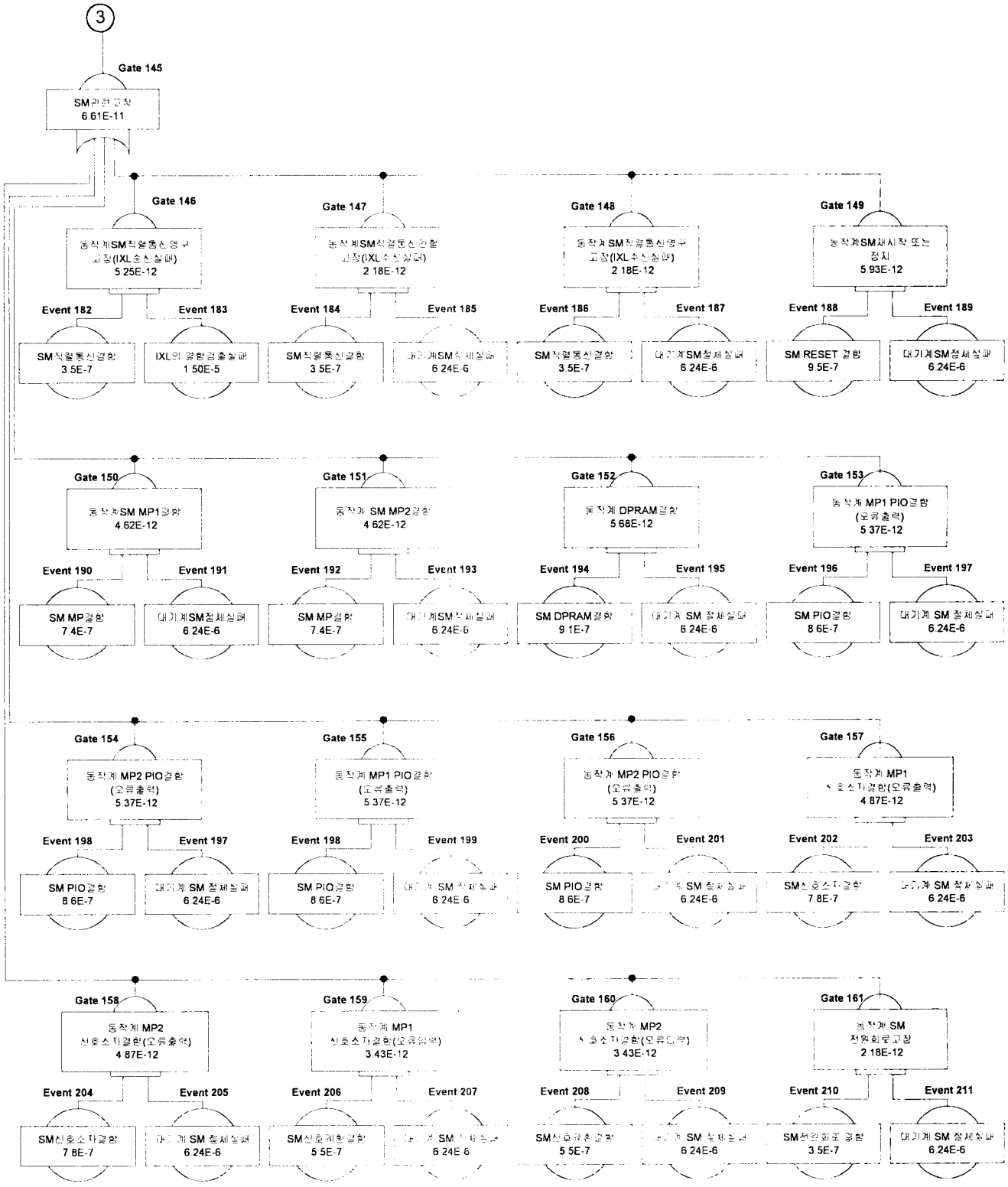
4. 서비스지연 및 위험원별 FTA

4.1. 서비스지연 FTA

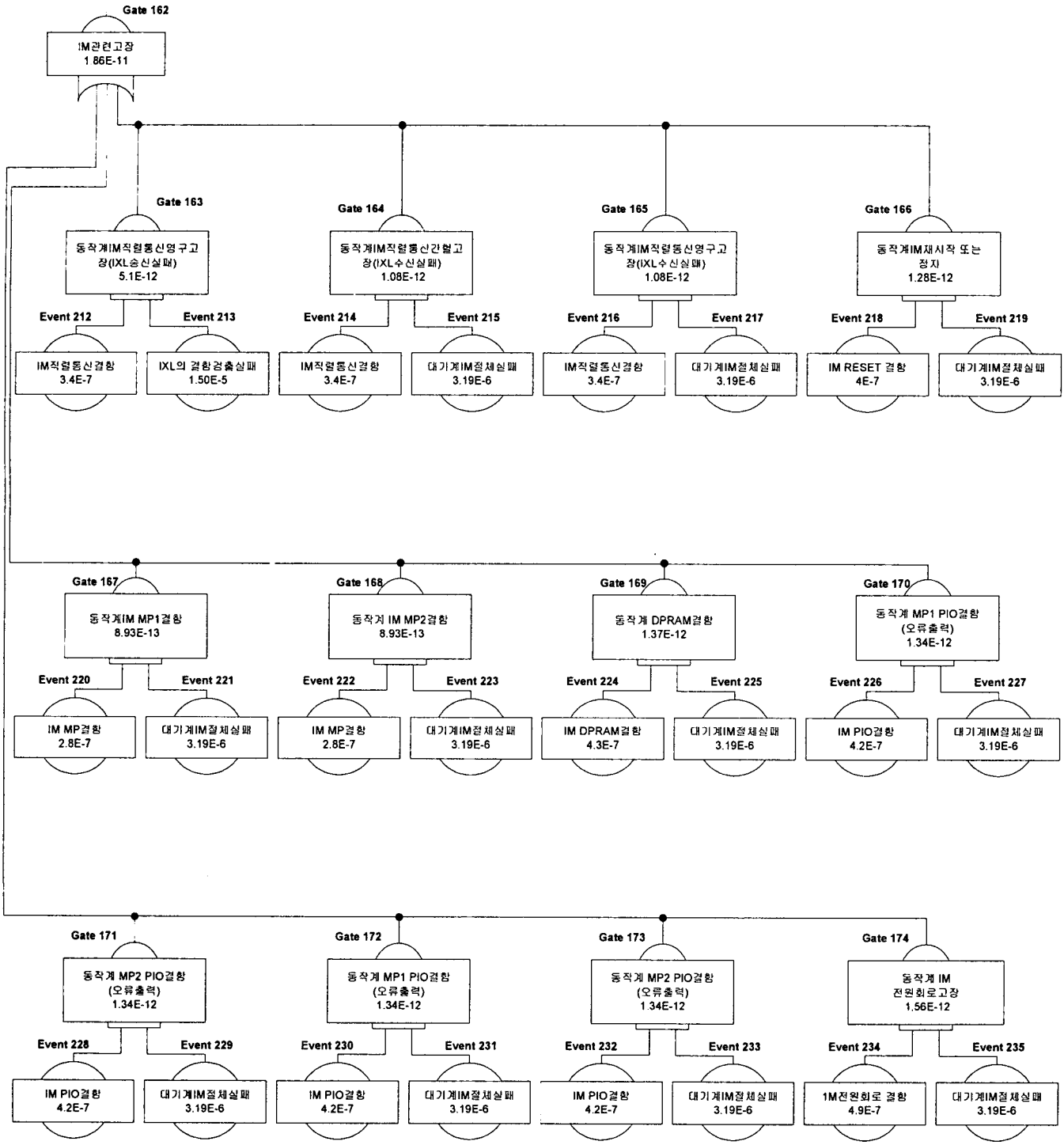



1
Gate 110
Gate 111
Gate 112
Gate 113
Gate 114
Event 115
Event 116
Event 117
Event 118
Event 119
Event 120
Event 121
Event 122
Gate 115
Gate 116
Gate 117
Gate 118
Event 123
Event 124
Event 125
Event 126
Event 127
Event 128
Event 129
Event 130
Gate 119
Gate 120
Gate 121
Gate 122
Event 131
Event 132
Event 133
Event 134
Event 135
Event 136
Event 137
Event 138
Gate 123
Gate 124
Gate 125
Gate 126
Event 139
Event 140
Event 141
Event 142
Event 143
Event 144
Event 145
Event 146
Gate 127
Event 149
Event 147
Event 148

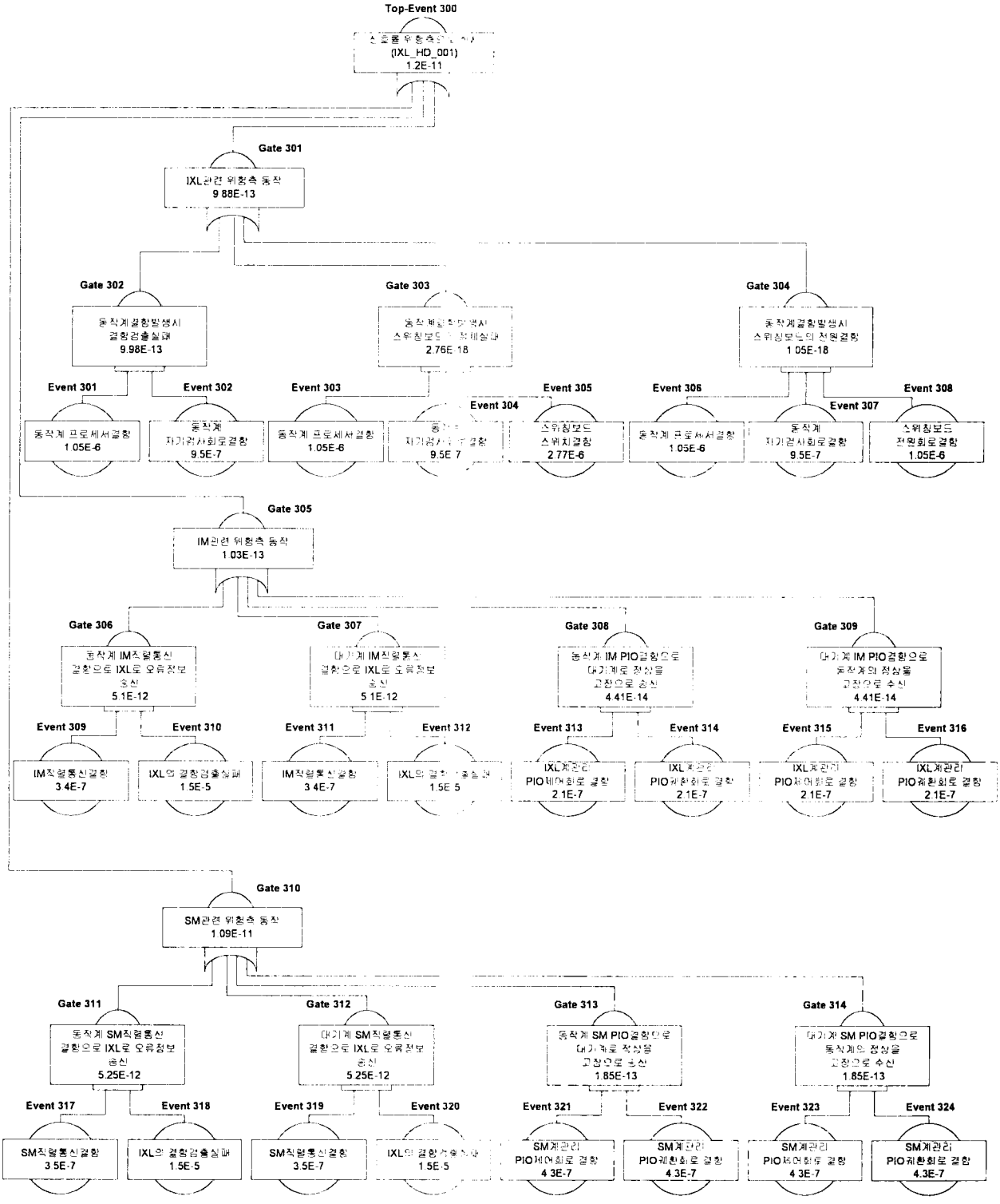

2
Gate 128
PM소프트웨어
9.44E-11
Gate 129
Gate 130
Gate 131
Gate 132
Event 150
Event 151
Event 152
Event 153
Event 154
Event 155
Event 156
Event 157
PM RESET 결함
9.5E-7
Gate 133
Gate 134
Gate 135
Gate 136
Event 158
Event 159
Event 160
Event 161
Event 162
Event 163
Event 164
Event 165
PM MP결함
7.4E-7
PM DPRAM결함
9.6E-7
PM PIO결함
8.7E-7
Gate 137
Gate 138
Gate 139
Gate 140
Event 166
Event 167
Event 168
Event 169
Event 170
Event 171
Event 172
Event 173
PM PIO결함
8.7E-7
Gate 141
Gate 142
Gate 143
Gate 144
Event 174
Event 175
Event 176
Event 177
Event 178
Event 179
Event 180
Event 181
PM-워치독 타이머결함
9.8E-7
PM-워치독 타이머결함
8.5E-7
PM프로세서 결함
8.5E-7


3
Gate 145
SM관련고장
6.61E-11
Gate 146
동작계SM직렬통신영구
고장(IXL송신실패)
5.25E-12
Gate 147
동작계SM직렬통신간헐
고장(IXL송신실패)
2.18E-12
Gate 148
동작계SM직렬통신영구
고장(IXL수신실패)
2.18E-12
Gate 149
동작계SM재시작 또는
정지
5.93E-12
Event 182
SM직렬통신결함
3.5E-7
Event 183
IXL의 결함검출실패
1.50E-5
Event 184
SM직렬통신결함
3.5E-7
Event 185
대기계SM절체실패
6.24E-6
Event 186
SM직렬통신결함
3.5E-7
Event 187
대기계SM절체실패
6.24E-6
Event 188
SM RESET 결함
9.5E-7
Event 189
대기계SM절체실패
6.24E-6
Gate 150
동작계SM MP1결함
4.62E-12
Gate 151
동작계 SM MP2결함
4.62E-12
Gate 152
동작계 DPRAM결함
5.68E-12
Gate 153
동작계 MP1 PIO결함
(오류출력)
5.37E-12
Event 190
SM MP결함
7.4E-7
Event 191
대기계SM절체실패
6.24E-6
Event 192
SM MP결함
7.4E-7
Event 193
대기계SM절체실패
6.24E-6
Event 194
SM DPRAM결함
9.1E-7
Event 195
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 196
SM PIO결함
8.6E-7
Event 197
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Gate 154
동작계 MP2 PIO결함
(오류출력)
5.37E-12
Gate 155
동작계 MP1 PIO결함
(오류출력)
5.37E-12
Gate 156
동작계 MP2 PIO결함
(오류출력)
5.37E-12
Gate 157
동작계 MP1
신호소자결함(오류출력)
4.87E-12
Event 198
SM PIO결함
8.6E-7
Event 197
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 198
SM PIO결함
8.6E-7
Event 199
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 200
SM PIO결함
8.6E-7
Event 201
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 202
SM신호소자결함
7.8E-7
Event 203
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Gate 158
동작계 MP2
신호소자결함(오류출력)
4.87E-12
Gate 159
동작계 MP1
신호소자결함(오류출력)
3.43E-12
Gate 160
동작계 MP2
신호소자결함(오류출력)
3.43E-12
Gate 161
동작계 SM
전원회로고장
2.18E-12
Event 204
SM신호소자결함
7.8E-7
Event 205
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 206
SM신호제한결함
5.5E-7
Event 207
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 208
SM신호제한결함
5.5E-7
Event 209
대기계 SM 절체실패
6.24E-6
Event 210
SM전원회로 결함
3.5E-7
Event 211
대기계 SM 절체실패
6.24E-6

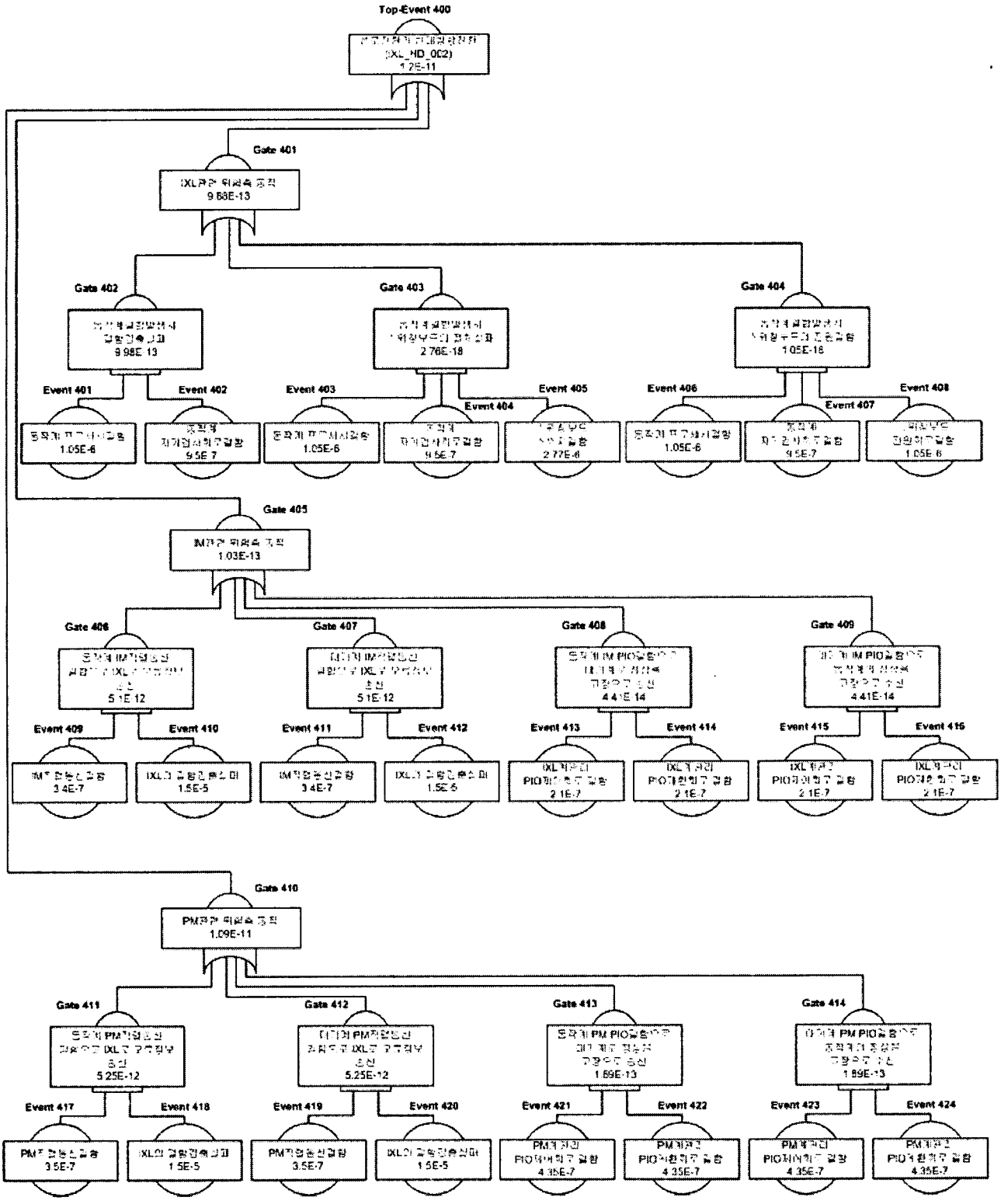
④


Gate 162
IM관련고장
1.86E-11
Gate 163
동작계IM직렬통신영구고장(IXL송신실패)
5.1E-12
Gate 164
동작계IM직렬통신간헐고장(IXL수신실패)
1.08E-12
Gate 165
동작계IM직렬통신영구고장(IXL수신실패)
1.08E-12
Gate 166
동작계IM재시작 또는 정지
1.28E-12
Event 212
IM직렬통신결함
3.4E-7
Event 213
IXL의 결함검출실패
1.50E-5
Event 214
IM직렬통신결함
3.4E-7
Event 215
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 216
IM직렬통신결함
3.4E-7
Event 217
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 218
IM RESET 결함
4E-7
Event 219
대기계IM절체실패
3.19E-6
Gate 167
동작계IM MP1결함
8.93E-13
Gate 168
동작계 IM MP2결함
8.93E-13
Gate 169
동작계 DPRAM결함
1.37E-12
Gate 170
동작계 MP1 PIO결함(오류출력)
1.34E-12
Event 220
IM MP결함
2.8E-7
Event 221
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 222
IM MP결함
2.8E-7
Event 223
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 224
IM DPRAM결함
4.3E-7
Event 225
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 226
IM PIO결함
4.2E-7
Event 227
대기계IM절체실패
3.19E-6
Gate 171
동작계 MP2 PIO결함(오류출력)
1.34E-12
Gate 172
동작계 MP1 PIO결함(오류출력)
1.34E-12
Gate 173
동작계 MP2 PIO결함(오류출력)
1.34E-12
Gate 174
동작계 IM 전원회로고장
1.56E-12
Event 228
IM PIO결함
4.2E-7
Event 229
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 230
IM PIO결함
4.2E-7
Event 231
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 232
IM PIO결함
4.2E-7
Event 233
대기계IM절체실패
3.19E-6
Event 234
1M전원회로 결함
4.9E-7
Event 235
대기계IM절체실패
3.19E-6

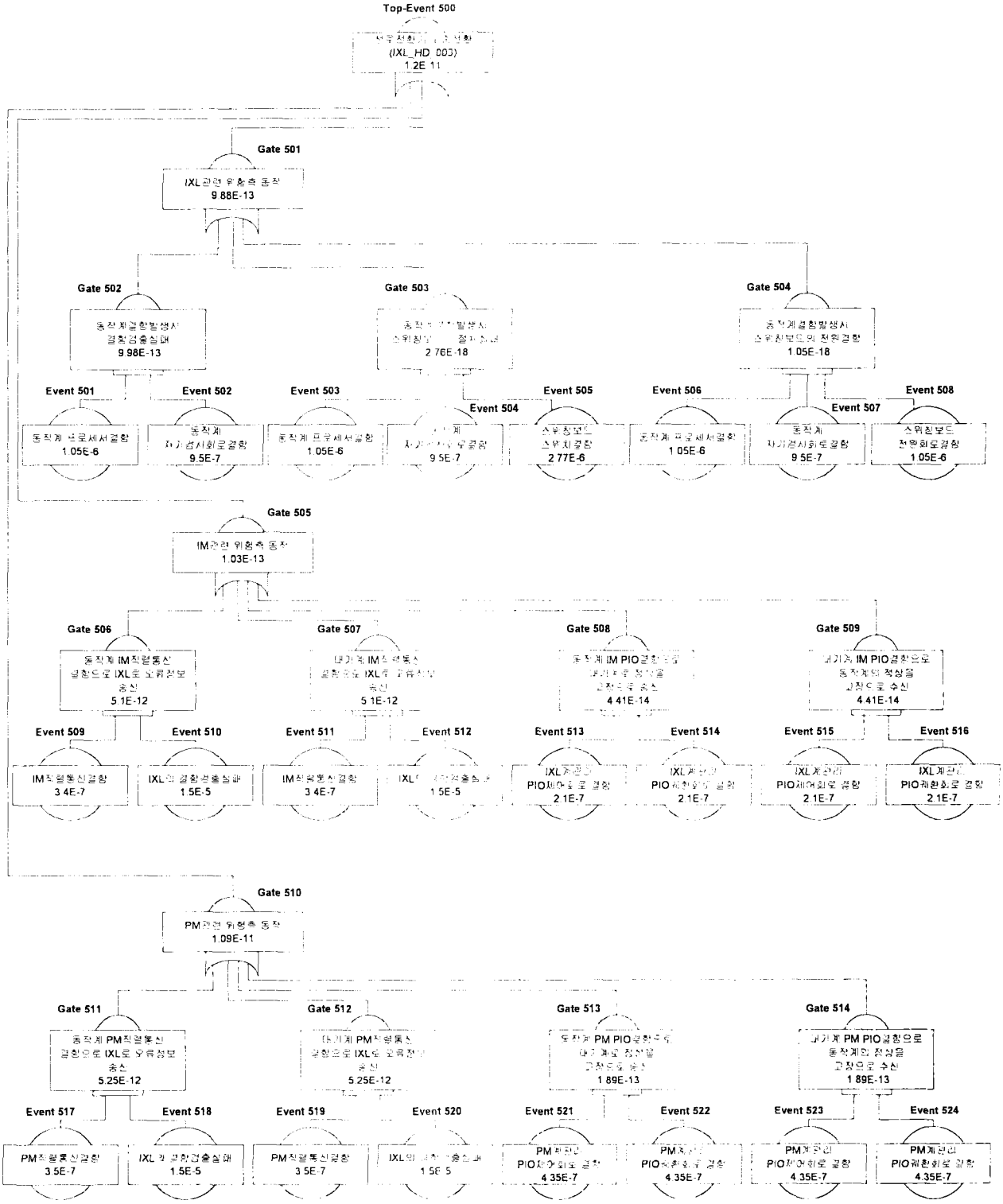
4.2. IXL_HD_001의 FTA



4.3. IXL_HD_002의 FTA



4.4. IXL_HD_003의 FTA



5. 결 론

IXL의 RAMS평가결과를 요약하면 다음과 같다.

No	LRU	고장률(/h)	MTBF(Hour)	MTTR(Hour)	교체주기(Hour)
1	CPU	8.37×10^{-6}	119,474	0.2	73,560
2	Swith Board	6.62×10^{-6}	151,067	0.3	93,000
3	SHR	5.30×10^{-6}	188,679	0.1	116,184
4	TFM_PM	7.62×10^{-6}	131,234	0.2	80,760
5	TFM_SM	6.24×10^{-6}	160,256	0.2	98,616
6	TFM_IM	3.19×10^{-6}	313,480	0.2	191,664
7	PSU	2.50×10^{-6}	400,000	0.3	246,240
8	MTBSF = 952,381 Hour PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				
9	MTTR = 0.21 Hour LRU단위 수리시간을 MIL-HDBK-472를 기준으로 산출.				
10	Dangerours Failure Rate IXL_HD_001 = 1.2×10^{-11}(SIL4) IXL_HD_002 = 1.2×10^{-11}(SIL4) IXL_HD_003 = 1.2×10^{-11}(SIL4) PM, SM, IM각 1대씩 설치된 TFM을 IXL이 SHR을 통해 제어하는 전자연동장치를 가정.				

[주의] 교체주기 계산에 필요한 와이블분포의 변수(α, β, γ)는 MTBF의 ±10%와, CM비용/PM비용 = 100을 가정하여 추정.

따라서, 본 문서의 1.6의 RAMS목표를 모두 만족한다.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
한국철도기술연구원 TEL 031)460-5436 이재호
LS산전(주) TEL 031)450-7501 조용기
대우엔지니어링(주) TEL 031)738-0241 전현덕

R&D / Ⅱ-2

고속철도기술개발사업 (분야 : 고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발)

■ 발행일 / 2007 10. 31
■ 발행처 / 한국철도기술연구원
경기도 의왕시 월암동 360-1
TEL : 031-460-5434
■ 인쇄처 / 성 균 사