

한국형 틸팅열차 차상신호장치 신뢰성관리에 대한 연구

A Study on the Reliability Management of Onboard Signaling Equipment for the Korean Tilting Train

신덕호[†] · 백종현* · 이강미** · 김용규***

Ducko Shin · Jong-Hyun Baek · Knag-Me Lee · Yong-Kyu Kim

Abstract This paper is a study on the reliability management of onboard signaling equipment for the Koran Tilting Train (TTX) to run the existing railway to express railway. For safe running of tilting train which operates at Automatic Train Protection (ATP) and Automatic Train Stop (ATS), a reliability management plan for TTX onboard is proposed for preventing train safety from driver oversight and malfunction by establishing braking curves based on movement authority and speed limit, according to preceding train location and rail conditions. Also, reliability of TTX onboard equipment on the basis of proposed plan was estimated, and actual case studies based on the international requirements IEC 62278 (EN 50126) were provided to verify its reliability.

Keywords : Tilting Train, Train Control System, Reliability Prediction, Reliability Demonstration

요 지 본 논문은 기존선을 고속으로 운행하기 위해 개발된 한국형 틸팅열차 차상신호장치의 신뢰성관리방안에 대한 연구이다. 기존선 자동열차방호(ATP) 및 자동열차정지(ATS)구간을 운행하는 틸팅열차의 안전한 운영을 위해, 선행 열차위치 및 선로환경에 따라 부여된 이동권한 및 제한속도를 기준으로 제동곡선을 생성하여 기관사 실수 및 장애로부터 열차의 안전을 확보하는 차상신호장치의 신뢰성관리방안을 제시한다. 또한 제시된 방안을 기준으로 열차제어시스템의 신뢰도를 예측하고, 검증하는 방안을 국제규격인 IEC 62278(EN 50126)을 기준으로 수행한 사례를 제시한다.

주 요 어 : 틸팅열차, 열차제어시스템, 신뢰도 예측, 신뢰도 입증

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

기존선의 곡선구간 운행시 곡선의 중심방향으로 열차를 최대 8° 기울여 고속으로 운행할 수 있게 개발된 틸팅열차는 기존선의 신호방식인 자동열차방호(ATP, Automatic Train Control)구간과 자동열차정지(ATS, Automatic Train Stop)구간을 모두 운행하도록 차상신호장치가 설치되어 있다. 기관사에게 선로의 신호상태 및 운전정보를 제공하고, 선행열차와의 간격제어 및 제한속도 초과시 열차의 안전

을 확보하기 위한 열차제어시스템은 과거, 지상에서 제한속도를 생성하고 기관사 실수에 대한 열차보호만을 담당하던 ATS방식에서, 선행열차의 위치에 따른 이동권한 및 선로조건에 따른 제한속도에 따라 동적속도프로파일과 정적속도프로파일을 생성하고 각각의 속도프로파일을 정합하여 열차를 보호하는 ATP방식으로 발전되고 있으며, 이러한 속도프로파일의 생성 및 열차방호가 차상신호장치의 주요기능이다.

본 논문에서는 이러한 차상신호장치의 신뢰성 관리절차를 개발하여 한국형 틸팅열차(TTX)에 적용한 사례를 제시하며, 이러한 절차는 철도시스템 신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성의 명세 및 입증에 대한 국제규격인 IEC 62278(EN 50126, KS C IEC 62278)을 바탕으로 한다.

국제수준의 철도시스템 신뢰성은 시스템의 개념설계부터 폐기까지의 수명주기 전반에 대하여 관리대상에 대한

[†] 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 선임연구원
E-mail : ducko@krri.re.kr

TEL : (031)460-5442 FAX : (031)460-5449

* 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 선임연구원

** 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 주임연구원

*** 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 책임연구원

신뢰도를 정량적으로 설정하고, 설계 및 제작단계에서 예측을 통해 목표달성을 확인하며, 신뢰성시험 및 시운전을 통해 검증하도록 권고[1]하고 있으며, 특히 열차제어와 같이 철도시스템 위험원의 대부분을 포함하는 안전필수 분야에 대해서는 신뢰성 및 안전성의 관리를 강제하고 있다 [2].

본 논문에서는 먼저 한국형 탈팅열차의 차상신호장치의 구성, 인터페이스사양 및 운영시나리오에 대하여 소개하고, 분석대상인 차상신호장치의 신뢰도목표, 예측방법 및 현황, 신뢰도입증방법 및 계획을 포함한 신뢰성관리 절차를 TTX 차상신호장치에 적용한 사례를 제시한다.

2. 한국형 탈팅열차 차상신호장치

2.1 차상신호장치 구성

TTX가 기존선 ATS 및 ATP구간을 안전하게 운행하기 위해 Fig. 1과 같이 차상신호장치가 전두부와 후두부에 각각 1씩 설치되었다. ATS구간에서 TTX 차상신호장치는 열차진행방향 전방폐색의 제한신호를 수신하기 위한 ATS 안테나 및 신호처리를 위한 STM을 포함하며, ATP구간에서는 선형열차위치에 따른 이동권한과 선로상태 수신을 위해 ETCS Level 1(SRS 2.2.2기준)표준 메시지를 발리스그롭으로부터 수신하기 위한 ATP안테나를 포함한다.

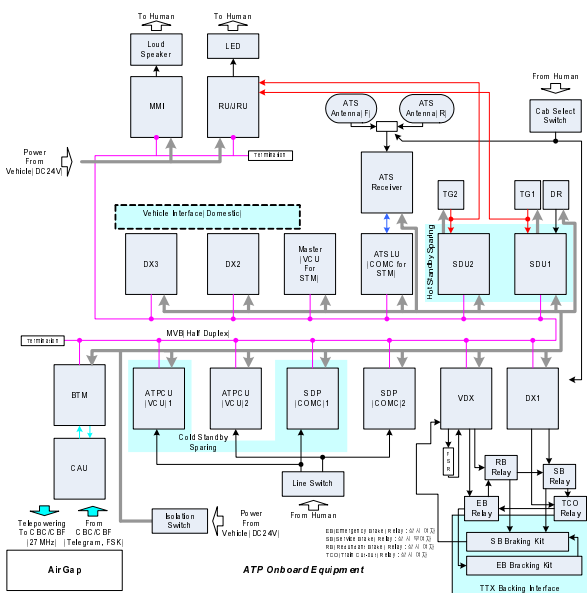


Fig. 1. Block diagram of ATP onboard equipment for TTX
 [Note] RU/JRU: Juridical Recording Unit, BTM: Balise Transmission Modules, CAU: Compact Antenna Unit, (V)DX: (Vital) Digital eXchanger, STM: Specific Transmission Module, VCU: Vehicle control Unit, SDP: Speed and Distance Processor, SDU: Speed and Distance Unit

또한 열차의 이동거리 및 속도의 산출을 위해 이중화된 속도센서와 단일계의 도플러레이더 센서가 포함되며, ATS 구간에서는 신호기상태, ATP구간에서는 제한속도 등을 표시하기 위한 MMI가 설치되어 있다.

2.2 차상신호장치 인터페이스 사양

TTX 차상신호장치의 신뢰성분석은 Fig. 1의 구성도를 범위로 하며, 차상장치의 인터페이스는 Fig. 2와 같이 차량의 제동장치 및 기관사에 의한 취급으로 정의한다.

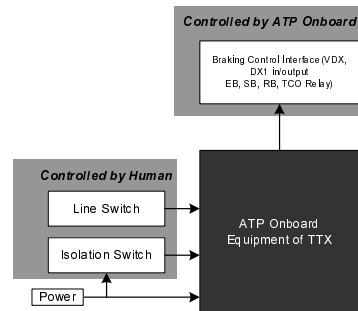


Fig. 2. Interface diagram of ATP onboard equipment for TTX

차량의 제동관련 인터페이스는 Table 1과 같이 4개의 바이탈계전기를 통해 상용제동과 비상제동을 제어한다. 기존 ATS 및 고속선ATC와 달리 ATP는 열차가 극단적으로 제한속도를 초과하지 않아도 이동권한중단에 대한 열차의 위치, 속도, 제동능력을 고려하여 해당위치에서 상용제동 프로파일을 초과하는 경우 상용제동에 의한 개입을 통해 안전 및 운영효율을 증가시킨다.

Table 1. Truth table of braking interface

VDX		DX1		Defined State
EB	RB	SB	TCO	
0	0	0	0	Emergency Braking
0	0	0	1	Emergency Braking
0	0	1	0	Emergency Braking
0	0	1	1	Emergency Braking
0	1	0	0	Emergency Braking
0	1	0	1	Emergency Braking
0	1	1	0	Emergency Braking
0	1	1	1	Emergency Braking
1	0	0	0	Service Braking
1	0	0	1	Service Braking
1	0	1	0	Service Braking
1	0	1	1	Service Braking
1	1	0	0	ATP On State(Before TCO Act.)
1	1	0	1	ATP On (Normal) State
1	1	1	0	Service Braking
1	1	1	1	Service Braking

[Note] EB : Emergency Braking, RB : Redundancy Braking, SB : Service Braking, TCO : Traction Cut OFF

따라서 차상장치가 제동에 개입하면 운전규정에 의해 정차 및 점검 후 재운행을 시작하는 기존의 비상제동에 의한 ATS 및 고속선 ATC방식보다는 열차운행의 가용도를 더욱 향상시킨다.

2.3 운영시나리오

한국의 ATP는 ETCS Level 1의 SRS 2.2.2를 기준으로 설치되었다. 따라서 ETCS의 기능요구사항(FRS) 중 강제사항에 해당하는 SRS요건 및 국가별 선택사항을 중심으로 기능이 정의되었다. Fig. 3은 ATP차상장치의 ATP구간 및 ATS구간 운행시 MMI 현시상태이다[3].

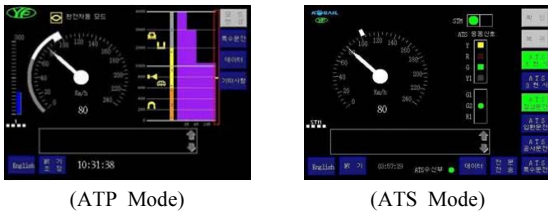


Fig. 3. MMI of ATP onboard equipment for TTX

ATP의 운영모드는 지상신호가 설치되지 않은 구간의 운행을 위한 Level 0, ATP구간 운행을 위한 Level 1, ATS구간 운행을 위한 Level STM을 기관사가 선택할 수 있게 되어 있으며, 각각의 모드에서는 운행조건에 따라 ETCS SRS를 준수하여 기관사책임모드, 완전감시모드, 트립모드, 트립후모드, 입환모드 등의 기능이 포함된다.

Table 2는 ATP운영관련 기능을 차상장치 기능에 대하여 분류한 것이다. 이러한 운영모드의 분석은 기능검증을 위한 시험절차서 작성의 바탕이 되며, 특히 신뢰도가 서비스 지연관련 고장에 대한 정량적 목표로 제시되는 경우 고장 모드영향분석(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)의 기준으로 활용된다.

Table 2. ATP onboard equipment operating mode

No	Category	Sub Category
1	Onboard Main Function	Speed Detection
2		Balise Reaction
3		Train Protection
4		Mode Operation
5	Switching Zone Operation	ATP to ATS
6		ATS to ATP
7	Human Operation	MMI Data Input
8		MMI Response

3. 한국형 킬링열차 차상신호장치 신뢰성관리

3.1 신뢰성 관리체계

TTX 차상신호장치의 신뢰성, 가용성, 유지보수성은 Fig. 4와 같이 개념설계부터 폐기까지 14단계 수명주기 중 시스템 인수까지의 10단계에 대하여 IEC 62278을 기준으로 관리한다. 10단계 이후인 운영, 성능감시, 유지보수/개량, 폐기에 대한 신뢰성관리계획은 향후 실용화 환경에 종속되므로 신뢰성관리범위에서 제외하였다.

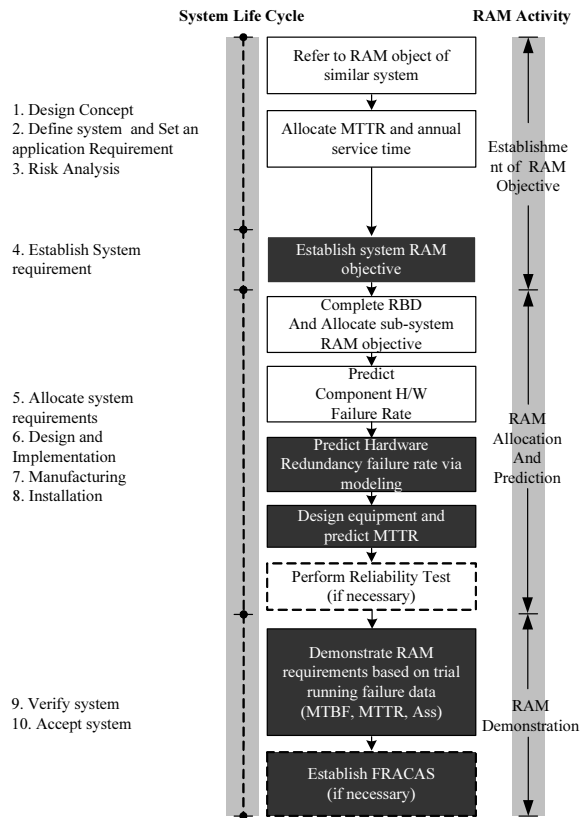


Fig. 4. RAM management processes(IEC 62278)

따라서 본 논문에서는 TTX 차상장치 신뢰성관리 절차에 포함되는 목표수립과 신뢰도예측 및 입증에 대한 세부절차를 제시한다.

3.2 신뢰도 목표

2003년 코레일(구 철도청)에서 발주하여 현재까지 진행되고 있는 차상신호(ATP)구축사업의 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성(RAMS) 요구사항은 Table 3과 같으며, TTX ATP 차상장치에도 동일한 신뢰도목표를 적용하였다.

Table 3. RAMS target of ATP onboard equipment for KORAIL[4]

Requirement	Target
Reliability	Major Failure MTBF 15 Years Minor Failure MTBF 2 Years
Availability	Major Failure Ass 99.998% Minor Failure Ass 99.988%
Maintainability	Maximum MTTR 2 Hours (MTTR is based on MIL-HDBK-472)
Safety	SIL 4(Every Hazardous Event)

[Note] Ass : Steady State Availability SIL : Safety Integrity Level

RAMS 요구사항의 수립은 유사시스템분석, 운영환경분석, 국가 및 운영기관의 규정이나 법률을 기초로 사용자가 작성하는 것이 일반적이다.

사용자가 작성한 RAMS 요구사항은 공급자의 시스템 완성도의 기준이 되므로 단순하면서도 명확하게 작성되어야 한다. 예를 들어 평균고장시간(MTBF)이나 평균서비스고장시간(MTBSF)으로 정량적 신뢰도목표를 제시하는 경우 시스템범위와 고장에 대한 정의는 물론, 천재지변, 인적요인 등의 가정치가 제시되어야 한다. 또한 안전목표로 많이 활용되는 안전무결성레벨(SIL)의 경우 SIL로 관리되어야 할 위험원 등에 대한 정의가 포함되어야 한다.

특히 정량적인 RAMS 요구사항은 시스템 인수시 목표달성의 기준이 되므로 증거자료의 인정범위와 시험절차에 대한 사용자와 공급자의 합의가 필요하므로, 코레일 차상신호구축사업을 포함하여 최근의 철도사업 및 장치구매에서는 계약초기 공급자의 RAMS관리계획서에 위와 같은 내용을 제안하도록 하며, 사용자와의 검토 및 협의를 통해 승인하도록 한다.

3.3 신뢰도 예측방법 및 현황

신뢰도예측은 Fig. 4의 6단계인 설계와 구현 및 7단계인 제작에서 수행하며, 관련 규격에 따라 시스템의 신뢰도를 정량적으로 예측하여 신뢰도 요구사항의 만족여부를 평가하는 단계이다.

신뢰도예측은 시스템 또는 장치를 구성하는 부품단위 고장률을 모두 산출하여 예측한다. 이때 부품단위 고장률은 MIL-HDBK-217, Bellcore, Telcordia, 217Plus, IEC TR 62380 등의 규격을 기준으로 하며, 사용자가 제시하는 요구사항 또는 승인한 RAMS관리계획서의 사용기준을 적용해야 한다. TTX 차상신호장치의 경우 사용자가 정의되지 않은 상태이므로, 국내 철도신호사업에서 가장 많이 적용[5]되고 있는 MIL-HDBK-217을 기준으로 고장률을 Table 4와 같이 예측하거나 제작사의 현장운명을 통한 입증고장률을 적용한다.

Table 4. Reliability prediction data of ATP onboard equipment for TTX

No.	RBD (Sub system)	Quantity	LRU	Manufacture	Symbol	Failure Rate (/hour)
1	Loud Speaker	1	-	YK	λ_{SPK}	1.00E-09
2	MMI	1	-	DEUTA-WERKE	λ_{MMI}	9.26E-06
3	LED	1	-	YK	λ_{LED}	1.00E-06
4	RU/JRU	1	-	SECHERON	λ_{RU}	1.00E-05
5	ATS Receiver	1	-	YK	λ_{ATSRX}	5.71E-06
6	ATSLU (COMC for STM)	1	-	BT	λ_{ATSLU}	1.99E-06
7	Odometer	2	SDU	BT	N/A	3.31E-06
			TG	DEUTA-WERKE	N/A	2.68E-06
			Sum of Failure Rate for RBD		λ_{ODO}	5.99E-06
8	DR	1	-	DEUTA-WERKE	λ_{DR}	6.01E-06
9	DX2	1	-	BT	λ_{DX2}	1.25E-06
10	DX2 I/F	1	Gen. Bracking I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			High Voltage Batt. I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Wheel static I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			SB I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			EB I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Main Gen. I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Trans. I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Sum of Failure Rate for RBD		λ_{DX2IF}	7.00E-06
11	DX3	1	-	BT	λ_{DX3}	1.25E-06
12	DX3 I/F	1	No. Powering I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Heat Alam I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Low Press. I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Driving Iso. Active. I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Driving Isolation I/F R	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Operating I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Motor Speed1 I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Motor Speed2 I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Motor Speed3 I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
			Motor Speed4 I/F Relay	MORS SMITT	N/A	1.00E-06
Sum of Failure Rate for RBD		λ_{DX3IF}	1.00E-05			
13	Cab Selec Switch	1	-	BT	λ_{CABSW}	4.00E-09

Table 4. Reliability prediction data of ATP onboard equipment for TTX (continued)

No.	RBD (Sub system)	Quantity	LRU	Manufacture	Symb-ol	Failure Rate (/hour)
14	DX1	1	-	BT	λ_{DX1}	1.25E-06
15	VDX	1	-	BT	λ_{VDX}	2.59E-06
16	FSR	1	-	BT	λ_{FSR}	3.00E-10
17	Braking I/F	1	EB RELAY	BT	N/A	1.00E-09
			SB RELAY	BT	N/A	1.00E-09
			RB RELAY	BT	N/A	1.00E-09
			TCO RELAY	BT	N/A	1.00E-09
			Sum of Failure Rate for RBD	λ_{BRKIF}	4.00E-09	
18	SB Braking Kit	1	-	AHAN P&E	λ_{SBKIT}	1.00E-09
19	EB Braking Kit	1	-	KNORR	λ_{EBKIT}	1.00E-09
20	Line Switch	1	-	KRAUS&NAIMER	λ_{LINSW}	4.00E-09
21	Core Unit	2	VCU	BT	N/A	5.56E-07
			COMC	BT	N/A	1.99E-06
			Sum of Failure Rate for RBD	λ_{CORE}	2.55E-06	
22	BTM	1	-	BT	λ_{BTM}	5.43E-06
23	CAU	1	-	BT	λ_{CAU}	9.09E-07
24	Isolation Switch	1	-	KRAUS&NAIMER	λ_{ISOSW}	4.00E-09

Table 4의 LRU단위 고장률을 신뢰도블럭다이어그램(RBD)로 표현하면 Fig. 5와 같으며, 계산결과는 식 (1)과 같이 6.77×10^{-5} /hour로써 약 MTBF 14,780(MTTR 0.6시간)시간이 되므로, TTX 차상신호장치의 신뢰도 목표인 MTBF 13,600시간 이상을 만족함을 알 수 있다.

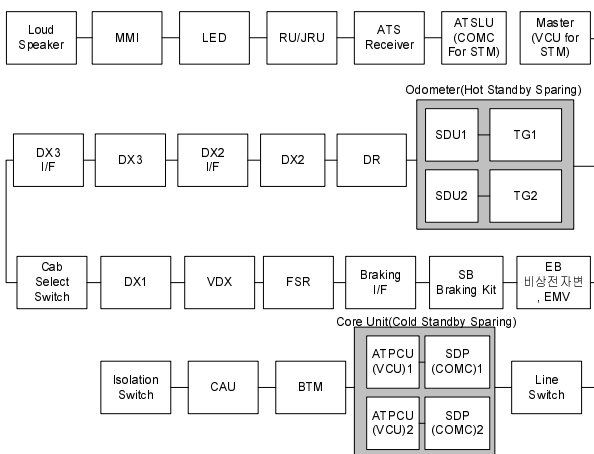


Fig. 5. Reliability block diagram of ATP onboard equipment for TTX

$$\begin{aligned}
 & \lambda_{TTX ATP Onboard} \\
 &= \lambda_{SPK} + \lambda_{MMI} + \lambda_{LED} + \lambda_{RU} + \lambda_{ATSRX} \\
 &+ \lambda_{ATSLU} + \frac{2}{3} \lambda_{ODO} + \lambda_{DR} + \lambda_{DX2} + \lambda_{DX2IF} \\
 &+ \lambda_{DX3} + \lambda_{DX3IF} + \lambda_{CABSWS} + \lambda_{DX1} + \lambda_{VDX} \\
 &+ \lambda_{FSR} + \lambda_{BRKIF} + \lambda_{SBKIT} + \lambda_{EBKIT} + \lambda_{LINSW} \\
 &+ 2\lambda_{CORE} \times MTTR_{CORE} + \lambda_{BTM} + \lambda_{CAU} + \lambda_{ISOSW} \\
 &= 6.77 \times 10^{-5} / \text{hour}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

[Note] MTTRCORE = 1 hour

TTX 차상신호장치 신뢰도예측은 Table 3의 신뢰도 요구사항 중 경고장에 대한 목표 2년(13,600시간-1년은 340일, 1일은 20시간, 코레일 ATP사업 기준)이내를 만족하였다.

신뢰도예측의 핵심은 예측과정의 건전성으로써 적용 규격에서 요구하는 세부데이터(MIL-HDBK-217의 경우 Pi Factor)를 첨부해야 하며, COTS를 포함한 Third Party 공급분에 대해서도 고장률산출의 근거를 제시해야 한다. 또한 TTX 차상장치에 포함된 속도검지부 및 핵심연산부와 같은 다중계구조에 대해서도 모델링절차와 근거를 제시해야 한다. TTX 차상장치의 경우 미국신뢰성센터의 하드웨어 여분구조 고장률모델링 지침[6]을 적용하여 구성요소내에 결함발생 시 즉시 허용되는 Hot-Standby Sparing구조의 속도검지부는 $2\lambda/3$, 결함이 발생하면 안전측으로 차단된 후 기관사의 Line Switch 취급에 의해 절체되는 Cold-Standby Sparing구조의 핵심연산부는 $2\lambda \times MTTR$ 이 근사모델을 적용하였다.

위의 예측과정 건전성이 확보되지 않으면 구현과정의 신뢰도 예측치와 실제 영업운전 동안 발생된 고장발생빈도의 차이를 크게 하는 원인이 된다. 따라서 고장률예측과정의 건전성평가는 단순히 신뢰도목표의 만족여부에 대한 올바른 평가는 물론 영업운전을 위한 운영인력 배치, 유지보수 인력의 예방유지보수 임무정의 및 활동주기산정과 같이 운영기관 경영효율화와 관련된 중요한 변수들을 왜곡하여 금전적 손실의 주요 원인이 된다.

TTX 차상신호장치는 국외제작사로부터 구성요소들을 공급받아 설치하는 도입장치로 하부시스템 단위로 신뢰도 정보와 근거는 제작사로부터 제공받았다[7].

이러한 과정을 통해 Table 5와 같이 TTX 차상신호장치의 RAM목표가 Table 3의 기존 코레일 ATP사업의 RAM목표에 만족하도록 관리하였다. 유지보수도 요구사항인 평균 유지보수도(MTTR)는 차상신호장치 설치에 소요되는 시간을 하부구성요소단위로 측정하여 각각의 고장률과 함께 MIL-HDBK-472를 기준으로 평가하였으며, 가용도는 예측된 MTBF와 MTTR을 기준으로 산출하였다.

Table 5. RAM prediction result of ATP onboard equipment for TTX

Target	Requirement	Predicted RAM
Reliability	Minor Failure (Minimum) MTBF 2 Year (13,600 Hour)	Minor Failure MTBF 2.17 Year (14,780 Hour)
Maintainability	MTTR 2 Hour (Maximum)	MTTR 0.60 Hour
Availability	Minor Failure 99.988%	Minor Failure 99.996%

3.4 신뢰도 입증방법 및 현황

Fig. 4의 8단계 설치부터는 이전단계에서 예측된 RAM정보를 입증해야 한다. 신뢰도 입증을 위해 가장 적절한 방법은 일정기간 시운전을 실시하고, 이때 발생된 고장유형을 고장보고분석 및 정정시스템(FRACAS or DRACAS) 등의 방법을 통해 수집하고 분석하여 MTBF를 평가하는 방법이다.

현재까지 시운전기간은 과거 경험에 의해 6개월에서 2년 정도로 결정되었다. 하지만 대부분의 구성요소가 MTBF 100,000시간 이상인 철도시스템을 1편성(TTX 차상신호장치의 경우 식 (2))을 기준으로 완전하게 입증하기에는 부족한 시간이다.

신뢰도입증을 위한 시험기간을 산출하기 위한 방법의 하나인 식 (2)의 카이제승방정식을 사용하여 MTBF가 14,780시간으로 예측된 TTX 차상신호장치 식 (1)을 입증하기 위한 시운전거리 및 시간을 Table 6과 같이 예측하였다.

$$\hat{\theta} \geq \frac{2nh}{\chi^2(\alpha, 2r+2)} \quad (2)$$

- $\hat{\theta}$: Average life span(MTBF Prediction)
- α : Significant level(reliability level of calculated result)
- r : Number of failure
- n : Number of sample
- h : Test(hours)

Table 6과 같이 예측 MTBF를 80%의 신뢰수준으로 입증하기 위해서는 무고장을 전제로 210,000Km(평균속도 70km/h 가정)를 주행해야 예측 MTBF의 25%만 입증 가능하다.

그러므로 시운전을 통해 예측신뢰도를 완전히 입증하는 것은 가전이나 소규모 단품에서만 가능하며, 이러한 문제점으로 인해 국제기준 및 유럽기준에서는 예측절차의 건전성을 엄격하게 평가하고 있으며, 최근에는 가속수명 또는 가속스트레스시험과 같이 특정스트레스에 대한 신뢰도입증[8]이나 신뢰성성장시험[9] 등의 방법을 도입하고 있다. 이러한 신뢰성시험의 대상은 안전성분석 결과를 기준으로 열차충돌 및 탈선관련 구성요소를 대상으로 실시한다.

Table 6. The conversion of demonstrate reliability compared with commercial test

Operating Distance(Km)	50,000	130,000	210,000
Operating Time(h)	714	1,857	3,000
Minor Failure(h) (Reliability level of cal. 95%)	477	1,240	2,003
Minor Failure(h) (Reliability level of cal. 80%)	888	2,308	3,728
Minor Failure(h) (Reliability level of cal. 70%)	1,187	3,085	4,983

따라서 단기간의 시운전을 통해 신뢰성을 입증한다는 것은 이론적으로 현실적이지 않으며, 단지 현장시운전은 기능구현의 안정성(Stability) 확보가 주요 목적이라고 평가할 수 있으며, Table 6의 계산결과와 같이 MTBF가 100,000시간의 신호시스템은 단기간의 현장시험을 통한 신뢰도의 입증에 매우 제한적임을 알 수 있다. 그러므로 TTX 차상신호장치의 신뢰도 입증은 구성요소단위 사용실적확보 및 실적이 없는 경우 신뢰성시험을 통해 관리되고 있으며, 시운전 시 발생된 고장정보의 웨이블 분석을 통한 신뢰도 추정도 함께 병행한다.

4. 결론

본 논문은 한국형 탈탄열차(TTX) 차상신호장치의 구성 및 기능을 소개하고, IEC 62278에서 권고하는 신뢰성관리 체계에 따라 TTX의 신뢰성을 정량적 데이터를 기준으로 예측하고 입증하는 절차를 수명주기별로 제시하였다.

제작 및 설계단계의 신뢰도예측은 국외공급 단품의 경우 제작사의 신뢰도정보를 사용하였으며, 국내공급 단품에 대해서는 MIL-HDBK-217을 적용하여 산출하였다. 각각의 단품단위 신뢰도정보는 신뢰도블럭다이어그램을 작성하여 목표달성을 확인하였으며, 예측 신뢰도의 입증을 위한 시운전시간 산출을 카이제승방정식을 사용하여 시운전시간 대비 확보되는 MTBF를 제시하였다.

열차제어시스템의 신뢰성은 고장발생으로 인해 대규모 지연에 의한 심각한 경제적 손실의 원인이 되며, 신뢰성을 기반으로 하지 않은 유지보수체계의 구축은 최적화 되지 않은 유지보수임무 및 주기할당으로 인해 운영기관의 경영환경을 악화시키는 주된 원인이 되고 있다.

따라서 선진국에서 시행하고 있는 바와 같이 설계단계부터 열차제어시스템의 신뢰성을 관리하여 비용절감의 효과를 유도하기 위해서는 운영환경 변화에 유연하게 대처할 수 있는 국산화가 우선적으로 확산되어야 하며, 도입사업의 경우에도 국내 운영기관의 주도로 신뢰도관리

가 수행되어야 운영이후 발생하는 비용의 절감을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발”연구과제로 수행되었음.

참고 문헌

1. IEC62278(2002), “Railway applications-Specification and demonstration of RAMS,” pp.59-65
2. EN 50129(2000), “Railway applications-Safety related electronic systems for signalling,” pp.16-27.

3. 철도인재개발원(2008), “차상신호(ATP)시스템,” pp.239-374.
4. 철도청, “차상신호(ATP)시스템 도입을 위한 제한요청서(RFP),” pp.122.
5. 신덕호, 이재호, 이강미, 김용규(2006), “한국형고속철도 열차제어시스템 하부구성요소 신뢰도예측에 관한 연구,” 한국철도학회 논문집, 제 9권, 제 4호, pp.419-424.
6. Reliability Analysis Center, RAC(1993), “Reliability Toolkit: Commercial Practices Edition,” pp.161.
7. Bombardier Transportation(2005), “Reliability and Maintainability of the KNR ATP.”
8. 신덕호, 이재호, 이강미, 김용규(2006), “한국형고속철도 열차제어시스템 하부구성요소 신뢰도입증에 관한 연구,” 한국철도학회 논문집, 제 9권, 제 6호, pp.732-738.
9. 박춘수, 최성훈, 이태형, 김기환(2007), “시제고속열차의 신뢰도 목표 설정 및 평가 방안,” 한국철도학회 2007년 춘계학술대회논문집, pp.1-6.

접수일(2009년 4월 6일), 수정일(2009년 8월 18일), 게재확정일(2009년 10월 19일)