

## 철도신호장치의 신뢰도입증에 관한 연구

### A Study on Reliability Demonstration for Railway Signaling Equipment

신덕호\* · 채은경 · 박찬우 · 이준석

Duck-ho Shin · Eunkyung Chae · Chan-woo Park · June-Seok Lee

**Abstract** The railway signaling system, which controls the course of trains and the distance between trains, is a safety critical system of the railway system because derailment or collision of trains can occur if unsafe failure is generated by any fault. The international standards of reliability, availability, maintainability, and safety of railway applications require that the safety of functions be guaranteed in safety critical systems; system reliability and safety are quantitatively estimated and demonstrated by the failure rates of devices. The development of technology has accelerated the development of railway signaling systems. Existing devices, which have already been verified as to their safety, are applied with special user requirements to reflect the new operation scenario. It is found that the reliability and safety of the devices are different depending on individual application. Therefore, the reliability of the railway signaling system must be considered while complying with the international standards; this requires that the initial failure rate be estimated and demonstrated using fault data gathered over several years. This paper shows a method for demonstrating the initial estimated failure rate and suggests a fault data collection method and an overall process that is based on probability.

**Keywords** : Railway signaling , Reliability demonstration, FRACAS

**초 록** 철도신호장치는 열차의 진로 및 간격제어를 수행하여 위험측 오동작이 발생하는 경우 열차충돌 또는 탈선 등 심각한 사고의 원인이 되므로 철도시스템의 안전핵심장치이다. 철도적용 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성에 대한 국제표준에서는 철도신호장치와 같은 안전필수장치에 대해서는 기능안전을 보증토록 하고 있으며, 기능안전은 장치의 고장률을 통해 정량적으로 신뢰성과 안전성을 예측 및 입증토록 권고한다. 기술발전과 함께 철도신호장치의 첨단화가 가속화되고 있으며, 과거 실용사례가 있는 장치에 대해서도 운영시나리오를 반영한 특화된 사용자 요구사항이 요구되어 사실상 철도신호장치의 신뢰성과 안전성은 적용사례별로 차이가 발생한다. 따라서 철도신호장치의 신뢰도는 국제표준에 따라 사용시점의 초기고장률을 표준에 의해 예측하고 일정기간 영업운전 동안 발생한 고장정보를 통해 예측치를 입증해야 한다. 본 논문은 신뢰도 예측에 의한 초기고장률 입증을 효과적으로 수행하기 위한 방안을 제시하며 운행 중 발생한 고장정보의 수집과 통계처리 방법을 제시한다.

**주요어** : 철도신호, 신뢰도 입증, 고장보고분석 및 정정체계

## 1. 서 론

전제부품으로 구성된 철도신호장치의 신뢰도는 전원이 상시 공급되는 지상장치의 경우 평균고장시간(MTBF, Mean Time Between Failure)으로 표현하고, 운행거리에 비례하는 차상장치는 평균고장거리(MKBF, Mean Kilometer Between Failure)로 표현하도록 철도적용 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 표준인 IEC 62278에서 정의하고 있다. 지상과 차상장치가 모두 포함된 철도신호장치의 경우에는 신뢰도 목표를 MTBF로 정의하고 지상장치와 차상장치의 신뢰도 기여비율에 따라 각각의 신뢰도 목표를 할당한 후 시간당 평균 운행거리를 근거로 MTBF를 MKBF로 환산하여 관리한다. 따라서 신뢰도 목표의 만족을 보증하기 위해서는 지상장치와 차상장치 각각의 MTBF목표를 만족하도록 설계 및 제작하고, 운영 초기 고장정보를 분석하여 예측치인 초기신뢰도를 입증해야 한다. 신뢰도를 입증하기 위해서는 운영기간 동안 주기적으로 발생 고장정보를 수집 및 분석하며, 신뢰도 변화추이 분석을 통해 정시율과 위험측 고장발생 빈도 제어를 위한 예방유지보수(Preventive

\*Corresponding author. E-mail: ducko@krri.re.kr.

© 2017 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2017.20.4.458>

Maintenance)주기 조정 등의 운영비용 최소화 체계를 수행한다[1].

우리나라의 전자연동장치, 궤도회로장치, 열차자동방호장치(ATP, Automatic Train Protection) 등 대표적 안전필수 철도신호장치에 대해서는 국제표준에 따른 RAMS관리가 수행되고 있다. 철도분야 RAMS관리에 대한 국제표준인 IEC 62278은 시스템의 수명주기를 14단계로 나누어 각 단계별 요구사항을 제시하고 있으며, 현업에서는 1단계 개념설계(Concept Design)부터 10단계 시스템 수용(Acceptance)까지의 요구사항 준수를 독립된 검사·인증기관으로부터 적합성 평가를 받아 독립안전평가(ISA, Independent Safety Assessment)보고서 또는 인증서(Certificate)형태로 만족함을 입증하고 있다[2]. 특히 과거 해외 실용화를 통해 성능이 검증된 외산장치 위주의 철도시스템 구성에서는 외산장치의 정량적 신뢰도 및 위험도 평가와 관련된 정보의 참조가 가능하였다. 그러나 2000년대 이후부터는 국가연구개발사업을 통한 신기술이 적용된 장치와 노선특성을 반영하여 개량된 외산장치의 구축이 일반화됨에 따라 관련 신뢰도 및 위험도 수치의 정량적평가가 요구되고 있으며, 이는 관련 표준 등을 통해 수행된 신뢰도 예측(Prediction)값을 사용하고 있다. 신뢰도 예측방법은 신뢰성 공학[3] 및 표준[4]에 따라 전 세계적으로 사용되고 있는 방법으로 약 1~2년 동안 운영되면서 발생한 고장 및 사고정보를 바탕으로 건전성을 입증[4]한다. 이러한 건전성 입증 방법에서 중요한 점은 예측신뢰도 기반의 품질과 위험도 수치가 운영정보를 바탕으로 입증(Demonstration)되고 지속적으로 통계를 갱신하여 철도안전의 현재 상태를 파악해야 한다는 것이다. 또한 국제표준의 수명주기 11단계 운영(Operation)부터 13단계 개량(Modification) 및 개조(Retrofit) 단계에서는 운영 중 발생한 고장과 유지보수 정보를 바탕으로 신뢰도를 지속적으로 분석하여 초기품질수준의 유지를 권고하고 있음에 따라 독립안전평가보고서 또는 인증서에서는 사용자 요구사항 등을 제시하여 철도안전의 현재 상태 파악을 통한 지속적인 고장분석을 요구하고 있다[5].

본 논문에서는 장치 제작사가 분석하여 독립된 기관으로부터 적합성을 평가받은 초기 예측신뢰도를 현장 정보 수집을 통해 확률적으로 분석하기 위한 통계분석 체계를 제시하고 분석결과와 정확도 보장을 위한 통계의 적정수준에 대해 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 철도신호장치의 신뢰도

#### 2.1.1 신뢰도 목표수립

신뢰도는 일정 시간에 기대된 기능을 수행할 확률로써 신뢰도에 대한 지표는 MTBF와 신뢰도함수  $R(t)$ 로 표현한다. MTBF는 고장시간의 평균으로 고장률이 시간에 관계없이 일정하다면, 신뢰도 함수는  $R(t) = e^{-t/\lambda}$ 와 같으며 MTBF 시간에서의 신뢰도  $(R(MTBF = 1\lambda) = e^{-1} = 0.37)$ 는 0.37이다. 따라서, MTBF는 전체 장치 중 약 63% 장치의 고장발생까지 소요시간을 의미하며, MTBF가 9,000시간인 장치가 100대가 있다면 9,000시간(약 1년) 후에 63대(63%) 정도 고장이 발생할 확률을 가진다. 이론적인 장치의 신뢰도 평가는 상태다이어그램에 대한 마코브 모델링 등을 통해 고장에 이르는 확률을 계산하며, MTBF는 지수모델 등의 신뢰도 모델링을 거쳐 도출된 시간에 따른 신뢰도 함수의 63% 고장 시간이 된다[6]. 하지만 측정 정확도를 일정부분 희생하여 모델링에 소요되는 시간을 줄이기 위해 현업에서는 단위시간의 고장률(Failure Rate)과 수리율(Repair Rate)에 따라 산출할 수 있는 MTBF를 근사하여 고장률의 역수로 MTBF를 평가하기도 한다[3].

신뢰도 목표는 건널목 정시간제어기에 대한 한국철도표준(KRS SG 0048-16(R))과 같이 MTBF를 성능요구사항으로 제시하거나, 장치가 구성될 노선의 운영시나리오와 유지보수 인원 및 체계에 따라 Table 1과 같이 구매 시 제안요구사항으로 제시하기도 한다[7].

Table 1. Sample of RAMS target for the signaling system (ATP Wayside equipment).

	Qualitative Target	Unit	Scope
Reliability	Over 14,000	Hour	ATP Way-side equipment 1 unit (LEU+CB+FB+Rectifier (1 out of 2 must be working))
Availability	Over 99.986	%	
Maintainability	Under 2	Hour	
Safety	Safety integrity level (SIL) 4 for Safety function	-	

#### 2.1.2 신뢰도 예측

철도신호장치 신뢰도 목표 달성확인을 위해서는 사용된 모든 부품단위 고장률을 관련 표준에 따라 예측하여 종합적으로 계



### 2.1.4 표본의 수집

신뢰도를 입증하기 위하여 전체 ATP 지상장치에 대한 장애정보를 수집하는 것은 현실적으로 어렵고 비효율적일 수 있는 점을 고려하여 ATP 지상장치의 표본집단을 추출하고 표본집단에 대한 고장정보를 분석하여 통계적으로 추정한다. 표본집단은 전체집단(모집단)을 대표할 수 있도록 추출하여야 하며 국내에 설치된 전체 ATP 지상장치에 대한 정보를 바탕으로 확률표본추출법을 적용한다. 확률표본추출은 단순무작위추출법, 계층추출법, 층화추출법, 집락추출법 등이 사용된다. 무작위추출은 모집단을 대표하기에 한계가 있으며 계층추출법은 모집단이 주기적으로 구성되는 경우 치명적 오류가 발생 가능한 한계가 있다. 집락추출법은 모집단을 2개 이상의 집락으로 구성하여 집락을 무작위로 선정하여 각 집락별로 이질성의 확보가 어렵고 다른 확률표본추출법보다 오차가 더 커질 수 있다. 층화추출법은 표본을 일정 기준에 따라 소집단으로 분류하고 그룹 내에서 무작위로 표본을 추출하는 방법으로 표본의 크기가 작아도 모집단의 대표성 보장에 유리하고 집단의 특수성을 비교할 수 있으나 모집단의 각 층에 대한 정보가 요구되며 모집단의 정보에 오류가 있을 경우 표본오차가 커질 수 있다. 표본의 크기가 같다면 층화추출, 단순무작위, 집락추출의 순으로 표본오차의 크기가 증가한다. ATP 지상장치는 설치 위치, 설치 수량 등 모집단 정보의 확인이 가능하여 설치 위치의 열차운행빈도, 열차속도, 주변환경 등 운영환경조건에 따라 소집단으로 구분하여 층화하고 각 층 내에서 독립적인 표본을 추출하기 위하여 무작위로 표본을 추출한다.

표본의 크기는 모집단의 특성을 반영할 수 있는 최소수 이상이 요구되며 통계학에서는 대부분의 경우 30개 정도의 표본을 적절한 크기의 표본으로 판단한다.

### 2.1.5 고장정보 통계처리 및 측정불확도

표본집단에서 측정된 결과에 대한 정확도, 정밀도, 오차 등을 반영하기 위하여 표본집단에서 수집된 고장정보에 대한 측정불확도를 산출한다. 측정불확도는 측정량에 대한 측정값의 분산 특성을 나타내는 파라미터로 불확도의 평가는 측정값을 통계적으로 분석하여 불확도를 산정하는 A형 평가와 경험이나 다른 정보(분해능, 교정성적서의 측정불확도 등)에 가정하여 불확도를 산정하는 B형 평가로 구분할 수 있다.

고장 여부 판단에 대한 인적 요인에 대한 측정불확도는 반복 측정을 통한 A형 표준불확도 평가를 통하여 산출할 수 있다. 표본 30개에 대한 고장 여부를 10회 반복 측정하여 10회 측정에 대한 고장율의 평균( $\bar{x}$ )과 표준편차( $s$ )를 구할 수 있으며 평균의 표준편차인 표준불확도( $u(x)$ ), 자유도( $\nu = n - 1 = 9$ )를 구할 수 있다[8].

$$u(x) = s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

측정 불확도는 인적요인(A형 평가) 및 측정기기(B형 평가) 등 다양한 요인에 대한 표준불확도 및 감도계수(C)를 평가하고 합성불확도( $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u(x_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i^2 c_j^2 u(x_i, x_j)}$ )를 평가한다. 합성불확도는 신뢰수준과 유효자유도를 포함한 확장불확도( $U = k \times u_c$ )로 표시하여야 하며 신뢰수준 95%에 측정값이 존재할 확률을 결정하기 위하여 t-분포에서 유효자유도( $\nu_{eff} = u_c^4 / \sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{\nu_i}$ )를 이용하여 포함인자( $k = t(\alpha, \nu_{eff})$ )를 구한다. 확장불확도는 유효자유도가 10보다 크면 신뢰수준 약 95% 구간에서  $k = 2$ 로 표시하고 유효자유도가 10보다 작거나 같은 경우 t-분포에서 구한  $k$ 를 사용한다. 확장불확도(U)가 평가되고 유효자유도가 9인 경우 고장율은  $\lambda \pm U$ (신뢰구간 95%,  $k = 2.262$ )와 같이 표시한다.

## 2.2 열차자동정지(ATP)지상장치 예측신뢰도 입증

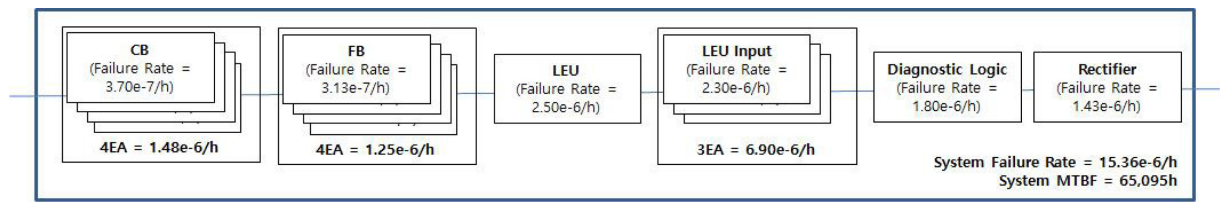
### 2.2.1 ATP 지상장치 신뢰도 예측

ATP 지상장치는 신호기의 현시상태(진입구간 제한속도)에 따라 선행열차 위치, 선로제한속도, 구배, 곡선, 터널 및 교량유무, 다음 데이터수신 지점(Balise Position) 등을 종합하여 열차의 이동권한(MA, Moving Authority)을 생성하고 ATP 차상장치에 제공하는 장치이다.

Table 1의 신뢰도 목표는 구성품단위로 Table 3과 같이 부품단위 신뢰도를 예측하고, LRU단위로 종합된 고장률을 기반으로 Fig. 1과 같이 ATP 지상장치 신뢰도블록다이어그램(RBD, Reliability Block Diagram)을 작성한다. Fig. 1은 ATP 지상장치를 Table 3의 LRU를 기능별로 구분하고 다양한 입력/출력 정보가 요구되고 안전성을 확보하기 위하여 다중화 설계를 적용하는 입력카드는 3개, 고정발리스 및 가변발리스는 4개로 구성한 경우를 가정하였다.

**Table 3.** Reliability prediction data sheet (ATP Way-side Equipment).

LRU	Failure Rate(/h)	MTBF(h)	Function
FB	3.13e-7	3,200,000	Compact balise fixed
CB	3.70e-7	2,700,000	Compact blaise controller
LEU	2.50e-6	400,000	Line-side electronic unit
LEU input	2.30e-6	434,545	Signal aspection input board
Diagnostic logic	1.80e-6	555,853	LEU diagnostic board
Rectifier	1.43e-6	697,160	Power rectifier



**Fig 1.** RBD of ATP way-side equipment.

**2.2.2 장애정보기반 신뢰도 입증 및 평가**

현장 설치되지 않은 신호장치의 신뢰도 입증은 가속스트레스 시험 등의 방법으로도 입증이 가능하다[9]. 하지만 가속스트레스 시험을 통한 신뢰도 입증은 가속스트레스의 적용인자를 온도 또는 진동 등의 정의된 요소에 따라 수명을 가속시켜 신뢰도를 추정(Estimation)하는 방식으로써, 장치에 대한 스트레스 인자를 모두 고려하는 것이 어렵다. 가속스트레스 시험을 수행한 장치의 수명은 소진되어 재사용 될 수 없으며 시험의 정확도가 피시험체 수량에 선형관계를 가짐에 따라 일반 산업용 제어장치와 비교하여 소량만 생산하는 철도신호장치의 가속시험비용은 상대적으로 매우 높아 적용에 한계가 있다.

본 논문에서는 가상 노선에 설치된 ATP 지상장치 30개에서 발생한 장애횟수를 Table 4와 같이 가정하여 운영초기 1년간의 고장분석을 통한 초기예측신뢰도의 입증과, 매년 발생하는 고장정보 분석을 통한 신뢰도 변화 평가방법을 연구하였다.

**Table 4.** Sample of failure record of ATP way-side equipment (LEU 30 Units).

LRU	2010	2011	2012	2013	2014	2015	sum	Quantity
FB	0	1	0	0	0	1	2	LEU×4
CB	1	1	3	0	0	1	6	LEU×4
LEU	1	0	2	3	6	7	19	-
LEU input	0	1	0	0	3	2	6	LEU×3
Diagnostic logic	0	2	3	2	3	1	11	LEU×1
Rectifier	0	1	0	2	0	1	4	LEU×1
Total	2	6	8	7	12	13	48	-

Table 4와 같이 6년 동안 발생한 고장정보를 기반으로 각 구성품의 신뢰도를 평가하는 일반적인 고장률 산출은 식(2)를 활용하며 Operating Time은 1년을 8,760시간으로 환산하여 2010년은 8,760시간, 2011년은 2×8,760시간과 같이 가동시간을 적용하며, Failure는 해당년도까지의 누적 장애횟수, Quantity는 LEU 30개에 대한 전체 구성품 수량으로 LEU/Diagnostic Logic/Rectifier는 30개, FB/CB는 4×30개, LEU Input은 3×30개를 적용한다. 식(2)를 활용하여 산출한 각 구성품 및 전체 시스템의 고장률은 Table 5와 같으며 평균고장시간은 고장률을 근사하여 식(3)과 같이 평가한다[3].

$$\lambda_a = \frac{Failure}{Operating\ Time_a(h) \times Quantity_a} \tag{2}$$

$$MTBF_a = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_a t} dt = \frac{1}{\lambda_a} \quad (3)$$

신뢰도는 앞에서 설명한 바와 같이 확률로 표현하므로 식(2)를 사용하여 산출한 단위시간의 고장률( $\lambda$ )을 확률로 평가하기 위해 식(4)의 지수고장모델을 적용하여 구성품별 가동시간(Operating Time)에 대한 누적 고장률을 Table 5와 같이 평가하였다.

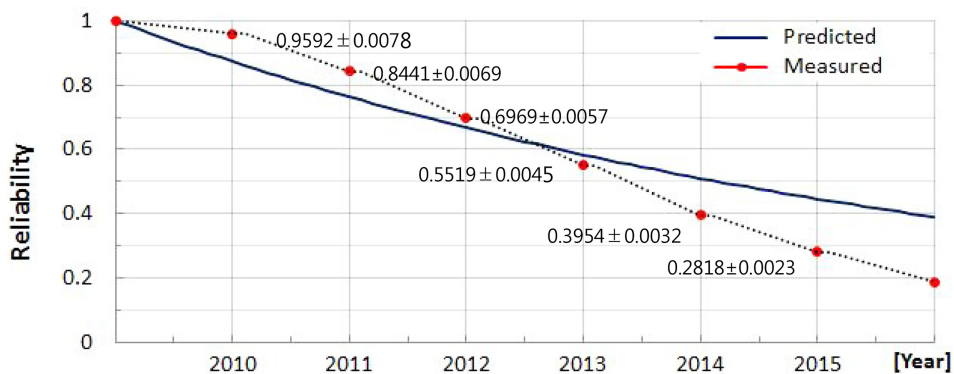
$$P_a = e^{-\lambda \times \text{Operating Time}} \quad (4)$$

**Table 5.** Reliability calculation based on failure record of ATP way-side equipment.

LRU(Accumulate)	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FB[h]	0.000E+00	4.756E-07	3.171E-07	2.378E-07	1.903E-07	3.171E-07
CB[h]	9.513E-07	9.513E-07	1.585E-06	1.189E-06	9.513E-07	9.513E-07
LEU[h]	3.805E-06	1.903E-06	3.805E-06	5.708E-06	9.132E-06	1.205E-05
LEU input[h]	0.000E+00	6.342E-07	4.228E-07	3.171E-07	1.015E-06	1.268E-06
Diagnostic logic[h]	0.000E+00	3.805E-06	6.342E-06	6.659E-06	7.610E-06	6.976E-06
Rectifier[h]	0.000E+00	1.903E-06	1.268E-06	2.854E-06	2.283E-06	2.537E-06
Total failure rate[h]	4.756E-06	9.671E-06	1.374E-05	1.696E-05	2.118E-05	2.410E-05
Total failure rate[h] (95% Confidence, k=2.262)	4.756E-06 ± 0.908E-06	9.671E-06 ± 0.454E-06	1.374E-05 ± 0.303E-06	1.696E-05 ± 0.227E-06	2.118E-05 ± 0.182E-06	2.410E-05 ± 0.152E-06
Reliability	95.92%	84.41%	69.69%	55.19%	39.54%	28.18%
Reliability (95% Confidence, k=2.262)	(95.92 ± 0.78) %	(84.41 ± 0.69) %	(69.69 ± 0.57) %	(55.19 ± 0.45) %	(39.54 ± 0.32) %	(28.18 ± 0.23) %

2010년의 고장률을 인적요인에 대한 A형 측정불확도를 10회 반복 측정한 결과 1회만 LEU의 고장을 발견하지 못한 경우로 고려하여 평가하면 고장률의 표준편차는 1.203E-06/h, 표준불확도는 0.4011E-06/h가 된다. 인적요인만 고려한 경우 합성표준불확도는 표준불확도와 같고 95% 신뢰구간에서 유효자유도는 n-1=9가 되어 t-분포에서 포함인자  $k=t(0.05, 9) = 2.262$ , 확장불확도는 0.908E-06/h가 된다. 따라서 2010년의 고장률은 4.756E-06/h±0.908E-06/h(신뢰구간 95%,  $k = 2.262$ )로 표시되며 신뢰도는 95.92%±0.78%(신뢰구간 95%,  $k = 2.262$ )로 표시된다. 2011년부터 2015년까지 모두 동일한 조건으로 측정불확도를 평가하면 신뢰도는 Table 5와 같이 표시된다. 본 논문에서는 인적요인에 대한 측정불확도만 고려하였으나, 실제 측정불확도는 인적요인(A형 평가) 및 측정기기(B형 평가) 등 다양한 요인에 대한 표준불확도 및 합성표준불확도를 추정하고 확장불확도를 추정하여야 한다.

Table 5의 결과에 따르면 2010년(1 Year)과 2011년(2 Year) 간 평가된 ATP 지상장치 전체 고장률은 예측치 1.536E-05/h 보다 작은 9.671E-06/h로써 목표치를 만족함을 관찰할 수 있으며, Fig. 2와 같이 시스템의 신뢰도도 목표치를 만족함을 관찰할 수 있다.



**Fig. 2.** Comparison of reliability functions: Predicted vs Measured.

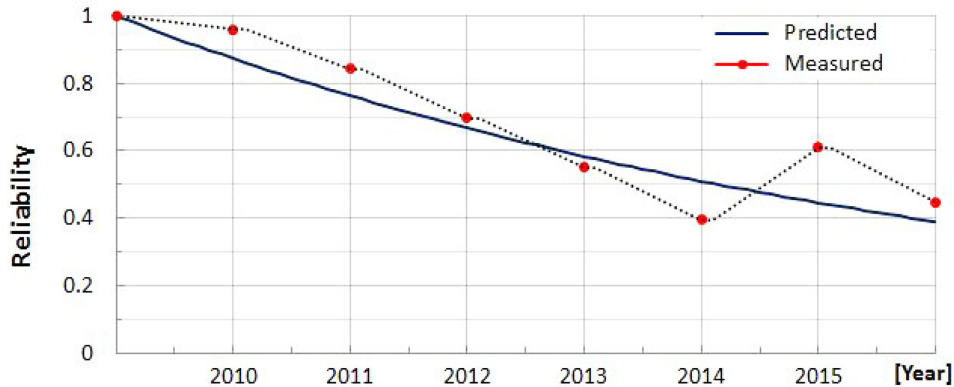


Fig. 3. Comparison of reliability functions with part replacement in sixth year.

본 논문에서 예로 제시한 Table 5의 고장률(Total Failure rate)을 적용한 가상 ATP 지상장치 신뢰도 추이인 Fig. 2의 신뢰도 측정치(Measured)는 사용 후 4년이 지난 시점부터 신뢰도가 Table 3의 시스템 고장률을 일정하게 적용한 초기예측신뢰도(Predicted) 대비 낮게 평가됨을 관찰할 수 있다. 이러한 고장률의 추이를 철도적용 RAMS 국제표준의 운영, 유지보수, 개량단계 요구사항과 같이 추적관리를 통해 분석하여 2014년에 고장발생빈도가 가장 높은 LEU(유로발리스 드라이버, 전체의 40%)와 Diagnostic Logic(진단보드, 전체의 23%)를 교체하고 Table 5의 LEU와 Diagnostic Logic의 고장률을 Table 3의 초기예측고장률을 적용한 경우 Fig. 3과 같이 2015년 신뢰도 측정치(61.10%)는 초기예측신뢰도에 가깝게 보완되어 2016년 이후 신뢰도는 초기예측신뢰도와 유사한 추이를 보일 것으로 예상할 수 있으며, 고장률의 추적 관리를 통해 유지보수를 결정한다. 부분적 교체를 통한 시스템 신뢰도 유지는 개량대비 비용절감을 기대할 수 있는 방법으로써 지속적인 고장률수집과 신뢰도 산출의 필요성을 운영비용의 편익관점에서도 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

철도신호장치의 신뢰도는 고장의 결과가 운행지연뿐 아니라 사고와 같은 위험도와도 밀접한 관계를 가지므로 관련 국제표준에서 권고하는 정량적 목표수립과 입증의 중요성은 폭넓은 공감대가 형성되고 있다. 하지만 정량적 목표수립과 달성이 예측고장률을 기준으로 사용시작 단계에서 확인되고 이후 운영단계에서는 검증이나 관리되지 않아 기대 이상의 고장발생 시 철도산업 전체의 품질관리 불신과 도입비용 증액 없는 규제강화 등으로 작용하고 있다.

본 논문에서는 예측고장률을 입증하기 위한 방법으로 미국방표준의 고장보고분석 및 정정체계에 따른 양식과 운영방안을 제안하였으며, 주기적 고장 수집과 고장률 분석을 통한 신뢰도평가의 정확도를 높이기 위해 통계불확도 이론을 적용하여 신뢰도 평가를 수행하였다. 또한 본 논문에서 제안하는 신뢰도 평가방식의 실효성을 보이기 위해 지상신호장치를 모델로 목표수립, 고장률예측, 초기신뢰도와 가상의 운영고장에 따른 신뢰도 변화를 예로 들어 초기신뢰도의 입증 과정을 제시하였으며, 초기에 예측된 신뢰도에 따른 전체시스템의 유지를 위한 효과적인 유지보수 방안을 제안하였다.

### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### References

- [1] International Electrotechnical Committee (2002) Railway application-specification and demonstration of RAMS, International Standard, IEC 62278:2002.
- [2] D.H. Shin (2017) Korea railroad safety certification status and future outlook, *Railway Journal*, 20(1), pp. 66-72.
- [3] The Rome Laboratory (1993) Reliability engineer's toolkit, Air Force Materiel Command, pp.89-92.
- [4] United States Department of Defense (1980) Reliability program for systems and equipment development and production, Military

Standard, MIL-STD-785B, Task 104.

- [5] D.H. Shin, J.H. Lee, K.H. Shin, Y.K. Kim, M.S. Kang (2009) A study on the assessment of residual life span for old type signalling equipment, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(4), pp. 535-541.
- [6] D.H. Shin, J.H. Lee, K.M. Lee, Y.K. Kim (2006) A study on design and reliability assessment for embedded hot-standby sparing FT system using self-checking logic, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(6), pp. 725-731.
- [7] Korea Rail Network Authority (2016) Pyeongchang-gangneung line train control system(ATP) manufacturing installation specification.
- [8] A.M. Law, W.D. Kelton (1991) Simulation modelling and analysis, McGraw-Hill, pp. 282-324.
- [9] D.H. Shin, J.H. Lee, K.M. Lee, Y.K. Kim (2006) A study on reliability prediction for Korea high speed train control system, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(6), pp. 419-424.

(Received 11 May 2017; Revised 16 June 2017; Accepted 17 July 2017)

---

**Duck-ho Shin:** ducko@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

**Eunkyung Chae:** ddial@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

**Chan-woo Park:** cwpark@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea

**June-Seok Lee:** ljs@krri.re.kr

Railroad Safety Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea