

# 열차제어시스템 유지보수도예측 및 입증에 관한 연구

## A Study on the Maintainability Prediction and Demonstration

신덕호\* 이재호\*\*  
Ducko SHIN Jae-ho LEE

Abstract - This paper for the Train control system which has been used in the railway system for the purpose of headway control is regarded as safety-critical system, which is based on embedded controller. Therefore, for the maintainability, the maintenance time shall be predicted correctly in order to improve availability of railway system and the predictive values shall be proved through the test. In conclusion, for the maintainability of train control system, the solution for exact prediction based on related international standard and the system for justification of derived predictive values shall be proposed.

**Key Words** : Railway Signaling, Train Control System, Maintainability Prediction, Maintainability Demonstration

### 1. 서 론

열차제어시스템은 열차의 가속과 감속을 제어하여 제어대상열차와 선행열차간의 간격을 제어하는 안전관련설비이다. 기존의 열차제어시스템은 지상에서 제어대상차량의 목표속도를 연산하여 차량의 제한속도를 전자기용동을 이용하여 전송하고, 차량의 제어기는 전송된 속도코드와 열차의 속도를 비교하여 열차의 주행속도가 목표속도를 초과하는 경우 경고와 제동을 수행하는 구조로 되어있었다. 2004년 개통된 KTX는 컴퓨터화된 내장형제어기를 사용하여 지상과 차상에 자동열차제어장치(ATC, Automatic Train Control)를 설치하여 운행중에 있으며, 기존선구간인 호남선과 경부선에 2007년 사용을 목표로 도입되고 있는 자동열차방호장치(ATP, Automatic Train Protection)도 내장형제어기로 열차제어를 수행하는 시스템이다.

ATP는 지상에서 제어대상차량의 목표속도를 연산하는 방식에서 보다 진보하여 차량에 설치된 제어기가 지상으로부터 선행열차와의 거리를 전자기용동으로 입력받아 열차의 운행패턴을 생성하는 방식이다. 따라서 이러한 컴퓨터기술을 활용한 제어기의 사용이 급증하고, 제어기의 고장으로 인한 서비스의 중단과 사고를 예방[1][2]하기 위해 유지보수에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

유지보수는 시스템 내부에서 발생하는 고장을 억제하기 위한 사전예방유지보수와 고장에 대한 시스템정상화를 위한 사후 유지보수로 분류된다. 사전유지보수와 사후유지보수는 고장을 복구하여 시스템을 정상화하기 위한 활동으로 정량적인 예측치를 산출하여 시스템구축시 요구사항으로 제시된 유지보수도를 만족함을 입증해야 하며, 예측된 데이터에 대한 입

증도 수행해야 한다.[1][3]

따라서 본 논문에서는 열차제어시스템의 유지보수도를 정량적으로 예측하고 입증하여 열차제어시스템의 유지보수도 요구사항의 만족여부를 정량적으로 판단하기 위한 방안을 제시한다.

### 2. 열차제어시스템의 구성

열차제어시스템은 지상장치와 차상장치로 구성되며, 선행열차와의 거리정보를 통해 운행패턴을 생성하는 ATP시스템의 경우 지상장치로부터의 데이터수신부와 열차의 운전패턴을 생성하는 부분 그리고 열차의 가속 및 감속을 제어하는 부분 등으로 분류할 수 있다. 본 장에서는 열차제어시스템 차상장치의 평균유지보수시간(MTTR, Mean Time Between Repair)을 예측하기 위해 차상장치를 구성하는 하부장치에 대한 유지보수도를 예측하여 차상장치의 통합 MTTR의 예측방안을 연구하였다.

ATP 차상장치는 그림1과 같이 구성된다. 그림1에서 각각의 기능을 요약하면 다음과 같다.

지상으로부터 전자기용동신호를 수신하기 위한 안테나 CAU와 입력된 용동신호를 복조하여 선행열차와의 거리 및 선로관련 정보를 디지털화 하는 BTM이 지상과 차상의 통신관련 하부장치이다. 열차의 현재속도를 검지하기 위해 타코메타와 도플러센서를 사용하며 각각의 입력정보를 차상제어장치인 SDP와 ATP CU로 전송하기 위한 복조기가 SDU이다. 열차의 가속과 감속의 제어는 안전과 밀접하게 관계된 입출력정보이므로 바이탈입출력장치인 VDX와 일반 입출력장치인 DX가 사용된다. ATSCU, ATSLU 및 ATS RX는 ATP구간이외에 기존선 신호설비인 열차자동정지장치(ATS, Automatic Train Stop)가 설치된 구간을 운행하기 위한 인터페이스 장치이다. 마지막으로 ATP차상장치의 모든 제어기록은 기록장치인 RU/JRU에 기록되며 기관사와는 MMI를 통해

저자 소개

\* 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 주임연구원 · 工博

\*\* 한국철도기술연구원 전기신호연구본부 책임연구원 · 工博

인터페이스한다.

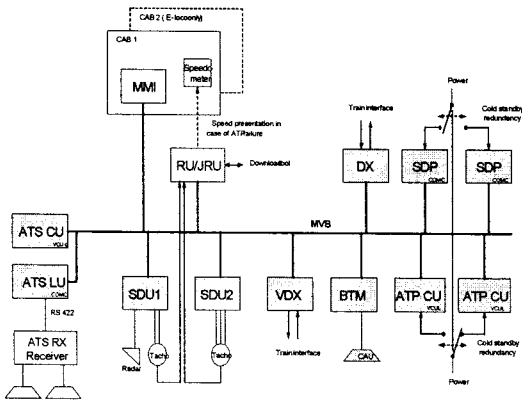


그림 1. 열차제어시스템인 ATP차상장치의 구성

MMU : Men Machine Interface, RU/JRU : Juridical Recording Unit, ATSCU : ATS Care Unit, ATSLU : ATS Logic Unit, ATSRX : ATS Receiver, SDU : Speed and Distance Unit, VDX/DX : Vital Digital Exchanger, BTM : Balise Transmission Module, CAU : Compact Antenna Unit, COMC : Communication Controller, VCU : Vehicle Control Unit, MVB : Multifunctional Vehicle Bus.

열차제어시스템의 유지보수를 위한 하부장치의 분류는 현장에서 교체 및 시험이 가능한 유지보수품목인 LRU(Line Replaceable Unit)를 기준으로 분류하였다. 또한 고장이 발생한 LRU를 공장이나 수리시설로 이동시켜 체계적인 수리작업의 수행을 위한 하부장치의 세부분류로는 LLRU(Lowest Level Replace Unit)로 정의한다.[1]

열차제어시스템의 유지보수도 목표는 현재 2007년을 목표로 도입되고 있는 ATP사업의 경우 MTTR을 2시간 이내로 제시하고 있다. 따라서 고장요소를 교체하고 시험을 통해 확인한 후 시스템을 재가동상태로 환원시키는 활동까지를 유지보수활동으로 정의하면 현장에서 실시되지 않는 LLRU의 유지보수시간은 필요하지 않게된다. 다만 운영측면의 유지보수 비용산출을 위한 자료가 요구되는 경우에는 LLRU의 유지보수도를 예측한다.

### 3. 유지보수도 예측

유지보수도의 예측은 미국방부 유지보수도예측관련 지침인 MIL-HDBK-472를 적용하였다. MIL-HDBK-472에서는 LRU의 유지보수에 소요되는 시간을 표1과 같이 8단계로 분류하여 예측하도록 하고 있다. 따라서 8단계의 유지보수활동에 소요되는 시간을 시스템설계단계에서 예측하여 LRU로 구성된 하부장치의 MTTR이 목표 MTTR을 만족하지 못하는 경우에는 LRU의 고장률을 저하시켜거나 유지보수시간이 감소되도록 설계를 변경해야 한다.[2]

표1의 유지보수활동 8단계에 소요되는 시간의 예측은 설계 엔지니어, 유지보수자 그리고 유지보수활동 엔지니어가 협의하여 진행한다. 유지보수자의 경력은 중급을 기준으로 각 단계별 소요시간을 예상하여 입력한다. 또한 LRU별 고장률은 미국방부 전자부품 고장률예측 지침인 MIL-HDBK-217을 기준으로 정량화시켜 시불변 상수형태로 LRU단위 고장률을 입력한다.[2]

표 1. 유지보수활동 8단계의 정의

단계	활동내역	정의
1	준비	유지보수를 수행하기 위한 준비작업(예, 공기정렬 및 시스템 검사 등)
2	결함고립	유지보수 시 고장이 발생한 구성요소 외에 인터페이스 관련한 구성요소에 영향을 최소화하기 위한 조치
3	분해	고장이 발생한 구성요소를 분리하기 위한 조치(예, 시스템/구성요소 분리, 볼트 및 나사 해제 등)
4	실제조치	고장이 발생한 구성요소 발견 후 수리 또는 교체작업 실시(예, 보드 및 슬롯 교체 등)
5	재조립	실제조치 후 분해된 시스템 및 구성요소 체결(예, 나사 및 볼트 체결 등)
6	조정	재조립 후 시스템 주위 정리 정돈 및 재가동전 점검을 위한 준비작업(예, 인터페이스 관련한 케이블 정렬, 시스템 주위 정돈 등)
7	점검	고장이 발생한 구성요소 유지보수 조치 후 작동 이상 유무 점검작업(예, 시험장비를 활용한 입출력 신호 점검 등)
8	가동	유지보수 완료 후 시스템 재가동

표1의 정의에 따라 유지보수활동에 소요되는 시간 및 LRU단위 고장률을 입력하는 입력지는 MIL-HDBK-472에서 제시하는 표2와 같은 양식을 사용한다.

표 2. 유지보수도 예측을 위한 입력양식지

분류번호	구성요소	수량	고장률(10E-6)	유지보수활동소요시간						MTTR (Hour)	소요인원	
				준비	결함고립	분해	실제조치	재조립	조정			점검

표2에서 분류번호는 LRU의 분류코드이며, 구성요소는 LRU의 명칭을 기입한다. 수량은 LRU의 소요수량을 기입하고 고장률은 MIL-HDBK-217을 기준으로 예측된 LRU의 고장률을 10<sup>-6</sup>단위로 입력한다. LRU의 조합인 차상장치의 전체 MTTR을 예측하는 과정에서 LRU의 수량이 고려된다. 유지보수활동소요시간의 8단계의 시간합을 MTTR에 기록하며, 소요인원은 참고자료로 기입한다.

MIL-HDBK-217에서는 전자부품의 종류를 부품의 특성에 따라 분류하고, 고장형태에 따른 고장률예측 방정식을 제공하여, 방정식을 구성하는 Pi값에 사용된 부품의 특성 및 환경조건을 대입하여 부품단위 고장률을 예측한다.

본 논문에서는 하부시스템 고장률예측을 위해 자동화도구인 Relx7.7을 사용하였다. Relx7.7은 MIL-HDBK-217에서는 하부시스템별 고장률수식을 사용부품관련 정보에 따라 계산하는 자동화 도구이며, 항공우주, 철도, 원자력등에서는 사용하는 MIL규격 외에도 가전에서 사용하는 Telcordia 또는 Bellcore기준을 사용할 수 있으며, 시스템사용 온도조건에 따른 고장률예측 등을 지원하여, 시스템 설계단계에서 고장률의 최소화를 위한 설계보완에 매우 유용한 도구이다. 그림2는 자동화도구(Relx7.7)를 사용한 LRU 고장률예측의 예이다.

#### 4. 유지보수도 입증

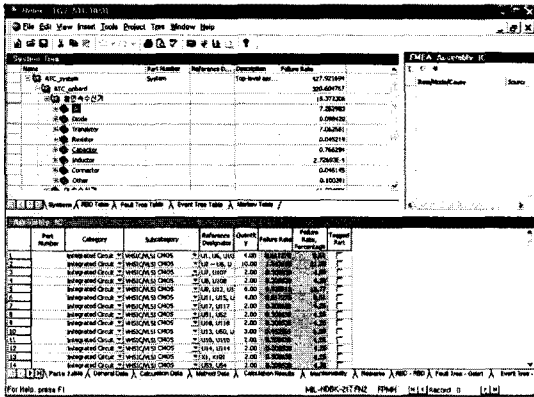


그림 2. 자동화도구를 사용한 고장률예측

표2의 양식을 사용하여 ATP차상장치의 LRU에 대한 고장률과 MTTR을 구하면 표3과 같다.

표 3. ATP차상장치 LRU의 유지보수도 예측결과

분류번호	구성요소	수량	고장률(10E-6)	MTTR(Hour)	소요인원
ATP-CAU	CAU	1	0.9091	0.8	1
ATP-BIM	BTM	1	5.4348	0.5	1
ATP-DPS	DPS	1	6.0096	0.5	1
ATP-VCU	VCU	2	0.5556	0.5	1
ATP-COMC	COMC	2	1.9867	0.5	1
ATP-MM	MMI	1	5	0.5	1
ATP-VDX	VDX	1	2.5934	0.5	1
ATP-DX	DX	1	1.25	0.5	1
ATP-RU	RU	1	10	0.5	1
ATP-SIM	STM	1	8.2533	0.5	1

표3과 같이 예측된 LRU의 MTTR 값을 근거로 ATP차상장치의 MTTR을 예측하기 위해서 MIL-HDBK-472에서 제시하는 전체시스템 MTTR산출공식인 식1을 사용하였다.

$$MTTR_{ATP\ Vehicle\ Controller} = \frac{\sum_{i=1}^N (\lambda_i \times MTTR_i)}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (1)$$

$MTTR_i$  : ATP 차상장치를 구성하는 i번째 LRU의 MTTR  
 $\lambda_i$  : ATP 차상장치를 구성하는 i번째 LRU의 고장률  
 $N$  : ATP 차상장치를 구성하는 LRU의 총수

ATP차상장치 전체의 MTTR은 식1에 의해 0.5203시간(약 31분)로 예측되었다. 운영자의 요구사항 중 유지보수관련 요구사항은 본 논문의 서두에 제시한 바와 같이 MTTR이 2시간 이내이다. 따라서 MTTR의 예측결과는 요구사항을 만족하는 결과가 도출되었다. 만약 예측결과가 2시간을 초과하는 경우에는 전체시스템 MTTR과 연관된 요소인 LRU의 고장률감소와 유지보수시간의 단축을 위한 기구설계변경을 수행해야 한다.

미국방부 지침에 의해 도출된 ATP차상장치의 MTTR의 입증은 두 가지 방법을 수행된다. 먼저 MTTR을 결정하는 요소인 LRU고장률에 대해서는 시스템 신뢰도입증에서 사용된 하부시스템 신뢰도입증결과를 참조한다. 신뢰도입증은 고장수준의 신뢰성시험인 가속수명시험을 통해 얻어지는 데이터이며, 보다 현실적인 데이터로 시운전시험을 통한 FRACAS(Failure Reporting, Analysing, Correcting Action System) 데이터를 토대로 입증된다.

나머지 유지보수 8단계의 예측데이터는 실제 현장과 동일한 조건에서 유지보수자의 단계별 유지보수 활동시간을 측정한다. 이때 입증을 위한 유지보수 활동시간의 측정이 예측과정과 다른점은 FRACAS결과의 검증과 마찬가지로 운영기관, 프로젝트관리자, 설계자, 유지보수자, 유지보수활동 수행자가 합동으로 검토하는 고장검토위원회(FRB, Failure Review Board)가 입증을 위한 유지보수 활동시간을 검증한다는 점이다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 컴퓨터기반의 내장형제어기로 구성된 열차 제어시스템의 유지보수도를 예측하기 위한 체계를 제시하였으며, 제시된 체계는 관련 규격을 준수하여 예측 및 입증된 MTTR의 신뢰성을 향상시켰다.

향후에는 본 논문에서와 같이 정량화된 MTTR을 기반으로 시스템의 LRU별 교체 및 점검주기에 대한 연구가 수행되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] MIL-HDBK-472A, Military Standardization Handbook "Maintainability Prediction", 1966
- [2] MIL-HDBK-271, Military Standardization Handbook "Reliability Prediction of Electronic Equipment", 1992
- [3] IEC62278, "Railway applications-Specification and demonstration of RAMS", pp.59-65, 2002