

## 한국형 틸팅열차의 신뢰성기반 유지보수 체계 구축에 관한 연구

# A Study on the Construction of Reliability Centered Maintenance System for Korean Tilting Train

서승일<sup>†</sup> · 문형석<sup>\*</sup> · 엄기영<sup>\*</sup>

Sung-Il Seo · Hyung-Suk Mun · Ki-Young Eum

**Abstract** In this paper, a reliability centered maintenance (RCM) system is proposed to perform maintenance action for Korean Tilting Train. The train system was divided into line replaceable units up to three steps. Functional block diagrams were drawn and failure mode effect analysis for the units was carried out. The criticality of each unit was determined and a maintenance policy was proposed. Maintenance and repair criteria for the tilting train were determined and an example was presented. The proposed RCM system is compatible with the previous maintenance system and contributes to improvement of safety and efficiency of maintenance action.

**Keywords** : Critical item, Failure mode effect analysis, Line replaceable unit, Mean time to repair, Reliability centered maintenance, Tilting train

**요 지** 본 논문에서는 한국형 틸팅열차의 유지보수 활동을 위해 신뢰성기반유지보수체계를 제안하였다. 열차시스템을 3단계의 교체 부품 단위로 분류하고, 각 단위에 대해 기능블록도를 작성한 후 고장모드 영향 분석을 실시하였다. 각 단위의 심각도를 결정한 후 유지보수 정책을 제안하였으며, 틸팅열차를 위한 유지보수 기준을 정하고, 실제 사례를 제시하였다. 제안된 신뢰성기반유지보수체계는 기존 유지보수 체계와도 호환성을 갖고 있으며, 안전성 향상과 유지보수 활동 효율화에 기여할 수 있다.

**주요어** : 중요 부품, 고장모드 영향 분석, 교체 부품 단위, 수리간 평균 시간, 신뢰성기반유지보수, 틸팅 열차

## 1. 서론

한국형 틸팅열차는 2001년부터 개발에 착수하여 시제열차의 제작이 완료되었고, 충북선과 호남선에서 시험 운전을 실시하고 있다. 틸팅열차는 곡선부에서 차체를 곡선 내측으로 경사시킴으로써 원심력을 극복하고 속도를 향상시킬 수 있는 차량으로써, 새로운 선로를 건설하지 않고, 기존선의 보완만으로 운행 시간 단축 효과를 얻을 수 있는 경제적인 열차라 할 수 있다. 경제적인 유용성으로 인해 이태리와 영국, 스웨덴, 일본 등 철도 선진국에서는 틸팅열차를 오래 전부터 활용하고 있다.

한국형 틸팅열차는 기본적으로 동력분산의 전동차(EMU, Electric Multiple Unit)라고 할 수 있으나, 틸팅열차만에 고유한 틸팅시스템의 존재로인해 기존의 전동차와는 다른 특성을 가지고 있다. 따라서 틸팅열차가 실용화되어 운행되기 위해서는 전동차와는 별도의 유지보수체계가 구축되어야 한다.

신뢰성기반유지보수체계(RCM, Reliability Centered Maintenance System)의 개념은 이미 오래전에 도입되어 방위산업, 항공, 해양, 원자력산업 등에서 유용하게 활용되고 있다 [1]. 이들 분야에서 RCM을 도입하여 적용한 경험에 따르면, 유지보수 비용 절감 효과와 시스템의 가용도(availability) 개선 효과가 입증되었다. RCM은 시스템의 하드웨어보다는 기능에 초점을 두는 기법으로서, 예방정비의 적용 및 효과를 개선하기 위해 안전성과 경제성을 고려하여 시스템의 기능과 고장을 체계적으로 고려하는 것으로 정의된다. RCM의 이론적인 체계와 방법론은 어느 정도 정립되었으나, 계속해서

† 책임저자 : 회원, 한국철도기술연구원, 기존철도기술개발사업단  
E-mail : siseo@krii.re.kr  
TEL : (031)460-5623 FAX : (031)460-5699  
\* 한국철도기술연구원, 기존철도기술개발사업단

발전하고 있으며, 적용 분야를 넓혀 나가고 있다. 철도분야에서도 RCM 기술이 지속적으로 도입되는 추세이고[2], 영국의 철도시스템 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability & Safety) 관련 규격인 BS50126은 유럽 표준으로 자리잡고 있으며, RCM 활동을 규정하고 있고[3], 프랑스도 TGV에 대해서 RCM에 기반한 유지보수 활동을 실시하고 있다. 국내에서 최초로 RCM 개념을 도입하여 유지보수 활동을 실시하고 있는 철도시스템은 KTX라 할 수 있다. 코레일은 KTX의 유지보수를 위해 RCM 전산시스템을 구축하여 현재 사용중에 있다[4]. 도시철도시스템에 대해서도 연구기관과 운영사가 공동으로 유지보수정보화 기술을 개발하면서 RCM 개념을 도입하고 있다[5].

본 연구에서는 틸팅열차의 실용화를 위해, 틸팅열차에 고유한 기능을 고려하여 차량의 유지보수체계를 구축할 수 있도록, 신뢰성 분석 결과에 기초한 시스템을 제시하고 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 틸팅열차의 신뢰성기반 유지보수절차

RCM체계는 기존의 획일적인 유지보수 방법과는 달리 시스템의 기능에 따라 하위 시스템을 분류하고 각 시스템의 중요도와 신뢰도를 고려하여 조건에 따라 유지보수 방법을 달리한다는 특징이 있다. RCM체계의 절차를 정리해 보면 다음의 Fig. 1과 같다.

Fig. 1을 간단히 설명하면, 먼저 틸팅열차의 주요시스템을 정의하고 기능에 따라 서브시스템과 교체부품단위(LRU, Line Replaceable Unit)로 분류한다. 서브시스템별로 기능 분석을 수행한 후에 LRU 단위로 고장모드를 분석하고, 고장모드에 따른 영향(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)을 분석한다. 고장 모드 분석 결과는 시험 운행 중의 신뢰성 시험 과정에서도 활용된다. FMEA 분석 결과에 기초하여 심각도를 분석한 후, 중요부품을 결정하고, 유지보수 정책을 결정하며, 이

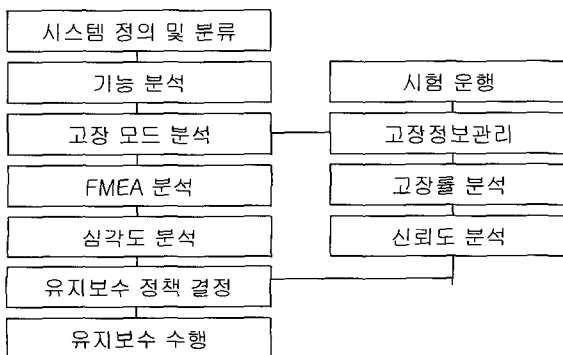


Fig. 1. Procedure of reliability centered maintenance for tilting train

에 따라 유지보수를 수행한다. 유지보수 수행 과정에서는 신뢰성 시험 결과에 따른 신뢰도 분석 결과를 활용한다.

## 3. 틸팅열차의 시스템 정의 및 분류

Fig. 2에 제시된 한국형 틸팅열차는 기본적으로 EMU 차량이므로 기존 전동차의 기본 기능을 모두 가지고 있으나, 별도로 틸팅시스템을 가지고 있다. 따라서 틸팅열차의 주요시스템은 다음의 Table 1과 같이 분류될 수 있다. 틸팅열차시스템

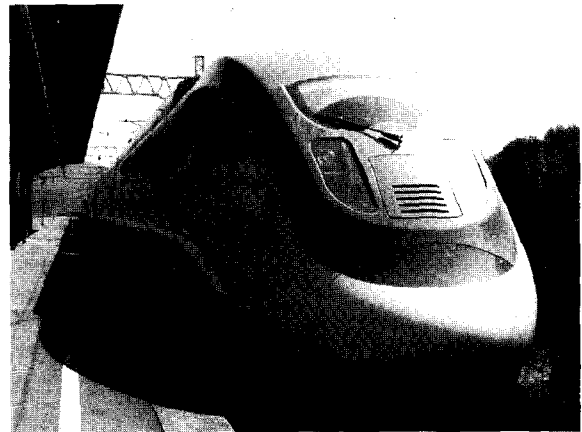


Fig. 2. Korean Tilting Train

Table 1. System breakdown for tilting train

시스템	기능 정의	주요 서브시스템
High Voltage Line & Pantograph Tilting System	고전압 및 집전 기능	판토타프, 하부 틸팅장치, 고전압회로 등
Structure and Vehicle Interior	차체 및 객실	차체 및 실내 의장 설비
Bogie & Vehicle Tilting System	대차 및 차체 틸팅 기능	동력대차, 부수대차, 틸팅시스템 등
Gangways and Couplers System	차량간 연결 기능	연결막, 연결기 등
Traction System	추진기능	인버터 및 컨버터, 견인전동기, 변압기 등
Brake System	제동기능	제동제어유닛, 활주방지장치, 구원제동장치 등
Auxiliary System	보조전원 공급 기능	Static Inverter, 충전기 등
Door System	실내외 출입기능	각종 출입문 및 제어장치
HVAC System	냉난방 및 통풍 기능	객실 에어컨, 순환팬, 난방장치, 화재감시 장치 등
Pneumatic & AIR Distribution System	공압 발생 및 분배 기능	공기압축기 및 제어장치, 저장장치, 공기관, 공기스프링 등
Train Monitoring System	열차 진단 제어 기능	차상컴퓨터, 틸팅제어컴퓨터, 디스플레이 유닛, 기록장치 등
Communication System	방송 및 무선 통신 기능	방송장치, 무선통신장치, 감시카메라 등
Signalling System	신호 보안 기능	ATS/ATP, 안테나, 속도검출기 등

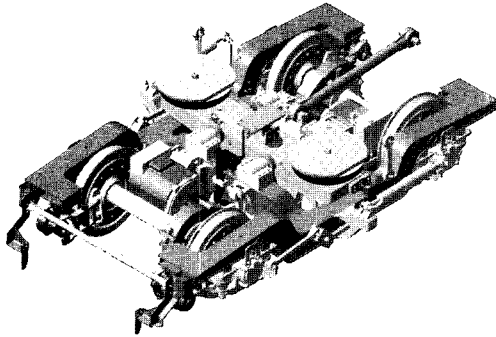


Fig. 3. Motor bogie of Korean Tilting Train

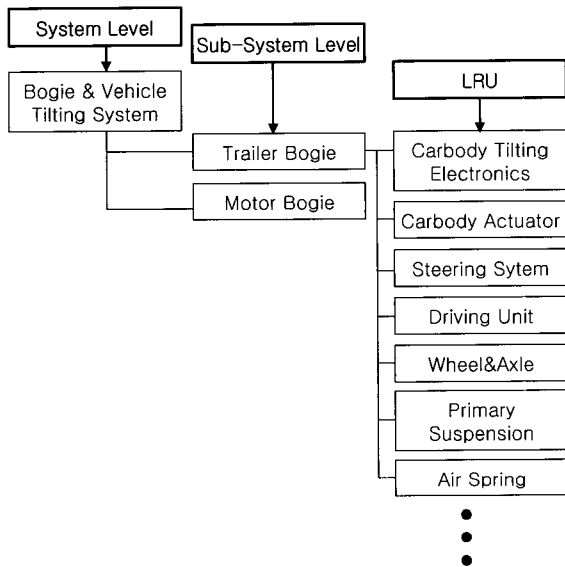


Fig. 4. Example of system breakdown for Bogie & Vehicle Tilting System

은 13개의 시스템과 53개의 서브시스템 및 253개의 LRU로 분류된다. Fig. 3에 나타난 대차 및 차체 틸팅시스템(bogie & carbody tilting system)의 예를 들어 시스템 분류 체계를 그림으로 표시하면 Fig. 4와 같다. 대차는 동력대차와 부수대차로 나누어지고 각 대차에는 LRU레벨에서 차체 틸팅을 제어하기 위한 차체틸팅전기장치 CTE (Carbody Tilting Electronics)와 CA(Carbody Actuator)가 위치해 있다.

#### 4. 시스템 기능 분석

시스템 분류에 기초하여 각 시스템별로 기능을 분석한다. 기능 분석을 수행할 때에 LRU의 기능이 핵심 기능(essential function)인지 보조 기능(auxiliary function)인지 구분해야 하고, 위험을 감소시키기 위한 보호 기능인지, 위험에 대한 사전 정보를 제공하기 위한 모니터링 기능인지 혹은 시스템간의

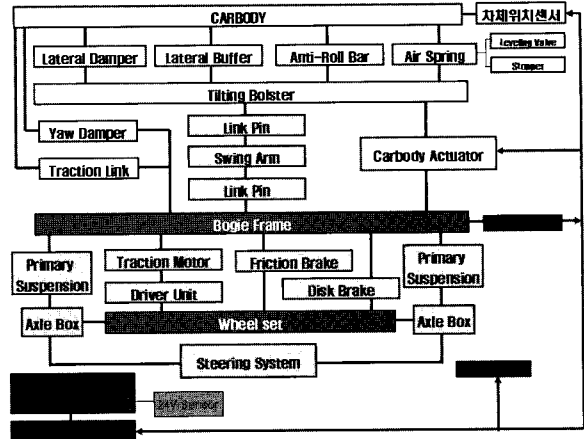


Fig. 5. Functional block diagram of motor bogie system

인터페이스를 수행하는 기능인지 명확히 할 필요가 있다. 기능 분석은 설계 결과에 기초하여 수행하지만 기능 분석과 고장영향 및 심각도 분석 결과를 설계에 피드백하여 설계를 변경하는 반복 과정도 필수적으로 거쳐야 한다. 각 시스템별 기능 분석 결과는 이후 고장영향 분석에 기초 자료가 된다. 기능 분석은 기능블록도를 작성하여 수행하는 것이 일반적이다. Fig. 3에 제시된, 틸팅열차의 핵심 시스템인 동력대차의 기능을 분석해 보면 Fig. 5와 같다.

틸팅볼스터 상에 있는 공기스프링은 차체를 지지하고, 틸팅볼스터는 스윙암과 링크 핀을 통해 대차프레임에 연결된다. 대차프레임은 1차 서스펜션과 액슬박스를 통해 차축에 연결되지만 차축은 조향기구에 의해 전후로 조향이 가능하다. 차체틸팅전기장치는 내부에서 연산된 결과에 따라 차체를 경사시킨다.

Fig. 5에 제시된 동력대차 LRU는 주행 및 제동과 관련된 핵심기능을 수행하는 부품단위이며, 보기센서는 과도한 현타와 같은 위험을 감지하기 위한 모니터링 기능을 수행하는 부품단위이다.

#### 5. 고장모드분석

각 시스템의 기능 분석 결과를 기초로 하여 시스템에서 발생할 수 있는 고장모드(failure mode)를 분석한다. 고장은 LRU의 기능을 완전히 상실하는 고장과 부분적으로만 기능을 상실하는 고장으로 나누어 볼 수 있는데, 이러한 고장이 갑작스럽게 발생할 수도 있고 점진적으로 발생할 수도 있다. 고장모드는 기존의 전동차 운행 이력 및 고장 기록을 참고하여 일차적으로 분석할 수 있다[5].

틸팅열차에 고유한 LRU인 CTE의 고장모드를 분석하기

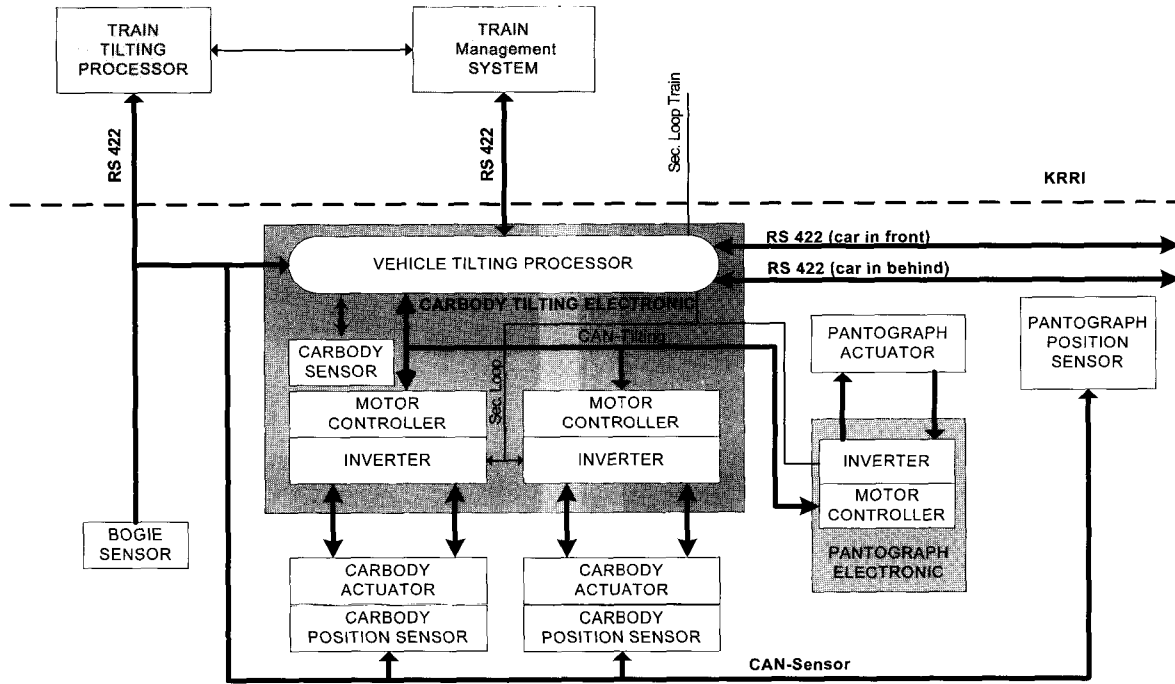


Fig. 6. Detailed Functional block of carbody tilting electronics

Table 2. Failure mode of carbody tilting electronics

부품 (LRU)	기능	고장 모드	고장 설명	고장 원인
차체틸팅 전기장치	차체의 틸팅제어	틸팅 차량 편성 연산 불능	편성상태에서 차체 틸팅각 및 차량간 시차 출력 불가	열차틸팅연산 VTP장치 오류

위해 상세 기능블록도를 작성해 보면 Fig. 6과 같다. 차체센서 (carbody sensor)로 곡선 감지 신호를 받으면 열차틸팅연산장치(Vehicle Tilting Processor)는 열차 속도 및 곡선 반경, 캔트량의 정보에 기초하여 틸팅제어각을 연산하고 모터제어기에 틸팅각 신호를 보내고 제어기는 틸팅 액츄에이터를 구동하여 차체를 순차적으로 경사시키게 된다. 이 과정에서 발생하는 고장모드의 한 예를 보면 Table 2와 같은데, 상세 사항은 다음 6절에서 제시한다.

## 6. FMEA 수행

시스템에서 발생할 수 있는 고장모드를 고려하여 FMEA를 수행한다. FMEA는 MIL-STD- 1629A[6]을 참고하였다. 국내외 철도운영기관의 고장모드 자료를 분석하였고, 해외의 도시철도운영기관, 해외 철도관련 용역기관의 자료를 참고하여 고장 영향을 분석하였다. FMEA는 LRU별로 실시하는데,

동력대차 및 틸팅시스템에 대해서 주요 LRU에 대한 FMEA를 수행한 예는 다음의 Table 3과 같다[7].

## 7. 심각도 분석 및 중요부품 결정

LRU별 고장 모드에 대해 고장에 의한 영향의 심각 정도에 따라 다음과 같이 다섯 단계로 나누어서 심각도(severity)를 판정한다.

- 심각도 A: 안전사고 발생
- 심각도 B: 운행정지
- 심각도 C: 운행지연 (10분 이상 1시간이내)
- 심각도 D: 운행지연 (10분 이내)
- 심각도 E: 고장을 무시하고 차량 운행

심각도 A는 고장 발생 시에 탈선이나 전복, 충돌 등의 안전사고가 발생할 수 있는 경우를 말하며, 심각도 B는 고장에 의해 운행이 정지되어 운행이 취소되고 승객들이 환승해야 하는 경우를 말하고, 심각도 C 및 D는 고장에 의해 운행 지연이 발생하는 경우를 말하며, 심각도 E는 경미하여 운행시간에 영향을 주지 않는 고장의 경우에 해당한다. FMEA를 수행하면서 심각도를 등급에 따라 분류하게 되며 Table 3에 심각도 분류의 예가 나타나 있다. MIL-STD-1629A에서는 심각도와 빈도 및 검출율에 따라 위험 우선 순위를 결정하고 있으나[6],

Table 3. Examples of FMEA

순번	아이템 (LRU)	기능	고장 모드	고장 원인	고장 영향			고장 검지방법	고장모드별 설계대책	심각도
					국부영향	차기 상위레벨	최종영향			
12	Steering system	차량의 곡선부 통과시 차륜 입사각 제어	플랜지 과도마모	-오일링크의 파손	-진동 진동음 증가	-차량 곡선 추종성 저하 -진동증가	-열차 운행 속도 저하 또는 운행 정지	-정기적인 성능 점검 -소음 및 진동 확인 -차륜 및 외관 상태 확인	-Steering system 성능 결과성적서 검토 -ECU 및 BOU의 활주방지 기능 점검 및 사전 시험 평가	B
			차륜차축의 변형균열파손	-Z 형 링크의 파손 및 기능 저하						A
			답면찰상							B
			링크 휘어짐, 파손	-과도한 주행 하중의 발생	-진동 진동음 증가	-차량 곡선 추종성 저하 -진동증가	-열차 운행 정지 또는 안전사고	-정기적인Steering system의 상태점검	-링크 및 관련 구조에 대한 구조해석 및 평가 실시	A
			연결링크의 변형	-과도한 하중에 의한 변형 -연결링크 및 스크류 불량 -스크류 체결 불량 -재질 불량	-곡선부 통과시 소음 증가 -steering system 기능감소	-차륜마모 증가	-차량승차감 저하 및 감속 운행	-정기적인Steering system의 상태점검	-Steering system 성능 결과성적서 검토 및 설계반영 -구조해석 및 보강 방안 제시	B
링크의 복원력 감소	-과하중 -재질불량 -열처리불량	-steering system 기능 감소	-전후 진동 증가	-차량승차감 저하	-정기적인Steering system의 상태점검 -대차 진동 검지 및 계측 평가	-Steering system 품질기준의 강화	B			
19	CTE (Carbody Tilting Electronics)	차량의 틸팅제어	틸팅차량편성 연산불능	-열차틸팅연산 장치오류 (TTP)	-틸팅액츄에이터 작동 불량	-틸팅동작 불가	-승차감저하 및 곡선부 감속 운행	-곡선 주행시 승차 감 및 차체 틸팅 동작 확인 -TMS 고장 정보 확인	-열차틸팅연산장치 (TTP) 시험 및 성능 기준 강화 -구성품 단계 조합 시험 확인	B
			TTP의 정보 VTP정보 전달 불능	-열차제어장치 (TCMS) 오류					-틸팅제어장치 (TCS) 시험 및 성능기준 강화 -구성품 단계 조합 시험 확인	B
			TCS 정보 전달 불능	-차량틸팅연산 장치(VTP) 오류					-차량틸팅연산장치 (VTP) 시험 및 성능기준 강화 -구성품 단계 조합 시험 확인	B
			가속도계 정보전달불능							
			VTP 정보 전송불량	-모터제어기 불량	-틸팅액츄에이터 작동 불량	-틸팅동작 불가	-승차감저하 및 곡선부 감속 운행	-차체 틸팅 동작 확인 -기능 검사	-모터제어기의 성능 및 품질 기준 강화 -품질기준강화	B
			차체 위치 측정 오류	-차체센서 불량	-차체위치 측정 불가	-틸팅액츄에이터 작동 불가	-승차감저하 및 곡선부 감속 운행 -곡선 인식 오류에 따른 위험	-곡선부 차체 틸팅 동작 확인 -운행 중 주기적인 Kilo -post확인	-차체위치 측정 방법의 2중화 설계 -차체센서의 품질기준강화	A

본 연구에서는 정량적인 자료를 확보하기 곤란하고 기존 유지보수체계와의 연계성을 고려하여 심각도(severity)를 고려

한 중요부품(critical item)을 정의하고 유지보수의 기본 항목으로 활용한다. 즉, 심각도 A와 B를 포함하고 있는 LRU에

대해서는 중요부품(critical item)으로 분류하여 유지보수 정책을 결정한다.

## 8. 유지보수 정책 결정

유지보수 정책은 Fig. 7과 같은 절차에 따라 결정한다. 기존의 정비체계를 유지하면서 FMEA 수행 결과 및 심각도 수준을 고려하여 검수 기준을 결정하고 유지보수를 수행하게 된다. 유지보수 정책을 결정하기 위해 기존 전동차에 대한 신뢰도 자료를 활용하는데, 기존 전동차의 LRU별 고장율(failure rate) 및 MTBF(Mean Time Between Failure), MTTF (Mean Time To Failure) 자료를 활용한다. MTTF는 수명이 끝나면 재활용이 불가능한 LRU에 대해 적용한다.

출발 전과 차량입고 후의 일상점검을 제외하고 각 LRU에 대해서 Fig. 7과 같은 조건에 따라 킬링열차의 유지보수를 실시한다.

열차진단제어장치(TMS, Train Monitoring System)상에 고장이 연속적으로 검지되는 경우나 고장을 지시하는 계기가 있어서 연속적으로 고장 상태를 검지할 수 있는 경우에는 연속 상태검수를 실시한다. 고장을 경고하는 지시계가 없는 경우에는 주기 상태 검사를 실시한다. 초기 상태를 지나 열차의 운행 거리가 누적된 경우 분해검사를 실시한다. 이때에는 분해 가능 여부를 기준으로 하여 분해가 가능한 경우에는 MTBF를 기준으로 정밀 분해하여 상태를 점검하고 수리를 실시하며, 분해가 불가능한 경우에는 MTTF를 기준으로 교체를 실시한다. LRU의 요구되는 기능을 발휘하고 있으나 충분히 발휘하지 못하고 기능 저하가 점차적으로 진행되는 경우에는, 기능 시험이 가능하면 주기적인 기능검사를 실시하여 수리를 시행하고, 기능 확인이 불가능하면 고장 이후 교체한다.

각 유지보수 종류에 대해 세부적으로 설명한다.

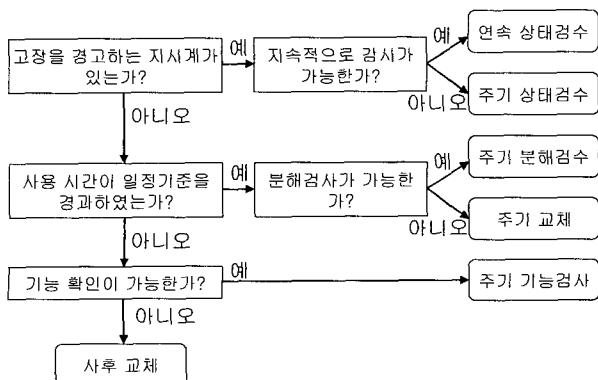


Fig. 7. Procedure to determine maintenance policy

### 8.1 연속 상태검수

고장을 경고할 수 있는 지시계가 있거나, 열차진단제어장치에서 고장 정보가 현시되는 경우에는 운행 중에 지속적으로 고장 상태를 검사할 수 있고, 고장 발견 시에는 즉각적인 조치를 취하고 기지 입고 후에 수리를 할 수 있다.

### 8.2 주기 상태검수

잠재적인 고장을 발견하기 위해 주기적으로 LRU의 상태를 검사하고, 각종 지시계(indicator)를 점검하여 각종 고장모드에 대한 잔존 수명을 파악하고 필요 시에 유지보수 작업을 실시한다.

### 8.3 주기 교체검수

LRU별로 MTTF에 기초하여 일정주기에 따라 교체하거나, 수리후 사용 가능한 LRU에 대해서는 주기적으로 교체(Scheduled replacement)하는 작업을 실시한다. 심각도 A인 LRU에 대해 예방정비의 성격으로 행해진다.

예방정비를 위한 교체주기는 기대비용이 최소가 되도록 선정해야 한다. 시간 당 기대비용(expected cost)은 최소 수리비용과 고장시 교체 비용의 합으로 표현될 수 있다. 즉

$$C(t) = \frac{c_p + c_m W(t)}{t} \quad (1)$$

여기서,  $c_p$  = 최소 수리 비용

$c_m$  = 교체 비용

$W(t)$  = 기대되는 고장 회수

$t$  = 운행시간

고장 발생이 와이블 분포를 따른다고 하면, 기대되는 고장 회수는

$$W(t) = (\lambda t)^\alpha \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ =고장율

$\alpha$ =와이블 분포의 지수

(1)식을 최소화하는 교체주기  $t_{min}$ 은 다음과 같이 MTTF를 이용하여 표현할 수 있다.

$$t_{min} = \frac{1}{\lambda} \left( \frac{\rho}{\alpha - 1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = \frac{MTTF}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)} \left( \frac{\rho}{\alpha - 1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (3)$$

여기서,  $\rho = \frac{c_m}{c_f}$

$\lambda$  및  $\alpha$ 는 기존 신뢰도 분석 결과를 이용한다.

### 8.4 주기 분해검수

LRU 또는 LRU 하위 레벨에서 발생하는 고장 또는 잠재적 고장을 검사하고 조치하는 세부적인 검수를 의미한다. MTBF를 기준으로 분해하여 상태를 검사하고 수리를 실시한다.

### 8.5 주기 기능검수

LRU가 고장이 나지 않더라도 주기적으로 성능 및 효율을 시험하고 평가하여 성능 저하 및 잠재적인 고장을 방지하여야 한다. 시스템별로 주기적으로 기능을 검사하고 대책을 수립한다.

## 9. 유지보수의 시행

각 LRU별로 8절에서 제시한 정책에 의거하여 유지보수를 시행한다. 기존의 전동차 유지보수 작업은 일상검수, 월상검수, 경정비, 중정비 등의 단계로 각 부품에 대해 일률적으로 시행되고 있으나, 본 연구에서는 신뢰성기반유지보수 이론에 기초하여 8절의 절차에 따라 유지보수를 시행하는 정책을 제시하였다.

차체 틸팅시스템에 대한 유지보수 시행 기준의 예를 보면 Table 4와 같다. CTE는 TMS와 연계되어 고장 상태가 지속적으로 모니터링되므로 연속상태검수를 실시하며, 고장 발생 시에는 틸팅 동작을 중단하고 비틸팅(non-tilting) 상태가 되어 일반전동차와 같이 운행되다가 기지에서 수리된다. CA는 중요부품이지만 자체 고장을 연속적으로 모니터링하기가 곤란하므로 예방정비 차원에서 주기적으로 기능검수를 실시한다. 보기센서와 링크핀도 수리후 사용 가능한 부품이 아니므로(irreparable) 예방정비 차원에서 주기적으로 교체한다.

Table 4. Example of maintenance policy

Sys.	Bogie & Vehicle Tilting System		유지보수 계획		연속 상태 검수	주기 상태 검수	주기 교체 검수	주기 분해 검수	주기 기능 검수
	Trailer	Bogie	사 후	예 방					
LRU	CTE	종류	○		○				
		주기							
	CA	종류		○					○
		주기							5천 km
	Bogie Sensor	종류		○				○	
		주기						1만 km	
Link Pin	종류		○				○		
	주기						5만 km		

## 10. 결론

개발이 완료되어 시험 운행 중에 있는 한국형 틸팅열차가 상용화되기 위해서는 유지보수체계의 구축이 필수적이다. 기존의 도시철도차량과 같은 전동차이지만 운행 속도가 높고 틸팅시스템이 존재하므로 유지보수체계 및 방법도 달라져야 한다. 본 연구에서는 한국형 틸팅열차의 효과적인 유지보수를 위해 신뢰성기반유지보수체계를 제안하고, 이에 기초하여 유지보수 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 신뢰성기반유지보수체계는 신뢰성 개념이 포함된 유지보수 방법이지만, 기존의 유지보수 방법과의 조화도 고려하였다. 틸팅열차의 차량시스템을 기능 중심으로 3단계까지 분류하고, 3단계 분류인 LRU 수준에서 기능 분석 및 고장영향 분석을 실시하여 심각도를 판정하였고, 판정된 심각도와 기존의 신뢰도 자료에 기초하여 유지보수기준과 방법, 주기를 결정하였다. 신뢰성기반유지보수체계는 유지보수의 효율성 향상과 열차시스템의 안전성 향상의 효과를 거둘 것으로 예상되며, 합리적인 유지보수품의 선정에도 기여할 수 있으리라 예상된다.

## 참고 문헌

1. M., Rausand and J., Vatn. (1998), Reliability Centered Maintenance, Risk and Reliability in Marine Technology, Balkema, Holland, pp.2-20.
2. 신석균, 김수명, 이덕규, 이경학, 이기서(2006), “철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 제9권, 제6호, pp.739-745.
3. BS EN 50126(1999), “Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety(RAMS)”, British Standards, pp.28-29.
4. 임병욱, 윤덕균(2005), “고속철도차량(KTX) RCM 적용에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 제8권, 제5호, pp.470-476.
5. 안태기, 박기준, 김문현(2006), “도시철도 차량 유지보수 정보화시스템 개발”, 한국철도학회논문집, 제9권, 제5호, pp.577-581.
6. MIL-STD-1629A(2000), “Procedures for performing a Failure Mode, Effects, Criticality Analysis”, pp.101-102.
7. 서승일 외(2006), “틸팅차량 운행시 유지보수시스템 기반 구축 연구”, 한국철도기술연구원 연구보고서, pp.218-316

(2007년 8월 9일 논문접수, 2007년 10월 15일 심사완료)