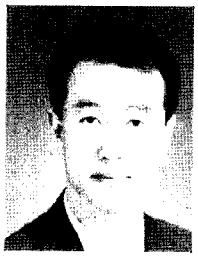
철도차량의 효과적인 RCM 실시 방안



| 박병노 · 이창환 · 임성수 |
공항철도(주) 기술본부

1. 서론

최근 철도차량의 품질에 대한 기대와 요구수준이 높아짐에 따라 차량 제작사에서는 안전성과 신뢰성이 높은 차량을 설계 · 제작하고 운영사에서는 과학적이고 체계적인 예방정비를 통해 안전성과 가용성을 향상시키기 위하여 노력하고 있다. 철도차량은 운행 중에 고장이 발생하지 않도록 적절한 시기에 효과적인 방법으로 정비를 하는 것이 무엇보다 중요하며, 오랜 사용연한 동안 전 기간에 걸쳐 유지보수 비용을 절감하기 위한 경제적인 유지관리기법이 필요하다.

신뢰성기반유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance, 이하 RCM)는 항공사, 방위산업, 원자력 발전소 등 안전성이 중요시 되는 시스템에 주로 적용되어 왔으며, 그 효율성이 입증되면서 적용분야를 넓혀나가고 있다.

철도분야에서도 RCM 기술이 지속적으로 도입되고 있는 추세이나 군수나 항공분야와 같은 특수 분야에 적용되었던 RCM 절차를 철도분야에 적용한다는 것은 제한성이 있었다.

철도차량에서 RCM 기법 적용은 차량 고장을 예방하기 위해 각 시스템 구성요소의 고장유형분석과 운용데이터를 기초로 이를 분석하여, 고장예방 즉, 예방정비를 위한 가장 효과적인 Maintenance Task를 도출함으로써 시스템의 신뢰도 향상을 도모하고 과잉정비를 방지하여 정비비용을 최적화 할 수 있는 관리 개선기법으로 활용할 수 있다.

본고에서는 기존 유지보수체계를 활용하고 철도차량 유지관리에 효과적으로 적용할 수 있는 RCM 절차 및 결정 로직에 대해 기술하였으며 이를 공항철도 차량 유지관리에 적용하여 최적의 예방정비를 시행하고자 한다.

2. 국제규격의 RCM 절차

RCM에 대한 정의와 절차는 규격에 따라 다소 다르게 소개하고 있지만, 대상 시스템에 대하여 기존의 정비 프로그램을 최적화 하거나 새로운 정비 프로그램을 수립하기 위한 체계적인 방법 이라는 공통된 내용을 포함하고 있다. 표 1은 IEC 60300-3-11, NAVAIR 00-25-403, MIL-STD-2173의 RCM에 대한 정의와 절차를 비교하여 정리한 것이다. RCM 절차는 응용분야에 따라 서로 상이한 절차를 갖고 있으나 예방정비 업무를 합리적으로 판단하기 위해 다음과 같은 공통된 내용을 포함하고 있다.

2.1 시스템 구분 및 기능 분석

RCM 분석을 용이하게 수행하기 위해서는 시스템 및 하위시스템(Sub-system)에 대한 기능을 정의하고 하위시스템을 구성하는 구성요소(Equipment, Component 등)에 대한

표 1. RCM에 대한 정의 및 절차

구분	IEC 60300-3-11	NAVAIR 00-25-403	MIL-STD-2173
정의	효율적인 예방 정비 업무를 식별하고 정비업무 간격을 수립하기 위한 체계적인 접근방법	효과적인 운영을 보증하기 위한 활동을 식별하고 예방정비 요구사항을 결정하기 위한 프로세스	장비의 고유 신뢰도를 달성하기 위해 예방정비 업무를 선택하기 위한 규율된 논리 또는 방법론
절차	1. 정보수집 2. 시스템식별 3. 시스템선정 4. 장치선정 5. 아이템 선정 6. 업무선정 7. 업무적용	1. 계획수립 2. 장치구분 3. FMEA 4. 장치선정 5. RCM 업무평가 6. RCM 업무선정 7. 업무실행	1. 장치구분 2. 기능분석 3. 아이템 선정 4. FMEA 5. RCM 결정로직 6. 업무평가 7. 업무실행

표 2. 시스템 기능 분석(예)

서브시스템	서브시스템 주요기능	장치	장치 주요기능
주변압기	특고압 전력을 2차,3차 전압으로 변환	오일냉각기	오일 냉각
		오일 펌프	오일 순환
		유류계전기	절연유의 상태 감지
TCMS	열차종합제어 및 모니터링, 정보저장	DU	운전자, 검사자에게 정보제공 기능
		TC	열차제어 및 모니터링, 정보저장
		CC	차량제어 및 모니터링, 정보저장

명확한 물리적 분류가 필요하다. 하위 장치의 분류는 현장 교체가 가능한 유니트(LRU : Lineside Replace Unit) 수준으로 정의 하도록 권고하고 있다. 표2 는 시스템 구분 및 기능 분석의 예를 보여 준다.

2.2. 중요 아이템 선정

시스템에 중요한 계통이 정의되고 계통 경계가 식별되면, 고장모드에 대해 고장에 의한 치명도에 따라 중요기기(FSI : Functionally Significant Item)의 우선순위를 선정한다. 보통 각 FSI는 한 가지 또는 여러 기능을 갖게 되며 분석대상 결정은 선정 로직에 의해서 결정한다.

2.3. 고장모드영향분석(FMEA)

FSI로 정의된 항목에 대해서는 고장을 유발하는 고장모드를 찾아내는 분석이 따른다. 고장모드영향분석(FMEA : Failure Mode and Effect Analysis)은 고장유형이 시스템의 안전성, 운용성, 경제성, 잠재적 안전성, 잠재적 경제성에 미치는 영향을 고려하여 분석하고 만약, 영향을 미칠 경우 논리구조에 의한 해석을 실시하여 고장을 사전에 방지하는 예방정비 방법을 찾아야 한다.

2.4. 예방정비 방법의 결정

고장모드 및 원인을 분석한 후, 고장원인에 대한 적용 가능한 예방정비 업무를 찾는 단계로써 결정논리트리(Decision Logic Tree)를 주로 활용한다. 결정논리트리는 일련의 질문을 던지면서 중요한 고장모드 · 고장원인에 대한 분류 및 성격을 규명한다. 질문들에 대하여 YES/NO에 따라 각 고장모드 · 고장원인을 판단한다.

2.5 결정된 유지보수 방식 적용 및 비교평가

RCM 논리해석을 통해 결정된 유지보수 방식 일지라도 적용하는 단계에서는 정비방법을 적용할 수 있는가에 대한 적용성과 비용효과를 얻을 수 있는지 등을 고려해야 하며, 적용 후에는 효과성에 대해 평가한다.

3. 철도차량에 효과적으로 적용하기 위한 RCM 실시 절차

위와 같은 RCM 절차에 대한 자료 분석을 통하여 철도차량 분야에서 효과적으로 적용하기 위하여 선행적으로 이루어져야 할 조건과 절차를 다음과 같이 제시하고자 한다. 한편, 공항철도에서는 RCM 실시를 위한 선행조건들의 체계를 수립하여 개통부터 RAMS 데이터를 분석 · 적용하고 있으며 RCM 절차를 수립하여 실시할 예정이다.

3.1. RCM 실시를 위한 선행조건

3.1.1. 데이터 수집체계 마련

RCM 실시를 위해서는 차량 운영 및 유지보수 활동에 대한 체계적이고 정량화된 데이터를 확보하는 것이 중요하다. 이러한 데이터는 신뢰성 및 가용성 평가, 비용집계, 유지보수 방법결정 등 중요한 기초정보가 된다. 따라서 데이터를 체계적으로 수집 · 관리하고, 분석을 수행하기 위해서는 정보시스템의 구축과 운영절차가 필요하다. 공항철도에서는 차량 운행정보, 고장정보, 유지보수 실적정보 등 필요한 데

표 3. LBS의 구성

System	Sub System	Equipment
1개	66개	293개
전동차	견인전동기	고정자 회전자 속도센서
	주변압기	송풍기 오일냉각기 오일펌프
	⋮	⋮

표 4. 고장코드 구성 체계

항목	시스템명	서브시스템명	장치명	고장유형	고장원인	고장영향	고장위험	고장검출	고장조치
코드자리	2	2	2	2	2	1	1	2	2

이터를 수집하기 위해 통합정보시스템 구축 및 운영절차를 완료하였다.

3.1.2. 시스템 정의 및 분류

차량 시스템의 장치에 대한 고장정보를 체계적으로 관리하고 분석하기 위해서는 기능적 정의와 분류 즉, LBS(Logistic Breakdown System) 수립이 필요하다. 공항철도의 LBS는 "시스템 > 서브시스템 > 장치"3단계로 분류하였으며 자재정보와 상호 연계시켜 구축하였다. 표3은 전동차라는 시스템 하부에 66개의 서브시스템과 293개의 LRU 수준의 장치로 구성되어 있는 LBS 구성 체계 예를 나타낸다.

3.1.3. 고장코드 체계 마련

일련의 고장에 대한 접수정보, 분석정보, 조치정보를 체계적으로 관리하기 위해서는 고장코드 체계가 필요하다. 공항철도는 표4와 같이 고장계통, 고장유형, 고장원인, 고장위험, 고장검출, 고장조치 등 9개 항목, 16자리 숫자로 조합하여 코드체계를 구성하였다. 고장코드 체계는 새로운 고장 발생시 계속적으로 추가할 수 있도록 하였다. 고장유형은 LBS에 따라 분류된 각 장치의 고유 기능을 파악하여 해당 고유 기능이 정상적으로 수행되지 못하는 상태를 정의 하였으며, 고장원인은 고장유형과 연동하여 해당 고장현상이 인지되었을 때 원인이 될 수 있는 사항을 정의한 것이다.

3.1.4 FRACAS 프로세스 구축

각종 고장정보에 대한 원인분석, 대책수립 및 시정조치를 취하고 유지보수 계획에 반영할 수 있도록 지원하는 고장보고 · 분석 및 조치시스템(FRACAS : Failure Reporting And Corrective Action system)이 필요하다. FRACAS에는 고장접수정보, 고장분석정보, 고장조치정보가 포함되어 있으며, 축적된 고장정보는 유지보수 활동의 분석에 활용될 뿐만 아니라, RAMS 지표를 산출하는데 연계된다.

고장으로 관리되는 범위는 운행 중 발생한 고장뿐만 아니라, 예방정비 중 불량사항 발견으로 유지보수를 요하는 사항 까지를 대상으로 하며, 고장의 결과가 경미한 경우 제외될 수 있다. 전체고장은 운행지연, 기능장애, 단순고장 모두를 포함한다.

3.1.5. 비용 산출체계 수립

장치별로 유지보수 비용을 체계적으로 산출하기 위해서는 비용 산출 구조, 장치 분류 구조, 비용 산출 범주, 비용 요소를 포함하는 비용 산출 체계가 선행적으로 수립되어야 한다.

3.1.6. 조직의 구성

신뢰성 관련 업무를 추진하게 될 조직과 인원구성이 필요하다. 전담 인원은 정확한 고장내용 및 수리현황 등 각종 데이터를 통계관리하고 분석하며 개선대상과제를 선정 · 요청한다.

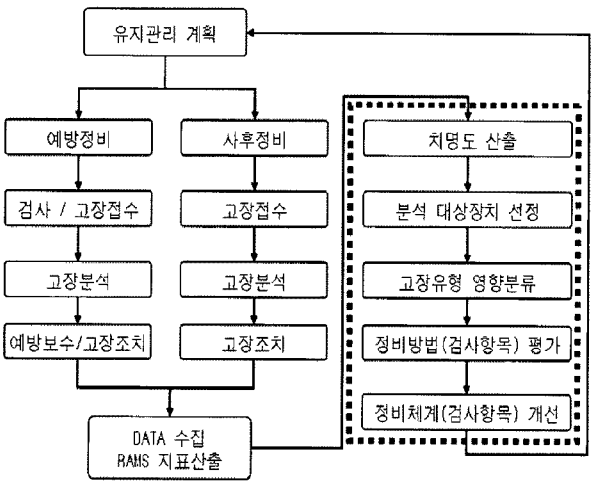


그림 1. 공항철도 차량의 RCM절차

3.2. 효과적인 RCM 실시 방안

각종 규격서의 기본 RCM 절차 및 분석방법을 보완하여 철도차량 분야에 적용하기 위한 절차는 그림1과 같다.

3.2.1. 장치별 치명도 산출

첫 단계로써 현행 정비프로그램의 개선점을 파악하고 분석대상 장치 선정을 위하여 LBS(Logistic Breakdown Structure)별 RAMS 데이터를 분석하고 식(1)과 같이 치명도를 산출한다. 장치별 치명도 산출은 정량적인 방법(고장결과와 고장빈도를 조합한 정량적 수치 산출)을 통하여, 사용자가 중요도의 우선순위를 부여할 수 있다.

치명도 값 산출식 ·····(1)
= [고장영향별 횟수 고장영향별 치명도 할당 값]*

3.2.2. 분석 대상장치 선정

산출된 장치별 치명도 값의 우선순위를 부여하여 분석 대상장치를 선정하고자 그림 2와 같이 RCM 대상 선정 로직을 실행한다. 이때, 예방정비와 사후정비에 대한 비용 산출 정보를 장치선정에 참조한다.

3.2.3. 고장유형 영향 분류

전 단계에서 FSI로 확정된 LBS장치에 대해서 그림 3과 같이 "고장영향 분류 로직"을 순차적으로 실행한다. 순차적인 의사결정 로직을 통하여 다음의 5가지 고장영향 중 하나로 분류된다.

① 안전상 영향 고장 : 안전성을 확보하기 위한 정비업무가 요구되는 고장
② 열차 운행상 영향 고장 : 허용수준의 운영성능을 확보하기 위한 정비업무가 요구되는 고장
③ 경제성 영향 고장 : 고장 후 발생비용보다 적은 비용의 정비업무가 요구되는 고장
④ 미확인 안전상 영향 고장 : 다중고장으로 인한 안전상의 악영향을 방지하는 정비업무가 요구되는 고장
⑤ 미확인 경제성 영향 고장: 다중고장으로 인한 비용상의 악영향을 방지하는 정비업무가 요구되는 고장

3.2.4. 정비 작업방법 평가

전 단계에서 결정된 결과 값에 따라 그림 4 및 그림 5와 같이 "정비방법 평가 로직"을 순차적으로 실행한다. 순차적인

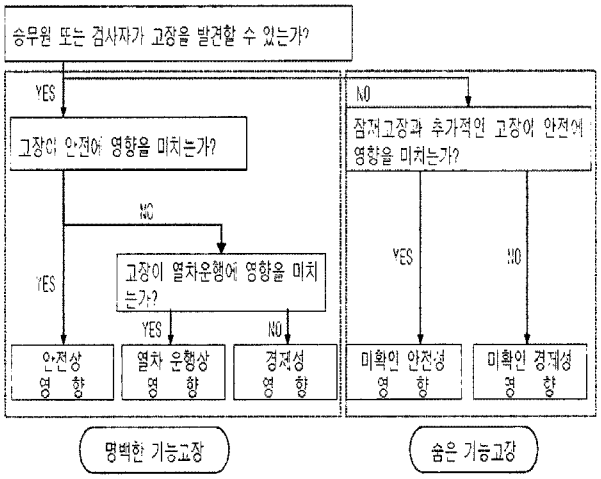


그림 3. 고장유형 영향분류 로직

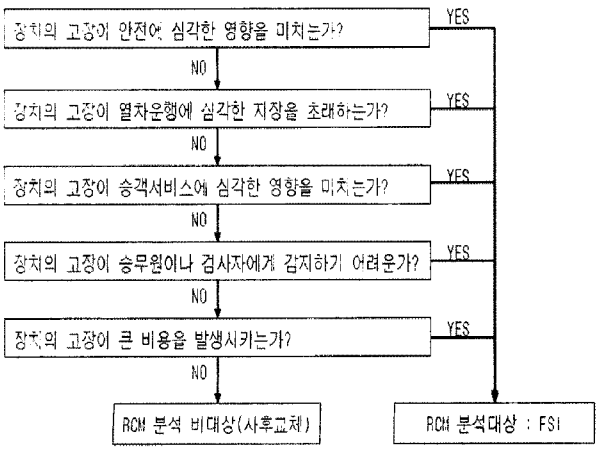


그림 2. 분석 대상장치 선정 로직

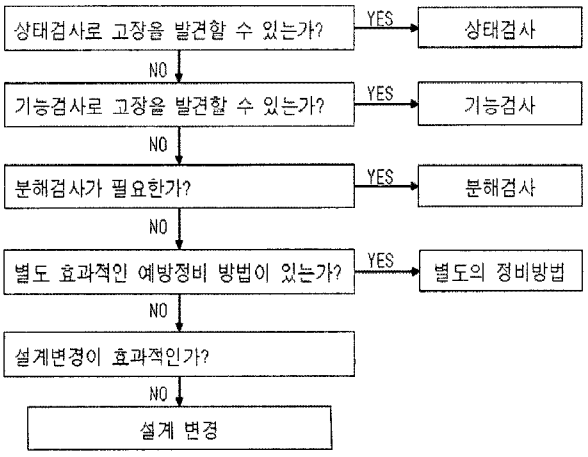


그림4. 정비방법 평가 로직(명백한 기능고장인 경우)

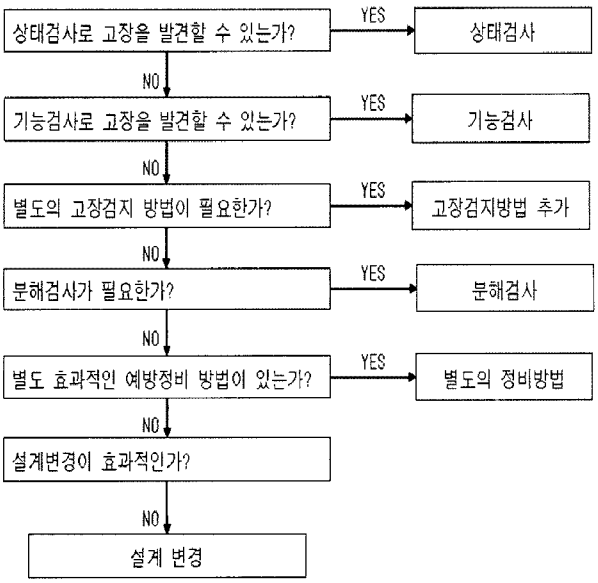


그림5. 정비방법 평가 로직(숨은 기능고장인 경우)

의사결정 로직을 통하여 다음의 예방정비 활동 중의 하나로 결정된다.

①상태검사, ②기능검사, ③분해검사, ④별도의 정비방법, ⑤설계변경

3.2.5. 정비체계 개선

주요 고장유형 및 발생빈도를 근거로 하여 기존에 수립된 검사항목을 평가하고, 평가결과로부터, 기존의 검사항목이 부적합한 것으로 평가되면 해당 검사항목의 내용(검사주기, 검사방법 등)을 추가하거나 삭제하는 등 갱신을 실시한다.

4. 결 론

본고에서는 기존의 획일적인 철도차량 정비체계에서 탈피하여 신뢰성 기반의 유지보수체계를 구축하고자 국제규격의 RCM 절차와 특성을 조사 · 비교하였고, 이런 절차와 특성을 보완하여 철도차량 유지보수에 적용하기 위한 선행조건 들과 RCM 절차를 다음과 같이 5단계로 제시하였다. ① 치명도 산출, ② 분석 대상장치 선정, ③ 고장유형 영향 분류, ④ 정비방법 평가, ⑤ 정비체계 개선

공항철도에서는 정비체계를 최적화하고 차량의 신뢰성, 안전성, 가용성, 정비성 향상을 위하여 RCM 실시를 위한 선행조건들의 체계를 수립하고 RCM 절차를 마련하여 실시할 예정이다. 이를 효과적으로 시행한다면 불필요한 예방정비는 감소되고 중요장치의 예방정비는 강화되면서 정비자원의 효율적인 운영뿐만 아니라 차량의 운용효율이 향상될 것으로 기대된다.

♣ 참고 문헌

1. IEC 60300-3-11 (1999), Application guide Reliability Centered Maintenance
2. Moubray, J. (1997), Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc
3. MIL-STD-2173 (1986), Reliability Centered Maintenance Requirements for Naval Aircraft
4. Department of The Army Pamphlet(1980), Guide to Reliability Centered Maintenance for Fielded Equipment
5. 신석균 (2006), "철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제9권 제6호, pp. 739-745.
6. 김연종 (2002), "RCM 분석 기법 및 철도시스템에 대한 도입 필요성", 한국철도기술 5 · 6월호, 한국철도기술연구원
7. 서승일 (2007), "한국형 틸팅열차의 신뢰성기반 유지보수 체계 구축에 관한연구", 한국철도학회논문집, 제10권 제5호, pp. 520-526.
8. 한석윤 (2004), "고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 중심 유지보수에 관한 연구", 한국철도학회논문집, 제7권 제3호, pp. 271-277.
9. 백순흠(2004), "정비성 설계기술" 웅보출판사