철도차량의 신뢰성기반 유지보수(RCM) 실시 방안
A Study on Implementation of RCM for Railway Vehicle

박병노* 주해진** 이창환*** 임성수****
Park, Byoung-Noh Joo, Hae-Jin Lee, Chang-Hwan Lim, Sung-Soo

ABSTRACT

Railway vehicle is very important to implement the effective maintenance in proper to prevent any failure during operation period. Many railway authorities are making efforts to maintain the railway vehicle through scientific and systematic procedure. To achieve this, Reliability Centered Maintenance(RCM) is partially applied. The efficiency of RCM has proven and its terminology was familiar with nuclear power, military and chemical plant etc. since the commercial aircraft's industries has introduced the maintenance program based on the target of reliability. The application of RCM on railway vehicle can be utilized with systematic analysis method to select the best effective maintenance period and action to prevent the failures by selecting the equipment affecting the its safety and reliability. This paper is presented that the procedure of adequate and effective maintenance for railway vehicle by comparing among the related standards in example IEC60300-3,11, MIL-STD-2173, and technical documents or papers.

In accordance with above result, RCM procedure is proposed to apply effectively for maintenance of railway vehicle. That is, (1) Analysis of data and Calculation of criticality per equipment (2) Selection of equipment to analyze (3) Analysis of failure mode and effect (4) Evaluation of maintenance method and period (5) Optimization of maintenance program through renewal of maintenance method and period.

1. 서 론

철도차량은 운용기간 중에 고장이 발생하지 않도록 적절한 시기에 효과적인 방법으로 정비를 하는 것이 중요하다. 이를 위하여 최근 철도 운영기관에서는 과학적이고 체계적인 차량 관리를 위해 노력하고 있으며, 신뢰성기반의 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)를 일부 적용하고 있다.

신뢰성기반의 유지보수는 1970년대 민간항공 산업계에서 신뢰도에 목표를 둔 정비프로그램을 도입한 이후로 원자력, 군수, 화학설비 등 에도 익숙한 용어로 통용되고 있으며, 그 효율성도 상당히 입증되고 있다. RCM은 시스템의 고장을 예방하기 위해 각 시스템 구성요소의 고장유형분석과 운용데이터를 기초로 하여 이를 분석하여, 고장예방 즉, 예방정비를 위한 가장 효과적인 Maintenance Task를 도출함으로써 시스템의 신뢰도 향상을 도모하고 과잉정비를 방지하여 정비비용을 최적화 할 수 있는 관리 개선기법이다. 철도차량에서 RCM 기법 적용은 차량 고장 발생시 고장이 시스템에 미치는 영향을 안전성, 운용성, 경제성의 관점에서 분석하고, 이에 큰 영향을 미치는 장치를 선별하여 고장을 예방하기에 가장 효과적인 예방정비주기, 정비방법 등을 선정하여 적용하며, 부품과 정비인력 비용을 정비계획에 고려하는 등 과학적이고 체계적인 분석기법으로 활용할 수 있다.

본 논문에서는 RCM 실시 절차에 대한 IEC 60300-3-11, MIL-STD-2173 등 규격서와 전문서, 논문 등을 비교 분석하였고, 이를 바탕으로 철도차량 유지관리에 효과적으로 적용할 수 있는 RCM 절차를 제안하고자 한다.

* 책임저자, 회원, 공항철도(주), 기술총괄팀, 과장
E-mail : nopark@arex.or.kr
TEL : (032)745-7203 FAX : (032)745-7905
** 비회원, 공항철도(주), 차량팀, 대리
*** 회원, 공항철도(주), 기술총괄팀, 과장
**** 회원, 공항철도(주), 기술총괄팀, 부장

2. RCM의 일반적인 절차

RCM 적용 시 고려해야 할 기본적인 질문사항은 표 1과 같으며, RCM 절차에 대한 내용은 표 2와 같이 규격서, 전문서, 논문 등에 다소 다르게 소개하고 있지만, 대상 시스템에 대하여 기존의 정비 프로그램을 최적화 하거나 또는 새로운 정비 프로그램을 수립하기 위한 체계적인 방법 이라는 공통된 내용을 포함하고 있다. RCM 절차는 응용분야에 따라 상이하게 적용될 수 있으며, 일반적인 절차는 다음의 순서에 따른다. (1) 데이터 수집, (2) 계통(System) 구분, (3) 중요 아이템 선정, (4) 고장모드영향분석 (5) RCM 결정 논리구조에 의한 해석, (6) 결정된 유지보수 방식 적용 및 비교평가

(1) 데이터 수집

RCM 초기 단계에는 대상 시스템에 대한 운영데이터, 신뢰도 데이터, 설계 데이터를 수집한다. 효과적인 분석과 예방정비 업무의 최적 주기에 접근을 위해서는 신뢰성 있는 운영데이터 수집이 필수적이다.

(2) 계통(System)의 구분

RCM 분석을 용이하게 수행하기 위해서는 계통(System)을 부계통(Sub-system)으로, 부계통은 다시 장치(Equipment) 또는 부품(Unit)단위의 하위 수준까지 분할 할 수 있다. 신뢰도분석에 활용되는 신뢰도 블럭도가 있다면 구분 작업이 유용하게 쓰일 수 있다.

(3) 중요 아이템 선정

시스템에 중요한 계통이 정의되고 계통경계가 식별되면, 계통을 기능적으로 중요한 기기(Functionally Significant Item: FSI)를 선정한다. 각 FSI는 한 가지 또는 여러 기능을 갖게 되며, 능동(Active) 또는 수동(Passive)기능으로 구분 할 수 있다. FSI 선정은 선정 로직에 의해서 결정한다.

(4) 고장모드영향분석(FMEA)

FSI로 정의된 항목에 대해서는 고장을 유발하는 고장모드를 찾아내는 분석이 따른다. 고장모드영향분석(Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)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.

(5) 예방정비 방법의 결정

고장모드 및 원인을 분석한 후, 고장원인에 대한 적용 가능한 예방정비 업무를 찾는 단계로써 그림 1과 같이 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. 그림 2는 미국해군, 화학플랜트 공장의 RCM 절차의 예를 보여준다.

(6) 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.

표 1. RCM 기본 질문사항

분류번호	질 문 내 용	정 의
1	시스템의 기능과 관련한 성능기준은 무엇인가?	기능 및 성능 기준
2	해당 기능이 어떻게 고장이 나는가?	기능고장
3	고장의 원인은 무엇인가?	고장유형
4	고장발생으로 초래되는 사항은 무엇인가?	고장영향
5	고장이 발생시키는 문제는 무엇인가?	고장결과
6	고장을 예측하고 예방하기 위한 방법은 무엇인가?	사전작업 및 작업주기
7	사전작업이 적절하지 않을 때의 방안은 무엇인가?	사후조치

표 2. RCM 절차 및 내용 비교

MIL-STD-2173	IEC 60300-3-11	John Moubray	이승혁	백순흠 외
1.중요 아이템 결정 ·기능적 중요아이템 ·구조적 중요아이템 2.기능적 분석 3.중요 아이템 선정 4.고장모드 영향분석 ·설비아이템별 기능, 고장모드, 고장영향, 고장결과 5.RCM 의사결정로직 ①고장결과치 결정 ·안전의 영향 ·경제, 운영의 영향 ·잠재적인 고장 ②제안된 업무 평가 ·적용성, 효과성 6.제안된 업무평가 7.RCM 프로그램 ·보전업무평가	1.정보수집 ·시스템요구사항 ·정비, 고장데이터 2.시스템 식별 ·시스템 분할 및 경계 확인 3.시스템 기능식별 ·주요기능/보조기능 4.시스템 선택 ·안전성,가용성,경제성 순으로 순위부여 5.시스템 기능고장과 중요도 순위식별 ·발생확율과 고장 결과치로 순위 결정 ·FMEA, 위험도분석 6.기능적 중요아이템의 식별과 분석 ·시스템기능, 고장 및 영향식별 ·고장모드영향분석 7.정비방법 선택 ·의사결정로직시행 : 안전, 경제성, 운용상의 영향고려 8.보전 프로그램	1.시스템 및 아이템 식별과 고장영향 ·기능과 성능표준 ·기능고장 ·고장영향 2.고장결과 ·잠재적 고장결과 ·안전과 환경에 결과 ·운용에 결과 3.예방보전업무 ·기술적가능성 ·수명과 관련된 고장 ·계획적 복구업무 ·계획적 폐기업무 ·예방업무선정 4. 결함제거 업무 ·계획적 보전업무 ·비계획 보전업무 ·재설계 등 5. RCM 의사결정 다이어그램 ·의사결정 작업표 6.제안된 업무의 계획, 조직화, 통제 ··보전계획 및 통제 시스템	1.시스템 선택과 정의 2.시스템 기능별 고장 해석 3.임계항목의 선택 4.데이터 취득 및 해석 5.고장모드영향 및 임계해석 6.유지보수 방법 선택 7.유지보수주기 결정 8.예방유지보수 비교 해석 9.유지보수를 결정하는 항목이 아닌 항목의 고려 10 유지보수 실행 11.현재 사용되는 데이터 취득 및 업그레이드	1.시스템의 설정 2.기능 블록선도 의 작성 3.시스템 구성의 기능별 분해도 작성 4.기능고장해석 5.고장모드영향 해석 6.RCM 결정논리구조에 의한 해석 ①고장에 의한 영향분석 ②예방정비 작업의 결정 7.예방정비 작업주기 결정 8.실적기준으로 해석 결과 수정

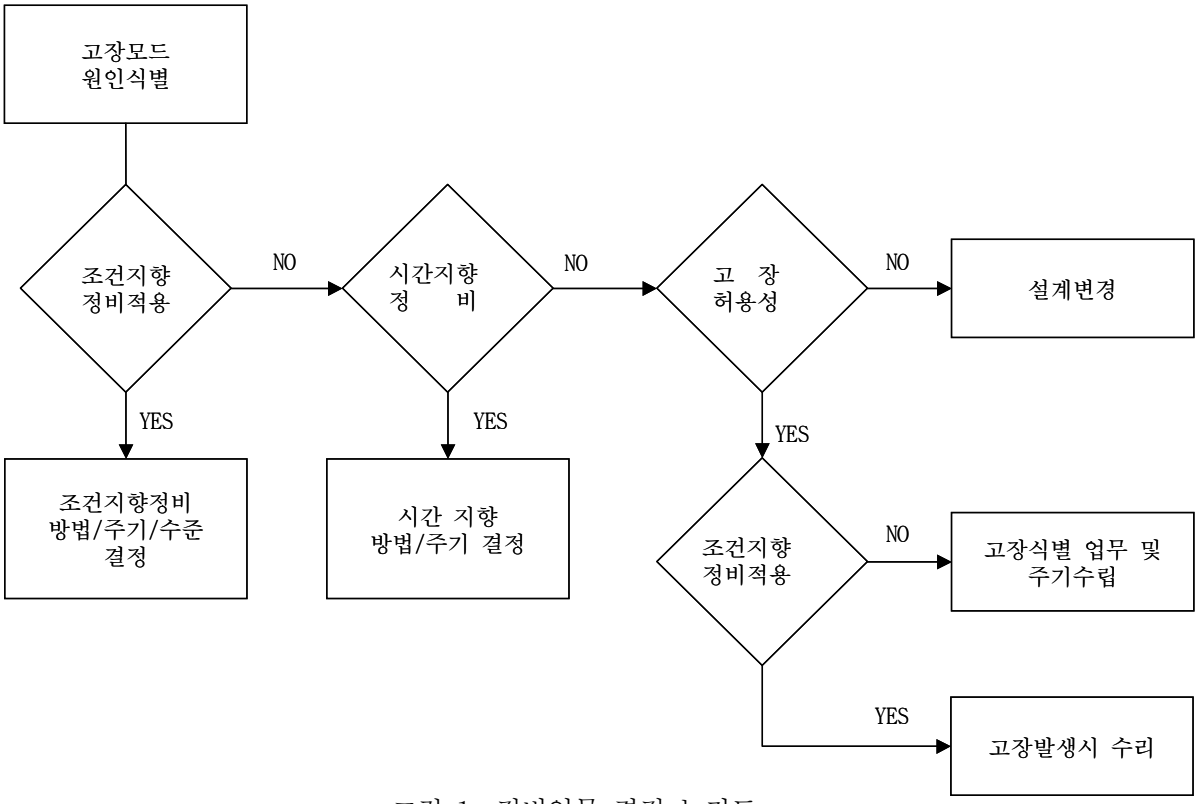

그림 1. 정비업무 결정 논리도

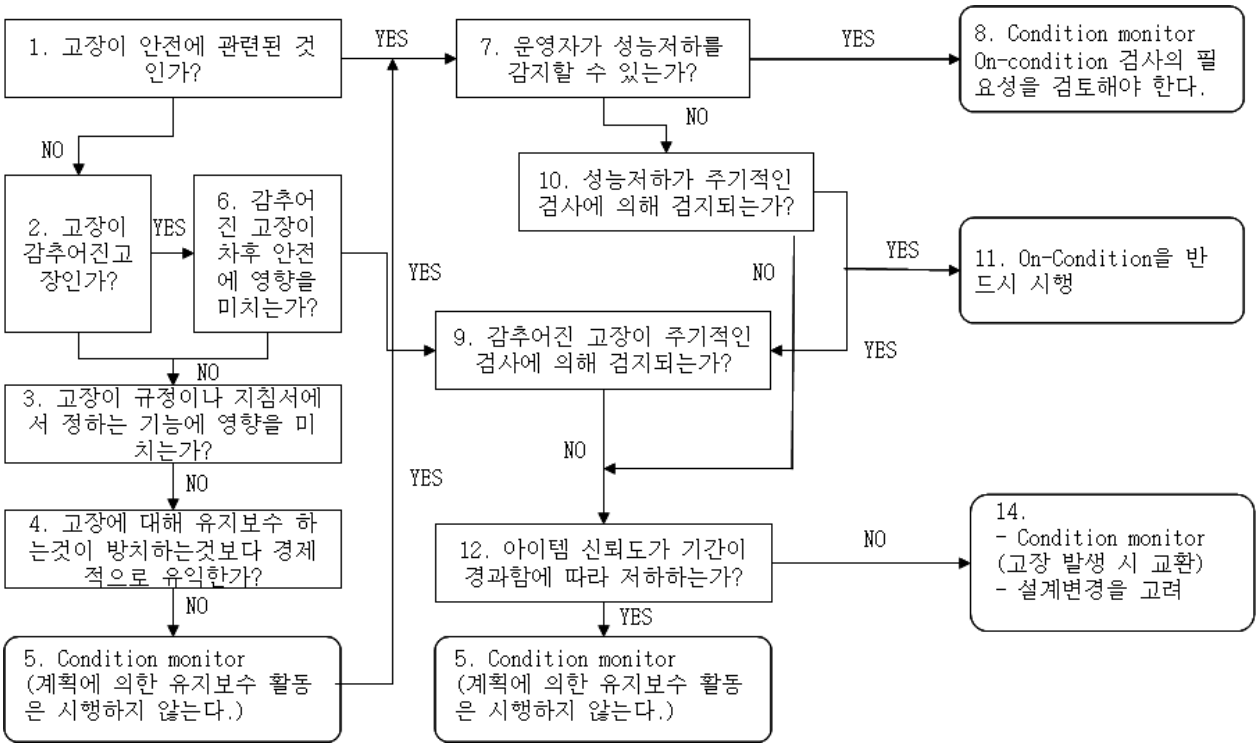

그림 2. 미해군 및 화학공장 RCM 의사결정 로직

3. 철도차량의 효과적인 RCM 실시 방안

위와 같은 RCM 절차에 대한 자료 분석을 통하여 철도차량 분야에 효과적으로 적용하기 위한 절차를 다음과 같이 제안하고자 한다. 한편, 공항철도에서는 개통초기부터 축적된 RAMS 데이터를 바탕으로 아래의 절차를 구현하여 RCM을 실시할 예정이다.

(1) 데이터 분석 및 장치별 치명도 산출

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

*치명도 값 산출식 = [고장영향별 횟수 * 고장영향별 치명도 할당 값]*
= (위험고장횟수)(위험고장 치명도 값) + (운행 장애 횟수)*(운행 장애 치명도 값)*
+ (기능장애횟수)(기능장애 치명도 값) + (단순고장횟수)*(단순고장 치명도 값)*

(2) 분석대상 장치 선정

산출된 장치별 치명도 값에 우선순위를 부여하여 대상장치를 선정하고, RCM 대상 선정을 위한 논리로직을 그림 3과 같이 실행하여 RCM 분석 대상(FSI: Fucntionally Significant Item)을 선정한다. 이때 예방정비와 사후정비에 대한 비용 산출 정보를 장치선정에 참조한다.

(3) 고장유형 영향 분류

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

① 안전상 명백 고장 : 안전성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.
② 운영상 명백 고장 : 허용수준의 운영성능을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.
③ 비용상 명백 고장 : 고장 후 발생비용보다 적은 비용의 정비업무가 요구됨.
④ 안전상 잠재고장 : 다중고장으로 인한 안전상의 악영향을 막기 위한 요구가용성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.
⑤ 비용상 잠재고장: 다중고장으로 인한 비용상의 악영향을 막기 위한 요구가용성을 확보하기 위한 정비업무가 요구됨.

(4) 정비 작업방법 결정

전 단계에서 결정된 결과 값에 따라 그림 5와 같이 "정비 로직"을 순차적으로 실행한다. 순차적인 의사결정 로직을 통하여 다음의 예방정비 활동 중의 하나로 결정된다.

① 상태점검, ② 기능점검, ③ 분해검사, ④ 별도의 정비방법, ⑤ 설계변경

(5) 검사항목 분석 및 검사항목 갱신

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

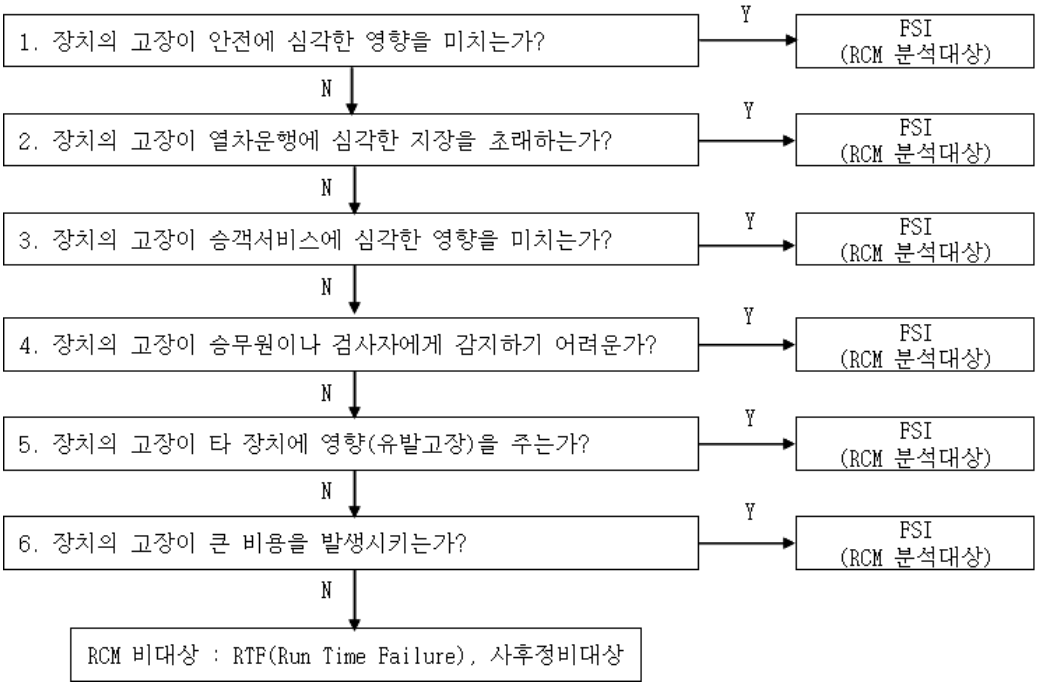

그림 3. RCM 분석대상(FSI) 선정 로직

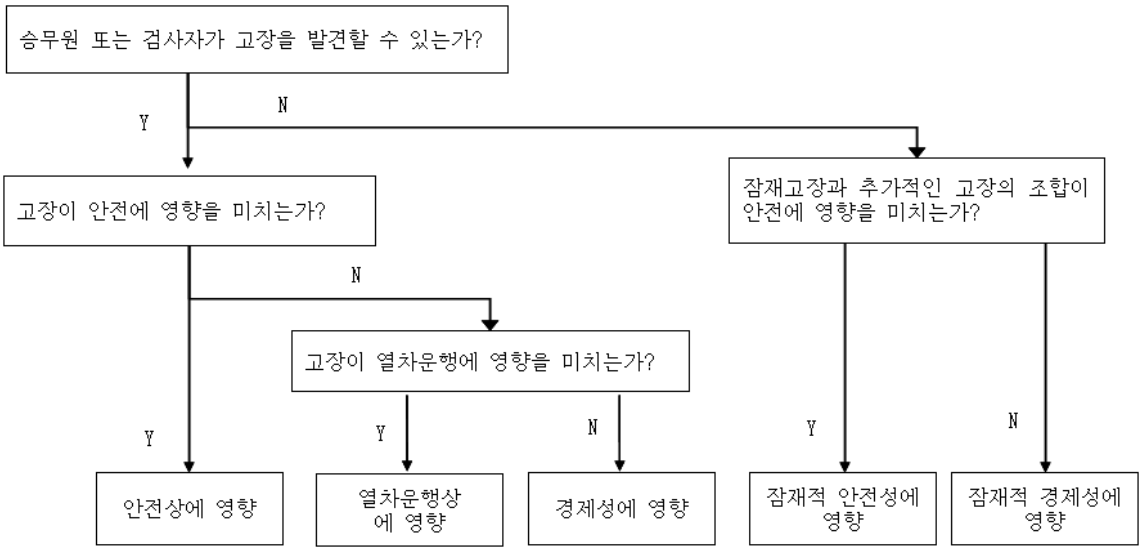

그림 4. 고장영향 분류 로직

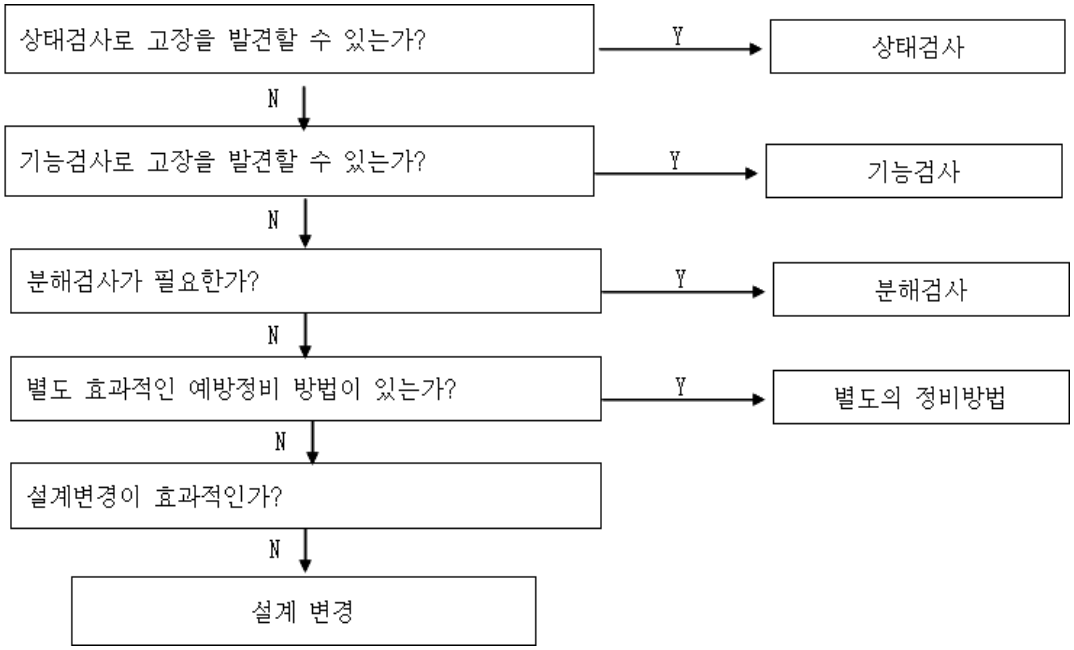

그림 5. 정비작업 결정 로직

4.결 론

RCM 절차는 응용분야에 따라 서로 상이한 절차를 갖고 있다. RCM 효과를 얻기 위해는 다양한 절차와 방법론들의 장·단점에 대한 이해가 필요하다. 본 논문에서는 철도차량에 RCM 적용을 위해 규격서, 전문서, 논문 등에서 RCM 절차와 특성을 조사· 비교하였고, 이런 절차와 특성을 이용하여 국내 철도차량 유지보수 활동에 적합한 RCM 절차를 제안하였다. 이를 효과적으로 실시한다면 반복되는 불필요한 예방정비는 감소되고 필수기기의 예방정비는 강화되면서 정비재원의 효율적인 운영뿐만 아니라 차량의 안전성 및 운행가용성이 향상될 것으로 판단된다.

참고문헌

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. 백순흠(2004), “정비성 설계기술” 웅보출판사