

고속철도차량(KTX) RCM 적용에 관한 연구

A Study on the Application of RCM(Reliability Centered Maintenance) to KTX(Korea Train eXpress)

임병옥* · 윤덕균*

Byeong-Ok Lim · Deok-Gyun Yoon

Abstract

RCM developed by American air industry in early 1960, its process is most realistic for some physical assets and it permits the system to maintain given function status through decision of demand about optimum maintenance. Therefore, many industries have selected RCM technique and have carried out RCM in order to solve many problems concerning maintenance management as improvement of reliability and availability of facilities, removal of hazard element about break down and retrenchment of maintenance cost. Through the execution of RCM, we can solve actual problems. And finally we will be able to develop more and more maintenance activities with RCM notion. In this study, we will consider the application of KTX-RCM which is set up with basic theory of RCM and constructed to improve vehicle safety, availability and regularity of KTX, linking with CMMS(Computerized Maintenance Management System).

Keywords : KTX, RCM(Reliability Centered Maintenance), CMMS(Computerized Maintenance Management)

1. 서론

1899년 9월 한국에서 철도가 시작된 이래 철도차량의 발전은 증기기관차 운행에서부터 시작되어 1955년 디젤전 기기관차, 1972년 산업선의 전철화에 따라 전기기관차 도입, 1974년에는 수도권 전기동차가 운행하게 되면서 현재 까지 다양한 차종의 운행과 더불어 기술발전을 거듭해 왔다. 특히 2004년 4월 첨단기술 집약체인 KTX의 개통은 한국철도 105년 역사에서 가장 획기적인 변화라 할 수 있을 것이다.

이러한 KTX를 더욱 안전하고, 효율적으로 운행하기 위해서는 차량의 안정화가 무엇보다도 중요하며 차량의 안정화는 바로 완벽한 정비에서 비롯된다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 RCM의 기본이론에 대한 고찰 및 한국고속철도의 안전운행과 차량의 가용성 및 정시성 확보의 일환으로 구축된 KTX-RCM 적용방안을 철도차량의

운영과 정비경험을 바탕으로 모든 부품의 동작상태 및 안전에 영향을 주는 요소들을 파악하여, 정비계획을 효과적으로 수립·관리할 수 있는 CMMS(Computerized Maintenance Management System)와 연계하여 고찰해 보고자 한다. 이러한 연구를 통하여 다른 여러 정비관련 분야에서 직면하고 있는 문제들을 보다 효율적으로 극복하는데 작간접적으로 기여할 수 있을 것으로 기대해 본다.

2. RCM의 이론적 고찰

2.1 RCM의 정의

대규모의 변화에 직면한 정비분야에서 관리자들과 정비에 대한 새로운 개념을 찾으려고 하고 있으며, 이 개념은 그 정비작업을 명백하게 유형화 할 수 있는 종합적이고 전략적인 체계이어야 하는데 RCM(Reliability Centered Maintenance)은 이러한 체계를 제공하는 기술이며 또한 새로운 개념의 철학이라 할 수 있다.

1960년대 미국에서는 80% 이상의 항공기 기계설비의 열화가 시간 의존형이 아님을 밝혀낸바 있다. 이는 종래의 시간

† 책임저자 : 한국철도공사 차량사업본부장, 한양대학교 박사과정

E-mail : bolimknr@hanmail.net

TEL : (042)472-3012 FAX : (042)609-3751

* 한양대학교 교수

기준 예방정비는 거의 효과가 없다는 것을 의미하는 것이었다. RCM은 이러한 종래의 시간기준 예방정비의 결점을 근본적으로 개선하기 위해 생겨난 정비관리 수법이라 하겠다 [1,7,8].

어떤 설비나 장치들에 내재되어 있는 수많은 고장유형들은 안전적 측면, 환경적 측면, 기능적 측면 혹은 그 기능과 연관되지 않은 다른 비용측면에서 각각 다른 영향을 갖고 있으며 이러한 고장에 대한 영향은 고장발생을 예방하는데 사용할 수 있으며, RCM의 기본개념은 시스템정비가 아니라 기능정비에 역점을 두는 것으로 주어진 상태에서 정상적인 작동을 보장하기 위해 시스템의 특성을 고려하여 효과적인 정비정책을 선택·적용하기 위한 논리적인 방법론이라 할 수 있다. 즉 시스템의 가장 중요한 기능에 관리의 초점을 맞추으로써 시스템의 안전성과 신뢰성을 향상시키고 부품의 고장에 따라 나타날 수 있는 결과를 완화시키거나 예방하며, 필요하지 않는 정비활동을 제거하거나 피함으로써 정비에 드는 비용을 줄이기 위해 추진된 RCM은 시스템을 완전한 상태로 되돌린다는 것에서 좋은 기능을 갖춘 상태로 시스템을 유지한다는 것으로 정비 관점을 변화시켰다.

우리나라 산업현장에 널리 적용되고 있는 정비관리 기법인 전원 참가의 TPM(Total Product Maintenance)과 RCM을 비교하면 Table 1과 같으며, 특히 TPM은 육조곡선을 근

거로 고장률을 해석하여 일정시간이 지나면 주기에 따라 예방정비를 수행하는데 반해 RCM은 부품의 여러 가지 고장률 형태에 따라 정비방식을 선정하게 되며 시간에 따라 고장률이 크게 증가하는 마모고장이 아닌 경우에는 시간예방정비(TBM)보다 상태기준정비(CBM)를 중요시한다. 또한 고장에 따른 결과치가 영향을 미치지 않거나, 적용 가능한 예방정비 업무를 찾지 못하거나, 자주 사용하지 않는 설비, 경제적으로 무의미한 고장유형 등에 대해서는 예방정비를 하지 않으며, 고장의 결과에 따른 영향이 크거나 긴급정비를 요하는 부품에 대해서는 가능한 한 점검을 실시한다. 따라서 RCM에 있어서는 상태기준 정비 및 비계획적 정비가 큰 비중을 차지하며, 시간예방정비의 비중은 매우 낮게 된다[1,3,10].

2.2 RCM 절차

일반 기업체에서 현재 가장 많이 사용하고 있는 RCM 방법은 기능중심의 RCM(Function-based RCM) 또는 전통적인 RCM(Classical RCM) 등으로 불리는 표준 RCM과 표준 RCM을 수행하기 위해서는 시간과 비용 등의 자원이 많이 소요되는 단점을 보완한 간결한 RCM (Streamlined RCM) 등이 있는데 이러한 RCM은 다음과 같은 기본적 질문에서부터 출발하며 이러한 7가지 질문에 대한 답을 구하는 절차를 도식화하면 Fig. 1과 같다[6,11,12].

- (1) 현재의 운용환경에서 자산의 성능기준과 기능은 무엇인가?(기능 식별)
- (2) 어떠한 방식으로 인해 그 기능을 만족시킬 수 없는가?(기능적 고장 식별)
- (3) 무엇이 그 기능에 고장을 발생하게 하는가?(고장유형 식별)

Table 1. Maintenance method comparison TPM with RCM

| 구분 | TPM | RCM |
|--------------|---|---|
| 1. 정비방식의 종류 | 운용자를 위한 정비, 예방정비, 개별개선, 품질정비, 설비초기관리(정비예방), 예지정비, 안전 및 환경정비 | 예방정비, 예지정비, 점검(FE 업무), 비계획적 정비, 재설계 |
| 2. 정비방식 선정 | PM 분석결과에 따른 정비방식 선정 | 의사결정 로직에 의한 정비방식 선정 |
| 3. 정비방식 결정요인 | 생산량, 품질, 납기, 비용, 안전, 작업의욕 | 고장형태, 고장에 따른 안전성, 경제성, 실행가능성 |
| 4. 정비추진 방법 | 정비방식별 관리 주기 | 하나의 관리 주기 |
| 5. 정비방식의 수 | 설비에 대한 하나의 정비방식 | 고장유형에 대한 하나의 정비방식 |
| 6. 고장률 형태 | 육조곡선 | 육조곡선을 중심으로 한 여러 형태의 고장률 패턴 |
| 7. 예방정비의 특징 | 일정시간에 따른 시간예방정비 비중심(TBM) | 시간예방정비를 가능한 예지정비, 점검(FE 업무), 재설계 등으로 전환 |

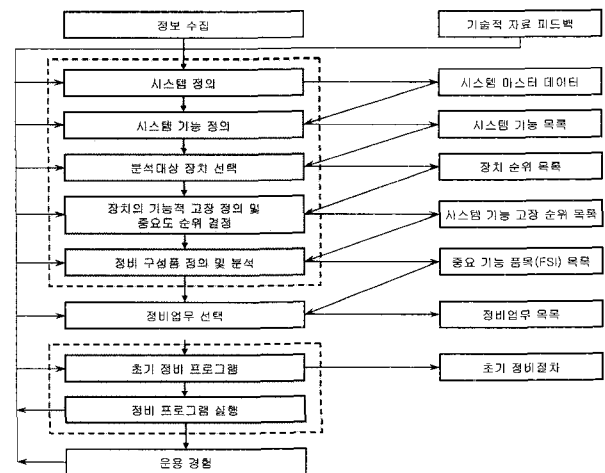


Fig. 1. RCM method & produce

- (4) 고장이 발생하면 어떤 영향을 미치는가?(고장영향 식별)
- (5) 고장은 어떤 결과를 초래하는가?(고장결과 식별)
- (6) 고장을 방지하기 위해 무슨 작업을 할 수 있는가?(선행 정비 업무 및 주기 결정)
- (7) 고장을 방지할 수 있는 적절한 작업이 없다면 다른 무슨 조치를 취할 수 있는가?(기본적 정비활동 결정)

3. 고속철도(KTX)에 대한 RCM 적용

3.1 KTX-RCM 개요

KTX 차량의 안전성 보장 및 최상의 운용가동상태 유지, 체계적인 정비환경 구축 그리고 운용유지비의 최적화라는 목표를 달성하기 위하여 한국철도공사는 KTX 차량의 현장 운용 및 정비경험을 최대로 반영하고, 발생한 고장은 물론 발생가능성이 있는 잠재적 고장을 고려하며 기존 정비정책을 검증 및 최적화 할 수 있는 KTX의 CMMS인 고속철도차량 검수정보시스템 MICS (Maintenance Information Computer System)와 연계한 KTX-RCM을 구축하였다.

KTX-RCM은 Fig. 2 와 같이 차량정비와 관련된 정량적 파라메타들을 관찰함으로써 최적의 정비프로그램을 생성, 유지 관리하는 차량정비 지식관리 시스템이다.

차량 제원 및 규격 등과 같은 차량제작사가 제공한 정보로부터 신뢰성관리를 위한 기초정보를 추출하고 MICS의 차량운용, 정비관련 정보를 활용하여 차량고장에 대한 원인 및 영향을 분석하고 정비결과를 평가함으로써 한국의 운영 환경에 맞는 고속철도차량 정비체계를 확보한다.

3.2 KTX-RCM 프로세스 모델링

전통적인 RCM은 시간 소비적이며 많은 자원과 노력을 필요로 하는 단점을 가지고 있는데 비해 KTX-RCM은

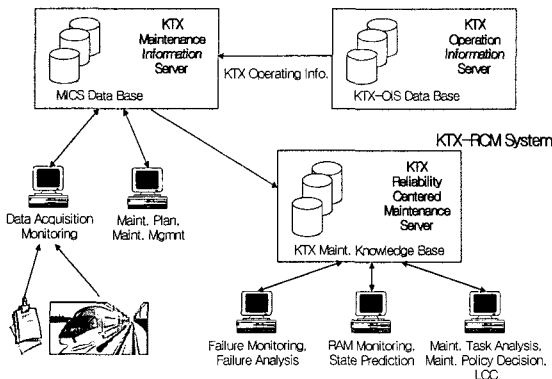


Fig. 2. KTX RCM organization

MICS와 RCM의 정보를 공유함으로써 전통적인 RCM절차의 기능을 향상시켰다.

전통적인 RCM절차를 수행하기 위해서는 시스템의 하위 구성을 고려해야 하지만 어떤 시스템을 고려할지 결정하는 것은 언제나 어려운 일이다. 따라서 KTX-RCM은 일차적으로 상세고장분석을 통해 축적된 고장 발생정보를 바탕으로 주요기능 구성품을 선별하고 FMECA(Failure Mode and Effects Critical Analysis)를 통하여 치명도에 근거한 가중요소를 사용하여 구분한다. 또한 FMECA를 통해 KTX 차량에 대한 고장유형과 고장 진행과정을 알기 쉽게 정의할 수 있다.

KTX-RCM의 정비업무들은 주유, 청소, 점검, 교체, 수리 및 완전분해수리 등으로 정의할 수 있으며, 이 작업들은 고장, 고장결과, 신뢰성 자료, 정비이력 및 설계/제작모델 정보 등에 근거하여 적합한 정비업무를 결정하는 LTA(Logic Tree Analysis)를 통해 결정할 수 있다. 또한 Weibull 함수는 고장 작용을 모델링하고 구분하는데 사용되며, 시간을 고장 데이터의 분포에 결합시켜 고장발생 형태를 파악하는데 관계되고 Markov Process를 이용한 운용상태 분석모델은 차량의 가용성, 정비성 등을 평가하여 KTX 차량의 효율적인 관리를 위한 지표를 제공한다.

3.3 고장분석

KTX-RCM에서 고장분석 활동의 중요한 목적은 정비활동의 구체적 구현과 의사결정을 할 수 있는 신뢰성 있는 자료의 형성에 있고 이를 이용하여 시스템에 발생한 사건에 대한 정확한 교정활동을 해주는데 있다. 고장분석은 사건의

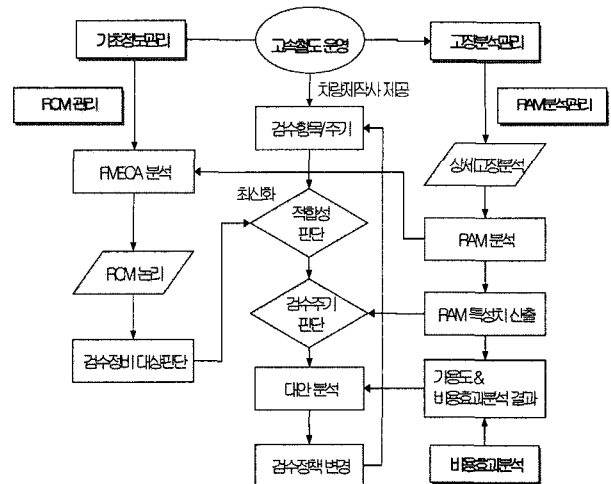


Fig. 3. KTX RCM system flow chart

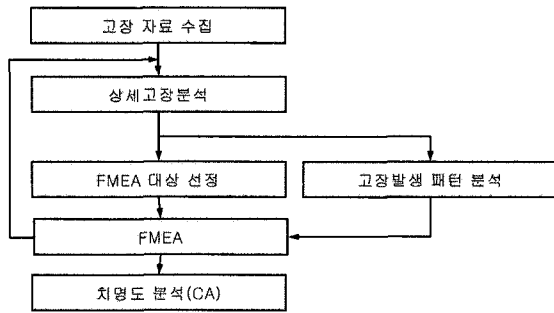


Fig. 4. Failure analysis process

발생에 대하여 Fig. 4와 같이 단계적으로 접근하여 고장유형 및 고장 메커니즘의 조사가 가능하도록 해주고 있다. 고장분석을 통해 차량을 구성하고 있는 각각의 System 또는 하위 Item의 고장유형(Failure Mode)를 구분하고, 이 고장유형을 유발시키는 고장원인(Failure Cause)을 분석하여 정의한다. 정의된 고장유형과 고장원인은 반드시 코드화시켜 Database화 할 필요가 있다. 차량을 구성하고 있는 각각의 System에 대한 고장모드와 이에 따르는 고장원인이 코드화되어 고장기록과 정비지침서와 연계되어 진다면 고장발생시 빠른 고장원인 파악이 실시되고 이에 적합한 정비가 신속히 이루어짐으로써 정비시간과 정비비용이 절감될 것이다. 뿐만 아니라 각 System의 고장유형과 고장발생빈도의 추이를 파악할 수 있어 검수항목/주기의 결정 및 적합성 판단의 기준이 될 수 있다.

3.4 KTX의 RAM관리

KTX-RCM에서의 RAM관리의 목적은 KTX의 운용 자료를 수집, 검토하여 KTX-RCM 운용을 위한 신뢰성 기초 자료를 개발하고 관리하는 것뿐만 아니라 그 자료를 바탕으로 차량 제작사가 제시한 정량적인 자료를 준수하는지 검증하는 것이라 하겠다. 즉 차량 제작사에서 제공된 신뢰성 정보를 수집, 검토하여 시스템에 필요로 하는 신뢰성 정보를 구축하게 되고 구축된 신뢰성 정보는 KTX 운용자료 및 고장자료로부터 얻은 운용신뢰성 정보와 비교 분석함으로써 차량 제작사가 제시한 정량적인 자료의 검증이 가능할 것이다. KTX 운용 및 고장자료로부터 얻어진 신뢰성(Reliability) 자료는 차량 및 각 시스템의 MKBSF(Mean Kilometer Between Service Failure) 또는 MTBF(Mean Time Between Failure) 산출을 통해 고장발생주기를 예측할 수 있으며, 이에 따른 예방정비를 예측할 수 있는 근거가 된다. 또한 가용성(Availability)은 차량이 정상적으로 운영을 할 수 있는 정량적 능력을 나타내며, 정비성(Maintainability)은 MTTR(Mean Time

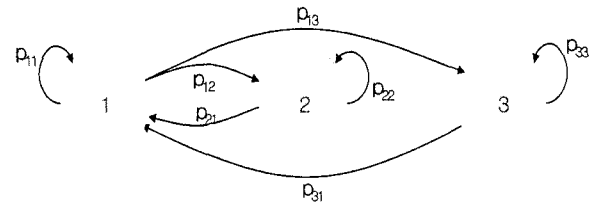


Fig. 5. Markov Chain for the KTX operation estimation model

To Repair)을 통해 차량의 일상적인 계획정비, 비계획정비, 고장수리 등을 효율적으로 관리할 수 있다.

$$MTBF_o = \frac{0.5 \times \frac{MTBF_d + MTBF_p}{2} + T}{0.5 + r} \quad (1)$$

$MTBF_d$: 차량 제작사에서 제공한 설계치

$MTBF_p$: 신뢰도 예측치

$MTBF_o$: 운용 신뢰도 지수

이러한 KTX의 신뢰성 특성정보를 바탕으로 KTX의 차량 상태를 운영상태, 계획정비 상태, 수리상태 등 세 가지로 분류하고 어떤 특정시점에 KTX는 반드시 하나의 상태에 존재한다고 가정하면 KTX 운용 평가 모델은 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있으며, 각 상태에 존재할 확률은 식 (2)와 같다.

$$\text{운영상태 확률} : F(1) = \frac{\mu_m \cdot \mu_d}{\mu_m \cdot \mu_d + \lambda_m \cdot \mu_d + \mu_m \cdot \lambda_d} \quad (2)$$

계획정비 상태확률 :

$$F(2) = \frac{\lambda_m \cdot \mu_d}{\mu_m \cdot \mu_d + \lambda_m \cdot \mu_d + \mu_m \cdot \lambda_d}$$

수리상태 확률 :

$$F(3) = \frac{\mu_m \cdot \lambda_d}{\mu_m \cdot \mu_d + \lambda_m \cdot \mu_d + \mu_m \cdot \lambda_d}$$

p_{12} : 운영상태에서 계획정비 상태로 전이할 확률

$$= \frac{1}{MTBFM} = \lambda_m$$

p_{13} : 운영상태에서 수리상태로 전이할 확률

$$= \frac{1}{MTBF} = \lambda_d$$

p_{21} : 계획정비 상태에서 운영상태로 전이할 확률

$$= \frac{1}{\text{평균정기검수시간}} = \mu_m$$

p_{31} : 수리상태에서 운영상태로 전이할 확률

$$= \frac{1}{MTTR} = \mu_d$$

3.5 정비 정책 결정

KTX-RCM 정비업무 결정은 고장발생에 따른 결과를 분류하는 것으로부터 시작하며, 고장발생에 따른 결과에는 안전과 관련된 결과, 경제적 혹은 운용적 측면의 결과, 은폐고장으로서 안전과 관련이 없는 결과 및 은폐고장으로서 안전과 관련된 결과 등 네 가지가 있다[9].

다음단계로는 고장발생을 방지하기 위해 어떤 작업을 할 것인지 결정하게 되고, 고장을 방지할 수 있는 적절한 작업이 없다면 다른 어떤 조치를 취할 것인지 결정하게 된다. 만약 정비업무 결정과정에서 예방정비 업무 또는 점검업무가 선택되었다면 정비업무 담당자가 정비활동을 할 수 있거나 누구나 구분할 수 있을 정도로 정비업무에 대해 세밀히 기술하고 결정된 정비업무의 수행주기는 OC업무(On Condition Task) 즉 예지정비업무의 경우에는 고장예비시간을 고려하여 상태기준정비의 점검주기를 결정하고, HT업무(Hard time Task) 즉 예방정비업무의 경우에는 가용수명을 고려하여 정비주기를 결정하며, FF업무(Failure finding Task) 즉 정기점검 정책의 경우에는 시스템의 MTBF(mean time between failure)와 가용도를 고려하여 정기점검 주기를 도출한다. 특히, 완전분해 정비간 TBO(Time Between Over-

haul : 완전분해 정비간 시간) 결정기법을 활용하여 완전분해정비 대상 품목에 대해 유연성 있는 정비주기 결정체계를 지원하게 된다.

3.6 탄력적인 예방정비 주기 관리

KTX의 정비현장에서 예방정비 주기에 대한 판단이 쉽게 결정되지 않을 때에는 관련된 부품의 서비스 품질이 보장되는 것을 측정하는데 이것을 부품의 TBO라고 한다[13].

차량 제작사에서 주어진 부품의 수명에 대한 최초의 유용한 자료와 일련의 차량운영에서 유사한 부품의 사용실태를 조사하여 얻어진 경험 등에서 도출된 예방정비 주기를 이용하여 최초의 TBO가 정해지고 그 값을 대표하는 표본이 전문검사에 의해 부적합으로 확인되지 않은 이상은 잠재수명 주기라고 부르며, 전문검사는 Fig. 7과 같이 부품의 수명이 다하여 부품을 계획적으로 분해하기 전에 사전에 결정된 두 가지 전문검사 방식, 즉 중간수명과 부품수명을 결정하는 전문검사가 있다. 그러나 이것만으로는 부품의 열화 진행 정도를 알기 쉽지 않으므로 예정 수명의 3/4 정도 주기에 한 번 더 전문적인 검사를 시행한다.

KTX의 TBO 전문검사는 부품 결함개수에 기초를 두어 결함개수가 1회 발생하면 Sampling을 종료하는 계수 1회 Sampling 검사를 실시하는데 결함 부품의 최대비율(p)은 KTX의 안전운영과 관련 정도에 따라 최대비율 4%, 6%, 8%를 적용하고 Sampling 유의수준($1-\beta$)은 중간수명 전문검사는 70%, 3/4 수명 전문검사는 80%, 부품수명 결정을 위한 전문검사에서는 90%를 적용한다. 그리고 Sampling Size(n)는 TBO 전문검사를 하는 부품수량으로서 해당 부품의 총 수량(M), 결함부품의 최대비율(p), Sampling 유의수준($1-\beta$)에 따라 식 (3)을 만족하는 Sampling Size n 을 도출한다. 또한 본 검사에서는 결함부품 수가 1개 이상이면 불합격 처리한다.

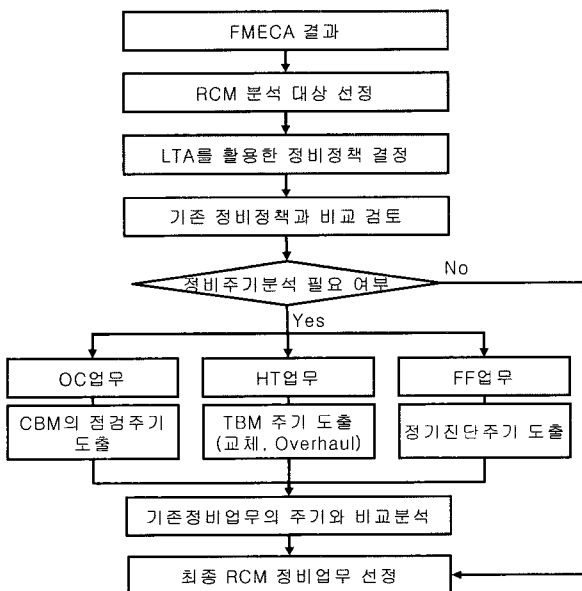


Fig. 6. RCM business process

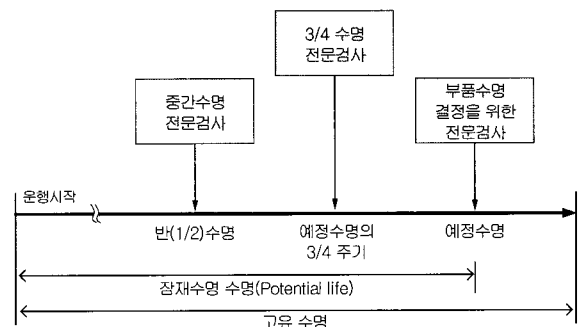


Fig. 7. Speciality inspection for spare parts potential

$$\beta \geq \sum_{x=0}^c \frac{\binom{Np}{x} \binom{N-Np}{n-x}}{\binom{N}{n}} \quad \text{단, } N < 570 \quad (3)$$

$$\beta \geq \sum_{x=0}^c \frac{(np)^x}{x!} \exp^{-np} \quad \text{단, } N \geq 570$$

3.7 KTX-RCM의 적용

KTX-RCM을 활용하여 빠른 기간에 좋은 성과를 얻기 위해서는 무엇보다도 먼저 신뢰성업무 담당조직의 구성과 업무관련 시스템의 완벽한 보안을 바탕으로 담당직원과 정비업무 관련 직원에 대한 지속적인 교육이 이루어져야 하고, 이러한 체계 하에 성과를 기다려야 한다. 왜냐하면 신뢰성 업무는 그 특성상 단기간에 성과가 나타나지 않으며 오랜

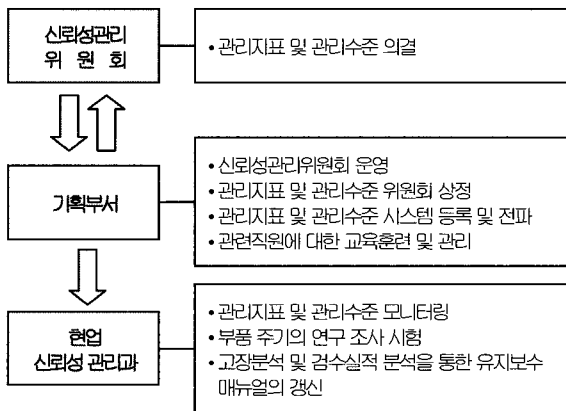


Fig. 8. Details process for reliability operation

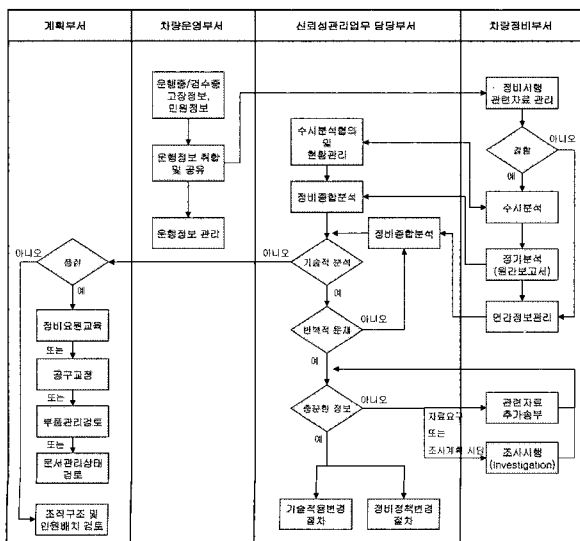


Fig. 9. REX Business process

기간 지속적인 노력이 있어야 성과를 얻을 수 있기 때문이다.

4. 결론

한국철도에서는 KTX차량을 도입하면서 기존의 획일적인 계획정비와 차량정비원의 경험과 관행에 의존하는 전통적인 시간기준 예방정비 기술로는 KTX의 운용성과 안정성을 보장할 수 없다는 사실을 인식하였고, RCM 방법론이 가진 체계적이고 과학적인 요소들이 고속철도 운행을 계기로 최적의 효율적 방안으로 판단되어 KTX의 운용환경에 맞는 RCM 방법론을 채택하여 추진하게 되었다. 즉 현장 운용경험이 최대한 반영되고 발생한 고장은 물론 발생가능성이 있는 잠재적 고장도 고려할 수 있도록 KTX의 CMMS인 MICS와 연계, 운용되는 RCM을 구축하였다. 성공적인 RCM을 추진함에 있어 무엇보다도 중요한 것은 적절한 RCM 방법론의 선택과 선택된 방법론에 의해 끊임없이 RCM의 결과가 정비활동으로 이어지고 정비활동 결과는 지속적으로 피드백 되어 RCM 활동을 개선시키는 것이라 하겠다. 그러므로 RCM이 효율적으로 적용되기 위한 선행조건은 다음과 같다.

- (1) 시스템 운영진의 기존 정비방식에 대한 개혁 의지가 요구된다. 운영진의 개혁의지가 뒷받침되지 않고서는 RCM 효과는 기대하기 어려울 것이다.
- (2) 명확한 RCM 목표 및 효율적인 방법론의 설정이다. 시스템의 상황에 맞는 목표 및 결정된 방법에 따라 수행할 업무의 방향이 달라지기 때문이다. RCM을 수행하기 위한 목표 및 방법론이 설정되면 관련자 모두의 적극적 실천이 요구된다.
- (3) RCM의 원활한 업무 수행을 위해 업무 담당자의 기술 향상과 종사자 전원의 RCM개념 숙지가 시행되어야 한다.

끝으로 이제는 고속철도차량(KTX) 정비뿐만 아니라, 전 철도분야에 확대 적용하여 선진철도로의 시작이 되기를 희망하며 또한 최선의 노력을 경주하고자 한다.

참고 문헌

1. 김정식, “신뢰성을 증시한 정비계획 정책에 관한 연구”, 아주대학교, 1997
2. 박경수, “신뢰도 및 정비공학”, 영지문화사, 2002

3. 일본플랜트 메인テナンス협회, "TPM·설비관리 대백과사전 vol.1", 한국능률협회 컨설팅, 1996
4. 황의철, "TQC의 활용에 의한 품질경영", 박영사, 1993
5. Erhan Cinlar, "Introduction to Stochastic Processes", Prentice-Hall Inc
6. EPRI NDE Center, "Reliability Centered Maintenance (RCM) Evaluation (Maintenance Technology Training)", EPRI, 1995
7. John Moubray, "Maintenance management: a new paradigm", Maintenance, 1996
8. John Moubray, "Reliability-centered Maintenance", 2nd Edition, Industrial Press Inc., 1997
9. MILITARY STANDARD, "RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE REQUIREMENTS FOR NAVAL AIRCRAFT, WEAPONS SYSTEMS AND SUPPORT EQUIPMENT", DEPARTMENT OF DEFENSE USA, January 1986
10. Nakagawa, Toshio and M. Kowada, "Analysis of a System with Minimal Repair and Its Application to Replacement Policy", European Journal of Operational Research, Vol.12, 1983, pp.176-182
11. SAE, "Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (Rcm) Processes-JA1011", SAE, August 1999
12. Smith AM, "Reliability centered maintenance", New York McrawHill, 1993
13. SNCF, "RAMS Final Report", 기술이전자료, 1997