

# 도시철도유지보수체계 시스템의 예방정비시스템에 대한 연구(I)

## A study on the preventing equipment system of maintenance computerization system for Urban transit(I)

이호용<sup>1</sup>, 박기준<sup>2</sup>, 안태기<sup>2</sup>, 김길동<sup>3</sup>, 한석윤<sup>3</sup>

Ho-Yong Lee, Kee-Jun Park, Tae-Ki Ahn, Gil-Dong Kim, Seok-Youn Han

**Keywords** : Preventing equipment system(예방정비시스템),  
RAMS(reliability, availability, maintainability and safety), MTBF(평균고장시간)  
Life Cycle Cost(총 수명주기비용)

### Abstract

The safety of staff, customers and of general Public in general viewed as one of the most important requirements in the urban transit. The maintenance computerization system for car of urban transit is a part of standardization and development of urban transit system, and We have been performed the establishment of maintenance computerization system from 2001 to 2005. The RAMS(reliability, availability, maintainability and safety) estimation for maintenance computerization system are utilized in a variety of computerization system for user's convenience and safety in maintenance. Ever since its inception though, the urban transit has searched for ways to improve reliability, availability, maintainability and safety of the railway subsystem. Provision of a reliable maintenance system include RAMS of the vehicles plays a very important role in achieving a safe system.

### 1. 서 론

우리나라 도시철도는 30여년 역사를 가지고 있고, 현재 19개 노선에서 약 580 km를 운행하고 있으며, 국민생활과 밀접한 교통수단으로 성장하였습니다. 지난 30년에 걸쳐 유지보수 분야는 다른 관리 분야에 비해 많은 변화를 해왔다. 그 변화는 장비의 양적인 증가뿐만 아니라 다양성의 증가에도 기인한다. 전동차들은 점차 복잡하게 설계되고, 조직과 기능의 변화를 고려하는 관점에서 유지보수 정책이 세워져야 한다. 유지보수의 핵심은 이러한 변화요구에 대한 적절한 대응과 안전성을 향상하는 것이다.

유지보수의 작업형태가 작업일지 등으로 이루어져 체계적인 관리의 어려움이 발생하고 전산화작업을 몇몇 운영기관에서 진행하고 있으나 결과데이터의 가공성의 활용이 미흡하다. 최근에는 장비의 고장이 안전과 환경에 큰 영향을 미치는 것으로 널리 인식되고 있으며, 도시철도 유지보수가 비용과 안전성에 큰 영향을 미친다는 사실을 많은 사람들이 인식하고 있다. 변화의 폭주에 직면한 유지보수 분야에서, 도시철도 역시 예외는 아니기 때문에 관계자들은 새로운 유지보수 시스템을 개발하기 위해 노력하고 있다. 예방정비 시스템에서 주된 쟁점은 작업 계획은 예상 부품 수명과 고장 유형 제공하도록 하도록 한다. 또한, 검사단계에서 고장 사례 제공하고 교환/정비에서는 예방정비 관련 데이터 갱신하며, 고장 사례 등록에서는 고장 유형 등록하도록 한다. 비 작업 중에는 예방정비 관련 데이터 관리 및 예방정비 관련 자료 제공하도록 시스템을 구성해나갈 것이다.[1]

<sup>1</sup> 정회원, 성균관대학교 기계설계학과 대학원, 박사수료

<sup>2</sup> 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

<sup>3</sup> 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

## 2. 본 론

### 2.1 도시철도유지보수 예방정비시스템의 필요성

도시철도 전동차는 전기, 기계적으로 결합된 매우 복잡한 구조를 가진 대형시스템으로 안정성의 확보와 이를 유지할 수 있는 유지보수 시스템의 구축이 필수적이다. 일반적으로 대형복잡시스템(Complex system)의 운영 및 유지, 보수에 필요한 비용은 총수명 주기 비용(Life Cycle Cost, LCC)의 60 % 정도를 차지할 정도로 유지보수비가 전체 운영비에 미치는 영향이 크다고 알려져 있어 효율적인 운영 및 유지보수 시스템의 구축을 통하여 유지보수비용의 절감을 추구하는 일이 무엇보다 시급하다. 도시철도 전동차는 고가의 부품으로 구성되어 유지보수비용이 높을 뿐만 아니라 유지보수를 위하여 차량 운용 스케줄에서 차량을 떼어내는 복잡한 절차가 필요하게 되어 차량의 효율적인 운영에 크게 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 장기적인 유지보수 비용의 절감을 위해 유지보수 과정에서 획득된 자료를 데이터베이스화하고, 이 자료로부터 각 장비의 신뢰도를 예측, 고장모드의 정의 및 영향분석, 고장 트리 분석 및 평균수리시간예측 등의 기능을 수행하는 동시에, 분석된 자료와 유지보수의 경험을 바탕으로 효율적인 예방정비 절차를 정의하고, 그 결과를 피이드백 하는 도시철도차량의 예방 정비시스템을 구축하고자 한다.

앞으로 예방정비시스템과 연계된 전문가 시스템을 구축하여 유지보수작업에 효율성을 극대화해야 한다.

### 2.2 국내외 예방정비시스템 기술동향

오늘날 컴퓨터와 마이크로 프로세서 등의 급속한 발달로 이들을 이용한 자동화 기기의 사용이 증가하면서 신뢰성 연구의 대상을 하드웨어뿐만 아니라 이들의 운용을 담당하는 소프트웨어 또는 시스템을 운영하는 사람까지 포함시키게 되었다. 따라서, 정보기술(Information Technology : IT)과 소프트웨어 혹은 나아가 인간의 신뢰성을 제고시키는 문제들이 최근 중요한 이슈로 등장하게 되었으며, MIL-S-52779 (Software Quality Assurance Requirements) 및 ISO/IEC-12207 (Information Technology - Software life cycle processes) 등의 규격들이 제정되고 있다. 또한, 신뢰성은 안전성과 효율성을 동시에 포함해야

하며 그 필요성이 대두되었다.

신뢰성에 관한 국제적 학술대회는 미국에서는 1960년대에, 유럽에서는 1970년대에서부터 활발히 개최되고 있으며, 그 중에도 항공, 기계, 재료시험, 화공 및 전자공학회가 1961년부터 매년 공동 주최하는 '신뢰성·보전성 심포지움(RAMS)'이 가장 규모가 큰 대회 중의 하나라고 할 수 있다. 신뢰성을 연구하는 국제 학회로서는, American Society for Quality(ASQ), Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)-Reliability Division, Society of Reliability Engineers(SRE : 미국), Safety and Reliability Society (SRS : 영국) 등이 있다. [2]

우리나라의 경우에는, 1970년대에 일본을 통해 신뢰성의 개념이 도입되기 시작하였으며, 당시의 한국 정밀기기센터 내에 신뢰성을 측정하는 팀이 발족되었으나 기초적인 단계에 머물고 있는 상태이며, 최근 들어서 일부 대학과 정부출연 연구소 등 연구기관, 그리고 전자, 자동차, 중공업 등 수출업체에서 신뢰성 연구 및 시험·평가 센터를 설립하고 본격적으로 신뢰성 문제를 다루고 있다. RAMS은 1970년대 민간 항공산업계에서 신뢰도 목표를 설정하고 정비프로그램을 운용하는 개념을 도입한 이후로 이미 익숙한 용어로 통용되고 있다. 또한 미국을 선두로 하여 원자력 업계 역시 RAMS을 1980년대에 본격적으로 도입하게 된다. 원자력 업계의 RAMS은 예방정비(Preventing Equipment : PE)를 최적화 시켜서 안전성 및 경제적 목표를 성취하는 것을 지원하고 있다.

### 2.3 예방정비의 접근방법

일반적으로 '정비 업무가 필요한 설비에 대하여 기존의 정비 프로그램을 최적화하거나 또는 새로운 정비 프로그램을 수립하기 위한 체계적인 접근 방법' 이라고 정의할 수 있다. RAMS을 다른 관점으로 부연 설명한다면, 예방정비 관련 업무를 보다 합리적으로 판단하기 위해서 다음과 같이 논리적 순서를 밝으면서 접근하는 것이다. 즉, (1) 대상을 계통(System), 부계통(Sub-System)으로 구분한 후 그들의 기능(Function)을 정의하고 기능 수행에 중요한 기기 고장모드를 식별한다. (2) 중요 기기 고장모드에 대한 고장원인을 식별한다. (3) 주요 고장원인에 대해서 안전 및 경제측면을 고려하여 '적용 가능한' 그리고 '효율적인' 예방정비를 논리적으로 선택한다.

예방정비는 ‘설비의 생산성 또는 안전에 반하는 영향을 미치는 고장(또는 사고)을 줄이려는 예정된 계획’ 이라고 정의한다. 따라서 예방정비 계획은 각 업무별로 반드시 ‘무엇을 그리고 언제(What and When)’ 에 대한 명확한 정의가 있어야 하고, 가능하면 ‘왜 (Why)’ 를 설명하면 더욱 좋다. 예방정비의 목적을 좀 더 구체적으로 구별하면, 다음의 세 가지 측면 중 하나 이상을 포함하는 것이다. 즉, 예방정비는 기기의 성능저하(Deterioration) 및 고장을 예방하고자 하며, 고장의 시초 고장현상을 (Incipient Failure) 감지하고, 비활동적인 계통의 잠재적인 고장을 (Dormant Failure) 발견함에 있다. 효율적인 예방정비 프로그램이라면 위의 세 가지 측면을 모두 어느 정도 만족시켜야 한다. 그림 1에서와 같이 도식적으로 표현된 정비에는 수리정비와 예방정비가 있으며, 이 중 예방정비는 다음과 같이 크게 세 가지 부류로 구별된다. [3]

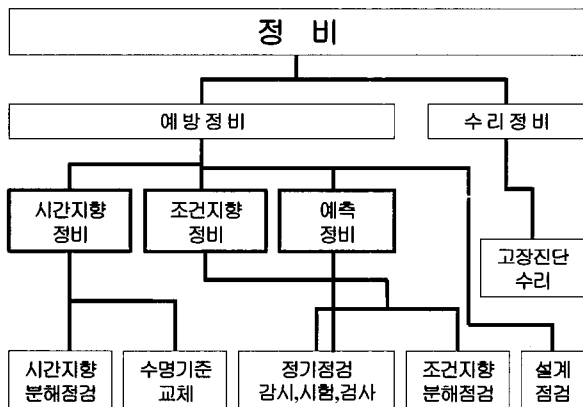


Fig. 1 정비업무 형태

□ 시간지향정비 (Time directed)는 정비가 단순히 이미 제시된 기간(Interval)에 따라서 수행됨을 의미한다. 예를 들면, ‘계기 작동용 공기(Air) 시스템의 필터는 30일에 1회 교체’ 와 같은 것이다.

□ 조건지향정비(Condition Directed)는 성능 또는 상태가 정해진 기준 또는 한계 값에 도달할 경우, 고장예방을 위해서 조치가 취해지는 경우이다. ‘진동 수준 또는 소음(Acoustic) 기준을 초과할 경우 장치의 베어링 교체’ 와 같은 것이 예가 될 수 있다.

□ 고장발견(Failure Finding) 목적의 조사는 비활동적인 (예, Standby 시스템) 설비의 잠재된 고장을 발견할 목적으로 이 것이 수행된다.

## 2.4 도시철도 유지보수 RAMS 기법 적용 방향

본 연구에서 성공적으로 RAMS 프로그램을 개발하기 위해 예방정비시스템 개발을 위한 기초 작업과 상용 프로그램 분석을 통해 데이터 처리 및 관리 기술을 분석하고 예방정비시스템 개발을 위한 가이드라인을 제시한다. 도시철도 차량 고장유형 분류시스템 구축을 위해서는 고장 유형 분석, 중요 고장에 대하여 핵심적인 부품을 체계화함으로써 프로그램개발의 신뢰성을 갖출 수 있을 것이다. 부품 수명주기 예측 절차 구축을 위해서는 RAMS기법[4]을 이용한 신뢰성 기반 분석을 체계화하고 데이터 축적, 분석 등을 위한 표준화해야 한다.

Table 1 예방정비시스템 구축방향 설정

예방정비시스템 개발을 위한 기초 작업	-도시 철도 고장 유형 데이터 확보 -시스템 개발을 위한 Framework 구축
상용 프로그램 분석	-상용 프로그램을 이용한 RAMS 수행 -데이터 처리 및 관리 기술을 분석 -예방정비시스템 개발을 위한 가이드 라인 제시
도시철도 차량 고장유형 분류시스템 구축	-고장 유형 분석 -고장 유형에 대한 고장 징후 체계화 -중요 고장에 대하여 핵심적인 부품 파악 체계화
부품 수명주기 예측 절차 구축	-신뢰성 기반 분석 체계화 -데이터 축적, 분석 등 표준 체계화
도시철도 관련 고장 사례 분류 체계 구축	고장사례 표준화 서식 체계화
예방 정비시스템의 시스템 개발	-RAMS 모듈 개발 -고장분석 모듈 개발 -정비요청 모듈 개발

## 2.5 시스템 신뢰성 분석을 위한 BOM 구성 방법

BOM(Bill of Material)을 간단히 정의하면 특정 제품이 어떤 부품들로 구성되는가에 대한 계층데이터이다. 그리고 BOM에서 가장 기본이 되는 정보는 제품 구조정보이다.

도시철도 유지보수 예방정비시스템의 신뢰성 분석을 위해서는 BOM체계가 필수적으로 구축되어야 하며, 이 BOM 체계는 서브시스템과 인터페이스가 되도록 구성되어야 하며 장치/시스템간 기능 분석이 가능

하도록 구성되어야 한다. BOM 분석은 신뢰성 블록도, FMEA(Failure Modes and Effects Analysis) 및 FTA(Fault Tree Analysis)를 분석하는데 필수적인 요소이다. BOM 구성은 그림2와 같이 병렬과 직렬이 혼합되어 연결되어 있으며 신뢰성 평가를 위해서는 각 부품별 설정위치 및 수량 등이 관리 될 수 있도록 구축되어야한다. 표준화된 BOM 체계를 구축함으로써 정비작업에 사용되는 부품을 지정하고 소요수량, 규격 및 기능 분석이 가능함과 동시에 RAMS분석을 위한 통계기초자료로써 충분한 가치가 있다.

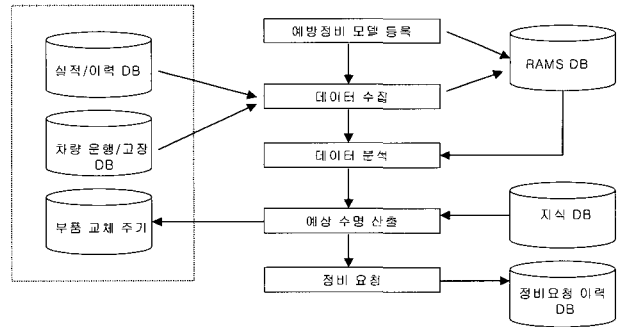


Fig. 3 예방정비 시스템 구축 구성도

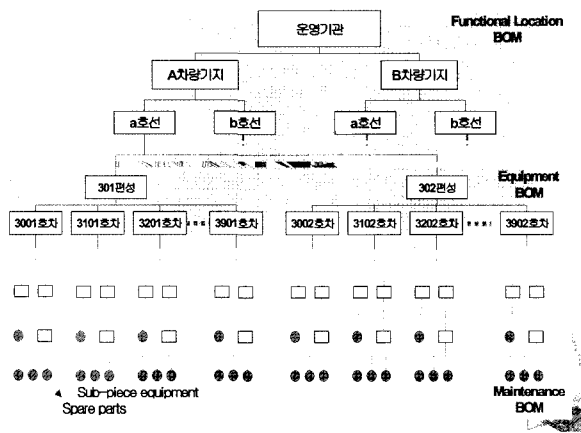


Fig. 2 유지보수체계 BOM 구성도

## 2.6 도시철도 유지보수 예방정비시스템 적용 방안

예방 정비 시스템은 각종 고장 유형이나 징후, 고장 사례 등을 체계화하여 필요한 인원 모두가 공유할 수 있도록 제공한다. 또한 고가의 중요한 부품이나 고장에 치명적인 부품들에 대해 RAMS분석 기법을 적용하여 신뢰도 및 수명 주기 등을 통계적으로 규명하고 안전에 직결되는 치명적 요인을 분석하여 제공한다. 그림 3은 예방 정비 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 예방 정비 시스템은 예방 정비 모델의 등록으로 시작된다. 예방정비 모델이란 실적/이력 데이터의 수집에서부터 데이터의 가공, 지표 계산식 설정, 분석 모델 계산식 설정에 이르는 다양한 규칙들의 모임이며 예방 정비 시스템은 이러한 예방정비 모델에 따라서 각종 신뢰도 및 수명 분석 결과를 자동으로 계산하여 데이터로 저장해주는 시스템이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 예방 정비 시스템에 모델을 등록하고 나면 차량 검수/정비 시스템에서 기록한 실적/이력 데이터들과 차량운행정보 자동 수집 시스템에서 기록된 차량 운행/고장 이력 데이터 등이 모델에 따라서 적절히 가공되어 분석을 위한 자료로 저장 된다. 저장된 분석 자료는 모델에 미리 정의된 데이터 분석 작업을 거쳐서 예상 수명이나 각종 신뢰도 지표를 산출하는 근거가 된다. 이렇게 계산된 수명이나 신뢰도 지표는 일반 유지보수 업무를 신뢰성에 기반한 유지보수가 되도록 도와주며 통계에 의해 계산된 정비 주기에 의하여 인력의 과투입 또는 부족투입을 방지할 수 있다. 특히 전문가 시스템이나 예방정비 시스템이 제공하는 지식에 의하여 긴급한 정비가 꼭 필요한 사안으로 판단되면 작업계획시에 정비 업무를 요청할 수도 있으므로 중대한 고장을 사전에 방지할 수 있다. 또한 지식베이스에 축적된 신뢰도, 치명도 및 수명 주기와 같이 중요한 정보들은 검수/정비 계획이나 작업시에 제공됨으로써 업무를 효율적으로 수행하고 매우 중대한 고장을 효과적으로 예방할 수 있도록 돕는다.

## 2.7 도시철도 유지보수 RAMS 개발 구성도

도시철도예방정비시스템은 RAMS을 근거로 시스템을 구성해야 하며 이 시스템은 4가지 체계로 개발될 것이다. 1) 관련데이터 조사 및 체계화는 기존의 고장이력을 조사하고 정비담당자에게 요청하여 필요한 데이터를 수집하는 것이다. 2) RAMS 모듈은 RAMS 분석을 수행하기 위한 분석모델을 만들어 시스템을 설계해야 한다. 그래야만 차량 및 주요 부품에 대한 RAMS 요소별 분석 절차를 체계화할 수 있다. 3) 고장분석 관련 모듈개발은 가장 중요한 부분으

로 표준화된 고장코드 구축 및 고장통계 시스템을 구축하는 것이다. 4) 정비요청관련 모듈은 검수/정비 계획의 긴급검사 절차 규칙화와 필요한 검사내역 자동생성을 위하여 전문가 시스템과 연동하도록 개발 할 것이다. 표 2는 예방정비시스템분석에 필요한 기능분석을 나타낸 것이다.[5]

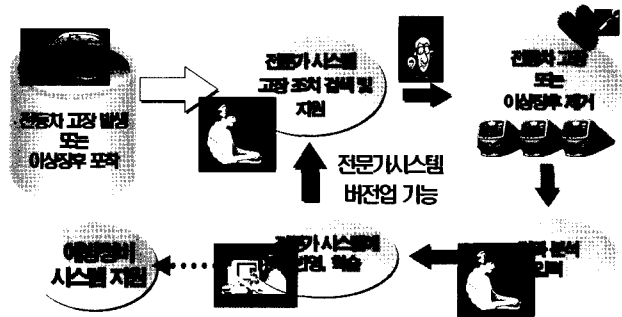
**Table 2 예방정비시스템 기능분석**

관련 데이터 조사 및 체계화	-문헌자료 조사 예방정비 및 전문가 시스템 관련 서적, 논문, 보고서 등 -고장 데이터 조사 지금까지 발생한 차량의 고장내용 -시스템 분석 시스템 분석 및 자료 수집 및 필요한 질문 항목을 작성하여 담당자에게 서류, 면담을 통하여 필요한 자료 수집
RAMS 모듈	-예방정비 기본데이터 관리 시스템 설계 -기본 데이터에서 필요 정보 생성 시스템 설계 -차량 주요 부품 신뢰성 기반 지표 구축 -지표관리 시스템 설계 -RAMS 분석을 수행하기 위한 분석모델관리 시스템 설계 -차량 및 주요 부품에 대해 RAMS 요소별 분석 절차 규칙화
고장 분석 모듈	-표준화된 고장코드 구축 -고장코드관리 시스템 설계 -고장유형별 영향, 발생도, 검출방식 분석 -고장유형별 가용성 및 안전성에 미치는 고장 치명도 분석 -고장유형관리 시스템 설계 -고장에 대한 분석결과 및 대응 지침 규칙화 -고장사례공유 관리 시스템 설계 -차량 고장 사전 인지를 위한 표준화된 고장 징후 규칙화 -고장징후관리 시스템 설계 -고장 통계 분석 시스템 구축
정비 요청 모듈	-검수/정비 계획의 긴급검사 절차 규칙화 -검수/정비 요청 시스템 설계 -필요한 검사내역 자동생성을 위하여 전문가 시스템과 연동 -정비지시 요청 이력관리 시스템 설계

**2.8 도시철도 유지보수 전문가시스템 역할**

전문가 시스템은 고장으로 발전할 수 있는 징후를 인지하였을 때 고장의 원인을 진단하는 절차를 제공하거나 고장의 원인이 규명되었을 때 정비 절차를 제공하는 것과 같은 사후 조치의 측면이 강조되는 시스템으로 정의한다. 전문가 시스템은 고장의 진단 절차

와 정비 절차를 규칙화하여 축적함으로써 각종 검색의 토대를 만들어 주며 고장 현상 및 원인에 대한 지식 베이스를 제공해야 한다. 전문가 시스템에서 제공하는 진단 절차는 검수/정비 요청 판단의 근거로 사용될 수 있으며 검수/정비자의 고장 원인 규명에도 많은 도움을 제공할 수 있어야 한다. 그림 4와 같이 전문가 시스템에서 제공하는 정비 절차는 검수/정비에 필요한 조치를 제공해야 한다. 또한 작업자가 전동차의 고장 또는 이상징후를 제거 후 시스템에 입력한 결과는 전문가시스템과 예방정비시스템에 반영되어 부품의 수명예측과 다른 작업자에게 활용이 될 수 있도록 한다.



**Fig. 4 유지보수시스템에서 전문가시스템의 역할**

**3. 결론**

유지보수 응용 시스템은 단발성으로 구축하는 것이기보다는 지속적으로 개정(Update)되는 과정이다. 예상치 못한 고장이 감소될 경우 당연히 가용도 및 신뢰도는 증대된다. FMEA 등을 통한 분석은 각 고장이 설비에 미치는 결과를 검토하여 각 고장 모드(Mode)별로 가장 효과적인 정비 방안을 제시한다. 또한 유지보수 응용 시스템은 상태감시를 통하여 잠재 고장이 실제 기능 고장으로 발전하는 것을 예방하여 준다. 동시에 정기보수의 빈도 역시 저감시켜서 시스템의 가용도 및 신뢰도는 향상되는 효과를 준다. 유지보수 예방정비시스템을 통하여 보수·정비 횟수를 줄일 수 있음이 일반적으로 증명된다. 적어도 유지보수 응용 시스템은 보수·정비 활동이 충분한 근거 없이 증가하는 것을 제어하기도 한다. 유지보수 응용 시스템이 원숙한 단계에 이를 경우, 어떤 경험자에 의하면 반복적인 유지보수 활동의 40%에서 70%를 절감하였다고 한다. 반복적인 이 활동의 상당 부분은

필요가 없기에 취소되기도 하고 또한, 일부는 상태감시 활동이 대신하기도 한다. 그림 5에서와 같이 검수/정비과정에서 발생한 데이터의 분석으로 유지보수비용을 절감한다. 유지보수 응용 시스템은 고장이력, 주행이력, 부품정보 및 측정데이터를 RAMS 분석을 통하여 경제적이고 합리적인 용역계약을 지원하도록 한다. 이 시스템의 장점으로 첫째는, 반복되는 시간 지향형 보수활동을 최소화할 수 있기 때문이고, 둘째는, 고장원인 및 결과 분석에 바탕을 두고 긴급보수 지침을 작성하여 시행함으로 가장 경제적으로 관리할 수 있기 때문에 효율이 극대화된 예방정비 체계를 구축하는 것이다.

참 고 문 헌

1. 박기준, 이호용 외 다수, “도시철도유지보수체계 표준화/정보화연구,” 한국철도기술연구원, 2002
2. Darling, S., ‘A Preventive Maintenance Improvement Project at Texas Utilities Comanche Peak’ Nuclear Plant Journal (1991)
3. 김연중, 김찬주, “RCM기법 및 철도시스템에 대한 필요성”, 한국철도기술 35호, 2002
4. RAMS Evaluation (Training Material), Electric Power Research Institute, 1995
5. 이호용, 박기준, 안태기, 김길동, 한석윤, “도시철도유지보수체계 시스템의 RCM에 대한 연구”, 대한전기학회춘계학술대회 논문집 PP426-428, 2003.4.

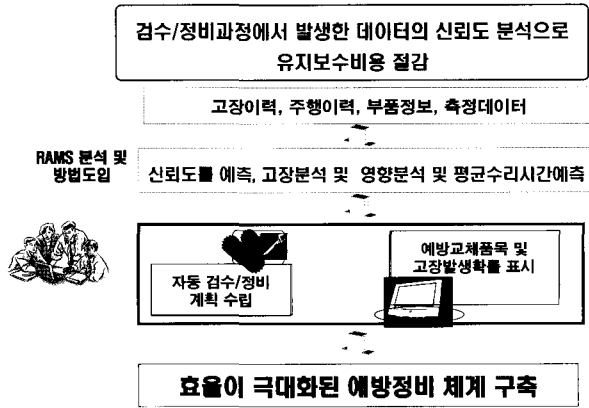


Fig. 5 예방정비시스템의 시스템 역할 및 효과