

## 신뢰성 기반의 유지보수를 위한 TRMS S/W개발

## Building TRMS S/W based on Reliability Centered Maintenance

안은진<sup>1</sup> · 이수길<sup>2</sup> · 이기서<sup>†</sup> · 김성욱<sup>3</sup> · 유등렬<sup>3</sup> · 김철환<sup>3</sup> · 윤학선<sup>3</sup> · 이인현<sup>3</sup> · 오세화<sup>3</sup>

E. J. Ahn, S. K. Lee, K. S. Lee, S. O. Kim, D. Y. Yoo, C. H. Kim, H. S. Yoon, I. H. Lee, and S. H. Oh

**Abstract** In this paper the TRMS (Tilting Rolling-stock Maintenance System) that applies the concept of RAM (Reliability, Availability, and Maintainability) and RCM (Reliability Centered Maintenance) to Preventive and Corrective Maintenance Policy for TTX (Tilting Train Express) will be discussed. We will briefly introduce the RCM concepts and discuss how these concepts and procedures are implemented in the TRMS S/W. In the TRMS S/W there are four modules, System and Operations Information Module, FMECA(Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis)module, RAM Information Module, and RCM Analysis Module. The System and Operations Information Module provides the user interface for collection of systems and operations related data and the FMECA module provides a groundwork for the RCM analysis. The algorithms to calculate the reliability and failure rate for Weibull distribution and formulae to calculate the task intervals and task costs are proposed in the RAM and RCM Analysis Module respectively. There is a good possibility of applying RCM to other rolling stock maintenance systems if the benefit that RCM can brings to the maintenance world is fully recognized.

**Keywords :** RCM, TTX, TRMS, FMECA, Task Selections

**초 록** 본 논문에서는 RAM(Reliability, Availability, and Maintainability)과 RCM(Reliability Centered Maintenance) 개념을 기반으로 하는 틸팅 열차 유지보수 시스템(TRMS; Tilting Rolling-stock Maintenance System)의 S/W 구축방안을 제시하였다. 먼저 RCM 개념 및 절차에 대하여 소개하고 TRMS S/W가 어떻게 이러한 개념과 절차를 구현하는지에 관하여 논하였다. TRMS는 네 개의 모듈 즉 시스템 및 운영정보 모듈, FMECA 모듈, RAM 정보 모듈, RCM 분석 모듈로 구성되어 있다. 시스템 및 운영정보 모듈에서는 RCM 분석의 기초 작업인 데이터 수집을 위한 인터페이스가 제공되고, FMECA 모듈에서는 시스템 및 운영정보 모듈의 고장 데이터를 이용하여 고장영향 분석을 할 수 있는 워크 스페이스(workspace)를 제공한다. RAM 모듈에서는 Weibull 분포의 신뢰성과 고장률을 산출하기위한 알고리즘이, RCM 분석모듈에서는 작업주기와 작업비용을 계산하기위한 계산식이 제안되었다. 유지보수 관계자들이 RCM의 장점을 충분히 인식한다면 RCM을 다른 전동차 유지보수 시스템에도 쉽게 적용할 수 있을 것이다.

**주요어 :** 신뢰성, 틸팅열차, 유지보수 시스템, 업무선정

## 1. 서 론

근래에 국내에서는 항공, 철도, 의료 등 많은 분야에서 기술이 급격한 성장을 이루어 왔다. 이러한 급격한 첨단산업에서의 발전은 눈으로 쉽게 확인될 수 있는 반면 그 발전을 뒷받침할 수 있는 정책이나 운영, 유지보수 측면은 다소 소홀히 되고 있는 상태이다. 산업이 고도화되고 복잡성이 증대됨에 따라 운영 면에서도 보조를 같이해 줄 필요가 있다. 최근 한국철도 기술 연구원에서는 한국형 틸팅열차를 개발하여 테스트 단계에 있다. 틸팅열차 운영에 신뢰성 및 안전성 확보를 위해 연구단은 RAM 활동을 적용하고 유지보수 측면에서는 신뢰성 중심의 예방정비 체제인 RCM을 적용하려

한다. 이 논문에서는 틸팅열차의 신뢰성 기반 유지보수 체제를 위한 소프트웨어 개발에 관하여 구체적인 방안을 제시하고자 한다.

이 소프트웨어는 TRMS(Tilting Rollong-stock Maintenance System)라 하며 크게 네 모듈로 구성된다. TRMS는 시스템 및 운영정보 모듈, FMECA 모듈, RAM정보 모듈 그리고 RCM 분석 모듈로 구성된다. RCM 분석을 위해서는 시스템을 선택하고 기능고장 및 고장유형 정의를 할 필요가 있고 이러한 작업을 위해서는 기능정보와 고장이력 데이터가 필요하다. 시스템 부품 정보와 고장이력 정보 등을 관리하는 모듈이 시스템 및 운영정보 모듈이고 기능고장 및 고장유형 정의는 FMECA 모듈에서 할 수 있게 구성한다. EN50126과 IEC66278은 RCM적용을 열차와 철도에 적용하기를 권장하는데 틸팅연구단에서 제작 초기단계에서부터 RCM 논리를 적용하려는 노력은 매우 바람직하다 할 것이다. RCM은 최초로 미국에서 시작되었고 지금은 세계적으로 주요한 철도 시스템과 에너지 공급체인 원자력, 수력, 화

<sup>†</sup>교신저자 : 광운대학교  
E-mail: kslee@kw.ac.kr

<sup>1</sup>(주)마이크로트랙

<sup>2</sup>한국철도기술연구원

<sup>3</sup>광운대학교 대학원

력 발전소, 항공회사 등에서 적용되고 있는데 RCM은 전통적인 예방 및 유지보수 정책을 떠나 주요한 부품의 고장유형의 철저한 분석을 통하여 기존의 유지보수 정책을 재검토하고 새로운 신뢰성 기반의 예방 및 유지보수 정책을 세우기 위한 방법론이다[1]. RCM은 불필요한 Overhaul이나 정기검수를 지양하여 실제 현상이나 사실을 근거로 효율적인 정책을 수립하자는 기본개념에 있어서 6 시그마와 유사하다[2]. 국내에서는 RCM과 Safety 개념의 철도 시스템 적용을 제안한 바 있고[6] 공항철도차량에의 RCM 적용을 제시한 적이 있다[3]. 또한 고무차륜 AGT(Automated Guideway Transit) 시스템의 유지보수 체계 구축을 위한 RCM적용 절차를 제시하였다[10]. 또한 한국형 탈딩열차 유지보수 시스템을 위하여 기존의 유지보수 시스템에 RCM을 가미하는 구체적 프로세스를 제안하였다[4]. 국내에서 제한된 의미의 RCM을 적용하는 기업으로는 대한항공, 한전을 들 수 있고 KTX에서는 RCM과 TBO(Time Between Overhaul)결정기법을 병행해서 유지보수 시스템에 적용하고 있다[9].

RCM은 1960년대에 미국항공회사 United Airline이 Boeing에서 제작한 747(항공기)을 구매한 후 그 정비방침으로 FAA(Federal Aviation Association)에 제시한 예방정비 방법론이다. UA에서는 80% 이상의 항공기 기계설비의 열화가 시간의존형이 아님을 밝혀낸바 있다. 이는 종래의 시간기준 예방정비(TBM)는 비효율적이며 효과가 미미하다는 것을 의미한다. RCM은 이러한 종래의 시간기준 예방정비의 결점을 근본적으로 개선하기 위해 생겨난 정비관리 수법이라 하겠다[9]. 그 후 미 해군, 발전소, 그 밖의 다양한 산업전선에서 적용되었고 미국에서는 Anthony Mac Smith에 의해 클래식 RCM으로 영국에서는 John Moubray에 의해 RCM2로 체계화 되었다. RCM2는 클래식 RCM에 비해 고장영향의 치명도와 업무선정 결정 로직이 상당히 깊고 세분화 되었으며 PF(Potential Failure)와 Failure 인터벌을 업무주기 선정에 고려하고 있다[13]. 그렇지만 이 두 가지 타입의 RCM은 예전의 부품과 장비 유지의 정비방법에서 탈피하여 부품과 장비의 기능유지라는 관점에서 유지보수 방법론을 제시하고 있다는 점에서 과거의 전형적인 유지보수 방법과 다르다. TRMS는 클래식 RCM을 기반으로 개발되고 RCM개념 적용과정에서 실행측면을 고려하여 업무비용과 업무주기 계산 등 정량적인 요소가 가미될 것이다.

흔히 열차 정비 방침으로는 현재 부품의 시스템에서의 기능을 고려하지 않는 가운데 각 장치와 부품을 그룹 별로 나누어 일률적인 검수주기를 사용하여 예방정비를 하고 있다. RCM은 이러한 일률적 정비체계를 지양하여 기능별 고장유형을 철저히 분석한 후 업무 및 주기를 도출함으로써 최적화된 예방 및 유지보수 체계를 가능하게 할 것이다[12, 11, 5].

## 2. TRMS의 특성

TRMS는 크게 네 개의 모듈로 구성되어있다. 그 모듈들은 시스템 및 운영정보 모듈, FMECA 모듈, RAM정보 모

듈, RCM 분석 모듈이고 각 모듈은 리포트 파트를 포함한다. RAM 정보의 모듈화는 RCM업무의 효율성을 평가하여 다음 단계의 RCM 분석을 개선할 수 있게 한다. 이 프로그램은 검색기능, FME LTA(Failure Mode Effects Logic Tree Analysis), 업무선택 LTA를 구현하고 RAM 데이터의 시각적 전시를 할 수 있도록 구축될 것이다. 사용자는 BOM(Bill of Material)명, 기능 고장번호, 기간, 키워드 등을 사용하여 고장이력 정보를 검색할 수 있다. FME와 업무선택 LTA 과정은 사용자 친화성을 고려하여 사용자는 단지 “예”, “아니오”를 선택할 수 있다. 사용자가 답을 드랍다운에서 선택할 때 이 선택과정은 왼쪽 패널에 시각적으로 디스플레이 될 것이다. RCM 분석 모듈의 마지막 스텝 업무비교에서는 RCM 업무무게를 그래프화하여 볼 수 있을 것이다. 이제 RAM과 RCM의 개념과 구체적인 절차를 바탕으로 TRMS 소프트웨어의 구성 및 각 모듈 별 적용이론에 대하여 설명한다.

### 2.1 시스템 및 운영정보 모듈

시스템 및 운영정보 모듈은 네 파트로 되어있는데 첫 번째 파트인 시스템정보는 각 시스템의 BOM정보, 부품관리 정보, 고장이력 정보와 수선이력 정보를 포함한다. 일반적으로 RCM은 선택된 시스템에 한하여 적용되므로 RCM 논리를 적용할 시스템을 선택하기 위하여 클래식 RCM에서는 다음과 같은 사항을 고려한다.

- ◇ 지난 2년간의 가장 많은 유지보수 업무 건수를 차지하는 시스템
- ◇ 지난 2년간의 가장 많은 유지보수 업무 수행시간을 차지하는 시스템
- ◇ 지난 2년간의 가장 많은 운행정지를 차지하는 시스템
- ◇ 지난 2년간의 가장 많은 고장건수를 차지하는 시스템
- ◇ 지난 2년간의 가장 많은 고장에 따른 수리비용을 차지하는 시스템

두 번째 파트인 고장이력정보는 해당 시스템 별로 각 부품의 고장관련 데이터를 포함한다. 세 번째 파트인 기존 유지보수 정보는 현재 실행되고 있는 유지보수 작업에 대한 정보를 포함하도록 개발된다. 네 번째 파트인 차량정비 실적정보에서는 차량정비 및 수선작업에 관한 정보를 관리 저장한다. 차량정비 실적정보는 일종의 FRACAS(Failure Reporting Analysis and Corrective Action System)라고 할 수 있겠다. 분석가는 이 모듈을 통해서 어떠한 부품이 많은 고장건수를 보유하고 어떠한 고장유형이 많은 정비가 필요한지 알 수 있을 것이다. 작업비용은 고장유형의 치명도를 결정하는데 중요한 참고자료가 될 수 있고 또한 분석가는 작업완료시간과 작업시작시간을 사용하여 MTTR(Mean Time To Repair)를 RAM 데이터로 산정할 수 있다.

### 2.2 FMECA 모듈

FMECA 모듈은 시스템 정보와 기능고장정보, FMECA를 포함한다. 시스템 정보는 시스템 및 운영정보 모듈에서와 동

일하고 기능고장정보에서는 분석가가 각 부품 (보통 제4단계)의 기능, 기능고장, 고장유형, 고장원인을 정의할 수 있다. 이 모듈은 RCM 분석의 기반이 되는 모듈로서 클래식 RCM 분석 모듈의 제 4 단계인 기능과 기능고장, 제 5 단계인 FMECA에 해당한다. 어떠한 RCM에 관한 문서와 소프트웨어는 고장원인과 고장유형을 구분하지 않는다. 하지만 TRMS는 클래식 RCM을 정립한 Mac Smith[1]의 이론을 따라 고장원인에 크게 집착하지 않고 그것을 참고자료로만 사용할 것이다. FMECA과정에서 각 고장유형의 정확한 치명도를 산출하기 위하여 6수준(1~6 수준)의 고장발생빈도(고장발생 확률)와 4수준(High, Medium, Low, Acceptable)의 심각도를 고려하고 이 발생빈도와 심각도로부터 RPN(Risk Prioritized Number)을 산출할 수 있다. 물론 이 과정은 과거의 충분한 고장이력 정보가 있다는 것을 전제로 한다.

### 2.2.1 기능번호, 기능고장번호, 고장유형번호, 고장원인번호의 자동생성

RCM 분석에 참여한 사람들은 흔히 새로운 기능번호나 고장유형번호를 사용해야 할 때 번호설정에서 어려움을 느낀다. NAVAIR(US Naval Air Systems Command)의 RCM 소프트웨어인 IRCM의 예를 따라 TRMS는 이러한 넘버의 자동생성을 구현시킨다[16]. 이 작업이 어떻게 실행되는가는 아래에 상세히 설명된다.

- ▶ 다음에 사용 가능한 기능번호를 알고자 하면 프로그램 상에서 “기능번호를 클릭하면 된다.
- 기능번호는
  - ▷ 4 자리 수로 되어 있고
  - ▷ xxxx 같이 구성되었고 (여기서 각 x는 숫자)
  - ▷ 사용 가능한 첫 번째 기능번호는 0001
  - ▷ 각 시스템 별로 사용 가능한 기능번호의 최대치는 9999
- ▶ 다음에 사용 가능한 기능고장 번호를 알고자 하면 프로그램 상에서 “기능고장번호”를 클릭 하면 된다.
- 이 기능고장번호를 알고자 하면 우선 기능번호가 선택된 상태이어야 한다.
- 기능고장번호는
  - ▷ 기능번호 + “.” + xx (여기서 x는 숫자)
  - ▷ 사용 가능한 첫 번째 기능고장번호는 0001.01
  - ▷ 각 시스템의 기능 별로 사용 가능한 기능고장번호의 최대치는 99
- ▶ 다음에 사용 가능한 고장유형 번호를 알고자 하면 프로그램 상에서 “고장유형번호”를 클릭하면 된다.
- 이 고장유형번호를 알고자 하면 우선 기능고장번호가 선택된 상태이어야 한다.
- 고장유형번호는
  - ▷ 기능고장번호 + “.” + xx (여기서 x는 숫자)
  - ▷ 사용 가능한 첫 번째 고장유형번호는 0001.01.01
  - ▷ 각 기능고장 별로 사용 가능한 고장유형번호의 최대치는 99
- ▶ 다음에 사용 가능한 고장원인 번호를 알고자 하면 프로그램 상에서 “고장원인번호”를 클릭하면 된다.

- 이 고장원인번호를 알고자 하면 우선 고장유형번호가 선택된 상태이어야 한다.
- 고장원인번호는
  - ▷ 고장유형번호 + “.” + xx (여기서 x는 숫자)
  - ▷ 사용 가능한 첫 번째 고장원인번호는 0001.01.01.01
  - ▷ 각 고장유형 별로 사용 가능한 고장원인번호의 최대치는 99

### 2.3 RAM정보 모듈

RCM 프로세스는 신뢰성 향상에 목적을 두고 정의되어 있지만 업무 및 주기의 효율성 평가에 대해서는 비용차원의 방법론만 제시하고 있다. TRMS는 RAM 성능을 유지하고 RAM 중심의 유지보수 업무를 가능하게 하는 RAM 정보 모듈을 제공한다. RAM 정보 모듈은 RCM 선정 업무의 효율성을 평가하기 위해 개발된 것이다. RAM정보 모듈은 세 파트로 구성된다. 첫 번째 파트인 고장이력 정보는 시스템 및 운영정보 모듈의 고장이력 정보와 동일하고 두 번째 파트 RAM 상세정보 부분에서는 고장이력 정보를 바탕으로 하여 RAM 관련 데이터인 MTTR, MTBF(Mean Time Between Failure), MKBF(Mean Kilometer Between Failure), 가용도, 신뢰도, 정비도 등을 계산하여 텍스트로 보여주고 또한 이러한 데이터의 월별 추이를 그래프로 보여 준다. RAM 정보 모듈의 마지막 파트인 분석정보 파트는 사용자가 선택한 기간 동안의 부품별 RAM 데이터를 그래프로 현시하고 또한 신뢰도와 고장률의 Weibull 분포를 보여 준다. 대부분의 Weibull 소프트웨어가 Weibull 분포를 보여주기 전에 사용자에게 형상모수(β)와 척도모수(η)를 직접 입력하기를 요구한다. TRMS는 아래와 같은 알고리즘을 바탕으로 사용자에게 형상모수와 척도모수를 입력하기를 요구하지 않고 고장이력 정보를 이용하여 시간 별 MTBF를 계산하고 이 MTBF를 이용하여 각 시간 별 고장률(λ)을 계산한다. 그리고 이 고장률로부터 형상모수와 척도모수를 계산한다. 여기서 시간의 시작 포인트를 0으로 잡으므로 위치모수는 0으로 가정한다. 이를 공식으로 자세히 풀어 쓰면 다음과 같다.

MTBF와 고장률의 정의에 의하면

$$MTBF = \frac{\text{주행시간}}{\text{고장건수}} = \frac{1}{\lambda}$$

(MTBF=평균고장시간, λ=고장률)

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

Weibull 분포의 신뢰도, 확률밀도 및 불신뢰도 함수는 형상모수(β)와 척도모수(η)에 의해 결정된다. β는 분포의 모양을 결정하고 η는 가로축의 척도를 규정한다.

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$$

(R(t)=신뢰도 함수)

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \beta \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

(f(t) = 확률밀도 함수)

$$f(t) = \lambda(t)R(t)$$

$$f(t) = \beta \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\left(\frac{1}{MTBF}\right)^\beta t}$$

(F(t) = 불신뢰도 함수)

위의 식은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\frac{1}{1 - F(t)} = \frac{1}{e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}}$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) = -\ln\left(e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}\right) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta$$

$Y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right)$ ,  $X = \ln t$ ,  $K = -\beta \ln \eta$ 로 대치하면

$$Y = \beta X + K$$

Y의 예측치 편차의 제곱의 합을 최소화하는  $\beta$ , K,  $\eta$ 를 구하면

$$\beta = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

(n = 고장건수)

$$\eta = \exp\left[\frac{\sum X}{n} - \frac{\sum Y}{\beta n}\right] \quad [8]$$

TRMS는 고장이력정보를 이용하여  $1 - e^{-(1/MTBF)}$ 를 먼저 계산하여 Y 값을 얻고 이어서  $\sum X$ ,  $\sum Y$ ,  $\sum XY$ ,  $\sum X^2$ ,  $(\sum X)^2$ 를 계산하여  $\beta$ 와  $\eta$ 를 얻을 수 있다. 그리고 이렇게 하여 구한  $\beta$ 와  $\eta$ 를 이용하여 신뢰도  $R(t) = \exp[-(t/\eta)^\beta]$ 와 고장률  $\lambda(t) = \beta/\eta(t/\eta)^{\beta-1}$ 를 구할 수 있다.

## 2.4 RCM 분석모듈

RCM 분석 모듈은 RCM 논리를 이용하여 예방업무를 선정하기 위해 개발되는 모듈이다. 이 모듈은 Anthony Mac Smith의 클래식 RCM 개념을 기초로 하고 이 프로그램의 RCM 구현 과정은 아래와 같이 7개의 스텝으로 구체화 된다.

시스템 선택 및 시스템 정보(고장정보 포함)  
기능정보와 FBD(Function Block Diagram)

FMECA

FME LTA

업무선정

업무주기 선정

업무비교

시스템 선택 및 시스템 정보에서는 각 시스템의 BOM정보를 이용하여 시스템을 서브시스템, 어셈블리, 부품 등 수준을 5~8단계로 분류하고 시스템관련 고장이력정보 및 RCM 적용에 유용한 모든 정보를 수집한다. 첫 단계인 시스템정보 부분은 시스템 및 운영정보 모듈의 시스템 정보 부분과 동일하다. 그 다음 스텝인 기능고장 정보와 FMECA 정보에서는 FMECA 모듈에서 데이터를 가져올 수 있고 사용자는 또한 여기서 새로운 기능고장 정보를 입력하고 FMECA를 할 수 있도록 개발된다. FME LTA에서는 고장유형의 영향의 심각도를 분류하고, 업무선정과 업무주기 선정에서는 각 고장유형에 가장 효율적인 업무와 작업주기를 선정한다. 마지막 업무비교 단계에서는 기존의 업무와 선정된 RCM업무를 비교한다. 위에서 언급된 FME LTA의 고장유형분류는 클래식 RCM에서 사용한 것과는 약간 다르다. 클래식 RCM에서 사용되는 분류는 다음과 같으며 더 상세하게 말하자면 각 고장유형별 영향은 A, B, C, D/A, D/B, 혹은 D/C로 분류되었다. 여기서 각 분류는 다음을 의미한다.

- A: 안전성 혹은 환경 문제
- B: 운영상의 문제
- C: 경제적인 문제
- D: 숨겨진 고장

대신에 TRMS에 사용되는 고장유형은 A, B, C, D, E, F/A, F/B, F/C, F/D 혹은 F/E이다. 각 분류는 다음을 의미한다.

- A: 안전성 혹은 환경 문제
- B: 운행 불가능
- C: 응급조치 후 운행가능
- D: 승객 서비스 문제
- E: 중요하지 않은 승객 서비스 문제
- F: 숨겨진 고장

### 2.4.1 업무유형별 비용과 주기 계산

RCM의 업무주기를 결정하는 단계에서 TRMS는 업무유형별 비용과 주기를 산정할 수 있는 프로세스를 제공한다. 이 소프트웨어는 사용자가 입력한 MTBF, CBR(Cost Benefit Ratio; 비용과 혜택의 비율), 제안된 업무주기 등 인풋을 이용하여 업무주기와 업무비용을 산정할 수 있는 편리함을 제공할 것이다. 이 프로세스에서 사용하는 공식은 NAVAIR에서 사용하는 것인데 그것은 아래와 같다[17].

업무주기

교체/수리  
(TD)

$$CBR = \frac{(C_{BF} \times N_s) + (C_{AF} \times (1 - N_s))}{N_s T \times (1 - N_s) MTTF_p}$$

$$CBR = \frac{C_{AF}}{MTBT}$$

$$T = \frac{CBS \times C_{AF} \times MTTF_p (N_s - 1) + (C_{BF} \times N_s - C_{AF} (N_s - 1)) \times MTBF}{CBR \times C_{AF} \times N_s}$$

- CBF : 고장발생 이전의 수리 및 교체 비용  
 NS : 제안된 업무주기까지 고장이 발생하지 않은 아이  
 템의 비율  
 CAF : 고장 발생후의 수리/교체 및 2차적 손해에 대한  
 비용  
 t : 제안 업무주기  
 MTBF : 평균 고장 시간(주기)  
 MTTFP : 제안된 업무주기 이전에 고장이 발생한 아이  
 템의 평균 고장 시간(주기)  
 CBR : 비용 편익 비율(Cost Benefit Ratio)

**상태 검사  
(CD)**

$$I = \frac{PF}{N}$$

$$N = \ln(P_{acc}) / \ln(1 - \theta)$$

- (1)  $CI < PF$ ,  $PF = (\ln(1 - \alpha) / \ln(1 - \theta)) \times I$   
 (2)  $CI > PF$ ,  $PF = (\alpha / \theta) \times I$

- $\alpha$  : 현 업무 유효성  
 $\theta$  : 잠재 고장의 존재를 가정한 상황에서 제안된 CDM  
 업무의 최초 1회 실시에 의한 잠재고장 검출 확률  
 CI : 현재 업무 주기  
 Pacc : 고장의 수용 가능 확률  
 PF : 잠재 고장에서 기능고장까지의 간격  
 n : PF 주기내에서 필요한 검사의 수  
 I : 검사주기

여기서 기술된 CD 주기는 안전성과 환경에 영향을 미치  
 는 고장 관련 주기이다.

**잠재고장 검사  
(FF)**

$$Pacc = PPF \times PHF \text{ 혹은}$$

$$Pacc = 1 - e^{-T/MTBFac} = 1 - e^{-T/MTBFpf} \times 1 - e^{-T/MTBFhf}$$

- Pacc : 수용 가능한 고장의 발생 확률  
 PPF : 보호받는 기능의 고장 발생 확률  
 PHF : 숨겨진 고장 발생 확률  
 MTBFac : 이상적인 평균 고장 시간  
 MTBFpf : 보호받는 기능의 평균 고장 시간  
 MTBFhf : 숨겨진 기능의 평균 고장 시간  
 T : 주기(기간)

**업무비용**

**주유/윤활**

$$\text{운영시간당 주유/윤활업무비용} = \frac{\text{일회당 주유/윤활업무비용}}{\text{업무주기}}$$

**상태 검사  
(CD)**

$$\text{운영시간당 검사업무비용}$$

$$= \frac{\text{일회 검사업무비용} \times (\text{설계수명} - (\text{최초검사 주기} - \text{제안업무주기}))}{\text{제안업무주기} \times \text{설계수명}}$$

$$+ \frac{\text{검출된 고장의 평균 수리비용}}{MTBF}$$

**교체/수리  
(TD)**

$$\text{운영시간당 교체/수리 업무비용}$$

$$= \frac{\text{일회 교체/수리 업무비용} \times \text{제안주기까지의 정상율}}{\text{제안업무주기}}$$

$$+ \frac{(\text{교체/수리 이전에 발생한 고장의 평균 수리비용}) \times (1 - \text{제안주기까지의 정상율})}{MTBF}$$

**잠재고장 검사  
(FF)**

$$\text{운영시간당 잠재고장 검사 업무비용}$$

$$= \frac{\text{일회 잠재고장검사 업무비용}}{\text{제안업무주기}} + \frac{\text{잠재고장의 평균수리비용}}{MTBF}$$

**2.5 TRMS의 보안**

TRMS는 서버의 Oracle 데이터베이스에 접근해서 데이터  
 를 가지고 올 수 있게 구축될 것이므로 Oracle 데이터베이  
 스와 동일하게 실행된다고 할 수 있다. 사용자 권한은 DBA  
 (Database Administrator)를 통하여 사용자에게 부여될 것이  
 다. “select” 권한(사원권한)만 부여 받은 사람에게는 데이터  
 읽기만 가능하고 “create table” 권한(관리자 권한)을 부여 받  
 은 사람에게는 데이터 읽기만 아니라 쓰기도 가능하다.  
 Oracle 데이터베이스를 데이터 저장소로 사용하기를 결정함  
 으으로써 TRMS의 보안은 자동 생성될 것이다. 이러한 보안  
 의 자동생성은 Oracle 데이터베이스를 사용하는 데서 오는  
 이점의 하나라고 할 수 있겠다.

**3. RCM 분석**

**3.1 기존 데이터와 RCM 분석을 위하여 필요로 하는  
데이터 간의 인터페이스**

RCM논리를 기존의 시스템에 적용할 때 흔히 과업 수행  
 자들은 기존의 정보 시스템으로부터 RCM 논리를 적용하는  
 새로 구축되는 시스템으로 일부 데이터를 이동시켜야 할 필  
 요성을 느낄 것이다.

일반적으로 데이터 이동이 가장 필요로 한 곳은 BOM과  
 고장이력에 관한 정보를 담고 있는 영역이다. RCM 분석은

시스템이나 서브시스템 단위로 이루어지기 때문에 고장이력 정보를 각 시스템 별로 담고 있는 테이블을 생성시킬 필요가 있다. 만약 기존의 서버에 설계도면과 기능 블록도, 부품의 이미지 파일 등이 있으면 ftp(File Transfer Protocol)를 하여 이미지 파일을 새로운 시스템에 가져와서 보여 주는 작업도 할 필요가 있을 것이다. 물론 개발된 TRMS는 새로운 시스템 데이터베이스에 이미지 파일을 저장할 수 있는 방법도 제공할 것이다.

### 3.2 유용한 고장 데이터의 수집

RCM 분석결과로 선택된 업무와 업무주기의 최적화는 고장률을 감소시키고 신뢰성과 가용도를 증가시켜야 하기 때문에 고장이력 데이터는 고장유형의 치명도를 평가하기 위하여 필요할 뿐만 아니라 RCM 분석 작업이 얼마나 성공적으로 수행되었는지를 평가하기 위하여 필요하다. 따라서 위에서 언급되었듯이 TRMS에는 고장이력 정보로부터 MTTR, MTTF, 고장률, 가용도 등을 계산하여 저장할 수 있는 RAM 모듈이 구현될 것이다. 이러한 RAM 데이터를 산출하기 위해서는 고장이력정보가 부품번호, 고장발생 일시, 고장발생 시 운행거리, 운행시간, 고장에 대해 조치가 시작된 시간, 조치완료시간, 고장유형 등의 데이터를 제공해야 한다. 고장유형은 코드화하고 고장유형 번호를 함께 사용하여 고장유형 기술에 있어서 일관성이 부여되면 바람직 할 것이다.

TRMS는 RAM 데이터를 텍스트와 그래프 형태로 보여준다. RCM 분석결과로 선정된 업무의 효율성을 평가하기 위하여 그래프 형태로 나타나는 월별 RCM 데이터의 추이를 참고하거나 고장률과 신뢰성을 보여주는 Weibull 분포를 참고로 할 필요가 있다. 시간이 경과함에 따라 고장률이 증가하거나 신뢰성이 감소하는 추이(Trend)가 그래프에 나타나게 된다면 RCM 분석결과로 설정된 정비작업을 재검토하고 업무와 업무주기를 수정해야 할 것이다.

### 3.3 각 부품의 신뢰성을 고려할 때 자재정보의 중요성

흔히 CMMS(Computerized Maintenance Management System)는 각 물품에 관한 정보 즉 물품번호, 시리얼 넘버, 제조업체, 가격, 수명 등을 물품정보 모듈에 포함한다. 결국 RCM의 궁극적인 목적의 하나가 비용절약이므로 RCM에 관심이 있는 사람들은 시스템을 구성하는 각 물품의 품질을 평가하기를 원한다. 예를 들어 만약 A라는 회사에서 제조한 모터가 30%의 고장률을 가지고 있고 B라는 회사에서 제조한 같은 종류의 모터가 15%의 고장률을 갖고 있다면 사용자들은 B 회사의 모터를 선호할 것이다. 따라서 관계자들은 각 물품정보를 저장해서 그 물품고유의 고장률을 알고 싶어 할 것이다. TRMS는 고장을 일으킨 물품의 시리얼 넘버를 저장하기 때문에 자재번호 및 제조업체에 관한 데이터 추적이 가능하고 따라서 물품 고유의 고장률을 알아낼 수 있다. 따라서 유용한 자재정보를 수집하는 것이 구매계획을 하는데 뿐만 아니라 예방정비업무 주기를 설정하는 데에도 중요한 역할을 할 것이다.

### 3.4 RCM 분석

RCM 소프트웨어는 RCM 분석절차를 단계적으로 구현하므로 RCM 팀 구성원의 RCM 개념에 관한 교육은 새로운 RCM 소프트웨어가 완성될 무렵 실시되는 것이 적절하다고 판단한다. 그러면 구성원은 RCM 진행자 및 전문가와 RCM 분석절차를 단계적으로 알아 갈 때 개발된 소프트웨어를 사용함으로써 RCM 논리만 아니라 RCM 소프트웨어와도 친숙해 질 것이다.

FMECA는 국내에서도 상당한 관심과 활동이 집중되는 분야로서 다양한 분석기법을 바탕으로 한 철도 시스템 관련 FMECA를 제안한 적이 있다[2]. RCM분석에서 FMECA의 중요성을 고려한다면 RCM 분석 팀은 FMECA에 많은 시간을 보내게 될 것이다. FMECA 시트는 기본적으로 SAE JA1012[14] 및 NAVAIR 00-25-403[15]에 제시되어 있는 사항을 기본으로 하여 현재 분석하는 시스템에 적용할 수 있는 적절한 항목들을 추가 또는 삭제하여 작성될 것이다. FMECA를 할 때 분석자는 기능, 기능고장, 고장유형, 고장원인, 고장영향 등에 대해서 시스템의 이해를 통해 어떠한 키워드를 제시할 수 있어야 하고 쉽게 전문가들의 의견을 이끌어 낼 수 있어야 한다.

따라서 사전에 시스템전문가들을 대상으로 FMECA가 어떠한 것인지 또한 어떻게 진행되어야 하는지에 대한 충분한 교육이 실시되어야 한다. 또한 RCM분석 이전에 분석자 및 시스템 엔지니어들을 대상으로 분석하고자 하는 시스템의 기능 및 설계의도, 시스템 내의 인터페이스에 대한 상세한 교육이 진행되어야 한다.

### 4. 신뢰성 기반의 유지보수를 위한 TRMS S/W

신뢰성 기반의 유지보수를 위한 TRMS S/W는 위에서 설명한 바와 같이 4개의 모듈로 구성되어 있으며, Fig. 1은 그 중 FMECA 모듈을 보여 주고 있다.

Fig. 2는 RAM 정보 모듈을 보여주고 있으며, 업무 유형별 유형과 업무주기 계산을 하는 모듈은 Fig. 3과 같다.

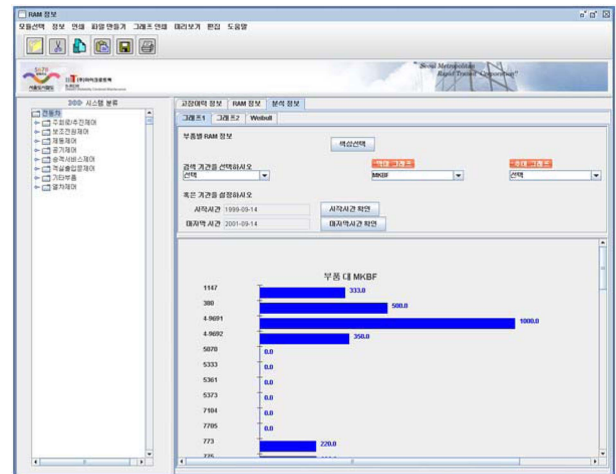


Fig. 1 FMECA Module



Fig. 2 RAM Module

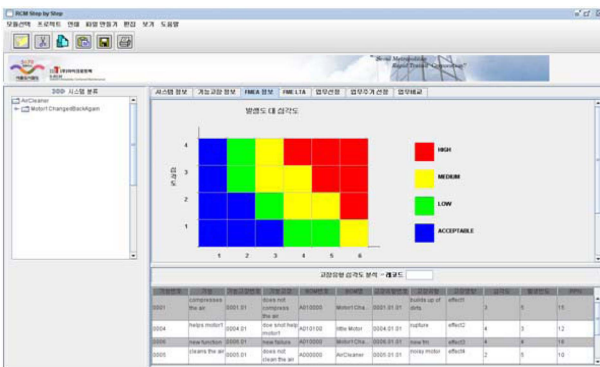


Fig. 3 RCM Analysis Module

본 논문에서는 80/20 법칙을 기본법칙으로 하여 S/W를 개발 하였다. 예에서와 같이 TRMS S/W는 틸팅열차(TTX)의 유지보수에 보다 쉽게 적용하기 위하여 개발하였으며, RCM 방식은 혁신적인 유지보수 및 예방정비 정책을 세울 수 가 있을 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 RAM과 RCM 논리를 적용한TRMS S/W를 개발하고 이를 TTX등 전동차 유지보수 시스템에 적용 가능성을 제시하였다. TRMS는 RCM 적용에 필요한 RCM 분석 모듈만이 아니라 시스템 운영정보 모듈, FMECA 모듈, RAM 정보 모듈을 제공한다. 시스템 및 운영정보 모듈은 고장이력과 정비관련 정보를 관리하고 FMECA 모듈은 RCM 분석의 일부로서가 아닌 독립된 모듈로서 RCM 분석 전에 필요한 FMECA 작업을 할 수 있는 워크 스페이스를 제공하고 RAM 모듈은 RCM 분석의 평가 자료로서 RAM 정보를 제공한다. 이러한 네 개의 모듈을 바탕으로 한 TRMS를 사용할 때 보다 쉬운 유지보수 전략을 세울 수 가 있다.

국내에서는 RCM 방법이 초기단계에 있지만 해외에서는 철도 시스템과 항공기 산업, 발전소 특히 국방 분야에서 RCM 방법을 성공적으로 적용하여 유지보수 및 예방정책에 많은 비용절감을 가져왔다. RCM 분석의 기본논리는 문제를 규명하고 그 문제에 대한 구체적인 솔루션을 적용하는 것

이다. 통계에 의하면 시스템 라이프 사이클 비용의 60%는 시스템의 유지보수에 사용된다고 한다. RCM 분석과 같은 합리적인 접근법을 사용하여 정비체제를 구축한다면 TTX의 유지보수에 있어서 비용절감은 상당할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 2008년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행되었음

## 참고문헌

- [1] Smith, Anthony Mac and Hinchcliffe, Glenn R (2004) RCM-Gateway to WorldClass Maintenance. Elsevier, pp. 1-132.
- [2] 유양하, 최형수 (2009) 6시그마를 적용한 철도차량유지보수에 관한 연구, *한국철도학회 2009 춘계학술대회 논문집*, pp. 169-176.
- [3] 박병노, 이창환, 임성수 (2008) 철도차량의 효과적인 RCM 실시 방안, *철도저널 한국철도학회지*, 11(4), pp. 50-54.
- [4] 서승일, 문형석, 엄기영 (2007) 한국형 틸팅열차의 신뢰성 기반 유지보수 체계 구축에 관한 연구, *한국철도학회 논문집*, 10(5), pp. 520-526.
- [5] 신석균 (2006) 철도시스템 적용을 위한 SRCM 개발에 관한 연구, 광운대학교 박사학위 논문.
- [6] 신석균, 김수명, 이덕규, 이경학 (2006) 철도시스템 RCM 적용을 위한 신뢰성 및 안전성 분석 활동에 관한 연구, *한국철도학회 논문집*, 9(6), pp.739-745.
- [7] 김종운, 박준서, 이호용, 김재훈 (2008) 철도시스템의 RAMS 중심의 유지보수 정책 결정을 위한 개념적 절차, *한국철도학회 논문집*, 11(1), pp. 19-25.
- [8] 이수정, 김태원, 이경호 (1999) 와이불 (Weibull) 분포를 이용한 기대 잔존 고장률 도달에의 소요시간 예측, ITFIND, pp. 1-9.
- [9] 임병옥, 윤덕균 (2005) 고속철도차량(KTX)의 RCM적용에 관한 연구, *한국철도학회 논문집*, 8(5), pp. 470-476.
- [10] 한석운, 하천수, 이한민 (2004) 고무차륜 AGT 차량의 신뢰성 중심 유지보수(RCM)에 관한 연구, *한국철도학회 논문집*, 7(3), pp. 271-277.
- [11] August, Jim (2004) RCM GUIDEBOOK Plant Maintenance Program. PennWell, pp. 85-123.
- [12] Bloom, Neil B (2006) *Reliability Centered Maintenance Implementation Made Simple*, McGrawHill, pp. 107-151.
- [13] Moubray, John (1997) *Reliability Centered Maintenance*. Butterworth Heinemann, Oxford. 2nded., pp. 129-186.
- [14] SAE JA1012 (2002) *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance Process*.
- [15] NAVAIR 00-25-403 (2003) *Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process*.
- [16] NavAir IRCM, NAVAIR.
- [17] RCM WorkSavor, JMS Software.

접수일(2010년 3월 25일), 게재확정일(2010년 3월 30일)