

철도차량 신뢰성기반유지보수 방안 연구

A Study on Reliability Centered Rolling Stock Maintenance Methods

유양하* · 이낙영

Yang-Ha Yu · Nak-Young Lee

Abstract The purpose of maintaining rolling stock is to perform train service without failure during operation. It is not possible to prevent failure, however, by using periodic preventive maintenance methods, because new rolling stock is made from many electric components and requires the application of IT skills. RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) methods have consequently been applied to new manufactured rolling stock in KORAIL since implementation of the KTX. With this approach it is possible to verify the reliability at the operating stage, and RCM (Reliability Centered Maintenance) methods for maintenance have been applied to manufactured rolling stock since the beginning of KTX service. A RCRM (Reliability Centered Rolling-stocks Maintenance) system suitable for the characteristics of rolling stock and operational factors is introduced in this paper.

Keywords : RCRM, RCM, RAMS, Rolling stock Maintenance, Maintenance policy

초 록 철도차량을 유지보수 하는 목적은 열차가 운행하는 동안 고장이 발생하지 않도록 하는 것이다. 최근의 철도차량은 전기전자 부품은 물론 IT기술이 접목되어 주기적인 예방정비 방식으로는 차량고장을 근본적으로 예방할 수 없게 되었다. 따라서 KTX에 RAMS가 적용되어 도입된 이후 코레일에서 도입하는 철도차량은 RAMS를 적용하고 있다. 새로 제작되는 차량은 운행초기 하자보증기간 동안 신뢰성 검증을 하게 되며, 유지보수 과정에서는 RCM 기법을 적용한다. 본 논문에서는 철도차량의 특성 및 운영 환경에 적합한 철도차량 신뢰성유지보수 체계인 RCRM(Reliability Centered Rolling stocks Maintenance) 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : RCRM, RCM, RAMS, 철도차량유지보수, 정비정책

1. 서 론

철도차량의 유지보수 형태는 크게 예방정비(Preventive Maintenance)와 고장수리(Breakdown Maintenance)로 구분된다. 철도차량의 예방정비주기는 차량의 운행거리와 시간을 기준으로 한다. 철도차량 운영사인 한국철도공사(이하 코레일로 표기)에서 운영하고 있는 철도차량의 예방정비 주기도 운행거리와 시간을 병행하고 있으며, 안전성(safety) 확보를 위해 먼저 도달되는 기준에 따라 시행한다[1]. 그러나 1960년대 후반 이후 미 항공분야 연구에서 획일적인 시간 중심의 주기적인 예방정비는 효율적이지 않을 뿐 아니라 마모형태에 따른 시간기준의 주기적인 예방정비의 대상이 되는 것은 전체 시스템의 10~20% 정도로 나타내고 있다[2].

획일적인 시간기준의 예방정비는 많은 부분 비효율적이라는 것이 입증되었고, 코레일에서 운행되고 있는 철도차량의 정비관련 자료 분석결과에서도 시간기준의 정기적인 중정비(overhaul) 직후에 오히려 고장이 많이 발생하는 것으로 나타나고 있다[7]. 이에 본 연구에서는 철도차량을 효율적으로

유지보수하기 위하여 철도차량의 정비주기가 경제성 및 신뢰성에 많은 영향을 미치는 것을 고려한 신뢰성기반의 철도차량유지보수방법에 대해 다루고자 한다.

2. 연구배경

2.1 선행연구사례 조사

1960년대 초 미국의 화력발전소 설비고장의 58%이상이 정기정비(overhaul) 후 일주일 동안에 집중되어 발생하는 것으로 나타났다[4]. 또한 1960년대 후반 미 항공분야의 고장발생형태 분석 이후 고장률 형태는 일반적으로 Fig. 1과 같이 6가지로 분류되었고, 항공정비 분야의 경우 UAL, Broberg, MSP, SUBMEPP에서 조사한 고장발생 형태에서 시간의존형인 A, B, C는 1968년 11%(5%+2%+4%), 1973년 8%, 1982년 23%, 2001년 29%로 조사되었다[2-4].

결론적으로 71~92%가 시간의존형이 아니어서 시간을 기준으로 하는 주기적인 예방정비는 매우 비효율적이어서 오히려 정비를 하지 않는 것이 최적의 정비정책이라고 판단하기도 하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 초기고장 이후 안정화를 보이는 E형태는 1968년 전체고장형태의 68%, 1973년 66%이던 것이 1982년 29%, 2001년 6%로 현저히 줄어들고 있고 초기고장 없이 일정한 형태를 보이는 D형태가 증가한

*Corresponding author.

Tel.: +82-42-606-5208, E-mail : yyh8141@korail.com

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.3.183>

Failure type	UAL 1968	Broberg 1973	MSP 1982	SUBMEPP 2001
A	5%	4%	3%	17%
B	2%	1%	17%	10%
C	4%	3%	3%	2%
D	14%	15%	42%	56%
E	68%	66%	29%	6%
F	7%	11%	6%	9%
Total	100%	100%	100%	100%

Fig. 1 Types of failures [2]

것을 알 수 있다. 이는 기술이 발전하면서 항공기 등과 같이 복잡한 시스템도 규모가 작은 소형 가전제품 등과 같이 디버깅(Debugging), 번인(Burn-in) 등의 신뢰성시험에 의한 초기고장을 예방하고 있는 것으로 판단할 수 있다. 또한 A, B 형태의 시간의존형이 일부 증가하고 있는 것은 제품의 수명이 연장되는 것과 무관치 않음도 추론해 볼 수 있다.

정비활동은 일반적으로 고장수리 개념인 비계획정비와 예방정비인 계획정비로 분류되고, 정비방식은 나라마다 적용 대상에 따라 여러 형태로 분류하고 있다. 일본 플랜트 정비 협회가 제창한 TPM에서의 정비 분류체계는 계획보전을 예방보전(PM; Preventive Maintenance), 개량보전(CM; Corrective Maintenance), 고장수리(BM; Breakdown Maintenance)로 구분하고, 예방보전을 TBM(Time Based Maintenance)과 CBM(Condition Based Maintenance)으로 구분하고 있다[5]. 미 항공분야 예방보전의 연구에 의해 탄생한 RCM에서의 정비방식 분류에서는 잠재고장 시점에서 기능고장으로 넘어가기 전의 정비하는 OC(On Condition task), 마모시점에 도달한 부품을 교환하는 HT(Hard Time task) 모두 CBM에 바탕을 두고 있으며, RCM 이론을 주창한 John Moubray[6]는 정비기술을 선행정비활동(Proactive Tasks)과 기본적 정비활동(Default Actions)으로 분류하였다[4].

2.2 철도차량 사례

2.2.1 코레일 철도차량 정비현황

철도차량의 경우 예방정비는 부분적으로 CBM을 적용하고 있으나 많은 부분 TBM에 의존하고 있다[6]. 코레일에서 운용하고 있는 철도차량은 고속차량(KTX, KTX-산천)과 일반차량으로 나누어지며, 일반차량은 다시 전기기관차(Electric locomotive), 디젤전기기관차(Diesel electric locomotive), 전동차(Electric multiple unit), 객차(Passenger car), 화차(Freight car) 등으로 구분하고 있다. 정비주기는 차량제작사와 차량 도입 시기에 따라 차량종류별로 차이가 있으며, 철도차량 정비형태는 크게 중정비와 경정비로 구분된다[6]. 고속차량은 부품교환 RBO(Replaceable Between Overhaul), 장치교환 ECO(Equipment Components Overhaul)와 같이 세분화되어 있는데 비해, 일반차량은 부품단위의 정비개념을 적용하지 않고 있으며, 정비주기별 정비항목 내에 포함되어 있다[1,6].

2.2.2 코레일 철도차량정비 결과분석

코레일연구원의 차량정비최적화연구[7]에 의하면, 2005년부터 2009년까지 5년간 열차운행 중 발생된 고장 및 불량 발생 분석결과 디젤기관차의 경우 Fig. 2에서와 같이 4년 주기정비 후 발생된 39건의 고장 중 정비직후 1년 이내에 발생된 것이 26건으로 67%를 차지하였으며, 2년차 9건(23%), 3년차 0건, 4년차에 4건(10%)으로 기울기 -7.8로 줄어드는 것으로 분석되었다.

Fig. 3에서와 같이 2년 주기정비의 경우 정비 후 2년간 49건의 고장 중 정비직후 2개월 이내에 14(28.6%) 건이 발생된 것을 알 수 있다. 디젤전기기관차 뿐 아니라 전기기관차(EL), 객차(Passenger-car)에서도 정비주기별, 장치별 편차는 있으나 중정비(overhaul) 직후 고장이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 전기기관차 4년 주기정비직후 고장발생 현황과 객차 2년 주기정비 후 고장발생 현황은 Fig. 4와 같다[7].

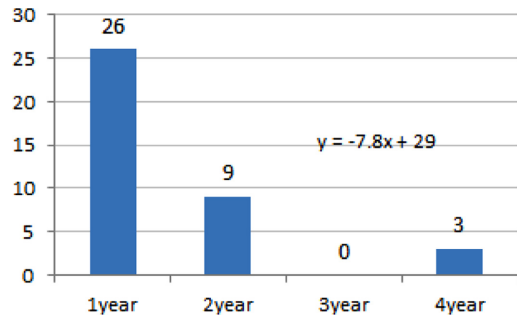


Fig. 2 DL failure modes after 4-year cycle maintenance

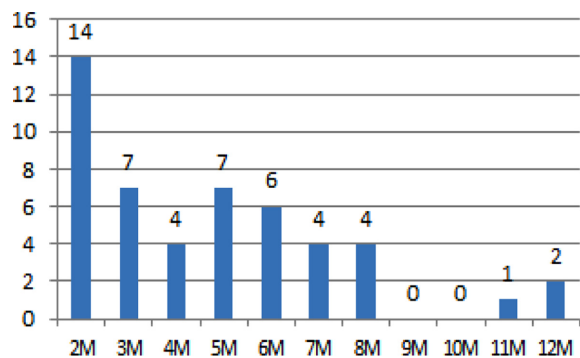


Fig. 3 DL failure modes after 2-year cycle maintenance

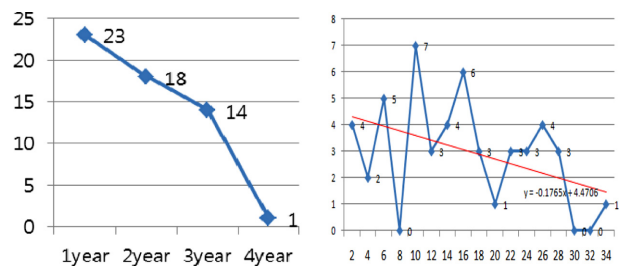


Fig. 4 EL failure modes after 4-year cycle maintenance and passenger-car after 2-year cycle maintenance

2.2.3 KTX차량 정비결과 분석

이에 비해 KTX는 운행초기 Fig. 5와 같이 초기고장이 시간이 지남에 따라 안정화 되었으며[8], 개통 후 5년 동안 ('05~'09) 축적된 고장자료를 근거로 주요부품의 정비주기 설정을 위해 223개 주요부품을 대상으로 분석한 결과 고장이 발생되지 않았거나 자료(Data)의 수가 적어 분석이 불가능한 것이 71개 품목이었고, 나머지 152개 품목 중에서도 34개 부품만 정비주기 TBO(Time Between Overhaul)를 산정할 수 있었다[9]. 이는 부품의 수명예측, 적정 예비품 확보 등 효율적인 부품관리를 위해서는 장기간에 걸쳐 데이터를 축적하고 관리하여 신뢰성분석 활동이 반드시 필요함을 의미한다.

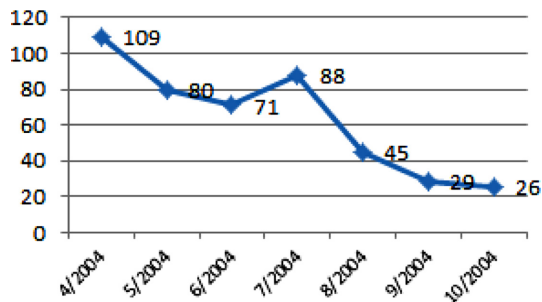


Fig. 5 KTX initial failure mode

3. 철도차량 신뢰성유지보수 RCRM

3.1 RCRM 검토 배경

한국주둔 미군이 운행하는 전차(Tank)의 정비는 과거 시간기준의 주기적인 정비에서 상태기준 정비체계를 반영함에 따라 예방정비 대상 8,000대 중 1.5%인 120대 만이 정비대상이 되었다[10]. 운행 10년차를 맞고 있는 KTX는 8년 주기의 오버홀 개념의 중정비가 시행되고 있는 단계로 향후 중정비 이후의 고장발생 형태의 분석이 필요할 것으로 판단되며, 주기적인 중정비를 시행하고 있는 일반철도차량의 경우 정기적인 오버홀을 통해 고장을 예방하고 있다는 것은 알 수 있지만, 주기적인 정비직후 고장이 많이 발생하다가 시간이 경과함에 따라 안정화되는 형태를 보인다[7].

철도차량은 LCC(Life Cycle Cost)에서 정비비용이 약 60~70% 정도라고 알려져 있으며[11], 철도운영사인 코레일에서 운용하고 있는 차량정비에 소요되는 인건비, 재료비 등의 분석 자료에 의하면 차량 종류별로 편차는 있으나 유지보수에 소요되는 비용이 차량구입 비용보다 몇 배 더 큰 것은 명확히 알 수 있다. 유지보수 비용에서 인건비(차량운영 및 경정비를 담당하는 차량사업소는 80~90%, 중정비를 담당하는 차량정비단은 65~75%임)가 가장 큰 비중을 차지하고, 유지보수에 소요되는 인력은 차량 정비주기와 직접적으로 관계된다[12].

최근의 철도차량은 시스템이 복잡해지고 첨단화 되면서 고장의 발생형태도 다양화 되었다. 철도차량의 각 장치 및 부품은 사용시간에 따라 노후화되는 것, 열차 운행거리

에 따라 마모되는 것, 사용횟수에 영향을 받는 것, 운행거리 및 시간에 관계없이 일정하게 유지되는 것 등으로 나눌 수 있으며, 현행 철도차량정비는 시간기준정비(TBM)가 많은 비중을 차지하고 있어 철도차량 각 부품의 마모 특성을 반영한 정비주기 및 방법을 설정하기 위한 RCRM의 도입이 절실히 필요하다.

3.2 철도차량의 특성

KTX 차량 계약기준에 의하면, 고장이 미치는 심각도(Severity)에 따라 치명고장, 중대고장, 경고장, 무시할만한 고장으로 구분된다.

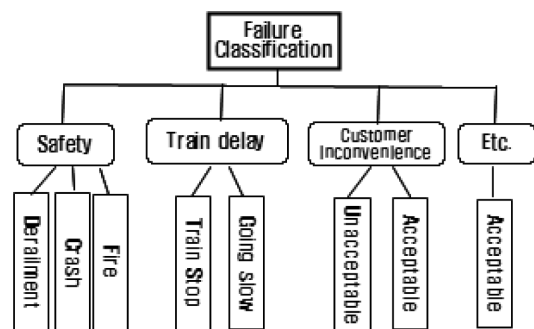


Fig. 6 Classification of railway vehicles according to device-specific characteristics

Fig. 6에서와 같이 이러한 고장분류 중 철도차량의 치명고장은 안전성(탈선, 충돌, 화재)과 관계되는 고장이며, 중대고장은 열차운행중지, 경고장은 열차지연 또는 고객서비스 불만 유발(수용불가), 무시할만한 고장은 영향이 없거나(수용가능) 미미한 고객서비스 불만으로 연계되는 고장이다.

철도차량의 구성은 안전성과 관계되는 장치로는 제동장치, 주행장치, 신호/보안장치, 화재 및 감전관련 전기장치, 운전자 보안장치로 나눌 수 있고, 열차운행 중단이나 열차지연을 유발할 수 있는 장치는 안전관련 장치를 포함하여 열차 제어장치, 동력장치, 집전장치, 승강문장치, 연결장치로 구분된다. 또한 안전성 및 열차운행에 영향을 미치지 않지만 열차 이용객에 불편을 초래할 수 있는 장치로는 공조장치, 방송장치, 조명장치, 차내 설비가 있다. 각 장치의 분류는 설계 당시의 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)분석 결과와 실제 발생하고 있는 고장의 특성을 감안하여 분류하였다. Table 1은 철도안전법 및 위험도분석(Hazard Analysis)에 근거하여 충돌, 탈선, 화재 등의 열차사고 및 열차지연 발생과 연관되는 것을 기준으로 KTX 차량정비를 담당하는 코레일의 장치별 실무 전문가의 검토와 장치별 엔지니어의 브레인스토밍을 통해 구분하였다. 장치구분은 프랑스 국영 철도회사 SNCF(Société Nationale des Chemins de fer Français)에서 적용하고 있는 7개장치 구분 방법을 참조하였으며, 장치별 안전관련 부품과 운행장애를 초래할 수 있는 부품으로 구분하였다. 분류근거는 차량제작 시 시행되는 PBS(Physical Breakdown Structure)나 FBS(Functional Break-

Table 1 Classification of KTX devices using specific characteristics

Deviation	Safety-related parts	Train delays and passenger inconvenience related parts
Movement	Wheel, Axle, Axle bearing box, Bogie frame	Speed sensor, Bogie balance sensor, Bogie related parts
Braking	Air Compressor, Braking panel	Brake indicator, Brake Cylinder, Power car tread brake unit
Onboard signal devices	ATC, ATS, ATP	Inverter/Converter, Main controller, PIC/PIR1/PIR2
Traction/ Auxiliary power	Tripod, Battery charger	TCP Contactor, PFC shut-off switch, Motor-block cooling fan, TM, Main Transformer, Condenser
Control safety device	Wireless device, Fire-detection sensor, Speedometer	Control card, ATESS, Control relay, VACMA, TECA, TPU, MPU
Electric	Ground switch, Isolation, Pantograph	Battery, Access door button, Air-conditioning system, Power car Inverter, TM cooling fan, Lighting, Broadcast equipment
Body/Etc.	Access door, Center pivot, Reduction gear, Sanding-device support	Access door lock, Inflatable seals, car-body connector, Gangway, Wiper, Headlight, Horn, Etc.

down Structure), BOM(Bill of Material) 분류 체계와 관계 없이 순수 차량운행 시 발생할 수 있는 고장 개연성을 고려하였다.

철도차량은 운용 사(社)에서 차량발주 시 시행하는 예비 위험도분석 PHA(Preliminary Hazard Analysis), 차량제작사에서 시행하는 설계과정에서의 고장유형영향분석(FMEA), 위험도분석(HA)을 통해 안전성과 관계되는 장치는 설계에 반영되어 기본적으로 안전운행조건을 충족하고 있으며[13], 운영사에서 차량을 운행하면서 번하게 되는 특성에 대해서는 신뢰성관리(Reliability Management)를 통해 정상 기능을 유지하게 된다.

3.3 RCRM 적용 방법

철도차량은 운행 중 안전과 관련되는 장치는 한 번이라도 고장이 발생하지 않아야 하며, 열차의 정상운행에 영향을 주거나 철도 이용승객에 불편을 주는 고장은 최소화가 되도록 철도차량 신뢰성유지보수 RCRM을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 주요부품의 신뢰성관리우선순위를 정하여 관리한다.

구성부품이 안전과 관계되거나, 차량 정상운행에 지장을 주거나, 고가의 부품이거나, 빈번한 교체로 비용이 많이 소요되느냐에 따라 신뢰성 관리우선순위를 정한다. 우선순위 선정을 Table 2와 같이 제시한다.

Table 2 Calculation of management priority number (MPN) of components

Parts list	Safety (S)	Cost (C)	Frequency of use (F)	MPN
0000	1~10	1~10	1~10	S×C×F
.				

MPN: Management Priority Number

차량을 구성하고 있는 단위 장치 및 부품에 안전성(safety): S, 경제성(Cost): C, 사용빈도(Frequency of use): F에 따라

10개 등급으로 나누고 해당 부품이 속한 등급의 점수를 곱하여 관리우선순위(MPN)를 정한다.

$$MPN= S \times C \times F$$

우선순서에 따라 신뢰성분석을 시행하고 분석결과를 반영하여 유지보수 주기 및 방법을 설정한다. RCM이론에서의 중요기기 FSI(Functionally Significant Item)선정과 같은 개념이다[14].

RCM활동은 반드시 시스템 전체에 적용되어야만 하는 것이 아니라 장치의 위험도와 중요도를 기준으로 시스템 내의 필요한 부분에 선택적으로 적용하여 비교적 소규모, 저비용으로도 큰 효과를 얻을 수 있다[15].

둘째, 철도차량의 정비대상이 되는 모든 부품은 열화 특성에 따라 구분한다.

철도차량을 구성하고 있는 장치 및 부품의 노화특성이 운행거리, 가동시간, 사용횟수 등에 관계되는 지를 구분하여 관리한다.

- 1) 차량폐기 시까지 분해정비가 필요하지 않은 것: O
- 2) 시간경과에 따라 특성이 변하는 것: T
- 3) 열차 주행거리에 따라 특성이 변하는 것: M
- 4) 구성 부품의 교체주기(self-life)가 정해져 있는 것: SL
- 5) 운행거리 및 운행시간에 관계없이 불특정하게 고장이 발생하는 것: NL

BOM을 활용하여 모든 구성부품을 O(operation), T(time), M(mileage), SL(self-life), NL(no life)로 구분하여 각각의 부품수명을 관리하고 정비주기 및 방법을 결정한다. 참고로 프랑스 SNCF의 부품분류체계는 Table 3과 같다[16].

셋째, 차량의 차호별 관리담당자를 지정하여 관리한다.

전동차와 고속차량 KTX와 같이 고정편성인 경우는 편성별로, 동력차, 객차와 같이 개별 차량은 차호별로 관리담당자를 지정하여 담당차량 상태를 상시 모니터링 하여 이상 유무에 따라 정비 및 운용관련 담당 부서에 관련 조치를 의뢰하는 등의 차량관리에 대한 책임과 권한을 부여한다. 이는 자가용의 차량주인과 같은 개념이며, 일반적인 정비시스

템 체계와 구분되는 것으로 차량 안전성 확보 및 신뢰성관리를 위한 이원화 시스템이다.

Table 3 SNCF Part classification system for rolling stock maintenance

Mark	Parts classification
I	Exchange spare parts
V	Spare parts showing a tendency to age expire
E	Spare parts for overhaul holding a given potential in kilometers
R	Spare parts with MKBF
T	Spare parts with MTBF subject to voltage
W	Spare parts with operational MTBF
A	Spare parts for accidental replacement

3.4 신뢰성분석 절차

신뢰성분석은 장치별 진담자에 의해 시행되며, 부품 관리 우선순위(MPN)를 고려하되 분석이 시급한 장치 및 부품에 대해 시행하고 분석절차는 Fig. 7과 같이 관리자 및 현장 정비담당자로부터 신뢰성분석 요구를 받은 사항[①]에 대해 내부 검토와 보고[②]를 거치고 해당 건과 관련한 자료를 조사한다[③]. 조사대상 자료는 설계자료, 정비지침서 및 정비절차서, 고장데이터, 과거에 시행한 조사/분석자료, 타 소속에서 분석한 자료 등 관련되는 모든 자료가 해당된다. 자료가 수집되면 각 장치 및 부품이 미치는 영향(effects), 즉, 치명도(criticality)와 노화특성(aging characteristic)을 감안하여 분석을 시행한다[④]. 필요하다고 판단되는 경우 분석과정 또는 분석종료 후 결과에 대해 토론회 및 발표회 등을 통해 의견수렴 과정을 거친다[⑤]. 의견수렴 과정을 거쳐 얻어진 최종 결과는 유지보수 주기 및 방법 변경 등의 정비정책

(maintenance policy)에 반영한다[⑥].

신뢰성담당 부서는 일반적으로 중정비 기지 또는 정비를 시행하는 차량사업소에 존재하므로 작업방법의 개선, 정비체계의 변경 등과 같이 자체적으로 반영할 사항은 차량종류별 정비기지의 신뢰성 담당부서(신뢰성분과위원회(RMSC: Reliability Management Sub-committee)에서 결정하여 정비정책에 반영하고[⑦], 유지보수 주기의 변경과 같이 정비지침을 변경해야 하거나 설계에 반영하여야 하는 사항은 최종 의사결정 상급부서(Head quarter)에 상정하여 신뢰성관리위원회(RMC: Reliability Management Committee)에서 결정하여 정비정책에 반영한다[⑧].

4. 결 론

RCRM은 철도차량의 차량 이력을 체계적으로 관리하여 차량상태에 따른 맞춤형 정비를 시행하기 위함이다. 철도차량 신뢰성기반유지보수 방안은

첫째, 차량을 구성하고 있는 주요부품을 안전성, 경제성, 사용빈도 등을 감안하여 관리우선순위 MPN을 바탕으로 신뢰성분석 활동을 시행하여 부품별 정비주기 및 방법 결정에 활용한다.

둘째, 정비대상이 되는 모든 부품은 노화특성에 따라 분류하고 분석해서 그 특성에 맞게 정비정책 및 절차를 수립하고 또한 보수품 수급에 활용한다.

셋째, 차량 및 편성별 관리책임자를 별도로 지정하여 관리의 이중화를 통해 철도차량 신뢰성을 확보한다.

또한, TBM중심의 정비주기를 개선하기 위해 장치 및 부품별 신뢰성분석절차에 따라 정비지침 및 정비매뉴얼을 상시 개정(up-date)하여 정비주기 및 정비방법을 최적화 한다.

실제 운영현장에서 발생하는 고장 및 정비관련 데이터는 비모수적(Non-parametric)으로 고장분포를 가정하기 힘든 경우가 많으므로 철도차량에 대한 기술적 경험 없이 최적의 정비주기 및 방법을 결정하는 것은 매우 어렵다. 그러므로 철도운영사의 장치별 기술력을 갖춘 전문가가 전산관리시스템 CMMS(Computerized Maintenance Management System)를 활용하여 신뢰성분석 활동을 시행하여야 한다. 안전과 관련된 장치는 고장이 근본적으로 발생되지 않아야 하는 장치, 일정한 주기로 고장이 발생하는 장치, 고장의 징후를 쉽게 판단할 수 있는 장치, 고장의 징후를 쉽게 판단 할 수 없는 장치 등으로 구분하여 그에 따른 유지보수 방법이 설계에 반영되고, 차량운행 동안 부품특성에 맞는 신뢰성기반의 정비가 시행되어야 한다.

References

- [1] KORAIL, Rolling stocks maintenance rule Article 14, Section 1.
- [2] Timothy M. Allen, 'U.S. Navy Analysis of Submarine Maintenance Data and the Development of Age and Reliability Profiles', Department of the Navy SUBMEPP.
- [3] IEC 60300-3-11, Reliability Centered Maintenance.
- [4] John Moubray (1997) 'Reliability-centered Maintenance, Indus-

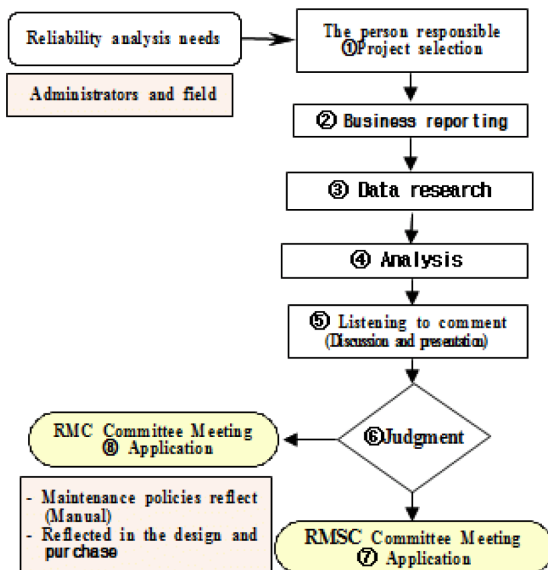


Fig. 7 Reliability Management Process

- trial Press Inc. pp.12-13.
- [5] Y.-S. Lee, K.-S. Kweon (2009) Hi-bridge TPM, KSA.
- [6] KORAIL, rolling stocks maintenance guidelines 2011-024 ho, Article 3, Section 2.
- [7] KORAIL (2010) A Study on Maintenance System Change in the Device on Vehicle-based, KORAIL R&D Institute.
- [8] Y.H. Yu (2005) A Study for the KTX reliability by MKBSF calculation, Seoul National University of Science and Technology.
- [9] KORAIL (2009) A Study on potential life cycle & TBO of KTX major parts, KORAIL R&D Institute.
- [10] S. Yeon (2011) A Study on Reduction of Military Maintenance Steps and Improvement of planed Preventive Maintenance System using the SD Model, Ph.D, Chungnam National University, pp. 51.
- [11] J.-W. Kim, K.-W. Jeong, J.-S. Park (2010) A Life Cycle Cost Model and Procedure for the Acquisition of ROLLING Stocks, ISSN 1738-6225, 13(3) pp. 257-263.
- [12] KORAIL, 2008~2010 ERP system (KOVIS) Data.
- [13] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Rail Safety Law/ Decree/ Enforce Rules.
- [14] J.-G. Kim et al. (2010) A Study on the Effective RCM Application of Railway Vehicle, Korea Safety Management and Science Semiannual, pp. 573-585.
- [15] S.-K. Sin (2006) A Study on the development of SRCM for the railway system application, Ph.D, Kwangwoon University.
- [16] G.-H. Kang (2009) Maintenance theory of high speed railway car, ROTECO, pp. 313.

접수일(2013년 4월 26일), 수정일(2012년 5월 29일),
게재확정일(2013년 6월 6일)

Yang-Ha Yu : yyh8141@korail.com

Human Resource Development Institute of Korea Railroad Corporation, 150 Beokkot-gil Daedeok-gu Daejeon, Korea

Nak-Young Lee : nylee@cnu.ac.kr

Department of Information & Statistics, Chung-Nam National University, 99 Daehak-ro Yuseong-gu Daejeon, Korea