

철도차량 유지보수 체계 구축

Establishment of the maintenance system for rolling stock

이명호*

Lee Myeong-ho

이현중**

Lee Hyun-jong

권정원***

Kwon Jeong-won

Abstract

From the moment that electricity is applied to a relay, a wheel turned, or a valve opened, the process leading to the need for maintenance begins. The uninitiated will tell you that the Maintenance man is someone who repairs something when it has gone wrong. Unfortunately, in any large engineering concern, such as a railway, it is not possible to work on the principle that only when something breaks down should it get any attention. The failure of one contact, diode or bearing could well stop not only the assembly of which it is a part, but the flow line or process, with loss of revenue, and clientele, and often with effects on the safety of both staff and the traveling public. So, we have to establish the reliable and cost-effective maintenance system to resolve these problems.

1. 서론

철도의 역할은 선로, 차량, 전기등의 많은 설비를 사용하여 승객, 화물 등을 안전하고 정확하게 수송하는 업무로서, 안정된 수송을 확보하기 위해서는 이들 설비가 항상 정상적으로 가동하는 것이 중요하다. 특히 차량은 수송에 직접 관계하는 설비로서, 고장이 발생하면 즉각 수송에 영향을 미치게 되므로, 승객에 대한 서비스 저하를 방지하기 위해서는 차량의 높은 신뢰성이 요구된다. 일반적으로 높은 신뢰성을 효율적으로 유지하기 위해서는, 설비의 사용조건을 고려하여 설계, 제작, 사용의 각 단계에서 가장 유효한 방안을 확립하는 것이 필요하며, 철도 차량과 같이 장기간에 걸쳐 사용하는 설비에 대해서는 그 기능을 유지해 가기 위한 정례화된 정책이 필요하게 된다. 이와 같이 차량을 운행하면서 기능을 유지하기 위한 업무가 일반적으로 유지보수 또는 검수업무로 불려진다. 이러한 검수업무는 고장의 발생정도(신뢰성) 외에, 고장의 검지방식, 검사설비, 기술력(경험, 교육, 훈련)등 관련범위가 광범위하여, 정책 계획 시에는 이들을 종합적으로 검토하여 가장 효과적인 정책을 수립하는 것이 필요하다

2. 유지보수 체계

2.1 예방정비와 사후보수

유지보수방식을 구별하면 정해진 순서에 따라 계획적으로 점검,조정,시험 등을 시행하여 고장을 사전에 방지하는 예방 정비,고장 발생 후에 행하는 사후보수로 나눌 수 있다. 예방정비는 사후보수와 비교하여 일정한 기간동안만 놓고 보면 비경제적이라고 말할 수 있다. 그러나, 고장으로 인한 부품 및 조립체의 수명단축, 교체 및 시스템 운영관점에서 보면 예방정비 비용보다 훨씬 많은 비용이 소요될 것이다.

2.2 체계구축을 위한 사전 고려사항

- 1) 유지보수를 고려한 제품설계: 높은 신뢰도 및 유지보수성을 가진 제품설계
- 2) 유지보수 대상과약: 대상물의 사양, 성능, 구조 및 구성품 등
- 3) 사용조건 고려: 환경적,물리적 요인 및 운영시간 등
- 4) 유지보수 주기 및 횟수 결정: 제작사 추천주기 및 운영사의 경험치의 조화
- 5) 가용성 저하방지 : 유지보수로 인한 운영서비스 저하방지를 위해 적절한 예비설비 확보

* (주) 로템 시스템엔지니어링팀 선임연구원

** (주) 로템 시스템엔지니어링팀 책임연구원

*** (주) 로템 시스템엔지니어링팀장

2.3 유지보수 체계의 구축

2.3.1 유지보수 업무의 형태별 분류

예방차원에서의 차량의 유지보수는 세 가지의 형태로 나누어질 수 있다.

- 1) 1단계 유지보수(First Line Maintenance): 편성상태 차량에 대해 수행되는 경정비에 해당되며 현장에서 차량의 육안점검, 기능검사 및 조정, 소모품 및 마모품류의 교체이다.
- 2) 2단계 유지보수(Second Line Maintenance): 중정비에 해당되며 수명이 다한 부품, 정비가 필요한 장치 등을 신품 또는 수선 완료된 부품으로 교환하는 일을 의미한다.
- 3) 3단계 유지보수(Third Line Maintenance): 부품별 중정비에 해당되며, 기능별로 분류된 부품 작업장에서 행해진다. 전문적으로 부품에 대한 청소, 기계적 수선, 부품 제작, 시험 및 조정 등이 이루어진다. (외주계약에 의해 처리될 수 있음.)

유지보수의 3가지 유형은 대상장비의 특정한 필요조건을 만족하기 위해 선택되며, 적절히 선택하여 수행하게 되면, 예방정비로 인한 차량의 휴차시간(Down time)을 최소화 할 것이며 이는 위 유지보수 단계를 결정하는 직접적인 요인이다.

2.3.2 유지보수 대상장치별 작업항목 분류

유지보수 체계를 수립하기 위해서는 작업할 내용의 명확한 구분이 필요하다. 이것을 위해서 유지보수 대상물을 그룹으로 나누어, 주요 구성품 및 하위 구성품 그리고 그것의 부품들로 각각 분류한다. 또한 작업항목과 횟수를 확립한다. 이러한 작업은 기 사용했던 유사 장비의 축적 데이터, 유지보수 팀의 실제경험 그리고 제작사의 제시사항에 근거하여 작성된다.

2.3.3 작업 항목별 주기 조정 및 작업계획서 작성

장치별로 유지보수 작업이 정리되면 각 Item별 주기를 절충하여 일반적인 검수 주기가 되도록 합리화 작업을 한다. 즉, 유사주기 Item별로 묶어서 동일한 주기에 그 항목들을 함께 유지보수를 수행할 수 있도록 한다. 이러한 합리화 작업을 통해 검수종류별 작업계획서가 완성된다. 도표 1.2는 검수주기의 합리화 작업에 대한 예를 보여준다. 작업계획서는 초기고장을 고려하여 다소 보수적으로 주기를 정하게 되며, 향후, 누적 데이터 및 실적 등을 통해 점진적으로 개선될 수 있다. 이러한 작업계획서 작성시 주의할 점은 다음과 같다.

- 1) 장치별로 다양한 검수 주기들을 몇 개의 주기로 통합하여 계획서 작성
- 2) 가능한 한 최소주기의 배수들로 검수주기를 통합하여 관리상의 용이성 확보
- 3) 입증된 실적 없이는 짧은 주기의 검수항목을 긴 주기의 작업과 통합하면 안됨
- 4) 입증되지 않은 항목들의 인위적인 추가는 최소화 해야 함

도표 1.1 검수주기 통합 예

장치	작업내용	유지보수표 주기	작업계획서 주기
출입문	개폐동작, 육안점검	매일	매일
조명장치	실내등, 전조등 육안점검		
차륜	차륜찰상 및 이상 마모점검	1주	1주
기초제동장치	제동 shoe 와 Disc 간격 점검	2주	
бат터리	전해액 점검 및 보충	3 개월	3 개월
냉방장치	필터교체 및 청소	4 개월	
전면창 wiper	Wiper blade 교체	9 개월	9 개월
주행기어BOX	오일 교체	10 개월	
공기압축기	오일 교체	18 개월	18 개월
밀착연결기	기능점검 및 조정	20 개월	
윤축	축상베어링 분해검수	3년	3년
현수장치	공기스프링 분해검수 및 시험	4년	

2.3.4 항목별 소요인력

차량의 전반적인 유지보수 항목 분류가 완성되면 소요인원, 기술수준 및 작업 소요시간 등의 관점에서 각각의 작업항목을 검토해 볼 필요가 있다. 이렇게 함으로써, 각 업무에 따른 기술 총 소요 man-power를 산출할 수 있다. 이것을 이용하여 각각의 기술분야에 필요한 인력 소요량을

정한다. 이것은 다른 측면에서의 검토가 필요한데 즉, 그것은 작업장의 적재량과 작업량의 결정, 2교대 혹은 3교대의 교대 근무체계가 필요한가를 확인하는 것이다. 이렇게 계획된 작업별 소요공수 및 소요시간 등은 이를 입증하기 위한 단계가 필요하며 따라서, 실제로 계획된 대로 검수작업을 직접 수행 함으로써 소요시간 및 소요인원 등에 대해서 확인 및 조정을 행한다.

2.3.5 비정기적인 유지보수

운행 중 우발적인 고장 발생 및 고장 발생 우려 시에는 정기적인 검수가 아닌 비 정기적인 유지보수가 시행된다. 이 경우 해당장치, 또는 부품의 고장원인 분석 및 효과에 대해서 충분히 분석하고, 그 경우에 적절히 대응해야 한다. 또한 그러한 일련의 과정을 기록하고 그 데이터를 분석하여 향후 유사한 고장조치 및 고장예방에 활용토록 한다. 필요 시 설계변경을 통한 장치의 Up-grade도 한 방법이 될 수 있다.

2.3.6 검수작업의 분배 (Balancing)

검수주기별 작업내용을 조사하면 전체 작업 부하량은 그림 1.1과 유사한 형태가 된다. 수직축의 크기는 작업을 수행하기 위해 필요한 인력과 작업 소요시간에 비례하는 작업 부하량을 나타낸다. 매 3개월, 9개월, 18개월마다의 작업을 A, B, C작업으로 규정한다. B작업에는 A작업을 포함시키지만 B작업만의 특징적인 요소를 갖고있다. 유사한 방법으로 상위작업에 적용한다. 이렇게 구성된 계획은 차량의 유지보수 소요시간 및 소요인원 등이 다양하게 나타난다는 단점이 있다. C작업에 대한 작업자는 그 작업에 국한된 기술자이며 또한 매일 그 일을 행하는 것이 아니다. 따라서 C작업이 수행되지않는 동안 상응하는 다른 일들을 찾아야 한다. 만약, 차량의 수가 많다면 C작업에는 문제가 없으나 상위검사 작업인 D나 E 작업에 또다시 이런 문제가 발생한다. 작업 B와 C의 검사항목은 서로 완전히 독립적이고 B1, B2, B3, C1, C2, C3. . . Cn 등으로 나누어질 수 있는 요소들로 표현할 수 있다. 이것은 아래 그림 1.1 을 그림 1.2와 같이 변형된 것으로 나타낼 수 있다.

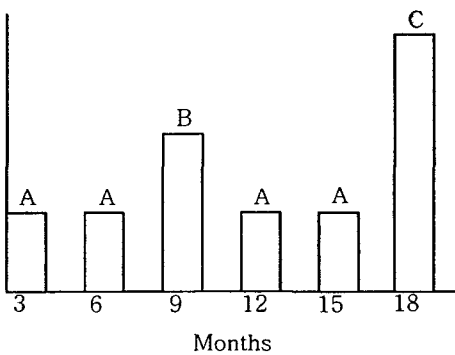


그림1.1 검수종류별 작업 부하량

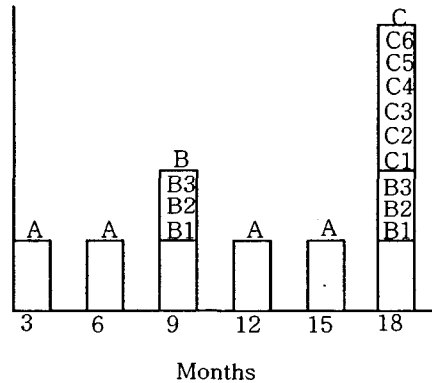


그림1.2 작업 부하량의 세부항목 구분

B와 C작업의 하부 요소들은 그림 1.3과 같이 작업의 균일한 상태를 위해서 재배열 할 수 있다. 분포도의 각 요소들은 같은 합산된 높이를 가지며 일정한 작업시간 및 인력을 필요로 한다.

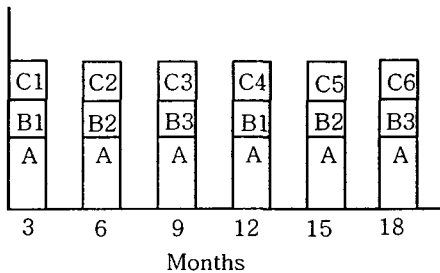


그림1.3 작업부하량의 분배 (Balancing)

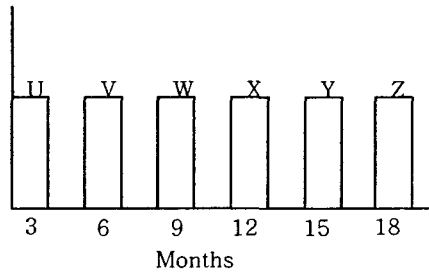


그림1.4 검수체계의 최종형태

최종적인 작업체계의 형태는 그림 1.4와 같이 될 것이다. U부터 Z까지의 6개 요소 각각은 분리된 작업량을 나타내며, 이 요소들은 각각 자체적으로 작업주기를 갖게 된다.

이들 요소들은 정확한 교대규칙에 의해 진행되는 것은 물론. 공구, 계기, 치공구, 시험장비뿐만 아니라 어떤 작업자가 일에 투입되어야 하는 것이 결정되어야 한다. 상기와 같은 행위를 검수작업의 Balancing 이라 하는데 검수작업 자체만으로 Balancing이 어려울 경우 편성 상태를 독립적 운영이 가능한 Unit별로 구분하여 Unit별 Balancing 작업을 수행하기도 한다. 홍콩 MTRC 전동차의 경우가 좋은 예로 8량 편성의 전동차를 3개의 Unit으로 구분하여 검수작업을 시행하고 있다.

2.3.7 민감도 테스트

유지보수관리자가 직면하고 있는 주요한 문제점은 가능한 한 최대한의 검수주기를 정확히 확립하는 것이나 이러한 주기를 확립하면서, 장치에 대해 안전성, 신뢰성 저하가 없어야 한다. 이러한 요인들을 만족하기 위해서 어떤 한 Unit를 선정하여 조금씩 검수주기를 늘려가면서 민감도 테스트를 수행한다. 그 선정된 Unit는 안전상, 신뢰도상의 저하가 측정되는지를 확인하기 위해 면밀히 관찰하며 저하치가 발견되면 그 시점에서 그 Unit에 대한 테스트는 중단된다. 이렇게 검수체계는 정제된 것이 아니라 항시 개선되어 정착되어가는 유동적인 체계이다.

3. 유지보수시설

과거 많은 철도운영기관에서는 유지보수시설이 비계획적으로, 주변시설과 상관없이 확장되어 왔다. 각 시설물은 단계적 필요에 의해 설치되어 졌다. 반면에 신규 철도운영기관에서는 작업형태가 흐름작업의 관점에서 이루어지고 있고, 일반적으로 기존의 작업공간을 효율적으로 사용하는데 성공하고 있다. 또한, 설비측면에서도 기존의 3D 작업에 대한 장비화, 작업공수를 절감하는 자동화 등이 도입되어 유지보수 업무의 효율성 증대 및 작업자들의 근무의욕도 높아지고 있다.

3.1 검수공정

유지보수 시설물을 적절히 배치하려면 우선적으로 검수공정에 대한 검토가 필요하다. 검수공정에는 전체적인 작업의 흐름 및 단위 작업별 작업절차 등이 있다. 차량기지 Lay-Out 이나 개별 작업장의 배치에는 전체적인 작업흐름에 대한 이해가 필요하며 작업장내의 설비 배치는 단위작업별 업무흐름에 대해 숙지해야 한다.

3.2 시설 규모

단계적인 차량증가에 맞춰 예상 작업량을 산출하여 해당 시설규모를 계획해야 하며, 초기 투자 비용을 절감키 위해 단계별 건설도 고려되어야 한다. 이때에는 차량기지 내에 여유부지 및 유틸리티의 확장 여유분 등도 함께 고려해야 한다.

3.3 시설배치

차량기지의 전체적인 배치를 결정 시에는 우선적으로 기지가 건설될 부지여건 및 부지형상 등을 고려해야 하며, 전체적인 작업흐름에 방해가 되지 않도록 각각의 시설물들을 배치하여야 한다. 이때에는 각 시설물의 기능 및 연계성 등이 고려 되어야 하며 특히, 차량 및 작업자의 안전과 이동동선의 최소화를 우선적으로 고려하여 건물 및 궤도 등의 배치가 이루어져야 한다. 개별작업장의 경우 흐름작업이 되도록 구성하되, 작업연계성 및 작업환경까지도 고려하여야한다.

3.4 검수장비

검수대상 및 관련 검수작업에 대해 충분히 이해하고 그러한 작업이 충분히, 효율적으로 가능토록 검수 설비 사양을 결정하고 적정수량을 확보하여 작업 효율성은 물론 불용장비가 생기지 않도록 하여야 한다.

4. 유지보수 운영

4.1 소요인력 확보 및 조직 구축

규정된 각각의 작업들을 위해 적절한 기술수준을 갖춘 인원의 채용 및 훈련이 필요하다. 전체적인 작업공수가 산출되면 표준작업시간을 근거로 소요인원이 결정된다. 인원수 산정시 주의할 점은 비정기 검사를 위한 인원은 물론이며, 작업자의 교육, 훈련, 년·월차 등에 따른 작업결손 등도 함께 고려되어야 한다. 또한 근무교대방식에 따른 인원수 증가도 주요 변수 중 하나이다. 유지보수 운영조직은 운영기관마다 차이가 있고, 운영기관의 정책에 의해 조정될 수 있으나 기본적으로

로 직접 작업을 수행하는 부분, 기술관리 및 기술지원 부분, 품질, 안전, 자재 관리 등의 간접업무 부분, 인사, 회계, 총무 등의 일상 업무지원 부분 등의 4개 부분으로 나눌 수 있다. 특히, 최근에는 환경 및 안전과 관련하여 요구조건 등이 강화되고 있어 상기 조직 중 간접업무부분의 역할이 중요해지고 있다.

4.2 근무교대 방식

검수 업무의 성격상 24시간 내내 검수업무가 필요한 경우, 적절히 교대근무를 수행해야 한다. 이 경우 해당지역의 근로조건 및 운영기관의 정책 등이 고려가 되어야 하며, 야간작업에 따른 수당지급도 고려 되어야 한다. 국내의 운영기관의 경우, 대부분의 도시철도에서는 3조 2교대 방식을 적용중이나, 철도청의 경우 전통적으로 2조 맞교대 방식을 선호하고 있다.

4.3 교육 훈련

철도시스템의 도입을 계획하고 있는 도시에서는 기술훈련 계획이 신속하게 준비되어야 한다. 장비제작사의 기술교육은 물론이며 그외 관련 기관의 교육훈련이 필수적이다. 특히, 철도 시스템과 관련해서 신속하게 특정한 기술훈련 등을 수행하기 위해 유지보수관리자와 철도운영기관의 훈련 및 개발부서, 지역의 기술훈련센터 등과의 긴밀한 협조체제가 구축되어야 한다. 이론교육 및 현장실습이 구분되어야 하고, 교육자들의 평가를 통해서 교육적 만족도 및 재교육 필요성을 판단해야 한다.

4.4 철도차량의 외주계약

유지보수 업무 중 운영기관의 필요에 따라 외주처리를 할 수가 있는 데 작업에 대한 외주계약의 가능성은 계약조직의 기술수준, 실적, 수행한 일의 적합성등에 따른다. 엘리베이터 등과 같은 범용시설의 경우, 유지보수를 할 수 있는 회사들이 많다. 그들은 자신의 공장 또는 특정지역에 그 작업을 위한 인원 및 시설들을 갖추고 있다. 그러나, 철도차량의 경우에는 일반적으로 그러한 기술들이 보편화 되어있지 않으며, 거액의 시설투자가 필요하다. 따라서 외주계약이 가능하기 위해서는 그 지역에 관련 유사업종의 회사 및 인원 등의 파악이 필요하다. 외주계약자의 시설투자 부담을 줄이기 위해 고가장비에 대해서는 운영기관이 구입하여 대여하거나 작업인원 들에 대해서만 외주처리를 할 수도 있다. 유럽과 같은 철도 선진국의 경우는 이러한 유지보수업무 외주계약이 보편화된 상태이며, 단순히 유지보수업무 뿐만 아니라 전체적인 철도운영까지도 계약에 의해 수행되고 있다. 그러나 국내의 경우는 아직 주변여건 등이 성숙되지 못한 상황이다.

4.5 자재관리

모든 품목은 면밀히 조사되어야 하는데, 어떠한 부품의 제한된 수명, 또는 예측수명은 무엇인가, 예측마모비율을 갖는 것, 상위 조립 체와 비교되는 수명을 갖는 것, 전체시스템 보다 훨씬 더 긴 수명을 갖는 것 등을 확립하기 위함이다. 설비의 가동을 완전히 멈춘 상태로, 단품 교체가 아닌 모듈 또는 조립 체의 교체비용과 비가동 시간에 따른 비용과의 경제성비교가 필요하다. 그리고 운용중인 전체수량을 근거로, 품목가격, 크기와 중량, 보관비용, 주문량, 물량확보 소요시간, 비축되어야 할 부품들의 양을 반드시 결정해야 한다. 저장되어야 할 예비품은 소모품들(예를 들어 브레이크 shoe)로부터 특별한 상황이 아니면 필요하지 않은 보호용 예비품(예를 들어 cab end)까지 다양한 예비부품 항목이 있다. 예비 부품들의 대다수는 두 개의 부류로 나뉘어 지는데, 첫 번째는 수리되거나 다시 고칠 수 있지만 그렇게 함으로써 가격이 효율적이지 못한 낮은 가치의 부품들과 두 번째는 수리하는 것이 더 비용이 싼 조립체 상태의 예비품으로 구성되어 있다. 이 그룹에는 필요한 예비품들의 수량을 결정하기 위해서 공학적인 접근방식과 재정적인 판단이 필요하다. 고려되어야 할 요소들은 차량의 모든 조립 부품들의 수, 연간 이용률, 정비 시간 그리고 고장이 발생하는 평균주기, 정확하게 평가할 수 있는 제품수명이나 예측 가능한 교환 주기를 갖는 조립 부품들의 파악이 필요하다.

4.6 검수정보시스템

과거 수작업에 의해 기록, 정리되던 많은 정보들이 전산시스템을 활용하여 수월하게 기록, 정리 됨으로써 사용효율 및 데이터 활용성을 높인 것이 검수정보시스템이다. 이러한 데이터의 축적 등으로 유지보수 계획, 검수 주기, 작업량 및 교대횟수등에 조정이 이루어 질 수 있으며 창고의 재고관리뿐 아니라 부품 소비의 관찰과 잠재적인 고장발생이 일어나기 전에 정지시키는 것도 가능하다. 정보시스템은 매월 리포트, 시간 활용도표, 부서 소비관리 도표, 다양한 수행지침의 관리 등도 가능하다. 정보시스템의 또 다른 장점은 확장성이 좋아 운영상 필요한 기능들을 추가하여 바로 현업에 사용이 가능하다.

4.7 안전관리

안전은 프로젝트 초기단계부터 대부분의 제품설계와 밀접하게 연관되어 적절하게 반영되고 있다. 그러나 안전은 관련 종사자들이 끊임없이 육성 발전시켜야 한다. 안전을 위해 고안된 기구들이 언제나 사용할 수 있게끔 준비되어 있음에도 사고는 작업자의 정신적인 해이감에서 발생한다. 따라서 유지보수관리자는 그가 맡은 구역의 모든 요구 조건들을 면밀히 검토하여 안전사고 방지에 최선의 노력을 기울여야 한다.

4.8 Life Cycle Cost

시설물을 건설하여 이용하기 위해서는 계획·설계·건설·운영관리 및 폐기에 이르는 각각의 단계에서 비용이 발생한다. 총 수명주기 비용(LCC ; Life-Cycle Cost)이라는 것은 시설물의 수명기간 동안에 필요한 모든 비용을 의미한다. 모터카나 기관차와 같은 주요 장비를 운영 및 유지하는 비용은 장비의 수명기간동안 소요된 비용 측면에서 보면 개발 및 제작비용의 약 3배 정도로 보고 있다. 그러나 잘못된 유지보수관리는 이 비용을 훨씬 더 늘어나게 한다. 적합한 유지보수 체계, 검수시설 등을 사용하고 가장 유용한 수준의 유지보수인원 산정, 특별한 필요성에 맞도록 훈련계획 확립, 이러한 모든 측면을 현대적 경영 기법 및 도구를 이용하여 통합함으로써 우리는 가장 효과적인 비용에 신뢰할 만한 철도시스템을 구축할 수 있다. 즉, 가장 중요한 결론은 유지보수가 철도차량의 총 Life Cycle Cost에서 매우 중요하다는 것이다.

5. 결론

앞서 서술한 내용들은 유지보수체계 구축을 위한 전형적인 형태를 보여주고 있다. 반면에 최근에는 상기한 내용들을 보다 체계적이고, 정량화 시킨 관리기법 등이 도입되고 있다. RAMS (신뢰성 Reliability, 가용성 Availability, 유지보수성 Maintainability, 안전성 Safety) 및 RCM (신뢰성 중심의 유지보수 Reliability Centered Maintenance) 등이 그 예인 데 RAMS 기법을 활용한 제품의 설계 및 제작, RCM 기법을 도입한 효과적인 유지보수 체계의 구축 등이 보편화되고 있는 추세이다. 또한 LCC 기법을 폭 넓게 적용하여 제품의 개발, 운용, 폐기 전 단계에 걸쳐 수명주기 비용을 고려한 정책 결정이 이루어지고 있다. 이미 철도 선진국에서는 유지보수의 효율성 및 관심증가로, 그 효과 및 신뢰도를 향상시키는 각종 방법들이 적용되고 있으며 상당한 효과를 얻고 있다. 이에 우리나라도 철도 유지보수에 깊은 관심이 필요하며 가능한 부분부터 개선 필요한 사항을 적용하여 경제적이며, 신뢰도 높은 유지보수체계를 구축 하여야 하겠다.

참고문헌

1. 민성기외 (1995) "시스템 공학", chapter 17 수명주기비용 p241~p253
2. 서울대학교경영대학 경영연구소(1994)"서울특별시 도시철도공사 조직및 인력관리 체계연구", 요약편 p1~p37
3. 서울특별시지하철건설본부(2000) "서울지하철9호선 기본설계보고서(차량검수)", 2편 검수분야
4. John Moubray(1997) "Reliability-centered Maintenance", Chapter 11 Implementing RCM recommendation
5. Doc Palmer(1999) "Maintenance Planning and Scheduling Handbook", Chapter 6 Basic Scheduling
6. Hongkong MTRC(1998) "Contract 651 Rolling Stock Particular Specification" vol. 2of3, Chapter 25 System Assurance, Chapter 26 Maintenance Requirements
7. Hongkong MTRC(1998) "Rolling stock Maintenance Specification"
8. Ansaldo Transport(1997) "Life Cycle Cost Model for Rolling Stock(Copenhagen-Minimetro)"