

TPM에서 RCM의 개발과 적용에 관한 연구

A Study on the Development and Application of RCM in TPM

유정모*, 유대영**, 이진식***
J.M. Yoo, D.Y. LYU, J.S. LEE

Abstract

Nowadays, the production facilities have been rapidly automatized and became more complex to the point of involving many unfamiliar modes. Therefore, the effectiveness of both the TBM and CBM would be lessened during especially the random failure period, the longest period of time in so-called "bathtub curve".

Recently, the RCM is newly proposed as an optimum approach for this period which may logically select the most appropriate and effective maintenance method.

This study is to focus on the RCM development procedure and its application.

A comprehensive compilation and review is presented of the information and some successful cases available on the RCM application.

In order to introduce the RCM to the production facilities and to make a its great success, the several remarks stated below should be preceded and performed; (1)Basic education on RCM concept (2)Preparation of basic data (3)Analysis of functional failure (4)Failure analysis based on FTA or FMEA (5)Selection of the most appropriate maintenance method through LTA (6)Comparison of RCM method with current maintenance method (7)Construction of RCM system.

For the effective development and implementation of the RCM, the following have to be emphasized; (1)The level of award for TPM excellence (2)Top manager's and staff's concrete comprehension on RCM (3)The establishment of mutual cooperation system among facility, design, construction, operation and maintenance department (4)The standardization of RCM interpretation on familiar facilities (5)From part reliability to system reliability

* 전주공업전문대학 공업경영과

** 전주공업전문대학 금형설계과

*** 전주대학교 산업공학과

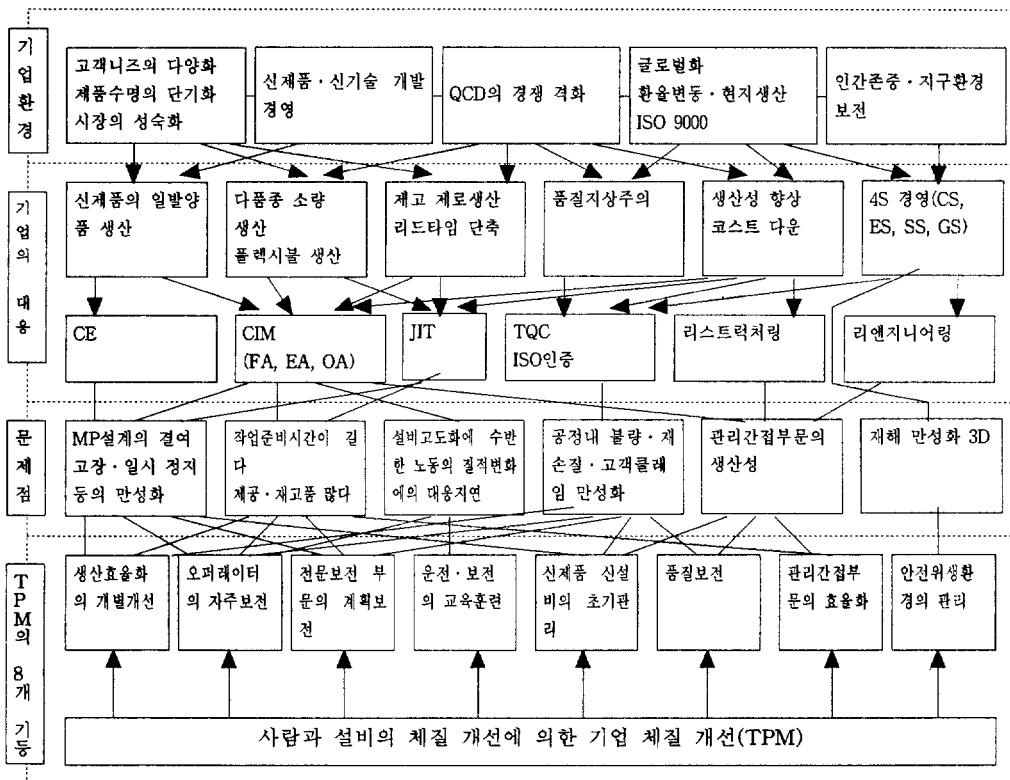
1. 서 론

세계무역기구(WTO)체제의 출범과 함께 전 세계의 모든 기업은 생명체(Going Concern)를 유지하기 위해 필사적으로 경영혁신을 추구하고 있다. 기업을 둘러싸고 있는 환경은 고객 요구의 다양화, 제품수명의 단기화, 시장의 성숙화, 신제품·신기술의 개발경쟁, QCD(Quality, Cost, Delivery)의 경쟁, 글로벌화(Globalization), 환율변동, 현지생산의 증가, ISO 9000에 의한 품질보증의 요구 및 ISO 14000에 의한 환경보전에 대한 요구, 제조물 책임법(PL법)의 강화 등으로 점점 그 강도를 더해가고 있다.

이에 대한 기업의 대응으로서 신제품의 일발양품생산, 다품종 소량생산, FMS에 의한 생산, 재고제로, 생산지향, 리드타임의 단축, 품질지상주의, 생산성향상 및 코스트 다운, 4S(CS, ES, SS, GS) 경영 등을 지향하고 있다. 그리고 이것들을 달성하기 위한 경영혁신활동으로 CE(Concurrent Engineering), CIM, JIT, TQC, ISO 인증, 리스트럭처링, 리엔지니어링 등으로 대처해 가고 있다[1].

특히 한국, 일본 등의 많은 기업에서는 고임금화의 진전에 대응하여 설비의 기계화, 자동화, 라인화를 추구하여 왔으며, 또한 전자기술의 발달은 메카트로닉스 설비의 개발을 촉진시키고 있다. 이

[그림 1] 경영혁신의 진전과 TPM의 필요성



리한 제조설비의 기계화, 자동화, 라인화 및 메카트로닉스화 생산현장에서는 일반적으로 MP(Maintenance Prevention) 설계의 결여, 고장·일시정지 등의 만성화, 작업준비시간이 길며, 재공품·재고량이 많고, 설비의 고도화에 대응하는 노동의 질적 변화가 지연되며, 공정내 불량·재손질 및 재해의 발생 등 많은 문제들을 안고 있다. 이와 같이 다양한 문제점들을 철저히 배제하고 경영혁신의 기반을 구축하기 위하여 TPM을 도입하여 실시하는 기업이 늘어나고 있다. 이러한 사항을 정리해 놓은 것이 [그림 1][2]이다.

TPM은 '사람과 설비의 체질개선'에 의한 기업의 체질개선을 통하여 기업의 생존·발전을 추구하는 혁신활동의 하나이다. TPM은 생산효율화의 개별개선, 오퍼레이터의 자주보전, 전문보전부문의 계획보전, 운전·보전의 교육훈련, 신제품·신설비의 초기관리, 품질보전, 관리간접부문의 효율화, 안전·위생·환경의 관리 등 8개의 핵심활동으로 전개된다.

본 연구에서는 이같은 TPM의 8가지 활동 중 계획보전의 단계에서 가장 효과적인 방법으로 부각되고 있는 RCM(Reliability Centered Maintenance)의 개발 절차를 분석하고, 이에 대한 적용사례를 고찰하여, RCM을 개발·적용하려는 기업에게 그 절차와 방법을 제시하고자 한다.

2. TPM의 계획보전과 RCM

2.1. 계획보전의 개념

생산활동을 효율적으로 하기 위해서는 생산시스템(설비)이 일정한 신뢰도 아래 가동하는 것이 필요하며, 이 신뢰도를 효율적으로 확보·유지하는 활동이

보전활동이다. 보전활동은 계획적으로 추진하는 것과 돌발고장에 대응하는 비계획적인 것으로 나눌 수 있다.

계획보전의 목적은 설비의 설계·제작·설치로부터 운전·보전·폐기에 이르는, 즉 설비의 라이프사이클에 걸쳐 설비자체의 코스트(Initial Cost)와 운전·보전 등의 유지비(Running Cost), 설비의 열화에 의한 손실 등의 전체 코스트를 낮춤으로써 기업의 생산성을 높이는데 있다[3].

보전활동의 효율성을 나타내는 척도로서 可用度(Availability)가 사용된다. 이 가용도에는 고유가용도(A_t)와 달성가용도(A_a)가 사용되며, 이들은 다음 식으로 표현된다[4].

$$A_t = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

$$A_a = \text{MTBM} / (\text{MTBM} + \text{MTTM})$$

여기서 MTBF: MEan Time Between Failure

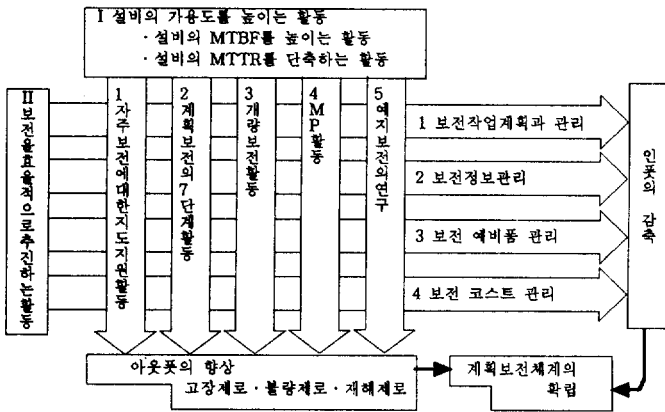
MTTR: Mean Time To Repair

MTBM: Mean Time Between Maintenance
(PM과 BM을 포함)

MTTM: Mean Time To Maintenance

계획보전체제의 확립이란 이와 같이 생산시스템(설비)의 신뢰성(Reliability)과 보전성(Maintenability)을 향상시켜 설비의 가용도를 높이고, 이들 활동이 효율적으로 추진되도록 관리활동이 유기적으로 결합된 체계를 만들어 내는 것이며, 이러한 관계를 정리하면 [그림2][5]와 같이 된다.

[그림 2] 계획 보전 시스템의 개념



2.2. 계획보전활동의 추진

계획보전활동의 초점은 ‘고장제로’이며, 이는 제품불량, 가동률 저하, 재해의 발생을 제로화하는 TPM의 관건이 되고 있다. 생산현장에서는 ‘고장제로’의 달성을 위해서 설비의 기본기능, 구조·매카니즘 등의 각종 특성조사와 과거의 고장해석을 통하여 설비고장대책의 중점을 관리하고 있다. 이러한 활동내용을 정리하면 [그림 3][6]과 같다.

그러나 상기 그림의 ‘고장 대책 5가지 중점항목’의 활동은 매우 방대하여 보전부문의 계획보전만으로 할 수 없으므로 설비의 설계·제조부문 및 운전부문의 자주보전과 병행해야만 효과를 얻을 수 있다.

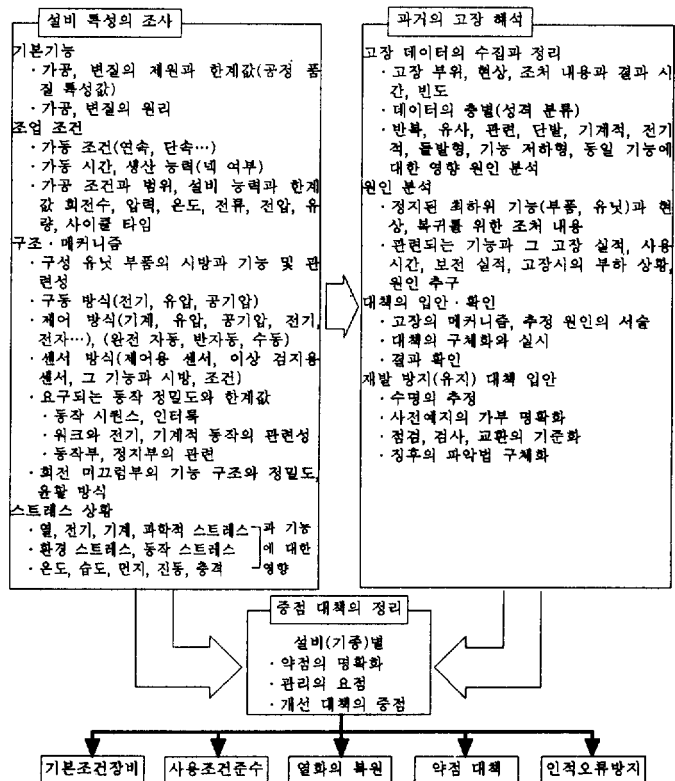
계획보전은 TPM의 특색 중의 하나인 단계별로 추진

되며, 설비중심 또는 부품중심으로 자주보전의 7단계와 병행하여 추진된다. 이들의 관계를 정리한 것이 <표 1>[7]과 같다.

설비중심의 계획보전과 부품중심의 계획보전 중의 선택은 설비의 대수, 설비의 열화상태, 보전인원, 보전기능의 수준, 자주보전의 수준 등을 고려하여 결정한다. 설비를 모델로 한 계획보전은 설비단위로 고장제로를 추구하는 것이며, 부품모델은 어떤 설비에나 공

통으로 사용되는 부품과 개개 설비에만

[그림 3] 고장 해석과 중점 대책의 관련



전용으로 사용되는 전용부품단위로 계획 보전을 추진하는 것이다.

계획보전에서 RCM은 [그림 6][12]에

<표 1> 계획 보전 7단계 활동

단계	계획 보전 (중점 부품 모델)	계획 보전 (설비 모델)	자주 보전
1	중점 부품의 선정	기본 조건과 현상의 차이 분석	초기 청소 (청소·점검)
2	현상 보전 방법의 개선	기본 조건과 현상의 차이 대책	발생원·곤란 부위 대책
3	보전 기준의 작성	기본 조건 기준의 작성	자주 보전판 기준의 작성
4	수명 연장 약점 대책	수명 연장	충정점
5	점검·진단의 효율화	점검·정비의 효율화	자주 점검
6	설비 종합 진단	설비 종합 진단	표준화
7	설비의 극한 사용	설비의 극한 사용	자주 관리의 철저화

2.3. 계획보전과 RCM

계획보전에 사용되는 보전방식에는 기본적으로 정기보전, 예지보전, 사후보전 및 개량보전방식이 있으며 <표 2> [8]와 같이 각각의 특징이 있으므로 상황에 적합한 방식을 선택하여 사용해야 한다.

계획보전 활동의 목표인 고장제로를 달성하기 위해서는 전문적인 바와 같이 설비의 신뢰성·보전성 확보와 더불어 자주보전성, 조작성 및 안전성에 관계된 활동이 전개되어야 하는데 이러한 활동과 관련된 항목을 정리하면 <표 3> [9]과 같이 된다.

특히 설비진단 기술의 발전에 따라 예지보전(Predictive Maintenance)은 대폭적인 보전비의 절감을 추구할 수 있게 하며, 계획보전 체제의 확립을 가능하게 하고 있다. 예지보전은 설비의 열화상태를 간이진단에 의해 경향관리를 할 수 있게 하며, 이 정보에 따라서 정밀진단을 실시하여 보전방식을 결정하게 한다. [그림 4][10]에 예지보전에 의한 보전방식의 결정과정, [그림 5][11]에 그 개념을 나타내었다.

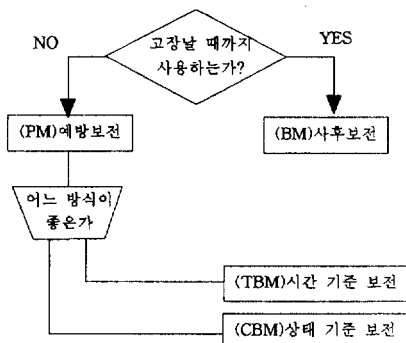
<표 2> 보전방식의 종류와 특성

정기 보전	TBM (Time Based Maintenance)	적정 주기를 정하고 주기에 따라서 수리·교환 등을 하는 것으로 · 주기를 설정하기 쉽고 산포가 적은 것 · 점검하지 않고 정기 교환하는 편이 장점이 큰 것에 적용한다.
		보전 방법 : 그 설비의 열화에 가장 비례하는 파라미터(생산성·작동회수 등)로서 수리주기(이론값·경험값)를 정하고 주기까지 사용하면 무조건 수리한다. 장점 : 점검 등의 보전 공수가 적고 고장도 적다. 단점 : 오버 메인테넌스가 되어 수리비가 많이 든다.
	IR (Inspection & Repair)	보전 방법 : 설비를 정기적으로 분해 또는 점검하고 그 시점에 적부를 판단하여 (열화 경향 관리를 하지 않는다)불량인 것을 교환한다. 장점 : TBM과 CBM의 중간적 성질을 지닌다. 단점 : TBM과 CBM의 중간적 성질을 지닌다.
		열화 상태를 조사하기 위한 점검이나 점검에 따른 수리 등을 함으로써 · 열화 상태를 보면서 공사 시기를 결정하는 편이 장점이 있는 것 · 열화 경향이 일정하지 않고 주기가 정해지지 않는 것 · 실적이 적고 주기가 결정되지 않는 것에 적용한다.
예지 보전	CBM (Condition Based Maintenance)	보전방법 : 설비의 열화 상태를 각 측정 데이터와 그 해석에 따라서 온라인 상태로 파악하며, 열화를 나타내는 값이 미리 정한 열화 기준에 달하면 수리한다. 장점 : TBM의 단점인 과잉 유지 관리를 방지한다. 단점 : 감시 체계 설치에 비용이 들고 TBM에 비해 보전 인력이 더 필요하다.
		고장난 다음에 수리를 하므로 · 사후 보전으로 하는 편이 장점이 있는 것, 즉 고장이 나도 다른데 미치는 영향이나 손실이 적은 것 · 열화 경향의 산포가 크고 점검·점사할 수 없는 것에 적용한다.
사후 보전	BM (Break down Maintenance)	보전 방법 : 점검·정기 교환을 전혀 하지 않고 설비가 고장(기능 정지)난 다음에 복구 공사를 한다. 장점 : 수명까지 완전히 사용하기 때문에 2차 고장이 없다면 보전비·수리비가 모두 적다. 단점 : 고장이 늘어나고 생산공정에 미치는 영향이 크면 수율·에너지 원단위 등도 저하된다.
		수명 연장이나 수리 시간 단축 등의 대책이나 비용을 절감하기 위한 대책을 취함으로써 · 수명이 짧고 고장 빈도가 높으며 고장의 수리비가 큰 것 · 수리 시간이 길고 다른데 미치는 영향이 크며 유지 관리 비용이 큰 것 · 열화 경향의 산포가 커져야 점검·점사하기 어려운 것에 적용한다.

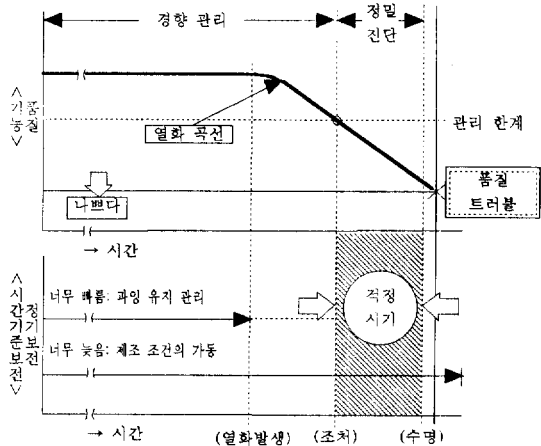
<표 3> 요구되는 설비특성 개선
체크리스트(예)

정의	No.	구비해야 할 항목	문제점과 대책
신뢰성 (기능저하 기능 정지불 일으키지 않는 설비 (MTBF가 길 다))	1	낮은 고장 발생 빈도	왼쪽 체크 항목으로 적을 한 문제점과 대책을 기입 한다
	2	낮은 일시 정지 발생 빈도	
	3	낮은 품질 불량 발생 빈도	
	4	작업 태세 전환·조정이 없다.	
	5	머신 사이클 타임의 안정성	
	6	원정한 조건이 변동되기 어렵다.	
	7	고장 발생을 알리는 기능이 있다.	
보전성 (결화의 측정 고장 발견 복원 등의 용이성을 나타내는 성질 (MTTR가 짧 다))	1	고장 부위 발견의 신속성	체크 항목에 는 평가 기준 을 설정하면 보다 정밀도 가 높아진다
	2	열화 부위 발견의 신속성	
	3	설정 조건 변동의 인식	
	4	부품 교환의 용이성	
	5	(불록 부품 교환, 프리레프 방식)	
	6	보전 작업 능률이 떨어지는 부품이 없다.	
	7	고도의 숙련 작업 불필요	
	8	예비 부품 입수의 용이성 금융·교환의 용이성	
자주 보전성 (운전 부위가 짧은 시간에 간단히 청소· 금융·점검 등 보전 활동을 하기 쉬운 성 질)	1	점검의 용이성 점검 부위가 적다. 점검 시간이 짧다. 청소를 하기 쉽다.	
	2	절삭분·폐유·폐재가 적다. 발생해도 회수하기 쉽다.	
	3	오염 발생원 국소화의 정도	
	4	금융의 용이성 금융 부위가 적다. 금융 시간이 짧다.	
조작성 (설비의 운전이 나 작업 태세 전환이 올바른 조작을 신속· 정확하게 할 수 있는 성질)	1	작업 태세 전환·조정의 용이성	
	2	절삭 기구·지식 등 교환·조정의 용이성	
	3	조작 버튼(적다, 배치, 형상, 색채 등)	
	4	조작 순서를 일본 보아도 알 수 있 다.	
	5	이상 발생 후 원점 복귀의 용이성	
안전성 (안전하며 피로 감이 없고 작 업 환경을 악 화시키지 않는 외 성질)	1	이상 작업이 적다(고장, 일시 정지 등의 조치).	
	2	돌기물, 걸리는 부위	
	3	발에 걸림(바닥에 널린 배관, 배선)	
	4	무리한 작업 자세, 압박감, 고독감	
	5	진동·소음·악취·열기·어둠	

[그림 5] 보전방식



[그림 4] 예지보전(상태 기준 보전)의 개념



[그림 6] 설비 모델 계획 보전의 7단계

국면	단계1	단계2	단계3	단계4
보전방식	고장 간격의 산포 감소	고유 수명 의 연장	정기적으로 열화를 복원시킨다	수명을 예 지한다.
예방 보전 시스템 정비	제1단계 기본 조건·사용 조건 과 현상의 차이 분석 제2단계 기본 조건·사용 조건 과 현상의 차이 분석 제3단계 기본 조건·사용 조건 의 기준 작성	계획 보전 7단계 활동 (설비 모델)		
계량 보전의 추진		제4단계 수명연장		
예지 보전의 추진			제5단계 점검·정비의 효율화	
품질 보전 체계의 확립	제6단계 설비 종합 진단 : RCM의 전개			
계획 보전 시스템 확립	제7단계 설비의 극한 사용			

서 보는 바와 같이 예지보전체제가 정립
되어 이와 함께 추진하는 것이 바람직한
것으로 알려지고 있다[13].

RCM에 대한 자세한 것은 다음 장에
서 고찰하기로 한다.

3. RCM의 개발절차

3.1. RCM의 기본 개념

3.1.1 RCM의 기초

신뢰성(Reliability)이란 “부품, 장치, 장비, 혹은 어떤 시스템이 주어진 조건 하에서, 특정한 기간동안, 의도된 기능을 수행할 확률”이다[14].

어떤 하나의 설비가 개발되어서 폐기되기까지의 한 생애에는 기획·설계·시험제작·생산·시험·검사·포장·수송·저장·설치·운전·보전·폐기까지의 여러 단계를 거친다. 이러한 여러가지 단계를 거치면서 신뢰성이 저하되는 원인·책임의 규명, 조치의 검토 등은 그다지 쉬운 일은 아니다. 이러한 신뢰성에 관한 연구는 세계 제 2차대전을 거치면서 급격하게 발전하였으며 특히 복잡한 구조와 기능을 가진 전자장비의 사용이 증가하면서 시스템 자체의 신뢰성 향상의 문제가 대두되었다. 근래에는 항공기 시스템, 원자력 발전 시스템, 화학처리 시스템 등과 같은 거대한 설비 시스템뿐만 아니라 공장자동화가 진행되는 가공·조립공장의 각종 설비의 신뢰성도 중요한 연구대상으로 부각되고 있다. 즉, 다음과 같은 점에서 신뢰성 연구의 필요성이 증대되고 있다[15].

- ① 극도로 고장이 적은, 즉 높은 신뢰도의 제품수요가 증가하고 있다. 예를 들면 미사일, 인공위성, 공업 플랜트, 컴퓨터 등
- ② 이러한 제품은 더욱 더 고도의 기능이 요구되고 그에 따라 더욱 복잡해질 뿐만 아니라 거대화하고 있다.
- ③ 그에 비해서 부품의 품질이나 성능의 향상이 요구를 뒤따르지 못할 정도이

다. 특히 많은 전자부품에서는 그러한 경향을 볼 수 있다.

- ④ 극단적인 환경에서 사용되는 제품이 증가하고 있다.
- ⑤ 제조에 시간이 많이 걸리고 시험을 위해 대설비를 요하는 제품이 증가하고 있다.
- ⑥ 제품의 수리·보전을 위한 설비나 인원의 능력·훈련 등이 본체의 진보를 뒤따를 수 없을 정도가 되었다

RCM은 1960년대에 아메리카 유나이티드 항공에서 항공기의 보전을 위해 개발되어, MSG-1(Maintenance Steering Group)으로 불리는 수법으로서 발표되었다. 70년대에는 보다 개량되어 록히드사와 더글라스사의 민간항공기와 군용기에도 적용되었다[16].

대부분의 생산 시스템의 고장은 구성 부품의 고장 때문에 발생하고 있지만, 시스템(설비)의 설계과정, 제조과정 및 설치과정에서 잘못이 없고, 그 후의 사용과정에서 부품의 고장이 없다면 시스템 고장은 발생하지 않을 것이다. 그러나 피로에 의한 구성부품의 고장은 어느 정도 피할 수 없다. 그러므로 시스템 고장의 방지는 어떤 개개의 부품이 고장나려고 하는가를 결정함으로써 시작된다. 그리고 차례로 이 부품이 속해 있는 구성요소에 대한 고장의 영향을 결정하고, 그 다음엔 이 고장이 서브 시스템 수준에 미치는 영향, 마지막으로 전체 시스템에 미치는 영향을 결정하는 순서로 진행된다. 그리고 이러한 각 단계에서 가장 적합한 보전방식과 보전주기 등을 결정하는 것이 RCM의 핵심이다[17].

RCM은 잘못을 분석하는 방법이 아니다. RCM은 많은 부품 고장들을 평가하고, 이러한 고장들 중에서 시스템에 가

장 치명적인 것이 어떤 것인가를 찾아내고, 시스템에 적절한 예방 보전을 선택하고 적용하는 체계이다.

RCM은 시스템 전체와 마찬가지로 각 하위 시스템의 기능에 대한 깊은 지식이 요구되는 한 체계이다. RCM은 어떤 고장 모드들이 시스템에 치명적임이 밝혀졌을 때, 안전성과 경제성 면에서 최상의 예방 보전 방법을 선택하는 보전 관리 방법의 하나이다.

부품들이 미치는 영향분석에 근거한 시스템 기능보전의 한 방법인 RCM은 설비에 근거한 접근에 대응하여 기능에 기초한 접근에 이론적인 근거를 갖고 있다. 현재는 전통적인 부품을 근거로 한 보전에서 기능을 근거한 신뢰성 보전으로 변화하고 있다[18].

한 마디로 RCM이란 계획된 보전 프로그램으로서 보전방법에 기초한 작업지식, 고장의 구조를 발견하는 것, 고장에 의한 손실을 평가하는 것, 가장 적합한 보전방법을 선택하는 것으로 구성된다.

3.1.2 RCM의 필요성과 목적

설비의 자동화, 라인화, 메카트로닉스화는 고장요인들을 보다 복잡하고, 복합적으로 만들고 있으며, 이에 따라서 이전에 경험하지 못했던 고장수의 증가를 가져오고 있다.

따라서 과거의 축적된 보전자료에 의해서만 보전방식을 결정하던 방법으로는 시스템의 신뢰성과 안전성 및 보전의 경제성을 더 이상 확보할 수 없게 되었으며, 이에 따라 체계적이고 논리적인 보전프로그램의 필요성이 대두되고 이에 대응한 가장 적합한 방법이 바로 RCM인 것이다.

설비의 신뢰성이 아주 중요한 설비고

장의 형태를 나타내는 욕조곡선(Bath Tube Curve)의 가장 긴 기간인 우발고장기(Accidental Failure Period) 동안에서 TBM(Time Based Maintenance)과 CBM(Condition Based Maintenance)은 모두 효과적이지 못하다. 그러나 RCM은 이 기간에 최선의 그리고 가장 논리적인 보전방법을 제공한다.

이것이 바로 RCM의 목적이라 할 수 있다[19].

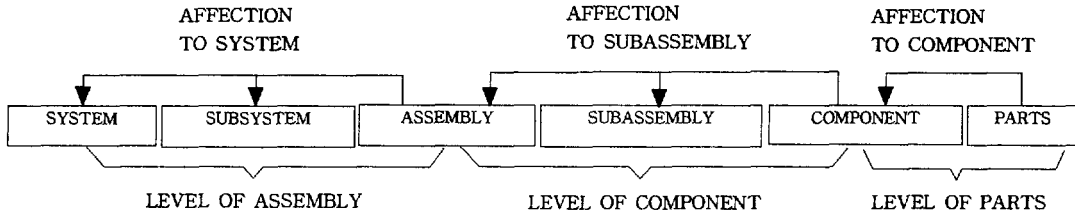
특히 RCM이 필요한 설비는 이미 개발된 기술로 만들어졌으나 이에 대한 수집된 보전자료가 없는 설비와 기계적인 구조와 공정관련 고장요인들이 복합된 공정형태의 공장설비 등이다.

3.1.3. 부품으로부터 시작되는 RCM

시스템 신뢰성의 점검은 초기 계획단계에서 곧바로 시작된다. RCM에서 부품의 신뢰성은 시스템 신뢰성의 기초가 된다. 시스템의 신뢰성을 구축하는 과정은 나중의 수집된 자료에 의하지 않고도 이용가능한 기술정보를 사용하여 사전에 시작할 수 있다.

예전에는 보전이 각 구성품의 수준, 특히 설비의 수준에서 강조되었다. 보전은 주로 보전 자료와 운전자의 개인적인 경험, 궁극적으로 정기 보전, 예지 보전, 사후 보전 등 보전 방법을 결정하는 검사 요원에 의해 좌우되었다. 이에 비해 RCM 보전방법은 전체 시스템에 영향을 미치는 중요 부품의 신뢰성에 기초하여 시행된다. RCM의 궁극적인 목표는 상위 아이টে에 오기능의 연쇄반응을 일으킬 수 있는 중요 부품들의 고장들을 피함으로 시스템 기능을 확보하는 것이다. 이러한 개념을 보여 주는 것이 다음의

[그림 7] 시스템에 대한 아이템 영향의 진행



[그림 7][20]이다.

한 예로, 미항공기 회사에서 헬리콥터 엔진의 95개의 부품 중에서 잠재적인 엔진 고장을 일으키는 것은 단지 9가지 중요 부품으로 밝혀졌다. 엔진 고장은 이 9개의 중요 부품을 잘 보전하면 예방될 수 있다. 다음의 <표 4>[21]에는 이 9가지 부품과 이에 대한 치명도가 나타나 있다.

<표 4> 헬리콥터 터빈엔진에 대한 치명도

기본 결함	치명도
1. Compressor Roter Seal Leakage	176.8
2. Carrier and Gear Cylindrical Roller Bearing Cage Fracture	59.3
3. Rear Compressor Bearing Fracture	32.8
4. Forword Turbine Rotor Bearing Face Seal Leakage	23.8
5. Centrifugal Impeller Fracture	22.3
6. First Stage Gas Producer Turbine Rotor Blade/Disk Fracture	21.5
7. Compressor Rotor Front Shaft Blade Fracture /Separation From Disk	21.0
8. Air Diffuser Housing Vane Fracture	21.0
9. Front Compressor Ball Bearing Spalling/Cage Fracture	17.8

여기서

$$CR = P(X_i) \cdot P(F/X_i)$$

$P(F/X_i)$: 고장 X_i 가 발생했을 때 헬리콥터의 안전 비행 확률

$P(X_i)$: 기계적 고장의 확률

$P(X_i)$ 는 RCM 고장율과 고장모드 자료를 분석함으로 결정된다.

이 항공기 회사에서는 위의 부품고장에 대하여 <표 5>과 같은 보전방법을 취하고 있다[22].

<표 5> 터어빈 부품에 적용된 보전 방법

선정된 보전작업의 형태	
1. CBM 2. 재작업 3. 교체 4. 수리 5. 육안 검사	
기본 결함	보전 방법
1. Compressor Rotor Seal Leakage	1, 3, 5
2. Carrier and Gear Cylindrical Roller Bearing Cage Fracture	1, 3
3. Rear Compressor Bearing Fracture	1, 3, 5
4. Forword Turbine Rotor Bearing Face Seal Leakage	1, 3, 4, 5
5. Centrifugal Impeller Fracture	1, 3
6. First Stage Gas Producer Turbine Rotor Blade/Disk Fracture	1, 2, 3
7. Compressor Rotor Front Shaft Blade Fracture /Separation From Disk	1, 2, 3
8. Air Diffuser Housing Vane Fracture	1, 2, 3
9. Front Compressor Ball Bearing Spalling/Cage Fracture	1, 2, 3, 5

3.2 RCM의 개발절차

RCM의 개발은 각 기업의 규모, 제조 공정의 형태, 설비의 종류와 수량, 최고

경영자 및 관리자의 RCM에 대한 인식, 자주보전의 진행 정도, 보전부문의 기술·기능의 수준, 생산 시스템의 설계·제조·설치 회사와의 정보의 공유 및 협력의 정도에 따라서 여러 가지 단계를 거쳐야 할 것으로 생각된다. 여기서는 가장 공통적이며 기초적인 면에서의 RCM의 개발절차를 살펴보기로 한다.

(1) 단계 1: RCM개념의 기본교육

현재의 보전은 과거의 경험 또는 실적과 함께 기기 고장이 발생하기 전에 일정간격으로 점검, 검사, 보수 등의 보전을 행하는 소위 시간계획보전을 실시하는 것이 대부분이다. 그러나, 현재 실시하고 있는 보전내용, 시기, 보전 코스트가 최적인가 어떤가 즉, 설비신뢰성이 틀림없이 확보되며, 또 경제적으로도 최적의 보전이 실시되고 있는지 어떤지를 종래의 방법과는 다른 수법으로 검증할 필요성에 대해서 인식하도록 하며, 이를 위해 System을 구성하는 부품 하나 하나에 대해서 체계적으로 고장영향의 정도를 조사하고 최적의 보전방식을 선택해가는 보전관리 수법인 RCM의 개념과 목적, 그 개발과정에 대한 절차와 방법 등에 대하여 교육한다. 물론 이때에는 설비의 설계, 제작, 설치, 운전 및 보전부문의 모든 담당자가 같은 내용을 같이 인식할 수 있도록 하는 교육이 필요하다.

(2) 단계 2: 기본 자료의 준비

이 단계에서는 RCM 해석에 필요한 자료들을 준비하며, RCM 해석 대상범위(System)를 명확히 하여 시스템과 외부와의 한계(Interface)를 확실하게 정한

다. 다음에 필요한 자료들을 열거한다.

- ① Block Flow Charts
- ② 기능블럭 다이어그램
- ③ SWBS(System Work Breakdown Structure)
- ④ SWBS에 나타나는 구성요소의 고장 기록
- ⑤ 핵심 구성요소에 대한 구조도와 기능 서술

[그림 8]에 기능블럭 다이어그램과 SWBS의 예를 나타내었다[23].

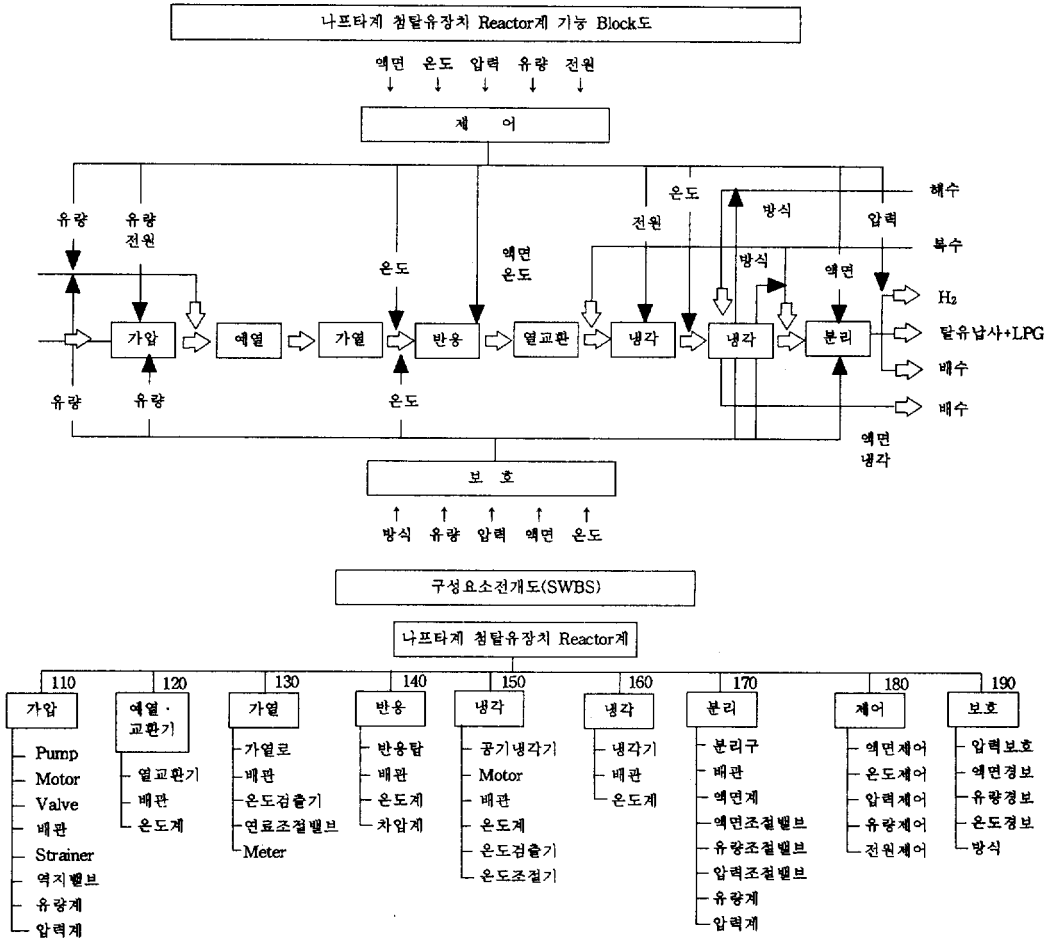
(3) 단계 3 : 기능고장의 분석

- ① 과거의 고장기록 또는 예측을 사용하여 기능적으로 중요한 구성 요소의 고장 리스트를 작성
- ② 기능고장해석도(FFA)의 준비계의 기능을 확실히하여 각각의 기능을 부품 레벨까지 Break Down하여 고장(이하 기능고장이라 함)을 조사한다. 기본적으로, 기능 Block도나 기능요소 전개도(SWBS)와 아울러 System을 개개의 기능(item)으로 분석한다. 또, 각 기능마다, 기능고장해석(FFA)을 행하며, 부품 하나 하나에 일어나는 고장모드를 명확히 한다. 기능고장해석도에는 정보원(情報源), 기능, 다른 기능들과의 관계, 작동중의 일상적인 고장요인들, 기능고장의 세부사항 등을 기술한다. 자체적인 보전작업이 필요할 때에라도 기술회사의 협력을 얻는 것이 중요하다. 위 <표 6>에 FFA의 한 예를 나타내었다[24].

(4) 단계 4: FTA, FMEA 또는 고장 치명도의 평가 에 의한 고장 분석

FFA로 조사한 고장Mode 각각에 대

[그림 8] 기능 블록도 및 구성요소 전개도의 예



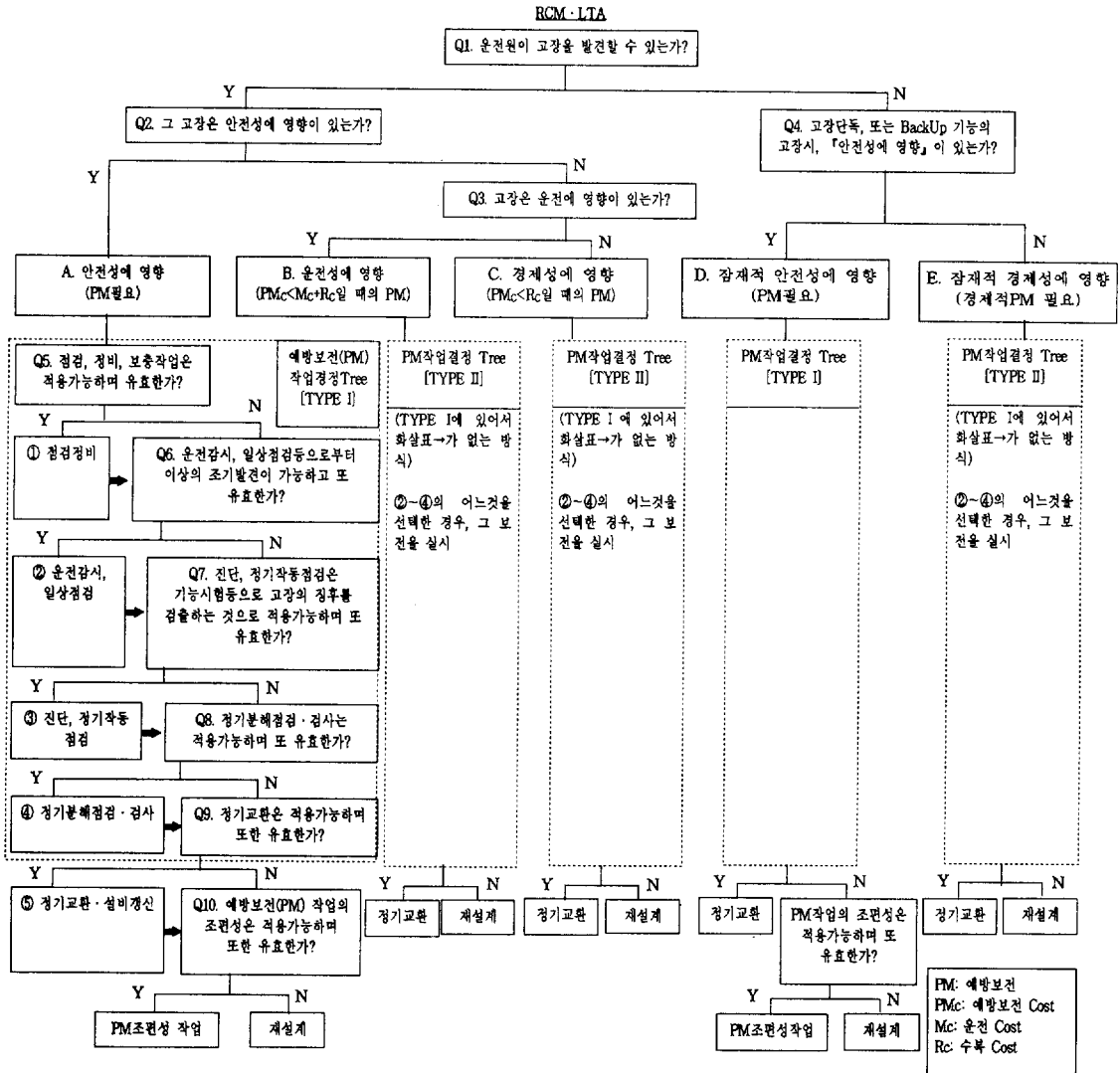
하여 기능고장Mode 영향해석을 함으로써 고장영향의 조사를 행한다. 영향이

크다고 판단되는 것에 대해서는, 예방보전작업의 적용이 필요하므로 다음의 Step으로 진척시킨다. 고장영향이 적든지, 고장이 나지 않을 것으로 판단되는 것은 다음 STEP으로 나아가지 않고 사후보전을 적용한다. 3단계에서 확인된 보다 심각한 고장들 중에서 치명도에 관한 FMEA를 적용하거나 보전을 필요로 하는 고장에 관한 FTA를 적용하여 치명적인 고장들을 선별한다.

<표 6> 기능고장해석(FFA)의 예

SWBS	161	ITEM No.	NH-E2
명칭	반응탑 2차냉각기		
정보원	☐ P&ID ☐ 유종별 Flow Sheet ☐ 기기도면 ☐ 점검점사관리표 ☐ 운전관리기준치표 ☐ 근거배정표 ☐ 손상요인 Flow Sheet ☐ 월간점검표 ☐ Check Sheet ☐ 검사기술표준 ☐ 로컬데이터타트		
기능설명 (당해기기 기능, 기능유지 관리항목, 설계조건, 운전)	1. 리액터를 나와 열교환한 기체(탈유납사+H ₂ +H ₂ S)를 80℃에서 38℃까지 냉각 ~ 2. 배수유량: 110T/H(겨울) ~ 150T/H(여름) 3. 프로세스속 설계압: 17kg/cm ² , 배수속 설계압 7kg/cm ² 4. 시일재질: 탄소강, 튜브재질: B31F		
기능과 시스템과의 인터페이스	타 System과의 관계를 명확히 하여, 시스템 외부와의 관련사항, 기능을 유지 1. 배수유량: 110T/H(겨울) ~ 150T/H(여름) 2. 튜브의 방식: 철이든 주철(시동 후 1개월은 30ppb, 다음부터는 20ppb) ~ 3. 냉각기의 막힘대책: NH-E2의 하류에 주입하는 세정수를 1주일에 1회의 빈도로 4. 마운다리: 계의 압력 마운다리를 유지할 것 5. 안전: System 외부로 Process 유체의 누설을 방지할 것		
제내의 인터페이스	1. 프로세스 유체: 클러수구: 38℃ 이하 2. 배수: 클러수구: 45℃		

[그림 9] LTA(Logic Tree Analysis)



(5) 단계 5: LTA를 통하여 최적 보전방법의 선택

앞의 STEP에서 예방보전작업의 적용이 필요하다고 판단된 고장 Mode에 대해 LTA를 사용하여, 최적의 예방보전방법을 선택한다. 이에 대한 한 예를 [그림 9]에 나타내었다[25].

LTA는 크게 2부분으로 나누어져 있다. 즉, LTA의 전반부(상단)에 있어서,

각각의 고장을 다음과 같은 5개의 카테고리 분류하였다.

- A. 운전원에게 감지가능하며 안전성에 영향하는 고장
- B. 운전원에게 감지가능하며 운전성에 영향하는 고장
- C. 운전원에게 감지가능하며 경제성에 영향하는 고장
- D. 운전원에게 감지불가능하고 안전

성에 영향을 미치는 고장

E. 운전원에게 감지불가능하고, 경제성에 영향을 미치는 고장

다음에 LTA의 후반(하단)에서 각각의 고장 Mode에 적용한 예방보전모드를 선택하여 간다. 안전성에 영향을 미치는 고장 Mode(A 및 D)에 대해서는 유효한 예방보전작업을 모조리 선택한다. 안전성에 영향이 없는 고장모드(B, C, D)에 대해서는 비교적 쉽게 실시가능하므로 유효한 것 중 어느 하나를 선택하는 것으로 하고 있다(여기서 예방보전 코스트 쪽이 고장에 의한 손실보다 크다면 BM으로 된다). 만약, 고장영향이 크고 또한 유효한 예방보전작업이 보이지 않으면 설계변경을 행하도록 되어 있다.

(6) 단계 6: 현행작업과의 비교

RCM 해석에서는, 각 고장모드마다에 최적의 예방보전작업이 결정되나 예방보전작업의 주기에 대해서는, 각각의 기기 고장 Mode의 특성이나 고장물리 또는 지금까지의 경험에 기초하여 결정된다.

이상의 Step에 의해 결정된 예방보전 항목과 주기에 대하여, 현행의 점검·검사항목과 비교함으로써 현행의 점검·검사에 누락 또는 불필요한 것이 없나를 검토한다.

(7) 단계 7: 시스템 내에서 RCM의 체제의 구축

어느 한 기업에서 모든 종류의 생산 시스템에 대하여 동시에 RCM을 적용할 수는 없다. 따라서 중요도의 우선순위에 따라 RCM 체제를 구축한 후 이를 수평전개하여 필요한 모든 시스템에 대하여 RCM 체제가 구축되도록 한다.

4. TPM에서 RCM의 적용 사례

RCM의 적용사례는 일본의 석유정제 회사인 이데미쓰 고산(出光興産)의 愛知製油所の 경우를 살펴보기로 한다. 이 회사는 1992년에 PM 우수사업장 상 제1류를 수상, 1993년에는 PM 특별상을 수상하였으며, 일본에서 최초로 RCM을 석유정제 사업에 도입하여 성공하고 있는 기업이다. 이 회사에서는 1992년에는 설비의 신뢰성향상과 최적의 보전방식의 선택을 위하여 “석유정제 Plant에 최초로 RCM 적용”, 1993년에는 “RCM을 도입하여 신뢰성향상, 보전코스트 저감에 효과”라는 제목으로 일본의 「Plant Engineer」라는 책자에 발표하였다.

또한 1995년 일본에서 개최된 “95 TPM World Congress”에서는 “설비의 신뢰성 향상으로 「야간현장 점검조작제로」에 도전”이라는 제목으로 발표한 바 있다.

4.1. 배경과 목표

석유 정제 사업의 특성은 많은 양의 인화물질을 오래 동안 다루고, 많은 부품들의 구성에 의한 시스템의 구성과, 공정의 여러 훼손형태와 이들의 변화 때문에 안정된 운전이 상당히 어려운 점이다.

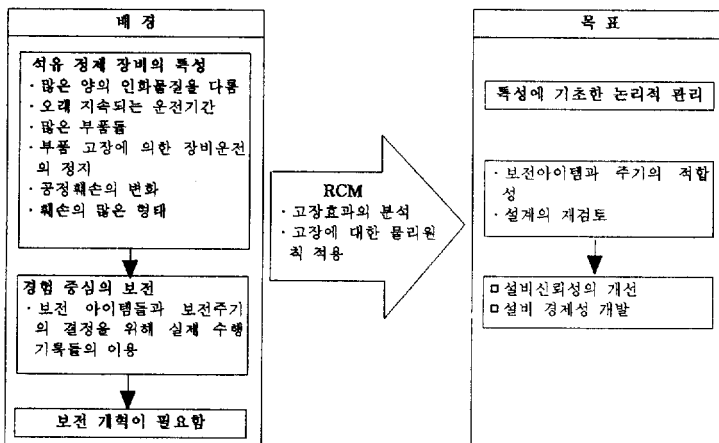
따라서 이 회사에서는 예측적 관리와 논리적 관리를 지향하여 RCM을 도입하였다.

우선은 개개 설비의 열화상태를 직·간접적으로 측정하고 수명을 평가하여 미리 계획적인 보전을 행하기 위한 예측적 관리를 위하여, ① 경험 또는 공학해

석을 집대성한 열화 예측 모델의 구축
 ② 보전 데이터 뿐 아니라, 운전 data를 활용한 수명예측 시스템의 구축
 ③ 센서, 모니터를 활용한 설비진단의 온라인·리얼타임화
 ④ 검사기기의 개발활동을 진행하기로 하였으며, 논리적 관리를 위하여는 설비의 열화 메카니즘을 실적 혹은 논리적 해석평가로부터 정량적으로 포착하여 설계 또는 운전 그리고 보전에 피드백해서 고장이 일어나기 어렵게 개선하며 또한 고장이 일어나기 전에 미리 계획적인 보전을 행하기 위한 특성을 파악하기로 하였다. 이를 위해 다음과 같은 활동을 진행하기로 하였다. ① 기기의 열화특성을 논리적으로 파악하여 신뢰성과 경제성을 상충시킨 설비관리 ② 설계내용 또는 규격과 설비를 서로 맞추어 보아 잠재적인 불비점을 발굴하고 개선하는 활동 ③ 특성해석으로부터 수명이나 보전주기의 장기화 ④ 연속생산을 위해 요구되는 기기의 개발

이 회사에서 RCM을 도입한 배경과 목표를 요약하면 다음 [그림 10][26]과 같다.

[그림 10] RCM 적용의 배경과 목표



4.2. 추진 조직

RCM의 적용에는 필연적으로 모두의 생각을 보전관리에 집중시키고, 설비관리 지표와 지식 그리고 각각 가지고 있는 기술을 종합하기 위하여 설계·운전·보전 부문의 협력이 필요하다.

이 그룹에서 오일정제를 위한 분석방법들의 결과와 RCM 매뉴얼로 도입할 자료들을 정리하였다. 다음에 RCM 분석에 대해서는 설계 분야의 감독자들이 설계개념의 정밀한 검토를, 운전부문의 감독자들은 FMEA를, 보전분야의 감독자들은 LTA를 책임지고 있다. 물론 이들 상호간의 협력은 대단히 중요하다.

이 회사에서는 <표 7>[27]에서와 같이 RCM개발을 위한 조직을, <표 8>[28]에서는 추진단계를 정하여 시행하였다.

4.3. 분석방법의 구축

4.3.1 기본개념

이 회사에서 RCM의 적용과 보전정책·아이템·주기 등을 결정하기 위해 다음에 유의하였다. 첫째, 예방보전과 사후보전 중에서의 선택, 둘째, 예방보전의 유효성을 결정, 셋째, 필요에 따라 설계의 수정에 대해 조사한다. <표 9>은 이러한 개념을 나타내고 있다[29].

4.3.2 분석 흐름

이 회사에서는 석유 정제의 RCM 흐름을 [그림

<표 7> RCM 개발을 위한 작업그룹의 조직

부 문	구성 분야
설계 부문	· 보전, 건설, 기능 분야
운전 부문	· 정제부서 · 편의시설부서 · 운전과 배송부서 · 안전과 화재예방부서
보전부문	· 검사부서의 보전 및 건설 · 기계류부서의 보전 및 건설 · 전기부서의 보전 및 건설 · 기기부서의 보전 및 건설 · 보전 부서

<표 8> 추진 단계

시행연도	1989	1990	1991	1992	1993	1994
① 정보수집-연구모임						
② 모델기계류의 분석과 평가						
③ 석유정제에 대한 분석 대뉴얼 준비						
④ 현존장비의 분석						
⑤ 건설중인 장비의 분석						
⑥ 상기의 것들 평가와 개선, 분석장비의 확대, 보전에의 퍼드 백						

<표 9> 예방보전 또는 사후보전의 선택에 포함되어 있는 개념

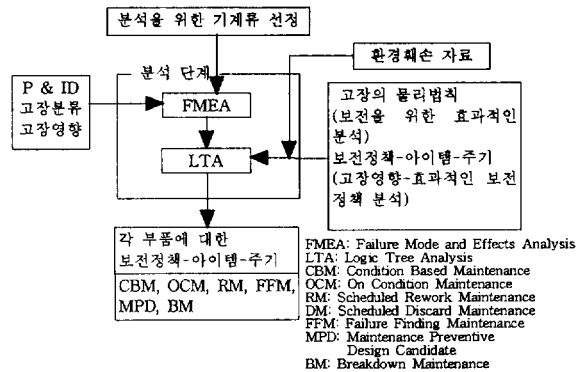
고장 영향의 분류	개 념
안전에 대한 영향	예방보전을 적용
경제성에 대한 영향	먼저 예방보전비용과 고장손실비용을 비교한 다음 보다 경제적인 방법을 결정한다. 만일 사후보전이 선택되면 고장 점검 방법을 구축된 상태여야 한다.

11]과 같이 진행하였다[30].

첫째, 분석을 위한 기계류를 선택하고 파이프와 기기 다이어그램(Piping and Instrument Diagram)을 이용하여 FM-EA를 시행한 후 특정 모델설비에 대한 고장분류를 하고 이 고장의 영향을 명확히 결정하였으며,

둘째, 만약 FMEA의 결과, 예방보전의 필요성이 보이면, 훼손된 환경 데

[그림 11] 분석 흐름도



이타와 고장물리(고장메카니즘, 열화패턴, 열화진전속도를 열화인자와 검출요소와의 상관성으로 파악하는 방법)의 법칙에 기초를 둔 “보전의 유효성 분석” 및 보전방식·항목·주기를 표준화한 “고장영향-유효보전정책 분석”들을 이용하여 LTA를 실시한다. 이로부터 각 부품에 대한 보전정책·아이템·주기들을 결정하게 된다.

4.3.3 분석 방법의 구축

원래 항공분야에 적용하기 위해 개발된 RCM은 그 과정이 매우 복잡하나 이 회사에서는 석유정제에 적용시키기 위해서 많은 고안과 개선을 시행하였다. 이에 대한 주요한 항목들을 <표 10>에 나타내었다[31].

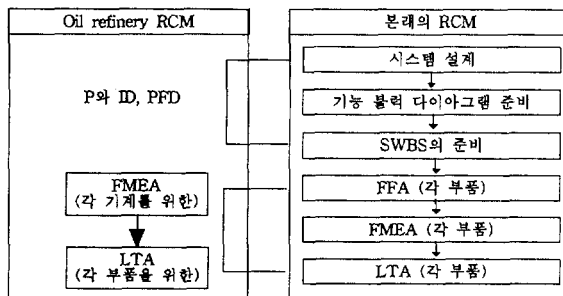
<표 10> RCM 개발을 위해 고안되고 개발된 항목

항 목	내 용
분석 단계의 구축	· 2단계 분석
보전정책의 정의	· 7가지 보전정책에 대한 정의
분석논리의 설정	· 석유 정제용 위한 LTA 준비
고장과 그 영향의 명시	· 고장의 분류 · 고장 영향의 분명한 정의
각 부품에 대한 보전 표준의 준비	· 고장에 대한 물리법칙의 명시 · 보전 아이템과 주기에 관한 표준의 준비

(1) 분석단계의 구축

원래 개발된 RCM의 분석단계는 [그림 12]의 오른쪽에서 보는 바와 같이 여러 단계로 되어 있으며, 이의 수행에는 엄청난 시간이 소요된다. 이 시간을 줄이기 위해서 이 회사에서는 분석과정을 FMEA와 FTA의 2단계로 줄였다[32].

[그림 12] 분석 단계



<표 11> 제안된 보전정책

보전정책의 명칭	정 의
CBM: Condition Based Maintenance	설비성능 또는 상태를 감시하여 규정치 이하로 내려가면 이에 대한 조치를 행한다.
OCM: On Condition Maintenance	계획된 검사의 실시, 열화손상상태의 진행파악, 훼손이 기능고장으로 진행되기 전에 필요한 조치를 시행한다.
RM: Scheduled Rework Maintenance	감작스럽고 예민한 고장 가능성이 증대되기 전에 초기수준에서 청소와 수리를 함으로서 고장에 대한 저항력을 증대시킨다.
DM: Scheduled Discard Maintenance	고장시에 높은 비용이 필요로 하는 심각한 고장을 일으킬 수 있는 설비의 주기적인 교체
FFM: Failure Finding Maintenance	장비나 공장 기능에 직접 영향을 주지 않는 고장이나 다른 형태의 예방보전을 적용할 수 없는 고장에는 계획된 고장발견 검사를 실시하고 필요한 조치를 한다.
MPD: Maintenance Preventive Design Candidate	안전에 직접 또는 중대한 영향을 주는 고장, 또는 높은 비용손실을 가져오는 경우로서, 적절한 예방보전이 없는 경우에는 설계변경이 필요하다.
BM: Breakdown Maintenance	영향을 회피할 수 있는 경우 및 예방보전비 보다 고장비용이 적을 때에는 고장이 점출된 후 수리한다.

이 회사에서는 P와 ID(Piping and Instrument Diagram) 그리고 PFD(Process Flow Diagram), 보전의 유효성 분석, 고

장영향-유효보전정책분석 등을 사전에 준비하여 분석을 시행하였다.

(2) 보전정책의 정의

다음으로 이 회사에서는 석유정제 보전을 위해서 다음의 <표 11>와 같이 7개의 보전정책을 규정하였다[33].

(3) 분석로직의 구축

이 회사에서는 석유정제에 관한 LTA를 [그림 13]과 같이 작성하였다[34]. 이 그림의 왼쪽 부분은 고장발생시에 예상되는 영향을 명확히 하기 위한 기기마다의 FMEA의 시행과정을, 오른쪽에는 고장물리에 근거하여 부품마다에 보전방식을 설정하는 LTA를 나타내고 있다.

(4) 고장과 그 영향의 명시

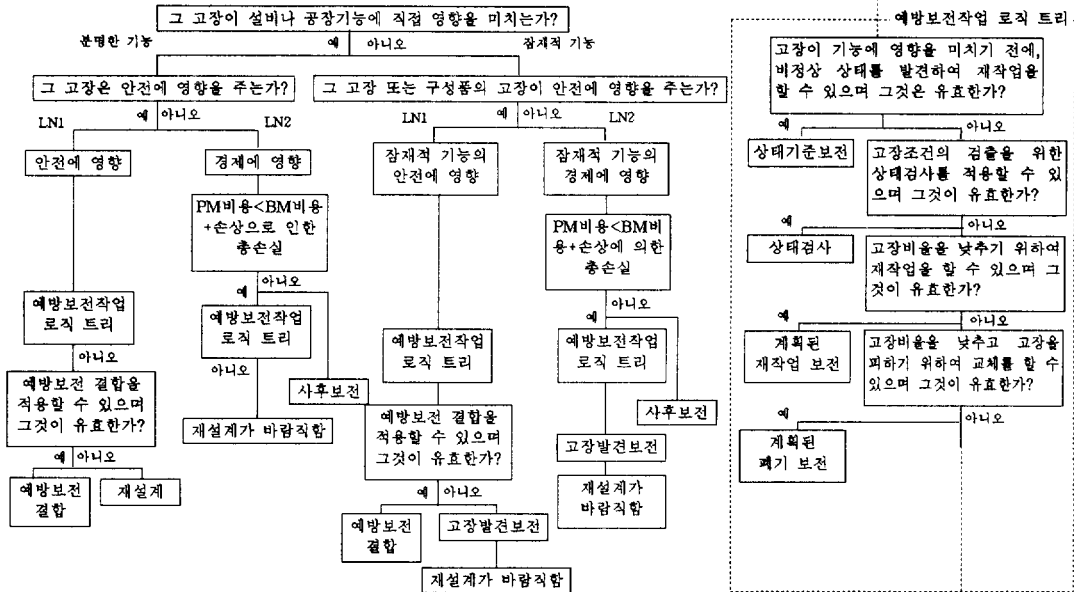
이 회사의 석유정제에 사용되는 설비는 30가지 종류가 있다. 이 회사에서는 고장으로부터 생기는 모든 조건들을 고려하여 19가지로 고장을 분류하였으며 이를 다음의 <표 12>에 나타내었다[35].

<표 13>에 설비기능고장분류표의 한 예를 나타내고, <표 14>에는 설비기능고장에 의한 영향의 예를 나타내었다[36].

(5) 각 부품들에 대한 보전표준의 준비

이 회사에서는 예방보전 정책의 유효성의 결정을 쉽게 하기 위하여 30개 기계 종류에 대한 모든 부품들을 고장물리법칙에 따라 분류하였으며 이것을 “보전을 위한 효과적인 분석”이라고 명하였다. <표 15>에 보전기준을 위

[그림 13] 석유 정제 로직 트리



<표 12> 고장분류의 수

모든 형태	30가지 형태	19 고장들
정적인 기계들	7가지 형태	3가지 고장
동적인 기계들	4가지 형태	6가지 고장
전기 설비	6가지 형태	7가지 고장
기기류	13가지 형태	14가지 고장

 <표 13> 설비기능고장 분류표의 예
(動的 기계류)

	동발 정지	고장 정지	누설	성능 이상	시동 불통	잠재 고장	구체적인 상태
원심 펌프	○						운전 중 갑자기 정지하여 펌프기능을 상실함
원심 왕복 펌프		○					운전 중에 이상상태의 발견, 사람에게 의해 긴급정 지로 펌프 기능상실
			○				기능수행에 영향을 주거나 화재나 폭발을 야기할 수 있는 정도의 펌프에서의 기름 누설
				○			기능에 영향을 주는 정도 로 수평도가 낮아짐
					○		제시동이 되지 않는 펌프 의 정지
원심 압축기 (스페이 없음)	○						운전 중의 갑작스런 정지 공기 송출능력 상실
		○					

<표 14> 설비기능고장 영향표 (예)

번호	Item	고장 영향	결정 기준	구체적인 사례
1	안전에 영향을 미치는 고장	· 화재· 폭발의 위험	· 높은 압력 또는 온도의 수소 누 설 · 누설에 의한 자 연점화 · 누설에 의한 화 재	· 50kg/cm ² ≤, 400℃ ≤ 인 수소누출 · 자연발화 온도를 넘는 인화성 물질의 누출 · 인화점 이상의 가연성 물질의 누설
	인체에 미치는 영향	· 인체에 미치는 영향	· 100ppm 또는 그 이상의 H2S 의 누설 · 900ppm 또는 그 이상의 CI2 의 누설 · 50ppm 또는 그 이상의 탄소염 화물의 누설 · 200ppm 또는 그 이상의 CO의 누설	· 사용가스, 사용된 물 의 누설 · 사용가스, 사용된 물 의 누설 · 사용가스, 사용된 물 의 누설 · 사용가스, 사용된 물 의 누설
	공해 문제 발생	· 공해 문제 발생	· 건물 밖으로 기 체유출	

한 효과적인 분석의 한 예를 나타냈다
[37].

위 분석의 결과에 따라서 모든 30개
의 기계 종류에 대해 보전 아이템과 주
기들의 표준이 설정된다. 이것을 “고장
영향-효과적인 보전정책분석”이라고 한

<표 15> 보전기준을 위한 효과적인 분석(사례)

RCM 작업시트2				보전을 위한 유효한 분석(상태검사: 검사)						1. 시트 No. W02-P-1-001		
2. 모델명: 오일탱크(L15)				3. 관련시트 No. F01-01-001		4. 준비일: 1992. 4. 4		5. 승인일:		6. 개정일:		
7. 부품	8. 형태	9. 요인		10. 상태	11. 감지할 수 있는 고장 상태	보전작업 적용기준				16. 점검주기	17. 유효성	
						12. 보전기술 기초	13. 고장진행 출방법	14. 잠재고장/능고장 결정 기준	15. 잠재고장에 서 기능고장으로 진행시간		안전	경제적 손실
1. 외관	1. 주물세	1. 부식	1. 구멍의 얇아짐	Y-D · 얇아짐	만약 부식과 얇아짐의 환경조건이 일정하다면, 배손(얇아짐)으로부터 야기된 물리적인 손상의 진행은 시간에 관련되어진다.	TM, UT, RT	ID	ID	각 아이템에 대해 결정함			
		2. HIC	2. 갈라진 틈의 침입	Y-D · 소리의 감소								TM, UT

<표 16> 고장영향-효과적인 보전정책분석표의 예

고장영향 - 효과적인 보전정책분석(정적인 기계)												1. Sheet NO. F01-1-001				
2. 모델명 : Vessel(1/6)					3. 준비날짜 4. 23. 1992			4. 승인일자:			5. 개정일자:					
부품		고장코드		10. 채손 형태	11. 기능고장분류			12. 보전 효과				13. 보전작업 상세		14. 주기	15. 책임 부문	16. 설계 변경 관찰 조직
6. 이름	7. 형태	8. 고장 요소	9. 조건		누설	기능 저하	고장에 의한 운전 불능	관찰	검사	수리	교체	감시	방법			
1. shell		1. 부식	구멍을 얇게 함	Y-D C	○			-	ID				육안·두께측정(TM, LIT, RT)	얇아지는 경향파악	ID	보전
		2. HIC	균열-생	Y-D C	○			-	OCP				HIC호름 검사(TM, UT)	HIC발생 경향의 파악과 두께의 전전도 파악	DD (ID)	보전
		3. SCC	균열-생	N-D	○			-	NA	NA	NA		-	-		보전
		4. Creep	균열-생	Y-D C	○			-	CCP				조직적인 관찰			

다. 이것은 어떤 부품의 고장이 장치의 기능고장에 연결되는지 분명하게 알 수 있게 한다. <표 16>에 보전기준을 위한 고장영향-효과적인 분석의 한 예를 나타냈다[38].

4.4. 분석절차

지금까지의 모든 것들은 RCM분석을 위한 준비이다. 분석흐름에서 언급했듯이 이 회사에서는 RCM분석을 FMEA와 LTA의 2단계로 진행하였다.

<표 17> 고장모드-영향분석표 (FMEA표)

고장모드와 영향분석(FMEA)			1. SWBS NO.	2. Sheet NO.		
3. 장치(시리즈)별 : P-V6시리즈 (Vessel)		4. 준비날짜:	5. 승인날짜:	6. 개정일:		
7. Item No. 이름 모델	고장에 대한 영향평가		10. 운전정지의 가능성 여부	11. 고장검출방법		12. LTA 논리 나무 번호:
	8. 기능고장분류	9. 고장의 영향		접근	방법- 세부 목록	
1. P-V6 (Stabilizer)	1. 누설	■ LPG와 휘발유의 누설 시 화재와 폭발의 위험. 누설이 발생하면 장비의 비상정지 조치가 필요 • P-V6의 최고운전압력: 17.0kg/cm ² 최고운전온도: 67℃ LPG점화온도: 66℃ 발화점(폭발가능): 1.5~ 3.5Volt • P-V6바닥(휘발유)의 운 전온도: 255℃ 휘발유 점화온도: 255℃ 발화점		ex.	· 가스검출기	
	2. 성능저하					

(1) FMEA(Failure Mode and Evaluation Analysis)

고장영향의 평가는 각각의 기계와 기능고장에 대해서 시행하였다.

<표 17>에 나타낸 것이 FMEA에 관한 기록지이며 분석절차는 다음과 같다 [39].

첫째, 분석대상 장치명을 기록한다. 둘째, 아이템 번호, 기계이름, 모델을 기록한다.

셋째, 모든 기능고장, 문제가 되는 기계에 대한 영향이 기록되고 장치(연속형)와 이에 관련된 장치를 분류하고 안전과 경제적 손실에 대한 영향의 자세한 내용을 기록한다. 경제적 손실에는 수리비용은 물론 생산손실들을 포함한다. 기능고장의 영향을 근거로 하여, 기계운전의 중지에도 대한 가능성/불가능성을 나타내는 기능등급번호를 선택한다.

기능등급번호의 선택기준이 <표 18>에 나타나 있다[40].

마지막으로, 기능고장검출방법을 기록

한다. 각각의 기능고장에 대하여 고장의 영향이 확대되기 전에 검출이 가능한 방법을 선정한다. 보충작업이 시행되면 "In"으로 기록하고, 필요하지 않으면 "Ex"라고 기록한다. LTA 논리나무의 번호의 선택은 다음과 같은 방법으로 진행한다. 만일 기능고장이

기계나 장치의 기능에 직접적으로 영향을 미치면, 분명한 기능으로 표시한다. 한편 기능고장이 직접적으로 영향을 미치지 않고, 단지 기능고장이 발생했을 때에만 발견이 필요한 경우에는 이것을 잠재적 기능이라고 나타낸다.

LTA 논리나무 번호를 선택하는 기준

<표 18> 기능등급 번호의 선택기준

기능 등급	운전중에 기능정지	갑작스러운 정지	대체기능	설 명
1	받아들일 수 없는	받아들일 수 없는	없음(불가능)	계획적인 유지보전까지 계속적인 사용. 운전중에 기능정지는 불가함
2	받아들일 수 없는	받아들일 수 없는	없음(가능)	운전 중에 기능정지는 허용할 수 없으나 일시적인 기계나 파이프의 부착에 의해 계획정지가능
3	받아들일 수 있는	받아들일 수 없는	있음	운전 중에 기능정지는 허용할 수 있으나, 갑작스러운 기능정지가 발생해서는 안됨
4	받아들일 수 있는	받아들일 수 있는	있음	운전 중에 갑작스러운 정지가 발생하더라도 대체적인 백업 기능을 할 수 있음
5	받아들일 수 있는	받아들일 수 있는	없음	운전 중에 갑작스러운 정지가 발생하더라도 운전방법을 통해 그 영향을 피할 수 있음

이 <표 19>에 나타나 있다[41].

(2) LTA(Logic Tree Analysis)

LTA는 모든 기계 부품의 모든 고장요인에 대하여 수행하며, LTA의 적용서를 <표 20>에 나타내 보았다[42].

여기에는 아이템 번호, 기계명, LTA 논리나무 번호, 기능등급번호 등을 기록한다. 그 다음에 고장을 일으키는 조건들과 예방보전을 적용하는 조건들을 기록한다. 보전에 대한 효과적인 분석결과를 참조하여, 효과적이며 적용가능한 보전정책을 선택하며 보전항목들과 보전주기들을 기록한다.

LTA의 논리나무의 번호와 이에 대응하는 보전정책이 <표 21>에 기록되어 있다[43].

보전을 위한 효과적인 분석에 기초한 보전주기들과 기능등급에 따라 요구되어지는 보전들 사이에 어떤 불일치가 있는가를 결정하기 위해 보전주기들을 점검한다. 효과적이거나 적용할만한 예방보전정책이 없는 부품들이나 기계를 위하여, 설계변경

들이 조사되어지며 설계변경 분류번호와 자세한 것들이 기록된다.

안전에 영향을 미치는 고장들은 설계

<표 19> LTA 논리나무 번호의 선정기준

No.	내용
1	안전에 영향을 미치는 명백한 기능의 고장
2	재정적인 면에 큰 영향을 미치는 명백한 기능의 고장
3	안전에 영향을 미치는 잠재적 기능의 고장
4	재정적인 면에 영향을 미치는 잠재적 기능의 고장

<표 21> LTA 논리번호에 대응하는 보전정책

LTA 논리나무 번호	대응하는 보전정책
1. 3	효과적이고 적용가능한 예방보전정책을 선정한다. 적합한 하나의 예방보전정책이 없을 경우에는 적절히 조합하여 사용한다.
2. 4	예방보전비용과 손상에 의한 손실비용을 비교하여 어느 것이 더 경제적인가를 파악한 후 PM과 BM 중에서 선택한다.

<표 20> LTA적용서의 예

RCM 워크시트 6				LTA 적용서						1. 시트번호 L01							
2. 아이템 번호(기계명): P-V6(안정기)(L/2)				3. LTA 조직번호: LN		4. 기능등급번호:		5. 준비일자:		6. 승인일자:		7. 개정일자:					
8. 관련서류 FMEA 시트: L01				워크시트: W01-		워크시트: W02-		워크시트: W03-		워크시트: W04-		워크시트: W05-					
15. 가능한 예방보전 작업작업														16. 설계변경			
9. 부품	10. 모델	11. 요인	12. 조건	13. 적용할 수 있는 조건 등	14. LN 번호	검사·상태감시		상태감시		제작업		교체		고장발견작업		분류 번호	내용
						주기	예방보전의 내용	주기	예방보전의 내용	주기	예방보전의 내용	주기	예방보전의 내용	주기	예방보전의 내용		
1. Shell	1. Main Body	1. 부식	1. 구멍의 얇아짐	· 만일 운전조건에 다른 변경이 없다면 사용 40년에는 고장발생이 없을 것으로 예상된다. · 예상기능고장 날짜의 6년전부터 2년주기로 검사를 실시				2Y	· 육안·두께 측정 (얇아짐의 경향 파악) · 2032년이 후에 고장이 예상되므로 2025년부터 검사 실시								
		2. HIC	2. 균열의 침투	· 환경조건의 손상에서 벗어나더라도 HIC의 발생으로 나타난다. · 검사주기는 2년				2Y	육안 및 측정 (얇아짐의 경향 파악)								

변경이 필수적인 것으로 명시되며, 경제적인 면에 영향을 미치는 것과 잠재적 기능고장들은 설계변경이 바람직한 것으로 명시한다. 고장에 의한 생산손실을 포함한 경제적 손실은 설계변경에 필요한 경비들과 비교되어야 한다.

4.5. 결과와 성과

이 회사에서는 부품 모델의 계획보전에 RCM을 적용하여 보전정책, 보전 아이템, 보전주기를 결정하였는데 이것에 대한 한 예를 <표 22>에 나타내었다 [44]. 표에서 보면 195가지의 축매정화장치가 있고, 3,845개의 부품들과 4,437개의 고장요인들이 있음을 알 수 있다. 고장요인들 중에 63%는 예방보전을 필요로 한다. 2년의 보전주기를 갖는 부품이 7%, 4년 또는 그 이상의 보전주기를 갖는 부품들이 91%이다. 2년의 보전주기는 좀 더 긴 기간의 계속적인 운전을 위해 그 이상으로 연장되어야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

또한 이 회사에서는 RCM에 의한 계획보전을 시행함으로써

- ① 개별부품의 고장영향분석에 근거한 보전정책 합리화
- ② 보전정책 합리화를 위한 훼손형태에 대한 정의
- ③ 보전아이템의 합리화를 위한 훼손구조의 정의
- ④ 보전주기 합리화를 위한 잠재적 고장점의 결정
- ⑤ 보전비용의 감소 등의 유형효과를 보

았으며,

⑥ 무형효과에는

- ① 장비관리에 참여했던 각 부문의 기사나 전문 기술자들이 자기 업무에 접근하는 방법에 변화가 발생되었다.
- ② 운전부문의 감독자들은 FMEA의 결과를 사용하여 고장영향을 명확히 정의할 수 있었다.
- ③ 보전관리자들은 각개 부품의 고장물리법칙에 따른 논리적인 보전방법을

결정할 수 있게 되었다.

④ 설계관리자들은 계속적으로 고장영향을 피할 수 있는 설계와 짧은 수명의 부품의 수명을 연장할 수 있도록

노력하게 되었다.

<표 22> 축매정화장치 보전정책의 결정결과

축매정화장치의 수	부품의 수	고장요인	보전정책	보전아이템	보전주기
195	3,845	4,437	예방보전 63% 사후보전 36% 보전예방 설계대상 1%	37 형태	2년 9% 4년과 그 이상 91%

5. 결 론

이상에서 우리는 RCM의 개발절차와 TPM의 계획보전, 특히 예방보전의 도구로 가장 효과적으로 사용할 수 있는 RCM의 적용사례를 살펴보았다. RCM의 도입은 기업의 제조공정의 형태, 보유설비의 종류와 수량, 자주보전의 진행 정도, 보전부문의 기술·기능의 수준, 생산시스템의 설계·제조회사와의 협력의 정도, 최고 경영자와 관리자의 RCM에 대한 인식에 따라서 달라질 수 있다.

RCM의 개발절차는 기업의 여러 가지 여건에 따라서 달라질 수 있지만 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) RCM 개념의 기본교육 및

- 필요성의 교육
- (2) 기본자료의 준비
 - (3) 기능고장의 분석
 - (4) FTA, FMEA에 의한 분석
 - (5) LTA에 의한 최적보전방법의 선택
 - (6) 현행작업과의 비교
 - (7) RCM 체제의 구축

과거의 보전방법과 다른 RCM의 보전방법의 개념을 정리하면 [그림 14]와 같이 정리된다.

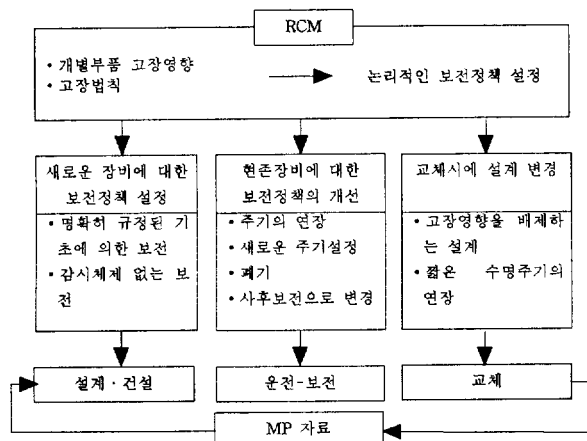
TPM의 계획보전활동의 일환으로 RCM을 개발하여 적용한 일본의 석유정제회사에서 살펴보았듯이 RCM 체제의 개발 및 효과적인 도입을 위해서 다음의 몇 가지 것을 제안한다.

첫째, TPM 우수상을 수상할 정도의 자주보전체제가 확립되어야 하며, 둘째, 경영자와 관리자는 RCM의 개념을 완전히 이해하여 이의 개발에는 엄청난 시간과 노력이 들어가지만 그 이상의 경제적 성과 및 무형효과를 얻을 수 있음을 인식해야 한다. 셋째, 생산시스템의 설계회사, 제조회사, 설치회사의 기술부문과 사용회사의 보전부문 및 운전부문 사이에 필요한 정보의 공유와 양호한 정보교환체계가 이루어져야 한다. 넷째, 한 기기에 대한 RCM 해석의 결과를 유사한 기기에 적용할 수 있도록 해석의 표준화를 추구하면 많은 시간을 절감할 수 있을 것이다.

다섯째, 본 연구에서의 RCM의 적용사례는 석유정제 회사였으므로 이와 다른 업종의 회사에서는 자기 회사에 적합한 개발방식에 대해 연구할 필요가 있다. 여섯째, 시스템 신뢰성의 확보는 부품수준의 신뢰성이 확보됨으로부터 시작된다. 따라서 부품의 신뢰성은 시스템 설계의 초기단계에서 검증되어야 하며, 개개 부품의 고장이 상위 아이টে에 미치는 영향은 시스템의 초기구성단계에서 연구되어야 한다.

또한 시스템 운전 중에 개개 부품의 고장이 실제로 상위 아이টে에 미치는 영향을 검사하고 기록해 놓음으로 MP 설계에의 피드백과 RCM 개발을 용이하게 할 수 있을 것이다. 일곱째, 한 기업의 수많은 종

[그림 14] RCM 보전방법



류의 수많은 설비(부품)에 대하여 완벽한 신뢰성을 확보하기에는 아주 많은 시간과 노력이 필요한데, 이와 같은 어려움을 극복하기 위해서는 RCM 관련자료의 DB의 구축과 RCM을 위한 의사결정지원시스템, 전문가 시스템 등의 개발이 필요하며, 기 개발된 정보를 공유하는 기업마인드의 조성이 요구된다.

부 록

SWBS	: System Work Breakdown Structure
LN	: Logic Tree Number
Y-D	: Yes Default
ID	: Individual Decision
DD	: Date Default
OCP	: On Condition Process
CMP	: Condition Monitoring Process
HIC	: Hydrogen Induced Cracking
N-D	: Not Default
SCC	: Stress Corrosion Cracking
NA	: Not Applicable
ex.	: external
in	: internal
MP	: Maintenance Prevention
FFA	: Functional Failure Analysis

참 고 문 헌

- [1]~[2] 中島清一 著, 한국표준협회 역 (1996), 「최고 경영자를 위한 경영 혁신과 TPM」, 서울, 한국표준협회, p. 156, p. 157.
- [3]~[13] 일본 플랜트 메인テナンス 협회 편저, 한국표준협회 역(1996), 「생산혁신을 위한 신 TPM 전개 프로그램」, 서울, 한국표준협회, pp. 297~337.
- [14] 박 경수(1993), 「신뢰성 개론」, 서울, 영지문화사, p. 1.
- [15] 川崎義人 著, 한국표준협회 역 (1992), 「신뢰성·보전성 총론」, 서울, 한국표준협회, pp. 6~9.
- [16] 加藤 透의 2인(1992), 「석유정제 플랜트へ 初のRCM適用」, 플랜트エンジニア, 1992. 11. pp. 30~36.
- [17]~[22] Makoto Saito(1995), "The Concept of Reliability Centered Maintenance(RCM)", '95 TPM World Congress, B4-2, pp. 1~17.
- [26]~[43] Hiroshi Horii, (1995), "RCM Effective Planned Maintenance", '95 TPM World Congress, B2-3, pp. 4~14.
- [44] 유정모의 1인(1995), "신뢰성향상 보전을 위한 의사결정지원시스템에 관한 고찰", 전주공업전문대 논문집, 제 22집, pp. 43~55.
- [45] Sugawara, M., et al, "Decision-Making Support System for RCM", Jr. Nucl. Sci., Tech., Vol. 30, No.6, pp. 505~515.
- [46] 松本純次(1995), "設備の信頼性向上による「夜間現場点検操作ゼロ」への挑戦", '95 TPM World Congress, C2-1, pp. 1~17.
- [47] 島本信雄의 1인(1993), "RCMお取りれ, 信頼性向上, 保全コスト低減に成果", 플랜트エンジニア, No.11. pp. 36~41