

設備診斷技術를 활용한 適應保全

- Adaptive Maintenance Using Machine Condition Diagnosis Technique -

송 원 섭 *
장 인 선 **

Abstract

This paper propose Adaptive Maintenance as a new type of maintenance for machine failures which are unpredictable. A purpose of adpative maintenance is to decrease inconsistency. In order to pick up some of problems the traditional maintenance policy, We discussed Time Based Maintenance(TBM) and Condition Based Maintenance(CBM) with Bath-Tub Curve. By using Machine Condition Diagnosis Technique (CDT), Monitored condition maintenance deals with the dynamic decision making for diagnosis procedures at maintenance and caution level. Adaptive Maintenance is a powerful tool for Total Production Maintenance(TPM).

I. 서 론

산업설비의 보전관리는 기업활동에서 주요한 위치를 점유하고 있다. 보전의 궁극적목적은 생산량 증대 및 품질확보를 위한 설비가동의 이용성(Availability)의 최대화에 있다. 이를 얻기 위해서 기업은 인적(조직), 보전정책 및 보전실무가 통합된 관리기술(managrment skills)이 요구된다. 이는 자동화된 생산설비의 증가에 따른 가장 최선의 예방보전 및 분해정비(overhaul)을 하기위함이다. 설비의 열화(failure) 진행과 설비진단기술(CDT:Machine Condition Diagnosis Technique)의 진보 등으로 설비보전정책의 변화가 인식됨에 새로운 설비보전정책이 요구 되며 방안의 대안으로 근래 적응보전(Adaptive Maintenance)에 대한 설비관리방식의 도입 활용이다. 이것은 기업의 보전정책변화에 유연하게 적용시켜 최적의 보전을 실시한다는 사고방식이다.[4,5,10] 미국의 화학플랜트설비의 고장(트러블) 원인이 되는 사항을 조사한 주요내용을 보면 다음과 같다.

- (1) 프로세스의 설계,조작,건설부문 :25%
- (2) 설비자체의 설계,조작,설치부문 :30%
- (3) 오퍼레이터 부문 :20%
- (4) 보전(공무)부서 부문 :25%

이러한 문제점들을 해소하기 위해서는 설비보전관리는 설비의 계획에서 부터 폐기에 이르기 까지 설비생애기간(Life Cycle)에 걸쳐 설비의 기획부문, 생산부문, 보전부문등 모든부문이 서로 협력하는 조직체제의 필요성을 시사하고 있다.[2,6,9]

* 전북대학교 대학원 경영학과(KSA TPM 추진실장)

** 전주대학교 산업공학과

접수 : 1994년 4월 20일

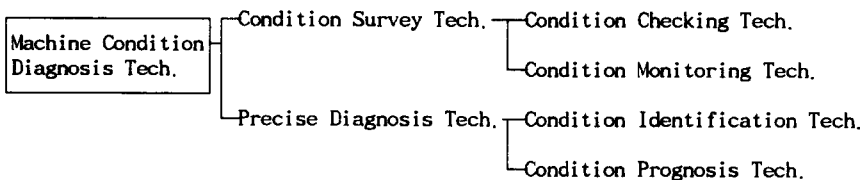
확정 : 1994년 5월 7일

위와같이 고장원인의 사례는 일관된 설비보전정책보다는 설비특성에 따라 보전방식이 재검토되어야 함을 보여주고 있다. 종래는 주로 동일한 보전방식(설비점검주기,부품교체주기 등)을 반복 수행하여 사실상 많은 손실을 발생 시켰으며, 데이터의 실적집계, 분석 및 평가가 오퍼레이타의 수작업으로 진행되면서 설비열화의 상황에 대한 기록 및 해석이 충분치 못한 실정 때문이다. 따라서 기업의 설비생산성 향상 및 품질개선을 위해서는 설비열화의 점검, 설비진단기술의 진보, 보전기술담당자의 기능 및 기술능력등이 종합적으로 검토, 연구되어야 된다. 본 논문에서는 이러한 보전정책의 변화에 대응할 수 있도록 설비진단기술(CDT)을 활용하여 설비의 적응보전(Adaptive Maintenance System)의 적용방식을 다루는데 주 목적을 둔다.

II. 설비진단기술과 설비보전방식

1. 설비진단기술

설비진단기술은 보전비용절감 및 성력화를 위한 수단으로서 실제 생산기술관리에 대한 진단으로 볼 수 있다. 고장의 여부와 아울러 왜 고장이 발생하였는가를 파악하여 이를 개선, 해결함이 더욱 중요하다. 즉 고장의 검출자체로 끝나서는 안된다는 것이다. 설비진단기술(CDT)이란 설비의 상태 즉 (1)설비에 부하된 stress의 검출 (2)열화와 고장의 검출 (3)강도와 성능의 검출과 결합의 원인 및 정도에 따라서 고장의 종류, 위치, 위험도등을 식별,평가하고 불확실한 열화상태를 예측하여 수리 및 복원방법을 결정하는 종합진단기술이며 열화상태를 조기에 발견하고 나아가 최소의 보전비로 설비를 정상상태로 유지하기 위한 시스템이다. 설비진단기술은 <Figure 1>과같이 2가지 유형으로 나누어지며 간이진단기술은 자주보전업무에서 실시함이 바람직하다. 정밀진단기술은 간이(상태)진단기술에 의하여 결합 징후가 있다고 판정한 설비를 정밀하게 진단하여 조치를 취할 것을 결정하기 위한 기술이며 전문보전부서에서 전담하여 관리한다.



<Figure 1> Classification of Machine Condition Diagnosis Technique

설비진단기술은 매우 광범위한 기술분야를 다루고 있으며 진단설비가 Ball & Bearing, 기어박스, 軸(로더),유체기계(펌프,펜,컴프레셔,제어밸브)등 기계특성에 따라 다음과 같이 5가지 진단항목이 유효하게 사용된다.

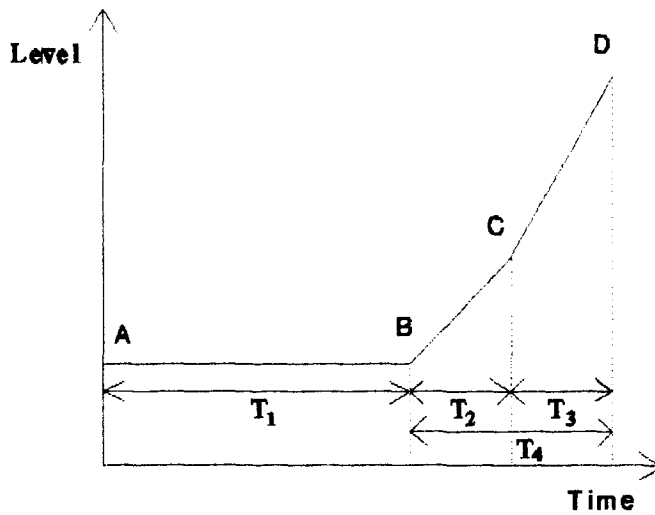
- (1)관능(목시)진단
- (2)진동음향해석진단(회전기계)
- (3)油분석진단
- (4)성능진단(performance monitoring)
- (5)구조물 총합진단(integrity monitoring)

(1)은 사람에 의한 관능점검으로서 정확성이 있으며 비파괴검사를 일부 포함하는 주요한 설비진단방식이다. (2)는 시스템이 자동화, 지능화됨에 따라 보전관리시스템의 보조시스템으로서 중요한 기능을 담당하고 있다. (3)은 Deris monitoring진단기술 이라고도 하며, 유압운할 관련설비에 있어서 진동음향해석진단기술과 병행하여 사용되기도 한다. (4)는 내연기관, 유체기계등에 대한 성능의 측정해석의 경우 매우 유효하다. 특히 품질관리 및 에너지관리의 적용에 전망이 예상된다. (5)는 각종 구조물,배관,중류탑등의 부식점검(corrosion monitoring)과 균열점검(crack monitoring)으로서 산업용로봇(industrial robot)에 의한 관리방식으로 연구가 진행되고 있으며, 석유화학등 장치산업분야에서 중요하게 다루어 지고 있다.

<Figure 2>은 설비진단에 대한 시간적과정을 나타낸 것으로 A점에서 정상상태로 유지하면서 B점에서 결함발생이 일어난 상황을 나타낸다. C점에서 결함이 검출된 경우 설비상태에 대하여 정밀진단을 실시, 파국적으로 D점에 이르지 않도록 예방보전을 취하여야 한다. T₃의 경우는 기술적인 지연과 검사주기 지체로 인한 지연으로 볼 수 있다.

(기호설명)

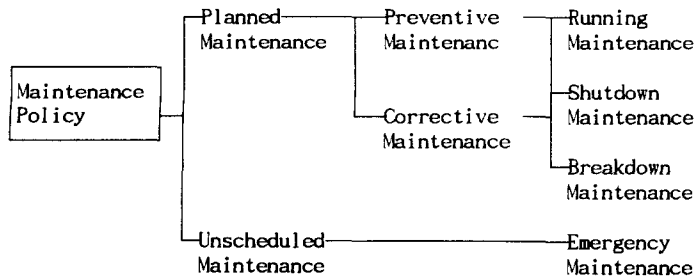
- T₁:초기결함이 발생하기까지 시간
- T₂:결함발생에서 검출까지 검출지체시간
- T₃:결함검출에서 고장까지 리드타임(lead time)
- T₄:결함발생에서 고장까지 시간 (T₄ = T₂ + T₃)



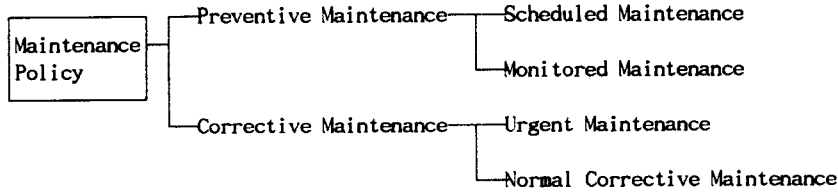
<Figure 2> Machine Condition Diagnosis Curve

2. 보전방식

보전방식에 대하여 영국표준(BS)[11]과 일본표준(JIS)[12]에 설정된 분류방식을 비교하여 보면 <Figure 3> 및 <Figure 4>와 같다. 요구되는 기능(Function)에 따라 차이가 있으며 영국표준(BS)에서는 Unscheduled Maintenance가 설정되어 있는 것이 일본표준(JIS)과 다르다. 예방보전(Preventive Maintenance)는 미리 고장예방을 위하여 정기적으로 일정을 설정하여 수행하는 것이며, 계획보전(Scheduled Maintenance)는 미리 정해진 일정에 따라 수행되는 점에서 차이가 있다. 점검보전(Monitored Maintenance)는 설비의 정기적인 점검상태에 따라 조치가 이루어진다. 개량보전(Corrective Maintenance)는 고장에 대한 일괄 조치(부품일괄교체 등)를 취하는 것이며, 정규개량보전(Normal Corrective Maintenance)는 예방보전이 보전정책 규정에 의하여 수행되지 않은 품목의 고장에 대한 조치이다.

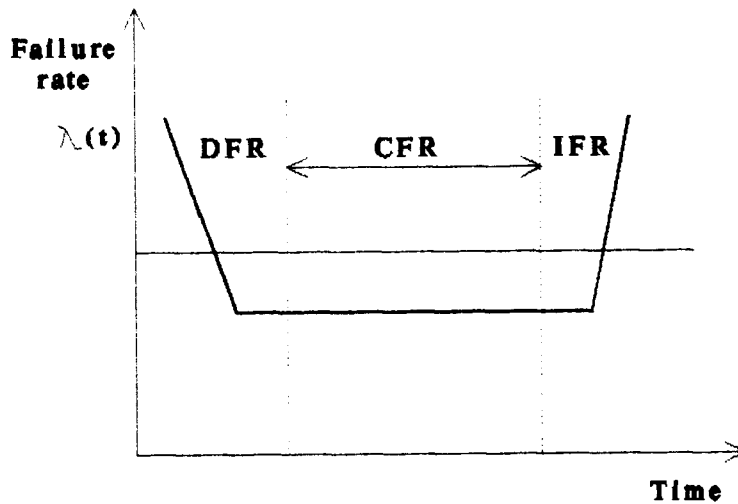


<Figure 3> Classification of Maintenance Policy by British Standards



<Figure 4> Classification of Maintenance Policy by JIS

설비의 고장률이 <Figure 5>와 같이 전형적인 욕조곡선(Bath-Tub Curve)을 이룬다고 볼때 초기고장시기(DFR)는 디버깅을 통한 보전방식을 조치하여 고장율을 감소시킨다. 마모고장시기(IFR)에는 열화가 진행하여 고장률(λ)이 상승하기 시작하므로 예방보전이 유효하다. 그러나 우발고장시기(CRF)에는 고장률이 일정하므로 고장시간 및 원인발생이 랜덤하므로 실제로 통계적 데이터에 의하여 보전관리를 할 수 없어 예방보전(PM)의 실효성이 적다. 이 시기는 고장의 빈도가 적고 고장간격이 불규칙적이며, 고장원인이 불투명하므로 예방보전을 하지않는 이유가 된다.따라서 실제 정기적 점검(monitring)을 통한 보전관리가 요구되며 우발고장시간에 대한 보전대책이 본 연구의 관심대상이 된다.



<Figure 5> Bath-Tub Curve

항공기용 기계설비(펌프,밸브,모터,팬 등)의 고장률(λ)이 사용시간에 따른 패턴을 조사한 결과를 보면 전형적인 Bath-Tub Curve에 따르는것은 불과 4%에 이르고 있으며, 고장율漸増型은 전체 12%를 차지하는 반면 사용기간에 대해 고장률(λ)이 일정한 것이 전체의 88%를 점유 하고있다. 즉 우발고장형태의 특성을 가진 설비가 88%를 차지하므로 여기에 설비상태를 정기적으로 점검하는 적응보전방식의 필요성이 있음을 시사하고 있다. 특히 복잡성과 정밀성을 갖춘 기계류에 대해서는 이러한 경향이 강하게 나타나고 있다.

이와같이 종래의 신뢰성이론에서는 우발고장기간에 예방보전이 무의미한 것으로 다루어왔다.[3] 이는 고장의 시점과 원인이 별도로 관리됨으로서 통계적으로 결정할 수 없었기 때문이었다. 따라서 설비진단에 의해 열화(failure)를 측정하므로써 최적의 예방보전을 위한 시점과 방법을 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 위의 조사된 사항을 볼때 88%의 설비는 적응보전을 통한 설비안정화를 기할 수 있다고 사료된다. 기계설비의 열화형태에 따른 보전정책은 <Table 1>과 같이 분류할 수 있다.

<Table 1> Failure Rate Patterns

Failure Type	Maintenance Policy		
	BDM	TBM	CBM
Increasing Failure Rate	Unsuitable	Most Suitable	Suitable
Constant Failure Rate	Suitable	Unsuitable	Most Suitable
Decreasing Failure Rate	Unsuitable	Unsuitable	Most Suitable

<Table 1>과 관련된 설비보전정책의 기본적 개념을 설명하면 다음과 같다.

(1) 시간기준보전(TBM:Time Based Maintenance)

일상점검을 하지않고 일정기간마다 수리복원하는 것. 즉 고장실적, 정비공사실적 및 설비안전 규제에 기준하여 갯런더 일정주기로 검사 및 교체를 계획, 실시하는 보전형태.

(2) 상태기준보전(CBM:Condition Based Maintenance)

열화상태를 정량적으로 경향을 파악하여 열화의 진행을 정량적으로 예측한 바탕으로 수리,교체를 계획 실시하는 보전형태. 이것은 모니터된 파라메타(monitored parameter) 진동 등에 대한 변화로서 나타난 기계의 주요한 열화(failure)에 반응하여 실행되는 보전이며, 파라메타에 변화가 없으면 보수해서는 안된다는 것을 의미한다.[1]

(3) 사후보전(BDM:Break Down Maintenance)

일상점검을 하지않고 설비가 기능저하 내지는 기능정지(고장)된후에 수리교체를 실시하는 보전형태.

III. 적응보전관리

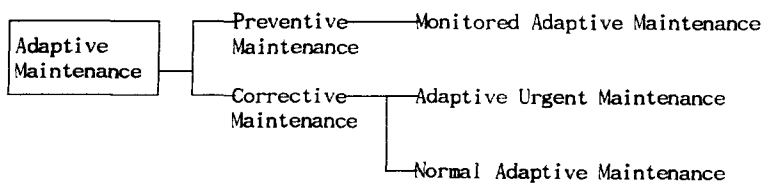
적응보전(Adaptive Maintenance)관리는 설비의 열화진행의 변화에 유연하게 적응시켜 최적의 보전을 실시한다는 사고방식에서 출발된다. <Figure 6>는 적응보전방식의 분류를 나타낸 것이다.[8]

1)적응예방보전(Adaptive Preventive Maintenance)

상태점검에 따라서 실시되며 점검상태는 인식모델(cognitive model)의 적합도에 의해 실행된다.

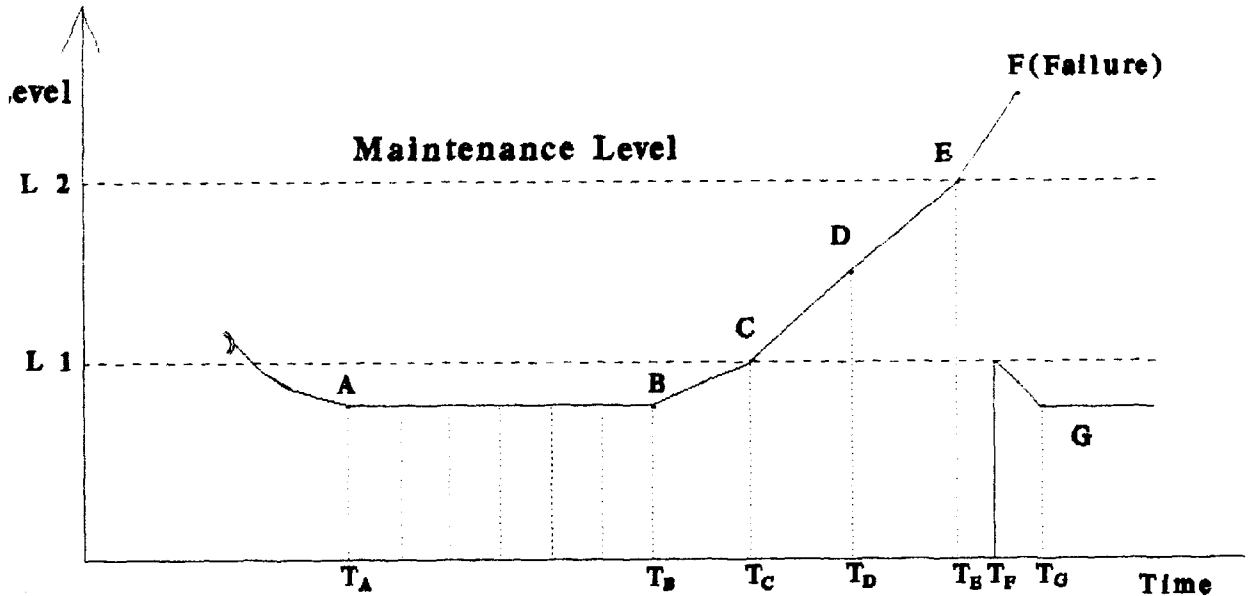
2)적응개량보전(Adaptive Corrective Maintenance)

설비고장의 원인에 따라 2가지 유형으로 조치를 취한다. 설비고장이 정보정책 의사결정에 의하여 되는 경우는 그 원인을 제외시킬 수 있으므로 적응긴급보전이라 한다. 이는 잘못된 보전정책을 개정시키는 것이다. 그리고 설비고장이 예기치못한 환경에 의하여 발생 한 경우는 그 원인은 제외 시킬수 없으므로 정규적응보전이라 한다. 이는 새로운 환경구조를 조성하는 것이다.



<Figure 6> Classification of Adaptive Maintenance

적용(예방)보전에 의한 진단방식을 보면 <Figure 7>과 같다. 이 그림의 세로축은 열화파라메타(진동)를 나타낸다. A점에서 수리 및 복원이후 자주보전에 의해 B까지 정기적으로 점검한다. Level 1(주의수준)에 이르는 C점에서 설비의 결함이 발견(검지)됨에 따라 전문보전부서에서 관심을 갖고 지속적으로 점검주기를 좁혀나가면서 D점에서 정밀진단을 실시한다. 계속 설비상태가 나빠지는 경우 E점에서 보수(수리)직전에 최종적으로 확인진단을 하여 보수조치를 위한 의사결정을 내린후 보수 및 복원된다. 만일 C점 이후에 계속 점검이 되지않는 경우 보전수준인 Level 2(위험수준)를 넘어 고장 F점으로 이르러 생산보전업무에 지장을 주게 된다. 종래는 A-B구간에서 고장의 유무에 관계없이 부품의 교체 및 보수가 실시되는 인위적인 로스가 주로 발생하였다. 적용보전에서는 상태기준보전(CBM)에의해 일정시간마다 제측만 실시하여 결함이 없으면 그대로 유지하여 불필요한 보수를 피할수있어 생산(설비)종합효율을 향상시킬수 있다. 특히 기계의 메카니즘 복잡성과 정밀성을 지닌 설비인 경우 적용보전방식의 효과가 클것으로 예상되며, 랜덤고장유형의 설비는 그 효과가 크다. 따라서 어떤 설비를 어느 유형의 보전방식에 적용할것인가를 먼저 검토함이 바람직하다.



<Figure 7> Monitored Adaptive Maintenance

IV. 결론

설비생산성향상 등 경쟁력 강화를 위한 여러가지 전략중 설비보전관리의 효율화는 기업의 절실한 과제가 되고 있다. 근래 4-5년에 걸쳐 국내 기업(가공조립 및 장치산업)들은 TPM(전사적생산보전)도입 및 추진과정에서 생산(설비)종합효율면에서 가시적인 설비생산성향상을 체험하고 있으며, [7] 오퍼레이터와 설비에 대한 인식이 경영층에서 부터 달라지고 있다. 즉 설비가공기술의 진보(고속가공, 초정밀가공기술 등)에 따른 설비보전능력의 확보가 주된 과제가 되고 있다. 보전능력향상을 위해서는 우선 설비진단기술의 개발과 설비진단기기의 적용 확대 및 수준향상에 관심을 기울여야한다. 기업에서 보전활동이 불가피한 비용지출(Cost Center)이라는 부정적측면보다는 이익창출(Profit Center)이라는 인식변화가 필요하며, 이는 일본(新일본제철 君津제철소 등) 및 선진각국에서 그 사례를 잘 보여주고 있다. 본 연구에서 다룬 적용보전은 설비진단기술의 유용한 분야로서 설비의 상태를 정기적으로 점검하는 보전방식이다. 현대화된 산업설비의 보전효율향상을 위하여 적용보전방식의 적용성이 증가할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Baldin A., "Condition-based maintenance: A powerful tool for modern plant management, Terotechnica 1, pp.119-129, 1979.
2. Blanchard, B. S., "Life cycle costing: A review", Terotechnica 1, pp.9-15, 1979.
3. Cho D.I. and Parlar M., "A survey of maintenance models for multi-unit systems", European Journal Operational Research, Vol.51 pp.1-23, 1991.
4. Kelly A., "A review of the maintenance management problem", Terotechnica 1, pp.243-255, 1980.
5. Pintellon L. M. and Gelders L. F., "Maintenance management decision making", European Journal Operational Research, Vol.58 pp.301-317, 1992.
6. Gallimore K. F. and Penlesky R. J., "A framework for developing maintenance strategies", Production and Inventory Management, Vol.29, No.1, pp.16-22, 1988.
7. Takahashi, Y., "Maintenance-oriented management via total participation", Terotechnica 2, pp.79-88, 1981.
8. Tanaka Kenji, "On a new concept Adaptive Maintenance for System Failures", International Symposium on Reliability and Maintainability, Tokyo, JUSE, pp.580-585, 1990.
9. Tombari H.A., "Designing a maintenance management system", Production and Inventory Management, Vol.23, No.4, pp.139-147, 1982.
10. Wilkinson J. J., "How to manage maintenance", Harvard Business Review, Vol.46 pp.100-111, 1968.
11. BS-4778, 1979.
12. JIS Z 8115-81, 1981.