

## 고장징후를 이용한 설비의 고장시점 예측

- The prediction of failure point by using failure symptom -

김 광 만 \*  
이 재 원 \*\*

### Abstract

In this paper, we presents the prediction of failure point in facility by using the analysis of the failure symptoms. The status of a component is represented by the failure symptoms where as, the failure symptoms are expressed mathematically based on the Fuzzy Theory.

### 1. 서 론

기업의 생산성 향상과 그로 인한 경쟁력 제고를 위해 도입되는 각종 자동화 설비들은 그 성능이 정교화 된 만큼 복잡하고 다양한 기술로서 이루어져 있다. 그러나 아무리 복잡한 설비라도 설비는 사용되어 감에 따라 그 성능은 떨어지게 되고 결국 고장과 수리를 반복하면서 그 일생을 마치게 된다. 따라서 설비가 폐기되기 전까지 그 사용목적에 알맞게 가동될 수 있도록 그 성능을 유지시켜주기 위해서는 고도화된 기술과 많은 비용이 들게 될 것이다. 특히 무인화를 지향하는 진보된 공장에서의 설비고장은 공장 전체의 가동이 중지될 수도 있는 심각한 상황을 내포하고 있다. 따라서 미래지향적인 공장일수록 고장을 제로로 하는 보전시스템(maintenance system)의 도입이 필요할 것이며 이를 위해서는 설비의 상태를 미리 파악하여 고장의 발생을 미연에 방지하는 예방보전(Preventive Maintenance) 정책이 가장 이상적일 것이다.<sup>[1]</sup>

이 예방보전을 실시하기 위해서는 다음과 같은 두가지 항목의 결정이 이루어져야 한다.

- 1) 대상부품의 선정
- 2) 고장시점의 예측

즉, 설비를 이루고 있는 수많은 부품중에서 "수리 및 교체를 실시하여야 할 대상부품은 어느 것인가" 또, "그 부품이 고장날 시점은 언제이고 어떤 방법으로 그 부품을 수리(또는 교체)할 것인가" 등에 대한 예측이 이루어져야 하고 이에따른 보전작업일정이 구축되어야 한다.

고장이 발생할 부품을 찾아 예방보전을 실행하기 위해서는 모든 부품에 대한 상태를 항상 감시(monitoring)하는 방법이 가장 이상적일 수 있겠지만 그것을 위해 투자되는 비용과 기술등의 현실적 어려움 때문에 다음과 같은 두가지 방법이 많이 이용되어 왔다.<sup>[2]</sup>

---

본 연구의 일부는 인덕전문대학의 연구비지원에 의해 이루어졌음

\* 인덕전문대학 공업경영과 조교수

\*\* 인하대학교 자동화공학과 교수

접수 : 1994년 5월 6일

확정 : 1994년 5월 12일

- 1) 정기적인 교체 및 수리 주기에 의한 예방보전
- 2) 주기적인 부품의 점검에 의한 예방보전

정기적인 교체 및 수리 주기에 의한 대상부품의 예방보전방식은 과거 부품의 고장이력을 중심으로 평균 고장시간(MTTF) 이나 평균고장시간간격(MTBF)을 정해두고 이 시간이 경과했을 때 대상부품을 교체 및 수리하는 방식이며 이는 고장의 발생이 무작위적으로 발생하는 것에 비추어 볼 때 빠른 교체로 인한 잔여 수명손실과 늦은 교체로 인한 고장손실등의 손실비용이 발생할수 있다.

주기적인 부품의 점검은 정기적인 교체 및 수리 방식을 보완 할 수 있는 보전정책으로 부품의 수명한도 내에서 적당한 점검횟수 및 점검주기를 결정하여 부품을 검사하고 부품의 이상상태에 대해 수리모형으로 표현하고 이를 이용해 고장시점을 예측하여 예방보전을 행하려는 방식이다. 이 방법은 정기적인 교체 및 수리 주기에 의한 보전방식보다 다소 진일보한 방법으로 평가되어왔으나<sup>[3]</sup> 점검주기의 결정과 점검활동에 소요되는 비용에 대한 문제점이 발생할 수 있다.

이에 인공지능(Artificial Intelligence) 기법을 이용한 설비의 상태점검에 관한 연구들과<sup>[4,5]</sup> 부품의 수명에 의한 연구들이<sup>[6,7]</sup> 수행되어 왔으며 본 연구에서는 설비의 고장에 영향을 미치는 여러가지 요소들이 복합적으로 상호작용하여 나타난 결과인 고장징후(또는 이상증세)를 분석하여 예방보전계획에 적용할 수 있도록 설비부속품(components)의 고장시점을 예측하고자 한다.

## 2. 설비고장과 고장징후

일반적으로 설비는 몇개의 시스템(system)으로 이루어져 있으며 이들은 다시 각각 몇 개의 하부시스템(sub-system)으로 계층을 이루면서 분리되며 최종적으로 다수개의 부품(part)으로 나누어진다. 따라서 이들간의 관계는 Fig.1 과 같이 계층구조(hierarchical structure)로 나타낼 수 있다.

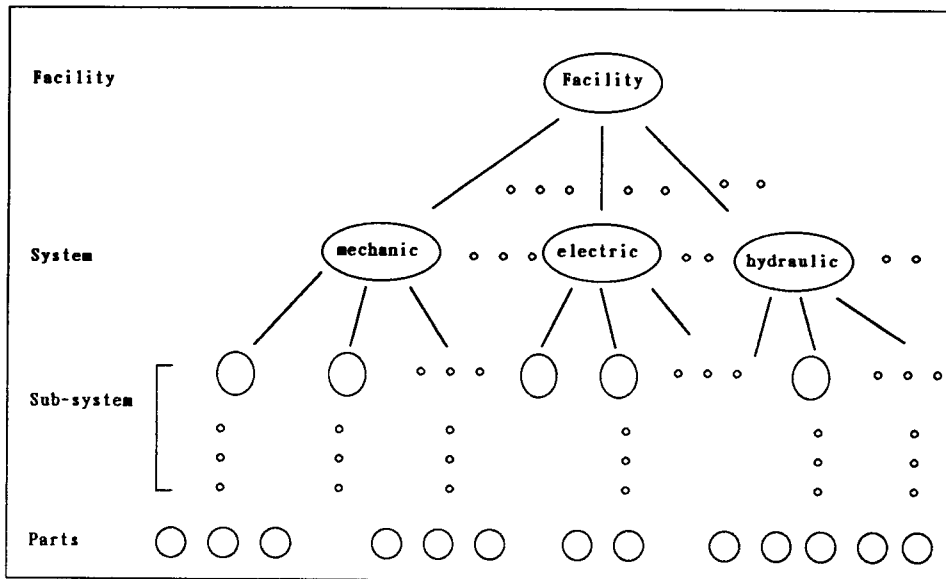


Fig.1 Hierarchical structure of a facility

설비의 고장은 Fig.1에서 나타낸 설비의 계층구조에서 최하부에 위치한 부품의 고장일 수도 있으며 때로는 그들의 조합으로 구성되는 보다 상위단계에서의 고장일 수도 있다. 따라서 부품을 대상으로 하는 보전정책이 경제적, 기술적 관점에서 최적일 아닐 수 있으므로 어느 단계의 대상물을 기준으로 보전정책을 수립할 것인지는 기술적인 검토와 경제적인 분석하에서 이루어져야 할 것이다. 따라서 보전정책의 수립은 이러한 기술적, 경제적 관점에서 선정된 부속품(components)을 대상으로 이루어져야 하며 이들중에는 열화에 따라 고장에 이르기 전에 이상징후를 나타내므로써 고장이 일어날 것을 예측할 수 있는 부속품도 있으나 때로는 이상징후를 나타내는 시간이 매우 짧아 이상징후를 느낄 겨를없이 고장에 이르는 부속품도 있다.

Table 1은 작업자가 인지할 수 있는 설비의 이상징후에 대한 예를 나타낸 것으로 숙련된 작업자는 이러한 이상징후를 가지고 부속품의 고장을 예측할 수 있으며 따라서 이러한 이상징후가 설비의 고장으로 연결되는 징후를 고장징후(failure symptom)라고 한다.

Table 1. 작업자가 인지할 수 있는 설비 이상징후와 그 원인

감각	징후	원인
청각	소음	마모, 충돌, 깨짐
후각	냄새	온도상승, 마찰열 발생, 오일부족
촉각	떨림	볼트, 너트의 풀림, 벨트의 장력 부적정
	온도변화	발열, 냉각
시각	누수, 누유	패킹불량, 부적정압력, 과부하
	변색	발열, 냉각

이 고장징후들은 설비의 사용중에 부속품의 특성이나 작업조건에 따라 한가지 또는 몇가지가 동시에 나타날 수도 있으며 그 형태도 다양하게 표출 될 수 있다.

Table 2는 공작기계의 일종인 Press의 주요부위들에 대한 고장징후를 나타내고 있다<sup>[8]</sup>.

Table 2에서 알 수 있듯이 설비를 구성하고 있는 각 부속품에 대한 고장징후는 여러종류가 있으며 이들은 서로 독립적일 수도 있으나 복합적으로 반응하며 나타날 수도 있다. 따라서 부속품의 고장시점을 예측하기 위해서는 부속품이 나타내는 고장징후들과 그 징후의 크기를 모두 고려하여야 한다.

### 3. 고장징후에 의한 고장시점예측

설비를 다루는 작업자에 의해 인지되는 고장징후는 그 크기(세기)의 표현에 있어서 다음과 같이 모호한 표현을 사용하는 경우가 많이 발생한다.

- 소 음 : (소리가) 매우크다, 크다, 보통이다, 작다, 매우작다, ....
- 온 도 : (온도가) 매우뜨겁다, 뜨겁다, 따뜻하다, 차다, 매우차다, ....
- 진 동 : 매우떨린다, 떨린다, 조금떨린다, ....

Fuzzy 이론<sup>[9]</sup>은 이러한 모호한 언어적 표현을 수학적으로 처리할 수 있으며 이를위해 언어적 변수(linguistic variable)를 사용한다. 따라서 이 언어적 변수를 사용하여 다음과 같이 부속품의 고장시점을 예측할 수 있다.

$X_{ij}$ 는  $j$ 라는 설비의 부속품  $i$ 에 대한 이상징후를 언어적으로 표현하는 것으로 "소리가 매우 크다", "소리가 작다" 등을 의미하며 이 언어적 표현의 집합을  $F_k$ 로 나타낸다. 여기서  $k$ 는 부속품의 상태를 나타낼 수 있는 고장징후의 종류를 표시한다.

Table 2. Press의 주요부위에 대한 고장징후

주요부위	고장징후	
트랜스 및 선	소음	- 트랜스 및선내의 이상음
	발열	- 트랜스 및선부의 이상발열
	누유	- 클러치 실린더 및선부의 누유 - 트랜스 및선부의 누유
	작동이상	- 정지시 미끄럼 각도가 크다. - 정지위치 불균일
슬라이드부	작동이상	- 오일펌프가 복귀하지 않는다. - 과부하에서 작동하지 않는다. - 공칭능력 이하에서 작동한다. - 펌프가 가끔 작동한다.
	소음	- 펌프의 이상음
	진동	- 진동발생
카운터바란스	진동	- 부하시의 충격이나 진동이 크다.
	작동이상	- 슬라이드의 왕복운동이 원활하지 못하다.
공압기기	누출	- 공기누출
	누유	- 니들스타트로 부터 기름이 새어나올 때
전장품	소음, 진동	- 통전시 전자접촉기와 보조계전기에서 응용 거리는 소리와 진동이 발생한다.
	작동이상	- 리미트 스위치의 ON, OFF가 불안정하다.
	작동이상	- 유압이 규정압으로 상승하지 않거나 상승 시간이 많이 걸린다. - 윤활이상 표시등이 점등한다.

$\mu_{ij}^{F_k}(x)$ 는 언어적 상태가 가지는 귀속함수(membership function)를 의미하며  $D_{ij}(x)$ 는 설비 j에서 부품 i에 대한 성능함수(performance function)를 의미한다. 따라서 Fuzzy언어적 상태변수에 대해  $D_{ij}(x)$ 의 평균 값은 다음과 같이 계산된다

$$A_{ij}^{F_k} = \frac{\int_x D_{ij}(x) \mu_{ij}^{F_k}(x) dx}{\int_x \mu_{ij}^{F_k}(x) dx} \quad (1)$$

또한 고장징후에 대한 관찰시점에서 부속품의 누적사용량을  $v_{ij}$ 라고 할때 그의 고장시점은 다음과 같다.

$$T_{ijk} = \frac{v_{ij}}{A_{ij}^{F_k}} \quad (2)$$

따라서 부속품상태의 관찰시점부터 고장까지의 잔존시간은 다음과 같다.

$$T_{ijk}' = T_{ijk} - v_{ij} \quad (3)$$

부속품의 관찰시점부터 고장까지의 시간인  $T_{ijk}'$  값은 고장징후마다 다르게 나타날 수 있으므로 이들을 대표하는 값( $T_{ij}'$ )을 결정하여야 하며 보수적인 예방보전정책을 수립하기 위해서는 이들 중 최소치를

부속품의 잔존고장시간으로 결정할 수 있다.

$$T_{ij}' = \text{Min} \{T_{ijk}' : k=1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

#### 4. 결 론

설비의 고장시점을 예측하는 일은 자동화시스템의 예방보전 정책을 수립하기 위해 매우 중요한 사항이다. 이를 위해 과거 보전이력에 근거한 통계적 수명예측 방법이 많이 사용되어 왔으나 고장현상이 갑작스럽게 나타나는 경우가 많으므로 이를 과거 보전이력에만 근거한다는 것은 문제가 있다. 따라서 부속품의 고장에 영향을 미치는 요소들이 나타내는 결과인 고장징후를 분석하고 이에 대해 Fuzzy 이론을 적용시켜 고장시점을 예측하고자 하였으며 특히 하나의 부품에 다수의 고장징후가 발견되는 경우에 대해 고장시점을 예측하는 방법을 제시하였다. 이 고장시점에 관한 정보는 예방보전을 위한 일정계획을 수립하는데 유용한 정보로서 활용될 것이다.

#### 참고문헌

1. 윤 덕균, 한국형 TPM 시스템, 범경출판사, 1993
2. 이 순요, 신 설비관리론, 박영사, 1990
3. Geurts. J.H.J., ' Optimal Age Replacement Versus Condition Based Replacement ; Some Theoretical and Practical Consideration ', Journal of Quality Technology V.15, pp.171-179, 1983
4. Randall Davis, ' Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior ', Artificial Intelligence, V.24, pp. 347-410, 1984
5. Zheng Xiaojun, Yang Shuzi, Zhou Anfa and Shi Hanmin, ' A Knowledge-Based Diagnosis System for Automobile Engines ', The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, V.3, N.3, pp. 159-169, 1988
6. J.H.Wang, J.M. Liittschwager and Tzvi Raz, ' Equipment Life Estimation Using Fuzzy Set Theory ', Application of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier pp. 197-211, 1989
7. JoHN S.USHER, GLENN M. WHITFIELD, "Evaluation of Used-System Life Cycle Costs Using Fuzzy Set Theory", IIE Transactions V.25, N.6, pp. 84-88, 1993
8. Gold-Pac Press 취급설명서(GP-110 ~ 200), 금성전선 증공업 사업부
9. Gupta and Kaufmann, ' Fuzzy Mathematical Model in Engineering and Management Science', North-Holland, pp. 19-139, 1988