

## FMEA 개념과 사례베이스추론 기법을 이용한 보전작업순서결정시스템의 개발

- Development of Maintenance Sequence  
System by Using Modified FMEA and CBR -

김 광 만\*

Kim Kwang Man

### Abstract

In Factory, as the number of machine is increased the more maintenance efforts are necessary. Multi maintenance issues may occur at a certain time and the determination of maintenance sequence is needed. In this study, we first compare the priority of machines and the impact value using modified FMEA( Failure Mode Effect and Analysis ) method. Also, CBR(Case-based Reasoning) approach is applied to retrieve similar fault cases of current machine problem.

The proposed methodology will be useful to implement decision support system of maintenance sequence for CMMS/EAM(Computerized Maintenance Management System/Enterprise Asset Management).

### 1. 서론

최고를 지향하는 고객의 요구를 만족시키기 위해 산업사회의 기술은 끊임없이 발전하고 있다. 고품질, 저비용, 단납기를 실현하기 위해 생산현장은 자동화, 무인화를 지향하고 있으며, 이처럼 생산현장이 설비를 중심으로 변모할수록 관리해야 할 설비의

\*인덕대학 산업시스템경영과

수는 늘어나고 이에 따라 보전작업요청은 급속히 증가한다. 보전작업자는 이를 해결하기 위해 설비의 고장에 즉각적으로 대응해야 함은 물론 고장이 발생하지 않도록 하는 예방보전작업도 수행하여야 한다. 설비의 고장은 미리 예측하기 어려우므로 특정 시점에서 처리해야 할 보전작업이 다수 존재하면 보전작업자는 우선순위를 결정하여 보전작업을 수행하게 된다. 그것은 고장으로 인한 손실의 영향을 줄이기 위한 방법인 것이다. 이처럼 설비에 대한 보전작업을 시행할 때 보전작업간의 우선순위에 대한 결정이 필요하며 이는 설비고장으로 인한 기업의 전체적인 손실을 줄일 수 있는 방법이 될 것이다.

설비에 대한 고장영향의 분석방법으로 FMEA(Failure Mode Effect and Analysis) 기법이 이용되고 있어 단일설비의 고장영향에 대한 크기는 비교할 수 있을 것이다[1]. 그러나 여러 종류의 설비에 대한 각각의 고장영향에 대한 크기 비교는 어려우므로 보전작업시 어떤 작업을 먼저 수행해야 할지를 결정하기 어렵다. 또한 발생한 설비고장이 어느 정도의 고장영향을 갖는지를 알기 어렵다. 이에 발생한 설비고장이 어느 정도의 고장영향을 갖는지를 기존의 보전작업들과 비교, 판단하여 고장영향의 크기를 산출할 수 있다. 이를 위해서는 발생한 고장이 어떤 상황인지를 정확히 진단할 수 있어야 하며 설비고장에 대한 진단방법으로는 사례기반 추론방식에 의한 방법이 이용될 수 있을 것이다[2].

본 연구에서는 CMMS/EAM(Computerized Maintenance Management System/Enterprise Asset Management) 시스템의 개발을 위한 일부기능으로서 다수의 설비를 운영할 때 보전작업의 우선순위를 결정하기 위한 것이다. 이를 위해 FMEA 기법을 변화시켜 이용함으로서 설비의 고장영향에 대한 중요도를 산출할 수 있게 하여 다수의 설비에서도 고장영향에 대한 중요도를 비교할 수 있도록 하였으며, 새로운 고장이 발생하는 경우 사례보전추론 방식을 이용한 고장진단을 통하여 기존의 고장사례를 기반으로 중요도를 산출할 수 있도록 하였다.

## 2. 보전작업의 특성

### 2.1 설비의 고장모드와 보전정책

생산설비는 그 수명기간 중에 반드시 고장이 발생하게 된다. 설비가 복잡할수록 발생하는 고장의 형태는 다양하게 나타나며 고장으로 인한 영향의 정도도 달라질 수 있다. 피로, 누출, 마모, 열충격, 진동, 이상음, 발열, 작동불량, 단전, 단락 등은 일반적인 설비에서 나타나는 고장의 형태들이다. 이러한 상태의 발생으로 인한 손실을 가능한 한 줄이기 위해 갑작스런 고장이 발생하지 않도록 예방보전하거나 부득이 고장이

발생한 경우 빠른 대처를 하기 위해 사후보전과 같은 다양한 정책과 관리기법이 이용된다. 예방보전을 위해서는 그 설비의 부분품이나 부품들에 대한 수명을 알아야 한다. 이를 위해 수명주기를 이용하거나 설비의 상태를 진단하는 방법이 이용된다. 온도법, 누설검지법, 균열검지법, 진동법, 음향법, 압력법, 전기저항법, 절연측정법, pH측정법, 회전속도측정법 등의 기술이 설비상태를 진단하기 위해 사용되고 있다[3]. 예방보전작업에 있어서 설비상태기반보전(CBM)은 설비진단기술의 구현에 대한 난이성 및 비용 등의 이유로 주요 설비에 대한 중점관리의 경우에 한정되며 일반적인 설비의 경우에는 부품의 평균수명을 기준으로 하는 수명주기보전(TBM)방식을 사용하게 된다[4].

## 2.2 보전작업의 분류와 우선순위

설비에 대한 보전작업은 크게 예방보전계획에 의한 작업과 고장발생으로 인한 사후보전에 의한 작업으로 분류할 수 있다. 이중에서 예방보전작업은 주기적인 특성을 가지고 있으므로 일정시간이 경과하거나 일정사용량에 이르면 보전작업을 수행해야 하므로 보전작업이 필요한 시기를 예측할 수 있다. 그러나 사후보전에 의한 작업은 고장이 돌발적으로 발생하기 때문에 언제 어떤 보전작업이 행해져야 하는지 예측하기 어렵다. 또한, 보전작업은 작업별로 대상설비 및 작업내용이 일정하지 않아 한 종류의 보전작업을 독립적으로 처리해야 하는 경우도 있고 일괄작업의 형태로 수행해야 하는 경우도 있다. 이러한 보전작업의 특성을 분류하면 다음과 같다.

### 1. 한 종류의 작업이 하나의 설비에서 수행되는 경우

특정부위의 단일 고장이나 독립적인 예방보전작업의 경우로서 우선순위를 결정할 때는 단일작업을 기준으로 중요도를 산출하여 결정한다.

### 2. 동일한 작업이 복수의 기계에서 수행되는 경우

유사한 설비에 대한 점검, 오일주유 등 전문분야별 예방보전 작업이 행해질 때 주로 나타나는 작업이다. 이 작업은 준비작업이 마련된 경우이므로 일괄작업의 형태이나 긴급한 작업이 발생할 때는 독립적인 작업의 형태로 변환시켜 우선순위를 적용한다.

### 3. 서로 다른 형태의 작업들이 하나의 기계에서 수행되는 경우

대상설비에 대한 종합적인 점검 및 복수의 고장이 발생한 경우에 행해지는 작업의 형태이다. 이러한 경우에도 일괄작업의 경우로 간주하여 우선순위를 설정할 수 있으나 우선순위가 높은 다른 작업이 발생하면 일부 작업은 분리하여

독립적인 중요도를 적용한다.

#### 4. 서로 다른 작업들이 복수개의 기계에서 수행되는 경우

예를 들어 정전이 발생하면 어떤 설비는 전원을 다시 연결하는 작업이 필요 하지만 다른 설비는 온도나 압력을 재조정 해 주어야 하는 경우도 있다. 이와 같이 하나의 상황이 발생할 때 복수개의 설비에 서로 다른 유형의 작업이 수행되어야 하는 경우에는 각각의 업무에 독립적으로 우선순위를 적용하여 보전작업을 수행한다.

이러한 작업들 중에서 일괄작업이 나누어져 독립적으로 다루어지는 경우에는 가중치를 고려하여 작업의 우선순위를 결정하여야 한다.

### 3. 보전작업의 중요도 평가와 사례기반추론

#### 3.1 설비의 중요도

설비의 중요도는 다양한 기준을 적용하여 나타낼 수 있겠지만 보전작업에 있어서는 손실비용을 기준으로 하여 나타낼 수 있다[5]. 즉, 설비에 고장이 발생하면 그 설비고장으로 인한 손실이 발생하게 되는데 손실의 크기가 크면 중요도가 높은 설비이며 손실의 크기가 적으면 중요도가 다소 낮은 설비라고 할 수 있다. 설비고장으로 인한 손실의 크기는 설비의 감가상각액과 생산중지 손실액 등을 이용하여 나타낼 수 있다. 이 설비고장으로 인한 손실비용의 크기가 작업의 우선순위 결정에 영향을 미칠 수 있다.

#### 3.2 보전작업들 사이의 중요도

동일한 설비에 대해서도 각각의 고장으로 인한 영향의 크기가 다르기 때문에 보전작업간에도 우선순위의 차이가 있다. 또한 동일한 작업이라도 예방보전작업 보다는 사후보전작업의 경우 더욱 긴급하고 중요한 경우가 많아 보전작업요청이 발생하면 어떠한 작업을 먼저 해야할지 작업간에 우선순위를 결정해야 한다. FMEA(Failure Mode Effect and Analysis)의 치명도평점법을 변환시켜 다음과 같은 항목으로 보전작업에 대한 중요도를 산출할 수 있다[6].

$$\text{보전작업의 중요도 } F_E = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6$$

단,  $F_1$  : 고장영향의 크기

$F_2$  : 시스템에 미치는 영향의 범위

$F_3$  : 발생빈도

$F_4$  : 사전예측가능성

$F_5$  : 준비작업에 대한 가중치

$F_6$  : 예방보전과 사후보전에 대한 가중치

이때 발생빈도 항목은 단위시간당 고장이 발생하는 횟수를 기준으로 하면 발생빈도의 정도를 정량적으로 판별할 수 있을 것이다.

### 3.3 사례기반추론에 의한 중요도 추출

예방보전은 그 중요도를 미리 산출하여 두고 우선순위 결정시 적용할 수 있으나 사후보전의 경우에는 발생하는 고장에 따라서 그 중요도 값을 산출하여야 한다. 그러나 설비의 고장증상이 실제로 어떤 고장인지를 진단하기 어려우며, 또한 신규고장의 경우 즉각적인 중요도 산출은 어렵다. 따라서 설비고장이 발생하면 고장증상을 이용하여 정확히 진단하고 현재의 고장증상이 기존에 정해져 있는 고장사례와 일치하는 가를 판단한다. 만일 기존의 고장사례와 일치하는 경우가 발생하면 현재 고장의 중요도는 기존사례의 중요도를 그대로 이용할 수 있을 것이다. 만일 기존 사례와 정확히 일치하지 않는 경우에도 유사한 사례를 기준으로 중요도를 산출하여 작업간의 우선순위를 적용할 수 있다. 이를 위해 과거의 보전작업 사례중에서 현재 발생한 고장상황과 유사한 사례를 찾을 수 있도록 사례기반추론(CBR : Case Based Reasoning) 기법을 이용하고자 한다. 전문가는 자신이 경험한 문제해결 지식을 사례 또는 보다 일반적인 사례로써 기억하며, 문제가 주어지면 이의 해결을 위해 적절한 해를 얻었던 과거의 경험 중에서 현재 다루려고 하는 문제와 유사했던 경우를 먼저 떠올리고 그 결과를 직접 또는 부분적으로 이용한다. 따라서 지식기반시스템을 구축함에 있어 이와 같은 인간의 문제 해결 방법에 보다 접근하여 효율적인 추론을 행할 수 있도록 제안된 방법이 사례기반추론이다[7]. Fig. 1은 이러한 사례기반추론에 의한 고장진단시스템의 구성을 나타내고 있다.

고장진단 시스템은 설비의 종류 및 고장증상이나 고장코드를 입력하여 과거사례를 기반으로 하는 추론 과정을 거쳐 유사사례를 나타나게 한다. 이때 추출되는 유사사례는 유사한 정도에 따라 순서대로 나타내어 사용자가 가장 유사한 사례를 선정할 수 있도록 한다. 설비고장은 과거의 사례에 기인하는 경우가 많으므로 이 추출된 사례의 중요도를 고장사례의 중요도로 사용할 수 있다.

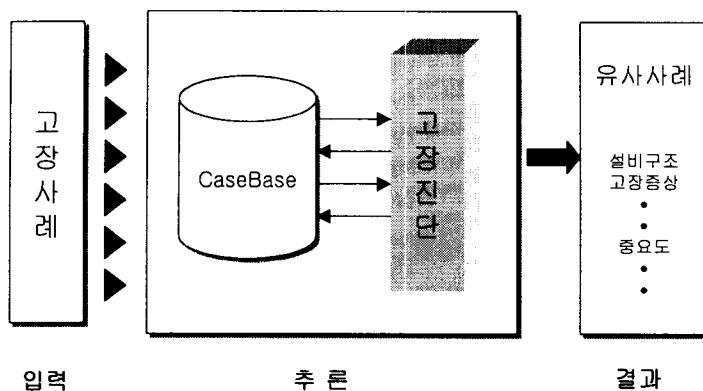


Fig. 1 사례기반고장진단 시스템 구성도

#### 4. 시스템구성

본 시스템은 Fig. 4와 같이 크게 보전작업등록부, 사례베이스추론부, 보전작업의 중요도결정부 그리고 보전순위결정부 등의 네 부분으로 구성된다.

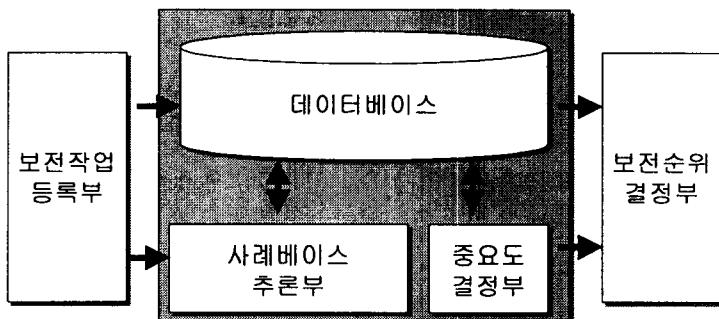


Fig. 2 시스템의 구성

##### 4.1 보전작업등록부

보전작업 등록부는 설비의 고장이 발생하였을 때 보전작업을 요청하기 위한 부분으로 대상설비와 고장증상에 대해 입력한다. 이 입력정보는 고장발생시 장비의 제어기로부터 나타나는 고장코드를 입력하는 경우와, 고장코드 없이 고장에 따라 수반되는 증세를 입력하여야 하는 경우의 두 종류로 나타낼 수 있다. 사례로서, 전자부품의

조립에 사용되는 표면실장기(SMD : Surface Mount Device)에 있어서 고장증세를 입력하여야 하는 경우는 설비정보(설비명칭, 제조회사, 배치라인, 호기), 고장위치(상위구조, 중위구조, 하위구조), 고장증상 등의 항목을 입력하게 된다. 이 정보는 데이터베이스에 등록되어 기존의 사례와 일치하거나 유사한 사례를 찾기 위한 기초정보로 사용된다.

## 4.2 사례베이스추론부

일반적으로 설비에 고장이 발생하면 그 제조회사에서 제공하는 보전매뉴얼 상의 코드별 고장원인을 이용하여 조치를 취할 수 있다. 그러나 고장코드만으로는 설비의 고장원인을 파악하기가 불충분할 경우가 많이 있으므로 이때는 실무자의 경험지식을 활용하게 된다. 이러한 경험지식을 이용하여 설비의 고장사례를 구축하고 이를 기반으로 새로운 설비고장이 발생한 경우 미리 구축된 사례와 가장 유사한 사례를 추출할 수 있게 하는 사례베이스 추론방식이 본 연구에서 사용되었다. 사례기반추론 시스템의 설계시 가장 중요한 사항인 문제 인덱스(problem index)는 보전작업 등록부에서 입력된 정보인 설비정보(설비명칭, 제조회사, 배치라인, 호기), 고장위치(상위구조, 중위구조, 하위구조), 고장증상 항목 등을 이용하였다.

개발된 시스템에서는 설비고장에 관한 증상 입력 후 사례추출 버튼을 누르면 고장증상 데이터와 설비관련 정보를 토대로 하여 추출과정을 통해 시스템이 제안한 다수의 후보사례가 우선 순위 별로 정렬된다. 개발시스템의 verification & validation은 수동으로 이루어지는데 사용자가 시스템에서 제안한 고장원인을 이용하여 현재 문제의 해를 찾아내고, 이를 사용자 스스로 판단하여 시스템에 추가시키고자 한다면 상단 우측의 사례저장 버튼을 눌러 기존 사례를 갱신시킨다(Fig. 3).

## 4.3 중요도결정부

본 연구에서는 보전작업에 대한 중요도는 설비의 중요도와 작업의 중요도로 구분하고 설비고장으로 인한 손실비용을 기준으로 설비의 중요도를 산출하고 FMEA의 치명도평점법에 의한 작업의 중요도를 각각 산출하여 이를 더한 값으로 설비의 중요도를 구한다. 이때 설비의 중요도는 손실비용을 기준으로 10 등급으로 나누어 점수를 부여하게 되는데 등급별 손실비용의 크기는 사용설비와 생산하는 제품에 따라 기업마다 다르게 나타나므로 사용자가 각 등급에 해당하는 비용을 입력하도록 한다. 또한 각 등급별 중요도 값은 2점부터 20점까지로 하여 각 등급별로 2점씩 차이가 나타나도록 하였다.

이 중요도 값은 새로운 사례의 등록시에 사용자에 의하여 등록되며 이 값은 유사사례의 추출시에 추출된 사례의 중요도 값으로 사용하게 된다.

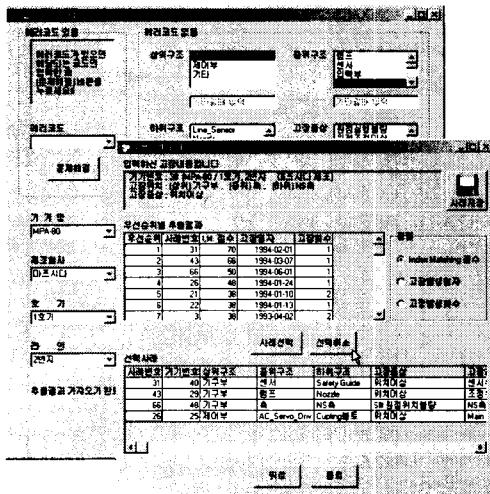


Fig. 3 사례베이스추론에 의한 유사사례추출

From	2000/02/19	To	2000/03/20	선택하기	선택취소
<b>작업우선순위</b>					
C102600	2000-03-18	F22011	F22011/ 2 Tank 음수 TRAP, 배관류	42	8
C102589	2000-03-18	EL35001	New Installation(신설) 본래에 솔루션은	48	5
C102590	2000-03-18	EEJ3203PL	DROP POD 높이(EA) : 39~10	39	10
C102591	2000-03-18	ENG10012HS	330SEC #E0 PAG-01 송수시간학	52	3
C102592	2000-03-18	P25020	P2502 PANEL START LAMP, 배관류	32	14
C102593	2000-03-17	MPC24010M1	Preventive maintenance(예방 관리)	37	11
C102594	2000-03-17	F22011	AIR DRYER SYSTEM 음수, 김경선	55	2
C102573	2000-03-17	MPG25080DP	S-1502 LUBE OIL TEMP(체육회원)	33	13
C102574	2000-03-17	PUSS1010BD	E M STACK 상부 외용 건구 품질비교포	43	7
C102575	2000-03-17	ILV34061ND	Broken(파손) LV34061/ 단판부 김수혁	41	9
C102582	2000-03-17	ITT42028ND	Indicator Harming(오지사온) 박경환	49	4
C102580	2000-03-17	MVF35540M1	Preventive maintenance(예방 관리)	35	12
C102572	2000-03-17	PT22050	PC 2205 CONTROL VVV 작동 1 배관류	46	6

Fig. 4. 작업우선순위

#### 4.4 보전순위결정부

설비고장에 의한 보전작업과 예방보전계획에 의한 작업 등 보전작업대상이 결정되면 각 작업별로 보전작업의 중요도가 추출되고 이 추출된 중요도를 기준으로 그 순

위가 결정된다. 이때 예방보전의 경우에는 그 작업기간에 따라 대상이 되는 보전작업들이 달라지므로 전체적인 보전작업의 순위는 작업기간의 설정에 따라 재 산출된다.

Fig. 4는 이러한 보전작업들간의 중요도에 따른 우선순위를 나타낸 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 FMEA의 개념을 이용하여 보전작업의 중요도를 산출할 수 있는 방법과 새로운 고장이 발생한 경우 사례기반추론기법에 의해 유사사례의 추출과 더불어 보전작업의 중요도를 추정할 수 있는 방법을 제안하고 이를 Visual Basic과 MS-SQL을 이용하여 개발하였다. 이 중요도를 바탕으로 다수의 보전작업이 필요한 경우에 보전작업의 처리 우선순위를 결정할 수 있을 것이다. 이는 보전작업에 대한 효율화를 기대할 수 있으며, 설비가 생산현장의 중심요소로서 자리매김 하고 있는 상황에서 보전작업의 효율화는 보전비용을 감소시킴은 물론 전체적인 원가의 절감으로 이어질 것이다. 개발된 시스템은 작업자선정 및 보전자재선정 등의 기능과 함께 보전공정계획을 효과적으로 수립할 수 있도록 할 것이며 보전일정관리의 구현을 위해서도 매우 필요한 정보가 되어 전사적자산관리시스템(EAM : Enterprise Asset Management)의 구축에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

## 6. 참고문헌

1. 鈴木順二郎 외 2인, FMEA · FTA 실시법, 日科技連, pp.36~116, 1989.
2. 이재원, 사례기반 추론을 갖는 설비보전 관리시스템의 개발에 관한 연구, 한국보전 공학회, 3권, 2호, pp.17~25, 1998.
3. 한국표준협회, TPM 컨설턴트 양성II, pp.115~131, 1998.
4. 이순요, 신설비관리론, 박영사, pp.350~354, 1990.
5. 한국표준협회, 품질코스트 분석과 활용, pp.19~38, 2001.
6. 노형진, 정경훈, 100PPM 품질경영, 도서출판 컴퓨터, pp.262~350, 1997.
7. Christopher K. Riesbeck, Roger C. Schank, "Inside Case-based Reasoning", Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1989.

## 저자소개

김 광 만 :

- 현 인덕대학 교수, 인하대학교 학사·석사·박사학위 취득.

한국과학기술연구원 CAD/CAM실 위촉연구원 역임, 현재 학국보전공학회 이사.