

## 화학설비 시스템의 이상고장진단을 위한 Expert System 의 개발

오재응(한양대 기계공학부), 신 준(원주대 동력기계과), 신기홍(한양대 기계공학부)  
김두환(한국산업안전공단 산업안전보건연구원), 김우택(한양대 대학원 자동차공학과),  
이충휘\*(한양대 대학원 자동차공학과)

### Development of Expert System for the Fault Diagnosis of Chemical Facility System

J. E. Oh (School of Mechanical Eng., H.Y. Univ.), J. Shin (Dept. of Mechanical Eng., Wonju National College),  
K. H. Shin (School of Mechanical. Eng., H.Y. Univ.), D. W. Kim (KOSHA), W. T. Kim (Dept. of Automotive  
Eng., H.Y. Univ.), C. H. Lee (Dept. of Automotive Eng., H.Y. Univ.)

#### ABSTRACT

Chemical facility system have dangerous elements that can injure the human like an explosion and a fire, gas poisoning by a leakage of the harmful chemical material. In addition to a vibration of the machine occurs the leakage. Therefore, the chemical factory requires for periodic monitoring of the vibration. But, until now, the operator has executed a monitoring of the machine by the senses. So, the diagnostic expert system by which the operator can judge easily and expertly a condition of the machine is developed. This paper describes the structure of diagnostic system and the diagnostic algorithm using fuzzy inference

**Key Words** : Fault diagnosis(고장 진단), Fuzzy inference(퍼지 추론), Vibration(진동), Expert system(전문가 시스템)

#### 1. 서론

화학설비가 설비의 노후화, 외부 진동, 설비의 결함 등에 의하여 비정상적인 작동상황으로 발전할 가능성이 있거나 비정상적으로 작동할 경우 이상상태를 유발시킨 원인을 규명하고 필요한 조치를 취하여 생산성 저하를 방지하고 재해나 사고로부터 인명 손실과 재산 손실을 막아야 한다. 이러한 설비의 이상상태가 가장 쉽게 감지될 수 있는 기계류는 회전기기다. 회전기기들은 항상 자신의 회전수의 진동을 발생시키며 베어링의 파손이나 회전체의 파손이 발생할 경우 진동 크기의 증가를 유발시키고 이것은 주변 설비에 확대 전파되어 설비의 노후화를 증가시키며 이상작동과 균열, 파괴를 발생시켜 산업재해를 일으키는 요인이 되고 있다.<sup>[1],[2]</sup>

특히, 화학설비에서 폭발·화재·가스 중독과 같은 인명피해를 유발시키는 사고의 원인은 설비의 이송체결부에서 유해화학 물질의 누출에 의한 경우가 큰 비중을 차지한다. 따라서, 설비의 접합 체결부에서 발생하는 누출현상은 진동원에 대한 이상을 제거하지않는 한 계속 발생되므로 설비의 주기적인 감시기능이 필수적으로 요구되지만 현재까지는 작

업자의 오감에 의하여 정성적인 평가로 대처하는 경우가 대부분이다.<sup>[3],[8]</sup>

그러므로, 회전 설비들에 대한 정량적인 진동상태 감시를 통하여 누출 원인을 사전에 추적 점검함으로써 화학 설비전반에 대한 안정성을 확보하기 위해서는 전문적인 진단 시스템의 개발이 요구된다. 그렇지만, 구축된 시스템을 전문적으로 운용할 수 있는 진단 전문가를 모든 현장에 상시 배치하는 것은 불가능한 실정이고 전문가의 숙련 정도 및 경험에 따라 진단 신뢰도, 객관성, 정확성도 문제가 된다. 이를 해결하기 위하여 일반 사용자도 전문가처럼 시스템을 운용할 수 있도록 각종 신호처리 기술 및 인공 지능적 판단기법을 내재한 진단 전문가 시스템 개발이 요구 되고 있다.

본 연구에서는 화학 설비의 진동 현상을 파악하고 이상을 조기에 진단하여 예방정비를 수행할 수 있는 설비 진단용 전문가 시스템의 개발을 최종 목표로 진동 데이터 수집 및 모니터링 시스템을 개발하고 퍼지 추론을 이용한 진단 시스템을 개발하여 실험을 통해 진단 전문가 시스템의 성능을 평가한다.

## 2. 본론

### 2.1 시스템 구성

화학설비의 이상을 감지하기 위한 이상진단 모니터링 시스템은 일반설비 진단 시스템과 화학적 진단시스템이 결합된 시스템이다. 일반 진단시스템은 진동과 소음과 같은 빠르게 변하는 입력이 존재하지만 화학 센서류는 동작이 느리므로 신호의 변화 속도가 느리다. 따라서 이들 모두를 사용하려면 입력신호에 대한 처리속도는 빠른 속도의 신호에 기준을 두고 구성해야 하며 저장기간은 느린 신호의 변화를 충분히 소화시킬 수 있는 방법을 사용하여 진단시스템을 구성해야 한다. 이를 고려하여 진단시스템을 구성하면 전체 구성도는 Fig.1 과 같다.

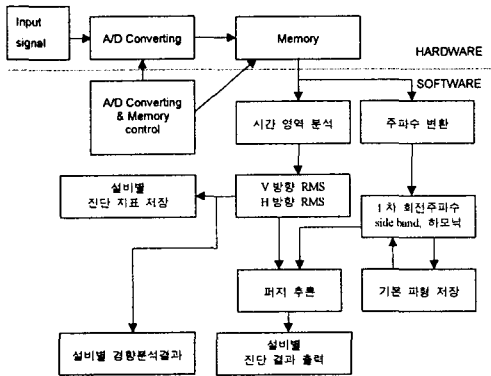


Fig. 1 Block diagram of diagnostic system

본 연구에서 사용되는 hardware 의 구성은 센서와 센서에 따른 증폭기, 증폭된 신호를 컴퓨터로 입력시키기 위한 A/D 변환기 그리고 컴퓨터로 이루어지며 hardware 제어용 software 인 drive file 이 있다. Fig.2 는 본 연구에서 개발한 진단 하드웨어의 외형을 나타내고 있다.

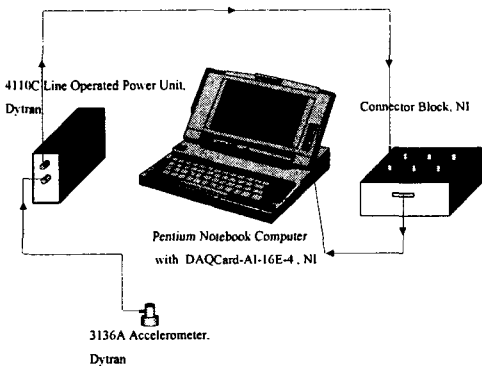


Fig. 2 Hardware setup of diagnostic system

본 연구에서 화학설비의 이상을 감지하기 위한 진단시스템을 구축하는 1 단계로서 진동신호의 1채

널을 사용하여 진단시스템의 prototype 을 구축하였다. 따라서 현재의 hardware 구성은 하나의 채널을 사용하고 있지만 향후 다채널로의 확장을 위하여 기본 구조는 다채널용으로 구성하였다.

이 진단 시스템은 이동성을 전제조건으로 하고 있다. 즉 여러 장소에 설치되어 있는 설비의 상태를 측정하기 위하여 한 위치로 이동하여 측정한 후, 다음 측정 장소로 이동하여야 하는 특징을 갖추고 있어야 한다. 따라서 notebook compute 를 기본 frame 으로 하였고 A/D 변환기의 성능은 단일 채널 사용시 250kHz 입력 속도와 16 채널의 입력 수를 처리할 수 있는 notebook computer 에 적합한 PCMCIA type A/D 변환기를 사용하였다. 그리고 software 로써 National Instrument 사의 CVI 를 이용하였고 A/D 변환기를 제어하는 driver file 에서 double buffer 를 사용하여 컴퓨터 상에서 진단을 위한 다른 작업을 수행하더라도 데이터 수집에는 영향을 주지 않도록 구성하였다.

또한, 본 연구를 통해 개발한 진단 소프트웨어는 진동 센서로부터 입력된 정보를 각종 신호처리 기법을 거쳐 가공한 후 퍼지추론 방식을 통하여 진단 결과를 산출하게 되는데 특징은 다음과 같다

- ① 프로그램 기능별 모듈화
- ② 편리한 사용자 인터페이스
- ③ 퍼지 추론방식 적용

### 2.2 진단 알고리즘

본 연구에서는 설비별로 측정된 진동 데이터를 각종 신호처리 기법을 이용하여 필요한 정보로 변환한 후 진단에 사용되는 지표들을 추출하는 방식을 사용하였다. 진단 지표로는 Table 1 에 나타난 바와 같이 회전기계의 이상을 가장 효과적으로 감시할 수 있는 RMS 와 1 차 회전주파수를 기본 진단 지표로 설정하였으며 사이드 밴드, 고차 하모닉 성분, 축 방향의 진동 레벨 등을 보조 진단지표로 활용하였다.

Table 1 Relation between diagnostic index and fault of the rotating machine

이상현상 진단지표	Unbalance	Mis-alignment	Oil whirl	Bearing defect	Looseness
1 차 회전 주파수	●	○	△	△	○
고차 하모닉					●
RMS	○		●	○	△
축 방향 진동		●			
사이드밴드				●	

Table 1 은 회전기계의 이상 현상과 이를 가장 효과적으로 진단할 수 있는 진단 지표와의 일반적인 상관관계를 나타낸 테이블로서 각각의 관련된 강도에 따라 적합(●), 고려(○), 참고(△)로 분류하였다.

Fig. 3의 (a)는 특정 설비에 대해 정상적인 진동 RMS 값과 측정된 RMS 값에 대한 차이로 구성되는 멤버쉽 함수를 나타내고 있다. 이 함수는 퍼지 추론을 위한 기본 정보로서 활용되며 RMS 차이를 나타내는 x 축 값의 범위는 일반 진단에서 적용되는 값의 범위를 삼각형 모양으로 구성하여 인간 전문가의 감각적 판단 기준을 모델링 하였다. 또한 y 축 값은 0에서 1까지 정규화 시켰으며 여기서 4개의 언어적 변수 AZ, SM, ME, BI는 각각 Approximately Zero, Small, Medium, Big을 의미한다. 한편 Fig. 3의 (b)는 1차 회전주파수의 차이에 대한 멤버쉽 함수를 나타내고 있는데 x 축 값의 범위나 언어적 변수는 RMS 차이에 의한 함수 표현과 동일하다. 또, Fig. 3의 (c)는 진단 결과 출력에 대한 멤버쉽 함수를 각각 나타내고 있으며 x 축 및 y 축 값은 0에서 1까지 정규화 시켰고 여기서 언어적 변수 NO, CA, FA, AL은 각각 Normal, Caution, Fault, Alarm을 각각 의미한다.[4],[6]

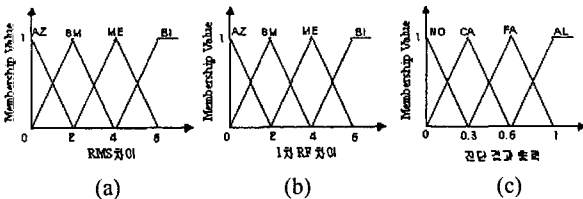


Fig. 3(a) Membership function of rms difference  
 Fig. 3(b) Membership function of 1<sup>st</sup> rotating frequency  
 Fig. 3(c) Membership function of diagnostic result

이상과 같이 기본 진단 지표들에 대한 멤버쉽 함수의 구성을 끝낸 후 추론에 필요한 각종 룰을 구성하기 위하여 RMS 차이와 1차 RF의 차이를 이용하여 Table 2를, RMS 차이와 보조 진단지표의 검출 개수를 이용하여 Table 3과 같은 판단 테이블을 구축하였다. 이 두개의 판단 테이블을 이용하여 총 32개의 진단 룰을 추출할 수 있으며 룰의 결론부에 해당되는 출력 결과는 현장 실험을 통하여 보정하였다.

한편, 진단 방식에 있어 언어적 변수 A, B와 출력 U에 대한 연관행렬은 각 언어변수의 멤버쉽 함수  $\mu$ 를 이용하여 최대-최소 합성법칙으로 구한다.

$$\mu_R(x_1, x_2, u) = \max[\min\{\mu_A(x_1), \mu_B(x_2), \mu_U(u)\}] \quad (1)$$

Table 2 Judging table by rms and 1<sup>st</sup> rotating frequency

1차 RF \ RMS	AZ	SM	ME	BI
AZ	NO	CA	FA	AL
SM	CA	CA	FA	AL
ME	FA	FA	AL	AL
BI	AL	AL	AL	AL

Table 3 Judging table by rms and number of diagnostic index

지표수 \ RMS	0	1	2	3
AZ	NO	NO	CA	FA
SM	CA	CA	FA	AL
ME	FA	FA	AL	AL
BI	AL	AL	AL	AL

또한 출력된 멤버쉽 함수에 의하여 작용변수의 가중값을 결정하기 M개의 룰에 대해 식 (2)와 같은 무게 중심법을 이용하였다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=0}^M [\mu_U(u) \cdot u]}{\sum_{i=0}^M \mu_U(u)} \quad (2)$$

### 3. 진단 실험 및 결과 고찰

본 시스템을 일반적인 화학 설비에서 범용적으로 사용하기 위해서 각 공장별로 공통적으로 활용되는 주요 회전체를 진단 대상으로 선정하여야 하는데 본 연구에서는 5개 회사에 대해 2회의 현장 실험과 여러 설비에 대한 진동 데이터의 분석 결과 이송 펌프와 반응기를 주 대상으로 선정하였다.

Fig. 4의 (a)와 Fig. 4의 (b)는 펌프와 반응기에 대한 진단 실험을 시행하기 전 초기 데이터의 입력 화면이다. Fig. 4의 (a)에서 진단설비는 "펌프"로 진단 방식은 "자동"을 선택하고 오감 정보는 명확하지 않으므로 "Unknown"을 입력하였으며 회전수는 설비의 특성표에 규정된 60Hz를 입력하였다. Fig. 4의 (b)에서는 진단설비를 "반응기"로 선택하였고 진단 방식은 "자동", 오감 정보는 "Unknown", 회전수는 개략적으로 10Hz를 입력하였다.

Fig. 5는 A 공장 펌프에 대한 진단 결과화면을 나타내고 있다. 펌프에 대한 진단 결과 "정상"이 45%로 출력 되었으므로 이상 현상은 발생되지 않았다.

한편, 경향 분석은 동일 설비에 대해서 3회 이상

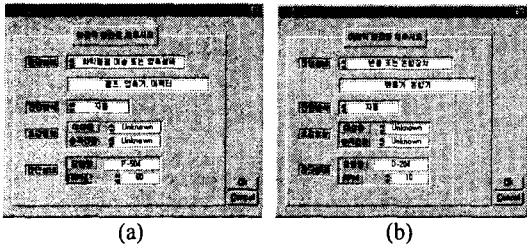


Fig. 4 (a) Initial data setup panel of the pump  
 Fig. 4 (b) Initial data setup panel of the reactor

측정시 예측 가능하므로 프로그램의 검증을 위해 펌프의 특성을 평가하기 위한 기초실험 자료를 진단 데이터로 변환하여 프로그램을 실행하였다.

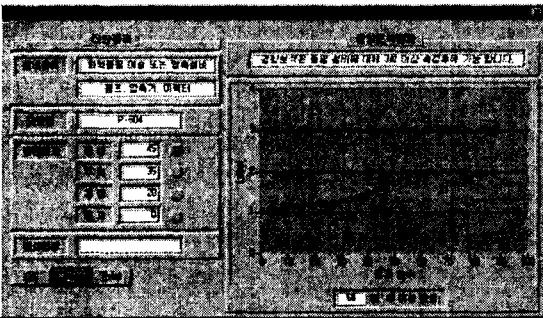


Fig. 5 Diagnostic result panel of the pump

Table 4는 5개 공장에 대한 진단 결과를 종합하여 나타내고 있다. 약 2주일 간격으로 측정된 2회의 데이터로 진단 실험을 행하였기 때문에 진단 결과는 모두 "정상"으로 출력되었다.

Table 4 Diagnostic result of the pump

공장명	A	B	C	D	E
진단결과	정상 (45) (35)	정상 (53) (19)	정상 (49) (26)	정상 (48) (27)	정상 (42) (36)
이상현상	없음	없음	없음	없음	없음

Fig. 6은 B공장의 반응기에 대한 진단 결과 화면을 나타내고 있다. 반응기에 대한 진단 결과도 역시 "정상"이 40%로 출력 되었으며 이상 현상은 발생되지 않았다. 그러나 "주의"가 35%로 추론되었으므로 이상에 대비한 점검 작업이 필요하다. 한편, Table 5는 4개 공장에 대한 반응기의 진단 결과를 종합하여 나타내고 있다. 반응기 역시 진단 간격이 짧기 때문에 모두 "정상"의 진단 결과를 얻었다.

Table 5 Diagnostic result of the reactor

공장명	B	C	D	E
진단결과	정상 (53) (19)	정상 (49) (26)	정상 (48) (27)	정상 (42) (36)
이상현상	없음	없음	없음	없음

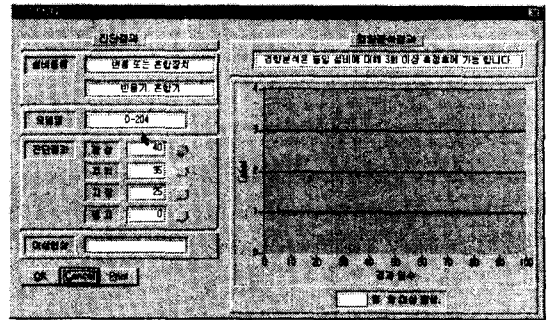


Fig. 6 Diagnostic result panel of the reactor

#### 4. 결론

본 연구에서 화학설비의 이상진단을 위한 전문가 시스템의 개발을 위한 진단 시스템을 구축하고 현장 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현장 실험을 통하여 화학설비의 회전체에 대한 전반적인 진동 경향을 파악하였으며 화학 설비에서 공통적으로 사용되는 주요 진단 설비와 각 설비별 진단 위치를 선정하였다.
- 2) 데이터 수집을 위한 장치와 컴퓨터와의 인터페이스 기능을 수행할 수 있는 진단 모니터링 시스템을 하드웨어적으로 구축하였다.
- 3) 효과적인 진단 결과를 추론할 수 있는 소프트웨어 모듈과 사용자 인터페이스 모듈을 개발하였다.
- 4) 개발된 시스템을 이용한 현장 설비에 대한 진단 실험결과 우수한 진단 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. R. A. Collacott, "Vibration Monitoring and Diagnosis", John Wiley & Sons, 1979
2. R. A. Collacott, "Mechanical Fault Diagnosis", Chapman and Hall, 1977
3. 오재웅, "소음, 진동의 온라인 진단 전문가 시스템 개발", 한양대학교 연구보고서, pp.22~40, 1991
4. 신준, "Fuzzy 추론에 의한 자동차 고장진단 전문가 시스템의 개발", 한양대학교 석사학위논문, pp.3-25, 1990
5. Samuel D. Stearns, "Signal Processing Algorithm", Prentice-Hall, pp.21~96, 1988
6. C. V. Negoita, "Expert systems and Fuzzy systems", Benjamin/Cummings Pub., pp.117~136, 1985
7. Bruce G. Bachaman, "Rule-based Expert System", Addison-Wesley, pp.57~94, 1985
8. "화학설비 개론", pp.2~5, 한국산업안전공단