

# 효율적인 공기압축기 운영을 위한 이상진단모델 연구

임상돈\* · 정영득\*\* · 김종래\*

조선대학교 산업공학과\* · 전주비전대학교 경영학과\*\*

## Development of Diagnosis of Trouble Model for Effective Operation of Air-compressor

Sang Don Im\* · Young Deuk Jung\*\* · Jong Rae Kim\*

\*Dept. of Industrial & Management Engineering, Chosun University

\*\*Dept. of Taekwondo and Physical Education, Jeonju Vision University

### Abstract

Most systems used in industrial sites, actually have non-linearity and uncertainty. Therefore there are a lot of difficulties in evaluating conditions of these systems. Generally, the quantitative analysis and expression are found hard because the general public cannot easily make an accurate interpretation on the systems. Thus development of a system that utilizes an expertise from skilled analysts is required. In this research, a real-time sensor signal conditioning system and Fuzzy-expert system have been separately set up into an inference algorithm. So that it ensures a fast, accurate, objective and quantitative operational condition value provided to the manager.

Therefore, FE\_AFCDM is suggested in this literature, as an effective system for diagnosing the problems related to the air compressor. It can quantify the uncertain and absurd condition to operate the air compressor facilities safely and financially.

**Keywords :** Fuzzy, Expert system, Real time monitoring, Embedded system, Fault diagnosis model

### 1. 서론

최근 정보기술과 전자기술의 발달로 각종 하드웨어는 소프트웨어와 융합으로 전문가의 지식을 진단모델에 적용하여 설비가동 이상진단 시스템으로 대체되어 가고 있다. 산업현장에는 여러 가지 불규칙하고, 불확실한 환경요인으로 설비가 갑자기 고장이 나거나 제 기능을 벗어난 동작으로 품질불량과 안전사고가 발생하거나 관련시설의 고장유발 및 에너지낭비로 생산성이 저하되는 사례가 발생하고 있다[10].

특히 공기압축기에 의해 생산하는 압축공기는 전기, 용수

와 함께 생산에 중요한 생산자원 자원이다. 그러나 공기압축기는 동작할 때 발생하는 소음, 진동발생으로 인해 건물 외부 또는 칸막이를 통해 보이지 않는 곳에 설치되어있다.

이에 따라 공기압축기의 이상 작동을 적시에 발견하지 못하게 됨으로 앞에서 제기한 상황이 발생하게 된다. 이에 현장에서는 일일점검을 실시하고 있으나 돌발적인 고장이 발생하는 사례가 발생하고 있다.

이러한 이상진단을 위해서 퍼지이론을 통하여 수학적으로 다루기 힘든 인간의 사고나 그 표현 언어의 모호성 처리에 대한 이론적인 배경을 제공하면서부터 시스템의 지식과 새로운 지식을 도입하려는 시도가 이루어지고 있다.

† Corresponding Author : Sang-don Im, Dept of industrial & Management Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-759 Korea

MP: 010-3609-1724 E-mail : sdim@kornet.net

Received March 31, 2014; Revision Received April 23, 2014; Accepted September 22, 2014.

특히 입력 및 출력 관계의 정량적인 분석이 어려운 여러 가지 상태값을 시스템에서 전달함수나 상태 방정식에 기초한 기존의 통계적 기법과 부적합한 점을 보완 대체하여 발전 되어 가고 있다[7]. 그러나 시스템이 복잡하고, 상태 변화가 심한 경우에는 규칙들을 기술하는데 어려움이 있고, 정확한 결과를 위하여 요구되는 제어 규칙의 수가 매우 커지게 된다.

이러한 공기압축기의 고장으로 인한 손실이 증가되므로 설비의 안정성 및 신뢰성이 더욱더 높아져야 함을 의미하며, 동시에 연계되는 설비들과 안정성 및 신뢰도 요구수준을 만족시키기 위해 중요한 연구개발 동기가 된다.

김석근(1991)은 금형온도, 사출압력 및 사출시간의 변화에 따라 성형불량 요인을 가져온다 하였다[9]. 정원석(1994)은 복잡성 및 비선형성 등으로 인해 수학적 모델의 수립이 불가능한 다변수 계통 및 대규모 계통의 고장진단을 위하여 인과관계에 대한 지식 표현의 수단인 퍼지 인식 맵을 이용한 고장진단 알고리즘을 개발하였다[11].

공기압축기의 이상 진단을 위해 전문가를 계속 대기하는 것은 불가능하다. 또한 전문가의 숙련도와 경험에 따라 신뢰성, 객관성, 정확성에 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 일반 사용자가 전문가의 판단과 같이 공기압축기 설비를 효율적으로 운영할 수 있도록 센서 신호처리방법, 전문가 모델시스템 및 퍼지추론을 통해 FE\_AFCDM(fuzzy expert air-compressor fault condition diagnosis model)을 제안하고자 한다.

## 2. FE\_AFCDM 이론적 고찰

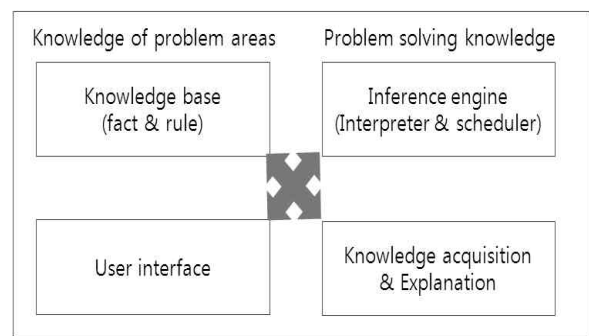
### 2.1 전문가시스템

전문가시스템은 문제를 해결하기 위한 해결방법을 제공하는 목적으로 추론엔진과 저장된 전문지식, 사용자 인터페이스들로 구성되어 있는 시스템이라 할 수 있다. 특히 전문가의 전문지식과 경험을 체계화하여 지식기반을 쌓아 전문가가 아닌 일반 사용자들이 전문가의 도움을 받을 수 있도록 하는 시스템이다. 여기서 문제분야의 지식을 저장하는 곳을 추론기관이라 한다. 이것은 현 상황에 적합한 규칙을 찾아내고 이를 수행시키는 역할을 담당한다.

그리고 문제 분야의 특수한 영역에 전문지식을 저장한 지식베이스가 있다. 이것은 사실이나 규칙의 형태로 저장된다. 즉, 지식베이스는 데이터가 되는 사실과 이를 근거로서 결정을 내리는 규칙으로 구성된다. 추론기

관에는 새로운 지식을 추론하기 위해서 어떠한 규칙을 적용할 것인가를 결정하는 인터프리터와 선택된 규칙을 어떤 순서로 적용시킬 것인가를 결정하는 스케줄러로 구성된다. 지원 부분으로는 사용자가 보다 쉽게 자료를 처리하고, 전문가 시스템과의 통화를 하기 위한 입력 및 출력장치 부분과 문제분야의 전문가로부터 지식 베이스를 구축, 변경 등을 하기 위한 지식획득부분(Knowledge acquisition)이 있다[2].

[Figure 1]에서와 같이 지식베이스, 사용자 인터페이스, 추론기관, 지식획득 네 가지를 전문가 시스템의 기본구조라 할 수 있다.



[Figure 1] Expert System Configuration

전문가시스템의 특징으로는 문제해결에 도움을 주는 높은 수준의 지식과 예측 모델링 능력을 가지고 있다. 그러나 이러한 지식과 능력이 있어도 비전문가에게 표현을 못하면 무의미하다.

지식표현이란, 주어진 문제를 해결하기 위하여 사실과 관계성 등을 코드화하여 지식베이스에 저장하는 중요한 기법이다. 지식표현은 문제의 성격에 따라서 다양한 지식 표현 방법이 있다. 서술논리, 프레임, 스크립트, 생성규칙 및 객체지향에 기반을 둔 지식 표현 기법이 있으며, 표현하고자 할 때 고려할 사항은 첫째, 지식은 보다 일반적이어야 한다. 둘째, 쉽게 이해할 수 있어야 한다. 셋째, 추가하여 지식을 삽입, 삭제, 혹은 수정하고자 할 때 기존의 지식 표현을 크게 수정함이 없이 작업 할 수 있어야 한다. 넷째, 가능한 추론이 될 수 있도록 표현 하여야 한다.

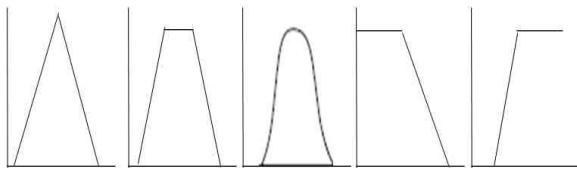
본 연구에서는 공기압축기의 가동하는 환경에서 가동, 운전하는 상황에 따라 전문가의 지식을 얻어내어 비전문가도 공기압축기의 현재 상황에 따른 조치를 취할 수 있게 된다. 지식공학자는 문제분야의 전문가로부터 그들이 문제 해결에 사용하는 지식, 정책, 법칙 등을 얻어내어, 이를 전문가 시스템의 지식으로 구성시킨다.

## 2.2 퍼지이론

공기압축기의 운전, 가동상태가 애매모호하여 필터부품을 교체하거나 언제 수리하여야 할지 결정하는데 불확실한 경우가 있다. 압축공기를 생성하기 위한 모터의 동작온도, 사용전류에 따른 이상운전 상황을 단순히 필터만의 문제인지 주변온도, 습도에 의한 일시적인 상황인지를 규정지어 입력되는 정보가 단순히 하나의 기준치라 한다면, 크리스프 집합론에 의한 것이라 할 수 있다.

이러한 결과는 결과에 대해 심각한 오류를 범할 수 있다. 하나의 변수에 관련되는 많은 변수를 고려하는 방법이 필요하다. 이렇게 표현하는 방법이 퍼지이론의 집합론과 소속도 함수를 이용하는 것이다. 퍼지이론은 확률이론처럼 불확실성 또는 부정확성을 다루는 방법으로 실제 확률이론과 통계학과 같은 기존의 접근방법은 주관적인 변수와 언어표현의 단어를 분석하는데 한계를 가진다. 이러한 취약점을 퍼지이론은 보완할 수 있다.

퍼지집합을 표현하기 위해 사용되는 소속함수는 삼각형, 사다리꼴형, 종형, 선형 등이 있으며, [Figure 2]은 각 소속함수의 모양을 표현하였다.



[Figure 2] Sharp of Membership function

이러한 소속함수의 표현방법으로 이산형과 연속형으로 나타낸다. 공기압축기 모터가 필터상태에 따라 부하 표현을 할 때 ‘전류와 모터온도가 높다’에 속하면 “1”의 값을, ‘낮다’에 속하면 “0”의 값을 주고, 그 사이에 있는 값들에 대해서는 “0”과 “1” 사이의 값을 주고, <Table 1>과 <식 1>을 통해 소속함수를 표현하였다.

<Table 1> Elec. current and Membership

Elec. current	4	6	8	10	12	15
Membership	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

<Table 1>의 소속함수는 이산형 표현방식과 <식 1>과 같이 연속형으로 표현한다. <식 1>에서 퍼지함수 A는 “0”과 “1”사이의 값을 가지며, 소속도의 정도를 나타낸다.

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad \text{<식 1>}$$

따라서 소속함수의 소속도는 함수의 선상에 무한히 표현하며, 언어적인 불확실성을 정량적으로 해석할 수 있다[1].

## 2.3 퍼지추론

불확실하거나 부정확한 어떤 주어진 사실이나 관계로부터 새로운 관계 또는 사실을 유추해 나가는 일련의 과정을 퍼지추론이라 하며, 본 연구에서의 이상진단을 판단하기 위한 중요한 역할을 한다.

퍼지추론은 추론을 위해 규칙이 필요하다. 추론규칙은 <식 2>와 같이 IF-THEN의 형식으로 한다.

$$\text{IF } x_1 \text{ is } a_1 \text{ THEN } y \text{ is } b \quad \text{<식 2>}$$

<식 2>에서 IF와 THEN 사이를 전건부, THEN 이후를 후건부라 하며, a1은 전건부의 ‘사실’을 나타내고, b는 ‘상태’를 나타낸다. 특히 IF와 THEN 사이의 조건은 여러 개의 정보를 동시에 처리하기 위해 and, or를 사용하여 추론조건 결과의 신뢰성을 높일 수 있다[4][6].

퍼지추론 시스템의 일반적인 구조는 크리스프한 센서신호를 퍼지추론하기 위해 퍼지집합으로 변환하는 퍼지화부, 전문가에 의해 설계된 퍼지추론규칙을 기반으로 만들어진 추론시스템에서의 핵심인 추론부, 퍼지화한 언어적인 정보를 다시 정량값으로 바꾸어주는 비퍼지화부로 이루어져 있다.

비퍼지화는 퍼지화의 반대개념으로 퍼지추론부의 출력으로부터 일반적인 크리스프한 데이터를 만드는 방법으로 최대값법, 최대평균법 그리고, 본 연구에서 다룬 Min-Max에 의한 무게중심법이 있다.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \times \mu(a_i))}{\sum_{i=1}^n \mu(a_i)} \quad \text{<식 3>}$$

<식 3>에서 P는 비퍼지화 출력값이며,  $x_i$ 는  $i$ 번째 규칙의 소속도 값이고,  $\mu(a_i)$ 는 각 요소에 대한 Min 값이다. 퍼지규칙이 평가되어 출력값이 나오면, 그 결과의 형태는 퍼지 집합에 해당하는 소속도의 정하여진 수치값이 된다.

## 3. FE\_AFCDM 설계 및 구현

### 3.1 공기압축기 특성

공기압축기는 초기 압력에서 목표압력까지 한 번에 압축하게 되면 많은 동력이 소요되며, 기체를 압축하면서 발생하는 열에 의해 기체가 팽창하므로 압축효율이 떨어진다. 이를 방지하기 위하여 2~3단으로 나누어 압축하며, 발생한 열을 중간에서 냉각시키는 과정을 거쳐 각 라인에 압축공기를 공급한다. 대기중에는 수분이 포함되어 있는데, 주변 환경에 따라 공기압축기의 수분유입량에 따라 필터 성능 저하와 응축수가 발생한다. 이와 같이 공기압축기를 운영함으로써 다음과 같은 문제를 발생하게 된다.

- 1) 수분에 의해 파이프가 부식되고, 스케일이 발생되어 배관의 수명이 감소되며, 또한 겨울에는 동파 위험이 있다.
- 2) 부식에 의해 스케일 및 이물질은 각종 공압기기의 고장원인이 되며, 오동작 유발이 된다.
- 3) <Table 2>에서와 같이 필터수명 감소로 공기압축기의 에너지손실 발생과 압축공기 품질문제로 생산성 저하가 된다.

<Table 2> Impact of air compressor filter

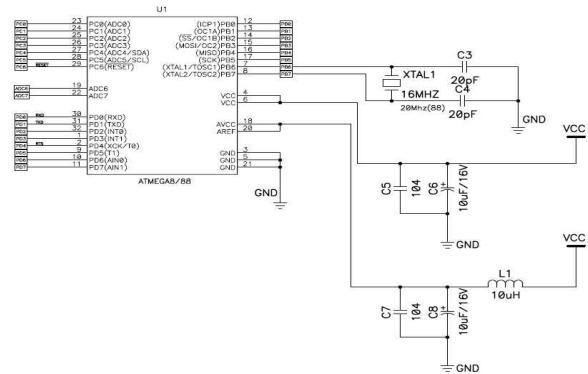
Present state	Influence
High humidity & Internal temperature of the tank	- Related to equipment failure caused
Motor overheating	- Power loss - The risk of fire safety
Pressure drop	- Loss of productivity
Using for a long time	- For compressed air quality (Floating carbon, Particulate, Vapor, Liquids, etc) - Noise and Vibration occurs

공기압축기의 성능에 중요한 역할을 하는 필터를 어떻게 관리하는가에 따라 생산 현장의 경제적 손실과 전력 에너지 낭비를 줄이는 시스템이 필요 할수 있겠다.

### 3.2 신호처리시스템 구성

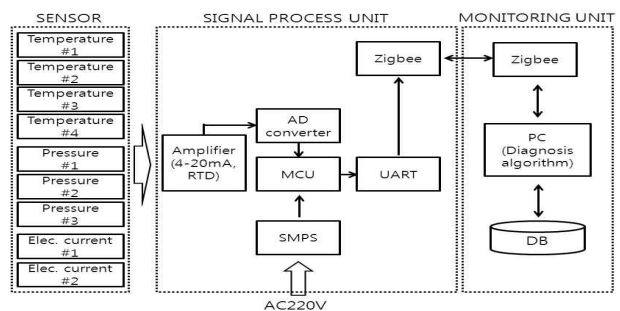
폐지추론에 의한 공기압축기 이상진단 시스템을 구현하기 위해 크리스프정보를 만드는 과정에서 센서와 마이크로 컨트롤러를 이용하여 하드웨어장치를 설계하였다. 최근에는 임베디드 시스템(Embedded System) 기술이 발전하여 시스템의 정해진 로직에 따라 컴퓨터 시스템과 같은 하드웨어와 소프트웨어가 일체형으로

구성되어져 다양한 분야에서 폭넓게 활용되어 지고 있다[3]. 본 연구 모델에 적용한 마이크로 콘트롤 프로세서는 [Figure 3]과 같이 Atmel사의 Atmega 8-16M으로 설계하였다. 입력 및 출력 제어보다는 무선통신을 위한 하나의 UART(Universal Asynchronous Receiver /Transmitter) 포트, 온도와 전류신호를 입력받을 수 있는 ADC(Analog to Digital Converter) 포트 사용으로 작은 규모의 마이크로 콘트롤 프로세서를 적용하였다.



[Figure 3] Micro control processor circuit of Atmega8-16M

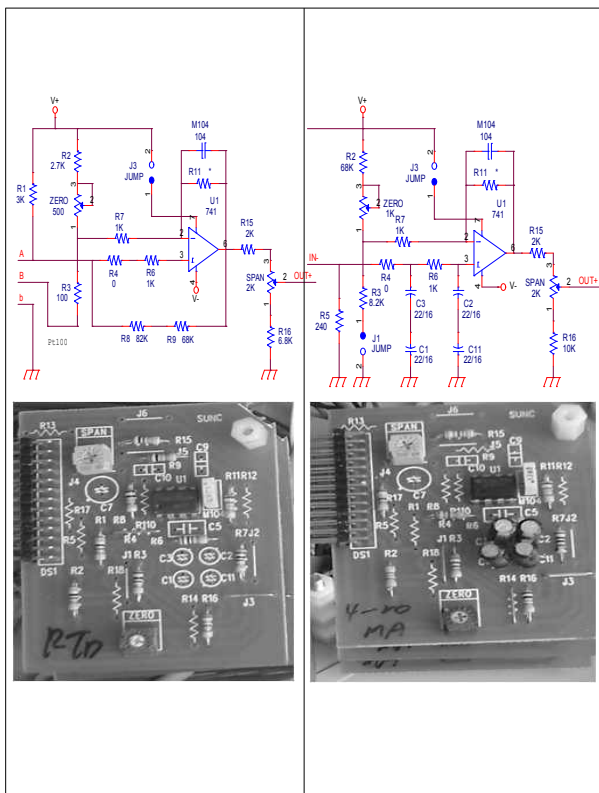
[Figure 4]에서는 FE\_AFCDM의 전체적인 구조와 실제로 공기압축기가 가동, 운전 하면서 발생하는 온도와 전류의 정보를 측정하기 위한 공기압축기 및 센서를 장착한 실험 장치이다.



[Figure 4] Schematics & picture of FE\_AFCDM

그림에서 'A'는 필터의 이상을 측정하기 위한 압력 센서, 'B'는 모터부의 온도센서, 'C'는 공기압축기 제어 용 전기 판넬 내부에 전류센서가 설치된 위치이다. 'D'는 데이터를 무선통신방식으로 전송하기 위한 Zigbee 모듈이 내장된 송신장치 위치이며, 'E'는 신호처리변환 시스템인 시그널 컨버팅 유니트이다.

본 연구에서는 공기압축기의 가동상태를 모니터링하기 위해 Topstek사의 TQPV50A 전류측정센서와 Pt100 폐치형 온도센서를 장착하였다. <Figure 5>는 센서 신호가 미약하거나 센서신호형태가 맞지않아 마이크로컨트롤러의 온도, 전류정보를 처리하기 위한 증폭 및 변환회로이다. 여기에서 공통적으로 사용한 증폭기는 가격이 저렴하면서도 산업용으로 많이 사용하는 'LM741'을 사용하였다.



[Figure 5] RTD & 4-20mA Sensor signal of Amplifier and converter circuit

센서신호 처리과정에서 센서 신호를 정확하고 안정되게 변환하는 것이 매우 중요하다. 이것을 ADC (Analog-Digital Converter)처리 과정이라 한다. 센서정보를 생성하는 방법으로 ADC동작을 단일변환방식 (Single conversion mode)과 프리런닝방식(Free running mode)으로 구분하며, 본 연구에서는 ADC의 오차와 노이즈값을 제거하기 위해 짧은 시간에 많은 데이터를

컨버팅하여 평균값을 처리하는 방식으로 하였다[8].

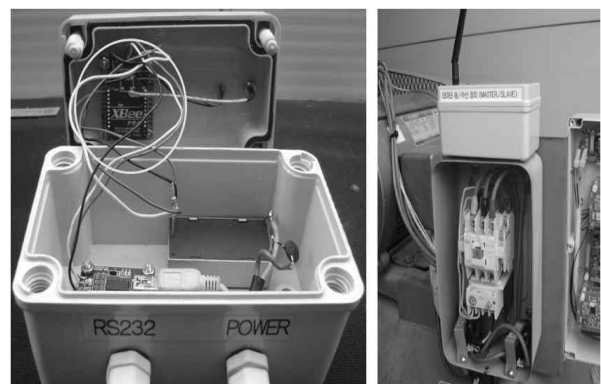
### 3.3 신호전송장치 구성

공기압축기의 설치위치는 전체적으로 가동중에 진동과 소음발생이 심하므로 건물외부나 눈에 잘 띄지 않는 곳에 설치 되어있다. 따라서 센서정보를 유선으로 하기에는 관리, 신호의 안정성 면에서 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 공기압축기의 가동, 운전정보를 실시간으로 감시하고, 운영하는 방식으로 지그비(Zigbee)를 이용하였다. 지그비는 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서 네트워크의 대표적 기술 중의 하나로, IEEE 802.15.4 표준의 PHY층과 MAC층을 기반으로 상위 프로토콜(Protocol)과 응용(Application)을 규격화한 기술이다. 근거리에서는 속도가 크게 빠르지 않고, 네트워크 사용 빈도가 드문 시스템의 구축에 가장 적합한 모듈이다[12].



[Figure 6] Schematic of zigbee module

[Figure 6]은 원격모니터링을 위한 Zigbee 통신모듈을 이용한 송수신 구조이다. [Figure 7]은 본 연구에서 무선으로 공기압축기 가동, 운전 정보를 송신 및 수신하기 위한 그림이며, 원안에 있는 것이 Zigbee 통신 모듈이다.



[Figure 7] Installation and inside of Zigbee module

### 3.4 신호처리 프로그램

Zigbee 모듈에 전송한 정보를 PC의 Zigbee 수신모듈로 받아서 PC의 COM1 포트에 연결하였다.

<Table 3> Serial communication of LRC check

```
// ===== LRC processing =====
// char buf[],int max_cnt
// -----
int LrcCul(char buf[],int max_cnt)
{
    int i, accum = 0;
    for(i = 0; i<max_cnt; i++) accum ^= buf[i];
    // XOR calc.
    return(accum & 0xff);
}
```

이 과정에서 수신 상태가 정상적으로 이루어졌는지 점검이 필요하며, <Table 3>은 LRC check 방식의 프로그램을 작성한 것이다. 여러대의 Zigbee 통신모듈을 사용하는 경우, 송신 및 수신거리가 멀게 되면, 전파방해의 원인이 될수 있는 설비가 있거나 건물벽에 막히는 경우가 있다. 그래서 Slave와 Master 사이에 정보가 맞게 주고, 받았는지가 중요 하므로 보내고, 받은 정보가 맞는지를 검사 하여야 한다, 또한 다음 단계의 프로그램이 진행 되어야 할 것이며, 그리고 송신과 수신 프로그램 과정 중에는 정보를 반드시 인터럽트를 통해 거쳐야 하며, 만약에 XOR 연산 후, 불일치일 경우에는 다음 스텝의 변수정보는 바로 직전에 가지고 있었던 정보를 유지 하도록 한다.

발생일자:시간	흡입 온도	H#1 온도	H#2 온도	모터 온도	흡입1 압력	흡입2 압력	탱크 압력	R 전류	T 전류
20140609:100635	009703	260329	0280	0009000	90179	00080009			

[Figure 8] Data structure of saved record

공기압축기 가동, 운전 감시 장치에서 PC의 모니터링까지의 무선 송신 및 수신을 위한 통신프로토콜은 '9600 bps, N 81'이며, 매 60초마다 데이터베이스(DB)에 저장 하도록 하였다. 데이터베이스 필드 구성은 <Figure 8> 에서와 같이 마이크로 콘트롤 프로세서(micro control processor)의 AD 컨버터 분해능은, 10

비트로 되어 있어 4 자리씩 나누어 저장하였다.

저장된 데이터는 각각 실제의 온도, 전류값이 아니기 때문에 컨버팅 과정을 거쳐서 PC화면에 그래프와 데이터를 표시하고, FE\_AFCDM의 추론과정을 하게 된다.

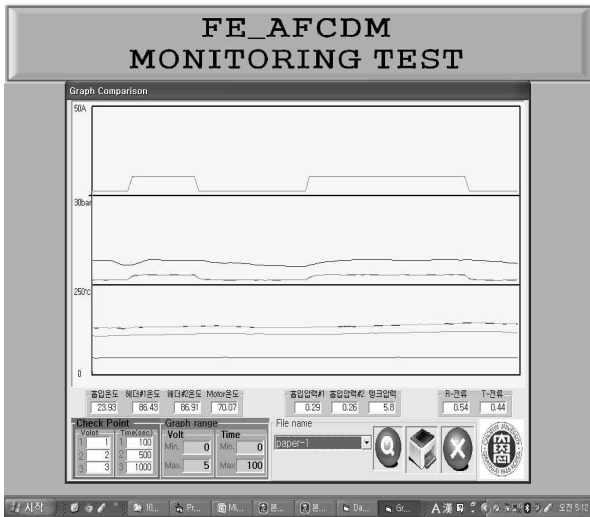
<Table 4>는 모터의 온도정보를 변환하는 프로그램이다. 알고리즘을 보면, 'ha1 = (ha1 / 1024) \* 250'에서 등식 다음에 ha1 변수는 <Figure 8>에 저장된 정보이며, 우변에 있는 ha1변수는 공식에 의해 변환된 값으로 저장되는 변수이다. 그리고, '1024'는 AD컨버팅 분해능으로 10 비트 방식이므로  $2^{10}=1024$  등분으로 나누어 정밀도를 높일 수 있다. '250'은 온도센서의 최대 감지가능 온도이다.

<Table 4> Data conversion source code for temperature value

```
***** temp start
***** 모터온도
Picture1.ForeColor = RGB(0, 255, 0)
le1 = -2
For i = 1 To Len(file_data) Step 54
    ha1 = Val(Mid(file_data, i + 28, 4))
    ha1 = (ha1 / 1024) * 250
    le1 = le1 + 2
    ypo = (6000 / 250) * (ha1 / 2)
    xpo = (11000 / 193) * le1
    Picture1.Line -(xpo + 500, 6000 - ypo)
Next i
Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 6000)
***** temp end
```

[Figure 8]에서 모터온도가 '0280'은 실제온도가 68.3 °C를 나타내는 것이다. 그리고 전류신호처리는 최대 처리용량이 50A까지 할 수 있다. 그래서 [Figure 8]에서 T전류가 '0009'는 실제로 0.4 A를 나타내는 것이다.

이러한 과정을 거쳐 저장된, 센서정보를 공기압축기 가동 이력정보 저장과 PC 화면에 표시하기 위해 Microsoft사의 Visual BASIC 6.0 으로 구현 하였고, 또한 공기압축기의 가동 이력을 조회하기 위한 모니터링 프로그램도 Microsoft사의 MDB(micro soft database)와 연동하여 데이터베이스를 설계 하였다. [Figure 9]는 Visual BASIC 6.0 으로 구성한 PC 모니터링 화면이며, 현재는 매 60초마다 실시간으로 정보값을 그래프에 출력하고, 데이터를 저장하는 프로그램이다.

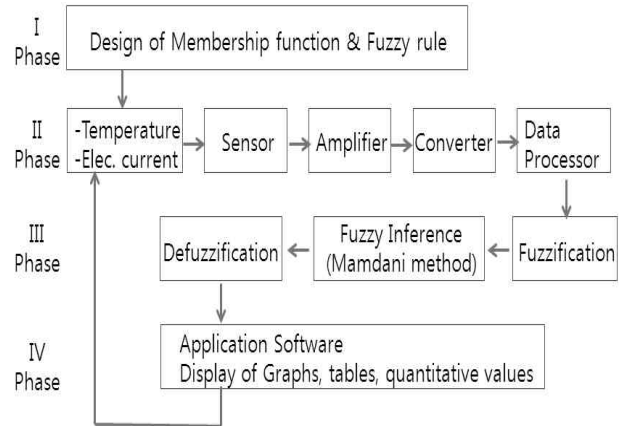


[Figure 9] PC monitoring for sensor signal of air-compressor

모니터링방식 이전에는 관리자가 수기로 기록지에 기록하는 방식으로 운영함으로써 공기압축기 가동이 불안정하고, 보전관리에 애로사항이 많았다. 본 연구에서 실시간 원격으로 왕복동형 공기압축기의 가동, 운전 상태를 모니터링을 통해, 공기압축기 내부의 메카니즘, 윤활오일, 흡입필터 교체주기를 최적의 상태로 만들어 주고 있으며, 공기압축기에서 품질 좋은 압축공기를 생산하는 것이다. 이는 에너지 절감(energy saving)효과를 높이고, 안전사고 예방 및 설비보전 효율을 안정화하여 기업의 생산성을 높이고자 한다.

#### 4. FE\_AFCDM 실험 및 분석

공기압축기의 이상진단 퍼지전문가시스템의 흐름은 [Figure 10]와 같은 순서이다. 첫 번째 단계는, 본 연구에서 제안하는 모델에서 공기압축기의 이상진단을 위해 구동모터에서 발생하는 온도와 전류의 상태에 따른 소속함수와 규칙의 설계가 이루어진다. 두 번째 단계는, 3.2 절에서 설명한대로 추론하기 위한 현장의 정보를 만드는 과정이다. 세 번째 단계는, 퍼지이론에 의한 과정으로 소속함수와 규칙에 의한 입력정보와 출력정보를 만드는 과정이다. 마지막 단계에서는, 응용프로그램에 의해 진단결과를 사용자에게 표현하는 과정이다. 네 번째 단계의 진행이 끝나면, 다시 두 번째 단계부터 순환하는 시스템이다.



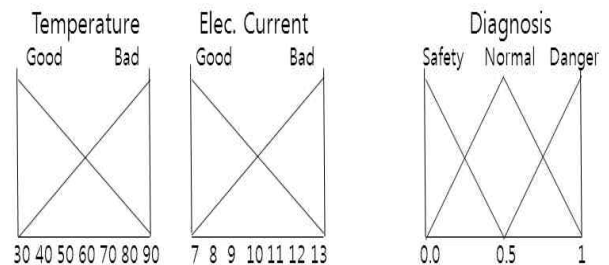
[Figure 10] Procedure of fault diagnosis

#### 4.1 소속함수와 규칙설계

공기압축기가 가동, 운전중에 모터에서 지속적으로 발생하는 온도와 전류의 상태에 따라 진단결과를 <Table 5>, [Figure 11]에서와 같이 소속도와 소속함수를 각각 설계하였다.

<Table 5> Motor temperature and Electronic current membership degree

Motor Temp. (°C)	Good	Bad	Elec. Current (A)	Good	Bad
30	1.0	0.0	7	1.0	0.0
40	0.9	0.2	8	0.9	0.2
50	0.7	0.3	9	0.8	0.3
60	0.5	0.5	10	0.5	0.5
70	0.3	0.7	11	0.3	0.7
80	0.2	0.9	12	0.2	0.9
90	0.0	1.0	13	0.0	1.0



[Figure 11] Membership function design

언어적 용어의 표현을 삼각형 소속함수로 설계하여 'FD'는 퍼지진단 소속함수의 의미로서 온도의 퍼지집

합  $FD_{temp}=\{Good, Bad\}$ 이고, 전류의 퍼지집합  $FD_{curr}=\{Good, Bad\}$ 이며, 진단결과의 퍼지집합  $FD_{diag}=\{Safety, Normal, Danger\}$ 이다. 추론규칙은 <Table 6>과 같이 4개의 방법으로 설계할 수 있다.

<Table 6> Diagnosis rule table

Temp.\Curr.	Good	Bad
Good	Safety	Normal
Bad	Normal	Bad

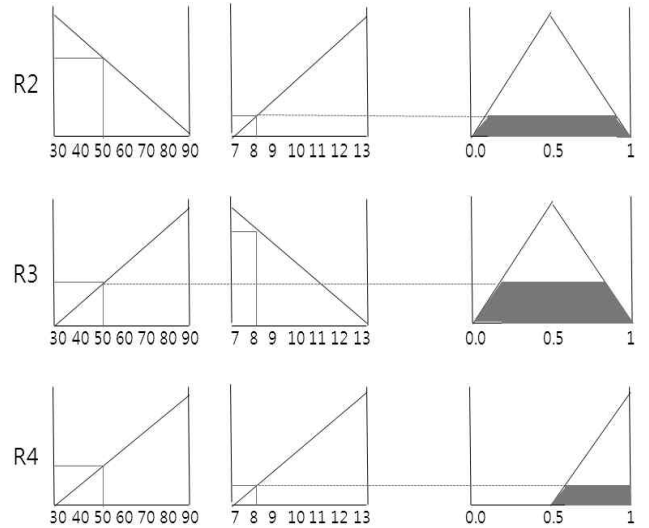
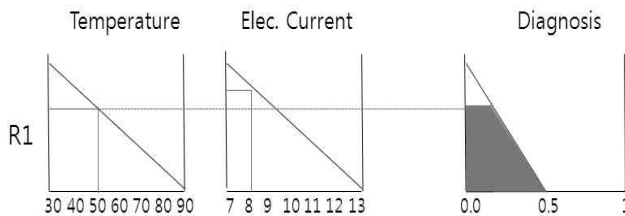
- R1: IF temp is Good and curr is Good THEN Diag is Safety
- R2: IF temp is Good and curr is Bad THEN Diag is Normal
- R3: IF temp is Bad and curr is Good THEN Diag is Normal
- R4: IF temp is Bad and curr is Bad THEN Diag is Danger

### 4.2 이상진단 퍼지추론

진단방식에서 언어적 변수 temp., curr. 와 출력 diag.에 대한 언어변수의 소속함수  $\mu$ 를 이용하여 최대-최소(Max.-Min.) 합성법칙으로 구한다.

$$\mu_{FD}(temp., curr., diag.) = \max[\min\mu_{temp.}(x), \mu_{curr.}(x), \mu_{diag.}(x)]$$

온도와 전류값이 각각 50도, 8A일 경우 [Figure 12]에서와 같이 퍼지규칙 알고리즘에 의한 진단결과를 만든다.

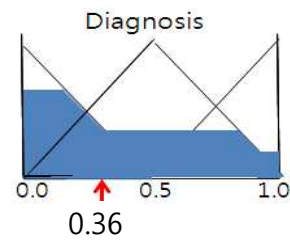


[Figure 12] Fuzzy inference of fault diagnosis

퍼지합성을 통해 [Figure 13]의 결과와 <식 4>의 무게중심법으로 “0.36”을 얻었다. 이것은 진단판정을 ‘Safety’와 ‘Normal’의 중간정도의 상태라는 것을 알 수 있다.

$$FD = \frac{\sum_{i=1}^4 [\mu_{diag.}(x_i) \times x_i]}{\sum_{i=1}^4 \mu_{diag.}(x_i)} \quad \text{<식 4>}$$

$$FD = \frac{0.3 \times 0.8 + 0.3 \times 0.5 + 0.4 \times 0.5 + 0.2 \times 0.6}{0.3 + 0.5 + 0.5 + 0.6} = 0.36$$



[Figure 13] Result of Fuzzy synthesis

본 연구는 일반 개인용 컴퓨터 또는 신호처리를 위해 마이크로 콘트롤 프로세서에 문자표시장치를 장착하여 실시간으로 공기압축기의 상태를 정량값으로 출력하는 모델을 설계하는 것이다. 따라서 <Table 7>은 PC를 이용하여 Visual BASIC 6.0으로 설계한 프로그램이고, [Figure 14]는 PC모니터링 화면에 출력한 결과이다.

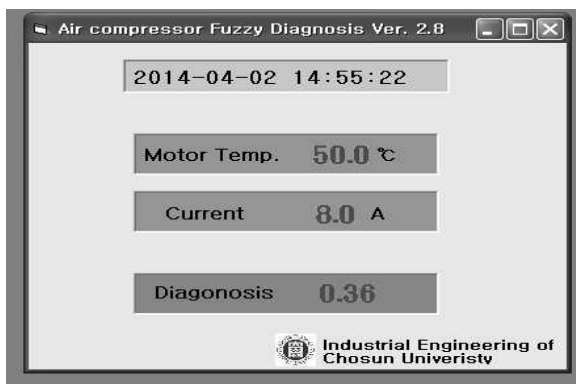


<Table 7> defuzzification program

```

n=4      'max fuzzy rule number
For(i=1 to n)
h1(i)=(x(i)*d(i))+h1(i)
h2(i)=x(i)+h2(i)
Next
h=h2(i)/h1(i) 'h is defuzzification value
    
```

<Table 7>에서는 h1과 h2의 배열형 변수로서 각 소속함수의 값과 소속값을 누적하여 디퍼지 결과값을 'h' 변수에 저장한다. 추론기관의 구성은 퍼지관계의 합성을 처리하는 min-max법을 사용 하였으나, 본 시스템에서는 우선적으로 min값 처리만 하고, 추론을 반복하면서 자동으로 누적되며, max값이 만들어진다. 따라서 공기압축기에 설치한 여러 개의 센서에서 들어오는 정보를 조건에 맞는 소속함수에 대응하면서, 각 추론규칙의 조건별로 소속값을 얻는 것이다.



[Figure 14] PC monitoring of diagnosis

## 5. 결론

생산현장에서 공기압축기는 매우 중요한 유틸리티설비이다. 따라서 공기압축기의 정상적인 가동, 운전 상태가 아닐 경우 생산에 막대한 지장과 손실을 가져다 줄것이다. 이러한 공기압축기의 가동, 운전 상태를 정량값으로 실시간 표현 된다면, 비전문가라도 이상진단 결과 정보를 가지고 의사결정을 할 수 있는 시스템이 필요하겠다.

따라서 품질저하, 설비 오작동 및 설비고장 유발, 안전사고 발생, 에너지 손실을 예방하기 위한 신뢰성과 생산성 향상을 위하여 본 연구에서는 퍼지소속함수와 전문가시스템의 규칙베이스를 이용한 FE\_AFCDM (fuzzy expert\_air compressor fault condition diagnosis

model)을 통해 퍼지추론 공기압축기 이상진단 모델을 설계 및 실험하였다. 실제로 공기압축기는 다양한 부품으로 구성 되어 상호 유기적으로 작동되고 있으며, 이러한 공기압축기 들은 구성부품들의 이상 가동 상태가 불규칙 하거나, 불확실한 정보가 되면, 비전문가가 이상가동 상태를 파악, 분석, 판단하기에는 매우 어렵고, 애매모호한 상황이 될 수 있다.

따라서, FE\_AFCDM에서는 공기압축기 각 요소에 장착한 센서에서 만들어진 정보를 퍼지화하기 위해 퍼지소속함수와 퍼지규칙을 설계하여 퍼지추론 알고리즘에 의한 퍼지 상태값을 생성 하였다. Mamdani의 Min-Max법 규칙과 무게중심법으로 공기압축기의 실시간으로 불확실하고, 애매모호한 상황들을 정량적인 이상가동 상태값으로 제시하는 모델이다. 이는 시뮬레이션 실험을 통해 가동, 운전중에 공기압축기 가동상태값으로 '0.36'의 정보 결과를 얻었다. 이것은 퍼지추론 결과의 소속함수에서 'Safety'에서는 낮은 신뢰도이지만, 'Normal'에서는 좋은 상태를 나타내서 전문가가 아닌 비전문가들도 공기압축기의 정상적인 가동, 운전을 하기 위하여 의사결정을 할 수 있는 모델이다.

향후 연구에서는 여러 가지 입력 정보에서 중요도가 높은 정보와 낮은 정보를 차등에 따른 가중치를 주고, 본 연구와 정량값을 비교하여 모델의 신뢰성과 안정성을 높이는 알고리즘 연구가 필요하겠다.

## 6. References

- [1] B.J. Choi, S.W. Kwak, A. Nabout, "Resundant fuzzy rules Exclusion by Genetic Algorithms," *Fuzzy Sets and Systems* 100, pp.235-243, 1998.
- [2] Durkin, John, *Expert Systems; Catalog of Applications*, Intelligent Computer Systems, P.O. Box 4117, Akron, Ohio, 1993.
- [3] D.Y. Yoon, "AVR Atmega128 MASTER", Ohm company, 2006.
- [4] H.Y. Shin, *A Study on the Development of a Rule-Based Expert System for the Automatic Design of Pneumatic Systems*, In-ha University, 1997.8.
- [5] Kyoung Min Kim(2009), "Development of Sound and Vibration Monitoring System for the basis on Embedded", *The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Fall Conference Proceeding*, pp 763-764.
- [6] L.A. Zadeh, "The Role of Fuzzy Logic in the

Management of Uncertainty in Expert System", Fuzzy Sets and System, Vol.11, New York: pp199-227, 1983.

[7] Riemer, P.L., Mitchell, J. W., and Beckman, W. A., 2002, The use of series analysis in fault detection and diagnosis methodologies, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Pt. 2, pp.384-394.

[8] Stearns, S.D., 1988, Signal Processing Algorithm, Prentice-Hall.

[9] S. Kimon HC, Study on the Plastic Injection Influenced by Injection Condition in the Plastic Mold of Soongsil University, 1991.

[10] Shin, H.Y. A Study on the Development of a Rule-Based Expert System for the Automatic Design of Pneumatic Systems, In-ha University, 1997.8.

[11] Won-Yong Lee, J.M. House, Dong-Ryul Shin, Classification Techniques for Fault Detection and Diagnosis of an Air Handling Unit, IEA ANNEX34 meeting at Boulder, Sept, 1997.

[12] Zigbee Architecture Overview.(2005). Zigbee Alliance.

저 자 소 개

임 상 돈



조선대학교 산업대학원 산업공학과 공학석사 취득  
 조선대학교대학원에서 산업공학과 공학박사 취득  
 현재, (주)성지산업 대표이사 재직 중  
 관심분야 : 공기압축기 품질향상을 위한 신뢰성 분야와 모니터링

시스템 연구

주소 : 광주광역시 광산구 사암로 106번길 117-14(우산동)

정 영 득



조선대학교 산업대학원 산업공학과 석사.  
 명지대학교 산업공학과 박사, 현재 전주비전대학교 경영학과 교수.  
 관심분야 : 생산관리, 생산정보시스템 등

주소 : 전주시 완산구 효자동2가 10709, 전주비전대학교

김 종 래



조선대학교 학사, 연세대학교 공학석사, 경영학 박사  
 현재, 조선대학교 산업공학과 교수로 재직중이며, 한국생산관리학회 이사, 한국경영과학회 이사, 한국품질경영학회 부회장  
 관심분야 : TPM, SCM, 품질공학, 신뢰성공학, 실험계획법 등

주소 : 광주광역시 동구 팔문대로 309, 조선대학교 산업공학과