creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000276394

2014년 8월

박사학위논문

퍼지전문가시스템을 이용한 공기압축기 이상진단모델 개발

조 선 대 학 교 대 학 원

산 업 공 학 과

임 상 돈

퍼지전문가시스템을 이용한 공기압축기 이상진단모델 개발

Development of a Fault Diagnosis Model for Air-compressor Using a Fuzzy Expert System

2014년 8월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

산 업 공 학 과

임 상 돈

Collection @ chosun

퍼지전문가시스템을 이용한
공기압축기 이상진단모델 개발

지도교수 김 종 래

이 논문을 공학박사학위 논문으로 제출함.

2014년 4월

조 선 대 학 교 대 학 원

산 업 공 학 과

임 상 돈

Collection @ chosun

임상돈의 박사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 강 장 하 印

위 원 조선대학교 교수 박 형 준 印

위 원 조선대학교 교수 박 길 문 印

위 원 전주비전대학교 교수 정 영 득 印

위 원 조선대학교 교수 김 종 래 印

2014년 6월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

목 차

LIST OF TABLES ····· Ⅵ

LIST OF FIGURES ····· Ⅷ

ABSTRACT ····· Ⅺ

제 1 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구배경 ····· 1

제 2 절 연구내용 ····· 1

제 3 절 연구방법 ····· 3

제 2 장 연구의 이론적 배경 ····· 5

제 1 절 공기압축기 ····· 5

1. 공기압축기의 분류 및 특성 ····· 5

가. 공기압축기의 분류 ····· 5

나. 공기압축기의 적용범위 ····· 6

Collection @ chosun

다. 공기압축기의 특성 ····· 6
2. 공기압축기의 구조 및 작동원리 ····· 8
가. 공기압축기의 구조 ····· 8
나. 공기압축기의 작동원리 ····· 10
3. 공기압축기의 공기청정화 SYSTEM ····· 13
가. 후부냉각기(After cooler) ····· 16
나 공기건조기(Air dryer) ····· 16
다. 주배관 필터(Main line filter) ····· 17
라. 공기탱크(Air tank) ····· 17
4. 공기압축기의 응축수 생성 ····· 18
5. 공기압축기의 경제적 운전방안 ····· 19
제 2 절 고장진단 시스템의 기존연구 ····· 22
1. 고장검출 및 진단기술의 기존연구 ····· 22
2. 프로세스 고장검출 및 모니터링 시스템 기존연구 ·· 25
가. 고장검출을 위한 방법 ····· 26
나. 고장진단을 위한 방법 ····· 28
제 3 절 퍼지전문가시스템 ····· 31
1. 퍼지이론 ····· 31

Collection @ chosun

가. 퍼지추론과정 기본구조 ····· 32
나. 퍼지화(Fuzzification) ····· 33
다. 퍼지규칙 기반(Fuzzy rule base)부 ····· 34
라. 퍼지추론(Fuzzy inference)부 ····· 35
마. 비퍼지화(Defuzzification) ····· 36
바. 퍼지소속도함수 ····· 37
사. 퍼지 규칙의 일관성 ····· 38
2. 전문가시스템 ····· 38
가. 전문가 시스템 개요 ····· 40
나. 전문가 시스템 기능 및 구조 ····· 41
다. 전문가 시스템 개발과정 ····· 44
라. 전문가 시스템응용 ····· 46

제 3 장 FE_AFCDM 설계 및 구현 ····· 50

제 1 절 FE_AFCDM 구현대상 ····· 50
1. 왕복동형 공기압축기 압축선도와 압축일 ····· 50
2. FE_AFCDM 구성 ····· 51
3. 왕복동형 공기압축기 고장원인과 대책 ····· 54

Collection @ chosun

제 2 절 HARD WARE(센서신호처리) ····· 55

1. 임베디드 시스템 ····· 55

2. 마이크로 콘트롤 프로세서 ····· 55

3. 센서신호처리부 ····· 57

4. 무선신호 전송 시스템 ····· 60

제 3 절 SOFT WARE(센서신호관리) ····· 64

1. 무선수신정보 처리 프로그램 ····· 64

2. 센서데이터 변환 프로그램 ····· 65

제 4 장 FE_AFCDM 실험 및 분석 ····· 73

제 1 절 소속도함수와 규칙설계 ····· 74

제 2 절 FE_AFCDM의 시뮬레이션 ····· 77

제 3 절 FE_AFCDM 실험결과 ····· 80

제 5 장 결 론 ····· 84

제 1 절 연구결과 ····· 84

Collection @ chosun

제 2 절 향후과제 ····· 85

참 고 문 헌 ····· 86

Collection @ chosun

LIST OF TABLES

Table 2-1 Characteristics of the air compressor ····· 7

Table 2-2 Function of air compressor ····· 9

Table 2-3 Reciprocating type air compressor ····· 10

Table 2-4 Screw type air compressor ····· 11

Table 2-5 Turbo type air compressor ····· 12

Table 2-6 ISO 8573-1 contaminants regulations of compressed air ····· 14

Table 2-7 Impact of environmental pollution and pneumatic equipment ····· 15

Table 2-8 Feature of contaminant ····· 19

Table 2-9 Method for the detection and diagnosis of the process ····· 23

Table 2-10 How to express the kind of fuzzy inference rules ····· 31

Table 2-11 Compare of expert system and data flow program ····· 39

Table 2-12 Function of expert system ····· 41

Table 2-13 Application of expert system ····· 46

Table 3-1 Fault cause and trouble shoot ····· 54

Table 3-2 Firmware of ADC & communication ····· 63

Table 3-3 Serial communication LRC check ····· 64

Table 3-4 Row data of sensor signal ····· 68

Table 3-5 Data conversion source code for pressure value ····· 69

Table 3-6 Data conversion source code for temperature value ····· 70

Table 3-7 Data conversion source code for current value ····· 71

Collection @ chosun

Table 4-1 Motor temperature membership degree ····· 74

Table 4-2 Electronic current membership degree ····· 74

Table 4-3 Pressure membership degree ····· 75

Table 4-4 Inference rule of diagnosis ····· 76

Table 4-5 Defuzzification program source code ····· 81

Table 4-6 Manual of FE_AFCDM ····· 82

Collection @ chosun

LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 The configuration system research ····· 4

Fig. 2-1 Air compressors category ····· 5

Fig. 2-2 Application range of air compressor ····· 6

Fig. 2-3 Structure of air compressor ····· 8

Fig. 2-4 Reciprocating type air compressor ····· 10

Fig. 2-5 Screw type air compressor ····· 11

Fig. 2-6 Turbo type air compressor ····· 12

Fig. 2-7 Air purification system configuration ····· 13

Fig. 2-8 Flow characteristics of after cooler ····· 16

Fig. 2-9 Cost distribution of air-compressor ····· 19

Fig. 2-10 Principles of filteration ····· 20

Fig. 2-11 Temperature dependence of the filter life ····· 21

Fig. 2-12 The Conventional fault monitoring, detection and diagnostic process ····· 25

Fig. 2-13 Generalized structure of fault detection methods based on the process model ····· 27

Fig. 2-14 Development process of fuzzy ····· 33

Fig. 2-15 Sharp of membership function ····· 34

Fig. 2-16 Min-Max method ····· 36

Fig. 2-17 Triangle-type membership function ····· 38

Collection @ chosun

Fig. 2-18 Expert system construction ····· 42
Fig. 2-19 Development process of expert system ····· 44
Fig. 3-1 A theoretical P-V diagram ····· 50
Fig. 3-2 Illustrates a realistic P-V diagram ····· 50
Fig. 3-3 Schematics of FE_AFCDM ····· 52
Fig. 3-4 Picture of FE_AFCDM ····· 53
Fig. 3-5 Atmega 128L-16 block diagram ····· 56
Fig. 3-6 Application board of Atmega 128L-16 ····· 56
Fig. 3-7 PCB & circuit of temperature sensor ····· 57
Fig. 3-8 PCB & circuit of pressure sensor ····· 58
Fig. 3-9 PCB & circuit of electric current sensor ····· 58
Fig. 3-10 Schematic of LM741 Op-amp ····· 59
Fig. 3-11 Flow of ADC ····· 59
Fig. 3-12 Installation air-compressor sensor ····· 60
Fig. 3-13 Schematic of zigbee module ····· 61
Fig. 3-14 Installation and inside of zigbee module ····· 61
Fig. 3-15 Data structure of saved record ····· 65
Fig. 3-16 Paper of air compressor repair ····· 67
Fig. 3-17 PC monitoring for sensor signal of air-compressor ····· 72
Fig. 4-1 Procedure of fault diagnosis ····· 73
Fig. 4-2 Membership function design ····· 75
Fig. 4-3 Fuzzy inference of fault diagnosis ····· 78

Collection @ chosun

Fig. 4-4 Flow chart of Fuzzy Inference ····· 80

Fig. 4-5 PC monitoring of diagnosis ····· 81

Fig. 4-6 Result of fuzzy synthesis ····· 82

Collection @ chosun

ABSTRACT

Development of a Fault Diagnosis Model for Air-compressor Using a Fuzzy Expert System

Im Sang Don

Advisor : Prof. Kim, Jong-Rae, Ph.D.

Department of Industrial Engineering,

Graduate School of Chosun University

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.

With the expertise being used, there should a new attempt to deal with human thinking as well as ambiguity of the language involved in the expression of the thought. The Fuzzy Theory focuses upon human thought and handling the ambiguity caused by the language of expression, both of which are considered a dilemma from a Mathematical perspective. Especially, the Fuzzy Theory has been under research to be applied to home appliances, means of transportation and machineries and there lies hardship in quantitatively analyzing the input-output relationship in a system whose the internal and external environments are both inconsistent and uncertain.

Therefore it is applied in a variety of fields by improving some of mathematics-statistical defects found in a status value of the operating system. However,

Collection @ chosun

when the system is complex and unstable, there follow some difficulties in describing the patterns. Also the number of control patterns, which is demanded for a precise result, increases drastically. Although the Fuzzy theory is useful, there still lacks a methodical plan for the system. This literature brings up the FE_AFCDM(Fuzzy Expert_Air compressor Fault Condition Diagnosis Model), which involves an electric signal system and computer programming that can upgrade creditability and speed, rather than the complex Non-linear system.

Air Compressor mentioned in the paper is an important facility in sites where products are manufactured. Because there could be a ripple effect and loss caused by a breakdown and unstable operation of the system, reliability and objectivity of the facility has to be checked in real time. With this, it has been developed in order to meet the demand on the prevention of safety accidents, the quality maintenance of products and cut in energy usage.

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. The first signal conditioning system consists of the embedded micro processor, sensor signal condition amplifier and converters and lastly a hardware that wirelessly transfers the value temperature, pressure and current. The second inference algorithm has designed a software that can, through personal computers, show that information on temperature, pressure and currents are programmed into the Fuzzy membership function and the Fuzzy pattern when the air compressor works.

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.

Collection @ chosun

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

최근 정보기술과 전자기술의 발달로 각종 하드웨어는 소프트웨어와의 융합으로 전문가의 지식을 진단모델에 적용하여 설비가동 이상진단 시스템으로 대체 되어 지고 있다.[1] 산업현장에는 여러 가지 불규칙 하고 불확실한 환경요인으로 설비가 갑자기 고장이 나거나 제 기능을 벗어난 동작으로 품질불량과 안전사고가 발생 될 수도 있으며, 관련시설의 고장유발 및 에너지 낭비로 생산성이 저하되는 사례가 발생 하고 있다.[15][23]

이러한 문제를 해결하기 위한 설비 이상진단 방안으로 여러 가지 대안들을 적용하고 있는데 첫 번째는, 모니터링 시스템을 도입하여 이상 경보값 설정으로 설정 값 보다 높거나 낮을 때 경보시스템이 작동하여 이상 경보값에 다다를 때까지는 정상이고 그 이상경보 값에 도달 해야만 경보 시스템이 작동하는 시스템이다. 이러한 시스템은 이상 경보값을 미리 알 수 없으며, 설비 가동시 발생하는 여러 관련 정보 값을 이용하여 이상 진단 하기에도 곤란 하다. 따라서 설비 고장에 대해서는 확실한 경보 시스템을 알려 주지만 예측할 수 있는 조기 대응이나 예방정비 계획을 세우기에는 부적절하다.[25]

두 번째는, 숙련된 전문가를 통해 이상진단(fault diagnosis)을 하는 경우가 있다. 그러나 전문가를 만들기 위한 많은 시간과 비용이 투자되지만, 현장에서 계속적으로 일을 할 수가 없으며, 주관적일 수 있는 문제가 발생 될 수도 있다.

제 2 절 연구내용

공기압축기(air compressor)는 소규모 사업장 에서부터 대규모 사업장 까지 사용범위가 매우 넓으며, 공기압축기에 의해 생산되는 압축공기(compressed air)는 전기, 가스, 용수와 함께 의료, 연구 및 생산에 매우 중요한 지원 자원(resources)이기도 하다. 그러나 공기압축기는 가동할 때 발생하는 소음, 진동으로 건물외부 또는 칸막이를 통해 보이지 않는 곳에 설치하여 가동 되고 있다. 이에 따라 공기압축기의 이상 가동을 적시에 발견하지 못하면, 연구배경 에서 제기 하였던 상황들이 발생하게 된다.

Collection @ chosun

본 연구에서는 FE_AFCDM(fuzzy expert_air-compressor fault condition diagnosis model / 퍼지전문가_공기압축기 고장이상진단모델)을 설계하여 왕복동형(reciprocating type) 공기압축기의 가동 이상 진단을 통한 압축공기의 품질유지, 산업재해예방, 에너지절감 효과와 생산성(productivity)을 높이고자 한다.

공기압축기의 고장을 일으킬 수 있는 여러 인자들은 일반적으로 부정확한 언어사용이나 자연언어와 같은 애매모호하고, 불확실한 정보 습득과 표현으로 나타 내어진다. 이에 FE_AFCDM에서는 전문가시스템(expert system)과 퍼지이론을 통하여 현재 공기압축기 가동 상태값을 표현 하였으며, 이러한 정보를 생성하기 위해서 실시간 신호처리 시스템으로 센서신호 변환장치와 컴퓨터 프로그램 언어를 이용한, HMI(human machine interface) 방식의 프로그램 모델이다.[26][27]

이와 같이 퍼지이론(fuzzy theory)을 이용하여 입력 및 출력 변수, 추론규칙, 소속도함수 알고리즘을 만들었으며, 입력 변수는 온도, 압력, 전류로 하였고, 출력 변수는 공기압축기 가동 상태값이다. 또한 입력 변수는 퍼지집합 정규화 과정으로 소속도함수에 의한 퍼지규칙을 만들고, Mamdani이론과 무게중심법(COG : center of gravity methods)을 이용한 정량적인 상태값을 표시 한다.[37][42]

퍼지이론은 여러 분야에서 그 유용성이 기대되어 많은 연구가 진행되고 있으며, 일반적으로 정량적인 분석과 표현이 어려운 경우는 일반인들이 정확한 진단결과를 정하기 곤란하다. 퍼지이론(fuzzy theory)을 이용하여 수학적으로 다루기 힘든 인간의 사고나 그 표현 언어의 애매모호성 처리에 대한 이론적인 배경을 제공 하면서 부터 시스템에 새로운 지식을 도입하려는 시도가 이루어지고 있다. 특히 입력 및 출력 관계의 정량적인 분석이 어려운 상태값을 시스템에서 전달함수나, 상태 방정식에 기초한 기존의 통계적 기법에 의한 문제점을 보완 대체하여 발전 되어 가고 있다.

특히 공기압축기와 같이 설비의 고장으로 인한 손실이 큰 경우에 설비의 안정성 및 신뢰성이 더욱더 높아져야 하고, 동시에 연계되는 설비들과도 요구수준을 만족 하여야 한다고 본다.[9]

김석근(1991)은 금형온도, 사출압력 및 사출시간의 변화에 따라 성형불량 요인을 가져온다 하였다.[61] 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 맵(FCM)을 이용한 고장진단 알고리즘을 개발하고[69] 그 타당성을 입증하였다. Barbera는 통계적 상관관계를 이용하는 센서비교 기법을

Collection @ chosun

제안하고 가스터빈 기관의 고장진단 방법을 개발 하였다. 정보의 불확실성과 표현 자체에 애매모호함이 있어 퍼지이론을 이용하여 지식을 표현하고, 퍼지논리로 설비의 고장 결함진단 및 예측이 가능한 연구가 이여지고 있다.[2][3]

이는 다양한 사례 연구에서 보는 바와 같이 각 분야의 생산설비에 대한 유지관리 수단으로 고장발생 후의 사후관리 보다는, 이를 사전에 예지하여 설비의 가동효율을 유지 하면서 생산성(productivity)의 안정을 위한 연구들이 필요 하다.

제 3 절 연구방법

제조 생산 현장에서 연속적으로 가동하는 공기압축기의 이상 진단을 위해 전문가를 항시 대기 하는 것은 불가능하다. 또한 전문가의 숙련도와 경험에 따라 신뢰성, 객관성, 정확성에 문제가 발생할 수도 있다. 이에 본 연구에서는 일반 사용자가 전문가의 판단과 같이 왕복동형(reciprocating type) 공기압축기(air compressor)를 효율적으로 운영할 수 있도록 센서 신호처리방법, 전문가 모델시스템[16] 및 퍼지이론을 이용하여 FE_AFCDM을 설계 하고자 한다.[19]

본 연구 모델에서 왕복동형 공기압축기의 가동 상태값을 얻기 위해서 첫 번째는, 아날로그-디지털 변환 하드웨어와 얻어진 인자들의 값을 저장하며 두 번째는, 사용자에게 출력 시켜 주기 위한 소프트웨어이고 세 번째는, 하드웨어와 소프트웨어를 연결해주는 임베디드 마이크로 콘트롤 프로세서(embedded micro control processor)의 펌웨어(firmware)로 구성되어 있다. 본 모델에서 개발한 소프트웨어는 Micro soft사의 Visual BASIC 6.0으로 만들어 졌으며, 왕복동형 공기압축기의 이상 상태값을 소속도함수로 변환한 뒤 퍼지규칙에서 처리하기 위한 정보로 전환하고, 추론알고리즘으로 상태값 출력과 MDB(micro soft database)를 연동한 유지보수 의사결정 프로그램 모델 이다.

본 연구의 구성은 Fig. 1-1과 같다. 제1장은 서론으로서 본 연구의 배경, 내용과 방법에 대해 논하였고, 제 2 장에서는 FE_AFCDM를 설계하기 위한 이론적 배경으로 공기압축기의 개요와 특징을 다루었고, 다음으로는 이상진단의 기존연구를 파악 하였으며, 또한 퍼지이론으로 퍼지전문가시스템을 이용하여 FE_AFCDM을 설계하기 위한 이론적 배경을 논하였다. 제 3 장에서는 본 연구모델을 구현하기 위한 대상에 대하여 설명하였으며, 모델 구현을 위한 하드웨어구성 및 소프트웨어설계에 대하여도 논하였다. 제 4 장은 퍼지전문가시스템을 바탕으로 본 연구에서 설계한 FE_AFCDM의

Collection @ chosun

시뮬레이션을 다루었다. 그리고 공기압축기의 가동으로 발생한 온도, 압력, 전류신호를 처리된 정보로 퍼지화와 퍼지규칙 및 비퍼지화를 통하여 불확실하고, 애매모호한 가동상황을 정량값으로 표현하였으며, 실제로 이러한 정보를 해석하고, 대처하기 위한 방안을 제시하였다. 끝으로 제 5 장에서는 본 연구의 결론으로서 FE_AFCDM의 실험결과로 공기압축기 가동,운전의 기대효과와 FE_AFCDM의 향상을 위한 방안으로 향후연구에 대하여서도 논하였다.

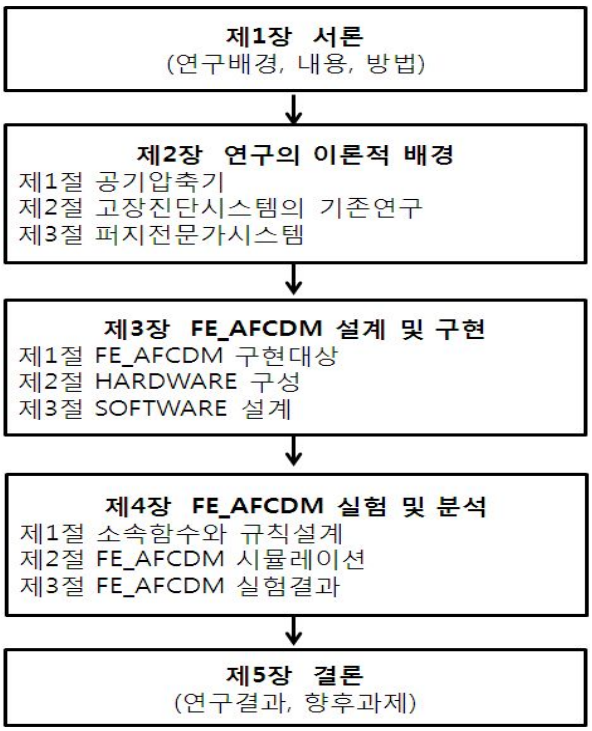


Fig. 1-1 The configuration system research

Collection @ chosun

제 2 장 연구의 이론적 배경

본 장에서는 공기압축기(air compressor)의 이상 진단 모델을 구축하기 위하여, 공기압축기의 특성과 실시간 고장 진단 및 퍼지 전문가시스템을 언급 하였으며, 이를 구축하기 위해 기존 문헌에 대한 선행연구를 조사 하였다.

제 1 절 공기압축기

1. 공기압축기의 분류 및 특성

가. 공기압축기의 분류

공기 압축기는 전기모터나 엔진의 동력을 이용하여 전기와 기계에너지를 공기압 에너지(Pneumatic energy)로 변환하며, 대기의 공기를 흡입과 압축과정으로 압축공기(compressed air)를 만드는 산업전반에 걸쳐 널리 사용되는 설비를 말한다.

Fig. 2-1에서 분류한 공기압축기는 용적(왕복동형, 스크류형) 변화와 유동(터보형) 변화 원리에 의한 것으로 나누어지며, 이에 따른 용도는 작업능력과 공급체적을 고려하여야 한다. 또한 출력에 따라 0.2~14 kW를 소형, 15~75 kW를 중형, 75 kW 이상을 대형으로 분류하며, 토출 압력에 따라 7~8 kgf/㎠는 저압, 10~20 kgf/㎠는 중압, 20 kgf/㎠ 이상을 고압으로 분류하고 있다.[24]

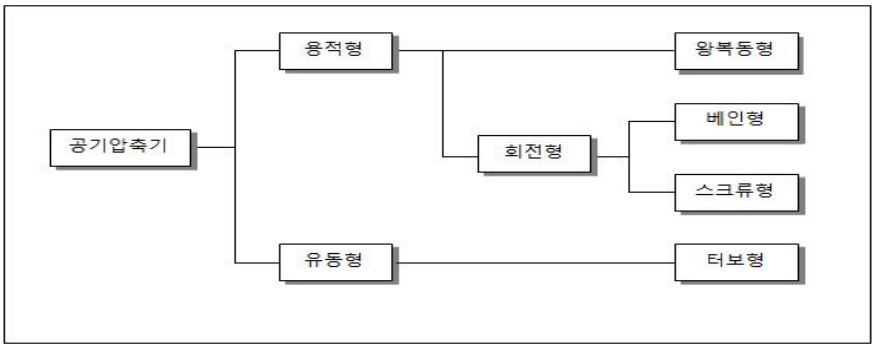


Fig. 2-1 Air compressors category

Collection @ chosun

나. 공기압축기의 적용범위

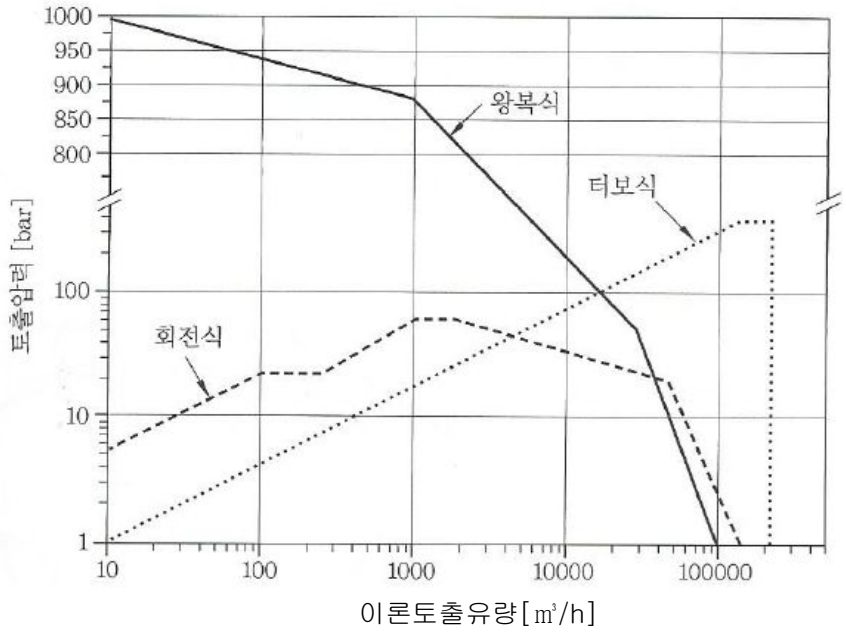


Fig. 2-2 Application range of air compressor[24]

사용하는 공기압력과 토출유량이 결정되면, Fig. 2-2 와 같은 적용범위에 따라서 공기 압축기의 형식이 결정된다.

형식이 결정되면, 공기압축기의 용량을 정하여야 한다. 이때 주의 하여야 할 사항은 공기압축기의 토출유량은 대기압으로 환산한 체적유량(volume flow rate) 이므로 필요한 공기의 소비유량도 대기압으로 환산하여서 비교 하여야 한다.

다. 공기압축기의 특성

분류에 따라서 공기압축기는 Table 2-1 과 같으며, 최근에는 에너지 절감, 고장감소 효과 등 에너지 절감형 공기압축기의 등장으로 왕복동형 공기압축기 사용이 줄어들고 있는 추세이기도 하다.

Collection @ chosun

Table 2-1 Characteristics of the air compressor

	왕복동형	스크류형	터보형
운용비용	저가	보통	고가
운전범위	0.2 ~50 kW	0.75 ~ 370 kW	750 kW
맥동	크다	작다	작다
진동	크다	작다	비교적 작다
소음	크다	작다	크다
발생 이물질	산화물(Oil Mist) 카본(Carbon) 먼지(대기중) 수분	산화물(Oil Mist) 먼지(대기중) 수분	먼지(대기중) 수분
보수점검	3,000~5,000 시간	12,000~20,000 시간	8,000~15,000 시간
선정기준	소음, 진동은 비교적 크나 낮은 운용 비용 요구되는 경우	왕복동형보다 운용비용이 높고 진동, 소음이 적은 안정된 공급이 필요한 경우	750 kW 이상이 요구 되거나 산화물, 카본 발생이 없을 경우

Collection @ chosun

2. 공기압축기의 구조 및 작동원리

가. 공기압축기의 구조

일반적인 스크류형(용적형) 공기압축기의 구조를 보면, 스크류 엘레먼트 및 기동 모터부, 오일, 냉각, 응축수, 조절기, 전기 시스템부와 몸체부, 등으로 구성되어 있으며, Fig. 2-3은 전체적인 구조도이다.

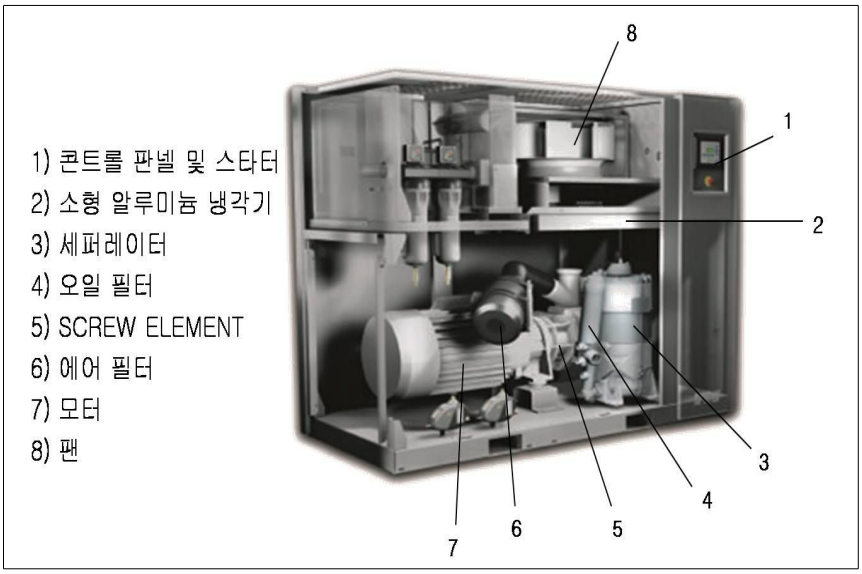


Fig. 2-3 Structure of air compressor[55]

Collection @ chosun

Table 2-2는 공기압축기의 주요부품과 주요 기능에 대한 사항이며, 다음과 같이 살펴보고자 한다.

Table 2-2 Function of air compressor

주요부품	주요기능
흡입필터	압축된 공기에 포함된 먼지 등 이물질은 공압기기 및 생산제품에 심각한 영향을 줄 수 있다.
수분배출	토출부, 에어 필터 하단부, 배관라인 도중에 부착하여 분리되는 수분이나 오일을 배출시키는 것으로 자동적으로 일정량이 모이면, 배출시키는 자동 배출기나 타이머로 작동하는 전자식(auto trap)이 있다.
압축탱크	공기압 탱크는 공기의 압축성을 충분히 작도록 하게 함으로써 소비량의 변동에 대응하여 공기압축기의 맥동을 제거하거나, 탱크의 표면에서 방열을 이용하여 냉각 작용을 돕는 것도 가능하다. 또한 저장 된 공기를 정전시 사용하는 것도 가능하다.
냉각/건조 장치	압축 후, 에어 온도는 최고 250℃ 정도까지 상승하므로 탱크, 배관 등 토출과정에서 발열량으로는 충분히 냉각이 될 수 없으므로 사용기기의 패킹 열화를 촉진하거나, 수분이 배출되어 사용기기에 나쁜 영향을 미친다. 그래서 압축공기 온도를 내리고, 수분을 제거 분리, 배출하여야 효과적이다

Collection @ chosun

나. 공기압축기의 작동원리

(1) 왕복동형 공기압축기

왕복동형 공기압축기는 피스톤과 실린더 구조방식으로 실린더내의 피스톤이 상,하 운동을 통하여 압축공기를 생산하는 구조이며, Table 2-3 에서는 왕복동형 공기압축기의 장점 및 단점이고, 왕복동형 공기압축기의 구조 및 외형은 Fig. 2-4와 같다.

Table 2-3 Reciprocating type air compressor

원리	실린더(cylinder)의 피스톤 왕복운동으로 공기를 압축(왕복용적형)한다.
장점	높은 압력변화에 따른 유량의 변동이 작은 특징을 가지고 있으며, 상대적으로 가격이 저렴하다
단점	높은 공기압력을 생산할 수 있으나 유량의 한계를 갖고 있으며, 공기량이 많이 소요되는 공정에는 부적합하고 압축공기의 맥동현상과 소음(90dB), 진동이 심하다

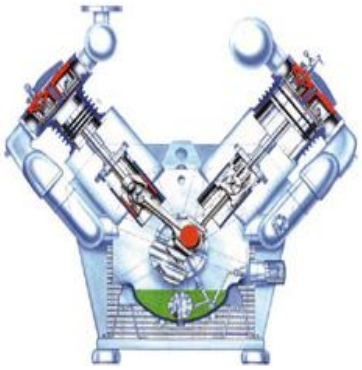


Fig. 2-4 Reciprocating type air compressor

Collection @ chosun

(2) 스크류형 공기압축기

스크류형 공기압축기는 스크류 로터(암, 수)의 회전으로 압축공기가 생성되는 구조로 Table 2-4와 같은 특징을 가지고 있으며, Fig. 2-5는 스크류형 공기압축기의 구조 및 외형이다.

Table 2-4 Screw type air compressor

원리	밀폐된 케이싱내의 암·수 로터가 맞물려 회전하며, 점진적 체적 감소를 통하여 공기를 압축(회전식 용적형) 한다.
장점	왕복동형에 비해 유량 및 효율의 특성이 좋으며, 동력손실이 적고, 소음(73dB), 진동이 적다.
단점	터보형에 비해 낮은 압축효율과 복잡한 증속기어형의 구조로 되어 있다.

Fig. 2-5 Screw type air compressor

Collection @ chosun

(3) 터보형 공기압축기

터보형 공기압축기는 임펠러의 고속회전에 의한 압축공기가 생성되는 구조로 Table 2-5와 같은 특징을 가지고 있으며, Fig. 2-6에서는 터보형 공기압축기 내부의 임펠러구조 및 터보형 공기압축기의 외형을 나타내고 있다.

Table 2-5 Turbo type air compressor

원리	임펠라(impeller)를 고속회전 시켜서 공기의 속도를 높여 디퓨져(diffuser)를 통하여 속도에너지를 압력에너지로 전환시켜 공기를 압축(원심식형) 한다.
장점	왕복동형과 스크류형의 단점을 보완 하였으며, 별도 필터링 없이 무급유(oil free) 공기를 토출하고, 맥동현상 없이 폭넓은 운영범위가 높다.
단점	유량대비 압축비가 높을 때 발생하는 써지곡선(surge line)이 있어, 이 영역에서는 임펠러(impeller)가 공회전을 하게 되어 유동의 흐름이 불규칙하게 되고, 제어가 되지 않은 불안정한 상태가 되므로 이 영역을 피해서 운전해야 하는 단점이 있으며, 상대적으로 초기에 시설투자 금액이 높다.

Fig. 2-6 Turbo type air compressor

Collection @ chosun

3. 공기압축기의 공기청정화 SYSTEM

공기압축기로 대기중의 공기를 압축하면, 공기의 체적(volume)은 감소되나 함유된 공기의 수분은 잔존하게 되어 압축된 공기는 고온의 상대습도 100%인 습공기 상태가 된다. 또한 이 습공기가 일정한 압력하 에서 냉각되어 온도가 낮아지면, 공기중에 포함된 수증기는 과포화 상태에 도달하여 응축되기 시작하며, 이때의 온도를 이슬점 혹은 노점(dew point)이라 하고, 노점은 대기압 노점(대기압에서 응축온도)과 압력하 노점(특정 압력에서의 응축온도)이 있다.

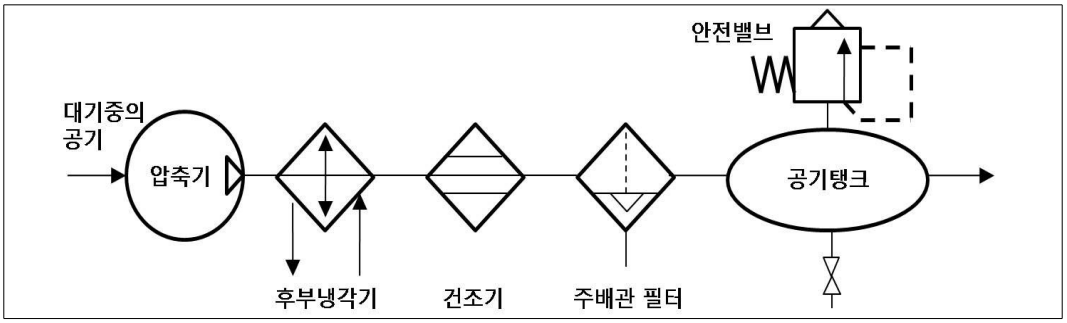


Fig. 2-7 Air purification system configuration

공기청정화 System의 공기흐름(air flow)순서는 Fig. 2-7 에서와 같으며, 공기압축기의 보조 공기 크리닝(air cleaning) 시스템이기도 하다. 압축공기 중에 포함된 먼지(dust), 수분(water), 기름(oil)등으로 Table 2-6 처럼 공기의 품질 국제 허용기준치(ISO 8573-1. / 압축공기 오염물질규정)이며, 압축공기 중에 오염물질이 부적당한 상태로 존재하면, Table 2-7과 같이 공기압축기의 작동 불량이나, 신뢰성 및 내구성을 저하시키고, 제품이나 인체 등을 오염시키게 되므로 사용하는 압축공기의 질은 System 이나 기기의 사용목적, 성질, 기능에 적합한 상태 이어야 한다. 공기청정화 System은 공기압축기 후단 측에 설치가 되어져야 하고, 후부냉각기(after cooler), 공기건조기(air dryer), 주배관 필터(main line filter), 공기탱크(air tank)의 순서로 설치되어 져야 하나 때로는 주위 여건의 설치 조건과 상황에 따라 순서가 바뀌어 설치 될 수도 있다.[24]

Collection @ chosun

Table 2-6 ISO 8573-1 contaminants regulations of compressed air

수분	등급	최고압력노점(℃)	
	1	-70	
	2	-40	
	3	-20	
	4	3	
	5	7	
	6	10	
	7	Not Specified	
고형물질	등급	최대입자크기(㎛)	최대농도(mg/㎥)
	1	0.1	0.1
	2	1	1
	3	5	5
	4	15	8
	5	40	10
유분	등급	최대농도(mg/㎥)	
	1	0.01	
	2	0.1	
	3	1	
	4	5	
	5	25	

Collection @ chosun

Table 2-7 Impact of environmental pollution and pneumatic equipment[24]

기기 ＼ 이물질	수분	유분	카본	녹
솔레노이드밸브	코일절연불량 녹유발 무성분팽윤 수명저하	고무성분팽윤 수명저하	밸브고착	밸브고착
액추에이터	녹유발 수명저하	수명저하	로드씰불량 피스톤고착 수명저하	로드씰불량 수명저하
감압밸브 공압식릴레이	기능저하 녹유발 수명저하	기능저하	밸브고착	밸브고착
공기압식 계장기기	자동불량			
공기청소기 (Air Duster)	오염			
공기압모터	회전수(rpm) 저하 녹유발 수명저하	회전수저하 고착불량	고착불량	
공기압프레스	도장불량			
수송기기	기능저하 오염	오염		
공기압식 마이크로메터	계측오차 및 불량			
교반기	오염			

Collection @ chosun

가. 후부냉각기(After cooler)

공기압축기로부터 토출되는 고온의 압축공기를 공기건조기(air dryer)로 공급 하기 전에 건조기의 입구 공기온도 조건(약, 38 ℃)에 적합하도록 1차 냉각시켜 수분을 제거하며, 처리방식에 따라 공냉식과 수냉식의 종류가 있다.

또한 유량특성은 후부냉각기를 통과하는 압축공기량과 압력강화와의 관계로써 Fig. 2-8과 같다.

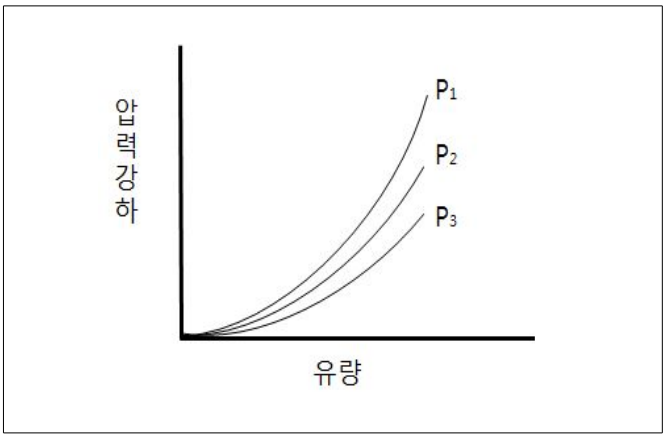


Fig. 2-8 Flow characteristics of after cooler

나. 공기건조기(Air dryer)

후부냉각기로부터 송출되는 압축공기 중에는 먼지, 수분(응축수), 기름 등의 이물질이 포함되어 있고, 이 이물질들은 주배관 라인필터(line filter) 등으로 제거는 할 수 있으나 수증기의 제거는 불가능하며, 온도차에 의해 응축되므로 녹 발생을 유발시키며, 이러한 녹과 수분(응축수)은 모든 공기압 기기의 고장원인이 되기도 한다. 이와 같이 수증기를 제거할 목적으로 공기건조기를 필연적으로 설치, 사용 하여야 하며, 수증기를 제습 및 제거하는 방법에 따라 냉동식 및 흡착식 공기 건조기가 있다.

Collection @ chosun

다. 주배관 필터 (Main line filter)

주배관 내의 먼지, 수분(응축수), 기름, 녹 등의 이물질을 제거하여 후단에 있는 정밀 필터의 수명연장이나, 이물질에 의한 각 기기의 고장을 방지하는데 설치 목적이며, 배관내에 존재하는 응축된 수분은 주배관 필터에서 제거할 수 있다. 압축공기 내부에 함유된 수증기는 제거할 수 없으므로 주배관 필터 후단에 수분분리 기능을 가진 다른 필터와 병행하여 사용하여야 한다. 또한 이물질 분리효과 및 처리 공기량을 우선 선정하여야 하며, 처리 여과도(μm), 분리효율(%) 등도 감안 하여야 한다.

라. 공기탱크(Air tank)

공기탱크는 압축공기의 공급을 안정화 시키고, 공기 소비시 발생되는 압력변화 최소화와 정전시에 저장된 유량에 의해 짧은 시간 동안 운전을 가능하게 하고, 맥동현상 줄임과 넓은 표면적에 의해 압축공기를 냉각시켜 수분(응축수)을 드레인(drain)으로 배출 시키는 것이며, 그 크기와 용량의 결정은 매우 중요 하다. 공기탱크의 용량은 다음 식(2-1)으로 계산 된다.[24]

$$V = \frac{(Q_c - Q)101300}{(Ps - P1)} \times t \qquad (2\text{-}1)$$

V : 공기탱크 용량
Q : 압축공기 실제 토출량 (대기압으로 환산) [㎥/s]
Q_c : 소비유량 (대기압으로 환산) [㎥/s]
Ps : 공기압축기 토출압력 [Pa]
$P1$: 허용 최저 압력 (감압밸브 설정 압력 [pa] + 49030 [pa])
t : 부하운전시간 [s]

상기 식에서 부하운전시간 이란, 액츄레이터 1 싸이클 도중에 실제로 부하를 이동하는 시간 즉, 실제 작업시간 이다.

Collection @ chosun

4. 공기압축기의 응축수 생성

공기압축기는 초기 압력에서 목표압력 까지 한 번에 압축하게 되면, 많은 동력이 소요되며, 기체의 압축에 의한 열이 발생되어 기체가 팽창하고, 압축효율(compression efficiency)이 떨어지므로 이를 방지하기 위하여 2~3 단으로 나누어 압축하며, 발생된 열을 중간에서 냉각시키는 과정을 거치게 된다. 대기 중에는 수분이 포함되어 있는데 주변 환경에 따라 공기압축기의 수분유입량을 다음과 같은 산출식(2-2)에 의해 수분량 추정을 할 수 있다.

$$W = \frac{Q \times a \times H \times \left\{ \frac{(t+273)}{273} \right\}}{1000} \qquad (2\text{-}2)$$

W : 유입되는 수분의량 (ℓ/min)
Q : Air 유량 (Nm³/min)
a : 흡입공기중 포화수증기량 (g/Nm³)
H : 흡입공기의 상대습도 (%)
t : 흡입공기의 온도 (℃)

예“ 를 들어 공기압축기의 용량이 120 Nm³/min, 9 bar, 900 kW,
흡입 온도 30 ℃, 상대습도 75 % 이면,

W = 120 Nm³/min × 30.36 g/Nm³ × 0.75 × {(30+273) / 273} / 1000
= 3.03 ℓ/min 이며, 하루에 4.4 톤의 수분이 포함되어 있다는 것이다.

그리고 공기압축기로 대기중의 공기를 흡입 하여 압축하면, 수분 및 오염물질과 함께 공기의 체적은 감소되나 함유된 공기의 수분과 함께 토출되며, 압축 공기 내에는 Table 2-8과 같은 오염 물질들이 포함되어 있다.

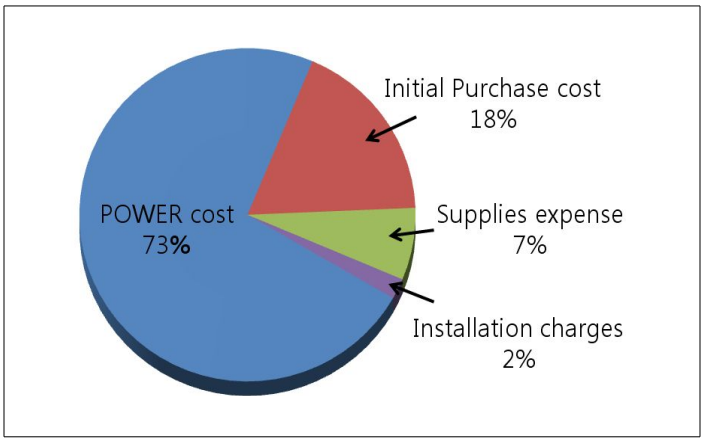
Collection @ chosun

Table 2-8 Feature of contaminant

contaminants	Symptoms
Particulate	Scale in the pipe, Floating carbon, Weld flash, Mold, Yeast fungus
Vapor	Water vapor, Oil vapor, Volatile solvent vapor
Liquids	Compressed air oil, Condensed oil, Water and oil emulsion, Oils and other liquids, Mixed solids, Hydrocarbon oil (varnish)

5. 공기압축기의 경제적 운전방안

공기압축기를 구성하는 각 부품별 기능 및 특성과 주변의 사용 환경을 고려하여 정기적인 관리를 통한 부품교체 및 수리만 잘 이루어 지더라도, 본 연구에서 다루는 공기압축기의 압축공기 품질(compressed air quality) 향상과 에너지 절감 및 효율을 높이는 경제적인 운영과 관리를 기대할 수 있을 것이다.



Collection @ chosun

Fig. 2-9 Cost distribution of air-compressor[55]

Fig. 2-9는 일일 8시간씩 10년간 공기압축기 시스템 가동, 운전을 하면서 소요되는 총 경비의 비율이다. 여기에서 공기압축기의 유지비용 구성 요소중 직접 전력을 소모하거나 실제로 부하를 가중시키는 비율이 대략 73% 정도 이며, 이는 큰 비중을 차지하고 있다는 것을 알수있다[55].

이러한 공기압축기의 성능 및 효율이 압축공기 품질을 지속적으로 향상 시켜 줄수 있으며, 중요하게 역할을 하는 것이 공기 필터(air filter)인데, 압축공기용 필터의 기능은 Fig. 2-10과 같이 크게 차단(interception), 충돌(impingement), 흡착(adsorption)으로 분류 되고 있으며, 용도에 따라 입자, 유분, 가스 제거용으로 사용되기도 한다.

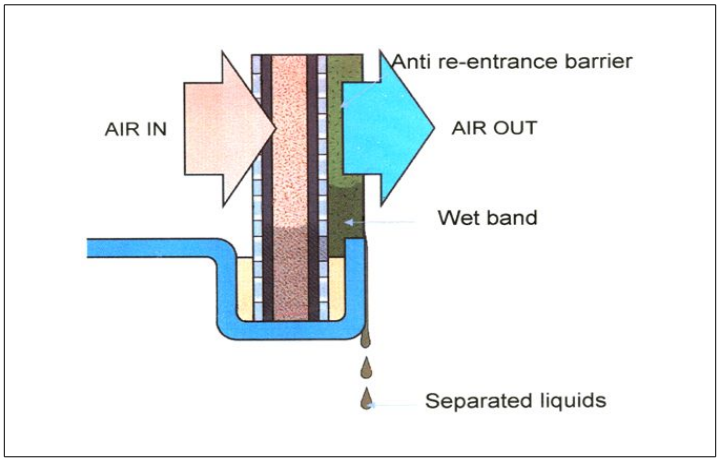


Fig. 2-10 Principles of filteration[55]

또한 압축된 공기의 온도에 따라 필터의 수명단축이 좌우되며, 압축된 공기의 온도가 40℃ 이상에서는 Fig. 2-11과 같이 실제적으로 필터링이 불가능 하다 라는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

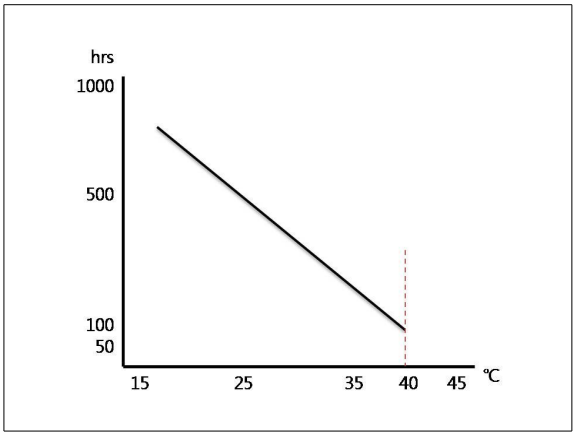


Fig. 2-11 Temperature dependence of the filter life

이러한 압축공기의 품질저하로 인하여 에너지(전력비) 낭비, 보수 유지비용 증가, 운전비용 과다 발생, 직접 및 간접적인 경제적 손실은 물론이고, 생산제품들의 품질하락과 생산비용 증가로 발생 될 수 있다. 막대한 손실들을 줄이기 위하여 공기압축기의 에너지 낭비가 발생될 수 있는 응축수(condensate water) 자동 배출 시스템과 공기압축기 가동, 운전 상황 등 전체를 일정한 장소(중앙 통제실 / CCR)에서 원격으로 모니터링(monitoring) 하여 실시간(real time) 데이터 정보를 수집, 분석하고 공기압축기의 이상작동 유, 무를 모니터링 함과 동시에 에너지(energy) 낭비에 따른 경제적 손실을 줄일 수 있는 안전하고, 신뢰성이 있는 시스템들이 필요하다고 본다.

Collection @ chosun

제 2 절 고장진단 시스템의 기존연구

본 연구의 압축공기를 생산하는 공기압축기의 고장진단 모델을 설계하기 위하여 기존에 고장검출 및 진단에 관한 연구들에 대해 선행연구를 조사하였다.

1. 고장검출 및 진단기술의 기존연구

고장검출 및 진단기술을 개발하기 위해서는 우선적으로 발생 가능한 고장의 종류 및 중요도를 파악해야 한다. 이 과정에서는 전문가의 지식을 이용하는 것이 하나의 효과적인 방법이 될 수 있다. 여기서 파악된 결과는 진단을 위한 규칙 생성 및 훈련을 위한 지식기반으로 사용할 수 있다.

실시간 고장진단 시스템의 주목적은 설비의 상태를 감시하여 고장의 원인이 되는 결함의 존재를 미리 예측하고 진단하는 것이다. 이상적으로 고장검출 및 처리 시스템은 설비의 주요 결함이 검출되면, 고장진단은 물론 고장분석을 통하여 적절한 조치를 취할 수 있는 정보를 운전자에게 제공하여야 하며, 고장에 따라서는 제어기 설정변경이나 센서복원 등에 의해 고장허용, 제어나 자기 복구기능도 수행하여야 한다. 그러나 현재까지의 기술로는 고장진단 및 처리 시스템은 운전의 상태 정보를 이용한 고장의 검출 및 진단 결과를 운전자에게 제공하여 고장판단과 처리를 하도록 도움을 주는 기능으로 인식되고 있다.

고장검출 과정을 단순하게 표현하면, 측정 가능한 변수나 예측 가능한 변수가 정상상태의 허용범위를 벗어나는 것을 검사하는 것으로 나타낼 수 있다. 만약 허용범위를 초과하면, 고장 메시지를 출력하게 된다. 이와 같은 기능은 고장검출을 위한 모니터링이라 한다. 필요한 경우 이 단계에 이어 원인이나 위치를 찾을 수 있는 진단과정이 수행된다. 다음 단계는 고장평가로 이것은 발생된 고장이 시스템이나 공정에 얼마나 큰 영향을 미칠 것인가를 평가하는 것이다. 고장의 정도가 파악되면, 다음 단계로 조치를 취해야 한다. 고장평가결과 허용할 만한 경우이면, 운전은 당분간 정상적으로 계속될 수 있으며, 허용범위를 넘어선 경우에는 시스템을 즉시 정지시키고, 고장부위를 제거시켜야 한다.

고장검출 및 진단 단계에서 관측된 상태값을 이용하여 설비의 정상/비정상 상태를 판단하고(고장검출), 고장의 위치와 원인, 그리고 발생시점(고장진단) 등을 분석하게

Collection @ chosun

된다. 고장검출과 진단을 위한 시스템은 일반적으로 독립적인 기능으로 구성될 수 있다. 두 개의 시스템은 서로 정보를 교환할 수 있으며, 제어기와도 정보를 교환할 수 있어 필요할 경우 고장검출 및 진단을 위한 확인신호를 감시 프로세스에 보낼 수 있다. 고장검출과 진단과정은 일반적으로 전처리(pre-processor)와 분류기(classification)의 두 과정으로 나누어 고려할 수 있다. 측정된 자료는 전처리 과정에서 분류가 용이한 성능지수들로 변환되며, 이론적인 모델들이 잔차를 생성하기 위하여 사용될 수 있다. Table 2-9는 고장검출과 진단을 처리하는 과정에 대한 방법과 사용변수를 정리하였다.

Table 2-9 Method for the detection and diagnosis of the process

과정	처리 방법	내용
전처리	단순처리	시간 변화분 산출
		단위변환
		정규화
		평균값 산출
	모델 기반 처리	성능지수에 따른 분류 - 상태변수 예측, 계수 예측, 특성량 산출
		모델 구조에 따른 분류 - 물리적 모델, 블랙박스 모델, 정성적 모델
		모델 동특성에 따른 분류 - 정적 모델, 선형 · 동적 모델, 비선형 동적 모델
분류기	Knowledge-based classifier	
	Association-based classifier	

측정과정에서 성능지수가 생성되면, 이 지수들을 이용하여 쉽게 분류를 수행할 수 있다. 분류기는 이들 성능지수를 이용하여 고장검출이나 진단을 수행하는 것이며, 해석

Collection @ chosun

적 모델은 관측과정에서 가장 유용하게 사용될 수 있는 도구이다. 상태변수 잔차와 모델계수 변화는 프로세스 모델로부터 구할 수 있는 중요한 성능지수이다.

프로세스 모델은 물리적인 모델과 블랙박스 모델로 구할 수 있다. 물리적 모델은 시스템 특성을 이론적으로 해석한 것으로 모델 자체에 물리적 의미를 포함하고 있어 고장진단에 유리하다. 블랙박스 모델은 단순하게 관측결과를 예측할 수 있는 가장 단순한 형태의 식을 사용하는 것으로 식 자체가 물리적 의미를 함유하고 있지 않지만, 계산이 단순하다는 장점이 있다.

고장검출과 진단의 두 번째, 단계는 분류이다. 측정과 전처리에서 산출된 성능지수를 이용하여 검출과 진단을 수행하는 과정이다. 지식기반에 의한 분류기가 일반적으로 사용될 수 있는데, 대표적인 방법으로는 규칙기반 시스템과 패턴인식 방법이 있다. 규칙기반 시스템은 If-Then과 같은 규칙을 이용하여 분류를 추론하게 된다. 패턴인식 방법은 주어진 지식을 신경망이나 통계적 방법으로 훈련에 의해 인식시킨 후 유사한 패턴을 분리해내는 방법이다. 일단 전처리가 끝난 후의 변수를 위해서는 일반적인 분류 방법들이 사용될 수 있다.

고장검출과 진단의 세 번째, 단계는 평가이다. 결함이나 고장의 정도 및 전체 시스템에 미치는 효과를 파악하게 된다. 진단 과정에서도 결함의 심한 정도를 원인과 더불어 분류할 수 있으며, 이 경우에는 진단결과가 평가의 자료가 된다.

전체적으로 시스템에 미치는 파급 효과가 큰 급격한 손상은 평가가 단순하나, 성능저하와 같이 초기에 효과가 적은 결함은 전체 시스템 운영에 미치는 효과가 적어 평가가 어려우며, 장기적인 측면에서 예측과 예방 조치가 필요하다. 고장에 따른 전체 시스템에 미치는 영향은 고장이 발생한 부위나 부품의 중요도와 일치하며, 시스템 계통상 상위 수준의 부품고장은 우선적으로 처리하여야 할 중요한 고장으로 판단될 수 있다.

마지막, 단계로서 결정 및 조치단계이다. 고장발견 후 보수를 위한 결정과 조치는 일부를 제외하고는, 자동으로 처리하기 어려운 과정으로 일반적으로 컴퓨터를 이용한 처리과정은 검출에서 평가까지로 한정되며, 처리과정인 결정 및 조치는 운영자의 판단 및 결정에 따르게 된다. 그러나 센서고장에 따른 복원은 진단결과에 따라 자동으로 처리될 수 있다.

결정은 고장의 원인과 위치가 진단되고, 심한 정도가 평가되었을 때, 감시되는 프로세스의 운전 상태를 어떻게 해야 할 것인가를 정하는 것으로 위험 수준인 고장들의 정보와 프로세스(process) 상태 정보들을 기초로 이루어진다.

Collection @ chosun

고장평가 후 첫째, 시스템 정지 후의 고장제거와, 둘째, 경미한 경우 운전의 설정상태 등을 바꾸는 조치가 취해질 수 있다. 고장의 정도가 심해 제거할 필요가 있는 경우에는 시스템을 정지시키게 되며, 시스템에 미치는 효과가 적어 당분간 운전이 가능한 경우나, 설정값 변경 등이 필요한 경우 운전모드를 바꾸게 된다.

컴퓨터에 의한 결정은, 최소한 운전자의 결정을 위한 보조정보로 사용될 수 있어야 하며, 운영자는 고장진단의 결과와 운전상황 등을 파악하여 최종조치 결정을 내리게 된다. 이를 위해서는 너무 많은 정보가 운전자에게 공급되어서는 안 되며, 관련된 정보가 신뢰성이 있고, 일관된 정보가 간결하게 전달되어야 한다.

2. 프로세스 고장검출 및 모니터링 시스템 기존연구

여기서는 고장검출 및 모니터링을 위한 시스템 구축에 대한 프로세스와 이를 적용하기 위한 접근방법에 대한 사례를 논의한다.[5] Fig. 2-12는 신호감지, 프로세스 고장검출과 진단을 포함하는 전통적인 기계수행 모니터링 시스템 패러다임을 보여준다. 일반적으로 신호감지 파라미터는 센서, 작동기, 그리고 시간이다.[38] 다양한 제조시스템에서 온라인 고장검출은 종종 한계치, 로직, 정적표(state-table), 시간창(time-window), 그리고 시뮬레이션을 사용하는 방법을 기반으로 한다.

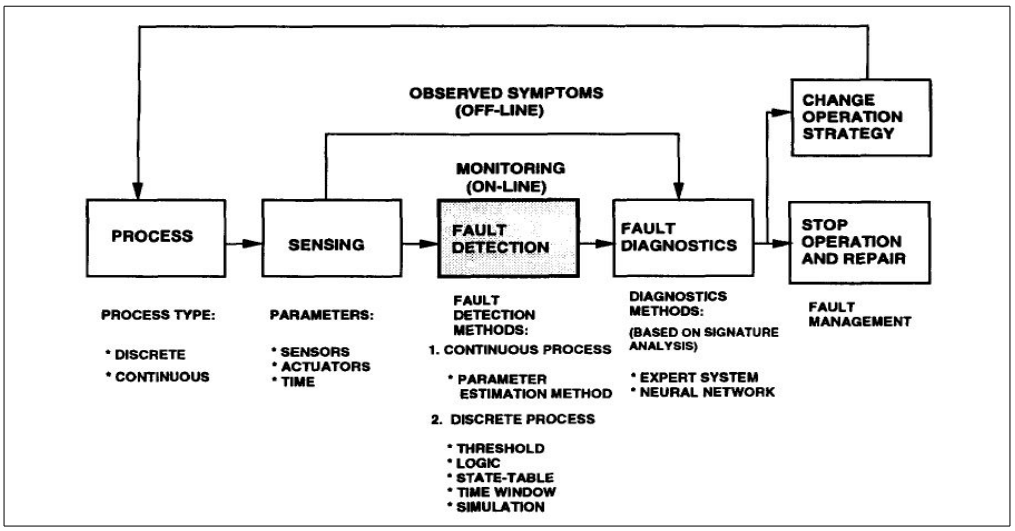


Fig. 2-12 The conventional fault monitoring, detection and diagnostic process

Collection @ chosun

오프라인 고장검출과 고장진단은 보통 센서와 시스템에서의 현상에서 얻어지는 데이터를 모음으로써 수행된다, 그런 다음 문제는 신호분석을 통하여 진단된다. 다음에서는 연관된 모니터링 연구, 고장검출, 그리고 고장진단을 요약하여 보여준다.

가. 고장검출을 위한 방법

우선 고장검출을 위한 방법으로는 전통적으로 ① 모델링과 파라미터 예측과 ② 개별관측이며, 접근방법은 모델링과 파라미터 측정 접근방법, 이산관측치 접근방법이 있다.

(1) 모델링과 파라미터 측정 접근방법

이 접근방법은 측정할 수 있는 입력신호와 출력신호가 직접적으로 프로세스에 대한 변화를 모니터하기위해 사용될 수 있다. 기술을 검사하는 한계와 동향은 고장검출에서 가장 직설적인 방법이다. 신호를 예측하기 위해서, 결정론적 또는 확률론적인 신호의 수학적인 모델 또는 결정론적인 프로세스와 확률론적인 신호모델이 사용된다. 온라인 고장검출과 진단은 실시간 지식기반 추론, 파라미터 예측, 그리고 동적 데이터 시스템 모델링 접근방법을 사용해서 진행할 수 있다. 만약 프로세스 고장이 측정 불가능한 프로세스 상태변수에서 밝혀지면, 이미 알고 있는 프로세스 모델을 사용해서 측정할 수 있는 변수로부터 이러한 상태변수들을 예측하거나 다시 만들 수 있다.[56][67][68]

Fig. 2-13은 프로세스 모델과 측정 불가능한 파라미터에 기초한 고장검출법의 일반적인 구조를 보여준다.[31] 동적인 시스템에서 고장검출을 위한 방법의 디자인 연구는 Willsky의 연구물에서 찾을 수 있다.[32] 이 방법의 모델이 제조시스템을 위해서 개발된다면, 유용하지만 많은 경우에 모델이 가능하지 않거나 프로세스 정보 부족으로 모델이 만들어지기가 매우 어렵다.

Collection @ chosun

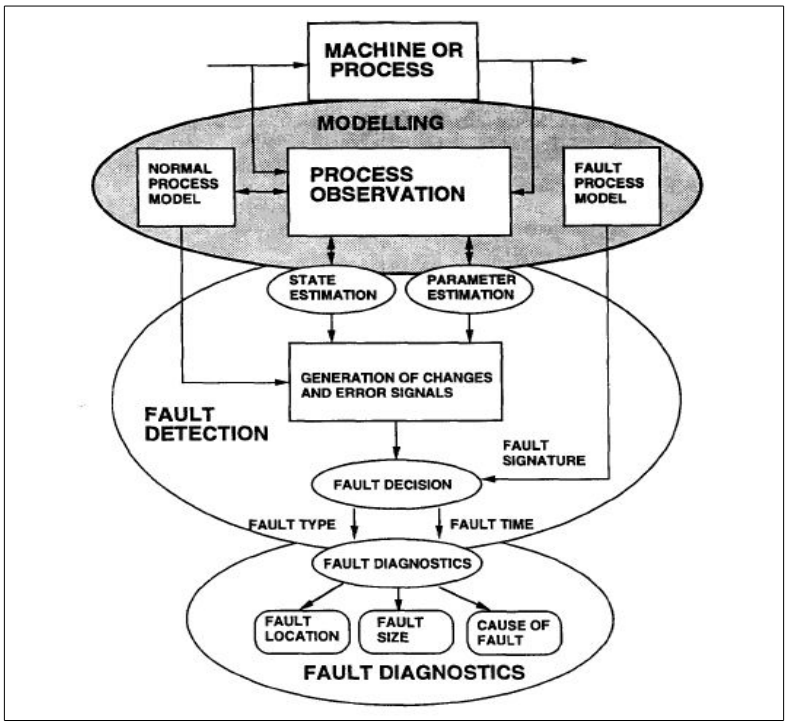


Fig. 2-13 Generalized structure of fault detection methods based on the process model

(2) 이산관측치 접근방법

이 접근방법은 모델링과 파라미터 예측을 통한 고장검출이 연속적인 시스템에 사용된다. 그러나 이산상태시스템이나 이벤트기반 시스템(event- based system)은 이산동적인 서술이 필요하다.[72] 이 시스템들의 입력과 출력은 시간에 따른 이벤트 또는 상태의 순서로 보여 진다. 대부분의 제조를 위한 공정제어는 분리된 이벤트기반 제어이다. PLC(프로그램밍 가능한 로직 제어기)는 가장 일반적인 예“ 이다. 이 제어기는 사다리 다이어그램에 기초한 고장을 검출할 수 있다.[65]

관측된 프레임은 시간적인 부분에서만 시스템 운용을 보여준다. 시스템 운용의 이런 징후들은 간헐적이고 고장에 관한 정보에 지연될 수 있다. 더 나가서 분리된 시스템의 순차적인 특성 때문에 센서는 단지 가동상태만 나타낸다. 센서와 작동기의

Collection @ chosun

상관관계는 제공되지 않는다. 이러한 이유 때문에 많은 제조시스템은 가동 시간과 가동패턴을 체크하기 위해서 워치독 타이머(watchdog timer)를 쓴다. 시스템이 시간과 센서에 의존하기 때문에 가동은 고장이 검출되면 멈춰야만 한다. 그 결과 내고장성 제어와 관리(fault-tolerant control and management)를 수행하기가 매우 어렵다. 다음은 이산 프로세스의 전통적인 고장검출 방법들이다.[62]

나. 고장진단을 위한 방법

대부분의 고장진단 연구는 구성요소 처리에 대한 신호분석에 기초한다. 이 표본과 분석된 데이터 같은 기록들로 부터 고장을 진단하기 위해 전문가시스템과 신경회로망이 가장 인기 있는 고장을 찾는 접근법이다. 이 접근법을 사용하는 연구는 다음과 같이 조사 되었고 요약 되었다.

(1) 신경회로망 접근방법

이 접근방법에서는 신경회로망(neural networks)에 기반을 둔 자동화된 고장검출과 진단 시스템은 제트엔진과 로켓엔진을 위해 Dietz 등에 의해서 개발되어 왔다.[5] 이 접근법에서, 고장진단은 고장조건을 대표하는 패턴에 대해 입력데이터의 맵핑이나 연관된 패턴에 의해서 수행된다. 통합된 전문가시스템(IES)라 불리는 전문가시스템은 엔진 가동의 패턴을 분석하고 엔진가동의 이각에 관한 가설을 만들기 위해서 신경회로망을 사용한다. 신경회로망 모델에 의해 생성된 가설은 지식기반 추론모델에 엔진설계 지식, 체험적인 지식 그리고 고장과 수리 역사에 기초해 추론하기 위해 주어진다.

Netrologic, Inc의 그린우드와 스티븐슨은 신경회로망을 사용해서 공구마모를 예측했다.[16] Uhrig와 Guo은 역전달 신경회로망을 핵발전소에서 일시적인 운전조건을 파악하기 위해서 사용했다.[54] GTE의 플랭클린 등은 형광등 벌브 제조공정을 모니터링하기 위해 단층 신경회로망인 ADALINE와 NADALINE을 사용했다. 두 가지 접근법은 플랭클린에 의해 비교되고 있다. 하나는, 센서측정과 품질의 상관관계를 찾기 위해 표준 통계 절차를 사용한다. 생산 라인에서의 센서 데이터는 일정기간 이상 수집되고 상관관계는 빈번한 간격으로 오프라인에서 선형회귀와 같은 분석에 의해 만들어진다. 두 번째 접근법은, 온라인과 실시간으로 데이터가 수집되는 것에 따라 점차적으로 상관관계를 예측하는 것이다. 예측값은 연결주의자가 학습된 절차를 사용하여 점차적으로 업데이

Collection @ chosun

트된다.

HNC, Inc는 네트워크 결과의 설명을 제공함으로써 신경회로망 어플리케이션에 접근하는 “블랙박스”를 제거하기 위한 신경회로망 접근방법과 통합된 전문가시스템인 KnowledgeNet 제품을 소개했다.[20] 신경회로망은 종종 전문가시스템을 보완한다. 실제로, 최고의 도메인 전문가는 시간에 따른 환경의 변화 때문에 모든 잠재적인 문제를 생각할 수 없다. 이런 이유로 전문가시스템은 일반적으로 한정된 수준의 문제와 환경에 유용하다. 변화에 적응하지 못하는 것은 전문가시스템의 성공에 문제가 된다. 신경회로망은 뚜렷한 프로그래밍이나 지식엔지니어링 없이 배우는 능력을 보여 왔다. 신경회로망은 입력패턴과 그 패턴들의 옳은 해석으로 이뤄지는 트레이닝 세트에 참가함으로써 배운다. 신경회로망은 그들의 출력물과 트레이닝세트에서 제공하는 이상적인 출력물의 차이를 최소화하기 위해서 그들 자신을 정돈한다. 이 두 가지 기술은 매우 다른 장점과 약점을 가진다. 그래서 두 가지 기술의 이점을 취하는 하이브리드 제안은 매우 가치가 있을 것이다.

포드 자동차는 자동차 제어시스템 진단을 대용량 데이터 설정의 빠른 패턴분류를 위한 신경회로망을 사용해서 개발했다.[60] 시스템을 트레이닝하기 위한 데이타는 발전소의 26개의 다른 고장(shorted, plug, open plug, plugged injector, broken manifold pressure sensors 등등)을 소개하고, 엔진오퍼레이션을 빠른 아이들(idle)에서 관찰함으로써 얻어졌다. 역전달 분류 알고리즘은 고장인식을 위해 사용되었다. 그러나 실시간 고장검출과 진단은 실시간 데이타 획득과 학습의 한계 때문에 개발되지 못했다.[71]

(2) 전문가시스템 접근방법

이 접근방법은 제조장비를 진단하기 위해서 광범위하게 사용되었다. GM은 ‘Charley’라는 전문가시스템을 기계에서의 진동신호를 이용해서 기계 상태를 추적하기 위해서 개발과 발전시켰다. 이 접근법은 프로세스와 이중 의사결정시스템을 통한 통과된 선택된 신호의 구성이다. Holloway와 Krogh은 자동화 제조시스템에서 고장 검출과 진단을 위한 행동모델 접근법을 제안했다. 이 모델들은 실제 센서 신호에 의한 실시간 온라인으로 비교되는 기대되는 시스템 반응신호를 만듬으로써 온라인 고장검출을 위한 근거를 제공했다. 고장진단은 기대되는 행동으로부터 편차요인인 시스템 구성요소를 확인하는 현재의 가동추정 설정을 유지함으로써 얻어질 수 있다.[41] 존스 등은 공장고장을 진단하기 위해 질적-양적접근법을 제안했다. Jowers와 Painter는 객체 지향적 프로

Collection @ chosun

그램밍 기법을 이용한 상징적 진단방법을 개발했다.[63] AT&T의 Yue와 Lirov는 메타 진단을 위해 도구 툴 아키텍쳐를 지원하는 컴퓨터화된 전략의 선택을 위해 의미론적인 제어기 접근방법(semantic controller approach)을 제안했다.

복잡한 의사결정 환경에서는 지식기반 시스템의 네트워크를 연계하는 방안이 있다.[13][51] Ishida 등은 광범위한 시스템 진단을 위한 그래프 이론에 기반으로 위상적인 접근법을 제안했다.[52] Pazzani은 실패주도 학습(failure-driven learning)에 대한 접근 방법을 이용하였다.[43] 실패가 발생되면, 진단 시스템은 어떤 장치모델에서의 정보가 새로운 규칙 속으로 편입 되어야 하는지 알기위해서 학습 접근법을 사용한다.[14]

몇 가지 일반적인 진단 추론전략이 있다. 구조적 추론은 가장 간단한 방법이다. 결정은 단독적으로 계속하느냐 중지하느냐의 결정에 관한 정보에 기반을 두고 있어 매우 효율적일 수 있다. 질적 추론은 수적 데이터를 최초의 질적 설명으로 번역하기 위해서 domain-specific criteria를 사용한다. 심층모델 추론은 다양한 고장, 가정 하에서 진단되고 있는 장비의 모델을 작동시키기는 쓰인다. 제조시스템에 대해 공정내 기계 열화 모니터링의 영역에서 고장진단과 고장검출 분야에 대한 연구는 진행되고 있다. 그러나 설비의 운전으로 결과물과 관련하여 품질이상에 대한 예지시스템은 거의 진행되지 않았다.

이전 연구에서 언급된 고장예지 시스템은 일반 공정 상태에 대해 설비문제와 조건 문제에 대한 정보를 명확하게 전달하기 어려웠다. 그 이유는 센서의 입력값에 대해 신호를 획득함에 있어서 비활성화 저장방식을 취하여 과거에 대한 정보가 관리되지 않았기 때문에 기존 이상진단 시스템의 경우, 일반적인 이상이 이미 발생한 상태에서 단기간의 정보를 가지고 이상여부를 판단하기 때문이다.[30] 또한 모니터링 시스템을 도입한 경우에도 전문가만이 진단할 수 있어 비용 측면과 시간적인 측면 에서도 비효율적인 경향이 있다.[40][41][47]

Collection @ chosun

제 3 절 퍼지전문가 시스템

1. 퍼지이론

퍼지이론에서의 퍼지추론(fuzzy reasoning)은 몇 개의 퍼지명제로 부터 하나의 다른 근사적인 퍼지명제를 유도하는 것이다. 퍼지추론의 구조는 논리학의 modus ponens와 modus tollens를 근거로 하는데, 추론에서 직접 사용되는 구조는 modus ponens를 일반화시킨 'generalized modus ponens'이다.[4]

'generalized modus ponens'가 'modus ponens'와 다른 점은, 전제 ⅰ) 과 전제 ⅱ)의 퍼지집합(아래의 예에서 A와 A′)이 일치하지 않고 다른 퍼지집합일 수도 있다는 것이다. A와 A′가 일치하지 않을 경우 그 일치하는 정도에 따라 B로 부터 B′를 근사하게 도출할 수 있다. 이 때문에 퍼지추론 규칙을 근사추론(approximate reasoning)이라고도 부른다.

ⅰ) If X is A Then Y is B
ⅱ) X is A′

ⅲ) Y is B′

Table 2-10 How to express the kind of fuzzy inference rules

추론법	규칙 표현방법
직접법	IF x1 is Large and x2 is Small, THEN y is Small
간략 추론법	IF x1 is Large and x2 is Small, THEN y is a(constant)
선형 추론법	IF x1 is Large and x2 is Small, THEN y=a0+a1x1+a2x2
변형된 선형추론법	IF x1 is Large and x2 is Small, THEN y=a · w+b (w : 전반부의 적합도)
희귀 다항추론법	IF x1 is Large and x2 is Small, THEN y=f(x1,…,xk)
간접법	IF x1 is N and x2 is P, THEN y is N (N : negative, P : positive)

Collection @ chosun

퍼지추론의 종류는 크게 직접법(mamdani 추론법), 간략추론법, 선형(혼합)추론법, 변형된 선형추론법, 희귀다항추론법, 간접추론법(tzukamoto 추론) 등이 있다. 각 추론법의 규칙 표현방법은 Table 2-10과 같다.

이러한 분야는 빠르게 응용하여 활용되며, 활발한 연구가 진행되고 있는 퍼지이론의 응용 분야이다. 퍼지제어는 인간이 가진 지식과 경험을 포함하는 제어 알고리즘을 실현하는 지적제어방식으로 종래의 수학적인 함수에 의한 제어방식과 다르게 인간의 제어방식을 모사한 제어방식이다. 1965년 Zadeh에 의해 퍼지이론이 제안되고,[34][35][36] 1973년 Mamdani가 실험실의 스팀엔진제어에 퍼지이론을 적용하였다.[21][22] 이후 가전제품, 전동차의 자동운전, 헬리콥터의 제어 등 여러 분야에 퍼지이론이 적용되었다. 현재 여러 분야에서 퍼지제어가 활발히 이용되고 있는 이유는 전문가의 경험과 직관 등에 의해 제어규칙을 변수로 표현하여 구현함으로서, 제어대상 시스템의 수학적인 모델링을 요구하지 않기 때문이다.[6][7]

가. 퍼지추론과정 기본구조

퍼지추론은 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나, 얻어지는 정보가 부정확하고 불확실한 시스템에 적용할 수 있는 특징이 있으며, 전문가의 경험을 언어적 규칙을 이용해서 추론한다.[8][63]

인간이 가질 수 있는 애매모호한 상황을 정량화하여 나타내는 것이다. 이는 기존의 논리체계에 비해 보다 인간의 사고나 자연언어의 특성과 유사성을 많이 가지고 있으므로 실제의 불확실한 현상을 기술하는데 효과적으로 이용될 수 있다.[64]

퍼지제어기의 기본적인 구성은 Fig. 2-14와 같이 구성되며, 구성요소는 일반적인 집합에 대한 퍼지 소속도를 구하는 퍼지화(fuzzification), 규칙기반 시스템(knowledge base system)부, 규칙베이스를 이용하여 퍼지입력에 대한 출력을 추론하기 위한 퍼지추론(fuzzy inference)부, 퍼지추론부에서 추론된 퍼지 값을 실제 시스템에서 필요로 하는 제어 값으로 변환시키기 위한 비퍼지화(defuzzification)이다.

Collection @ chosun

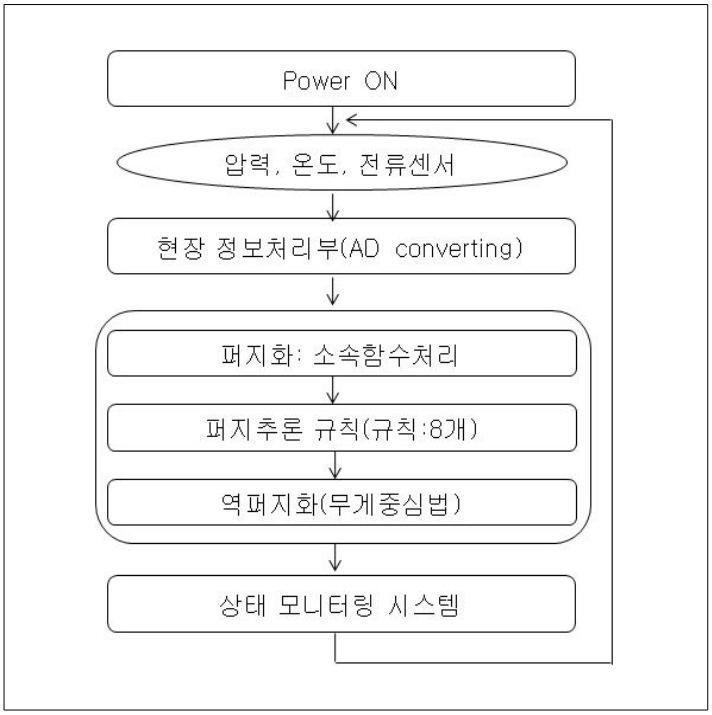


Fig. 2-14 Development process of fuzzy

나. 퍼지화(Fuzzification)

퍼지화(fuzzification)란 제어기에 사용할 명확한 값(crisp value)으로 측정된 입력값을 퍼지변수(cuzzy value) 즉, 언어적인 값(linguistic value)으로 변환하는 것이다. 언어적인 표현은 퍼지집합 이론에서 집합에 소속되는 정도를 나타내는 소속도함수(membership function)로 나타낼 수 있다.

일반적으로 사용되고 있는 퍼지화의 대표적인 방법으로는 이등변 삼각형(isosceles triangle)법이 있다. 입력되는 일반적인 값 x가 퍼지집합 A로 사상(mapping)된 다고 할 때, 집합 A의 소속도함수 μA(x)는 x에서 1의 값을 갖고 나머지 구간에서는 0의 값을 가지게 하는 방법이다. 그러나 센서로부터 전해지는 측정치는 대부분의 경우 외란을 포함하게 되므로 실제 응용분야에서 이용하기에는 어려움이 있다.

입력되는 신호의 외란이 고려되는 경우에 사용될 수 있는 이등변삼각형법은 몇 개의 샘플을 측정하여 그 평균값에 삼각형의 상꼭지점을 위치하도록 하고, 밑변의

Collection @ chosun

폭은 표준편차의 두 배가 되도록 하여 이등변삼각형 모양의 소속도함수를 가지는 퍼지 집합을 만들어 사용하는 방법이다. Fig. 2-15는 다양한 소속도함수의 형태를 도식적으로 나타낸다. 사용하는 소속도함수의 형태와 그 범위의 결정은 응용분야와 사용자의 경험 등에 따라 달라질 수 있다. 그러나 대부분의 경우 계산상의 이점을 고려하여 이등변삼각형 형태의 소속도함수를 사용한다.

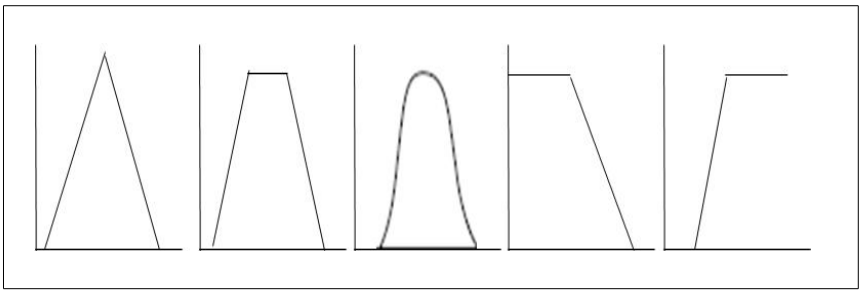


Fig. 2-15 Sharp of membership function

다. 퍼지 규칙기반(Fuzzy rule base)부

규칙 베이스는 제어기의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 부분으로서 제어 대상에 대한 지식과 제어목적이 기술되며, 전문가의 지식과 제어목적을 저장하고 퍼지추론시에 제어규칙을 제공한다. 퍼지논리 제어기에서 언어적 제어규칙과 퍼지 데이터 조작을 정의하기 위해 사용되는 필요한 정의들을 준다. 그리고 언어적 제어규칙들의 집합으로 전문가의 제어방향과 제어목표를 특정 짓는다. 제어규칙은 전문가의 지식이나 경험에 의해서 얻어지는 것으로 "If-Then" 형식으로 구성되어 있기 때문에 전문가의 경험이나 지식을 자연언어로 사용할 수 있게 한다. 이러한 제어규칙들의 형태는 언어적인 변수로 나타내어지며, 전건부(antecedent)와 후건부(consequent)를 갖는 If-Then 구조이다. 다중입력・다중출력(multi input multi output, MIMO) 시스템의 경우에 퍼지규칙의 일반적인 형식은

$$R^{'}: If\ x\ is\ A_i, \text{ and } y\ is\ B_i, Then\ z = C_i, i = 1,2,,n \tag{2-3}$$

이며, 여기서 x, y는 제어기의 입력값 이며, z는 추론에 의한 출력값 이다. 또한

Collection @ chosun

A_i, B_i, C_i는 각각 x, y, z의 언어적인 표현값 이다.

라. 퍼지추론(Fuzzy inference)부

퍼지제어기의 실행부가 되는데 퍼지관계와 퍼지논리의 추론규칙을 도입하여 퍼지제어 입력을 구해주는 기능을 한다. 추론과정을 살펴보면 i번째 제어규칙이 식(2-4)이라고 하면 n개의 전체 규칙 R은 다음과 같이 합집합으로 표현된다.

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \cdots \cup R_n = \bigcup_{i=1}^{n} R_i \tag{2-4}$$

퍼지화 과정을 거친 퍼지화된 입력값을$(A', \ldots, B')$이 라고하면, 이 입력값은 다음 식(2-5)과 같이 규칙 R과 합성된다.

$$\bigcup_{i=1}^{n} R_i \circ (A', \ldots, B') = [A' \circ (A_i \rightarrow C_i)] \cap \cdots \cap [B' \circ (B_i \rightarrow C_i)] \tag{2-5}$$

여기서 $\circ$은 합성연산(compositional operation)을 나타낸다. 합성방법은 Mamdani의 최대최소방법(max-min method), Kaufmann의 최대곱방법(max-product), Larsen의 최대내적방법 등이 있으나 가장 널리 사용되고 있는 방법은 최대최소방법과 최대내적방법이다.

위 식(2-5)은 퍼지화된 입력값 $A', \ldots, B'$가 규칙의 결과인 C′에 미치는 영향을 표시하고 있다. 이와 같이 퍼지화된 입력값이 C′에 미치는 영향을 적합도(degree of rule)라고 한다. 적합도 w_i는 다음식 (2-6)과 같이 퍼지화된 입력값$A', \ldots, B'$의 소속정도(degree of membership)로 구할 수 있다.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \cap \cdots \cap \mu_{B_i}(x) \tag{2-6}$$

여기서 $\mu_{A_i}(x)$와 $\mu_{B_i}(x)$는 각각 A′, B′의 소속도함수값이다. 구해진 적합도는 다음 식(2-7)과 같이 곱연산에 의해서 결과 C′를 추론하게 된다.

Collection @ chosun

$$C_i = w_i \cap C_i \tag{2-7}$$

Fig. 2-16은 이러한 추론 과정을 도시한 것으로 2개의 입력과 1개의 출력을 갖는 퍼지추론 과정을 나타내었다.

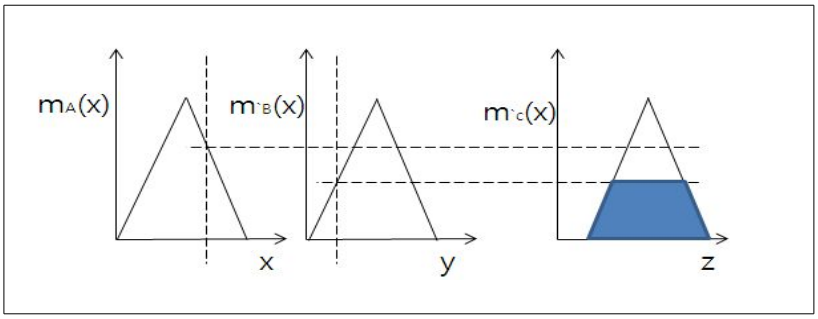


Fig. 2-16 Min-Max method

마. 비퍼지화(Defuzzification)

퍼지추론으로부터 출력된 결과값은 퍼지화된 값이므로 시스템에 직접 입력할 수 없다.[48][50] 이 결과값을 플랜트에 적용 가능한 명확한 값(crisp value) C_0로 변환하는 과정을 비퍼지화 과정이라 한다. 비퍼지화를 수행하는 방법에는 추론된 퍼지집합에서 소속도함수값이 가장 큰 부분에 해당하는 값을 제어값으로 사용하는 최대값방법(max criterion method), 소속도함수가 최대값을 가지는 곳의 값들의 평균을 사용하는 최대평균법(mean of maximum method), 그리고 무게중심을 구하여 그에 해당하는 값을 제어입력으로 하는 무게중심법(center of gravity) 등이 있다. 이들 중에서 무게중심법은 다른 방법들에 비해 우수한 성능을 가지고 있다고 알려져 있다. 무게중심법을 식 (2-8)으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu(C') \circ C'}{\mu(C')} \tag{2-8}$$

Collection @ chosun

바. 퍼지소속도함수

소속도함수는 퍼지집합의 중요한 구성요소이다. 이러한 결과로 다양한 형태의 소속도함수들이 제시되었다. 이들을 크게 두 가지로 구분하면, 비매개변수 소속도함수(NPMF)와 매개변수 소속도함수(PMF)로 분류할 수 있다. 일반적으로 NPMF는 정교한 소속도함수들을 표현할 때 사용되고, PMF는 표준 매개변수 소속도함수(SPMF)들을 표현할 때 많이 사용된다.

퍼지집합이 개인의 주관성(subjectivity)을 표현하는데 사용되기 때문에 언어값(linguistic value)을 표현하는데 있어서 개인 간의 차이가 명확히 존재하지만, 개인 간의 비교를 위해서는 표준화의 필요성이 있다. 이러한 관점에서 퍼지집합을 다룰 때 조정 가능한 매개변수들을 갖는 표준매개변수 소속도함수를 사용한다. 삼각형 타입, 사다리꼴타입, S타입 등의 소속도함수가 이러한 조정 가능한 매개변수들을 갖는 표준매개변수 소속도함수의 전형적인 형태이다. 본 연구에서 설계한 FE_AFCDM의 추론은 삼각형 타입의 소속도함수로 다루었다.

삼각형 소속도함수에서 “A”를 퍼지집합이라 하고, 전체집합 “X”의 부분집합이라고 정의한다. 그러면 $x \in X$에 대해 삼각형 타입 소속도함수는 다음과 같다.

$$\mu_A(x, x_M, x_L, x_H) = 1 - \left[\left| \frac{x - x_M}{x_H - x_L} \right| \times 2 \right] \tag{2-9}$$

여기서 $x_L \le x \le x_H$이고, $|x_M - x_L| = |x_H - x_M|$이다. 만약 식(2-9)과 같은 소속도함수의 결과가 [0, 1]로 정규화 되어 있다면, $x \in (-\infty, x_L) \cup (x_H, \infty)$에서 $\mu_A(x, x_M, x_L, x_H) = 0$이다.

식(2-9)에서 x_M은 x_L과 x_H의 중앙점(midpoint)이고, 퍼지집합이 절대적으로 포함되는 퍼지집합 A의 이상적인 대표 값이다. 따라서 삼각형 타입의 소속도함수는 확실성이 한 점일 때 사용된다. 또한 [x_L, x_H]이 퍼지집합 A의 가능구간(support)이라 하면, x_M과 [x_L, x_H]는 개인이나 문화차이 등에 따라 결정된다. 식(2-9)는 x_M에 대해 대칭성을 가지며, 소속도함수 결과가 정규화 되어 있다면, Fig. 2-17과 같은 형태가 된다.

Collection @ chosun

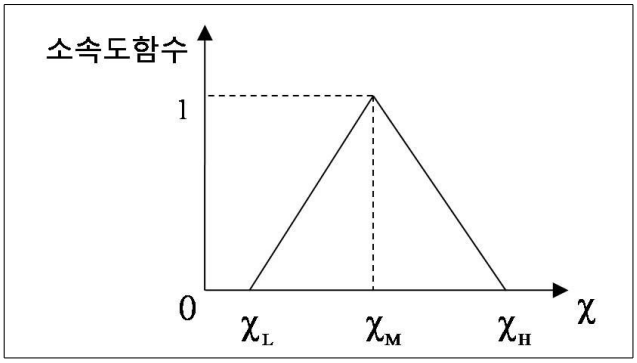


Fig. 2-17 Triangle-type membership function[73]

사. 퍼지 규칙의 일관성

규칙기반 시스템의 규칙들 사이에 생길 수 있는 문제점은 중복, 모순, 자기 참조 등이 있을 수 있다. 이러한 문제는 기존의 이진 논리에 근거를 둔 규칙 기반 시스템에서도 고려되어야 할 중요한 문제인데, 문법에 관계된 것이라기보다는 의미에 관계가 밀접하므로 그 해결이 간단하지 않다. 더욱이 퍼지 전문가 시스템의 경우는 명제들이 경계가 불분명한 개념을 포함하고 있기 때문에 한층 더 복잡하다고 할 수 있겠다.

If height is high Then H.

If height is not high Then H.

위의 두 규칙은 결과에서 보면 중복되었다고, 단언하기는 힘들다. 이것은 'high'와 'not high'의 의미를 어떻게 정의하는 가에 중복의 여부가 달려 있기 때문이다. 그러므로 'high'와 'not high'의 의미가 어떤 관계를 갖는가에 대한 정량적 측정이 가능해야 할 것이다. 만일 유사한 값의 척도로 사용한다면, 일관성 판단에 대상 규칙 선정 순서에 따라 그 값이 달라지므로 새로운 값의 척도가 제안되거나, 더 많은 일관성 판단에 관심이 높아질 것이다.

2. 전문가 시스템

전문가시스템은 어려운 문제에 대하여 일반인이 아닌 전문가의 목표, 발견적 접근 및 전략 등에 의한 문제들을 프로그램화하여 두었다가 생성법칙 등의 추론기법을 적용

Collection @ chosun

하여 특정 문제를 해결하는 시스템이다.[66] 즉, 컴퓨터의 프로그램이 지능적으로 일을 처리하기 위해서는 문제 분야에 대한 최고이면서 최신의 특정한 지식을 다량으로 등록하는 인식의 결과로 나타난 특수 목적의 시스템이다. 이러한 전문가시스템은 컴퓨터의 출현이후 지속적으로 연구되어 인공지능(artificial intelligence)의 발달과정에서 생겨났다. Table 2-11은 기존의 자료처리 프로그램 방식과 전문가 시스템의 내용을 정리하여 나타 내었다.

Table 2-11 Compare of expert system and data flow program

자료처리 프로그램	전문가 시스템
자료의 표현과 이용	지식의 표현과 이용
알고리즘에 의한 문제해결	휴리스틱(heuristic)에 의한 문제해결방법
반복적 처리	추론적 처리
다량의 자료를 효율적으로 처리	다량의 지식베이스를 효율적으로 처리
숫자처리(numeric processing)	심볼처리(symbol processing)
데이터 + 알고리즘에 의한 절차처리	지식베이스 + 추론엔진에 의한 지식중심
전통적 프로그래밍 기법	진보된 개념의 한 프로그래밍 기법
절차적 언어 사용	객체지향 프로그래밍 언어 사용
프로그래머에 의해 유지관리	지식 공학자에 의해 유지관리

인공지능은 기계를 인간과 같이 지능을 필요로 하는 일 즉, 언어를 이해하고, 학습을 하며, 문제를 해결하기 위해 추론하는 등의 지능적인 일을 수행 할 수 있도록 하는 연구하는 것이다. 인공지능 연구는 이미 1950년대부터 기본적인 연구와 응용이 진행되었다. 인공지능 분야는 보는 시각에 따라 다르지만, 크게 기초분야와 응용분야로 구분한다. 기초분야는 탐색(search), 지식표현(knowledge representation), 추론과 논리(reasoning and logic), 학습(learning), 인공지능 언어들과 도구 등으로 세분될 수 있으며, 응용분야는 그 범위가 넓지만 크게 구분해서 자연어 처리, 전문가 시스템, 자동 프로그램, 인간과 기계의 인터페이스를 위한 컴퓨터 시각 및 음성 인식 등으로 분류한다. 초기 인공 지능 분야에서는 모든 종류의 문제에 대해 범용 문제 해결책을 제시하려는 노력을 하여왔다. 그러나 이러한 연구는 만족할 만큼의 성과를 낼 수 없었고, 그 이후부터는 특정 영역에

Collection @ chosun

많은 양의 고급 지식을 축적해서 전체적인 복잡성을 줄이고, 문제 해결의 능력을 향상시켰다. 최근에 와서는 전문가 시스템의 성공적인 결과로 상품화의 가능성이 더욱 높아졌으며, 그 응용 분야가 확대되고 있다.

가. 전문가 시스템 개요

전문가시스템을 만들기 위해 지식공학자(knowledge engineer)는 전문가에게 전문지식을 수집, 정리하여 지식베이스에 저장하여야 하고 지식을 수집하기 위해서는 인터뷰(interview), 설문조사(questionnaire), 현지관찰(on-site observation) 등의 방법을 이용하여야 한다.[10] 지식수집 과정은 많은 시간이 소요되며, 효율적으로 지식을 수립하기 위해서 지식공학자는 전문가와 대화가 가능하도록 전문분야에 대한 기본적인 지식을 가지고 있어야 하며, 습득된 전문지식을 지식베이스로 옮길 수 있는 능력도 겸비 하여야 한다.[12][17][18]

전문가시스템은 지식을 기반으로 한다는 점에서 지식베이스 시스템과 유사한 점이 많지만 자세히 살펴보면, 약간의 차이점을 알 수 있다. 전문가시스템은 전문적인 일에 대하여 조언을 하고 특정영역 안에서 매우 복잡한 문제를 해결하는 것으로서 전문인과 동등하게 또는 그 이상의 능력을 해결하는 고차원의 시스템인 반면, 그 정도까지의 전문지식이 없는 경우에는 일반적으로 지식베이스 시스템이라고 한다. 예“ 를 들면, 원자로 고장진단 시스템이나 의료진단 시스템은 전문가시스템에 속하고, 문자인식 시스템이나 음성인식 시스템 등은 지식베이스 시스템이라고 말할 수 있다. 이들 간의 관계는 모든 지식베이스 시스템이 전문가시스템이 될 수 없지만, 모든 전문가시스템은 지식베이스 시스템이 된다.

데이터베이스와 지식베이스의 차이는 데이터베이스는 정보나 자료를 저장하도록 만들어진 것으로 이를 이용하면, 명백한 사실에 대하여 답할 수 있으나, 데이터베이스는 현실의 복잡한 상황을 묘사하기에 부족하고, 특히 원인과 결과로 이어지는 인과관계나 불확실한 상황에 관한 정보를 수록할 수 없으며, 저장된 자료에서 지식을 도출해 낼 수도 없다. 한편 지식베이스는 데이터베이스처럼 명백한 사실을 저장함은 물론, 원인과 결과의 인과관계에 관한 지식, 부정확하거나 확률적인 정보도 저장할 수 있다.[29]

Collection @ chosun

나. 전문가 시스템 기능 및 구조

전문가시스템은 해석(interpretation), 예측(prediction), 진단(diagnosis), 설계(design), 계획(planning), 검사(monitoring), 교정(debugging), 수리(repair), 교육(instruction), 제어(control) 등의 문제들을 Table 2-12 에서와 같이 해결할 수 있는 기능들이 있다. 뿐만 아니라 지식베이스는 영구적인 보관이 가능하고 문서화하는 것이 용이하며, 전문가보다 일관성 있는 결과를 제공하고, 저렴한 비용으로 시간제약 없이 사용할 수 있다는 장점이 있다.

Table 2-12 Function of expert system

기능	설명
제어	주어진 시스템의 행동을 통제하는 역할, 미래예측 or 판단
설계	주어진 제약 조건내에서 가능한 설계를 구상
진단	관찰 가능한 정보로 부터 시스템의 고장을 추론
교육	주어진 주제에 관해 학생들을 교육시킨 진단, 디버깅을 통한 교육
해석	센서, 도구, 테스크 결과 등으로 부터 어떤 상황을 도출
모니터링	기대되는 결과와 관찰 결과를 비교하는 시스템
계획	문제의 제약 조건내에서 주어진 목표를 달성하기 위한 계획 구상
예측	주어진 상황으로부터 발생가능 결과를 추론해내는 시스템
서술	주어진 시스템의 결함에 대한 해결책을 설명하는 시스템
선택	가능한 여러 리스트로 부터 가장 좋은 것을 인식하여 선택
시뮬레이션	여러 조건에서 동작가능 문제를 다루기 위해 시스템을 모델화

Collection @ chosun

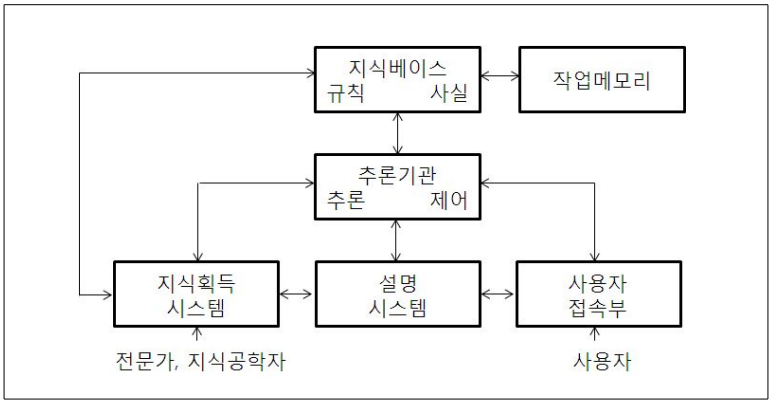


Fig. 2-18 Expert system construction

Fig. 2-18은 전문가시스템의 구성을 보여주고 있다. 일반적인 전문가시스템은 전문가적인 지식을 저장해 둔 지식베이스(knowledge base)와 이를 기반으로 추론할 수 있는 추론엔진(inference engine), 두 가지를 합쳐서 말한다. 하지만 이것만으로는 사용자가 사용하기에 부족한 면이 있기 때문에 설명시스템과 사용자 인터페이스를 포함하는 것이 최근의 추세이다.

(1) 지식획득 서브시스템

문제 영역 전문가, 전문 도서, 데이터베이스, 특정 연구 보고서, 그림 등으로부터 지식을 획득하여 지식 베이스를 구축하거나 확장할 목적으로 컴퓨터 프로그램에 전문 지식을 전달하거나 변형시키는 역할을 한다. 문제 영역 전문가로부터 지식을 얻는 것은 전문가 시스템을 구성할 때 매우 어려움을 주는 복잡한 작업으로 많은 개발 비용이 요구된다.[59] 이러한 지식 획득의 문제를 해결하기 위해 최근에는 지식베이스를 구성함에 있어서 컴퓨터와 인공지능에 관한 지식을 갖으며, 전문가 시스템을 설계할 수 있는 문제 영역 전문가, 혹은 여러 문제 영역 전문가와 상호작용을 통해 지식을 전문가 시스템에 전달하는 역할을 하는 지식 공학자를 요구하고 있다. 지식베이스 편집기는 지식 공학자에게 문제 영역 전문가의 지식을 해석하고, 통합해서 주어진 문제 영역을 구성하는데 도움을 준다.

(2) 지식베이스

지식베이스는 주어진 문제를 이해하고, 형식화하고, 해결하는데 필요한 지식을 말한

Collection @ chosun

다. 전문가 시스템에서 지식베이스는 데이터가 되는 사실과 이 사실을 근거로 의사결정을 하는 규칙으로 구성된다. 사실이란 주로 데이터나 사물에 대한 묘사를 의미하고, 규칙은 어떤 결정을 위해 사실을 이용하는 법칙을 의미한다. 지식베이스에 있는 정보는 지식표현이라는 형태로 나타내며, If-Then 형태의 규칙으로 되어있어 컴퓨터 프로그램과 상호작용한다.

(3) 추론기관

전문가시스템의 핵심이며, 일반적인 문제 해법에 관한 지식을 저장하여 처리하는 것을 말한다. 전문가 시스템을 위한 제어 논리는 추론 기관구성요소에 기초로서 추론기관은 지식베이스에 대해 추론하고 결론을 형식화하는 방법론을 제공한다. 추론기관에는 어떻게 규칙들을 적용할 것인가를 결정하는 해석기와 선택된 규칙들을 어떤 순서로 결정할 것인가를 결정하는 스케쥴러로 구성한다.

(4) 사용자 인터페이스

사용자에게 시스템 이외의 부가적인 부담을 줄이고 빠른 시간 내에 만족하는 결과를 얻도록 하기 위한 언어 처리기이다. 사용자 인터페이스는 추론의 각 단계에서 현재 수행하는 단계가 무엇인지를 사용자가 이해하기 쉬운 형태로 제시하며, 방대하고 복잡한 지식을 다루는 전문가시스템의 사용자를 위해서는 시스템 조작과 대화 단계를 줄여 효율성을 증진시키도록 설계하여야 한다. 인터페이스기능으로는 메뉴생성기, 자연어 처리 모듈, 그래픽 표시 모듈 등이 있다.

(5) 설명기능

설명기능은 문제영역 전문가가 자신들의 결정이나 권고를 설명하듯이 전문가 시스템이 그들의 동작을 설명하는 부분을 말하며, 전문가 시스템의 신뢰성에 큰 영향을 미친다. 초기의 많은 전문가 시스템의 실패 요인에서 하나는 설명 기능을 지원할 수 있도록 하는 지식을 적절히 표현하지 못한 것이다. 설명 기능을 향상시키기 위한 방안으로는 시스템이 도출한 결론을 다중의 관점, 혹은 매체를 통해 설명 가능하도록 다양한 지식을 사용하는 방식이 요구된다.

Collection @ chosun

다. 전문가 시스템 개발과정

전문가시스템의 개발과정은 Fig. 2-19와 같이 문제정의(identification), 개념화(conceptualization), 정형화(formalization), 구현(implementation), 검증(testing)의 5단계로 이루어진다. 이러한 과정을 처음부터 완전한 시스템으로 만드는 것은 거의 불가능하므로 초기에 기본적인 기능을 수행하는 시스템을 만들고, 점차적으로 시스템의 구성과 지식표현을 조직적으로 향상시켜 가면서 점진적으로 개선해 나가는 방법이 효과적이다. 이러한 개발과정의 단계들은 독립적으로 수행되지만, 대부분 다른 단계와 중복되어 진행되기도 한다.

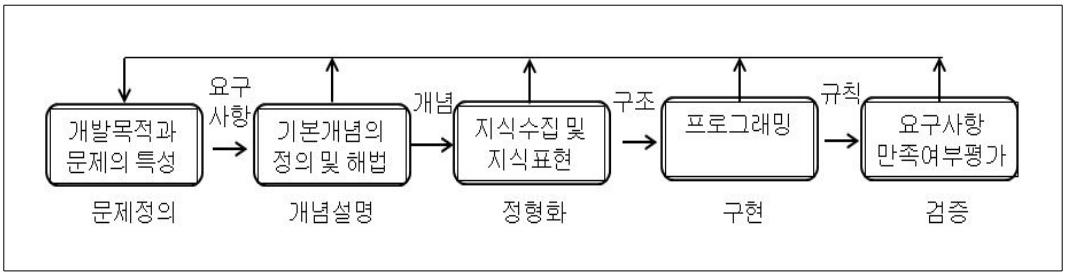


Fig. 2-19 Development process of expert system

본 연구에서 FE_AFCDM 설계가 가능할 수 있는 것은 Fig. 2-19의 개발과정에서 정형화 과정이 많은 영향과 비중을 차지하게 되었다.[49] 퍼지이론과 If-Then의 전문가시스템이론으로 센서정보를 퍼지화 과정과 규칙에 의한 추론을 이용하여 비퍼지화 후에 결과값을 만들어냄으로서 불확실하고, 애매모호한 환경을 표현할 수 있어 적용대상이 무수히 많은 분야에서 응용할 수 있다.[39][43][45][46]

(1) 문제정의

문제정의 단계에서 지식공학자와 전문가는 문제의 중요한 특성을 결정한다. 이것은 문제 자체에 있는 형식과 범위를 확인하고, 개발과정에서의 참가자와 필요한 자원인 시간과 계산 설비, 전문가시스템의 목표와 목적을 포함한다. 문제와 개발자에게 부여된 범위를 확인하는 것이 가장 어렵고, 때로는 가장 우선적으로 고려해야 할 문제는 너무 광범위하거나 복잡한 문제에 직면하게 되는데 관리할 수 있는 크기를 조절해야 한다.

Collection @ chosun

단지 관심 있는 부프로그램에 초점을 맞추어서 복잡성을 신속하게 작게 나눌 수 있어야 한다.

(2) 개념화

개념을 정립하는 동안 지식공학자와 전문가는 영역 지식을 기술하는데 필요한 개념, 관계와 제어 메커니즘을 결정하게 된다. 문제해결활동과 관계된 부문제(subtask), 전략, 제약조건도 개발한다. 이 단계에서 세분화에 관한 문제점이 언급된다. 이 내용에는 지식이 표현하여야 할 상세 단계를 고려하는 것을 의미하며, 지식공학자는 주개념 사이에 적절한 구별을 제공해 주는 상세한 구조에 관한 가장 추상적인 단계를 선택하는 것이 일반적이다.

(3) 정형화

전문가 시스템 구현 언어에 의해서 제시되는 구조로 보통 어떤 형식적인 방법으로 주개념과 관계를 표현하는 것이다. 지식공학자는 정형화 시작 시간에 따라 문제를 위한 적절한 도구에 관한 개념을 정립한다. 문제가 규칙베이스방법을 채택한 경우, 지식공학자는 시스템 구현 언어를 선택하고 If-Then 규칙의 형식으로 전문 기술을 수집한다. 만약에 프레임베이스 방법이 보다 적절하다면, 지식공학자는 구현언어에 맞는 것을 선택하고 대규모 네트워크로서 영역 지식을 표현하는 전문가와 같이 움직인다. 이 과정에서는 대상 분야에 정통한 전문가의 도움이 절대적으로 필요하므로 전문가 시스템 개발자가 공동으로 참여하는 기구를 구성하여 작업하는 것이 바람직하다.

(4) 구현

이번 단계를 수행하는 동안 지식공학자는 정형화된 지식을 실용적인 컴퓨터 프로그램으로 변환한다. 프로그램 구성을 위해서는 내용(content), 형식(form), 통합(integration) 등이 필요하다. 내용은 정형화 동안에 정확하게 정의된 문제 해결에 필요한 데이터의 구조, 추론 규칙, 제어전략 등을 바탕으로 한다. 형식은 시스템 개발에 선택된 언어에 의해서 기술한다. 통합은 데이터의 구조와 규칙 또는 제어 설계 사이에서 전반적으로 불필요한 것을 제거할 수 있는 여러 유형의 지식을 결합하고, 재구성하는 것이다. 구현은 빠르게 진행되는 것이 일반적이다. 그 이유는 개발 초기 단계에서 설계의 효율성을 검토할 수 있기 때문이다. 초기 코드는 개선되거나 제거될 수 있는

Collection @ chosun

가능성이 높다.

(5) 검증

개발된 시스템이 처음 정의한 요구사항대로 만들어졌는지를 평가하는 단계로 실제 대상 분야의 전문가도 참여하여 시제품을 평가한 후, 개발자에게 개선방향을 제시해 주는 것이 필요하다. 시스템의 수행을 평가하는 것은 다양한 질문에 대답하는 것을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 전문가 시스템은 영역 테스트를 하기 전에 실험적인 환경에서 테스트되고 정제되지만, 실제 문제를 테스트할 때 새로운 복잡한 문제가 발생한다. 사용자는 고도의 수행 과정 이상의 것을 요구 하는데, 사용자는 시스템이 신속하고, 신뢰성이 있고, 사용하기 용이하고, 이해하기 쉽고, 잘못되었을 때 편리하게 안내할 수 있는 것이 이루어져야 하기 때문에 폭넓게 테스트가 이루어져야 한다.

라. 전문가 시스템 응용

전문가시스템의 응용범위는 앞에서도 제시하였듯이 매우 광범위하다. Table 2-13에서와 같이 각 기능별로 응용방안에 대해서 설명하였다.

Table 2-13 Application of expert system

기능	응용
제어(control)	지능형 자동화
오류수정(debugging)	오류에 대한 정정 제시
설계(design)	명세서에 의한 생산품 개발
진단(diagnosis)	결함 추정
교수(instruction)	컴퓨터 안내를 최대한 활용
해설(interpretation)	상황을 명백히 전개
계획(planning)	목적지향계획 개발
예측(prediction)	결과의 지적 추측
수선(repair)	자동화된 진단, 오류 수정, 계획 및 수리

Collection @ chosun

(1) 제어

컴퓨터의 매우 보편화된 응용분야로서, 시스템의 하나의 부분, 여러 부분들 또는 시스템 전체의 운용을 관리하기 위하여 컴퓨터를 사용한다. 예“ 를 들어 자동차의 부품을 생산하는 시스템, 또는 도구와 금형, 분배시스템은 컴퓨터에 의해서 제어될 수 있다. 이러한 분야의 많은 응용 대상은 센서에 의해서 모여진 데이터를 사용한다. 이러한 종류의 데이터는 온도, 압력, 길이, 전류, 속도 및 시스템의 성능에 영향을 주는 요인들이 있다. 알고리즘적인 컴퓨터 프로그램이 이와 같은 응용분야에 사용될 수 있다. 만약 적절한 알고리즘이 존재하지 않는다면, 전문가 시스템이 나중에는 좋은 선택이 될 수 있을 것이다. 전문가 시스템은 시스템 성능에 관한 결정이 피드백 데이터(feedback data))에 기초하여 만들어질 필요가 있을 때에도 역시 유용하다.

(2) 오류수정

시스템은 기대되어진 또는, 정해진 수준보다 못하게 운용되고 있다는 것이 발견된다. 전문가 시스템은 문제의 근원이 어디에 있는지를 알아낸 다음, 그것을 수정하기 위한 해답이 무엇인지를 결정하기 위하여 사용될 수 있다.

(3) 설계

어떤 특별한 생산품에 관련한 사양에 관한 정보를 수집하기 위하여 전문가 시스템을 사용하는 것을 포함한다. 그 다음에 이 시스템은 설계 도구로서 또는, 다른 설계 도구를 지원하기 위하여 사용될 수 있다. 전문가 시스템은 전자공학, 컴퓨터 장비, 그리고 전체 컴퓨터 시스템의 설계를 위하여 여러 회사에서 사용되어 왔다. 또한 기계와 자동차 제조업에서 CAD/CAM을 보조하기 위해서도 사용되어 왔다.

(4) 진단

보다 많은 성공적인 전문가 시스템이 다른 어떤 응용분야보다도 진단 분야를 위해 제작되었다고 할 수 있다. 이 종류는 전문가시스템은 시스템 문제점의 원인이 어디에 있는지를 찾아내기 위해 사용한다. 진단 전문가 시스템은 오류 교정의 문제는 다루지 않는다는 점에서 오류를 찾아내어 수정하는 전문가 시스템과 다르다. 이들 전문가시스템들은 제조업 응용과 시스템의 오류 발견 분야에서 널리 사용되어 왔다. 의약업계의

Collection @ chosun

전문 종사자들은 진단 과정을 돕고 증명하기 위해 전문가시스템을 사용하기 시작하였다.

(5) 교수

컴퓨터는 설명, 안내의 응용분야에서 상당한 기간 동안 사용되어 왔다. 어떤 체계를 따라 주어진 개념이나 기술을 배우는 방안을 시도하였다. 컴퓨터지원교수(CAI: computer assisted instruction)와 다른 이름으로 알려진 기법들과 관련된 주요 문제는 교육에 있어 융통성이 부족하기도 하다. 컴퓨터에 포함된 전략들은 학생들의 학습 상태에 최적이 아닐 수도 있기 때문이다. 전문가 시스템은 학생 자신이 학습 상황에 가져온 배경 지식의 성격을 결정함으로서 최적화 문제를 해결할 수 있었다. 그 다음으로 가능한 전략을 처방할 수 있고, 학생으로부터의 피드백 정보를 이용하여, 자료를 변경하여 제공할 수 있다. 이와 같은 관점에서 전문가 시스템은 수정 작업을 한다는 것과 진단 부분이 훨씬 더 복잡할 수 있다는 점을 제외하고는 오류 수정 전문가 시스템과 유사하다고 볼 수 있다.

(6) 해설

여러 가지 형태의 입력 데이터를 수집하고 그 데이터에 기초하여 어떤 의미나 상황을 추론하는 것을 포함한다. 이 시스템은 사용자가 무엇이 기록되었는지를 이해하고 명백히 하는 것을 돕기 위하여 고안되었다. 다른 종류의 전문가 시스템은 군사 지능정보를 분석하기 위하여 제작되었다. 그리고 또 다른 시스템들은 영상이나 신호를 분석하기 위하여 사용되어 왔다.

(7) 계획

여러 가지 계획기법을 포함하는 응용은 어떤 원하는 목적을 달성하기 위한 방법이나 전략을 계획하는 것이다. 계획은 복잡한 문제 상황의 해답을 위해서 필요하다. 적절한 지식과 입력을 이용하여 전문가 시스템은 계획 단계를 아주 잘 수행할 수 있다. 계획 응용의 예“로는 군사전략, 프로젝트관리, 일정작성 및 문제 해결 전략 등이 있다.

(8) 예측

가능한 결과를 추론하기 위하여 입력을 사용한다. 예측 전문가 시스템은 모든 가능

Collection @ chosun

한 결과를 관찰한 다음 그 입력에 가장 잘 맞는 결과를 선택한다. 입력이 변하기 때문에 사용자는 어떤 변화가 결과에 나타날 것인지를 결정할 수 있다. 다른 많은 시스템 중에서 일기예보를 예측응용의 대표적이라 할 수 있다.

(9) 수선

오류 수정 응용이 확장된 분야의 하나이다. 수선 전문가 시스템은 오류 수정 전문가 시스템에 의해서 산출된 처방 해답을 받아서 그것을 실행한다. 물론, 수선 시스템은 수선을 실행하기 위해 필요한 도구를 사용할 능력이 있어야 한다. 수선 시스템이 진단 오류 수정 그리고 계획 능력을 갖고 있어야 한다는 것은 쉽게 알 수 있다. 이 분야는 실제로 고장을 고칠 수 있거나 고칠 수 없다면, 수선이 외적인 수단에 의해서 만들어질 때까지 계속해서 작동하는 고장 허용시스템을 들 수 있다.

Collection @ chosun

제 3 장 FE_AFCDM 설계 및 구현

제 1 절 FE_AFCDM 구현대상

1. 왕복동형 공기압축기 압축선도와 압축일

행정체적은 피스톤이 흡입과정에서 움직이는 실린더 체적과 같으며, 여유체적은 기계적인 특징 때문에 피스톤의 전환점에 남게 되는 면적과 밸브의 설치 및 구동을 위하여 설정된 면적으로 정의되고 있다. 행정체적과 흡입체적의 차이는 흡입과정이 개시 되기 전, 여유 체적 내에 남아있게 되는 공기의 팽창에 기인하고 있다.[55]

이론적인 P-V선도와 실제 선도와의 차이는 왕복동형 공기압축기와 같은 압축기의 실체적인 설계에 의존하고 있다. 밸브는 완전하게 밀봉 될 수 없으며. 피스톤과 실린더 벽 사이에 어느 정도의 누설이 존재하게 된다, 또한 밸브는 지연이 없이 개폐될 수 없고, 가스가 채널을 통하여 유동할 때 압력 강하를 초래하게 된다. 설계상의 이유로 인하여 가스가 실린더내로 유동할 때 가스는 가열되게 된다. Fig. 3-1은 이론적인 압축기선도를 나타내며, Fig. 3-2는 왕복동형 공기압축기에 대한 실제 압축기 선도를 나타내고 있다.

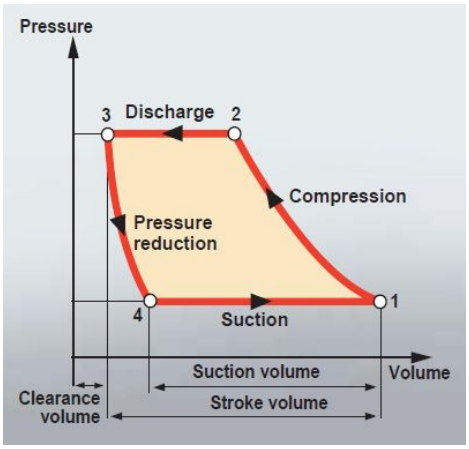


Fig. 3-1 A theoretical P-V diagram

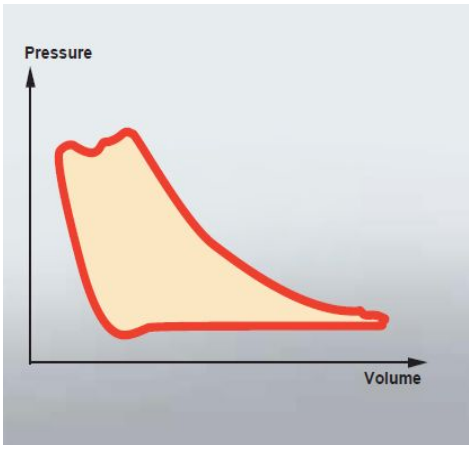


Fig. 3-2. Illustrates a realistic P-V diagram

Collection @ chosun

Fig. 3-1에서 보듯이 왕복동형 공기압축기 작동은 공기의 흡입, 압축, 토출, 팽창과정의 연속적 과정으로 이루어진다. 피스톤이 하사점으로 이동하는 흡입행정은 압력이 일정하며, 공기가 유입되어 체적이 늘어나는 그림의 '4' 에서 '1' 과정이다. 피스톤이 '1'의 위치로 이동하면, 흡입밸브는 닫히고, 실린더내에 갇힌 공기는 '1' 에서 '2' 를 따라 가압되며, 체적이 줄어들면서 압축과정을 거친다. 실린더내의 공기압력이 최고점에 이르면 '2' 의 위치에서 토출밸브가 열리고, 압축공기는 유지하면서 공기탱크로 보내진다.

압축과정에서 등온압축은 압축될 가스를 냉각하여 압축 전.후의 가스온도가 일정하게 유지되도록 하는 압축을 말하며, 식(3-1) 에서 압축에 소요되는 일량(작업량)이 아주 적어도 되는 이상적인 형태이다. 식(3-2) 는 등엔트로피 압축으로 외부와 열 교환이 없는 완전 단열된 실린더 내에서의 기체를 압축하는 과정과 노즐을 통해 급격히 팽창할 때 발생될 수 있다. 각각의 관계식을 보면

$$W = p_1 \times V_1 \times \log(p_2/p_1) \tag{3-1}$$

$$W = \frac{k}{k-1} \times (p_2 V_2 - p_1 V_1) \tag{3-2}$$

W=압축일(J)

p_1=초기압력(Pa)

V_1=초기체적(m^3)

p_2=최종압력(Pa)

V_2=최종체적(m^3)

k=등엔트로피 지수(대부분 1.3~1.4)

이러한 관계식으로 등온 압축과정 보다는 등엔트로피 과정에서 더 많은 일이 요구되어짐을 알 수 있고, 등온압축과정은 현실적으로 이론적일 수밖에 없다.[55]

2. FE_AFCDM 구성

본 연구에서 적용하고자 하는 FE_AFCDM은 왕복동형 공기압축기를 대상으로 설계하였다. 최근에 전기, 전자제어 기술의 발전으로 스크류형 이나 터보형 공기압축기가 출시되고, 사용하는 곳이 점점 늘어가고 있으나, 현실적으로 중소기업형 소규모 연구기

Collection @ chosun

관 및 교육기관 등에서는 왕복동형 공기압축기 사용이 매우 높은 편이다. 따라서 본 연구모델을 적용하여 기존의 사용방식보다 편이성과 경제적인 측면에서 왕복동형의 공기압축기를 사용 하기 위한 목적이 있다.[33]

Fig. 3-3은 제 3장에서 제시하고자 하는 전체적인 구성도(flow sheet)이다. 세 종류의 온도, 압력, 전류 센서 중에서 첫 번째의, 온도센서는 흡입부에 한 개와 모터베이스에 한 개, 그리고 실린더 헤드에 각각 두 개의 센서를 부착하였으며, 본 연구에서는 모터베이스에 장착된 센서를 기준으로 소속도함수를 설계하였다. 두 번째의, 압력센서는 흡입부의 필터를 거쳐 실린더에 들어가기 전에 압력을 측정하고자 하였다. 흡입필터가 먼지나 이물질이 많이 모여있을 경우 필터와 실린더 사이에 압력이 증가할 것으로 보고, 이 부분의 위치에 압력을 측정하여 소속도함수를 설계하였다. 세 번째는. 전류센서로서 교류 380V 삼상전원의 R, S, T 중에서 R과 T상에 흐르는 전류를 측정하고자 두 개의 센서를 설치하여 전류값을 평균값으로 소속도함수를 설계하였다.[58]

본 연구에서 이상진단의 중요인자로 흡입부의 필터이상을 찾아내어 경제적이고, 효율적인인 공기압축기 가동을 위해서 모델을 설계하였으며, 센서의 선정과 부착부위를 보면, 주로 흡입부에 장착된 것을 알 수 있다.[53][54]

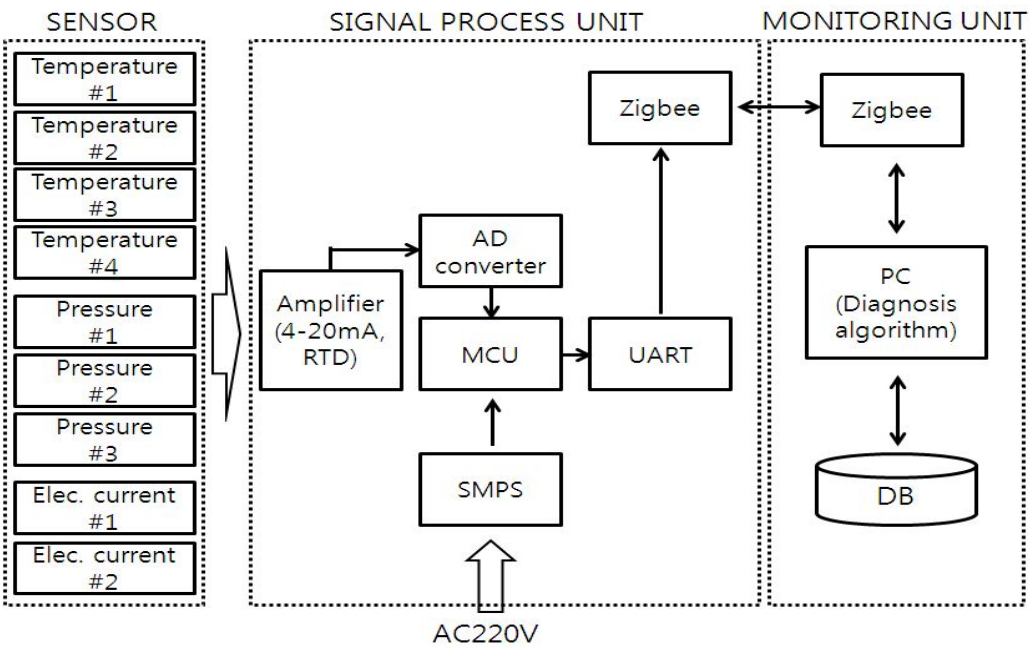


Fig. 3-3 Schematics of FE_AFCDM

Collection @ chosun

Fig. 3-3에서 센서부에 있는 Temperature #1은 흡입부의 주변온도를 측정하였고, Temperature #2, #3은 왕복동형 실린더 헤드의 온도를 측정하였다. Temperature #4는 압축모터의 표면온도를 측정하고자 한다. Pressure #1, #2 센서는 흡입부의 필터와 실린더사이의 압력을 측정하는 것이며, pressure #3은 실린더의 압축공정을 통하여 탱크에 저장되는 압력을 측정하는 것이다. Elec. current #1은 3상 전원중에서 R상의 전류값 을 측정하고, Elec. current #2는 AC 380V 3상 전원 중에서 T상에 전류값을 측정하고자 한다.

Fig. 3-4의 그림은, Fig. 3-3의 구성도에 있는 회로를 실험 대상의 왕복동형 공기압축기에 실제로 적용 설치한 그림이며, 그림에서 'A'는 흡입필터부의 압력센서위치, 'B'는 모터부의 온도센서 위치, 'C'는 공기압축기 제어용 전기 판넬 내부에 전류센서가 장착된 위치, 'D'는 데이터를 무선통신방식으로 전송하기 위한 Zigbee 모듈이 내장된 송신장치 위치이며, 'E'는 신호처리변환 시스템인 시그널 컨버팅 유니트이다.[56][57]

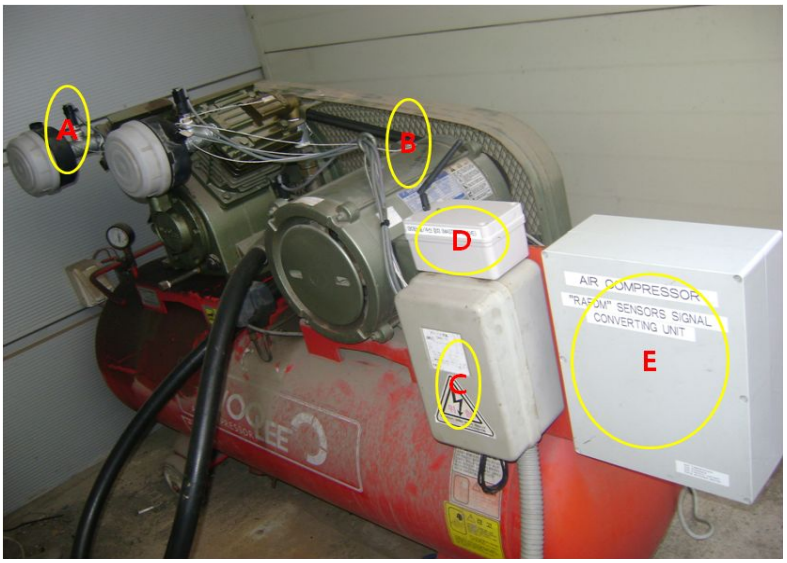


Fig. 3-4 Picture of FE_AFCDM

Collection @ chosun

3. 왕복동형 공기압축기 고장원인과 대책

공기압축기는 제품생산의 중요한 유틸리티(utility)설비이며, 돌발적인 가동,정지가 예상될 수 있으므로 고장이 발생하였을 때, 조속히 고장원인을 찾고 대책을 세워 조치를 취 하여야 한다. Table 3-1은 왕복동형 공기압축기의 고장원인과 대책을 나타내었다.

Table 3-1 Fault cause and trouble shoot[24][55]

내 용	원 인	대 책
모터고장(정지) (출력저하)	저전압	입력측 전압확인
	과부하운전, 바디의 고착	압력조정, 바디수리/교환
	V 밸트의 장력이 크다	장력조정
실린더 주위에서 이상음 발생	흡기, 배기밸브의 파손	교환
	피스톤과 헤드 사이의 이물질혼입	이물질 제거
	피스톤 또는 실린더 마모의 간극이 크다	교환
전기이상	윤활유에 불순물 섞임으로 인한 점도 변화	지정된 윤활유 교환
	플라이휠 풀리와 볼트, 너트 풀림	조인다
	배기압력 이상 상승 인한 과전류	압력조정
	배선 및 결선 불량	규정된 전선 사용
크랭크실 주위에서 이상음 발생	크랭크축의 축방향 공차의 대, 소	0.1~0.5mm 범위
	베어링에 이물질 혼입 혹은 베어링마모	청소 및 교환
	플라이휠 풀리 볼트 풀림	조인다
운전중 급 정지	윤활유 부족에 의한 소손	부품교환, 지정오일사용
	모터이상	모터 점검
	마그네트손상 및 휴즈가 끊어졌다	부품교환
이상진동	베어링 마모	교환
	각 부분이 볼트 및 너트 풀림	조인다
	공기압축기 수평이 안 맞다	평평한 장소에 설치
오일소비량이 너무 많다	크랭크에서 오일이 샌다	가스켓교환 볼트조임
	피스톤 및 피스톤링 마모	교환
	실런더 마모	교환
배기공기의 이상고온	배기 밸브의 손상 및 카본 부착	청소 및 교환
	플라이휠 풀리에 의한 냉각 불량	벽에서 최소 1m 이상 설치
	공기압축기실 주위 온도 40℃ 이상이다	공기압축기실 환기
배기압력의 이상강화	흡입, 배기밸브의 파손 및 이물질 부착	청소 및 교환
	압력출구 및 이음새 공기 누설	점검 및 조인다
	헤드가스켓 파손	교환
	솔레노이드 밸브의 작동이상	청소 및 교환
	자동스위치 작동이상	점검 및 교환
	V 밸트의 느슨함 (슬림)	장력조정
압력이 오르지 않거나 시간이 오래 걸린다	각조립부분에서 공기가 샌다	조인다
	밸브의 마모 또는 파손	교환
	공기의 사용량이 많다	공기압축기 증설

Collection @ chosun

제 2 절 HARD WARE(센서신호처리)

1. 임베디드 시스템

임베디드 시스템(embedded system)은 시스템의 정해진 로직(logic)에 따라 컴퓨터 시스템과 같은 하드웨어와 소프트웨어가 일체형으로 구성되어진 전자제어 시스템을 말한다. 전기, 전자, 컴퓨터 및 ICT기술들이 발달하면서 이들 기술을 이용한 다양한 기기들이 산업현장에 적용되고 있다. 일상생활에서는 가전제품뿐만 아니라 핸드폰, 교통시스템, 금융시스템, 군사용, 교육, 의료분야의 제어 등 수 많은 기술들이 우리 생활과 산업현장에서 밀접하게 관련되어 있다.

또한, 단순히 회로로만 구성된 것이 아니라 마이크로 콘트롤러(micro controller)가 내장되어 있고, 마이크로 프로세서(micro processor)를 구동하여 특수한 기능을 수행하는 프로그램이 내장되어 있으며, 이것을 임베디드 시스템이라 한다.

본 연구에서는 왕복동형 공기압축기의 가동상태를 모니터링하기 위한 센서신호처리와 원격통신 및 데이터 처리시스템으로 마이크로 프로세서(MP)를 내장한 마이크로 콘트롤러(MC)를 설계하여 그 동안 오프-라인으로 관리하던 작업을 모니터링 시스템이 대신 함으로써, 공기압축기를 경제적이고 효율적인 운영이 가능 하도록 하려고 한다.

2. 마이크로 콘트롤 프로세서

본 연구에서 제시한 품질이 좋은 공기압축기의 시스템을 만들기 위하여 설치, 변경, 관리 및 비용이 적게 드는 임베디드를 위한 마이크로 콘트롤러를 사용하였다.[44] 일반적인 마이크로 콘트롤 프로세서(micro control processor)는 디지털 입력 및 출력제어(DIO), 메모리(RAM, ROM), 카운터(counter), 통신(analog serial, digital serial communication), AD(analog digital), DA(digital analog) 등 특수한 기능들이 하나의 부품으로 만들어졌다. 여러 마이크로 콘트롤 프로세서의 제조회사에서 제공하는 자료를 참조하여 적용하고자 하는 기능에 따라 마이크로 콘트롤 프로세서의 핀 번호에 연결하고, 펌웨어를 통하여 시스템을 핀에 연동하면, 다양한 특수 기능으로 구성할 수 있다.[11] Fig. 3-5는 Atmega 128L-16의 내부 구조를 나타 내였으며, Fig. 3-6은 노란선의

Collection @ chosun

원안에 Atmega 128을 내장한 메인 보드이다. 마이크로 콘트롤 프로세서도 외부 클럭 발진기의 최대 16 Mhz 처리속도를 낼 수 있는 Atmel사의 Atmega 128L-16을 적용하였으며, Firmware는 일반적인 'C' 언어를 기반으로 AVR Studio 4.18 버전을 통해 만들었다.

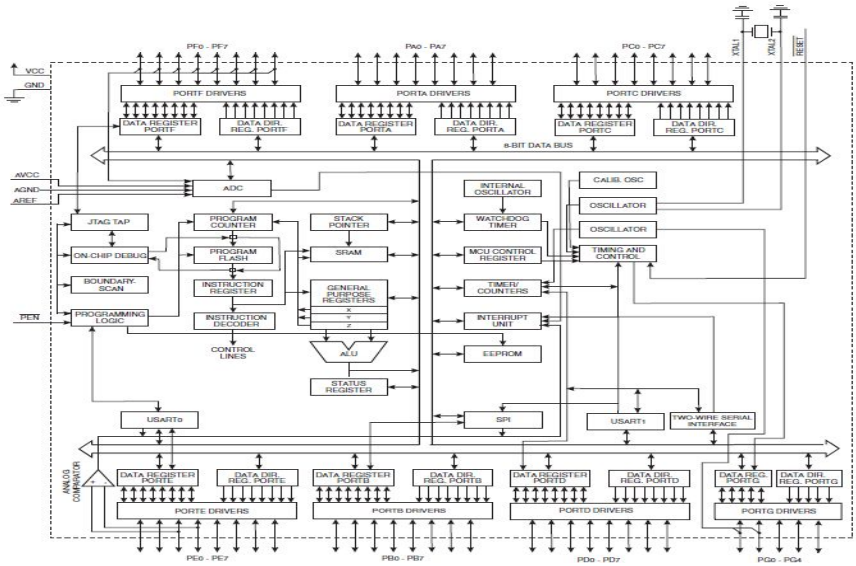


Fig. 3-5 Atmega 128L-16 block diagram

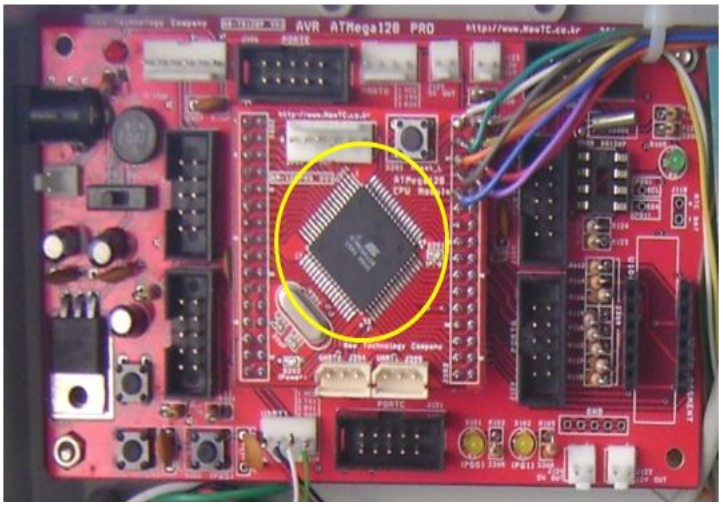


Fig. 3-6 Application board of Atmega 128L-16

Collection @ chosun

본 연구에 적용한 Atmega 128L-16은 4 K byte의 데이터 저장용 EEPROM과 SRAM이 있고, 10 bit AD converter가 8 채널이 있으며, 무선통신을 하기 위해서 2개의 전이중 방식의 직렬통신 포트가 있다. 그리고 응축수의 양, 측정과 배출 솔레노이드밸브 제어를 위한 53개의 Programmable 입력 및 출력 포트가 있어 향후에 추가 제어 및 신호처리에 유용하게 확장 할 수 있다[11][70].

3. 센서신호 처리부

본 연구에서는 공기압축기의 상태를 모니터링하기 위해 세 종류의 센서를 장착하였다. 첫 번째는, 대기중의 흡입 온도측정, 공기압축기구조에서 두 개의 압축헤더부 온도측정, 압축공기를 만들기 위한 모터의 온도를 측정하는 표면측정용으로 4개의 온도센서를 장착하였다. 두 번째는, 흡입시 두 개의 필터를 통해 헤더에 들어가는 공기의 압력을 측정하여 필터의 수명상태를 측정하기 위한 압력센서, 압축된 공기가 탱크에 저장되어 있는 압축량을 측정하기 위한 센서가 장착되었다. 세 번째는, 모터의 사용 전류량을 측정하여 공기압축기가 에너지낭비 없이 정상적인 가동이 되는지 판단하기 위해 모터에 공급되는 전류의 양을 측정하는 전류센서를 장착하였다. 모터는 3상 전원을 사용하기 때문에 R-S-T 세 개의 선중에서 R과 T선의 신호를 측정하였다. Fig. 3-7, Fig. 3-8, Fig. 3-9에서 각 센서별 신호처리를 위한 증폭기의 회로와 제작한 PCB를 나타내었다.

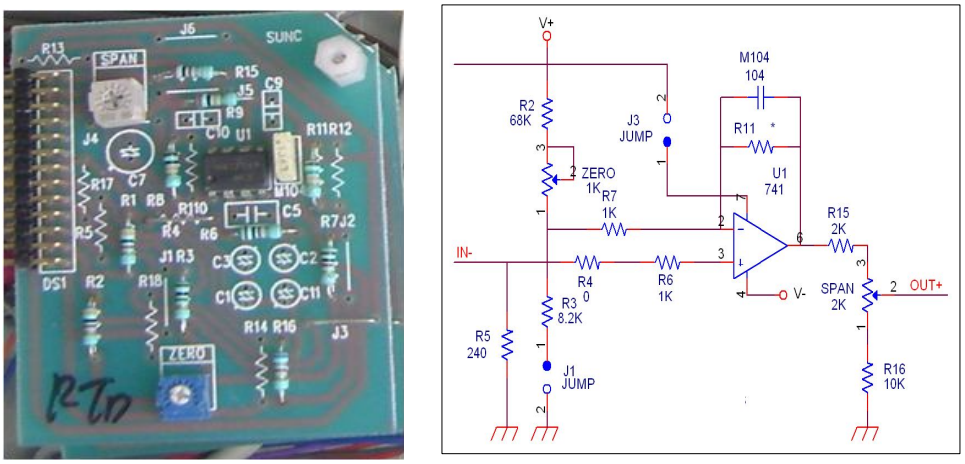


Fig. 3-7 PCB & circuit of temperature sensor

Collection @ chosun

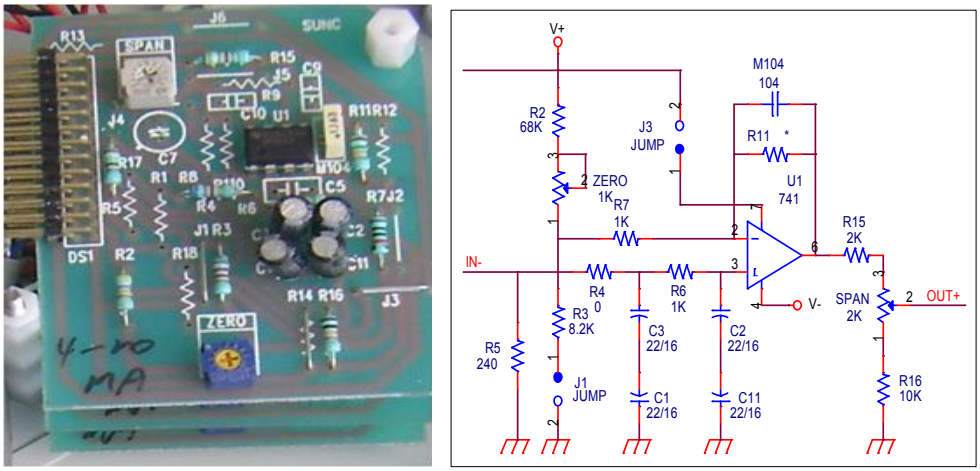


Fig. 3-8 PCB & circuit of pressure sensor

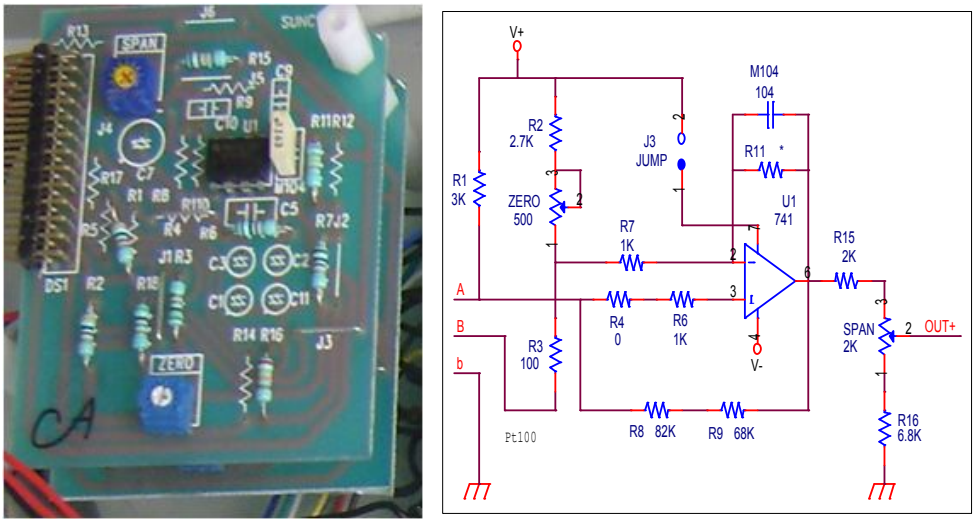


Fig. 3-9 PCB & circuit of electric current sensor

센서증폭용 부품으로는 'LM 741'을 사용하였다. Fig 3-10 에서와 같이 이 부품은 범용으로 저렴해서 산업용으로 많이 사용하고 있으며, 또한 주변부품들도 단순하게 구성되어 있어서, 다양한 출력신호의 센서에 많이 사용 되어 지고 있으며, 본 연구에서는 이 부품으로 세 가지 종류의 센서신호 증폭기를 설계 하였다.

Collection @ chosun

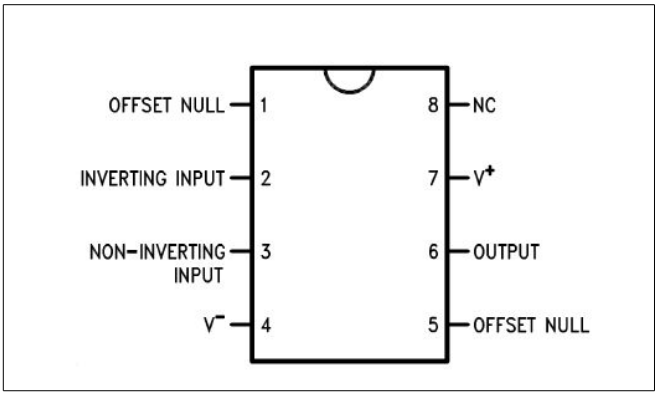


Fig. 3-10 Schematic of LM741 Op-amp

센서신호 처리과정에서는 센서 신호를 정확하고, 안정되게 변환하는 것이 매우 중요하며, 이것을 ADC (analog-digital converter) 처리과정 이라 한다. 센서정보를 생성하는 방법으로는 ADC동작을 단일변환방식(single conversion mode)과 프리런링방식(free running mode)으로 구분하며, 본 연구에서는 ADC의 오차와 노이즈 값을 제거하기 위해 짧은 시간에 많은 정보를 만들어 컨버팅 하여 평균값을 처리하는 방식으로 구성하였다. Fig. 3-11은 이러한 결과로 마이크로프로세서에서 지원하는 여러 가지 채널의 AD포트에 연결한 후, 실험한 결과 재현성이 유지됨을 확인할 수 있었다.

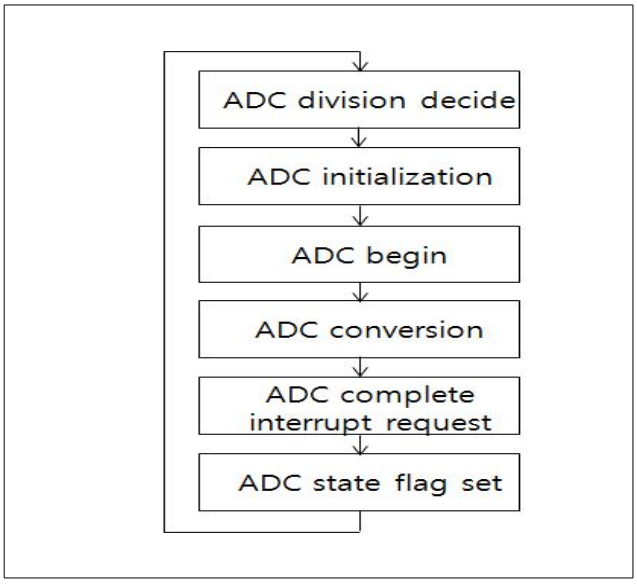


Fig. 3-11 Flow of ADC

Collection @ chosun

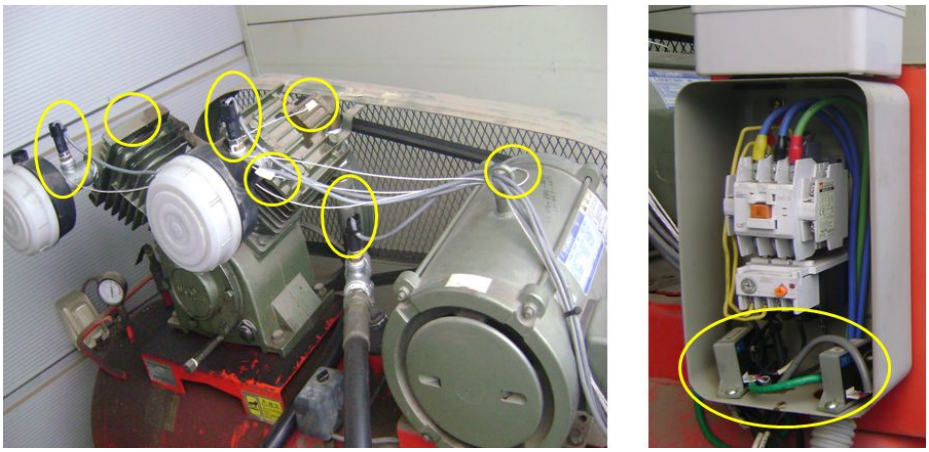


Fig. 3-12 Installation air-compressor sensor

Fig. 3-12는 실제로 실험 대상의 왕복동형 공기압축기의 가동 중에 발생하는 신호를 측정하기 위해 센서를 설치한 그림이다. 또한 왼편에 있는 그림에서 “세 개의 타원형” 원안은 압력센서위치이고, “네 개의 적은형” 원안은 온도측정 센서이며, 오른편의 그림의 “큰 원형” 원안은 두 개의 전류측정 센서를 장착 하였다.

4. 무선신호 전송 시스템

공기압축기의 설치위치나 장소는 대체적으로 가동중에 진동과 소음발생이 심하므로 건물외부나 눈에 잘 띄지 않는 곳에 설치 되어있다. 따라서 센서정보를 유선으로 시공하기에는 관리적인 측면이나, 신호의 안정성 면에서 문제가 있다. 그래서 본 연구에서는 공기압축기의 가동, 운전 정보를 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 MAC 층을 기반으로 상위 프로토콜(protocol)과 응용(application)을 규격화한 기술이다. 근거리에서는 속도가 크게 빠르지 않고, 네트워크 사용 빈도가 드문 시스템의 구축에 가장 적합한 모듈이다.

Collection @ chosun

Fig. 3-13 Schematic of zigbee module

Fig. 3-13은 원격모니터링을 위한 Zigbee 통신모듈을 적용 한 것이며, 원격통신을 위한 구성도이다. 마이크로 콘트롤 프로세서(MCP)와 PC의 각각에 Zigbee 모듈을 연결하여 서로 Master / Slave 방식으로 통신을 한다. Fig. 3-14는 본 연구에서 실시하고자 하는 공기압축기 가동 정보를 전송하기 위한, 무선전송 송신 및 수신의 내부를 설치한 그림이고, 왼편의 “큰 원형” 안에 있는 그림은 Zigbee 통신 모듈이다.

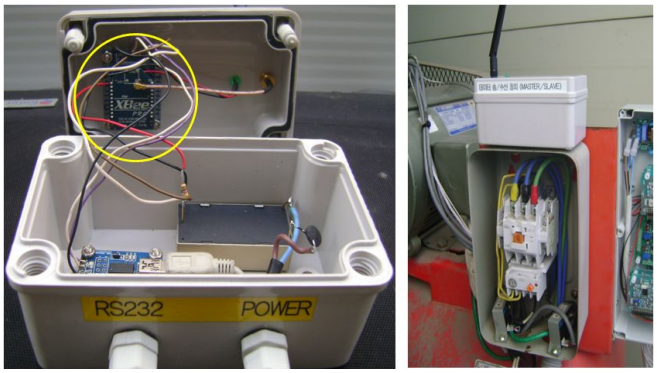


Fig. 3-14 Installation and inside of Zigbee module

Zigbee 모듈방식은 블루투스 방식보다 통신거리가 길고, 접속 통신모듈도 15개까지 신호를 주고받을 수 있다. Zigbee 제조사에서는 네트워크 연결방식에 따라 무한대까 설치가 가능 하다고 한다. Atmega 128L-16의 마이크로 컨트롤 프로세서(MCP)에

Collection @ chosun

있는 두 개의 UART serial 통신 포트 중에서 UART2의 포트를 통하여 Zigbee 모듈로 전송하도록 하였다. Zigbee를 통해 PC에 전송하는 규격은 '첫 번째' 자리와, '끝자리'에 각각 '0x02', '0x03' 정보를 붙였다. 이것은 전송 중에 프로그램에서 수신 받은 정보의 순서가 맞는지를 판단하기 위해서 코드를 붙여 전송하는 것이다.

공기압축기가 가동, 운전 하면서 발생하는 온도, 압력, 전류센서 신호를 컨버팅 하여 전송하는 펌웨어(Firmware)는 Table 3-2와 같이 아나로그 디지털 컨버터(ADC) 와 커뮤니케이션 프로그램(program)을 만들었으며, 같은 종류의 센서도 고유한 센서값이 동일하지 않기 때문에 각 센서마다 가중치로 보정하도록 하였다.

Collection @ chosun

Table 3-2 Firmware of ADC & communication

```
void analog_test(void)
{   unsigned int adc_values[40];
    int datai[80], i, j;
    for(i = 0; i < 72; i++)    {    datai[i] = 0; }    // variable clear
    Adc_Read(adc_values);
    for(j=0; j< 72;j++)
      {  for (i =0; i< 8; i++) {  datai[j] += adc_values[j]; }
              datai[j] = datai[j] >> 3;
      }
 for(j=0; j<8; j++)  { datai[j] = datai[j] / 1.3; } // Temp#1 converting
 for(j=9; j<16; j++) { datai[j] = datai[j] / 1.31; }// Temp#2 converting
 for(j=17; j<24; j++) { datai[j] = datai[j] / 1.2; }// Temp#3 converting
 for(j=25; j<32; j++) { datai[j] = datai[j] / 1.3; }// Temp#4 converting
 for(j=33; j<40; j++) { datai[j] = datai[j] / 2.2; }// Pres.#1 converting
 for(j=41; j<48; j++) { datai[j] = datai[j] / 2.4; }// Pres.#2 converting
 for(j=49; j<56; j++) { datai[j] = datai[j] / 2.2; }// Pres.#3 converting
 for(j=57; j<64; j++) { datai[j] = datai[j] / 1.2; }// Curr.#1 converting
 for(j=65; j<72; j++) { datai[j] = datai[j] / 1.3; }// Curr.#2 converting
printf(COM2,"%c%03d%03d%03d%03d%03d%03d%03d%03d%c",0x02,datai[i],0x03);
}  ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''data sending
SIGNAL(SIG_ADC)
{   adc_int_data = ADCW;  // ADC reading
    adc_int_flag = 1;  }      // ADC flag set
int putchar_0(char data)
{
        if(data == '\n'){
                while((UCSR1A & DATA_REGISTER_EMPTY) == 0);
                UDR0 = '\r';
        }
        while((UCSR1A & DATA_REGISTER_EMPTY) == 0);
        UDR1 = data;
        return(0);
}
```


Collection @ chosun

제 3 절 SOFT WARE(센서신호관리)

1. 무선수신정보 처리 프로그램

Zigbee 모듈에 전송한 정보를 PC의 Zigbee 수신모듈로 받아서 PC의 COM1 포트에 연결하여 수신하도록 하였다. 이 과정에서 수신 상태가 정상적으로 이루어졌는지 점검이 필요하며, Table 3-3은 LRC check 방식의 프로그램을 작성한 것이다.

Table 3-3 Serial communication 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);
}
```

여러대의 Zigbee 통신모듈을 사용하는 경우, 송신 및 수신거리가 멀어 지게 되면, 전파를 방해하는 원인 설비가 있거나 건물벽에 막히는 경우가 있으며, Slave와 Master 사이에 정보가 맞게 주고 받았는지가 중요 하므로 보내고 받은 정보가 맞는지를 검사하여야 한다, 또한 다음 단계의 프로그램(program)이 진행 되어야 할 것이다. 각 송신과 수신 프로그램 중에는 정보를 송신 및 수신하는 과정에 반드시 인터럽트를 통하여 거쳐야 하며, 만약에 XOR 연산 후 불일치할 경우에는 다음 스텝의 변수정보는 바로 직전에 가지고 있던 정보를 유지 하도록 한다.

Collection @ chosun

2. 센서데이터 변환 프로그램

공기압축기 가동, 운전 감시 장치에서 PC의 모니터링(monitoring)까지의 무선 송신 및 수신을 위한 통신프로토콜은 '9600 bps, N 81'이며, Table 3-4 에서와 같이 매 60초마다 데이터베이스(DB)에 저장 하도록 하였다. 데이터베이스 필드 구성은 Fig. 3-15 에서와 같이 마이크로 콘트롤 프로세서(micro control processor)의 AD 컨버터 분해능은 10 비트로 되어 있어 4 자리씩 나누어지게 하였다.

발생일자:시간	흡입 온도	H#1 온도	H#2 온도	모터 온도	흡입1 압력	흡입2 압력	탱크 압력	R 전류	T 전류
20140609:100635:0097032603290280:000900090179:00080009									

Fig. 3-15 Data structure of saved record

저장된 데이터는 각각 실제의 온도, 압력, 전류값이 아니기 때문에 컨버팅 과정을 거쳐서 PC화면에 그래프와 데이터를 표시하고, FE_AFCDM의 추론과정을 하게 된다. Table 3-5는 압력 정보를 변환하는 프로그램이다. 알고리즘을 보면, 'ha1 = (ha1 / 1024) * 30'에서 등식 다음에 ha1 변수는 Fig. 3-15에 저장된 정보이며, 우변에 있는 ha1변수는 공식에 의해 변환된 값으로 저장되는 변수이다. 그리고 '1024'는 AD 컨버팅 분해능으로 10 비트 방식이므로 2^{10}=1024 등분으로 나누어 정밀도를 높일 수 있다. '30'은 압력센서의 최대 처리용량을 나타낸다. 그래서 Fig. 3-15에서 탱크 압력의 초기값이 '0179' 일 때 실제 탱크 압력은 5.24 bar가 되는 것이다.

Table 3-6은 온도정보를 변환하는 프로그램이다. Table 3-5 에서의 설명과 같으며, Table 3-6 에서 '250'은 온도센서의 최대 감지 가능 온도이다. Fig. 3-15에서 모터온도가 '0280'은 실제온도가 68.36 ℃를 나타내는 것이다.

Table 3-7은 전류정보를 변환하는 프로그램으로 Table 3-5 의 설명과 같다. Table 3-7 에서 '50'은 전류센서의 최대 감지를 나타내는 것으로 Fig. 3-15 에서 T전류가 '0009'는 실제로 0.4 A를 나타내는 것이다.

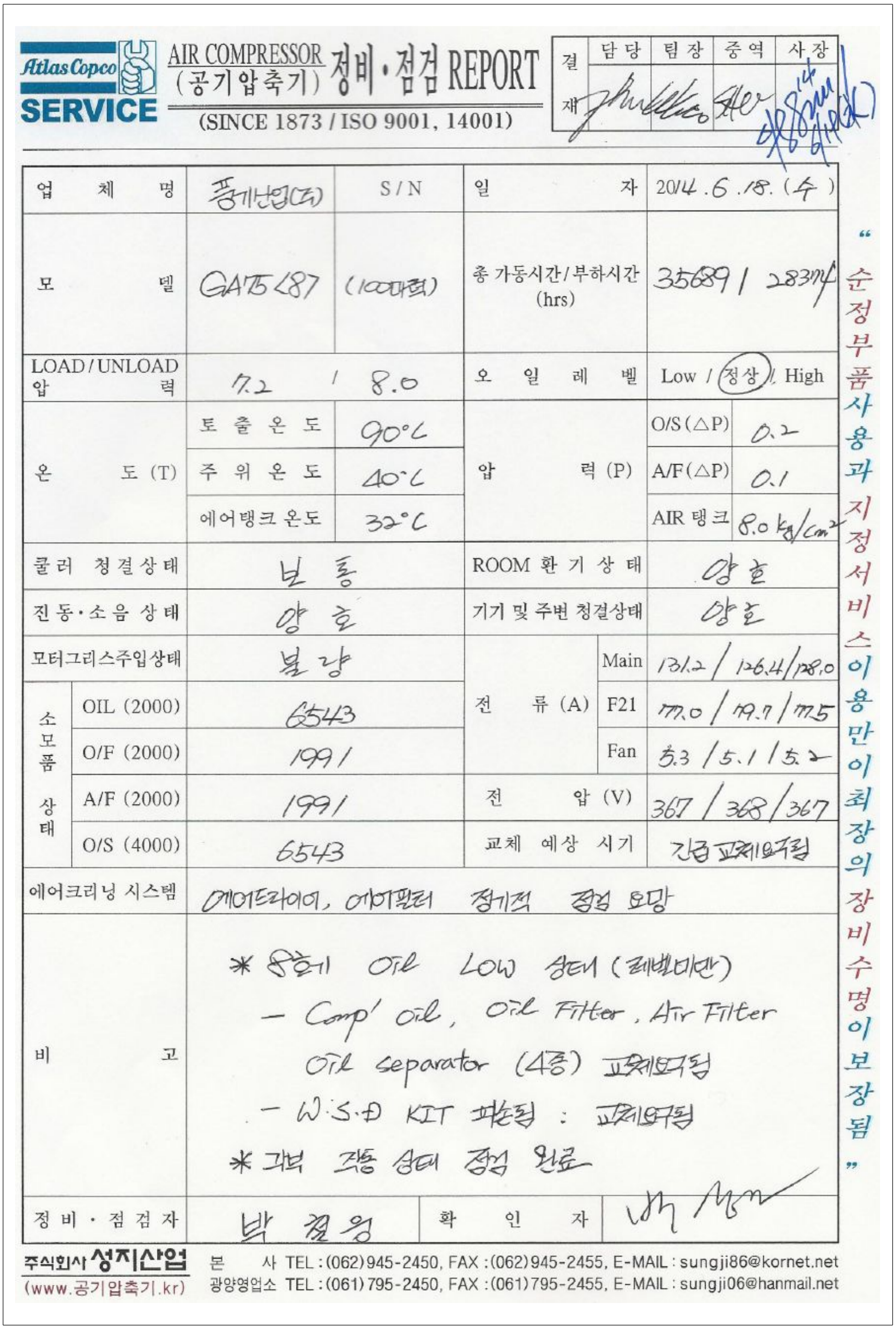
이러한 과정을 거쳐 저장된, 센서정보를 공기압축기 가동 이력정보 저장과 PC 화면에 표시하기 위해 Microsoft사의 Visual BASIC 6.0 으로 구현 하였고, 또한 공기압

dCollection @ chosun

축기의 가동 이력을 조회하기 위한 모니터링 프로그램도 Microsoft사의 MDB(micro soft database)와 연동하여 데이터베이스(DB)를 설계 하였다. Fig. 3-17은 Visual BASIC 6.0 으로 구성한 모니터링(monitoring) 화면이며, 매 60초마다 실시간으로 현재의 정보값을 그래프에 출력하고, 데이터(data)를 저장하는 프로그램이다.

모니터링방식 이전에는 Fig. 3-16 에서와 같이 일반관리자가 현장에서 수기로 기록지에 작성하는 방식으로 운영함으로서 공기압축기 가동, 운전 일지 확인 등이 불편하고, 보전관리에 애로사항이 많았다. 본 연구에서 제안한 FE_AFCDM은 실시간 원격으로 왕복동형 공기압축기의 가동, 운전 상태를 모니터링 하며, 공기압축기 내부의 메카니즘, 윤활오일, 흡입필터등의 교체주기를 통하여 최적의 상태로 품질(quality) 좋은 압축공기(compressed air)를 생산하는 방식이다. 이를 통하여 에너지 절감(energy saving)효과를 높이고, 각종 안전사고 예방 및 설비보전 효율을 안정화하여 기업의 생산성(productivity)향상을 높이고자 한다.

Collection @ chosun



Atlas Copco SERVICE

AIR COMPRESSOR (공기압축기) 정비·점검 REPORT

(SINCE 1873 / ISO 9001, 14001)

결재	담당	팀장	중역	사장
	(서명)	(서명)	(서명)	(서명)

항목	내용	항목	내용
업체명	풍기산업(주) S/N	일자	2014.6.18.(수)
모델	GA75 <87 (100마력)	총 가동시간/부하시간 (hrs)	35689 / 28374
LOAD/UNLOAD 압력	7.2 / 8.0	오일레벨	Low / (정상) / High
온도 (T) 토출온도	90°C	압력 (P) O/S(△P)	0.2
온도 (T) 주위온도	40°C	압력 (P) A/F(△P)	0.1
온도 (T) 에어탱크온도	32°C	압력 (P) AIR 탱크	8.0 kg/cm²
쿨러 청결상태	보통	ROOM 환기상태	양호
진동·소음 상태	양호	기기 및 주변 청결상태	양호
모터그리스주입상태	불량	전류 (A) Main	131.2 / 126.4 / 128.0
소모품 상태 OIL (2000)	6543	전류 (A) F21	77.0 / 79.7 / 77.5
소모품 상태 O/F (2000)	1991	전류 (A) Fan	5.3 / 5.1 / 5.2
소모품 상태 A/F (2000)	1991	전압 (V)	367 / 368 / 367
소모품 상태 O/S (4000)	6543	교체 예상 시기	긴급교체요구됨
에어크리닝 시스템	에어드라이어, 에어필터 정기적 점검 요망		
비고	* 8회 Oil Low 상태 (레벨미만) - Comp' oil, Oil Filter, Air Filter Oil separator (4종) 교체요구됨 - W.S.D KIT 파손됨 : 교체요구됨 * 그 외 작동 상태 점검 완료		
정비·점검자	박철영	확인자	(서명)

"순정부품사용과 지정서비스이용만이 최장의 장비수명이 보장됨"

주식회사 성지산업 (www.공기압축기.kr) 본 사 TEL : (062)945-2450, FAX : (062)945-2455, E-MAIL : sungji86@kornet.net

광양영업소 TEL : (061)795-2450, FAX : (061)795-2455, E-MAIL : sungji06@hanmail.net

Fig. 3-16 Paper of air compressor repair

Collection @ chosun

Table 3-4 Row data of sensor signal

20140609:092835:009803280330026 5:001000070239:00110009
20140609:092935:009403250329026 3:001100110239:00090008
20140609:093035:009603280328026 2:000900100239:00080007
20140609:093135:009703260327026 3:000800090239:00090009
20140609:093235:009903240325026 5:001100110239:00100008
20140609:093335:009703270328026 4:001100110219:00090009
20140609:093435:009603220326026 6:001000090200:00080008
20140609:093535:009903190321026 6:000900120185:00090008
20140609:093635:009803200322026 7:001200130179:00090009
20140609:093735:009603300329026 9:005800550180:03410334
20140609:093835:009803310333027 0:006500590200:03390340
20140609:093935:009703300331026 9:006800680216:03380339
20140609:094035:009903310332027 1:007100710239:03400340
20140609:094135:009503320332027 2:007100700240:03420341
20140609:094235:009603350334027 1:007200690241:03410342
20140609:094335:009903330334027 2:007000680241:03410339
20140609:094435:009803330333027 3:006900690239:03400340
20140609:094535:009703340335027 4:006900680238:03390341
20140609:094635:009903340335027 5:007100700235:03390339
20140609:094735:009603330333027 6:006900710236:03380340
20140609:094835:009703350334027 8:007000690238:03400340
20140609:094935:009703380335027 8:006900680237:03420341
20140609:095035:009903360337027 9:006800690235:03410339
20140609:095135:009803370336027 9:006900710239:03400340
20140609:095235:009703390340028 0:002600290239:00080009
20140609:095335:009903400341028 0:002000200233:00090008
20140609:095435:009603390339028 0:001600190221:00100008
20140609:095535:009703400338028 1:001100160214:00070008
20140609:095635:009803410339028 2:001000150211:00090009
20140609:095735:009903390337028 2:000900110202:00080008
20140609:095835:010003390337028 3:000900080200:00070009
20140609:095935:009903380336028 2:000600090212:00090008
20140609:100035:009703360338028 1:000700110208:00080008
20140609:100135:009903350337028 1:000900120203:00090009
20140609:100235:009803330335028 1:000900120199:00080010
20140609:100335:009803310333027 9:001100130195:00070007
20140609:100435:009703300331027 9:001000110190:00100008
20140609:100535:009803280329028 0:000800100182:00090008
20140609:100635:009703260329028 0:000900090179:00080009
20140609:100735:009703280329027 9:000800080175:00080009
20140609:100835:009703290327027 8:001100110175:00090010
20140609:100935:009603270329027 7:000700130173:00090009
20140609:101035:009703280330027 6:000800110173:00100010
20140609:101135:009803280329027 7:000900100171:00080008
20140609:101235:009703260328027 6:001100090170:00090009
20140609:101335:009903280329027 6:001000110170:00090009
20140609:101435:009803290328027 6:001000120167:00080010
20140609:101535:009803300328027 6:001200100166:00080008
20140609:101635:009703290329027 7:001100110165:00090009
20140609:101735:009803290330027 5:003900440178:03410340
20140609:101835:009703320333027 4:005600590188:03390338
20140609:101935:009703310332027 7:006500660203:03380340
20140609:102035:009903330333027 7:006900680212:03390341
20140609:102135:009803340333027 8:007100710219:03410339

Collection @ chosun

Table 3-5 Data conversion source code for pressure value

```
'''''''''''''""""""""""""""""""""""""""""""""" pressure start
""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""" 흡입필터#1
Picture1.ForeColor = RGB(100, 155, 0)
le1 = -2
    For i = 1 To Len(file_data) Step 54
        ha1 = Val(Mid(file_data, i + 33, 4))
        ha1 = (ha1 / 1024) * 30
        le1 = le1 + 2
            ypo = (4000 / 30) * (ha1 / 2)
            xpo = (11000 / 193) * le1
        Picture1.Line -(xpo + 500, 4000 - ypo)
    Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 4000)
""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""" 흡입필터#2
Picture1.ForeColor = RGB(100, 155, 155)
le1 = -2
    For i = 1 To Len(file_data) Step 54
        ha1 = Val(Mid(file_data, i + 37, 4))
        ha1 = (ha1 / 1024) * 30
        le1 = le1 + 2
            ypo = (4000 / 30) * (ha1 / 2)
            xpo = (11000 / 193) * le1
        Picture1.Line -(xpo + 500, 4000 - ypo)
    Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 4000)
""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""" 탱크압력
Picture1.ForeColor = RGB(80, 25, 55)
le1 = -2
    For i = 1 To Len(file_data) Step 54
        ha1 = Val(Mid(file_data, i + 41, 4))
        ha1 = (ha1 / 1024) * 30
        le1 = le1 + 2
            ypo = (4000 / 30) * (ha1 / 2)
            xpo = (11000 / 193) * le1
        Picture1.Line -(xpo + 500, 4000 - ypo)
    Next i

 Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 4000)
 ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''"'' pressure end
```


Collection @ chosun

Table 3-6 Data conversion source code for temperature value

```
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' temp start
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''실린더헤드#1
Picture1.ForeColor = RGB(255, 0, 0)
lel = -2
  For i = 1 To Len(file_data) Step 54
     hal = Val(Mid(file_data, i + 16, 4))
     hal = (hal / 1024) * 250
     lel = lel + 2
        ypo = (6000 / 250) * (hal / 2)
        xpo = (11000 / 193) * lel
     Picture1.Line -(xpo + 500, 6000 - ypo)
  Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 6000)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''실린더헤드#2
Picture1.ForeColor = RGB(0, 0, 255)
lel = -2
  For i = 1 To Len(file_data) Step 54
     hal = Val(Mid(file_data, i + 20, 4))
     hal = (hal / 1024) * 250
     lel = lel + 2
        ypo = (6000 / 250) * (hal / 2)
        xpo = (11000 / 193) * lel
     Picture1.Line -(xpo + 500, 6000 - ypo)
  Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 6000)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''흡입부 온도
Picture1.ForeColor = RGB(0, 255, 255)
lel = -2
  For i = 1 To Len(file_data) Step 54
     hal = Val(Mid(file_data, i + 24, 4))
     hal = (hal / 1024) * 250
     lel = lel + 2
        ypo = (6000 / 250) * (hal / 2)
        xpo = (11000 / 193) * lel
     Picture1.Line -(xpo + 500, 6000 - ypo)
  Next i

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

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 6000)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' temp end
```


Collection @ chosun

Table 3-7 Data conversion source code for current value

```
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' current start
""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""'R상 전류
Picture1.ForeColor = RGB(20, 225, 190)
le1 = -2
  For i = 1 To Len(file_data) Step 54
     ha1 = Val(Mid(file_data, i + 46, 4))
     ha1 = (ha1 / 1024) * 50
     le1 = le1 + 2
        ypo = (2000 / 50) * (ha1 / 2)
        xpo = (11000 / 193) * le1
     Picture1.Line -(xpo + 500, 2000 - ypo)
  Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 2000)
""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""""'T상 전류
Picture1.ForeColor = RGB(190, 85, 220)
le1 = -2
  For i = 1 To Len(file_data) Step 54
     ha1 = Val(Mid(file_data, i + 50, 4))
     ha1 = (ha1 / 1024) * 50
     le1 = le1 + 2
        ypo = (2000 / 50) * (ha1 / 2)
        xpo = (11000 / 193) * le1
     Picture1.Line -(xpo + 500, 2000 - ypo)
  Next i

Picture1.ForeColor = RGB(255, 255, 255)
Picture1.PSet (500, 2000)

'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''' current end
```

아래의 Fig. 3-17은 FE_AFCDM의 모니터링이며, 저장된 정보를 선택, 확인 하여 필요에 따라서 기간별, 설비별 조회가 가능하도록 HMI(Human-Machine Interface) 구조로 모니터링 프로그램을 설계 하였다. 그래프는 세 개의 단으로 나누어 "상단 부분은" 전류의 진행상황을 나타내며, "중간에 있는" 그래프는 압력의 진행상황이고, "하단에 있는" 그래프는 온도의 진행상황을 실시간으로 9개의 센서정보가 각, 색깔별로 60초마다 저장된 정보를 연속적으로 그려지도록 하였으며, 그래프 하단에 있는 온도, 압력, 전류값 표시는 현재 저장된 최근 정보를 표시 하였다. 또한 Fig. 3-17의 왼쪽 하단에는, 그래프 범위 및 점검 입력전압을 시간대별로 조회할 수 있도록 하였으며, 필요시 프린터를 통해 그래프와 결과값을 인쇄 하도록 하였다.

Collection @ chosun

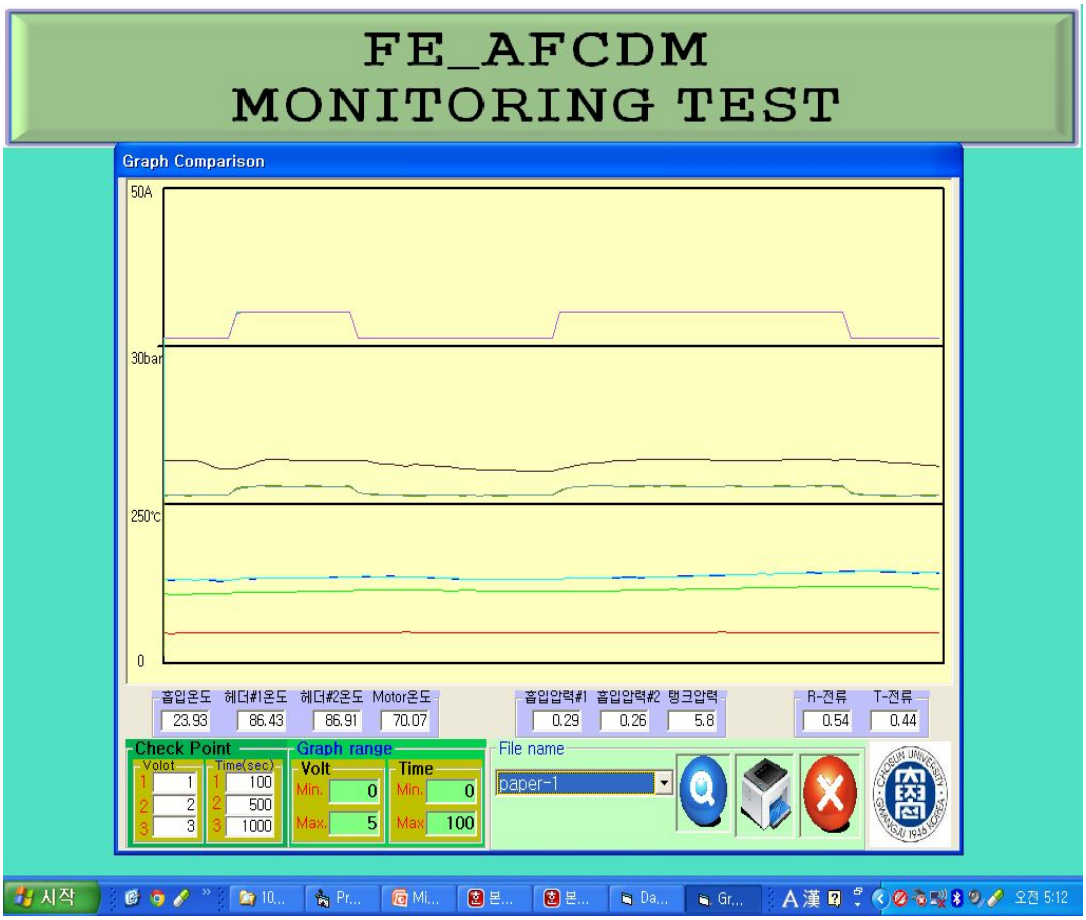


Fig. 3-17 PC monitoring for sensor signal of air-compressor

Collection @ chosun

제 4 장 FE_AFCDM 실험 및 분석

제 3 장에서 구축한 FE_AFCDM의 하드웨어(hard ware)와 소프트웨어(soft ware)를 통하여 퍼지소속도함수(fuzzy membership function)와 퍼지규칙(fuzzy rule)으로 왕복동형 공기압축기의 실시간(real time) 이상진단을 위한 시뮬레이션을 하고자 한다. 공기압축기의 이상진단 퍼지전문가시스템(fuzzy expert system)의 흐름은 Fig. 4-1과 같은 순서이다. “첫 번째 단계는” 본 연구에서 제안하는 모델에서 공기압축기의 이상진단을 위해 구동모터에서 발생하는 온도와 전류의 상태에 따른 소속도함수와 규칙의 설계가 이루어진다. “두 번째 단계는” 3절에서 설명한대로 추론하기 위한 현장의 정보를 만드는 과정이다. “세 번째 단계는” 퍼지이론(fuzzy theory)에 의한 과정으로 소속도함수와 규칙에 의한 입력정보 및 출력정보를 만드는 과정이다. “마지막 단계에서는” 응용 프로그램에 의한 진단결과를 사용자에게 표현하는 과정이다. 네 번째 단계의 진행이 끝나면, Fig. 4-1의 두 번째 단계부터 다시 순환하는 시스템으로 이루어져 있다.

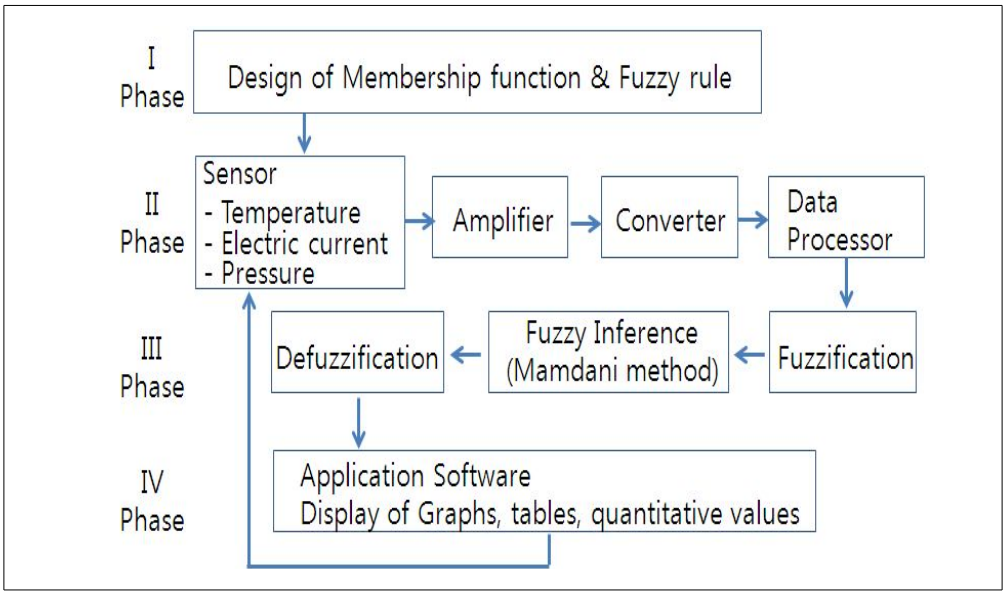


Fig. 4-1 Procedure of fault diagnosis

Collection @ chosun

제 1 절 소속도함수와 규칙설계

공기압축기가 가동, 운전 중에 발생하는 온도, 압력과 전류정보를 상태에 따라 진단 결과를 Table 4-1, Table 4-2 및 Table 4-3과 Fig. 4-2 에서와 같이 소속도와 소속도함수를 각각 설계 하였다.

Table 4-1 Motor temperature membership degree

Electric Current(A)	Good	Bad
7	1.0	0.0
8	0.9	0.2
9	0.8	0.3
10	0.5	0.5
11	0.3	0.7
12	0.2	0.9
13	0.0	1.0

Table 4-2 Electronic current membership degree

Motor Temperature.(℃)	Good	Bad
30	1.0	0.0
40	0.9	0.2
50	0.7	0.3
60	0.5	0.5
70	0.3	0.7
80	0.2	0.9
90	0.0	1.0

Collection @ chosun

Table 4-3 Pressure membership degree

Pressure(bar)	Good	Bad
0.5	1.0	0.0
0.8	0.9	0.2
1.0	0.8	0.3
1.3	0.5	0.5
1.5	0.3	0.7
2.0	0.2	0.9
2.3	0.0	1.0

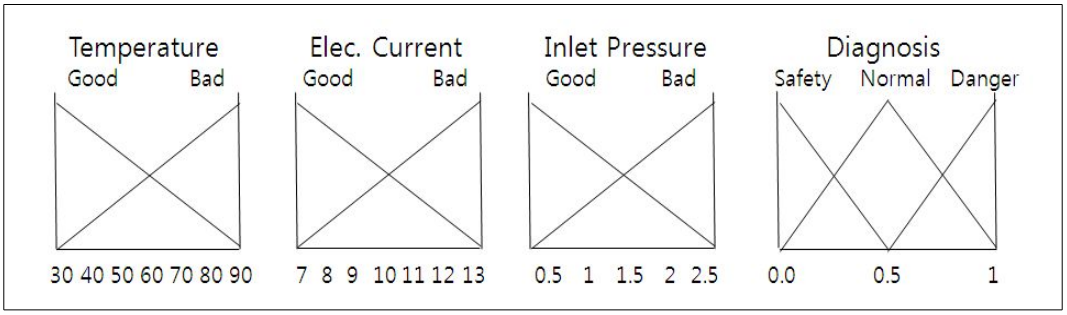


Fig. 4-2 Membership function design

이는 언어적 용어의 표현을 삼각형 소속도함수로 설계하여 'FD'는 퍼지진단 소속도함수의 의미로서, 온도의 퍼지집합 FD temp={Good, Bad}이고, 전류의 퍼지집합 FD curr={Good, Bad}이며, 압력의 퍼지집합 FD press={Good, Bad}와 그리고, 진단결과의 퍼지집합 FD diag={Safety, Normal, Danger}이다. 또한 추론규칙(fuzzy rule)은 Table 4-4와 같이 8 개의 방법으로 설계할 수 있다.

Collection @ chosun

Table 4-4 Inference rule of diagnosis

R1: If temp is Good and curr is Good and Press is GOOD Then Diag is Safety
R2: If temp is Good and curr is Good and Press is Bad Then Diag is Safety
R3: If temp is Good and curr is Bad and Press is GOOD Then Diag is Normal
R4: If temp is Good and curr is Bad and Press is Bad Then Diag is Normal
R5: If temp is Bad and curr is Good and Press is GOOD Then Diag is Normal
R6: If temp is Bad and curr is Good and Press is Bad Then Diag is Normal
R7: If temp is Bad and curr is Bad and Press is GOOD Then Diag is Bad
R8: If temp is Bad and curr is Bad and Press is Bad Then Diag is Bad

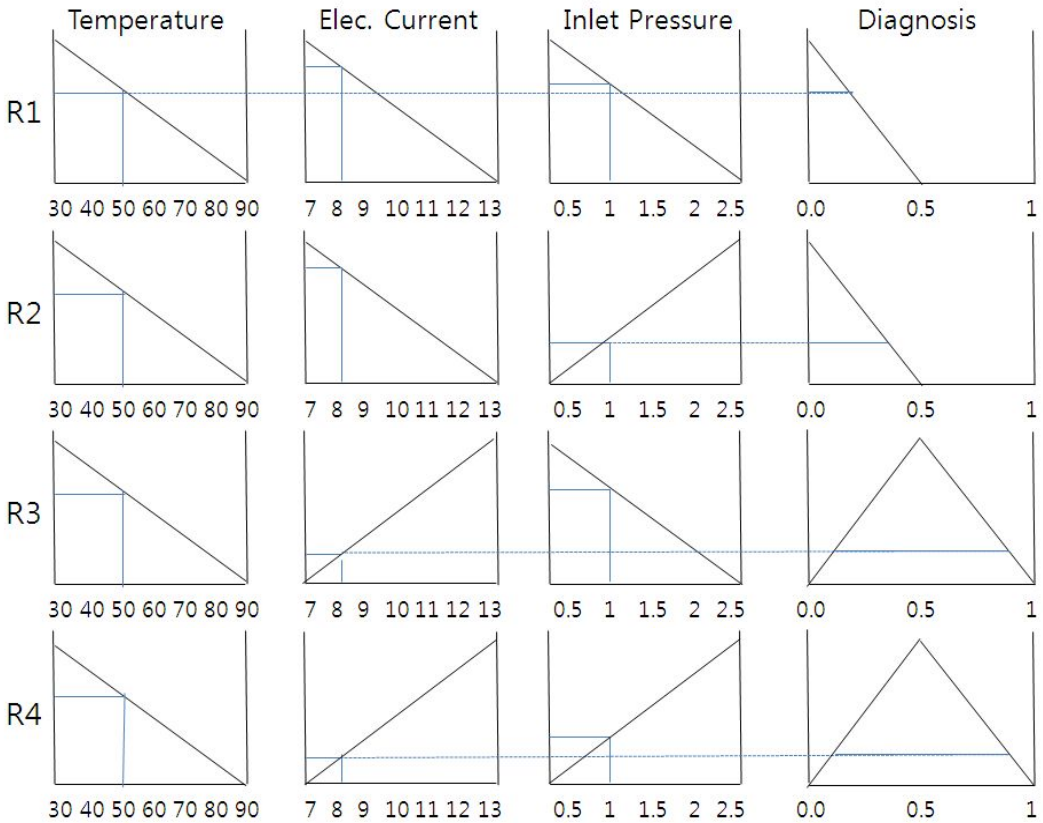
Collection @ chosun

제 2 절 FE_AFCDM의 시뮬레이션

진단 방식에서 언어적 변수 temp., curr., press. 와 출력 diag.에 대한 언어 변수의 소속도함수 μ를 이용하여 Mamdani가 제안한 식 (4-1)의 min-max-gravity 방법을 이용하여 상태진단을 한다.

$$\mu_{FD}(temp.,curr.,press.,diag.) = \max[\min \mu_{temp.}(x), \mu_{curr.}(x), \mu_{press.}(x), \mu_{diag.}(x)] \quad (4\text{-}1)$$

본 연구에서 설계한 FE_AFCDM의 이상진단을 추론하는 과정을 다루어 본다. 현재 공기압축기가 가동하면서 전송한 상황을 보면, 온도는 50℃, 전류는 8A이며, 흡입압력이 1bar인 경우 Fig. 4-3 에서와 같이 퍼지규칙 알고리즘에 의한 진단 결과를 만든다.



Collection @ chosun

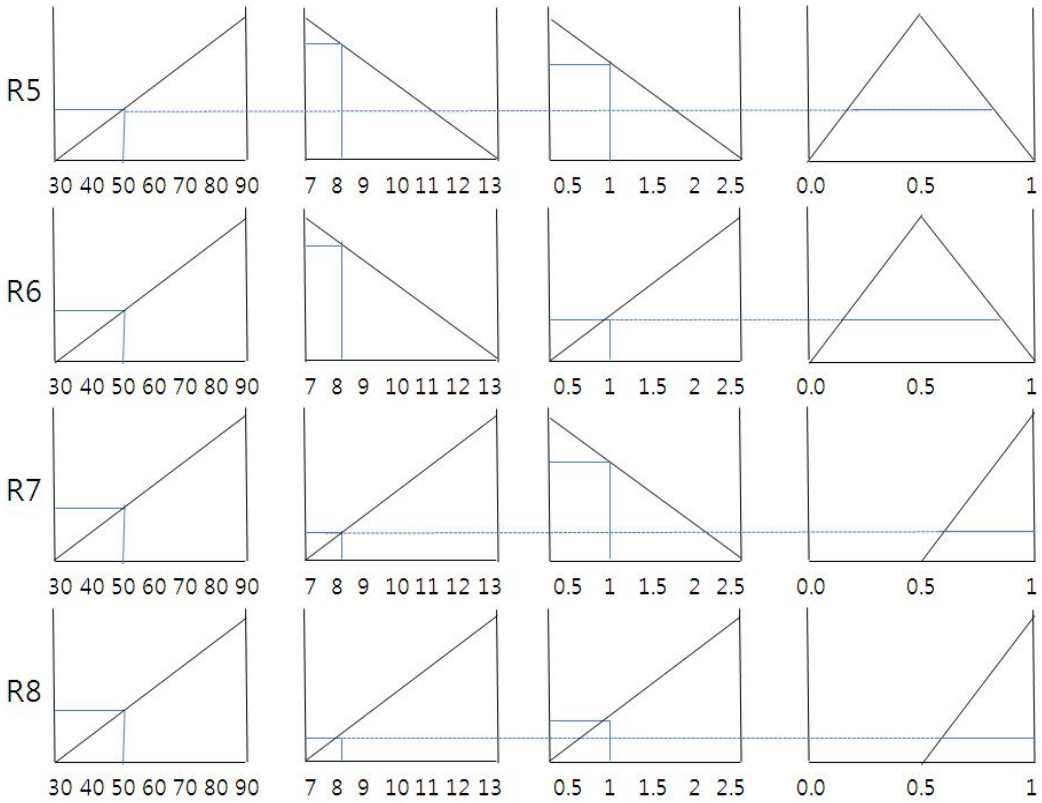


Fig. 4-3 Fuzzy inference of fault diagnosis

여기서 FE_AFCDM의 퍼지프로그램을 구현하기 위해 온도정보는 T_i 라 하고, 이것은 구간 FT의 퍼지집합 변수로 정하고, 전류정보는 C_i 라 하며, 구간 FC의 퍼지집합 변수로 하였다. 흡입압력정보는 P_i 라 하고, 구간 FP의 퍼지집합 변수로 하였다. 그리고 D_i 는 진단정보라 하고, FD의 퍼지집합 결과 변수로 정하였다.

각 8개의 퍼지규칙 [T_i and C_i and P_i -> D_i]와 i = 1부터 8까지 순환을 하며, 퍼지진단 결과값을 처리함으로서, 하나의 싸이클이 이루어지는 것이다. Mamdani의 이론으로 퍼지합성을 보면, 식 (4-2)부터 식 (4-5)와 같이 시뮬레이션이 이루진다.

$$\mu T_i \text{ and } C_i \text{ and } P_i \rightarrow D_i(FT, FC, FP, FD) = \mu T_i(FT) \wedge \mu C_i(FC) \wedge \mu P_i(FP) \wedge \mu D_i(FD) \quad (4\text{-}2)$$

퍼지규칙으로부터 추론된 추론결과 D_i 는 식 (4-3)과 같다.

Collection @ chosun

$$
\begin{aligned}
\mu D'_1(FD) &= \mu T_1(FT) \wedge \mu C_1(FC) \wedge \mu P_1(FP) \wedge \mu D_1(FD) \\
\mu D'_2(FD) &= \mu T_2(FT) \wedge \mu C_2(FC) \wedge \mu P_2(FP) \wedge \mu D_2(FD) \\
\mu D'_3(FD) &= \mu T_3(FT) \wedge \mu C_3(FC) \wedge \mu P_3(FP) \wedge \mu D_3(FD) \\
\mu D'_4(FD) &= \mu T_4(FT) \wedge \mu C_4(FC) \wedge \mu P_4(FP) \wedge \mu D_4(FD) \\
\mu D'_5(FD) &= \mu T_5(FT) \wedge \mu C_5(FC) \wedge \mu P_5(FP) \wedge \mu D_5(FD) \\
\mu D'_6(FD) &= \mu T_6(FT) \wedge \mu C_6(FC) \wedge \mu P_6(FP) \wedge \mu D_6(FD) \\
\mu D'_7(FD) &= \mu T_7(FT) \wedge \mu C_7(FC) \wedge \mu P_7(FP) \wedge \mu D_7(FD) \\
\mu D'_8(FD) &= \mu T_8(FT) \wedge \mu C_8(FC) \wedge \mu P_8(FP) \wedge \mu D_8(FD)
\end{aligned}
\tag{43}
$$

식 (4-3)의 추론결과로 D'는 $D_1', D_2', D_3', D_4', D_5', D_6', D_7', D_8'$ 을 식 (4-4)와 같이 퍼지결합으로 얻을 수 있다.

$$
D' = D_1' \cup D_2' \cup D_3' \cup D_4' \cup D_5' \cup D_6' \cup D_7' \cup D_8' \tag{4-4}
$$

식 (4-4)를 퍼지소속도함수와 Mamdani의 min-max 연산을 하면, 식 (4-5)와 같다.

$$
\begin{aligned}
\mu D'(FD) = {} & \mu D_1'(FD) \vee \mu D_2'(FD) \vee \mu D_3'(FD) \vee \mu D_4'(FD) \vee \mu D_5'(FD) \\
& \vee \mu D_6'(FD) \vee \mu D_7'(FD) \vee \mu D_8'(FD)
\end{aligned}
\tag{4-5}
$$

이는 퍼지합성을 적용, 식 (4-6)의 무게중심법을 이용하여, 식 (4-7)의 계산으로 “0.29” 라는 퍼지추론값을 계산한 결과이며, 이것은 이상진단 판단을 ‘Safety’ 와 ‘Normal’ 중간정도의 상태라는 것 을 알 수 있다.

$$
FD = \frac{\sum_{i=1}^{8} [\mu_{Di'}(FD_i) \times FD_i]}{\sum_{i=1}^{8} \mu_{Di}'(FD_i)} \tag{4-6}
$$

$$
\begin{aligned}
FD &= \frac{\begin{array}{l}(0.65\times0.2)+(0.35\times0.35)+(0.3\times0.5)+(0.2\times0.5) \\ +(0.35\times0.5)+(0.35\times0.5)+(0.2\times0.6)+(0.2\times0.6)\end{array}}{(0.2+0.35+0.5+0.5+0.5+0.5+0.6+0.6)} = \frac{1.093}{3.75} \\
&= 0.291, \ \fallingdotseq \ 0.29
\end{aligned}
\tag{4-7}
$$

Collection @ chosun

제 3 절 FE_AFCDM 실험결과

본 연구에서 FE_AFCDM은 일반 개인용 컴퓨터(PC) 또는 마이크로 콘트롤 프로세서(micro control processor)를 사용하여 현장에서 가동되고, 있는 왕복동형 공기압축기의 이상진단을 위한 것이다. Fig. 4-4는 FE_AFCDM 시뮬레이션의 순서를 나타내는 순서도이며, 퍼지(fuzzy)화 과정의 시뮬레이션에서 얻어진 정보를 비전문가인 관리자에게 전달하는 것이다. Fig. 4-4에서 만들어진 소속도변수와 소속도함수 변수값을 디퍼지화 계산 하는 프로그램이다. Fig. 4-5는 관리자에게 현재가동상황 정보인 온도, 압력, 전류값에 따라 변화되는 "0" 부터 "1" 사이의 정량화된 이상진단결과 정보를 보여주는 화면이다.

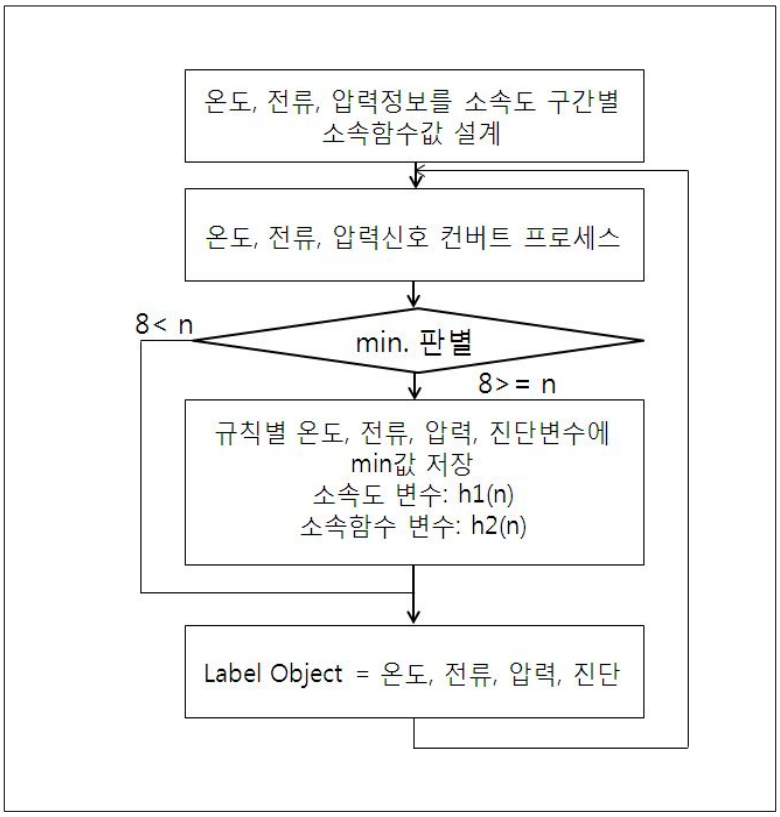


Fig. 4-4 Flow chart of fuzzy inference

Collection @ chosun

Fig. 4-4에서 첫 번째 실행내용은 소속도에 대한 소속도함수값을 추론하기 위한 구간을 각각 온도는 10℃, 전류는 1A, 압력은 0.5bar로 나누어 설계하는 프로그램의 흐름이며, min 판별에서는 온도, 압력, 전류정보를 8개의 퍼지규칙조건을 비교하면서 가장 작은 소속도함수를 진단변수에 전달하는 과정이다.

Table 4-5 Defuzzification program source code

```
n = 8                                   '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 = h1(i) / h2(i)                       'h is defuzzification value
```

Table 4-5에서는 h1과 h2의 배열형 변수로서 각 소속도함수의 값과 소속값을 누적하여 디퍼지 결과값을 'h' 변수에 저장한다. 추론기관의 구성은 퍼지관계의 합성을 처리하는 min-max 법을 사용 하였으나, 본 시스템에서는 우선적으로 min 값 처리만 하고, 추론을 반복하면서 자동으로 누적되며, max 값이 만들어진다. 따라서 공기압축기에 설치한 여러 개의 센서에서 들어오는 정보를 조건에 맞는 소속도함수에 대응하면서, 각 추론규칙의 조건별로 소속값을 얻는 것이다.

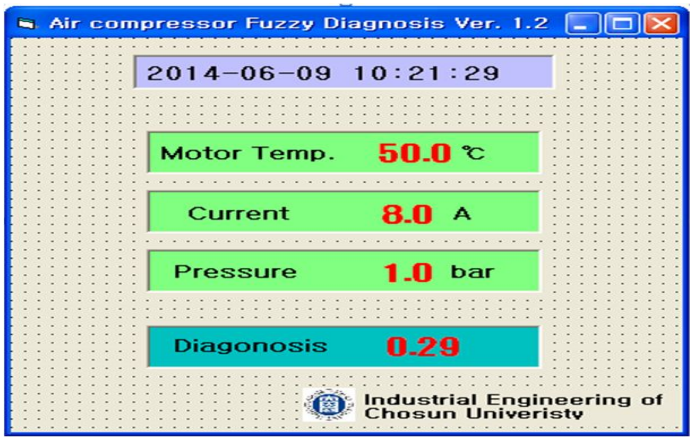


Fig. 4-5 PC monitoring of diagnosis

Collection @ chosun

Fig. 4-5는 FE_AFCDM으로 온도는 50℃, 전류는 8A이며, 흡입압력이 1bar일 경우에 출력한 진단상황 이다. 여기서 퍼지추론값이 “ 0.29 ” 라는 것은 일반관리자가 판별하기에는 현재 공기압축기의 가동, 운전 상황이 어느 정도인지를 판단하기 곤란하므로 Fig. 4-6과 같이 노모그래프(nomo graph)방법을 통하여 그래프 범위 내에 현재의 위치를 시각적으로 인지하여 공기압축기의 가동, 운전 상태 등을 알수있다.

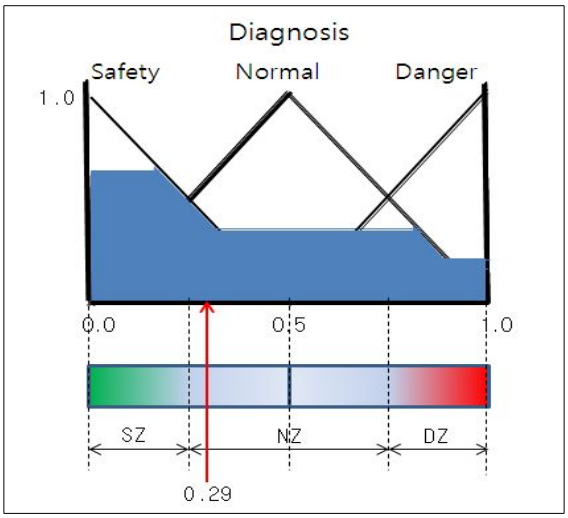


Fig. 4-6 Result of fuzzy synthesis

다음은 Fig. 4-6에서 제시한 진단결과 정보를 Table 4-6에서와 같은 각 구간별 대책을 매뉴얼로 설계, 제시하였다.

Table 4-6 Manual of FE_AFCDM

진단구간	진단결과	조치 및 대안
0.00 ~ 0.25	Safety	지속운전 가능
0.25 ~ 0.50	Safety -> Normal	오일, 각종 소모품류 점검
0.50 ~ 0.75	Normal -> Danger	이물질 혼입, 구동부 노후화 진행 (소모품류 사용기간 확인)
0.75 ~ 1.00	Danger	점검 기간 경과(즉시 점검 필요)

Collection @ chosun

진단의 소속도 구간을 “Safety” 에서 “Danger” 4개의 구간(zone)으로 나누어, “0.00 에서 0.25 구간”은 “Safety” 구간, “0.25 에서 0.75 구간”은 전체적인 “Normal” 구간이다. 여기서 “0.25에서 0.50 구간”은 “Safety”에서 “Normal″로 진행하는 구간으로서 ”Safety″ 구간을 벗어나 있기 때문에 공기압축기의 주위 환경, 오일외 소모품류, 구동부의 메커니즘 등에 문제가 일어날 수 있는 구간으로 볼 수 있다.

“ 0.50 에서 0.75 구간”의 구간은 “Normal″ 에서 “Danger” 상황으로 진행이 되어가는 과정으로 고장이 발생할 수 있는 요인이 높아져 이에 따르는 대책이 필요하다. “0.75 에서 1.00구간”은 “Danger” 구간으로 공기압축기가 가동, 정지 되는 상황이 전개 될 수 있을 뿐만 아니라, 각종 안전사고가 발생할 수도 있을 것이다. 이에 Table 4-6 에서는 각 구간별 진단 결과상황과 공기압축기 점검을 기존 방법의 정기점검과 함께 최소한의 조치 및 대안을 제시 하였다. 이것은 본 연구에서 설계한 FE_AFCDM으로 공기압축기가 최적의 성능과 효율을 유지하면서 가동, 운전 할 수 있게 하는 방안이기도 하다.

Collection @ chosun

제 5 장 결 론

제 1 절 연구결과

본 연구 에서는 왕복동형(reciprocating type) 공기압축기(air compressor)가 실시간(real time)으로 가동, 운전 하면서 발생되고 있는 온도, 압력, 전류값의 정보를 데이터베이스(DB)로 PC에 저장하여 모니터링(monitoring)하는 FE_AFCDM(Fuzzy Expert_Air compressor Fault Condition Diagnosis Model / 퍼지전문가_공기압축기 고장 이상진단 모델)을 설계, 제안 하였다. 실제로 공기압축기는 다양한 부품으로 구성되어 상호 유기적으로 작동되고 있으며, 이러한 공기압축기 들은 부품들의 이상 가동 상태가 불규칙 하거나, 불확실한 정보가 되어 비전문가가 이상가동 상태를 파악, 분석, 판단 하기 에는 어렵고 애매모호한 상황이 될 수 있다.

따라서, FE_AFCDM에서는 공기압축기의 각 요소에 장착한 센서에서 만들어진 정보를 퍼지화(fuzzification)하기 위해 퍼지소속도함수(fuzzy membership function)와 퍼지규칙(fuzzy rule)을 설계하여, 퍼지추론 알고리즘(fuzzy inference algorithm)에 의한 퍼지 상태값을 생성 하였다. Mamdani의 Min-Max법 규칙과 무게중심법(COG : center of gravity)으로 공기압축기의 실시간(real time)으로 불확실하고, 애매모호한 상황들을 정량적인 이상가동 상태값으로 제시하는 모델이다. 이는 본 모델의 시뮬레이션 실험을 통해 가동, 운전중에 공기압축기 가동상태값(퍼지추론값)으로 “ 0.29 ” 의 정보를 얻었다. 이것은 퍼지추론결과 소속도함수에서 'Safety'에서는 낮은 신뢰도이지만, 'Normal'에서는 좋은 상태를 나타내어 전문가가 아닌 비전문가들도 공기압축기의 정상적인 가동, 운전을 하기 위하여, 의사결정을 할 수 있는 모델이다. 또한 시각적인 숫자표현과 함께 노모 그래프(nomo graph)방법으로 제시하여 좀 더 정확하고, 신속한 정보를 전달할 수 있었으며, 노모 그래프 진단구간에 따른 진단결과와 조치 및 대안의 매뉴얼을 제시 하였다.

이러한 FE_AFCDM은 마이크로 콘트롤 프로세서(MCP)의 다양한 기능으로 디지털 입력 및 출력(DIO) 포트에 의해 압축공기(compressed air)의 품질(quality) 향상과 에너지절감(energy saving)의 효과를 기대할 수 있었으며, 비전문가도 공기압축기가 설치되어 있는 현장에 가지 않고, 지그비(zigbee) 무선 송신 및 수신, 모듈과 통신 포트에

Collection @ chosun

의해 원격 모니터링(remote monitoring)을 구현 할 수 있었다. 또한 컴퓨터의 데이터베이스(DB)를 연동한, 왕복동형 공기압축기의 실시간 운전 상태를 수시로 모니터링 하여, 각종 필터(filter)류와 같은 필수적인 소모부품의 교체주기와 정비일정 준비 등 미리 조치를 취할 수 있어 안전 하고 경제적이며, 효율적인 공기압축기 가동, 운전을 할 수 있을 것으로 본다.

FE_AFCDM의 왕복동형 공기압축기는 실시간(real time) 모니터링과 퍼지추론 알고리즘, 가동정보 데이터베이스 연동과 가동상태를 정량값 으로 출력 할 수 있으며, 프로그램 은 마이크로소프트사의 Visual BASIC 6.0과 MDB와 연계하여 설계 하였다. 하드웨어는 최근 마이크로 콘트롤러(micro controller) 기술의 발전으로 업그레이드가 용이한 프로세서(processor)를 이용하였다. Atmel사의 Atmega 128L-16을 통하여 각 포트에 인터페이스(interface) 하였고, 공기압축기가 가동, 운전 하면서 발생하는 물리적인 정보는 온도, 압력, 전류센서 신호 증폭과 변환회로를 통하여 정량값 으로 변환할 수 있는 모듈 단위 형태로 설계 하였다.

FE_AFCDM을 제안한 왕복동형 공기압축기(air compressor)는 효율적인 가동을 통하여 균일한 압축공기(compressed air) 의 품질(quality) 유지와 에너지절감(energy saving), 각종 산업안전사고 예방 및 생산성(productivity) 향상에도 많은 기대가 예상된다.

제 2 절 향후과제

향후 연구에서는 모니터링 시스템(monitoring system) 및 메니지먼트 시스템(데이타베이스, 메인터넌스 등)에서 얻어진 다양한 정보들이 여러 환경조건과 작업 부하량에 따라 해당하는 데이터(data)들을 높이거나, 낮추는 가중치를 주어 새로운 모델과 FE_AFCDM의 정량값을 비교하여 상황에 따라 대처할 수 있는, 능동적인 모델(대기습도의 조정, 응축수의 양 파악, 이상 소음 및 진동의 정도 분석, 압축공기의 품질 등급파악, 등)들을 개발, 설계하여 친환경적 및 신뢰성(reliability)확보와 안정성을 높이고, 최적화(optimization)된 알고리즘(algorithm)개발 및 연구가 지속적으로 필요 하리라 본다.

Collection @ chosun

참 고 문 헌

1. A. H. Jones, B. Porter and R. N. Fripp, Qualitative and quantitative approach to the diagnosis of plant faults, Proc. IEEE 3rd Int. Symp. On Intelligent Control, pp.87-92, 1989.
2. A. J. Barbera, Computer Simulation, Design and Control Tool, Technical Notes, Advanced Technology Research Corp, 1990.
3. A. J. Barbera, M.L. Fitzgerald and J. S. Albus, Concepts for a real time sensory interactive control system architecture, Proc. 15th Southeastern Symp. On System Theory, 1982.
4. A. Kaufmann. “Introduction Theory of Fuzzy Subsets”, Vol. I. Academic Press. New York. 1975.
5. A. S. Willsky, Asurvey of design method for failure detection in dynamic system, Automatica 12, pp.601-611, 1976.
6. Bezdek, J. C. and S. K. Pal, Fuzzy Model for Pattern Recognition - Methods That Search for Structures in Data, IEEE Press, 1992
7. B.J. Choi, S.W. Kwak, A. Nabout,"Resundant fuzzy rules Exclusion by Genetic Algorithms," Fuzzy Sets and Systems 100, pp.235-243, 1998.
8. C. B. Brown. “A Fuzzy Safety Measure”, J. Eng. Mech. Div. Vol.5. 1979. pp. 855-872.
9. Choi CW, General principles and construction of an industrial air compressor, Journal of Facilities, 2002, Vol.31, No.11, pp.31
10. Durkin, John, Expert Systems; Catalog of Applications, Intelligent Computer Systems, P.O. Box 4117, Akron, Ohio, 1993.
11. D.Y. Yoon, "AVR Atmega128 MASTER", Ohm company, 2006.
12. F. Hayes-Roth, D. A. Waterman and D. B. Lenat. An Overview Of Expert System in Building Expert System, Addison-Wesley. 1983. pp. 127-167.
13. F. Stevenson and D. Greenwood, Tool Wear Estimation Using neural Networks, Netrologic, Inc. Report, San Diego, CA
14. F.W. Billmeyer, Jr., Textbook of Polymer Science, John Wiley & Sons, Ny, 1984.

Collection @ chosun

15. G. A. Ekama et, al. “Consideration in the Process Design of Nutrient Removal Activited Sludge Process”, Wat. Sci. Tech. Vol. 15. 1983. pp. 283-318.
16. Giarrarano, Joseph, Expert System:Principles and Programming, 3/E, PWS Publishing, 1998.
17. Gruber, T., Learning Why by Being Told What : Interactive Acquisition of Justification, IEEE Expert, Aug. 1991, pp.65-75
18. Hayes Roth, F., D.A Waterman and D.B. Lenat, An Overview of Expert Systems, in Building Expert Systems, Addison-Wesley, Inc., 1983
19. Harunori Yoshida, T,. Iwami, H. Yuzawa, and M. Suzuki, Typical Faults of Air-Conditioning Systems and Fault detection by ARX model and Extended kalman Filter, ASHRAE Trans., V.102, Part 1, 1996
20. H. C. Peitsman, V.E. Bakker, Application of Black-Box Models to HVAC System for Fault Detection, ASHRAE Trans., V.102, Part 1, 1996.
21. H. E. Mamadani. “Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controllers”. Int. J. Man-Machine Stud., Vol. 8. 1976. pp. 669-678.
22. H. E. Mamadani. “Advances in the linguistic values, Fuzzy Sets and Systems”. Vol. 4. 1980. pp. 99-115.
23. 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.
24. Jang JS, Lee BY, Ji SW. Pneumatic Technology Theory & Application, Bomundang, 2008. 11.
25. J. A. Franklin, R.S. Sutton and C. W. Anderson, Application of connectionist learning methods to manufacturing process monitoring, Proc. IEEE 3rd Int. Symp. On Intelligent Control, pp.709-712, 1988.
26. J. C. Lush and P. K. Fink, Expert system and diagnostic expertise in the mechanical and electrical domains, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. SMC-17, pp.340-349, 1987.
27. J. Lee, Adaptive control tool monitoring in machining, SME Technical Paper mR86-131,

Collection @ chosun

Conference Proceeding of Advanced Machining Technology for Cell and FMS, 5, 1986.

28. J. Lee, Modern computer-aided maintenance of manufacturing equipment and systems;Review and Perspective, Computers ind. Engng Vol.28, No.4, PP.793-811, 1995
29. Johnson, P.E., I.Zuakernan and S.Garber, Specification and Expertise : Acquisiton for Expert Systems, Int. J. of Man-Machine Studies, Vol.26, 1987, pp.161-181
30. K. B. Nisra and G. G. Weber. "A New Method for Fuzzy Fault Tree Analysis, Microelectronics Reliability". Vol. 29. No. 29. 1989. pp. 195-212.
31. K. Marko, Automotive control system diagnostics using neural network for rapid pattern classification of large data sets, Proc. Int. Neural Net Society Meeting, Washinton, DC, pp.13-16, 1989.
32. K. R. Pattipati and M. Alexandrisis, Application of heuristic and information theory to sequential fault diagnosis, Proc IEEE 3rd Int. Symp. On Intell. Control, pp.291-296, 1989.
33. 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.
34. L. A Zadeh. "A Fuzzy Logic and Approximate Reasoning, Synthese". Vol.30. 1975. pp. 407-428.
35. L. A. Zadeh. "A Fuzzy Algorithmic Approach to Definition of Complex and Imprecise Concepts", Int. J. Man-Machine Stud. Vol.8. 1976. pp. 249-291.
36. L. A. Zadeh. "The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning", Information Sci. Part I; Vol. 8, pp. 199-249. Part Ⅱ; Vol.8. pp. 301-357. Part Ⅲ; Vol.9, 1975. pp. 43-80.
37. Lefteri H. T soukalas, Robert E.Uhrig, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley&Sons Inc, 1997.
38. L. E. Holloway and B. H. Krogh, Fault detection and diagnosis in manufacturing system: a behavioral model approach, Proc. The 2nd Int. Conf. on CIM, Troy, NY, pp.252-259, 1990.

Collection @ chosun

39. M. Elliot. Knowledge-based systems for reliability analysis, Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp. 1990. pp. 481-489.
40. M. J. Pazzani, Failure-driven learning for fault diagnosis heuristics, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. SMC-17, pp.380-394, 1987.
41. M. M. Arjunan, Diagnosing multiple faults in intelligent control and automated systems, Proc. IEEE 3rd Int. Symp. Intell. Control, pp.93-97, 1989.
42. M. Sugeno and G. T. Kang. “Structure Identification of Fuzzy Model, Fuzzy Sets and Systems”. vol. 28. 1988. pp. 15-33.
43. Netrologic, Inc, Report on Space Transportation Analysis and Intelligent Space System, NASA SBIR NAS9-17995, 1990.
44. Nam SB, Lim HJ, Lee HG, "Embedded System", Dooyangsa, 2005.
45. Neuron Data, NEXPERT OBJECT V2.0 Programmers Reference Manual, 1991;Palo Alto, CA.
46. N. H. Narayanan and N. Viswanadham, A Methodology for knowledge acquisition and reasoning in failure analysis of system, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. SMC-17, 1987.
47. O. Yue and Y. Lirov, Metadiagnosis, Proc. IEEE 3rd Int. Symp. Intell., 1989, pp. 303-306.
48. P. Cheeseman. “Probabilistic versus fuzzy reasoning”, Uncertainty in Artificial Intelligence. Vol.4. 1990. pp. 85-116.
49. P. Love and M. Simaan, A Knowledge-based approach for detection and diagnosis out-of-control events in manufacturing processes, Proc. IEEE 3rd Int, Conf. in Intelligent Control, 1989, pp.736-741.
50. R. E. Bellmann and L. A. Zadeh. Local and fuzzy logics in: G. Epstein, Ed., Modern Use of Multiple-Valued Logic(Reidel, Dordrecht), 1977. pp. 103-165.
51. R. E. Uhrig and Z. Guo, Use of neural networks to identify transient operating conditions in nuclear plants, Proc. SPIE, Vol.1095, Application of Artifical Intelligence VII, pp.851-856, 1989.
52. R. Isermann. Process fault detection based on modelling and estimation methods, Proc,

Collection @ chosun

Int. Federal, of Automatic Control, 1984, pp.387-403.

53. R. Marczewski, An expert system for machine tool diagnosis, Proc. 2nd Engng Soc. Of Detroit Conf. on Expert System, Detroit, 1988, pp.161-172.

54. R. Milne, Strategies for diagnosis, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet, SMC-17, 1987, pp.333-339.

55. Robert Robertson, MD, Compressed Air Manual, Atlas copco Compressor AB, Sweden, 1998. 9

56. R. Valette, J. Cardeso and D. Dubois, Monitoring manafacturing by means of Petri-nets, Proc. IEEE Conf. On Intelligent Control, 1989.

57. S. D. Im, J. R. Kim, "Research of Real-Time Remote Operation for Quality Improvement of the Air-compressor : Case Study of Reciprocating Air-compressor", Society of Korea Industrial and Systems Engineering Vol. 37, No. 1,pp33-40, 2014.

58. S. Jowers and J. H. Painter, Symbolic diagnosis for intelligent control, Proc. IEEE 3rd Int. Symp. On Intelligent Control, 1989, pp.280-290.

59. Slade, S., Case-Based Reasoning : A Research Paradigm, AI Magazin, Spring, 1991.

60. S. Post and A. Sage, An overview of automated reasoning, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. 20, 1990, pp.202-224.

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

62. Stearns, S.D., 1988, Signal Processing Algorithm, Prentice-Hall.

63. T. B. Feagans and W. F. Biller. Fuzzy Concepts in the Analysis of Public Health Risks, Plenum Press. New York. 1980.

64. T. W. Cooley and T. O. Hicks. A Fuzzy Set Approach to Aggregation Internal Control Justment, Management Sci. Vol.29. 1983, pp. 317-334.

65. U. S. Bitite and A. Ross, PLC based diagnostics system for FMS, Proc. Of 7th Int. Conf. on FMS, 1988, pp.201-211.

66. V. Jacob and H. Pirkul, A framework for networked knowledge-based system, IEEE Trans.

Collection @ chosun

On Syst. Man. Cybernet. 20, 1990.

67. W. C. Yoon and J. M. Hammer, Deep-reasoning fault diagnosis: an aid and a model, IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. 18, 1988.
68. W. Fairey, A fault finding hierarchy for PLC-controlled equipment, Programmable Control Magazine, 1991, pp.44-45.
69. W. Jang, Process Fault Diagnosis Using Fuzzy Cognitive Map, Dankook university, 1994.
70. Y. Ishida, N. Adachi and H. Tokumaru, A topological approach to failure diagnosis of large scale system, IEEE Trans. On Syst. Man. Cybernet. SMC-15, 1985, pp.129-141.
71. Y. L. Su and T. Govindaraj, Fault diagnosis in a large dynamic system: experiments on a training simulator, IEEE Trans. On Syst. Man. Cybernet, SMC-16, 1986.
72. Zigbee Architecture Overview.(2005). Zigbee Alliance.
73. Hong DS., Introduction to Fuzzy Systems For Engineers, Munundang, 2010. 8.

Collection @ chosun