

안전분야-연구자료
연구원 2000-16-136
S-RD-I-2000-16-136

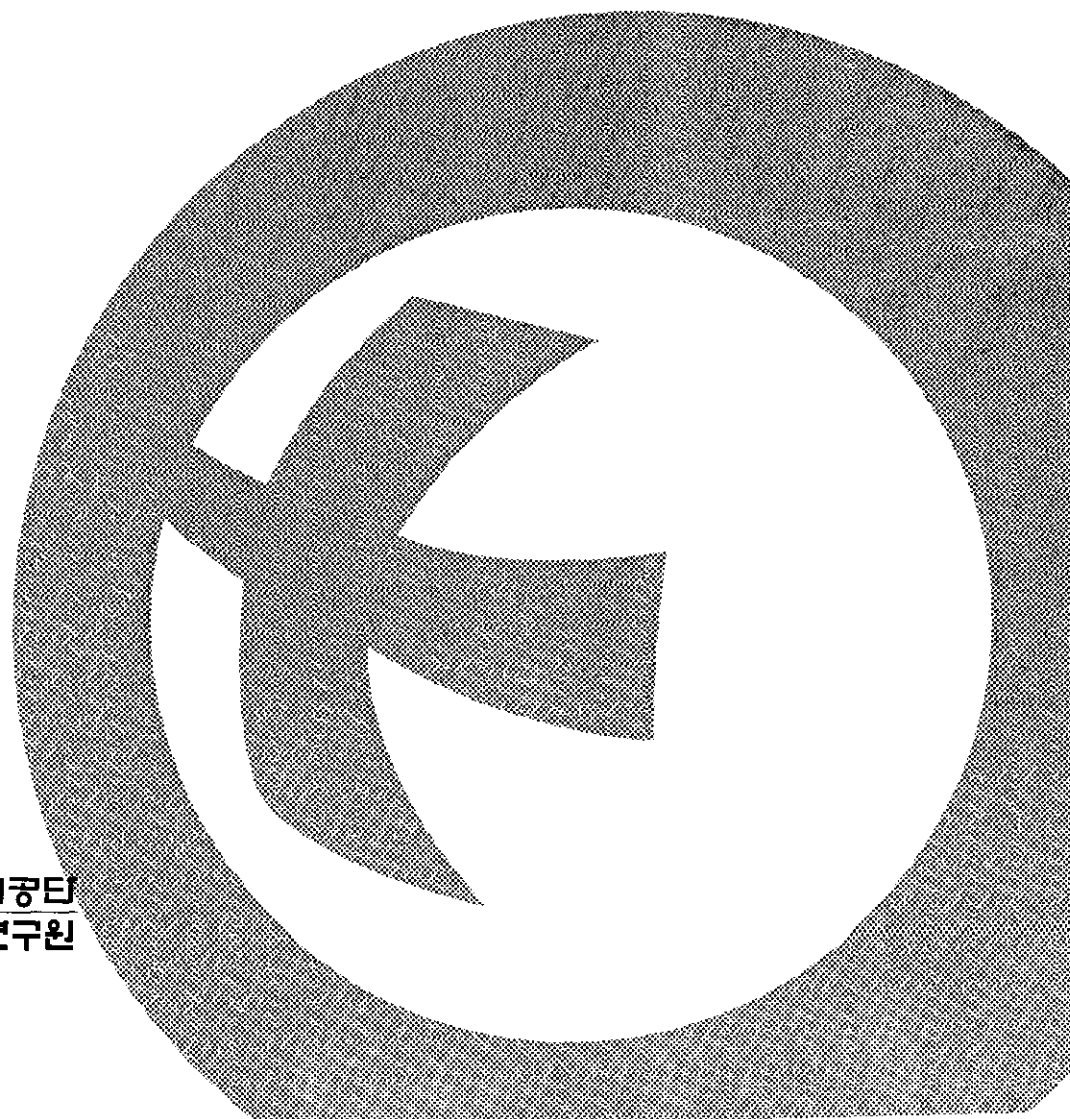
사업장의 체계적인 안전관리를 위한 Expert System 구축에 관한 연구

A Study on Expert System for Systematic Safety Control
of Industrial Factory

(화학설비의 이상 진동누출 진단 전문가 시스템 개발)



한국산업안전공단
산업안전보건연구원



제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서는 1999년도 산업안전보건연구 개발사업의 일환으로 수행한 『사업장의 체계적인 안전관리를 위한 Expert System 구축에 관한 연구』의 최종 보고서로 제출합니다.

1999년 12월 31일

주관연구부서 : 산업안전보건연구원 안전공학연구실

주관연구책임자 : 수석연구원 김두환

공동연구기관 : 한양대학교

공동연구책임자 : 공학박사 오재웅

연구원 : 공학박사 신 준

공학박사 손동구

박사과정 김우택

석사과정 이충위

차 례

제 1 장 서론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구 기간	3
3. 연구방법 및 범위	4
제 2 장 화학설비의 위험성과 진단 엑스퍼트 시스템	6
1. 화학설비의 위험성과 재해통계분석	6
2. 설비 진단과 신호처리 기술	13
3. 설비 진단 전문가 시스템 개요 및 구성	33
제 3 장 화학설비 진단시스템 실태조사 분석 및 고찰	44
1. 사업장의 화학설비 안전진단 시스템 실태조사	44
2. 설문 실태조사 분석 및 고찰	47
3. 개선방향	59
제 4 장 안전진단 엑스퍼트 시스템 개발	61
1. 전체 시스템 구성	61
2. 안전진단 하드웨어 및 소프트웨어 시스템 개발	69
제 5 장 시스템의 현장 기초실험 및 고찰	87
1. 현장 기초자료실험적용	87
2. 시험 결과 고찰	107

제 6 장	진단시스템 현장적용 실험고찰 및 평가	112
1.	진단실험 방법 및 실험	112
2.	설비별 진단실험	114
3.	이상모드 진단평가 고찰	121
제 7 장	결론	133
참고 문헌		135
부록		139

표 차 례

<표2-1> 10년간 재해자통계	10
<표2-2> 산업별사고 발생형태	11
<표2-3> 장치별 발생형태	12
<표2-4> 세계주요누출사고통계	12
<표2-5> 세계주요화재사고통계	13
<표2-6> 화학설비의 시설경과 년수	13
<표2-7> 이상검출비교대상	20
<표2-8> 회전체의 이상 현상과 특징	21
<표2-9> 전문가 시스템의 장·단점	34
<표2-10> 회전기계 이상과 진단 지표와의 상관관계	41
<표3-1> 설문분류 및 항목 구성	46
<표3-2> 이상진단기본조사 항목 구성	46
<표3-3> 사용 유해위험물 종류	49
<표3-4> 사업장 규모별	50
<표3-5> 안전관리자 자격 현황	51
<표3-6> 고장진단전문가시스템 인지 여부	55
<표4-1> RMS와 1차 RF에 의한 판단 테이블	66
<표4-2> RMS와 진단 지표수에 의한 판단 테이블	66
<표6-1> 공장별 펌프에 대한 진단 결과	116
<표6-2> 공장별 반응기에 대한 진단 결과	118

그림 목차

[그림 2-1] 반응기 구조의 예	8
[그림 2-2] 원심펌프의 구조 예	8
[그림 2-3] 유형별 사고 분류	11
[그림 2-4] 연대별엑스퍼트시스템개발	15
[그림 2-5] 문제유형별 전문가 시스템적용	15
[그림 2-6] 각종 적용된 엑스퍼트시스템	16
[그림 2-7] 엑스퍼트 시스템의 구성	17
[그림 2-8] 설비진단기술 표준검출법	19
[그림 2-9] 열화지표 표준패턴	19
[그림 2-10] 유한길이에 대한 주기성분누설현상	27
[그림 2-11] Bartlett Window	29
[그림 2-12] Hanning window	30
[그림 2-13] Hamming window	31
[그림 2-14] 엑스퍼트시스템 개발이용체계	36
[그림 2-15] 엑스퍼트시스템개발구축순서	37
[그림 2-16] 전문가 시스템의 일반적인 구조	39
[그림 3-1] 사업장의 주업종	47
[그림 3-2] 기계시설의 형태	48
[그림 3-3] 안전관리 전담부서	50
[그림 3-4] 안전관리자 자격	51
[그림 3-5] 통계 프로그램화	51
[그림 3-6] 안전보건관련 프로그램 요구도	52
[그림 3-7] 가스 누출 시 작업상태	53

[그림 3-8] 가스누출사실 인지	53
[그림 3-9] 가스누출탐지 방법	54
[그림 3-10] 이상고장 진단 원인 추정 장비	54
[그림 3-11] 전문가 시스템현장 필요 여부	55
[그림 3-12] 전문가 시스템 현장 사용 여부	55
[그림 3-13] 소음진동 정기 측정 여부	56
[그림 3-14] 오감을 통한 간이진단 여부.....	56
[그림 3-15] 오감정보 기록 여부	57
[그림 3-16] 회전 주파수 정보 유무.....	57
[그림 3-17] 무료진단 실시 수공 여부	58
[그림 4-1] 진단 시스템의 전체 구성도	62
[그림 4-2] RMS 차이에 대한 멤버십 함수	64
[그림 4-3] 1차RF 차이에 대한 멤버십 함수	65
[그림 4-4] 출력에 대한 멤버십 함수	65
[그림 4-5] 퍼지 추론에 의한 진단결과 산출과정의 도식화	68
[그림 4-6] 진단 시스템의 hardware 외형	69
[그림 4-7] 진단 시스템의 하드웨어 구성	73
[그림 4-8] 진단 시스템의 software 구성도	76
[그림 4-9] software 구성시흐름도	77
[그림 4-10]시스템초기화면	78
[그림 4-11] 센서설치화면	80
[그림 4-12] 디스플레이고정화면	81
[그림 4-13] 분석준비화면	82
[그림 4-14] 단위설정	83
[그림 4-15] XY축범위설정	84
[그림 4-16] 입력데이터완성도	85
[그림 4-17] 진단결과출력도	86

[그림 5-1] A공장 펌프의 진동 측정위치 및 방향	87
[그림 5-2] A공장 펌프 좌우측 진동에 대한 주파수 데이터	88
[그림 5-3] A공장 배관 진동에 대한 주파수 데이터	89
[그림 5-4] A공장 컴프레서의 진동 측정위치 및 방향	89
[그림 5-5] A공장 컴프레서 진동에 대한 주파수 데이터	90
[그림 5-6] B공장 펌프의 진동 측정위치 및 방향	91
[그림 5-7] B공장 펌프 좌우측 진동에 대한 주파수 데이터	92
[그림 5-8] B공장 Dissolver의 진동 측정위치 및 방향	92
[그림 5-9] B공장 Dissolver 좌우측 진동에 대한 주파수 데이터	93
[그림 5-10] B공장 반응기의 진동 측정위치 및 방향	94
[그림 5-11] B공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터	95
[그림 5-12] C공장 펌프의 진동 측정위치 및 방향	96
[그림 5-13] C공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터	96
[그림 5-14] C공장 반응기의 진동 측정위치 및 방향	97
[그림 5-15] C공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터	98
[그림 5-16] D공장 펌프의 진동 측정위치 및 방향	98
[그림 5-17] D공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터	99
[그림 5-18] D공장 반응기의 진동 측정위치 및 방향	100
[그림 5-19] D공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터	101
[그림 5-20] D공장 증발기의 진동 측정위치 및 방향	101
[그림 5-21] D공장 증발기 진동에 대한 주파수 데이터	102
[그림 5-22] D공장 배관의 진동 측정위치 및 방향	102
[그림 5-23] D공장 배관 진동에 대한 주파수 데이터	103
[그림 5-24] D공장 모터의 진동 측정위치 및 방향	103
[그림 5-25] D공장 모터 좌우측 진동에 대한 주파수 데이터	104
[그림 5-26] E공장 펌프의 진동 측정위치 및 방향	105
[그림 5-27] E공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터	105

[그림 5-28] E공장 반응기의 진동 측정위치 및 방향	106
[그림 5-29] E공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터	107
[그림 6-1] 펌프에 대한 진단 실험 장면	114
[그림 6-2] 펌프에 대한 진단 초기 화면	115
[그림 6-3] 펌프에 대한 진단 결과 화면	116
[그림 6-4] 반응기에 대한 진단 실험 장면	117
[그림 6-5] 반응기에 대한 진단 초기 화면	118
[그림 6-6] 반응기에 대한 진단 결과 화면	119
[그림 6-7] 증발기에 대한 진단 초기 화면	120
[그림 6-8] 증발기에 대한 진단 결과 화면	121
[그림 6-9] 언밸런스에 의한 진동 데이터의 변화	123
[그림 6-10] 언밸런스에 대한 진단 결과	123
[그림 6-11] 미스얼라인먼트에 의한 진동 데이터의 변화	125
[그림 6-12] 미스얼라인먼트에 대한 진단 결과	125
[그림 6-13] 오일 휠에 의한 진동 데이터의 변화	126
[그림 6-14] 오일 휠에 대한 진단 결과	127
[그림 6-15] 베어링 결함에 의한 진동 데이터의 변화	128
[그림 6-16] 베어링 결함에 대한 진단 결과	129
[그림 6-17] 느슨한 체결에 의한 진동 데이터의 변화	131
[그림 6-18] 느슨한 체결에 대한 진단 결과	132

요 약 문

1. 과 제 명: 사업장의 체계적인 안전관리를 위한 Expert System
구축에 관한 연구

2. 연구기간: 1999. 1. 1. - 1999. 12. 31.

3. 연 구 자 : 안전보건연구원 수석연구원 김두환

4. 연구목적:

사업장의 대소형 화학설비들이 연속 자동으로 운전됨에 따라 근로자들의 실수나 오동작으로 예측하지 못한 돌발사고로 설비의 이상과 고장이 발생하여 저장조, 반응기 등의 체결부인 구동부분, 배관, 후랜지 이음부분에서 유해화학 위험 물질이나 가연성 가스가 누설, 누출되어 화재폭발 중독 등의 대형 산업재해가 일어나 막대한 인적·물적·경제적인 손실이 초래되고 있다. 특히 설비의 체결부에서 발생하는 누출현상은 진동원 정도에 따라 차가 크므로 이에 대한 주기적인 감시기능이 필수적으로 요구되지만 중소기업은 작업자의 오감에 의한 정성적 평가로 이상 진동현상을 정량적으로 분석하지 못

하고 있다. 이로 인한 누출결함을 예지 할 수 있는 시스템이 요구되나 고가의외제로 경제적으로 빈약한 중소기업은 생각지도 못하므로 이를 극복하고 안전관리 기술기반이 열악한 중소기업의 체계적인 종합 안전관리 시스템구축에 활용할 수 있는가종 신호처리기술 및 인공 지능적 판단기법을 내재한 하드웨어시스템의 국산화와 자동 해석할 수 있는 단 채널 장치를 개발하는 것을 목적으로 한다.

5.연구내용:

- ① 엑스퍼트 시스템 개발을 위한 현장 실태조사 및 자료 분석을 통한 문제점을 도출하여 개발 시스템에 적용.
- ② 진동 계측을 위한 센서 및 증폭기를 포함하여 데이터 수집을 위한 장치와 컴퓨터와의 인터페이스 기능을 수행할 수 있는 진단 모니터링 시스템을 하드웨어적으로 구축한다.
- ③ 진단 전문가 시스템 개발을 위해 각종 신호처리 기술과 퍼지 추론 방식을 응용하여 측정된 신호로부터 효과적인 진단 결과를 추론할 수 있는 소프트웨어 모듈과 사용자 인터페이스 모듈을 개발한다.
- ④ 현장 실험을 통하여 화학설비의 회전체에 대한 전반적인 진동 경향을 파악하고 화학 설비에서 공통적으로 사용되는 주요 진단 설비와 각 설비별 진단 위치를 선정한다.
- ⑤ 개발된 시스템을 이용하여 모드별 모의 실험을 통한 개발된 진단 시스템의 성능을 수정보완 확인한다.

6. 활용계획

- ① 모든 기업에 간이진단, 정밀진단라인에서 본 시스템을 활용하므로 진단 작업의 효율화, 신속화와 통계자료확보, 안전 업무의 과학화가 도모 될 것이다.
- ② 정량적인 진단의 표준화로 주관적인 진단의 힘을 배제할 수 있다.
- ③ 진단 전문가의 여력을 다른 보다 건설적인 업무에 돌릴 수가 있다.
- ④ 중소기업의 설비이상 진단을 본 시스템활용으로 전문가의 진단기술, 노하우를 확실히 전승할 수 있고 모터메이커의 제품별 진동표준 데이터가 공급될 것이다.

7. 연구개요

산업이 발달함에 따라 각종 생산설비가 거대하고 고속 자동으로 무인화 되어가고있다. 특히 화학설비는 원료중에 내포된 가연성, 폭발성, 인화성, 산화성, 유독성이 포함된 위험물질들이 서로 화학 반응을 통해, 합성, 분리, 저장, 펌핑 이송 등의 과정을 거치는 동안에 온도, 압력, 유량, 유속등의 다양한 변수가 작용하고 있으므로 각종물질을 취급하는 근로자들이 표준작업 순서를 준수하지 않거나 반응속도 제어에 실패하면 반응조 내에서 이상 폭주반응, 배관을 통해 이송중 설비의 취약한 부분에서 유해가연성가스가 누출 인화되어 폭발, 화재등 중대 산업사고를 야기 시킬 수 있는 가능성이 현장에 다분히 잠재하고 있다. 특히 화학설비는 각종유해 위험물 및 대량의 에너지를 보

유하고 있어 일단 이상이 발생하여 사고가 일어나면 그 영향이 커서 인적, 물적, 경제적인 막대한 손실을 가져와 사회적 물의를 야기 시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 중대재해를 사전에 예방하기 위해서는 설비의 이상상태를 정량적으로 분석하여 발생한 원인을 신속하게 필요한 조치를 취할 수 있도록 감지할 수 있는 예측방법이 요망되고 있다. 따라서 회전구동 설비에 대한 진동전달 이상 상태 변화 추이를 추적 감시해서 누출여부를 사전에 파악 조치 하므로써 설비의 안전성을 확보하고 합리적인 공정관리를 할 수 있는 시스템 구축이 요망된다. 특히 중소기업은 모든면에 빈약하고 경제적인 환경요건도 열악하여 사전 예방이 어려운 상태이다. 따라서 본 연구를 추진하기 위한 설문조사 결과 다음 문제점을 도출 하였다.

- 1) 사업장의 화학설비에 사용하는 원재료는 유해 위험물질이 다양하고 이를 취급하는 시설도 다양하며 이 시설이 모두 배관라인으로 연결되어 있고 이송은 펌프를 이용한 자동이송으로 떨림에 따른 누출위험이 다량 잠재하고 있다. 특히 추운 겨울에 실내 환기시설이 잘 안될 경우 접합부나 밸브부분의 결함으로 누출된 가스나 인화성 물질이 폭발범위에 이를 수 있어 화재폭발의 잠재위험이 높다
- 2) 반응 교반장치의 샤프터 부분에서 누출이나, 모터를 이용한 반응저장조의 위험물질을 펌프로 2·3층 이상으로 이송시 힘의 전달에 따른 이상 떨림이나 부하가 많이 걸릴수 있어 진동이 전체 타 시설에 전달 될 때 누설의 잠재 위험성이 있음에도 회전체 구동부분에 구체적이고 과학적인

이상고장 진단 데이터 기록이나 진동측정장비가 대부분 비치 되어있지 않았다

- 3) 안전관리를 담당하는 부서의 안전 기술 수준이나 업무수행의 간소화, 재해통계 분석 업무가 과학화되지 못하고 있다
- 4) 안전관리를 과학화하려는 경영자의 안전 의지나 기업체 자체의 안전관리 기술 수준을 향상시키려는 정책적 노력이 부족하며 IMF에 따른 규제 완화로 안전관리자 자격 수준이 낮아져 전문화되지 못하고 형식적이어서 세계적인 경영안전 시스템적용 시대에 선진국에 비해 더욱 안전기술이 뒤떨어질 우려가 있다
- 5) 설비 가동의 기본인 모터 메이커의 표준화된 진동 DATA가 사용업체에 거의 없어 진단시 이상상태 정도의 성능진단 비교가 어렵고 수명예측 및 누설 가능성 예방대책에 차질을 가져올 수 있다

따라서 본 연구에서는 중소기업을 중심으로 범용성 있고 설비의 이상을 규명할 수 있는 효율적인 진단 시스템장비가 개발 공급되었다 해도 운용할 수 있는 경험 많은 전문가가 현장에 배치되는 것이 여의치 못하므로 정량적 평가관리에 객관적 신뢰성을 갖고 자율적인 안전관리 활동의 활성화를 도모하며 정기적인 안전진단의 고도지식을 누구나 쉽게 이해하고 해석운용 할 수 있는 전문가 시스템 구축이 요구되어야 한다는 결론을 얻고 이상 진단 장비의 저가 국산화와 진단결과를 전문적으로 해명할 수 있는 소프트웨어프로그램을 개발하여 제작한 시스템의 신뢰성을 현장에 적용 점검한 결과 다음과 같은 결론

을 얻었다.

1. 사업장의 화학설비 구동 회전체부의 진동이 배관시설로 전달되 후렌지 접합 부분 등에 가연성 가스누설을 측정된 결과 진동크기 피크시 실내 환기 상태에서 평균 0.5~2.5%/Vol가 누설되는 현상을 설비상태가 노후, 열화 되어 볼트 채움 이폴림, 마모, 부식, 팩킹 링의 뒤틀림등의 결함 부분일 때는 가스 누설 가능성이 더욱 높을 것으로 사료됨.

2. A,E사업장의 경우 펌프 진동이 배관에 미치는 영향조사에서 3축(XYZ) 방향에 대한 측정결과 펌프축의 미끄러짐이나 불균형시는 좌우진동보다 축 방향의 진동이 2-3배 커 펌프진동이 크게 증폭되어 배관 후렌지 등 전체 설비에 누출 등의 악영향을 미칠 가능성이 높다.

3. D공장 열교환기에 개발한 시스템의 판별능력 성능평가를 위해 시제품과 미제시스템을 동시 동일 조건으로 각2회씩 5주 간격으로 측정결과 주의45% 고장30%로 , 이상현상은 언밸런스로 출력, 똑같은 판정으로 나타나 시제품의 진단 활용신뢰성에 이상 없는 것으로 사료됨.

본 연구는 기간 및 예산상, 현재 단 채널로 개발되었으나 향후 지속적인 연구로 다 채널화시스템 개발이 시도되어야 진단활용범위가 폭넓게 될 것임.

그리고 현장에 다음사항이 이행 되도록 협력이 요망됨

가. 각 산업현장의 반응기, 합성장치 등의 구동부 모터는 구입시 고유 진동 표준화 DATA를 뉴-저에게 MSDS와 같이 첨부하는 것을 의무화 시켜야 할것이다

나. 현장에 상시 밸브, 배관, 후렌지 부분, 펌핑 부분의 누설 가능성이 있는 곳은 주기적인 측정과 자동 누출센서를 진동설비 진단기와 연계시켜 변화를 기록, 그래핑 할 수 있도록하고 디지털간이 측정기로 현장 근로자가 직접 확인 할 수 있도록 휴대함과 동시에 이상 발생시는 즉시 보고조치와 개선이 되도록 정책적인 배려가 요망된다.

다. 안전관리 기술 수준 향상을 위한 TOP의 관심과 근로자들의 휴먼에러에 따른 화재·폭발사고가 되지 않도록 기업 스스로 강화하는 안전 교육훈련이 요망된다.

라. 안전관리 업무의 과학적 처리를 위한 각종 분석 전산 프로그램 개발 공급이 다양하게 이루어져야 한다

마. 회전체의다체널 이상고장 진단 엑스퍼트 시스템 개발과 진동누설 연관 기준 지침이 요망된다. 저가의 진단 국산화장비가 각 사업장에 많이 공급 활용되어 산재예방에 기여할 수 있도록 구입자금 지원이 적극 정책적으로 이루어져야 한다.

바. 화학설비의 가스 및 유해위험물질의 진동 누설에 따른 폭발화재 사례집 개발과 모의 시뮬레이션이 안전교육용으로 활용되도록 제시 공급되어야 한다.

8. 중심어: 엑스퍼트시스템,인공지능모듈,이상진단,시뮬레이션,모니터링시스템 하드웨어, 소프트웨어, 퍼-지 추론, 인터페이스 모듈.

제 1장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

우리 나라 화학공업은 중소기업이 대부분을 차지하고 있다. 이들 사업장의 화학설비들은 석유화학 같이 대형 자동화 시설로 운전되는 경우도 있으나 소규모 공장은 대부분 인력에 따른 벤티 타일의 회분식 공장으로 근로자들이 화학설비를 운전, 보수 조작하고 이때 취급되는 물질들이 유해 위험물질로 제조 공정에서 혼합합성 화학반응으로 결합되는 동안 고온, 고열, 고압, 냉각, 이송 등의 과정에서 예측하지 못하는 이상상황이 돌발하여 중대사고를 일으키고 있다. 이들 원인은 주로 취급하는 근로자들의 급속한 상황에 대한 대처 기술이나 예지방법 등이 미숙하거나 휴먼에러에 의한 원인도 있으나, 설비상의 이상 즉 구동 부분의 이상 진동 전달에 따라 배관시설의 밸브, 후렌지 부분의 볼트 너트의 풀림, 가스켓트의 마모, 균열, 부식, 노화 등의 결함이 발생, 방치되어 유해위험 물질, 가스등이 누출 되므로써 주변의 고온이나 충격, 마찰, 용접 불티 같은 점화원에 인화되어 대형화재·폭발사고로 연결되어 기업에 막대한 인적, 물적, 경제적인 손실을 초래하고 국가사회에 불의를 일으키는 경우가 종종 있다. 1988년부터 1998년까지 과거 10년간 산업현장에서 발생한 산업재해 통계에 의하면 총 1,089,015명의 재해자중 39.3%인 428,361명의 재해자가 50인 미만의 중소기업에서 발생했다. 이들 재해자들을 50인 미만 사업장으로 환산하면 8,567개 사업장이 10년 동안 생산 못하고 휴업한 결과와 같다. 특히 화재·폭발

로 인한 재해자는 총 재해자의 3.9%인 42,472명으로 매일 11.6명의 재해자가 발생한 것과 같다. 또 10년 동안 총 사망자는 25,787명으로 이중에 4.3%인 1,109명이 폭발·화재 등으로 인한 재해자였다.

‘98년의 사망재해자 2,212명 중 3.5%가 폭발 화재 등으로 발생했다. 특히 ‘87~‘98년까지 화학설비에서 가연성 물질이 누출, 인화되어 폭발 화재등의 중대 산업사고는 141건으로 주원인은 휴먼 에러나 설비상의 누출 등 이상진단에 의한 안전점검 예측 감지검출 기술이 미약했던 점을 지적 할 수 있다. 부천 도시가스누출, 대구 지하철누출 폭발화재 이외 국제적인 동향도 이태리 세베소의 다이옥신 누출, 인도 보발시의 MIC 누출사고, 멕시코의 LPG 폭발사고, 인도 마드래즈 벤젠 누출 폭발사고 등 이상반응이나 누출인화로 대형재해가 발생하므로써 국제 여러 기구(UNEP의 HPEIL 프로그램, OECF(케미칼 프로그램 예방인지 대응 가이드라인과 지침 제정, ISO-18000, IPCS 화학물질 사고 예방 프로그램, ILO의 중대 산업사고 예방 협약 체결 AICM-안전조업 생산 RC 운동)들도 중대 산업사고 예방과 피해 최소화를 위한 제조 운송보관 폐기까지 화학물질로 인한 중대 산업사고 예방과 사고 대처방안으로 안전기법 개발 보급 등 적극적인 안전 활동을 전개하고 있다.

우리 나라는 경제개발 5개년 계획이 시작된 60년대 이후부터 70년 후반까지 각종 화학설비가 외국인 기술에 의하여 설계 제작 사용 된 것이 대부분이었고 30년이 경과한 90년대는 설계 당시와는 전혀 다른 계기 설비등이 매년 보수 개체가 지속되어 사고 잠재위험성이 크게 상존하고 있으며 설계수명의 안전평가를 하는데 많은 어려움을 가져오고 있는 현실이다. 특히 이러한 결함상태를 탐지하는 이상 안전진단 평가기술 등 핵심 기술 대부분도 외국기술진에 의존해 왔고 특히 우리 나라 기업은 외국인 기술진단만을 과대 신뢰하고 국내 기술 안전진단은 신뢰하지 않는 경향이 커서 국내 안전 진단기술의 발전과 기술

진 양성에 어려움을 가져온 계기가 되었다. 그러나 한국산업안전공단이 발족한 1987년 이후 선진안전 기술의 도입과 신뢰성 회복을 위한 꾸준한 노력은 이 장벽을 점차 해소하는 계기가 되고 있으나 아직도 첨단 고가 장비나, 국내에 알맞는 안전관리 기법 연구개발, 노하우 축적이 미약하여 안전성 기술 확보 측면에서 선진국에 뒤떨어지고 있다. 더욱이 IMF 이후 정책적인 규제 완화로 인한 유경험자 조기 퇴진, 안전 부서의 통폐합, 축소등은 기업의 안전관리 수준 향상을 더욱 위축시키는 장해요건이 되었으며 L화학, S기업의 중대 폭발화재, 시랜드 참사, 인천 호프집 화재는 올해의 안전관리의 수준 현실을 대변해 주고 있다고 말할 수 있을 것이다.

특히 안전관리의 체계적인 기술 확보를 위한 엑스퍼트 시스템 구축은 70년대 부터 선진국에서 각 분야에 개발되어 사용되고 있으며 선진국에서 중요 이슈화 되어 2000년부터 기업에 적극 시행되는 ISO-18000 경영안전보건 시스템은 안전기술 기반이 미약한 기업에서는 세계화 경쟁력시대에 더욱 어려움을 감수해야 될 것이다. 더욱이 국내에 어려운 환경 여건은 중소기업의 안전관리 수준 향상을 위한 전문적이고 체계적인 안전관리 시스템 구축 연구가 전무상태이다. 따라서 안전 기술기반이 미약하여 산업재해 40~50%를 점유하는 중소기업을 위한, 화학설비 구동 부분의 진동에 의한 이상누출 상태를 정량적으로 자동분석 제시하고, 고효율의 안전성을 유지할 수 있는 체계적인 안전 지능형 시스템을 연구 개발하여 중소기업의 생산성 향상과 경쟁력 강화에 기여할 수 있도록 적극 지원할 필요가 절실히 요구되고 있다.

2. 연구기간

1999. 1. 1 ~ 1999. 12. 31

3. 연구방법 및 범위

- 가. 본 연구를 수행하기 위하여 Expert system에 관련된 국내·외 문헌과 논문을 인터넷 및 KINIT를 통해 연구동향을 조사, 수집, 분석하여 이상 진단 예측 시스템을 중소 영세 사업장의 설비 안전관리에 적용시킬 기초 방안을 정립하고 사고사례를 통한 엑스퍼트 시스템 구축에 필요한 기초 추이를 설정했다.
- 나. 우리 실정에 맞는 Expert system 프로그램 개발에 필요한 자료의 설문안을 작성하여 산업안전교육원 안전관리자 실무과정 30명, 공정안전관리 전문과정 80명, 울산여천 석안회 회원 40명, 대전·인천 지도원 화학공장 협의회 50명 등을 대상으로 배포하고 직접 회수하여 통계분석 처리하였다. 이 DATA를 기반으로 현장에 알맞는 실용적인 소프트웨어 프로그램 개발방향 설정에 자료로 활용한다.
- 다. 각 기업의 Expert system에 관련 정보 및 활용실태를 파악키 위하여 기술자료 설문을 5개 지도원 관내 화학설비의 누출로 인한 화재·폭발 위험이나 개선이 요구되는 사업장을 각 한곳씩 선정받아 현장을 방문, 공무안전담당자와 인터뷰를 통해 취지를 설명하고 실태조사를 하였으며 화학설비의 누출 잠재 위험성이 큰 구동펌핑 부분의 진동 누출 상태를 파악하기 위해 정밀 진단 측정을 1주 간격으로 2회 실시한 후 공통 문제점을 도출하여 현장에 활용할 하드웨어 프로그램의 기초 자료로 활용했다.
- 라. 하드웨어를 제작하여 미국의 제진동 측정장비 SA-390와 같이 동일설비의 현장에 2~3회 적용 시험을 실시하여 그 결과 신뢰성 비교시험을 거쳐 수정 보완하고 입력된 진동자료를 해석 할 수 있는 소프트웨어 프로그램을 개발하였다.

본 연구의 범위는 화학설비의 구동부분 진동상태를 단일 채널 설비로 파악하여 이송설비의 접합부분에서 유해위험 물질의 가스상태 누출현상과 연관성을 규명하고 설비의 이상을 조기에 진단을 함으로써 예방 정비를 사전에 수행할 수 있도록

- 진동 데이터 수집 및 데이터 계측 진동, 모니터링 시스템 구성과 각종 모듈 개발하고
- 신호처리용 기술 및 엑스퍼트 시스템의 모의실험과 시뮬레이션을 통한 시스템 성능평가
- 현장 적용 실험을 통한 진단 시스템의 타당성 평가 및 수정 보완, 신뢰성 확보등 제시하는 소프트 프로그램 개발하는데 한정했다

2차 연도에 다채널 설비진동 및 누출 입력을 동시 해석하는 프로그램을 보완 개발 하고자 한다

제2장. 화학설비의 위험성과 진단 엑스퍼트 시스템

1. 화학설비의 위험성과 재해통계분석

가. 화학설비 개요

화학 설비는 원료를 화학적인 변화를 일으키게 하는 화학반응을 통하여 부가가치가 큰 제품을 제조한다. 화학설비는 원료를 이송, 분리, 가열, 혼합, 분쇄, 침강, 추출, 흡수 등 여러 가지 단위조작과 반응 공정을 위하여 물질의 이송설비, 분리설비, 열 교환설비, 반응설비, 혼합 및 교반설비, 건조설비, 분쇄설비 및 이에 부속되는 배관, 계장, 제어, 안전장치 등을포함하여 화학설비라고 한다.

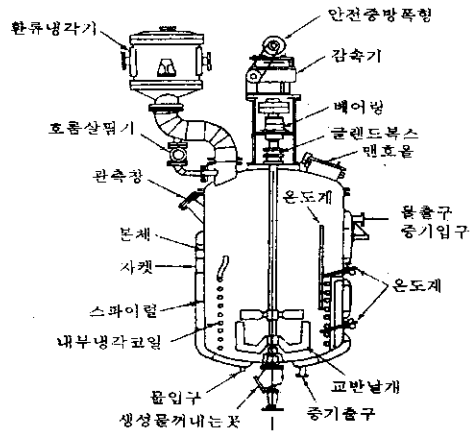
화학 설비는 고압, 고온은 물론 저압 또는 저온, 부식성, 산화성 인화성, 가연성 폭발성 유독성 물질을 취급하는 설비로 반응속도 제어에 실패하면 이상 반응,폭주누설 등에 의하여 폭발이나 화재 등을 야기할 수 있다. 따라서 화학 설비는 반응물질의 양, 조성, 반응 상태를 비롯하여 압력, 온도, 유량 등을 자동으로 제어하는 각종 계측장치와 자동제어 시스템이 있다. 대부분 구조가 복잡하고 정밀하며 고도의 자동제어 시스템으로 구성되어 있어서 설계 및 운전 에 고도의 기술을 요하며, 이 설비는 각종 유해 위험물 및 대량의 에너지를 보유하고 있어 일단 이상이 발생하여 사고가 일어나면 그 영향이 커서 피해가

엄청나고 환경을 오염시킬 수있어 설계, 건설, 운전 및 보수, 유지에 체계적인 대처가 필요하다.

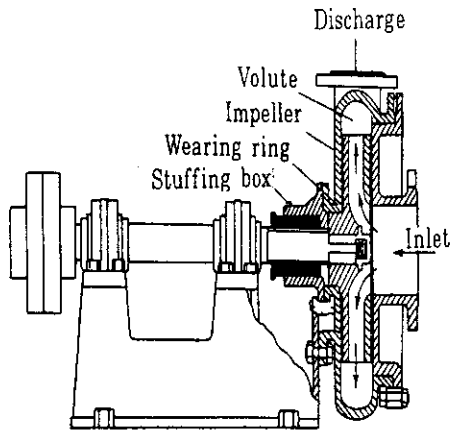
공정별 화학설비 중 진동에 의하여 진단이 가능한 회전 설비는 반응 및 혼합장치와 유체이송 및 압축설비로 분류할 수 있다. 반응장치는 반응하는 물질들이 그 안에서 목적하는 화합물로 전환하도록 제작된 용기로서 반응을 촉진, 통제하여 반응조건을 유지할 수 있는 장치와 여러 가지 계측장치가 부착된 설비이다.

반응장치는 반응하는 물질의 상, 반응속도, 반응조건(온도, 압력, 조성, 유량), 조작방법, 물질 및 열의 이동방법, 단위 시간에 대한 생산량 등에 따라 형태 및 종류가 매우 다양하다. 한편 반응기를 동작시키기 위해서는 모터에 의하여 축을 회전시키는 방식이 가장 일반적인데[그림2-1]의 조형 반응장치는 액상, 기-액상, 액-액상 또는 액-고상 반응에 널리 사용되는 장치로 상부의 모터에 의하여 회전하게 되며 모터는 공정에 따라 감속장치를 이용하여 회전 속도를 제어한다. 반응기의 주 축은 모터와 연결되어 베어링 하우징에 의하여 지지되어 회전하므로 회전부에서의 이상이 발생할 경우 반응물질의 누출 위험성을 안고 있다. 펌프는 화학공장에서 재료를 이송하는 대표적인 설비로서 고압, 소유량을 요구하는 경우에 원심펌프가 대표적으로 사용된다. 원심펌프는 액체로 충만된 공간을 회전날개가 회전하며 원심력이 증가되어 액체에 기계적인 에너지를 부여함으로써 수송하는 장치이다.

[그림2-2]는 원심펌프의 흡입관으로 들어온 액체는 고속으로 회전하는 회전날개에



[그림2-1] 반응기 구조의 예



[그림2-2] 원심펌프의 구조 예

의해서 바깥쪽으로 토출된다. 펌프의 힘은 회전날개에 의해서 유체에 작용하는 힘과 운전축의 회전력에 의한 회전날개에 전달되는 힘으로써 마찰을 무시할 경우 보통 1,800rpm 정도의 일정한 속도를 갖는 모터로부터 힘을 부여받는다.

한편 펌프 요소의 이상 발생시 회전에 의한 진동이 증가하며 펌프의 진동이 배관으로 직접 전달되는데 배관은 고정부가 많지 않기 때문에 진동이 증폭되어 전달된다. 따라서 배관 연결부에서의 누출 현상을 유발할 수 있으며 그 결과는 화재나 폭발, 유독성 물질의 누출로 연결되어 대형 사고의 직접적인 원인이 된다.

화학설비에 의한 사고 유형은 폭발, 화재, 독성물질 누출이 주를 이루고 있으며 그 피해는 사업장내의 인적, 물적 손실은 물론 인근 지역의 설비나 주민들에게도 위험을 줄 수 있다.

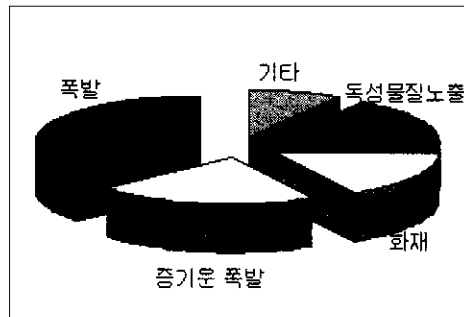
나.위험성과 재해통계분석

화학설비의 중대사고를 유형별로 보면[그림2-3]과 같이 폭발재해가 대부분을 차지하고 있다. 또한 다량의 가연성 증기의 급격한 방출에 의한 증기 운 폭발도 있으며 독성물질 누출에 의한 사고도 있다. 산업재해 통계 중 중소기업의 재해자와 화학제품 제조업의 재해자를 비교하면<표2-1>과 같다.

특히 89년부터 98년까지 국내 중대 산업 사고통계 141건을 분석해 보면 형태별로<표2-2>와 같이 고압용기 파열에 의한 기계적 폭발을 비롯 화학 반응에 의한 팽창폭발 분진 폭발 등이 전체의53.9%,화재가25.5% , 누출이12.1%로 나타나있으며 장치별로는 배관 밸브 스트레이너 등 배관 계통이18.5% 반응기 공정 기기등 공정설비가 37.6%로 발생했다.

<표2-1> 10년간 재해자통계

항목 년도		규 모 (산 업 별 중 류)			발 생 형 태	
		중소기업 50인미만 재해자	화학제품 제조업 (50인미만)/화학전체	화학제품/의약전체	폭발화재파열 유해물 접촉 부분 / 중분류 전체	폭발화재 /화학제조업체
'88	재 해	27673 142329(19.5)		10697 142329(7.5)	8865 142329(6.2)	732
	사망자	78 1925		87 1925(4.5)	148 1925(7.7)	5 126(4.0)
'89	재 해	45679 134127(34.1)		9595 134127(7.15)	5219 134127(3.9)	
	사망자	488 1724(28.3)		115 568(20.2)	64 845(7.6)	5 115(4.4)
'90	재 해	43836 132893(33)		8626 132893(6.5)	4672 132893(3.5)	8626
	사망자	567 2236(25.4)		93 2236(4.2)	80 2236(3.6)	
'91	재 해	50765 128169	3828 7197(53.2)	7197 128169(5.6)	3980 128169(3.1)	371 7197(5.2)
	사망자	2299 82(47.6)	39 82(47.6)	82 2299(3.5)	96 2299(4.2)	
'92	재 해	42127 107435	2936 5576(52.7)	5576 107435	3608 107435(3.4)	286 5576(5.1)
	사망자	789 2429(32.4)	44 86(51.2)	86 2429(3.5)	68 2429(2.8)	
'93	재 해	39330 90288(43.6)	2576 4598(56.0)	4598 90288(5.1)	195 4227(4.6)	27 292(9.2)
	사망자	801 2210(36.2)	48 90(53.3)	90 801(11.2)	170 2210(7.7)	
'94	재 해	39803 85948(46.3)	2568 4407(58.2)	4407 85948(5.13)	146 3411(4.3)	47 250(18.8)
	사망자	1038 2678(38.8)	63 128(49.2)	128 2678(4.9)	143 2678(5.3)	
'95	재 해	35924 78034(46)	2139 3732	3742 78034(4.8)	139 3241(4.3)	18 139(12.9)
	사망자	322 2662(12.1)	41 86	86 2662(3.2)	106 844(12.5)	
'96	재 해	39217 71548(54.8)	1806 3306(54.6)	3306 71548(4.6)	89 2483(3.9)	19 131(14.5)
	사망자	1356 2670(50.8)	34 98(34.7)	98 2670(3.6)	57 733(7.8)	
'97	재 해	34261 66770(51.3)	1771 2850(62.1)	2850 66770(4.3)	111 3484(3.2)	10 116(8.6)
	사망자	1216 2742(44.3)	56 99(56.6)	99 2742(3.6)	137 2742(4.9)	14 99(14.1)
'98	재 해	611 1154(52.9)	34 69(49.3)	69 1157(6.0)	23 1154(2.0)	4 69(5.8)
	사망자	480 1157(41.5)	18 35(51.4)	35 1157(3.0)	40 1157(3.5)	3 35(8.6)



[그림 2-3] 유형별 사고 분류

<표2-2> 산업별 사고발생형태

구분	누출	화재	폭발	파열	분진 폭발	기타
정유	1	8	7			1
석유화학	7	9	7	2		1
정밀화학	5	5	12			
가 스	-	1	5			
기타화학	2	4	17			1
기타산업	2	9	28		3	4
계	17	26	76	2	3	7

특히 최근3년간 공단이 조사한 186건의 통계를 보면 폭발이 60건으로 32.2% 화재가 55건으로 26.9% 누출이 22건으로 11.8% 파열이 14건으로 7.5% 질식이 14건으로 7.5% 기타 21건이다. 위험설비의 설치 경과 년수에 따른 노화 정도에 따라 누설 화재 폭발사고 위험이 잠재하고 있다.<표2-6>참조. 시설의 설치 경과 년수에따라 0-5년이 13.4%, 6-10년이 28.2%, 11-15년이,8.2% 16-20년이 4% 21년초과한 시설이 10.2%를 점유하고 있다. 10년 이상이 전체58.4%를 차지 하고 있어 노화, 마모, 부식 등에 따라 누출의 잠재위험성이 높게 상존하고 있다. 설비의 용기 및 배관 계의 진동 압력상승을 방지하기 위한 안전밸브에서 누출

되거나 편향된 펌프모체 등에서도 누출될 수 있어 사전에 예지하여 조치할 수 있는 시스템이 필요하다. 엑스퍼트 시스템은 대상 영역의 전문가가 행하는 지식이나 문제 해결능력을 컴퓨터에 조합시켜 숙련 전문가가 행하던 해석 판단을 타스크를 컴퓨터에 실행시켜 실행하는 시스템이다. 베셀 후렌지 부분의 진동 누출 진행 상태를 감지하는데 필요한 시스템을 개발하여 효율적인 판단이 행해지도록 해야한다.

<표2-3>장치별 발생 현황

구 분	사고건 수	점유율%
배 관 계	2 4	17
공정기기	4 6	32.6
저장탱크	1 9	13.5
반응기	7	5
계기류	2	1.4
밸 브	2	1.4
기타	2 7	19.1
피트등	1 6	11.3

<표2-4>세계주요 누출 연대별 비교

년도	사고국	사고형태	사망및부상	당년대건수
1970-1979	미국	사염화물저장누출	1명사망, 300명	9건
	이태리	다ियो신누출	200명부상	
1980-1989	인도포발	MIC누출	2800명사망, 5만	28건
	미국연구소	알티카복실	430명부상	
1990-1998	미국리치몬드	황산누출	6250명부상	21건
	인도패트나	가스누출	100명사망, 백명	

<표2-5>세계주요 화재 연대별 비교

년도	사고국	사고형태	사망및부상	당년대건수
1970-1979	멕시코	부탄가스폭발	8명사망, 8백명	35건
	한국이리역	다이나마이트	57명사망천삼백명	
1980-1989	베네주엘라	저장탱크폭발	153명사망오백명	53건
	멕시코	저장탱크폭발	500명사망2500부상	
	파키스탄	폭발물	100명사망3000부상	
1990-1998	멕시코	하수구폭발	206명사망1500부상	76건
	태국	완구공장폭발	240명사망547명부상	

<표2-6>화학설비의 시설 경과 년수

구분	계	0-5	6-10	11-15	16-20	21년초과	비고
계	284	38	80	79	58	29	
정유공장	5	1	-	1	-	3	
석유화학	53	8	12	15	16	2	
정밀화학	82	11	21	25	17	8	
화약의약	18	1	6	9	-	2	
화학비료	3	-	-	-	1	2	
독성물질제조	20	2	2	4	9	3	
연료탱크터미널	40	7	10	11	10	5	
도시가스	28	4	19	4	-	1	
엘피지엘엔지저장기지	7	-	4	3	-	-	
기 타	28	4	6	7	5	3	

2. 설비진단 과 신호처리기술

가. 설비진단과 개요

산업이 급속히 발달함에 따라 최첨단의 기술을 응용한 정밀기계가 개발되었고 생산제품도 다양한 소비자들의 요구조건에 맞게 안전성과 신뢰성을 확보시키지 않으면 안되게 되었다. 특히 자동화시설은 고속 복잡성이 맞물려서 위험에

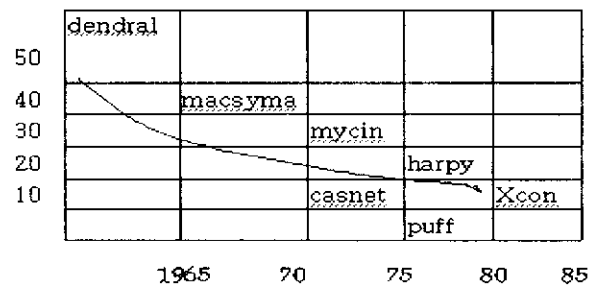
따른 안전의 중요성이 크게 대두되고 있다. 화학설비등 각종 생산설비를 가동중에 예측하지 못한 돌발적인 현상(이상정지 누출, 트러블등)이 발생하여 생산성을 현저하게 저하시키고 화재 폭발등 대형 중대재해를 야기시켜 인적 물적 경제적인 막대한 손실을 초래하기도 한다. 따라서 안전 진단과 점검을 철저히 하여 잠재하고 있는 위험을 사전에 평가할 수 있는 전문적인 감시 기능이 필요하게 되었고 사전에 체계적인 안전관리 유지기능을 인간지능을 활용한 최첨단 예방보전 방법이 개발 도입되게 되었다. 설비의 부식, 열화, 핀홀, 마모, 진동 등으로 인한 고장이 과거 근로자들의 경험이나 육감에 의해서 판단되는 경우가 많았으며 특히 다년간 숙련된 전문 기술자에 의한 의존도가 높게 평가되었다. 우리나라는 IMF로인한 경제적 위기에 대처하기 위하여 많은 기업들이 구조 조정으로 장기 근속자들을 명예 조기 퇴진시킴으로서 이들이 갖고있던 오랜 경험의 전문기술 노하우를 후배들에게 계승시킬 기회가 적어 잠재 위험대처 능력에 차질을 가져오게 되었다. 그러나 선진 외국에서는 이러한 위험에 대비키 위하여 숙련기술자가 갖고있던 안전 기술 지식과 올바른 판단 능력을 컴퓨터에 저장하여 그 방법을 설비이상 진단 점검에 쉽게 적용하여 생산 설비의 정상가동을 지속할 수 있도록 엑스퍼트시스템 개발이 1970년대부터 이상 검출을 목적으로 추진되어 현재 실용화되고 있다. 설비진단 기술은 항공우주, 군사, 원자력 시설의 조기 이상 검출을 목적으로 로켓 제어계의 자동 체크 아웃 시스템이나 항공기용 유압 시스템의 모니터링 기술이었지만 현재는 전 공학영역에 걸쳐 진단 기술에 응용되고 있다. 특히 진단 정밀도 및 신뢰성의 향상을 위하여 새로운 신호처리 기술이나 인공지능을 적용한 진단 시스템도 최근에 활발히 연구되고 각종 센서가 정보를 검출하여 정확하게 해석하는 기술이 선행되는 필수 요소는 다음과 같다.

① 진단 변수를 추출하기 위한 검출기술

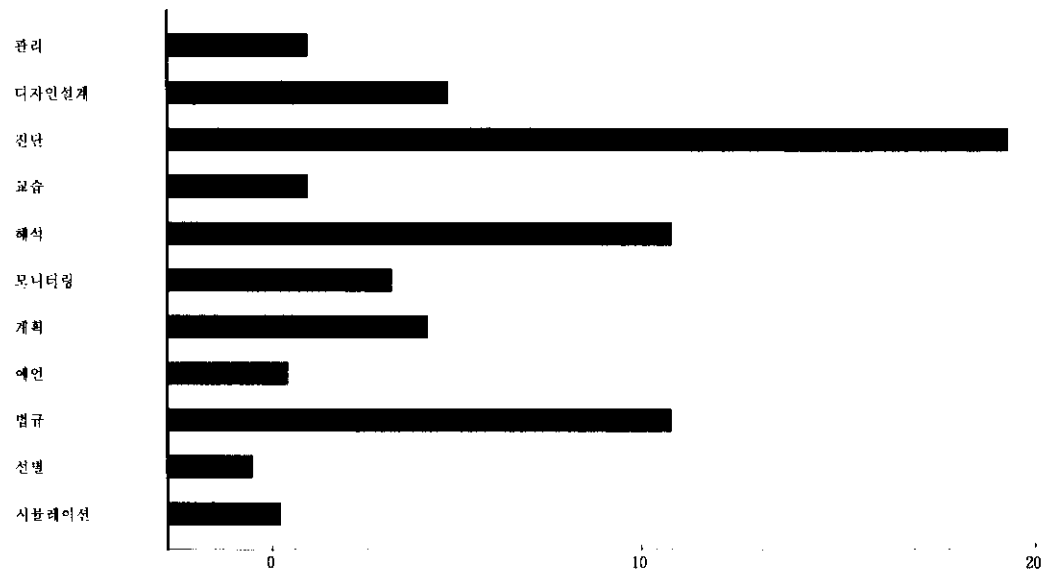
설비의 특성에 따라 가장 효과적으로 이상을 감지할 수 있는 진단 변수를 찾아내기 위한 센서를 선정하고 모니터링 및 진단을 수행하기 위해 이들 센서로부터 데이터를 획득하여 변환시키는 기술이 필요하다.

② 센서 신호 중에서 이상 징후를 추출하는 신호처리기술

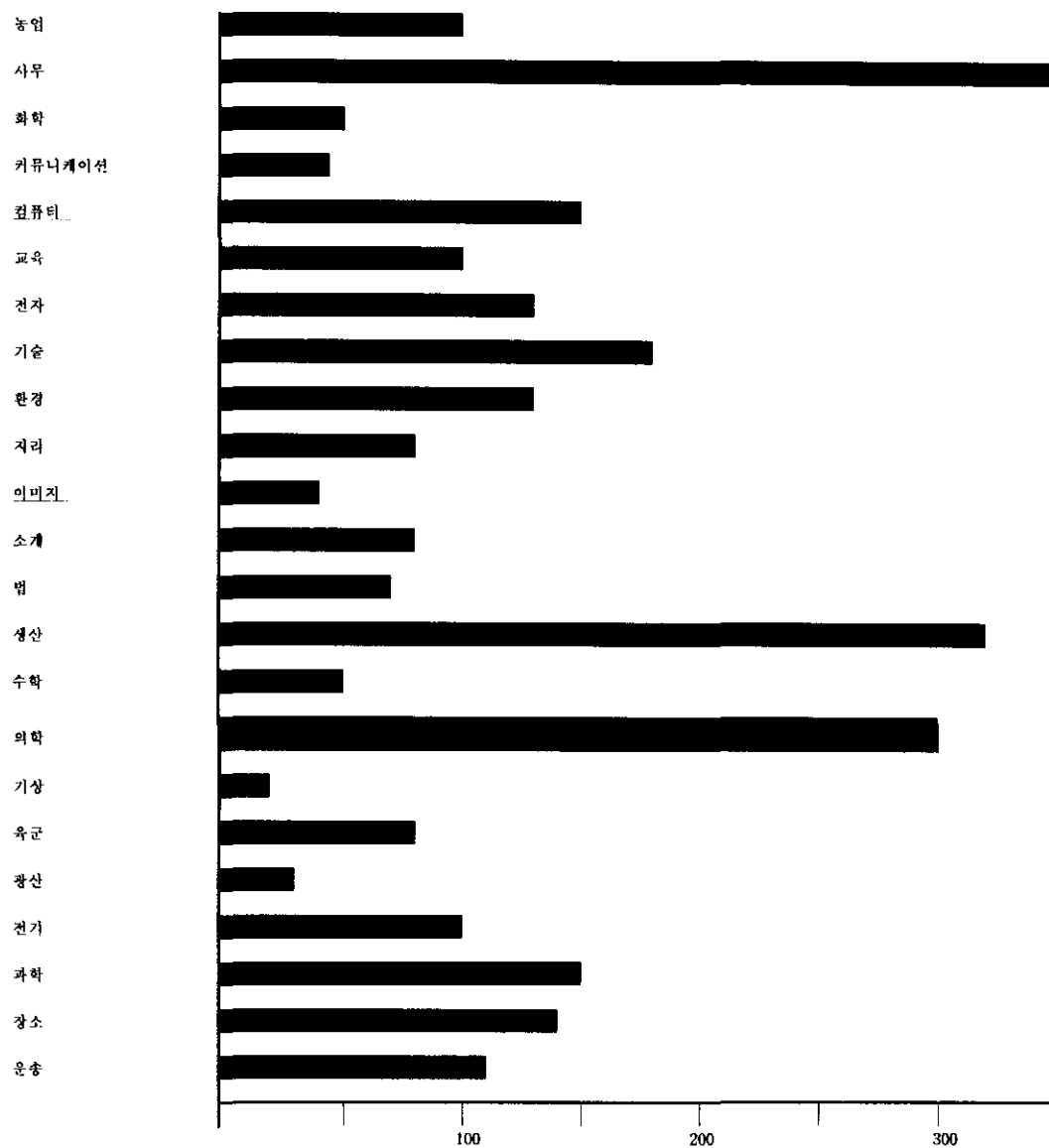
센서로부터 입력된 복합 신호로부터 설비의 이상을 나타내는 정보만을 효과적으로 추출하기 위하여 각종 신호처리기술이 필요하다.



[그림2-4]연대 별엑스퍼트시스템개발



[그림2-5] 문제유형별 엑스퍼트 시스템의 적용



[그림2-6] 각종 적용한 엑스 퍼드시스템의 개발수

- ③ 신호 분석을 통해 설비상태를 판정하는 식별추정기술 신호처리에 의하여
가공된 정보로부터 설비의 현재 상태를 파악하여 적절한 대책을 수립할

수 있는 전문 진단기술이 필요하다.

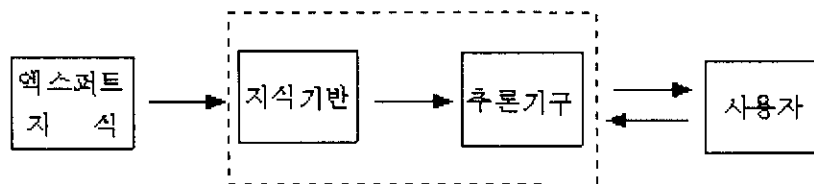
④ 고장 율이나 수명을 산출하기 위한 예측기술

진단 시스템을 이용하여 주기적인 모니터링 결과를 축적함으로써 고장 시기나 수명을 사전에 예측할 수 있는 기술이 필요하다.

이상과 같이 설비진단을 효과적으로 수행하기 위해서는 진단 시스템의 개발이 필수적인데 최근에는 새로운 신호처리 기술이나 식별이론 도입하여 진단정밀도를 향상시키려는 연구가 수행되고 있으며 통신 등에 의한 진단의 원격화, 자동화, 지능화 등에 대해서도 개발이 시도되고 있다.

미국의 에드워드 쇼-트리프는 의료진단용으로 감염증 범용진단 엑스퍼트시스템을 개발하여 감염증 전문가가 아닌 의사에게도 환자상태를 보고 감염여부를 알려주는 상담시스템이 개발됨에 따라 선진국들은 앞다퉈서 설비안전진단을 위한 시스템을 개발하여 현장의 실용화에 기여하기 시작했다. [그림2-4, 2-5, 2-6]참조,

설비진단을 위한 엑스퍼트시스템은 설비진단에 대한 우수한 경험자의 노하우기반을 컴퓨터에 저장하여 주어진 상황에서 인공지능을 적용한 퍼지 추론을 행하고 적절한 판단 해답을 제시하는 진단 시스템이 개발되고 있다.



[그림2-7] 엑스퍼트 시스템의 구성

(1). 상태기준 보수

설비진단 기술은 플랜트의 안전을 보호함과 동시에 보수 비용을 절감하기

위하여 개발되었다. 그런데 기존의 보수방식은 시간기준보수로써 과거의 경험에 근거하여 정해진 일정 기간마다 설비의 보수 작업을 수행하는 것이다. 따라서 시간기준보수는 근본적으로 다음과 같은 한계성을 갖고 있다.

- ① 시간에 맞춰 보수를 해도 항상 어느 수준의 고장은 발생한다.
- ② 보수 주기가 통계적으로 결정되기 때문에 과 보수가 될 확률이 크다.
- ③ 위험하거나 복잡한 설비에 대해서는 효과가 적다.
- ④ 정기적인 보수에 따라 생산성이 저하된다.

이러한 시간기준보수 방식의 결점을 보완하기 위하여 최근에는 설비진단 기술을 이용한 상태기준보수 방식이 점차 보급되고 있다.

상태기준보수에서는 정해진 점검 주기마다 간이 진단에 의해 진동이나 온도 등의 진단 변수를 충실히 측정하여 시간에 대해 기록하는 노화경향관리를 실시한다. 이 값이 미리 정해진 주의 레벨에 도달했을 때 정밀 진단을 실시하고 위험 레벨에 도달하기까지의 시간을 예측해서 최적의 복원 타이밍을 결정한다. 즉 시간기준보수에 있어서는 복원이 일정 기간마다 실시되는데 반하여 상태기준보수에 있어서는 일정 주기마다 진단을 실시해 그 진단 결과를 기초로 복원시간이 결정된다. 따라서 일정 주기마다 실시되는 것은 진단이며 복원은 진단에 의해 필요하다고 인정되는 시점에 실시한다. 또한 설비를 집단으로 통계의 대상으로 생각하여 평균 수명과 고장을 등을 산출하는 것이 아니라 개개의 설비에 대해 설비 진단을 수행하기 때문에 특정 설비의 돌발적인 사고의 위험성을 줄일 수 있고 전체 설비에 대한 경제성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 설비진단 기술에 기초한 상태기준 보수의 도입 효과는

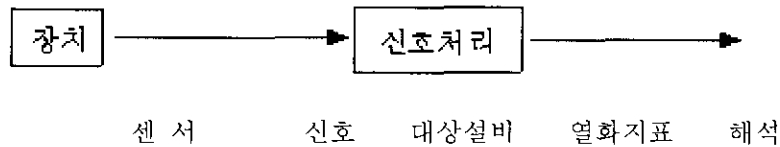
- ① 적절한 시기에 설비 보수로 품질의 안정화와 경제적인 이득을 얻을수 있다.
- ② 돌발적인 위험 요소를 사전에 검출할 수 있어 산업 안전 및 라인 정지 감

소

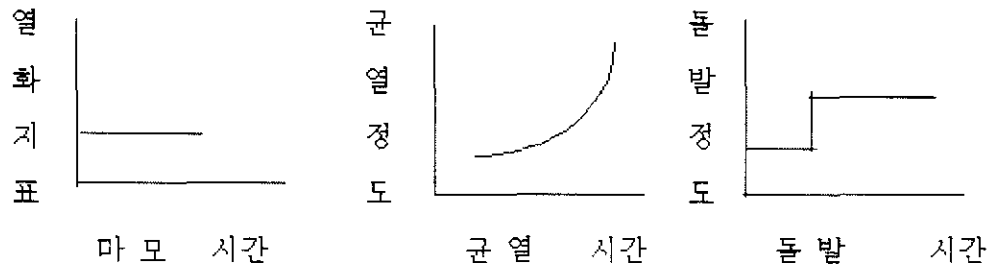
- ③ 보수 비용 및 보수를 위해 필요한 man-power가 감소된다.
- ④ 설비의 전반적인 안정성이 향상되어 휴먼 에러가 감소한다.
- ⑤ 정확한 설비 데이터를 구축하여 설비 메이커나 보수 업자와 교섭이 유리해진다.
- ⑥ 정량적인 설비 데이터의 축적에 의해 종래의 설비 도입이 유리해지며 사양 결정이 명확해진다.

(2). 설비진단기술 원리

진단을 대상으로하는 설비의 장치에서 수신되는 신호상태를 검출하여 설비의 열화상태를 나타내는 지표를 진단장비의센서로 사용시간 경과에 따라 열화(마모균열, 돌발)상태를 정확하게 검출하여 정량적으로 주어진 신호처리를 정상비정상의 특정량의 변화를비교하여 나타난 기술이다.



[그림2-8] 설비진단기술 표준 검출법



[그림2-9]열화지표변화 패턴

설비진단기술은 센서에 의한 설비상태와 관련되는 물리량을 측정하고 그 값

에 의한 진단을 행하는 기술로 설비의 구동회전 부분의 열화상태 신호를강도 높게 정량적으로 검출하여 신호에서 특징량을 구하고 정상과 열화 지표의 시간적 변화량 크기에 따라 마모 균열 누출등의 증감 변화 추이경향을 예측하여 이상검출 감지를 평가 할수 있다.

마모는 시간 경과에 따라 직선 상으로 증가하며 균열은 한번 금이 가면 급격히 증가하여 돌발형으로 변한다. 돌발은 고장검출은 가능하나 열화지표가 나타날 경우 다른 검출 기술을 적용해야 한다. 이상검출 대상을 종합한 것이 [표 2-7]과 같다.

<표2-7>이상검출 비교대상

항목	비교 대 상	적용 기법	응용 예
직접 감시	정상이상 개개의 특 정량	관측치- 특징량	설비의 이상 검출
해석적 감시	수식 모 델	관측신호 모델	진동기계 제어계
용장성 이용	동일대상 에대한 타 관측치 상호비교	다수결원리	센서고장 검출
종합적 감시	정상이상의총채적 에너지 성향량	효율저하 공구사용 량증가 단위 생산량 저하	대형기기 공장전 체 대규모시스템

나. 회전체 설비의 진단

회전체에 대한 설비진단 기술은 지금까지 많은 연구자들에 의하여 수행되어 왔으며 진동과 소음의 계측에 의한 방식이 주를 이루고 있다. 일반적인 회전체는 크게 축, 커플링, 베어링으로 구성되어 있으며 각 요소들의 이상 발생시 나타나는 현상은 주로 주파수 특성으로 감지할 수 있다. <표 2-8>은 일반 회전체에서 주로 발생하는 이상 현상과 그에 따른 특징을 정리한 내용이다. 표에서

()안의 숫자는 확률을 나타내고 있다.

<표 2-8> 회전체의 이상 현상과 특징

이상현상	언밸런스	미스 얼라인먼트	오일철	베어링 결함	느슨한 체결
특징	발생빈도가 가장 높다	축 방향의 진동이 크다	저어널베어 링에서 발생	결함주파수와 sideband	기계요소의 공진 유발
주요주파수	1RF(90)	1RF(40), 2RF(50)	>0.5RF(100)	1RF(40), 고주파(20)	2RF(50), 하모닉(30)
진동방향	A(10),H(50), V(40)	A(50),H(30), V(20)	A(10),H(50), V(40)	A(30),H(40), V(30)	A(10),H(30), V(60)
충격진동	없음	없음	없음	있음	있음

(1) 언밸런스

회전체에서의 이상 현상 중에서 가장 발생 빈도가 높은 현상으로서 회전축의 무게중심이 맞지 않거나 마모 등에 의하여 편심이 생기는 경우에 주로 발생한다. 이 현상이 발생되면 1차 회전 주파수가 급격히 증가하게 되며 회전체의 속도 증가에 따라 진동의 크기도 비례적으로 증가하게 된다.

(2) 미스얼라인먼트

이 현상은 축과 축의 결합시 두 축의 중심이 일치하지 않을 경우 발생하는 이상으로서 1차 회전주파수 성분이 뚜렷히 검출되며 정도가 심할 경우에는 2차 회전주파수도 검출된다. 미스얼라인먼트가 발생하였을 경우에는 축방향 진동이 반경방향 보다 크게 측정되지만 회전체의 속도 증가에 대해 진폭 변화는 거의 일정한 특성을 갖고 있다.

(3) 오일 휠

이 현상은 저어널 베어링에서 오일 wedge 현상에 의해 축이 마찰되거나 미끌어짐에 의하여 발생되는데 1/2차 회전주파수 보다 낮은 저주파 영역의 진동 레벨이 급격히 상승하는 특징을 갖고 있다.

(4) 베어링 결함

베어링은 회전체의 주요한 구성 요소로서 축의 지지와 원활한 회전을 유지시키는 역할을 수행하는데 베어링의 내륜이나 외륜, 볼 등에 결함이 발생하였을 경우에 전체 회전체에 악영향을 미치게 되므로 결함의 조기 발견에 의한 교체가 필요하다. 베어링은 결함이 발생하였을 경우 독특한 결함 주파수를 나타내게 되며 축의 밸런스에 영향을 미치므로 1차 회전 주파수가 결함주파수를 중심으로 좌우 대칭 배열하는 side band를 형성하게 된다. 한편 베어링 결함시 충격 진동과 이상음을 수반하는 경우가 많기 때문에 감각적으로도 진단이 가능하지만 이에 대한 조기 진단을 위해서는 주파수 데이터를 정확히 분석하는 기술이 필요하다.

(5) 기계적 풀림

일반 회전체에서 체결부에 결함이 발생되었을 경우나 언밸런스, 미스 얼라인먼트 현상을 방치하였을 경우 결합력의 약화로 고주파의 진동 레벨이 전반적으로 급상승하게 된다. 이러한 현상이 발생되면 충격 진동이 특히 심하게 나타나며 주파수 데이터에서 고차의 하모닉 성분들이 다수 존재하게 된다. 또한 기계적 풀림이 장기화되면 전체 설비에 공진을 유발하기도 하므로 주의해야 한다.

다. 신호처리 기술

(1) 시간영역 해석 기법

시간 영역에서 사용되고 있는 해석 기법들은 통계학에 기초를 두고 있다. 그러나 convolution과 같은 분야는 주파수 영역에서 처리하여 시간 영역으로 변환하는 방법을 사용하는 것이 처리시간을 단축시키는 경우도 있다. 본 절에서는 시간 영역에서 사용되는 해석 기법의 이론을 고찰하여 program module작성에 이용하고자 한다

(가) 실효치(RMS)

RMS 값을 이용하면 어떤 계에 대해 전 주파수대에 걸친 진동의 크기가 문제될 경우 구조 변경으로 인한 진동의 전체 크기의 변화를 파악할 수 있다. 또한, 시스템 결함에 의해 소음이나 진동이 증가할 경우 RMS 값의 변화 추이를 관측하여 그 시점을 파악하는 결함 진단에 사용한다.

진동의 평균값, 절대평균값, 제곱평균값, 실효값 등은 임의 파형의 특성을 표시하는 지수로서 평균화 시간 T를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\textcircled{1} \text{ 평균값 ; } \quad \bar{x} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.1)$$

$$\textcircled{2} \quad \text{절대평균값} \quad ; \quad |\bar{x}| = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$$

(2.2)

$$\textcircled{3} \quad \text{제곱평균값} \quad ; \quad \overline{x^2} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt$$

(2.3)

$$\textcircled{4} \text{ 실효값 ; } \quad x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt} \quad (2.4)$$

그러나, 현재의 해석기기 대부분이 디지털형이므로 연속신호를 A/D 변환기에 의해 샘플(sample)함수로 변환한다. 예를 들면, 시간간격 dt 마다 그 진동의 값 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 로 나타난 불연속 함수의 평균값을 계산하는 경우에는 적분기호 $\int$ 보다는 Σ 로 변환한다. 즉,

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k \quad (2.5)$$

(나) 첨두치(Peak-to-peak)

Peak-to-peak는 진동 및 소음의 심한 정도를 나타내는 특성인 진폭을 정량화할 수 있으며, 신호의 최대 변화를 나타내기에 편리하다. 예를 들면, 기계 부속이 최대 응력 혹은 기계 공차 측면에서 진동 변위가 중요시 될 때 사용되어 기계의 초기 결함의 좋은 지표가 된다.

(다) Crest Factor

Crest factor는 다음 식과 같이 Peak값과 RMS의 비를 의미하는데 하중이나 속도에 부분적으로 민감하지 않고, 초기 결함을 감지 할 수 있는 Factor이다.

$$\text{Crest factor} = \frac{(\text{peak to peak})/2}{\text{RMS}} \quad (2.6)$$

Crest factor는 소음, 진동 신호의 충격에 대한 측정치로써 Shock, 충격 소음 등에 사용된다. 정현파의 Crest factor는 1.414이며, Random noise의 경우 일반적으로 3보다 작다.

(2). 주파수영역 해석 기법

(가) spectrum

주파수 영역 해석에서 주기성을 파악하기 위해 사용하는 스펙트럼은 하나의 신호에 대한 파워 스펙트럼과 두개의 신호 사이의 크로스 스펙트럼의 두 가지가 있다. 스펙트럼의 유도 방법은 시간 데이터의 이산 Fourier 변환을 통한 방법과 시간 데이터의 상관 함수를 이용하는 방법이 있다. 이산 Fourier 변환이 개발되기 전에는 상관 함수를 사용하여 스펙트럼을 구하였으나 현재는 이산 Fourier 변환을 통하여 고속으로 간편하게 스펙트럼을 구할 수 있다.

1) Fourier 변환을 사용한 스펙트럼 유도

스펙트럼은 아래와 같이 $x(t)$ 의 Fourier 변환 $X(f)$ 와 그 공액 복소수와의 곱에 대한 앙상블 평균으로 정의된다.

$$S_{xx}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{X(f)^* X(f)}{T} \right] \quad (2.7)$$

같은 과정으로 크로스 파워 스펙트럼은 두 신호 $x(t)$, $y(t)$ 의 Fourier 변환의 공액 복소수 $X(f)^*$ 와 Fourier 변환 $Y(f)$ 의 곱에 대한 앙상블 평균으로 정의된다.

$$S_{xy}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{X(f)^* Y(f)}{T} \right] \quad (2.8)$$

식 (2.7), (2.8)은 연속 시간계에 대한 이론식이고 실제로 유한 시간계에 대한 이산 신호로써 구하게 된다. 이산 신호의 오토 파워스펙트럼과 크로스 파워스펙트럼은 다음과 같이 구해진다.

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{N^2} |X(f)|^2 \quad (2.9)$$

$$S_{xy}(f) = \frac{1}{N^2} X(f)^* Y(f) \quad (2.10)$$

파워 스펙트럼은 양, 0, 음의 범위의 주파수로 나타내어지나 실제로는 음의 주파수 성분은 물리적으로 의미를 가질 수 없기 때문에 0과 양의 주파수 성분만이 유용하게 된다. N개 시간 데이터의 스펙트럼을 구하면 1~N/2개의 주파수 성분과 0Hz 성분이 합쳐서 N/2 + 1 개의 성분이 유용하게 된다.

2) 상관 함수를 사용한 스펙트럼 유도

상관 함수와 스펙트럼 사이의 관계를 정의한 Wiener-Kintchine의 공식에 의해 상관 함수를 Fourier 변환을 통해 스펙트럼 함수로 만들 수 있다.

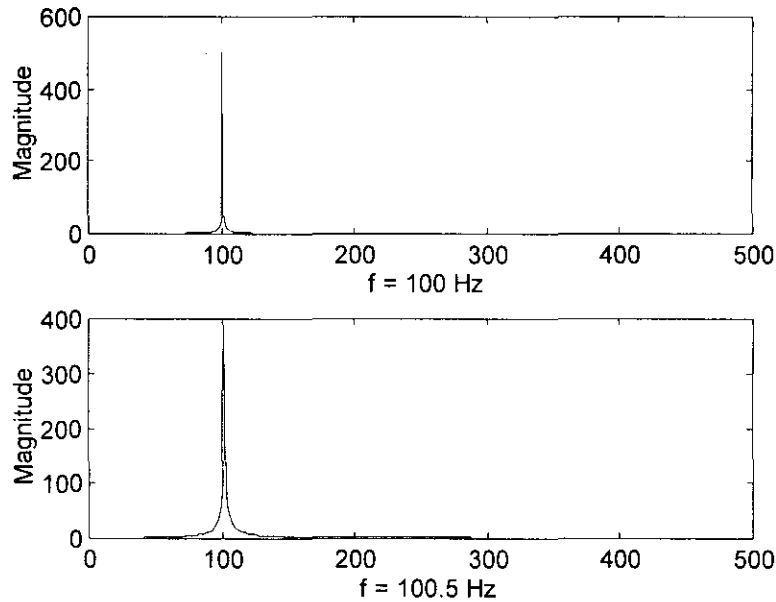
$$S_{xx}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-2\pi f\tau} d\tau \quad (2.11)$$

$$S_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) e^{-2\pi f\tau} d\tau \quad (2.12)$$

(나) Windowing

유한 개의 데이터를 FFT할 경우 발생하는 leakage 현상은 정확한 주파수 성분을 찾아내는데 어려움을 준다.

[그림 2-10]에 유한한 길이를 이용하여 데이터의 주기 성분을 파악하기 때문에 발생하는 주파수 성분의 에너지의 분산 현상인 leakage 현상을 보여준다. 이런 현상을 방지하기 위해 유한 개의 데이터에 서로 다른 가중 값을 주는 window 함수를 사용한다.



[그림 2-10] 유한길이의 주기성분에 대한 leakage 현상

이상적인 window는 window를 거친 데이터의 주파수 성분을 임펄스의 형태로 만들어 주어야 한다. 즉, 주기 성분의 주파수에서만 피크 값을 가지도록 하는 것이다. 그러나 이상적인 기능의 window는 무한한 길이를 요구하므로 불가능하며 유한한 길이의 window로써 그 기능을 수행하도록 하여야 한다.

Windowing은 FFT를 수행하기 이전에 시계열 데이터에 대해 시간 함수로 주어지는 window 함수 $W(t)$ 를 곱하여 FFT를 위한 새로운 시계열을 만든다.

$$x(t) = x(t)W(t) \quad (2.13)$$

정상 신호(Stationary signal) 또는, random 신호의 경우 일반적으로 적절한 window는 데이터 양끝을 0으로 하면(tapering) 신호의 크기를 기록시간 T 에 대

해 서서히 변하게 하는 것이다. 임펄스 신호, 지수적으로 감소하는 신호와 같은 특별한 신호는 rectangular, exponential window 를 사용한다.

각각의 window의 특성을 비교하기 위해서 PSLR (peak-to-side lobe ratio)값과 main lobes의 크기의 두 가지 기준을 사용하였다. 이 두 가지 기준은 서로 반비례적인 관계를 가지고 있다. 같은 길이의 window에서 main lobes의 폭을 좁히면 side lobes의 크기가 증가하게 된다. 반대로 side lobes 크기를 줄이면 main lobes 크기가 커져서 날카로운 피크를 가지지 못하게 된다.

① Rectangular window 는 시계열 데이터 N 개를 연속적인 데이터에서 잘라내는 것과 같으며 N 개의 데이터에 대해서는 일정한 가중 값을 준다. 이 window 는 시간에 따라 변하는 신호와 피크 주파수 성분이 넓게 존재하는 신호에 대해 사용한다.

$$w_k = 1 \quad (0 \leq k \leq N) \quad (2.14)$$

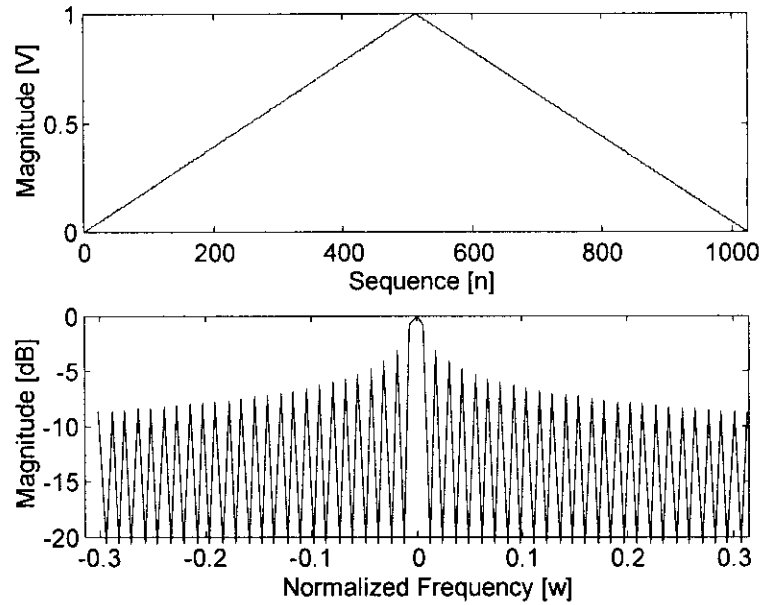
PSLR = 13.5 dB, main lobes with 1

여기서 k 의 범위가 $0 \leq k \leq N$ 이외의 경우에는 w_k 는 0이다.

② Bartlett window 는 삼각형의 모양을 가지고 있어 triangular window 라고도 한다. 이것은 window로는 좋은 것은 아니나 rectangular window 보다 과도 상태에서 0으로의 변화가 부드럽다. 그리소 양끝이 taper 된 상태이며 PSLR 값은 rectangular window 보다 2배 가량 증가하였다.

$$w_k = 1 - \left| 1 - \frac{2k}{N-1} \right| \quad (0 \leq k \leq N) \quad (2.15)$$

PSLR = 27 dB, main lobes with 2.

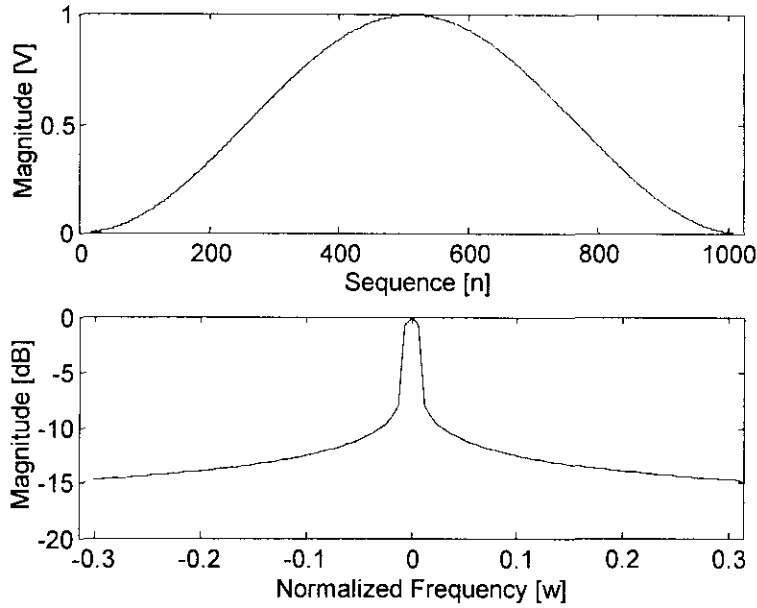


[그림 2-11] Bartlett window

③ Hanning window 는 cosine 함수를 기본으로 하여 만들어 졌다. 양끝이 taper 되어 있으며 일반적으로 stationary 한 신호와 피크 주파수 성분이 좁게 존재하는 신호에 대해 가장 많이 사용한다. Side lobe 의 크기가 rectangular window 보다 상당히 작기 때문에 좁은 주파수 대에서 다른 피크 성분에 대한 영향을 rectangular window 보다 줄일 수 있다는 장점이 있다.

$$w_k = \frac{1}{2} - \left[1 - \cos \frac{2k\pi}{N-1} \right] \quad (0 \leq k \leq N) \quad (2.16)$$

PSLR = 31 dB, main lobes with 2.



[그림 2-12] Hanning window

④ Hamming window는 양끝이 taper되어 있지 않으나 Hanning window에 비해 PSLR 값의 많은 개선을 이루었다. 이 window 역시 Hanning window와 같이 stationary한 신호와 피크 주파수 성분이 좁게 존재하는 신호에 대해 사용한다.

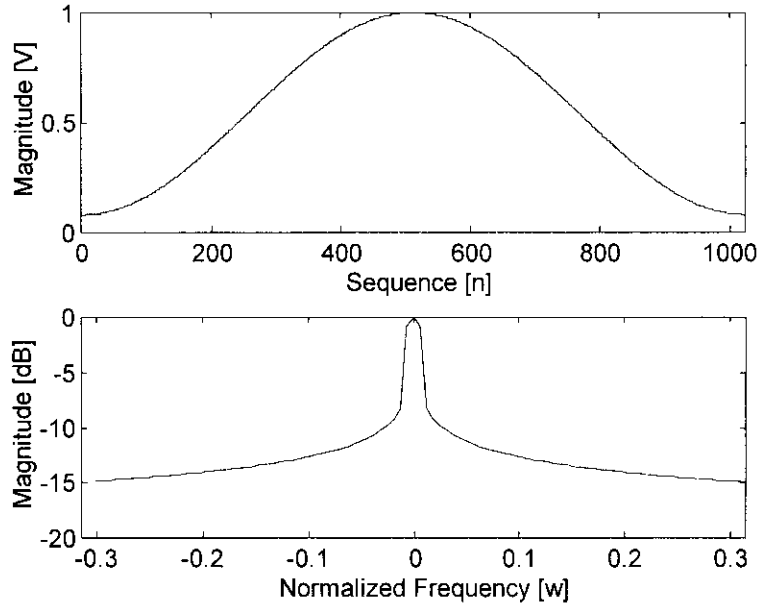
$$w_k = 0.54 - 0.46 \cos \frac{2k\pi}{N-1} \quad (0 \leq k \leq N) \quad (2.17)$$

PSLR = 41 dB, main lobes with 2.

⑤ Blackman window는 taper되어 있지 않으며 고주파 cosine항이 첨가되어 main lobes의 크기가 상당히 증가 되었으나 PSLR 값의 개선을 이루었다.

$$w_k = 0.42 - 0.5 \cos \frac{2k\pi}{N-1} + 0.08 \cos \frac{4k\pi}{N-1} \quad (0 \leq k \leq N) \quad (2.18)$$

PSLR = 57 dB, main lobes with 3.



[그림2-13] Hamming window

한편 window의 선택시 참고 기준은 다음과 같다.

- stationary data → Hanning, Hamming, Blackman window
- nonstationary data → Rectangular window
- narrow band spectrum → Hanning, Hamming window
- wide band spectrum → Rectangular window

(다) Cepstrum

Cepstrum은 정상 확률과정인 시계열 데이터 $x(t)$ 를 z 변환하여 제공하고 대수를 취한 후에 다시 z 변환하여 제공한 값으로 정의된다. 이 정의는 단위 원 ($z=e^{j\omega}$)상에서 한정되며 다음과 같이 표현한다.

$$C_p(t) = \{Z\log|X(z)|^2\}^2 \quad (2.19)$$

그런데, 단위원상에서의 z 변환은 푸리에 변환이므로 파워 Cepstrum은 파워 스펙트럼에 대수를 취한 값의 파워 스펙트럼으로 재정의 할 수 있다.

$$C_p(t) = |F\log S(w)|^2 \quad (2.20)$$

만약, $x(t)$ 가 2개의 파형이 중첩된 경우라면

$$x(t) = q(t) * r(t) \quad (2.21)$$

와 같이 나타낼 수 있고, 이 때의 파워 스펙트럼은

$$|X(z)|^2 = |Q(z)|^2 \cdot |R(z)|^2 \quad (2.22)$$

여기에 양변에 $\log$ 를 취하면,

$$\log|X(z)|^2 = \log|Q(z)|^2 + \log|R(z)|^2 \quad (2.23)$$

$$C_{px}(t) = C_{pq}(t) + C_{pr}(t) \quad (2.24)$$

따라서, 이처럼 파워 Cepstrum을 사용하면 두개의 파워 스펙트럼을 분리할 수 있다.

3. 설비진단 전문가 시스템 개요 및 구성

가. 지식과 엑스퍼트시스템

엑스퍼트 시스템을 구축하는데는 대상으로 진단 지식을 적절히 표현하여 이용할 수 있는 구조를 결정하는 것이 중요하다. 전문가 지식을 컴퓨터에 취급하기 위해서는 먼저 그 표현방식을 결정한다. 그 조건으로

- ① 기술력이 뛰어 나야한다.
- ② 유효한 추론을 가능하게 하여야한다.
- ③ 지식의 확장 수정이 쉽도록 한다

현재의 플랜트 설비 보존으로 사용되고 있는 진단 실무에 있어서는 진단 결과로 해석된 정보를 숙달된 엔지니어가 그의 지식이나 경험을 기초로 하여 진단을 행하고 있다. 해석 단계는 상당히 자동화되고 있지만 최종 진단은 사람에게 의존하고 있는 실정이다. 더구나 이런 숙달된 엔지니어의 숫자가 적어서 진단 정도도 그의 능력이나 경험에 크게 의존한다. 따라서 이러한 최종 판단까지 자동화하려는 시도로 전문가 시스템의 개발이 시도되고 있다. 자동화 기법은 종래의 확률론, 패턴 인식론을 사용한 것으로부터 퍼지이론이나 인공지능을 응용한 것이 있다.

전문가 시스템은 인공지능 실용화의 한계를 극복하기 위하여 1970년대 말부터 활발히 연구되고 있다. 이 기술은 특정 영역의 문제해결을 위하여 전문가의 경험적 지식이나 문제해결 방식을 컴퓨터 상에 이식하여 초보자도 전문가와 유사한 판단을 내릴 수 있도록 하기 위한 지식공학 시스템이다. 따라서 전문가 시스템을 효과적으로 운용하기 위해서는 전문가의 지식을 효과적으로 추출하

여 컴퓨터에 이식하는 것이 가장 중요한 문제이다. 지식을 얻기 위한 일반적인 방법으로는 전문가 시스템의 개발자인 지식공학자가 대상 분야의 전문가로부터 전문지식이나 경험 등을 정리하여 규칙을 생성해내는 것인데 이 과정에서 지식에 대한 검증이나 체계화가 대단히 어렵다. 그러므로 지식공학자와 대상 분야의 전문가가 동일인일 경우에 가장 효과적으로 지식을 체계화할 수 있다는 장점이 있다. <표2-9>는 인간 전문가에 비하여 전문가 시스템이 가질 수 있는 장·단점을 나타내고 있다.

<표 2-9> 전문가 시스템의 장·단점

장점	단점
* 영구적이다	* 창조적이지 못하다
* 지식의 이전이 쉽다	* 적응적이지 못하다
* 문서화하기 쉽다	* 감각적 입력 취급 불가
* 일관성이 있다	* 문서에 대한 시야가 좁다
* 가격이 저렴하다	* 상식의 사용이 어렵다

시스템에 관한 정보는 전문가의 지식을 어떻게 얻고 어떻게 정리 할 것인가가 중요하다. 전문가의 지식을 얻는데는 전문가 행동이나 판단 기록에서 기법을 찾는 객관적 방법과 전문가로부터 직접 듣는 직접방법이 있는데 전문가의 많은 기록을 모순없이 종합적으로 체계화 시키기는 대단히 어렵다. 엑스퍼트 시스템 구축은 컴퓨터상에 전문가의 경험적지식과 문제해결방법을 이식시켜 초보자가 접근하여 활용 될 수 있어 애매한 지식을 활용한 운전 조작과 연계시키는 것을 배제할 수 있어 전문지식의 확대와 기술에 쉽게 접근되어언제 어디서나 필요한 지식을 얻을 수 있는 환경이 될 것이다.

(1).가공시스템의 지식표현 형식과 구조

컴퓨터 가공시스템에서 지식 표현 형식이 ‘만약A가 인정되면 고장 원인은 B이다.’라는 전제 결론, 조건 행동 형식의 가공법으로 인간이 가진 지식대부분을 이 형식으로 표현한다.

가공시스템에서 규칙 자체는 가공 메모리의 기억 장소에 보관되고 갱신되는 데이터는 데이터 베이스 또는 단기 기억 장소에 저장 기억 시킨다. 가공 시스템에서 추론은 인지 행동사이클이라는 반복 작업이 되고 있다. 가공시스템의 특징은

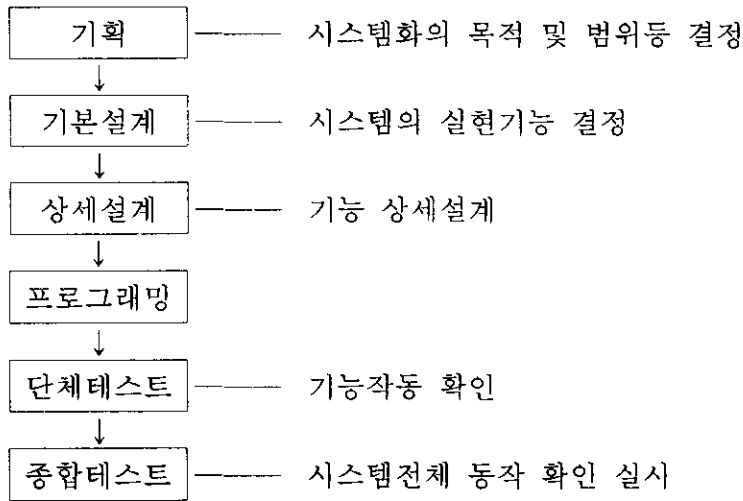
- ① 전문가가 가진 단편적인 지식을 표현하는데 적합하다.
- ② 추론 과정이 찾기 쉽고 알기 쉽다.
- ③ 지식베이스 확장이나 수정이 비교적 쉽다.
- ④ 대규모 시스템에서는 조합작업의 부하, 경감 방법의 연구가 필요하다.

(2). 진단용 엑스퍼트 시스템에서 지식기반

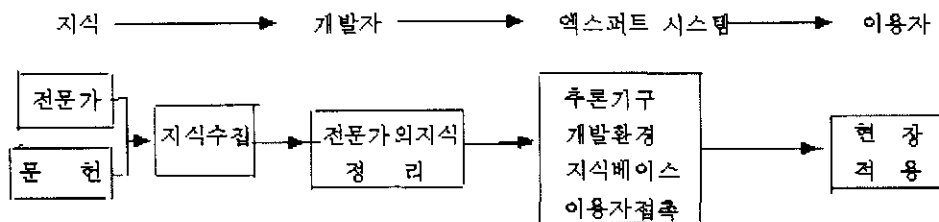
기초적인 지식은 설비의 기초개념, 설비구조, 운전수속, 짜임이 적합하다

경험적인 지식은 대상의 속성이나 상태를 나타내는 사상이나 어떤 인과관계에 따라서 다른 사상의 영상화되는 상태 기술로 표현은 가공시스템이다 진단형 지식베이스에서는 기초적인 틀 또는 경험상의 가공규칙으로 기술한다 경험적인 지식 시스템에 있어서의 추론은 단기 기억의 내용을 다시 작성함으로써 행하므로 시스템 제어 기구를 인터프리터라 한다.

(가) 엑스퍼트시스템의 구축



(나) 지식베이스 작성 -----이미 알고있는 사실, 경험적지식을 지식베이스에 저장, 그 지식을 근거로해서 전문가 판단을 컴퓨터 위에서 시뮬레이터 하는 시스템이다. 지식 베이스를 작성하기 위해서는 문헌이나 전문가로부터 지식을 수집하고 그것을 정리하여 지식 베이스를 작성한다. 개발자는 전문가로부터 지식을 수집한후 이것을 정리하여 추론을 엑스퍼트 시스템에 저장하고 이 추론 기구를 이용하여 사용자가 필요로하는 문제를엑스퍼트 시스템을 통하여 만족할 수 있는 해답을 얻는다.

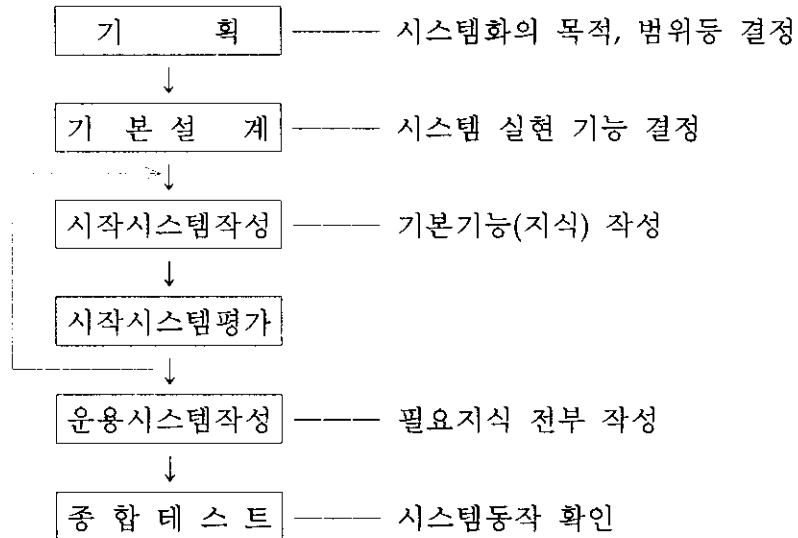


[그 립 2- 14] 엑스퍼트 시스템 개발 이용체계

엑스퍼트 시스템을 개발하기 위해서는 프로토 타이핑 기법을 채택하는데 최초

에 시스템의 일부를 작성하고 평가 및 검증을 하면서 시스템을 확장한다

엑스퍼트 시스템구축 순서



[그림2-15] 엑스퍼트 시스템 구축 순서

(다) 시스템화 목적설정

엑스퍼트시스템화의 목적은 전문가를 지원하기 위한 시스템화, 설비운용의 자동화를 목표로하는 시스템 도입 목적을 결정한다. 시스템의 운용 목적 달성을 위한 범위를 결정한 다음으로 누구를 전문가로하고 개발할 것인가 체제를 결정한다.

(라)기본 설계

시스템을 보다 구체적으로 계획하여 기존시스템이나 근로자들이 처리하고 있

는 업무의 어느 부분에 시스템을 적용해서 어떤 기능을 갖게 할 것인가를 검토한다.

시작시스템은 가장 소규모이면서 가장 중요한 부분인 지식의 획득과 지식베이스를 작성한다

시작 시스템 평가는 전문가가 운용 시스템의 가능성을 검토하는 과정으로 시험제작한 시스템에 따라 최종적인 엑스퍼트 시스템을 작성한다.

(마) 지식베이스의 작성

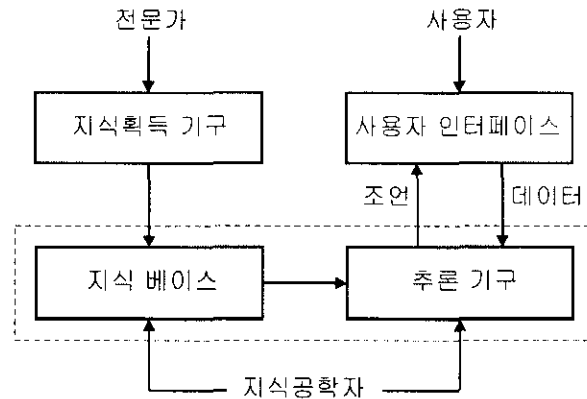
지식 획득은 시스템 개발자가 문헌이나 전문가로부터 지식을 수집하고 시스템화에 필요한 지식을 추출해서 정리하여 지식을 체계화하고 투울의 문법에 따라 지식베이스를 형태화 하는 작업이다. 전문가가 내리는 설비 이상누설진단 엑스퍼트 시스템에서 문제해결의 대상은설비의 고장진단이며 주로 현재의 상황에서 설비의 고장부위나 원인을 규명하는데 사용된다 전문가가 판단하는 지식은 훈련에 의하여 얻어진 전문지식과 현장경험의 축적으로 얻은 지식이 있다.

사전준비---문헌자료정리

전문가 인터뷰--테마 제시에 의한 의견추출 기록해석, 질문양식

(바)인과관계정리

현상--5감정보, 고장요인 키워드 등과 연관 시킨다.



[그림 2-16] 전문가시스템의 일반적인 구조

[그림 2-16]은 전문가 시스템의 기본 구성을 나타내고 있는데 지식공학자가 지식획득 기구를 통하여 대상 분야의 전문가로부터 얻은 지식을 저장하는 지식베이스와 사용자 인터페이스를 통해 얻어진 사용자의 정보와 지식베이스 내의 정보를 조합하여 추론 기능을 수행하는 추론 기구로 나누어진다.

① 지식획득기구(Knowledge acquisition)

: 전문가의 경험과 지식을 지식공학자를 통해 체계화시킨다.

② 지식 베이스(Knowledge base)

: 지식 획득부를 통해 얻은 전문가의 지식과 경험을 저장한다.

③ 추론기구(Inference engine)

: 지식 베이스 내의 지식을 이용하여 새로운 지식을 유도하고 사용자에게 조언하는 기능을 갖는다.

④ 사용자 인터페이스(User interface)

: 사용자와 시스템간의 대화 기능을 갖는다.

설비 진단의 경우 [그림2-16]에서 지식베이스에는 설비진단에 관한 전문가의 지식이 IF~THEN 룰이나 Frame등의 표현형식으로 저장되어 있다. 또한 추론 기구에서는 사용자인 비전문가의 정보나 센서 데이터를 이용하여 지식베이스에 저장되어 있는 지식을 합리적으로 추출하고 이것을 조합시키는 것에 의해 진단을 효율적으로 행하게 된다. 전문가 시스템의 도입은 일반 사용자가 이 시스템을 사용해서 전문가와 같은 수준의 지적 행위를 하게 되므로 기술의 발달에 따른 전문가의 상대적인 능력감퇴에서 벗어날 수 있고 분산된 전문 지식을 결합하여 각 분야의 전문가들의 협동작업에 상당하는 기능을 발휘할 수 있게 된다. 전문가 시스템의 지식표현 방식중의 하나인 Production system은 내부 시스템에 사용되는 규칙을 축적하게 되는데 그 규칙군을 룰이라 부르며 각 규칙은 일반적으로 "IF ~ THEN ~"과 같은 형태를 이룬다.

<표 2-10>은 회전기계의 이상 현상과 이를 가장 효과적으로 진단할 수 있는 진단 지표와의 일반적인 상관관계를 나타낸 테이블로서 각각의 관련된 회전축의 불균형에 의하여 언밸런스 진동이 발생할 경우 1차 회전주파수가 가장 크게 검출되며 RMS값이 전반적으로 증가하거나 진동이 맥동 형태를 이루게 된다. 따라서 언밸런스를 진단할 경우 축의 회전 주파수에 대한 크기를 감시하는 것이 가장 효과적인 이상진단 방법이다. <표 2-10>에서 알 수 있듯이 5가지 이상 현상에 대해 공통적으로 검출되는 진단 지표는 1차 회전주파수와 RMS이므로 이들 두 변수를 기본 진단지표로 설정하였으며 기타의 진단지표들은 특수한 결함에 대해 유효하게 사용할 수 있으므로 보조 진단지표로 설정하였다

<표2-10> 회전기계 이상과 진단 지표와의 상관관계

이상현상 진단지표	언밸런스	미스얼라 인먼트	오일 췌	베어링 결함	기계적 느슨함
1차 회전주파수	●	○	△	△	○
고차 하모닉					●
RMS	○		●	○	△
축방향 진동		●			
Side band				●	

강도에 따라 적합(●) 고려(○) 참고(△)

. 본 전문가 시스템에서는 <표2-10>의 상관관계를 지식베이스로 구축한 후 입력된 신호에 대해 어떤 현상에 해당되는지를 추론하게 된다.

나. 퍼지 추론에 의한 진단 전문가 시스템

퍼지 이론의 목표는 인간의 기능과 유사한 정보처리를 실현하는 것으로 1965년 U.C. Berkeley의 L.A.Zadeh 교수에 의해 처음으로 제창되었다. 퍼지 이론의 특징은 인간의 정보처리에서 중요한 의미를 갖는 애매함을 문제삼는 것이며 수학의 기초 분야인 집합, 논리를 확장하여 정의한 것이다. 또한 다른 분야의 여러 가지 이론이나 방법론과 융합될 수 있다는 특징도 갖고 있다. 현재 퍼지 이론은 공학, 의학, 사회과학, 언어학 등에 광범위하게 응용되고 있으며 유럽, 일본, 중국 등에서 많은 연구가 수행되고 있다.

퍼지 추론은 불확실성을 고려하는 방식이므로 인간의 주관(애매함)을 0에서 1까지의 실수값을 이용하여 정량화 시킨다. 특히 외부 상황이 동적으로 변화하여 가중값에 변동이 생기는 경우나 정확한 조건부 확률분포 지식이 부족하여

Basian rule을 적용하기 곤란한 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 한편 설비진단을 행할 때 문제가 되는 요인의 하나로 이상발생 메카니즘 혹은 진단 정보로부터 얻을 수 있는 데이터의 애매함이 거론될 수 있다. 이 애매함을 추론에 이용한 것이 퍼지추론 방식이다. 본 연구에서는 전문가 시스템의 추론부에 퍼지 추론 방식을 도입하여 진단 신뢰성을 향상시키고자 하였는데 퍼지 추론방식의 도입 배경은 다음과 같다.

첫째, 진동 센서로부터 계측된 신호를 각종 신호처리 기법을 이용하여 가공한 후 그 정보를 이용하여 합리적인 진단 결과를 도출해 내기 위해서는 설비의 상태와 각종 진단 지표를 종합하여 진단을 수행하게 된다. 그러나 설비의 상태와 계측 데이터에는 잡음 및 정보 부재 등에 의한 애매함이 항상 존재하게 되므로 이러한 결점을 해결하기 위하여 퍼지 추론 방식이 도입되었다.

둘째, 설비에 대해 정상과 고장을 판단하는 경우 기존의 방식에서는 crisp한 특정값을 경계로 진단 결과가 확정된다. 예로서 진동의 크기가 2배를 넘으면 고장이라고 설정한 경우 기존의 방식에서는 1.9배는 정상, 2.1배는 고장으로 판정하지만 현실적으로 이러한 명확한 기준을 적용하는데는 무리가 있다. 따라서 판단 기준이 특정 값이 아닌 일정 범위로 주어지는 퍼지 추론 방식이 도입되었다.

셋째, 본 진단 전문가 시스템은 진동 센서로부터의 정보를 각종 신호처리 기법을 이용하여 가공한 후 각각의 진단 지표들을 종합하여 현재 설비의 상태를 결정하는 진단 전문가를 모방하는 것이다. 따라서 컴퓨터가 진단 전문가와 유사한 판단을 내릴 수 있도록 하기 위해서 상황에 따라 각종 진단 지표를 조합하여 설비의 상태를 종합적으로 판정할 수 있는 퍼지 추론 방식을 채택하였다.

본 연구에서는 진동 센서에 의한 정보를 각종 신호처리 기법에 의하여 가공한 후 이들 진단 지표에 의한 판단법에 퍼지 추론 방식을 도입하였다. 일반적

인 룰의 형태는 "IF A and B, THEN C"와 같은 형태를 취하게 되는데 여기서 A, B, C는 언어적 변수이다. 한편, 진단 방식에 있어 언어적 변수 A, B와 출력 U에 대한 연관행렬은 각 언어변수의 멤버십 함수 μ 를 이용하여 최대-최소 합성법칙으로 구한다.

$$\mu_R(x_1, x_2, u) = \max[\min\{\mu_A(x_1), \mu_B(x_2), \mu_U(u)\}] \quad (2.25)$$

또한 출력된 멤버십 함수에 의하여 작용변수의 가중값을 결정하기 위해서는 비퍼지화가 필요한데 본 연구에서는 M개의 룰에 대해 식 (2.26)과 같은 무게중심법을 이용하였다.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^M [\mu_U(u) \cdot u]}{\sum_{i=1}^M \mu_U(u)} \quad (2.26)$$

제 3 장 화학설비 이상진단 실태조사 분석 및 고찰

1. 사업장의 화학설비 안전 진단 실태조사

가. 목 적

기업이 발달함에 따라 각종 생산설비가 거대 고속 자동화, 무인화 되었으며 특히 화학설비는 화학물질의 반응, 합성, 저장, 펌핑이송, 과정에 온도, 압력, 유량, 유속 등 다양한 변수가 작용될 수 있으며 설비의 마모 노후화, 소음, 진동, 등이 설비 이상상태로 나타날 경우 설비 이송 접합부분에서 유해위험물질, 가스등이 누출되어 화재·폭발사고의 가능성이 다분히 잠재하고 있다. 만약 사고가 발생하면 인적, 물적, 경제적인 막대한 손실을 가져와 사회적 물의를 야기시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 중대 재해를 사전에 예방하기 위해서는 이상상태가 발생한 원인을 신속하게 인지하여 필요한 조치를 취할 수 있도록 감지할 수 있는 예측방법이 요망되고 있다.

특히 중소기업 화학공장은 안전진단 기술 장비나 인력이 빈약하고 경제적인 환경요건도 열악하여 사전예방이 어려운 상태이다. 따라서 범용성 있고 설비의 이상을 규명할 수 있는 전문적인 이상 진단 예측 장비 개발공급이 절실히 요망되는 실정이다. 효율적인 진단 시스템장비가 개발 공급되었다 해도 운용할 수 있는 경험 많은 전문가가 현장에 배치되는 것이 여의치 못하므로 개발된 시스템을 누구나 쉽게 이해하고 해석운용 할 수 있는 전문가 시스템 구축이 요구되고 있다.

그러므로 영세 사업장의 화학설비 수명연장과 원활한 설비의 안전성을 확보하고 경

쟁력 있게 생산성을 유지할 수 있도록 가격이 저가이고 신뢰성과 실용성 있게추진되고 진단할 수 있는 진단설비의 개발 보급과 전문진단 해석에 필요한 기초적인 실태 자료를 파악하기 위하여 2차에 걸쳐 설문조사방법을 활용하게 되었다.

나. 조사방법

중소영세 사업장에서 사용하고 있는 각종 화학설비 중에는 원료, 부재료, 반제품 등의 유해 위험물질이 생산과정을 거치는 동안 생산설비의 모터등 동력구동부분, 펌핑 수송 시설의 이상 작동에 따라 소음 진동 폭의 증가, 시설 전체의 떨림으로 이송 접합 부분에 틈이 생겨 인화성 물질, 가연성 물질, 가스 분진 등이 누출 부유로 접화원에 인화되어 폭발 화재의 중대재해 발생 가능성이 다분히 잠재하고 있다. 따라서 이와 같은 중대재해를 예방하고 각종 화학설비를 보유한 중소 사업장의 설비 이상 고장 진단 시스템의 실태를 조사하기 위하여 인천, 수원, 서울, 안산, 대전 5개 시도원 관내 각 1개 사업장을 추천받아 현장을 방문하여 담당자와 인터뷰로 기초 자료를 조사하고 공동적인 실태 문제점 및 요구 사항 등을 도출 하기 위한 설문서를 만들어 교육원 화학공정 전문과정, 실무 안전관리자 과정 울산, 여천, 석안회 회원 및 시도원 순회 교육시 참석자 200명을 대상으로 설문서를 배포하고 작성후 직접회수 하는 방법을 택하여 무성의 응답지는 제거하고 통계처리 하였다. 이를 토대로 실제 중소기업 여건에 알맞는 하드웨어 프로그램을 개발 제작하여 5개 현장에서 2~3회 적용시험을 통해 설비 진동 이상상태와 가스 누설관계의 연관성을 규명하고 엑스퍼트 시스템을 통해 전문해석 대안책을 제시하는 프로그램을 개발 하였다. 진동 부분의 전문적인 엑스퍼트 시스템 개발자료의 설문은 무작위로 선정한 6개사 공무부서 요원들의 인터뷰를 통해 작성 회수 하였다. 이때 사용한 1차 설문내용은 사업장 개요, 안전관련 계획 작성 및 분석방법, 안전진단 점검시 누출여부에 따른 작업설비 상태의 이상진단 장비 사용 여부 및 해석 방법 등

20개 항목을 설정하여 누구나 쉽게 작성 할 수 있도록 문안을 작성하였다.

<표3-1>설문분류 및 항목구성

분 류	항 목 수	비 고
1. 사업장 개요	주업종외 5개 항목	
2. 안전관련 계획서류	안전계획 작성외 5개 항목	
3. 안전진단 점검	유해위험물질 누출외 10개 항목	

1차 조사기간은 '99. 3. 25 ~ '99. 6. 25 산업안전 전문과정등 수강생 140명, 교육원 지도원 순회 교육시 참석한 안전관리자 60명을 대상으로 실시했으며

2차 조사는 '99. 8. 20 ~ '9. 30 6개 사업장을 방문적용 시험시 실시하였다.

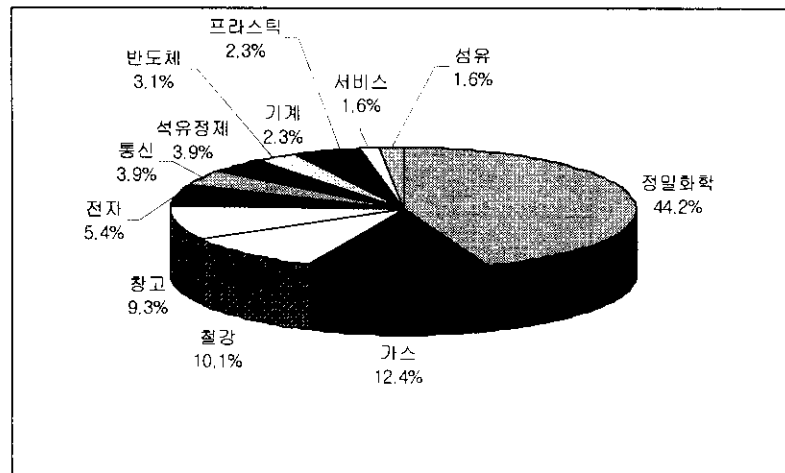
<표3-2> 이상진단기본 조사 항목 구성

구 분	항 목	비 고
1. 간이진단	기계정보 4 항	
2. 5감 정보	8 항	
3. 간이진단 정보	11 항	
4. 정밀진단 정보	14 항	
5. 기기정보	3 항	
6. 일상점검	5 항	
7. 가설소견	7 항	
	언바런스,미스어라 이먼트 7항 축수결함(3항), (10항)	

2. 설문 실태분석 및 고찰

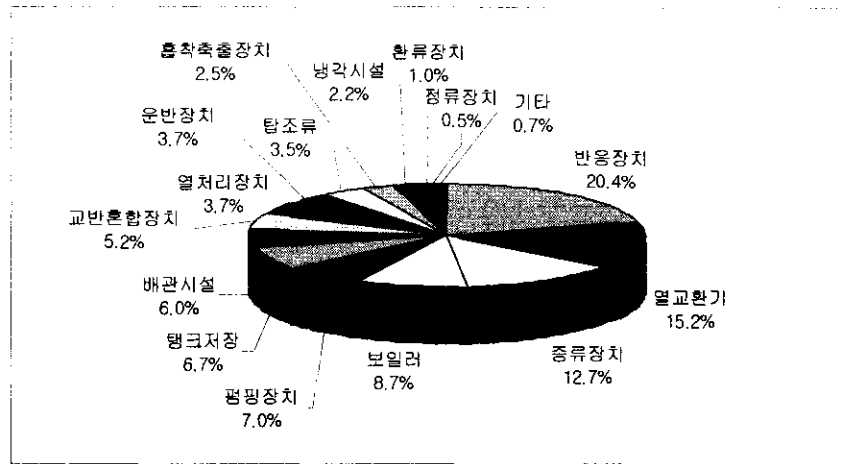
가. 설문분석

설문에 참여한 사업장은 200개소였으나 각 항목 분석 가능한 신뢰성 있는 기업은 134개소로 67%를 점유했다. 각 항목별로 응답하지 않는 항목은 무응답 처리하여 통계처리에 약간의 차가있다. 참여한 주업종별로 보면 정밀화학이 44.2%로 제일 많고 다음 가스업종이 12.4%, 철강업이 10.1%, 창고업 9.3% 전자 반도체 8.5%, 석유정제 3.9% 순이었다.



[그림3-1]사업장의주업종

주생산설비 기계형태는 반응 혼합장치 25.6%로 제일 많으며 다음이 열교환기류(냉각기, 열교환기, 열처리장치) 탭조, 분리장치 20.2%, 압축이송설비 13.0%, 보일러 8.7%, 탱크저장 6.7%, 운반장치 3.7%, 기타 0.7% 순으로 나타나고 있다 [그림3-2] 참조



[그림3-2] 기계시설 형태

각 사업장에서 생산제품에 주사용 원료로 취급되고 있는 것은 메타놀의 80종으로 다양하게 사용하고 있으며 유해위험물도 81종에 달하고 있다. <표3-3>참조

<표 3-3> 유해위험물도 81종 일람표

	Frequency	Valid Percent	Frequency	Valid Percent	Frequency	Valid Percent		
가성소다	8	4.93827	올소자이렌	1	0.61728	CO2	3	1.85185
경유	1	0.61728	원유	1	0.61728	COG	1	0.61728
도시가스	4	2.46914	유기과산화물	1	0.61728	EA	1	0.61728
등유	1	0.61728	이피크로하이진	1	0.61728	EG	4	2.46914
디젤	1	0.61728	이황화탄소	1	0.61728	EO	2	1.23457
레진	1	0.61728	인산	2	1.23457	HF	1	0.61728
메라민	1	0.61728	자이렌	1	0.61728	IBN	1	0.61728
메타놀	5	3.08642	질산	4	2.46914	KOH	3	1.85185
벤젠	7	4.32099	초산	2	1.23457	LPG	3	1.85185
수소	3	1.85185	크르드오일	1	0.61728	MAA	1	0.61728
신나	1	0.61728	크실렌	4	2.46914	MDI	1	0.61728
싸이크로hexan	1	0.61728	톨루엔	11	6.79012	MEK	3	1.85185
아닐린	2	1.23457	타이시	1	0.61728	Sb2O3	1	0.61728
아세틸렌	2	1.23457	페놀	1	0.61728	SM	1	0.61728
아세톤	2	1.23457	포르마린	2	1.23457	SO3	2	1.23457
아크릴아마이드	1	0.61728	프레온	1	0.61728	TLN	1	0.61728
암모니아	10	6.17283	hexan	1	0.61728	VCM	1	0.61728
에틸렌	1	0.61728	hexen수소	1	0.61728			
에타놀	1	0.61728	황산	14	8.64198			
에틸알콜	1	0.61728	취발유	2	1.23457			
열매	2	1.23457	AN	3	1.85185			
염산	12	7.40740	AT	1	0.61728	Total	162	100
염소	2	1.23457	BFG	1	0.61728			
염화수소	1	0.61728	BTX	3	1.85185			

사업장의 근로자 수에 따른 규모별로 보면 101~300명이 31.6%로 제일 많고 1,000명 이상 대규모 사업장이 29.3%, 50인 이하는 16.5%, 51~101명은 96%로 300인 이하중 규모 사업장이 전체 참여 업체의 57.9%를 점유하고 있다.

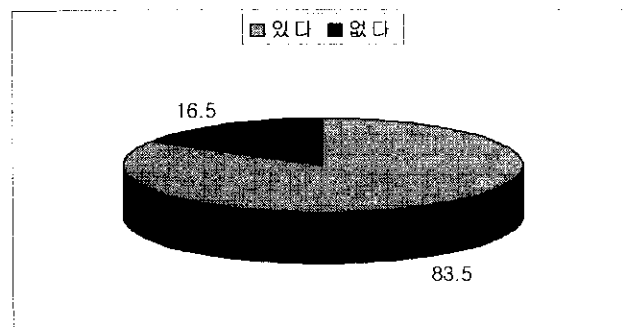
<표3-4> 규모별 비교

규 모	점유율(%)	누적점유율(%)	비 고
50인 이하	16.5	16.5	
51~100	9.6	26.3	
101~300	31.6	57.9	
301~500	3.8	61.7	
501~1,000	9.0	70.7	
1,000이상	29.3	100	

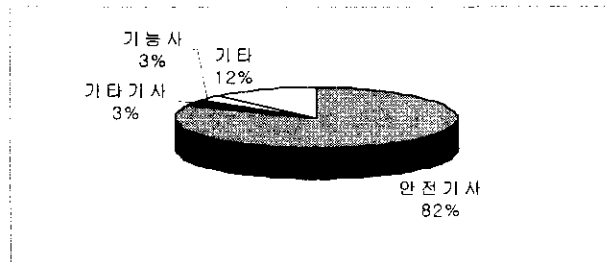
IMF로 인한 각 사업장들의 경영 개혁 통폐합에 따라 근로자들이 조기퇴직 명예퇴직 등 각 조직구성의 변동으로 스태프의 안전관리 조직이 축소되거나 없어지고 안전관리자를 겸임 시킨 업체가 많아져 적극적인 안전관리 추진 활동이 위축되어 중대산업재해 예방활동에 많은 차질을 가져 올수 있다. 이런 현상은 우리나라 90%가 중소기업인 중소 영세업체에는 더욱 심각하게 나타나고 있다.

안전관리 전담부서 여부에 대해서는 전담부서가 있다 83.5%, 없다 16.5, 로 나타났으며 안전관리자 자격은 안전기사 82.2%로 제일많고 기타 12%였다. [그림 3-3, 3-4]

참조



[그림3-3] 안전관리 전담부서

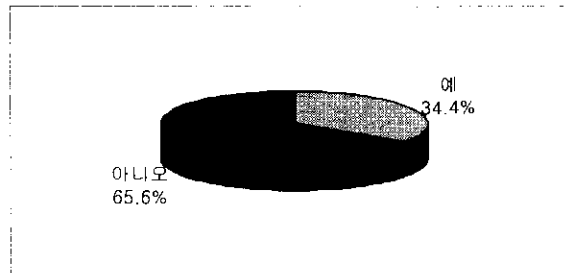


[그림3-4] 안전관리 자격

<표3 - 5> 안전관리자 자격 현황

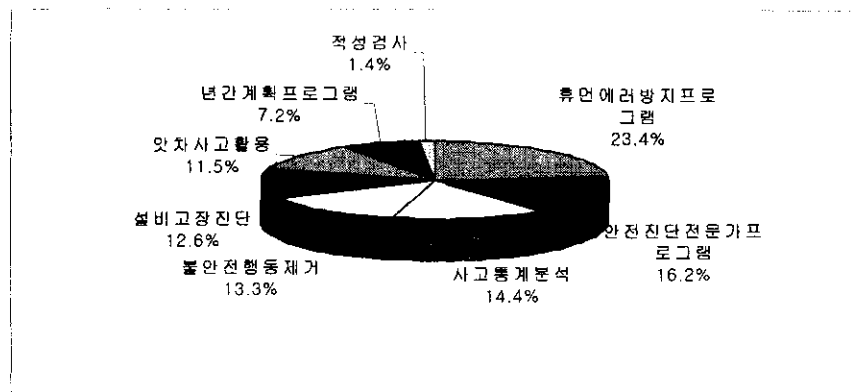
점유율 자 격	인 원 수	점 유 율%	실제점유%	비 고
안전기사	107	79.9	81.7	(주) 실제점유는 무응답을 제외 한점유 표시
타 기 사	4	3.0	3.1	
기 능 사	4	3.0	3.1	
기 타	16	11.9	12.2	
무 응 답	3	2.2	-	

사업장에서 안전관리를 추진하는 실태로서 안전관리계획을 작성한다. 92.5%가 작성하고 있으나 매년 사고 통계작성을 한다. 88.8%로 얼마나 분석 자료를 현장 사고 예방에 잘 활용하는지 알수없다. 그러나 통계처리를 프로그램화 하여 활용하는 사업장은 34.4%로 서류의 간소화가 되지 못하고 있어 앞으로 통계 프로그램 공급이 요망되고 있다 [그림3-5] .



[그림3-5] 통계 프로그램화 유무

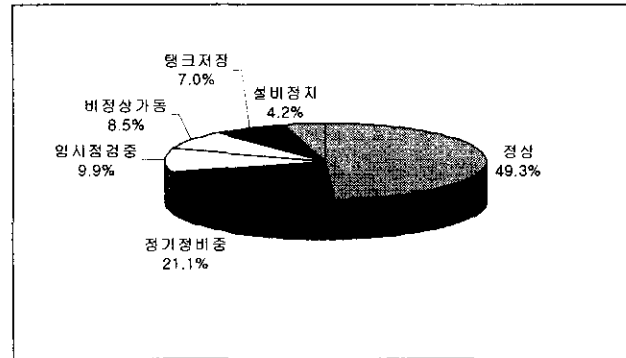
사업장에서 필요한 통계프로그램은 휴먼에러 방지 프로그램이 23.4%로 제일 많다. 이 프로그램을 이용하여 근로자들의 불안전행동을 예지하여 산업재해 예방에 근본적인 대책으로 활용하겠다는 의지를 보여주고 있다. 다음으로 안전진단 전문가 프로그램 16.2%, 사고통계 분석 프로그램은 14.4%로 각 사업장에서 적극적 안전추진을 체계화시킨 간소화된 프로그램 서식이 절실히 요구됨을 알수 있다. [그림3-6] 참조



[그림3-6] 안전보건관련 프로그램 요구도

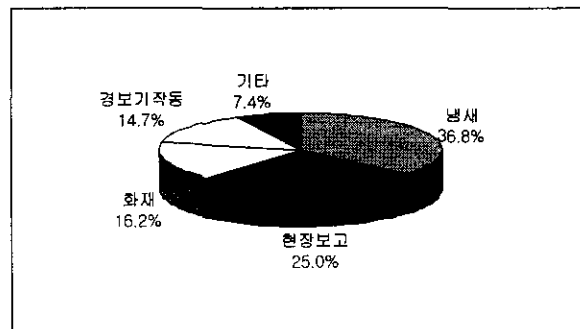
다음으로 안전진단점검 현상 파악은 어떠하며 어떻게 실시하고 필요한 사항은 어떤 것이 요구되고 있는지 그 실태를 알아보았다.

산업현장의 생산설비 가동중에 가스, 유해위험물질이 누출된적이 있는가 라는 질문에 있다 49.2%, 없다 50.8%로 반반 이었으며 이때 작업상태는 정상상태에서 누출이 49.3% 정기 정비중이 21.1% 임시점검 및 비정상가동시에 18.4%가 누출되어 설비의 이상고장 상태를 예지 할 수 있는 진단설비가 요구됨을 알 수 있다 [그림3-7] 참조.



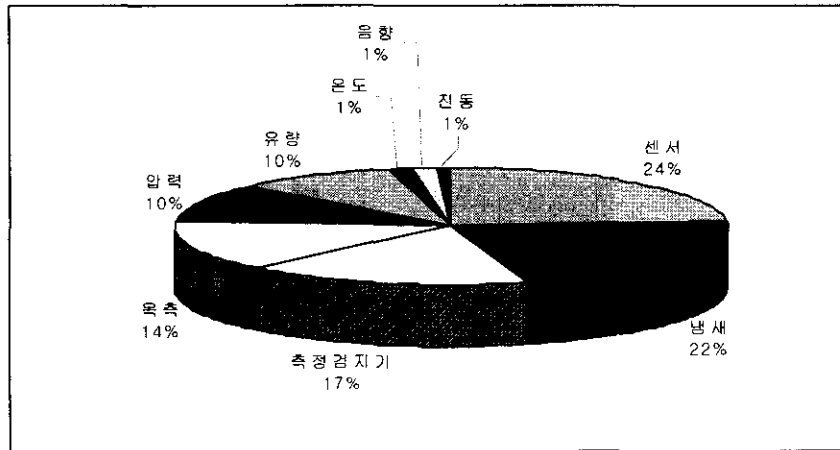
[그림3-7] 누출시 작업상태

특히 누출된 사실은 어떻게 알았는가에 대해 냄새가 남으므로 알았다. 36.8% 현장에 서 보고 하므로서 25%, 화재발생으로 16.2% 순으로 되어 있다 [그림3-8] 참조



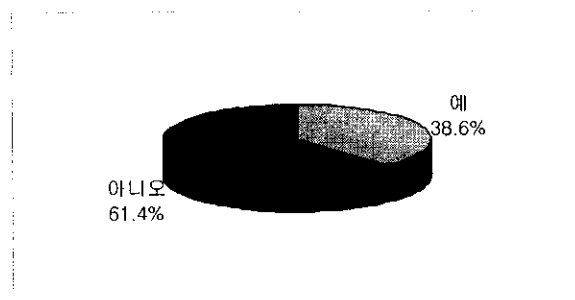
[그림3-8] 누출사실의 인지

가스누출 탐지방법은 [그림3-9] 와 같이 센서, 측정검지기 71%, 냄새 22%, 목측 14%, 압력변동 10%, 유량변동 10% 순으로 되어 있다.



[그림3-9] 원료 누출 탐지 방법

특히 설비의 이상고장진단 원인을 추정하는 장비가 있다는 사업장은 33.6%없다, 52.2% 무응답 14.2%이었다 [그림3-10] .



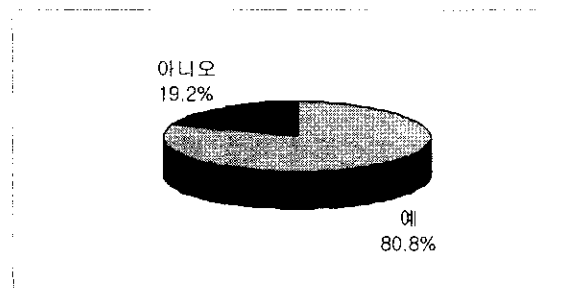
[그림3-10] 고장원인을 추정하는 장비

이 중에 이상진단 장비명을 쓴 업체는 9개업체였으나 센서등 유사 진단장비였다. 소음진동을 이용한 설비진단을 했다는 사업장은 49.3% 안했다, 44%무응답, 6.7%로 그 해석은 자동으로 할 수 있다. 32% 못한다, 51.5%무응답 24.2%으로 나타났으나 그 해석 방법이 엑스퍼트 시스템을 활용한 전문해석 도출 프로그램인지는 확인하기 어렵다. 고장진단 전문가 시스템을 알고 있는 사람은 겨우 20.9% 모른다 66.4% 무응답 12.7%<표3-6>참조

<표3-6>고장진단 전문가 시스템 인지여부

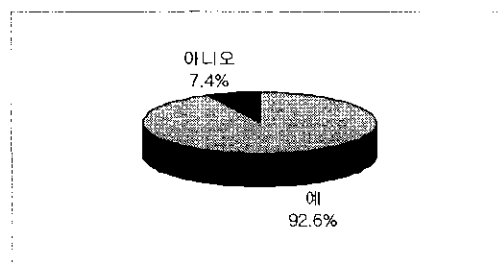
	사업장수	점유율%	비 고
알고있다	28	20.9	
모른다	89	66.4	
무응답	17	12.7	
합 계	134	100	

귀사에서 전문가 시스템 프로그램이 필요한가를 물었을때 [그림3-11] 과 같이 필요하다는 사업장은 전체 80.8%로 대부분 사업장이 요망하고 있었다.



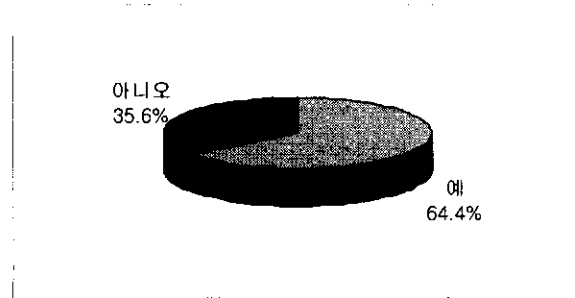
[그림3-11] 전문가 시스템의 필요여부

특히 연구원에서 프로그램을 개발 공급하면 사용하겠는가 라는 질문에 92.6%가 사용하기를 원하고 있다. 이번 고장 이상진단을 이용한 전문가 시스템 개발은 각 사업장이 크게 호응될 수 있어 산업재해 예방 활동에 실용적인 연구로 크게 기여 할 수 있다고 예측된다 [그림3-12] 참조



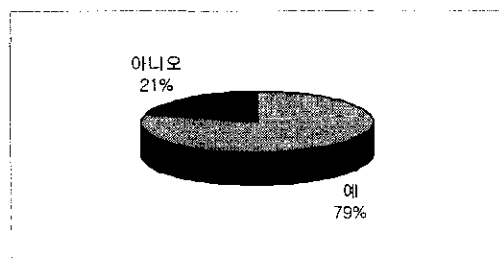
[그림3-12] 전문가시스템의 현장 사용여부

사업장에서 화학설비의 소음진동을 정기적으로 측정하고 있는 사업장은 [그림3-13]와 같이 56.7%로 누출이상의 원인이 되고있는 이상 고장진단이 잘 활용되고 있지 못한산정이다.

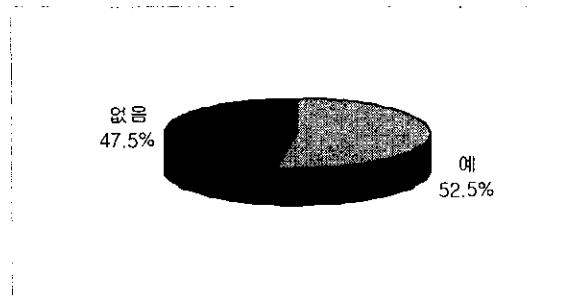


[그림3-13] 설비구동부분의 소음진동 정기 측정여부

특히 설비기계의 구름 축수 연결부 회전체에 대한 정보는 41.8%밖에 정보를 갖고 있지않아 나머지 사업장은 생산시설의 회전체 구동부분의 떨림에 따른 고장 화재등 중대재해가 발생할 잠재위험이 크다는 사실을 예측할 수 있다. [그림3-14] 과같이 오감을 통한 간이진단을 하고 있는 사업장은 전체 73.1%가 하고 있으나 정보 데이터가 있는 사업장은 겨우 반정도인 35.8%으로 답하고있으나 기계설비의 오감을 통한 정보기록은 52.5% 밖에 갖고 있지를 못하다는 답의 차가있다. [그림3-15]

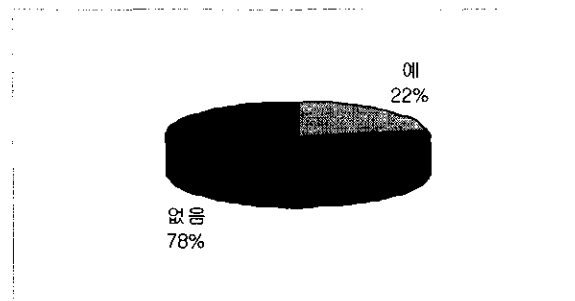


[그림3-14] 오감을 통한 간이진단여부



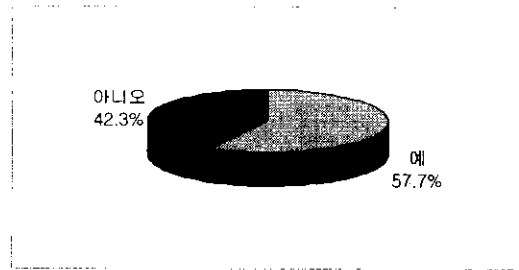
[그림3-15] 기계설비의 오감을 통한 정보 기록

설비의 회전주파수 정보는 22%가 있다고 답하고 있으며, 없다고 답한 것이 78%로 있는 업체의 3배가 되고 있어 설비진단을 하고 있으나 회전설비의 주파수의 측정은 못하고 있다고 추정된다 [그림3-16].



[그림3-16] 설비 구동부 회전 주파수 정보유무

설비의 회전 구동부의 진동 정도에 따라 전체 설비의 떨림이나 후렌지 부분의 볼트 조임상태, 써포트 상태, 집합 패킹부분의 틈이 생겨 누출위험을 예측 할 수 있고 특히 모터의 표준화된 진동 이력이 없어 수명 예측이나 고장이상 여부를 기술적으로 예측하기 어렵다는 사실을 파악할 수 있다. 이러한 실정임에도 회전체이상 여부를 진동설비를 이용한 고장예측진단을 무료로 실시할 경우 원하는 업체는 겨우 57.7% 밖에 원하지 않고 있었다. [그림3-17]



[그림3-17] 무료 진단 시범적 시행시수궁여부

나. 고 찰

이상의 설문조사 분석결과 다음과 같은 사실을 파악할 수 있었다.

- 1) 사업장의 화학설비에 사용하는 원재료는 유해 위험물질이 다양하고 이를 취급하는 시설도 다양하며 이 시설이 모두 배관라인으로 연결되어 있고 이송은 펌프를 이용한 자동이송으로 펌프에 따른 누출위험이 다량 잠재하고 있다. 특히 추운 겨울에 실내 환기시설이 잘 안될 경우 집합부나 밸브부분의 결함으로 누출된 가스나 인화성 물질이 폭발범위에 이룰수 있어 화재폭발의 잠재위험이 높다
- 2) 모터를 이용한 반응 교반장치의 샤프터 부분에서 리크나 반응저장조의 위험물질을 펌프로 2·3층 이상으로 이송시 힘의 전달에 따른 이상 떨림이나 부하가 많이 걸릴수 있어 진동이 전체 타시설에 전달될때 누설의 잠재 위험성이 있음에도 회전체 구동부분에 구체적이고 과학적인 이상고장 진단 데이터 기록이나 장비가 대부분 비치 되어있지 않다
- 3) 안전관리를 담당하는 부서의 기술적인 수준이나 업무수행의 간소화, 안전통계 분석 업무가 과학화 되지 못하고 있다
- 4) 안전관리를 과학화 하려는 경영자의 경영안전 의욕이나 기업체 자체의 안전관리

수준을 향상시키려는 정책적 노력이 부족하며 IMF에 따른 규제 완화로 더욱 안전관리자 자격 수준이 낮아져 전문화 되지 못하고 형식적이어서 세계적인 경영 안전 시스템적용 시대에 선진국에 비해 더욱 안전기술이 뒤떨어질 우려가 있다

- 5) 설비 가동의 기본인 모터메이커의 표준화된 진동 DATA가 사용업체에 거의 없어 진단시 이상상태 정도의 성능진단비교가 어렵고 수명예측 및 누설 가능성 예방대책에 차질을 가져올 수 있다

3. 개선방향

설문실태를 분석한 결과 사업장에서 화학설비의 누설원인은 여러 가지 원인이 있겠으나 구동 회전체의 진동 전달 상태에 따라 접합 후렌지 부분의 볼트넛트의 헐거움, 균열, 마모, 부식상태, 가스켓트 팩킹링의 뒤틀림등 결합부분에서 가스 인화성 물질이 누설 될 가능성이 높아지고 있다. 이러한 상태는 직접 가연성 가스 측정기를 사용하여 측정한 결과 환기상태서 0.5~2.5%/Vol가 누설되는 현상을 발견할 수 있었다

가. 각 산업현장의 반응기, 합성장치등의 구동부분 모터는 구입시 고유 진동 표준화 DATA를 뉴저에게 MSDS와 같이 첨부하는것을 의무화 시켜야 할 것이다.

제품생산 과정에서 취급되는 유해위험물 량에 따라 온도, 압력, 반응속도, 반응시간, 이송량, 이송시간 등의 작업상황인자의 다변화에 따라 생산설비의 노화,마모, 떨림상태와 작업환기 조건 등이 겹쳐 누설 가능성이 다분히 잠재하고 있어 주기적인 회전체의 이상진단에 따른 기록비교 개선이 요망된다

나. 현장에 상시 밸브, 배관, 후렌지 부분, 펌핑부분의 누설 가능성이 있는 곳은 주기적인 측정과 자동 누출센서를 진동설비 진단기와 연계시켜 변화를 기록, 그래핑

할 수 있도록하고 디지털간이 측정기로 현장 근로자가 직접 확인 할 수 있도록 휴대함과 동시에 이상 발생시는 즉시 보고조치와 개선이 되도록 정책적인 배려가 요망된다.

다. 안전관리 기술 수준 향상을 위한 TOP의 관심과 근로자들의 휴먼에러에 따른 화재·폭발사고가 되지 않도록 기업 스스로 강화하는 안전 교육훈련이 요망된다.

라. 안전관리 업무의 과학적 처리를 위한 각종 분석 전산 프로그램 개발 공급이 다양하게 이루어져야 한다

마. 회전체의 이상고장 진단 엑스퍼트 시스템 개발과 진동누설 연관 기준 지침이 요망된다. 그리고 근로자 누구나 화학설비가 있는 현장에서 모터와 배관 연결 부분의 누설 상황을 측정하여 쉽게 전문적인 해석을 할 수 있는 다 채널 이상진단 시스템 개발과 저가의 진단 국산화장비가 각 사업장에 많이 공급 활용되어 산재예방에 기여할 수 있도록 구입자금지원이 적극 정책적으로 이루어져야 한다.

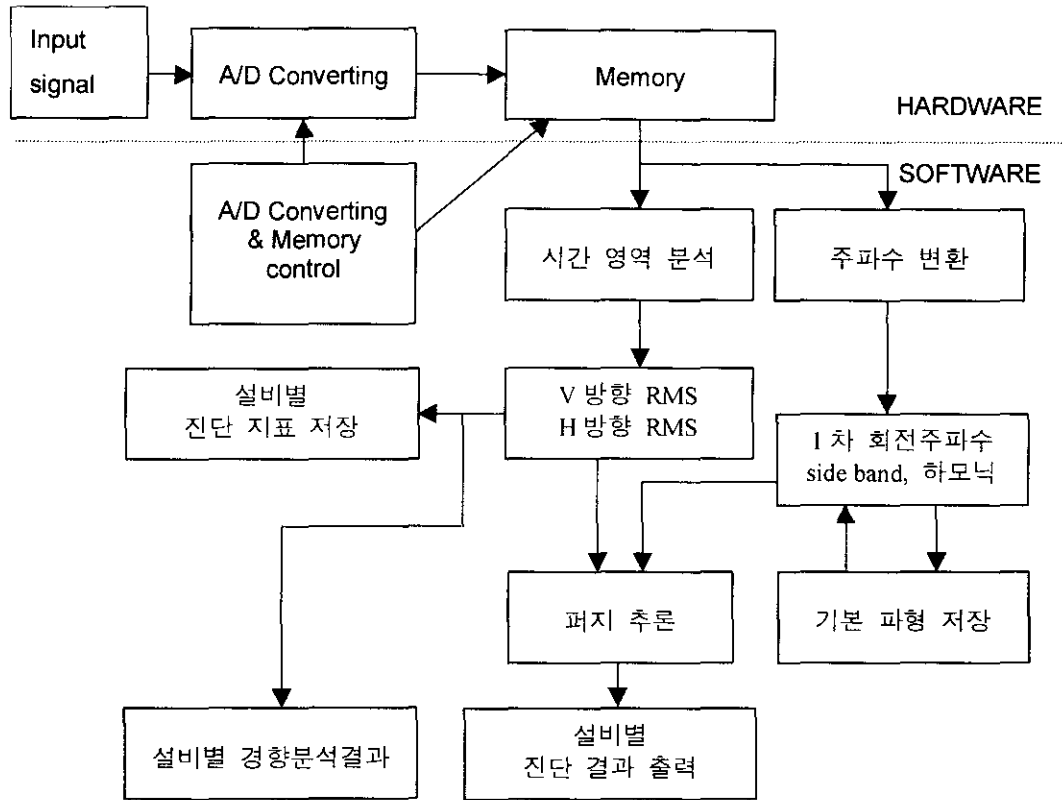
바. 화학설비의 가스 및 유해위험물질의 진동 누설에 따른 폭발화재 사례집개발과 모의 시뮬레이션이 안전교육용으로 활용되도록 제시 공급되어야 한다.

제 4 장 안전 진단 엑스퍼트 시스템 개발

1. 전체 시스템의 구성

가. 시스템 구성도

화학설비의 이상을 감지하기 위한 이상진단 모니터링 시스템은 일반설비 진단 시스템과 화학적 진단시스템이 결합된 시스템이다. 그러나 일반 설비 진단 시스템과 화학적 진단시스템은 입력만을 달리하고 있을 뿐 수집 후 처리과정은 비슷한 시스템으로 구성된다. 대표적인 특성으로서는 일반 진단시스템은 진동과 소음과 같은 빠르게 변하는 입력이 존재하지만 화학 센서류는 동작이 느리므로 신호의 변화 속도가 느리다. 따라서 이들 모두를 사용하려면 입력신호에 대한 처리속도는 빠른 속도의 신호에 기준을 두고 구성하며 저장기간은 느린 신호의 변화를 충분히 소화시킬 수 있는 방법을 사용하여 진단시스템을 구성한다. 이를 고려하여 진단시스템을 구성하면 전체 구성도는 [그림 4-1]과 같다. 진단 시스템은 크게 hardware와 software부분으로 나누어진다. Hardware 부분은 물리적 신호를 전기적 신호로 바꾸는 입력 신호부와 전기적 신호를 수치화 시키는 A/D Converter 그리고 수치화된 데이터를 임시로 보관하는 메모리가 있다.



[그림 4-1] 진단 시스템의 전체 구성도

본 연구에서는 화학설비의 이상을 감지하기 위한 진단시스템을 구축하는 1 단계로서 진동신호의 1채널을 사용하여 진단시스템의 prototype을 구축하고자 한다. 따라서 현재의 hardware의 구성은 1채널을 사용하고 있지만 향후 다채널로의 확장을 위하여 기본 구조는 다채널용으로 구성하고자 한다. 진단시 사용하고자 하는 Hardware부의 물리적인 신호는 진동으로서 설치 환경과 특정 주파수 대역에 따른 가속도 센서 및 증폭기 사양에 따라 결정하였으며 진동의 주파수 경향을 조사하여 향후 확대되는 입력 수를 고려하여 A/D 변환기의 성능을 결정하였다. 따라서 16 채널의 용량을 최소단위로 하여 측정대상에 따라

진단 시스템의 기본 세트를 설치할 수 있도록 구성한다.

Software 부분은 hardware를 제어하는 부분과 측정 신호로부터 원하는 정보를 얻어내는 신호 처리부 그리고 처리된 신호를 판단하고 보관 관리하는 신호 판단부로 구성된다. 설비별로 측정된 진동 데이터는 시간영역의 RMS값과 주파수 영역의 각종 진단지표로 변환되며 이들 정보는 퍼지 추론을 거쳐 현재 설비의 상태를 진단 결과로 출력한다. 또한 설비별 RMS 변동 추이를 이용하여 경향 분석 결과도 함께 출력한다.

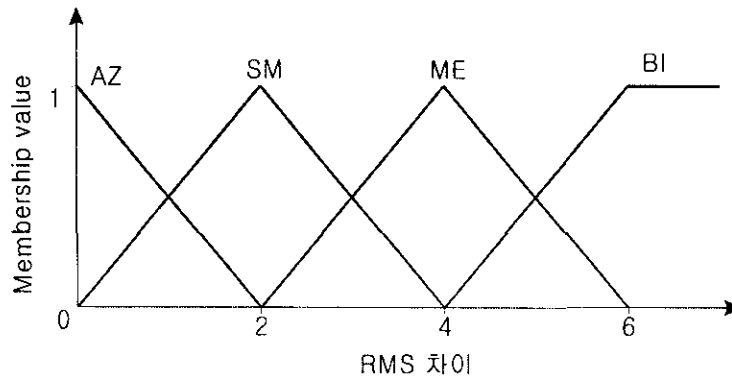
한편 진단시스템에서 software와 hardware는 서로 밀접하게 결합되어 있으므로 진단시스템 구축에 필요한 결정은 신호 처리량과 신호처리 속도 등을 고려하여 컴퓨터의 기종을 선택하며 처리구조를 정확하게 반영시킬 수 있는 OS와 프로그램 도구를 결정한다. 그리고 이에 따르는 소프트웨어의 기본 구조를 결정하게 된다. 그리고 필요로 하는 기능들을 모듈화 시켜 작성한 후 각 모듈의 성능을 평가하며 평가된 모듈들을 정확하게 결합시켜 전체 진단 시스템을 구축한다. 본 연구에서는 가장 널리 보급되어 있는 Microsoft사의 windows98을 OS로 한 컴퓨터를 이용하며 이 기반 위에서 hardware와 잘 조화를 이루는 프로그램 제작 도구인 National Instrument사의 Labwindow CVI를 사용하여 software를 작성하였다.

나. 진단 알고리즘

본 연구에서는 설비별로 측정된 진동 데이터를 각종 신호처리 기법을 이용하여 유용한 정보로 변환한 후 진단에 사용되는 지표들을 추출하였다. 진단 지표로는 <표 3-3>에 나타난 바와 같이 회전기계의 이상을 가장 효과적으로 감시할 수 있는 RMS와 1차 회전주파수를 기본 진단지표로 설정하였으며 Side band, 고차 하모닉 성분, 축 방향의 진동 레벨 등을 보조 진단지표로 활용하였

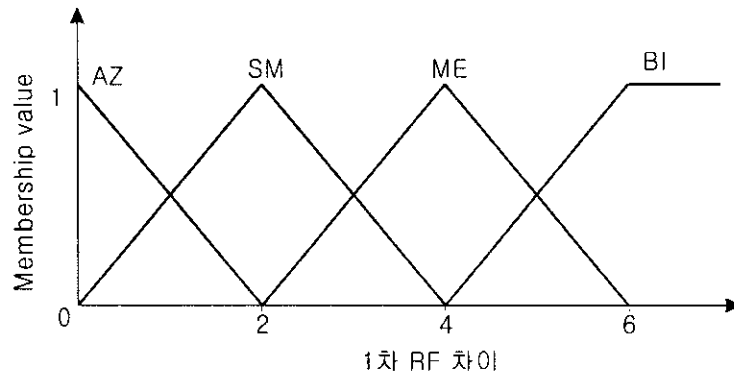
다.

[그림 4-2]는 특정 설비에 대해 정상적인 진동 RMS값과 측정된 RMS값에 대한 차이로 구성되는 멤버십 함수를 나타내고 있다. 이 함수는 퍼지 추론을 위한 기본 정보로서 활용되며 RMS 차이를 나타내는 x축 값의 범위는 일반 진단에서 적용되는 값의 범위를 3각형 모양으로 구성하여 인간 전문가의 감각적 판단 기준을 모델링하였다. 또한 y축 값은 0에서 1까지 정규화 시켰으며 여기서 4개의 언어적 변수는 AZ(Approximately Zero), SM(Small), ME(Medium), BI(Big)를 각각 의미한다.

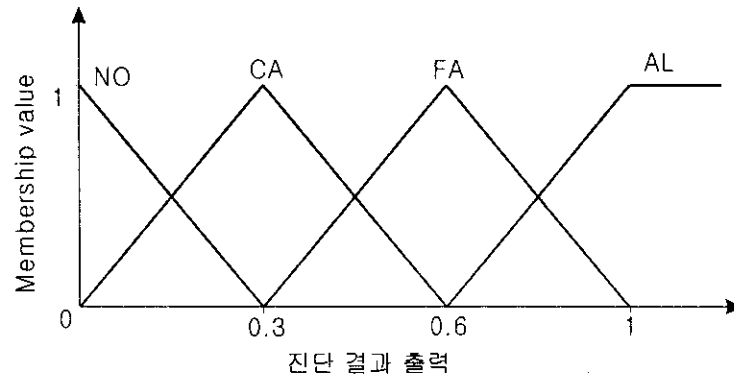


[그림 4-2] RMS 차이에 대한 멤버십 함수

한편 [그림 4-3]은 1차 회전주파수의 차이에 대한 멤버십 함수를 나타내고 있는데 x축 값의 범위나 언어적 변수는 RMS 차이에 의한 함수 표현과 동일하다. 또한 [그림 4-4]는 진단 결과 출력에 대한 멤버십 함수를 각각 나타내고 있으며 x축 및 y축 값은 0에서 1까지로 정규화 시켰고 여기서 언어적 변수는 NO(Normal), CA(Causion), FA(Fault), AL(Alarm)을 각각 의미한다.



[그림 4-3] 1차RF 차이에 대한 멤버십 함수



[그림 4-4] 출력에 대한 멤버십 함수

이상과 같이 기본 진단지표들에 대한 멤버십 함수의 구성이 끝난 후 추론에 필요한 각종 룰을 구성하기 위하여 RMS차이와 1차 RF의 차이로 <표 4-1>과 같은 판단 테이블을 구축하였다. 이 판단 테이블을 이용하여 총 16개의 진단 룰을 추출할 수 있으며 룰의 결론부에 해당되는 출력 결과는 현장 실험을 통하여 보정하였다.

<표 4-1> RMS와 1차RF에 의한 판단테이블

1차RF RMS	AZ	SM	ME	BI
AZ	NO	CA	FA	AL
SM	CA	CA	FA	AL
ME	FA	FA	AL	AL
BI	AL	AL	AL	AL

<표 4-1>을 이용하여 진단에 활용되는 16개의 룰은 다음과 같이 추출할 수 있다.

IF RMS is AZ and 1차RF is AZ THEN output is NO

IF RMS is AZ and 1차RF is SM THEN output is CA

⋮

IF RMS is BI and 1차RF is BI THEN output is AL

한편 <표 4-2>는 RMS 차이와 보조 진단지표의 검출 개수를 이용하여 구성한 판단 테이블로서 <표 4-1>에서와 마찬가지로 16개의 룰을 추출할 수 있으며 각 판단 테이블에 의한 추론 결과는 통합되어 종합된다.

<표 4-2> RMS와 진단지표수에 의한 판단테이블

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

이상과 같이 구성된 멤버십 함수와 판단 테이블을 이용하여 실제 데이터의 입력시 퍼지 추론을 통한 진단 결과를 산출할 수 있게 된다. 진단 과정에 대한 예로서 특정 설비에 대해 현재 측정된 RMS값과 정상적인 RMS값의 차이가 1.5로 계산되었고 1차 회전 주파수의 차이가 2.6으로 계산된 경우에 대해 퍼지 추론에 의한 진단 결과의 산출과정이 [그림 4-5]에 나타나 있다.

먼저 계산된 RMS 차이 1.6과 1차RF 차이 2.6의 값을 [그림 4-2]와 [그림 4-3]의 멤버십 함수 그래프에 각각 적용시킨다. 이 경우 4가지의 조합이 가능하므로 <표 4-1>의 판단 테이블로부터 다음과 같은 4개의 룰을 추출할 수 있다.

IF RMS is AZ and 1차RF is SM THEN output is CA

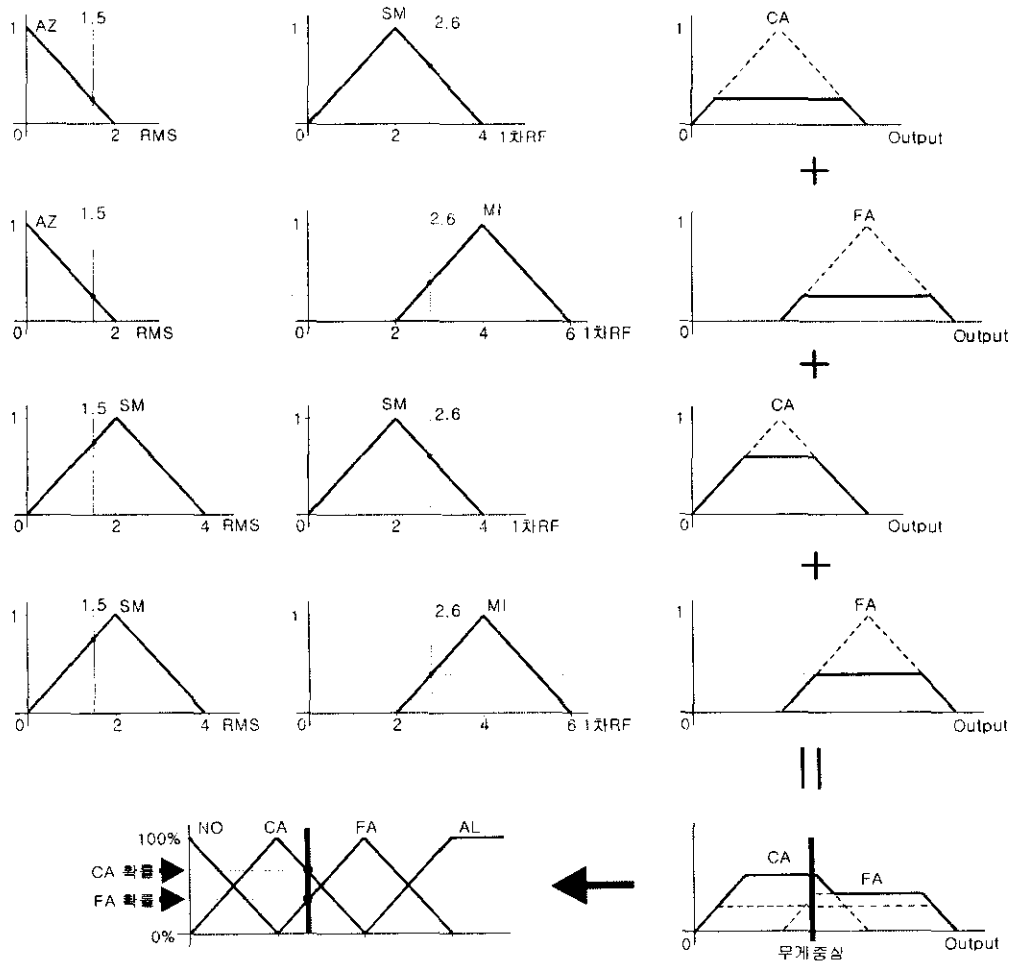
IF RMS is AZ and 1차RF is ME THEN output is FA

IF RMS is SM and 1차RF is SM THEN output is CA

IF RMS is SM and 1차RF is ME THEN output is FA

이렇게 추출된 룰들은 각각 [그림 4-2]와 [그림 4-3]의 멤버십 함수에 적용되어 그래프와의 교점에 대한 y값 중 min 절차에 따라 최소값으로 [그림 4-4]의 출력 멤버십 함수 그래프를 절단하게 된다. 이러한 과정은 4개의 룰에 대해 모두 적용되며 각 룰에 의하여 절단된 출력 그래프들은 모두 합성된다. 출력 그래프의 합성시에는 4개의 그래프 중 max 과정에 따라 최대값으로 합성되는 외형을 갖는 다각형으로 구성된다.

그런데 합성된 출력 멤버십 함수는 비퍼지화의 과정을 거쳐야만 실제 물리적인 의미를 가질 수 있으므로 무게중심법을 이용하여 x축에 대한 중심값을 계산한다. 이렇게 계산된 무게중심값을 원래의 출력 멤버십 함수 [그림 4-4]에 적용시키면 2개의 교점이 나타나게 되는데 이들 값에 100을 곱하여 진단 확률로 변환된다.



[그림 4-5] 퍼지 추론에 의한 진단결과 산출 과정의 도식화

한편 보조 진단지표에 대해서도 앞의 내용과 동일한 과정을 수행하여 진단 확률을 계산하는데 한가지 차이점은 보조 진단지표수의 경우 0에서 3사이의 crisp한 하나의 값이므로 <표 4-2>에서 2개의 룰만이 얻어진다. 이 2개의 룰을 이용하여 앞의 max-min composition 과정을 거쳐 진단 확률을 계산한다.

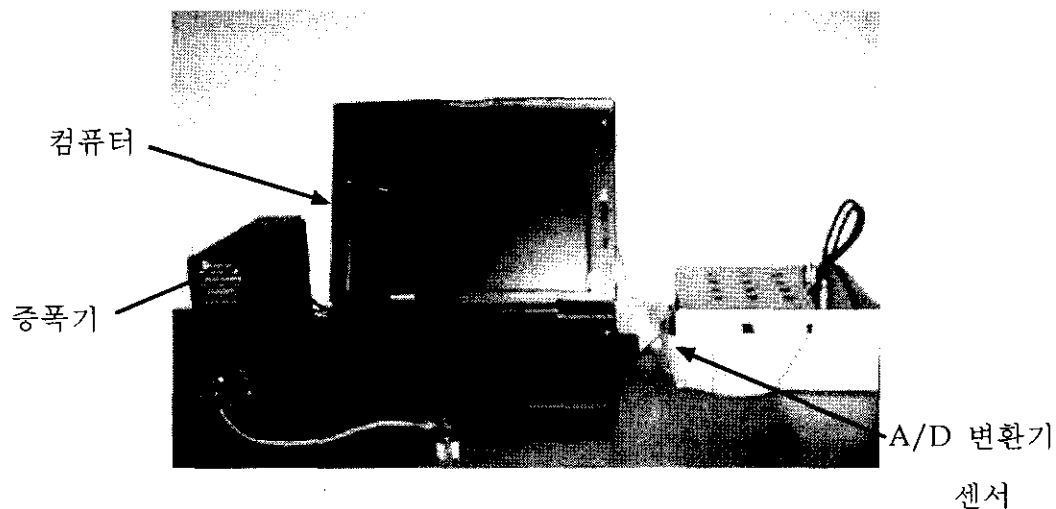
두가지 추론 과정이 모두 끝나면 기본 진단지표와 보조 진단지표에 의하여

계산된 진단 확률들을 모두 산술 평균하여 최종 진단 확률을 얻게 된다. 예로서 기본 진단지표에 의한 진단 결과가 NO(70%), CA(30%)이고 보조 진단지표에 의한 진단 결과가 CA(40%), FA(60%)라면 이들 두 결과를 산술평균한 NO(35%), CA(35%), FA(30%)가 최종 진단 결과로 확정된다.

2. 안전진단 하드웨어 및 소프트웨어 구성 개발

가. 하드웨어의 개발

본 연구에서 사용되는 hardware의 구성은 센서와 센서에 따른 증폭기, 증폭된 신호를 컴퓨터로 입력시키기 위한 A/D 변환기 그리고 컴퓨터로 이루어지며 hardware제어용 software인 drive file이 있다. [그림 4-6]은 본 연구에서 개발한 진단 하드웨어의 외형을 나타내고 있다.



[그림 4-6] 진단 시스템의 hardware 외형

한편 본 진단 시스템은 일반적인 진단 시스템과 마찬가지로 센서, 변환기, 해석장치 등으로 구성되어 있는데 설비진단 전문가 시스템으로서의 하드웨어적 특징은 다음과 같다.

① 진동에 의한 진단 방식 채택

본 진단 시스템에서는 화학 설비의 진단을 위한 정보를 수집하기 위해 가속도계를 이용하고 있다. 진동에 의한 진단 방식은 비파괴 검사이며 가동중인 설비를 정지시키지 않고 정보를 수집할 수 있는 특징이 있다. 또한 주파수 해석 범위가 넓고 가격이 비교적 저렴하며 leakage를 유발하는 원인이 진동에 기인하는 경우가 많기 때문에 위험물질의 누출을 초기에 감지하기 위해 진동센서로 진단 시스템을 설계하였다.

② 진단 채널의 용이한 확장성

개발된 진단 시스템은 진동에 의한 설비의 감시를 목적으로 하고 있으나 진단 결과의 신뢰성을 향상시키기 위해 다른 진단 변수(leakage, 전류, 유량, 온도 등)를 입력할 수 있도록 최대 16채널까지 확장이 가능하다. 이에 따라 각종 진단 정보를 동시에 입력 받아 실시간으로 처리함으로써 시스템의 성능을 지속적으로 향상시킬 수 있다.

③ 진동 해석이 가능한 이동형 진단장비

본 진단 시스템은 일반적인 진동 특성을 분석하는 기존의 해석 기능을 모두 보유하고 있음과 동시에 회전설비에 대한 전용적인 진단을 수행할 수 있는 기능도 갖추고 있다. 또한 시스템 본체를 Notebook으로 구성하고 A/D board를 컴퓨터에 내장하여 현장 적용성 및 이동성이 우수하도록 설계하였다.

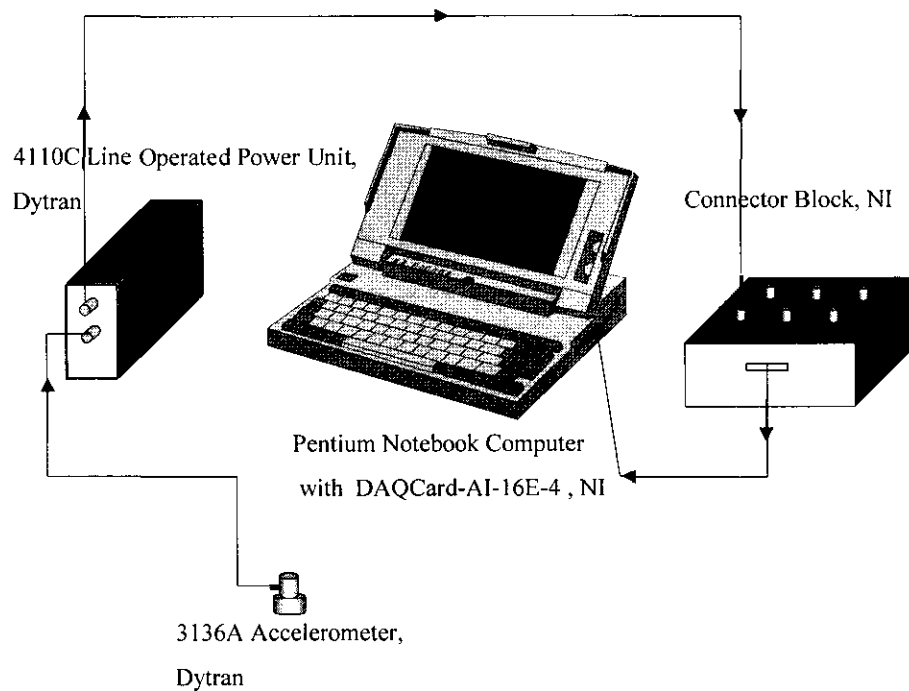
④ 경제성

개발된 진단 시스템은 회전체를 위한 전용 진단장비나 진동을 정밀 분석하

기 위한 해석장비와 비교해 볼 때 일반적인 진동 데이터의 해석은 물론 진단 기능도 갖추고 있지만 가격면에서는 개별적인 장비보다 훨씬 저렴하므로 경제 적 측면을 고려한 현장 보급성면에서 매우 우수한 효과를 발휘할 것으로 기대 된다.

(1). 하드웨어의 구성

(가). 하드웨어 구성도



본 시스템의 하드웨어는 크게 센서, 앰프, 노트북, A/D 변환기로 구성되어

있으며 각 단품과의 연결을 위해서는 전용 케이블이 필요하다.

(나). 하드웨어 결선 및 사용법

① 센서

진단 센서는 1축 가속도계(3136A, Dytran)로서 전용 케이블을 이용하여 가속도계의 단자와 증폭기의 input 단자 사이를 연결하여 사용한다.

② 증폭기

증폭기(4110C, Dytran)로서 센서로부터 입력된 진동 데이터를 충분한 크기로 증폭시켜 컴퓨터로 전송하는 역할을 수행한다. 사용시는 증폭기의 output 단자와 connector block의 임의 채널 사이를 BNC 케이블로 연결한 후 전원을 넣고 LED를 통해 동작 상태를 확인한다.

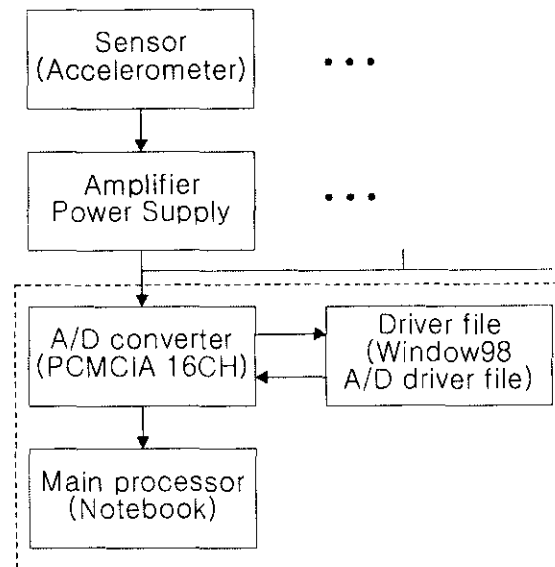
③ A/D 변환기

A/D 변환기(AI-16E-4, NI)는 컴퓨터 내부에 장착되어 있으며 전용 케이블을 통하여 16 채널의 connector block(NI)과 연결된다.

④ 컴퓨터

수집된 데이터를 입력 받아 진단 프로그램을 실행시키는 본체로서 이동성이 편리한 노트북으로 구성되어 있으며 부팅 후 진단 초기 화면이 자동으로 실행되도록 설정되어 있다.

[그림 4-7]은 본 연구에서 개발한 진단 시스템의 하드웨어에 대한 구성도를 나타내고 있다. 신호 수집을 위한 센서 및 증폭기는 하나로 구성되어 있지만 향후 다채널 센서 입력이 가능하도록 시스템이 구성되어 있으며 소프트웨어로 사용하고자 하는 채널을 설정할 수 있다.



[그림 4-7] 진단시스템의 하드웨어 구성

센서는 물리적인 신호를 전기적인 신호로 변환시키는 역할을 수행하는 장비로서 본 연구에서는 진단시스템의 prototype을 위한 기본센서로 진동 가속도계를 사용하였다. 진동을 측정하기 위한 센서는 변위센서, 응력센서, 가속도계 등이 있으나 화학설비의 이상을 감지하기 위한 주파수 대역으로는 1 Hz부터 1 kHz사이의 주파수대역의 신호들이다. 그러나 응력 센서는 주파수 응답이 느리고 변위센서는 고가이므로 가격과 성능이 우수하여 가속도계를 대상으로 선정하였다. 그 외에 여러 채널의 여유가 있으므로 향후 다른 센서들을 결합시켜 복합진단 시스템으로 확장시킬 수 있다.

한편 센서는 지속적으로 물리적 에너지를 전기적 에너지로 변환하기 위해서는 외부에서 공급되는 전기에너지가 필요하다. 가속도계의 경우 charge type과 voltage type(ICP type) 그리고 strain gage type으로 구분 된다. Strain gage type의 경우 측정 할 수 있는 주파수 대역이 낮으므로 일단 사용대상에서 제외 하였다. Charge type의 경우 측정점의 온도에는 영향을 적게 받는 장점이

있으나 측정 대상물에 설치된 가속도계와 charge amplifier와의 사이거리가 제한되어 있으므로 5m 이상의 측정에는 사용하는 것이 난해하다. Voltage type의 경우 측정점의 온도에 약간의 영향을 받으나 센서의 위치와 센서에 전원을 공급해 주는 전원부와 증폭부의 위치가 20m이상까지도 가능하므로 설비 진단 용으로 가장 적합한 형태이다. 따라서 본 연구에서는 voltage type의 가속도와 이에 따른 전원공급장치 및 증폭기를 사용하였다.

본 진단 시스템은 prototype이므로 이동성을 전제조건으로 하고있다. 즉 여러 장소에 설치되어 있는 설비의 상태를 측정하기 위하여 한 위치로 이동하여 측정한 후, 다음 측정 장소로 이동하여야 하는 특징을 갖추고 있어야 한다. 따라서 notebook computer를 기본 frame으로 하여 이에 적합한 주변 장치를 설정하였다. A/D 변환기는 일반적인 측정센서에서 가장 빠른 센서인 마이크로폰을 사용할 경우를 고려하여 음향주파수 인 20kHz를 2채널이상 측정할 수 있어야 하며 진동을 측정할 경우 1kHz로 16채널을 측정 할 수 가 있어야 한다. 따라서 A/D변환기의 성능은 단일 채널 사용시 250kHz입력 속도와 16채널의 입력 수를 처리 할 수 있는 notebook computer에 적합한 PCMCIA type A/D변환기를 사용하였다. 그리고 A/D 변환기를 제어하는 software인 driver file은 2중 buffer를 사용하여 컴퓨터 상에서 진단을 위한 다른 작업을 수행하더라도 데이터 수집에는 영향을 주지 않도록 구성하였다.

나.진단 소프트웨어 개발

(1) 소프트웨어의 특징

본 연구에서 개발한 진단 소프트웨어는 진동 센서로부터 입력된 정보를 각

중 신호처리기법을 거쳐 가공한 후 퍼지추론 방식을 통하여 진단 결과를 산출하게 된다. 개발된 진단 소프트웨어의 특징은 다음과 같다.

① 프로그램 기능별 모듈화

본 연구에서 개발된 진단 소프트웨어는 setup 과정, 각종 신호처리 기법, 진단 방식을 각각 모듈화하여 개발하였으므로 불필요한 과정의 삭제나 향후 새로운 기능의 첨가 및 업그레이드 등의 작업이 용이하게 수행될 수 있다.

② 편리한 사용자 인터페이스

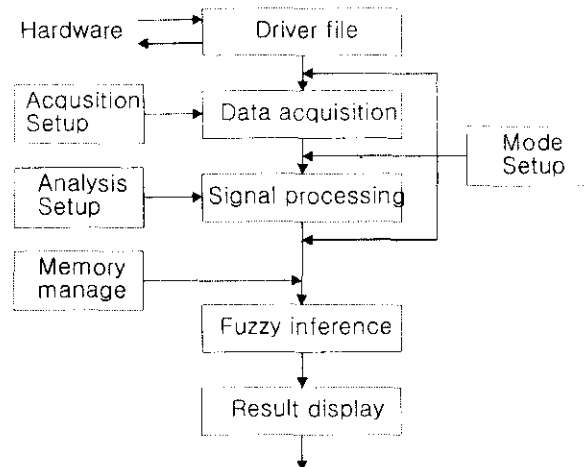
개발된 진단 소프트웨어는 진동을 전문적으로 분석하기 위한 기능은 물론 초보자를 위한 자동 진단 기능을 갖추고 있으므로 진동 분야에 특별한 지식이 없는 현장 근무자도 손쉽게 시스템을 운용할 수 있는 전문가 시스템이다.

③ 퍼지 추론방식 적용

본 진단 시스템은 진단 결과의 산출에 있어 퍼지 추론방식을 적용함으로써 진단 신뢰도를 향상시키고 진동 전문가의 기능을 모방할 수 있는 기능을 갖춘 인공지능적 전문가 시스템이다.

(2). 소프트웨어의 구성

[그림 4-8]은 본 연구에서 개발된 진단 시스템의 소프트웨어에 대한 구성도이다. Software는 데이터 수집용 hardware를 제어하는 driver file 위에 원하는 데이터 수집에 적합하도록 hardware의 기능을 정하는 acquisition setup, 컴퓨터의 메모리를 관리하고 측정에 적합하도록 시스템의 구조를 제어하는 mode setup, 분석에 적합한 환경을 구성해주는 analysis setup, 진단 결과 및 각종 신호처리기법 들을 화면에 보여주기 위한 display setup이 있으며 데이터의 A/D 변환 시작과 데이터의 수집 그리고 데이터의 신호처리 및 화면 표시를 관리하는 부분들로 구성되어 있다.

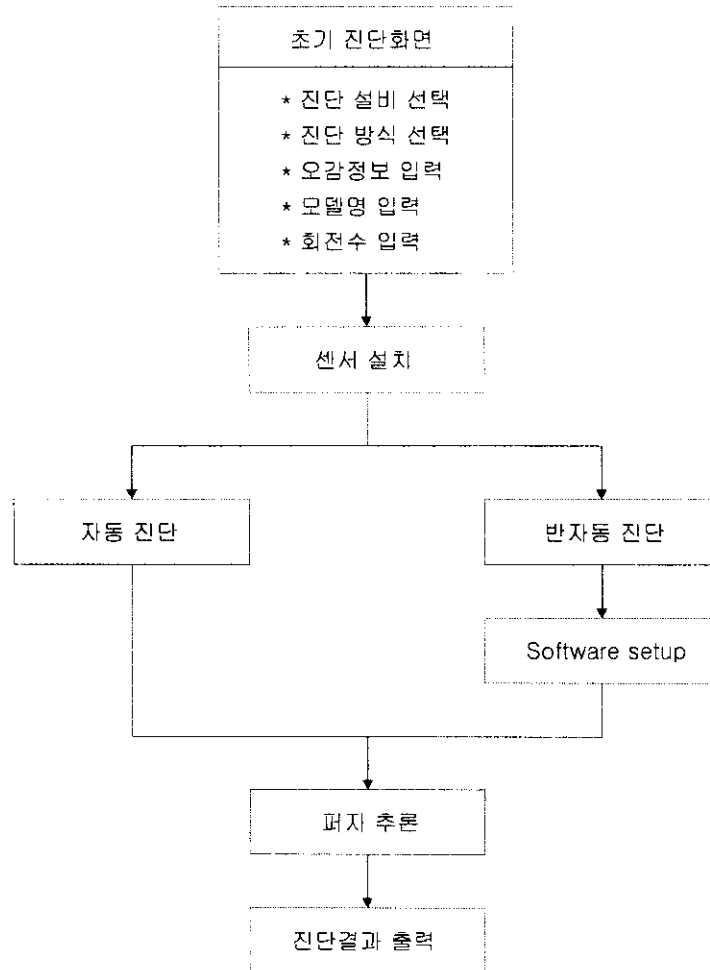


[그림 4-8] 진단시스템의 software 구성도

그런데 진단 시스템의 software에 있어서 가장 중요한 부분은 각종 memory들이다. Memory를 적합하게 배분하여야 가장 빠르고 가장 길게 정보를 처리하고 보관 할 수가 있다. Data Acquisition부는 2중 buffer가 2개로 이루어져 있다. 앞 절에서 설명한 hardware부의 작은 buffer는 일시적으로 A/D 변환한 데이터를 보관하지만 다른 큰 버퍼는 장시간의 데이터를 보관하여 분석에 필요로 하는 시간 영역의 데이터를 보존한다. 그리고 각 채널에 대한 주파수 변환 결과를 임시로 보관하는 부분이 있다. 각 채널에 대하여 원하는 분석이 수행될 때 주파수 변환이 필요로 하지 않는 경우는 시간영역에서 관찰하는 통계적 기법들뿐이므로 기본적으로 모든 채널의 데이터는 주파수 영역과 시간 영역의 데이터가 동시에 생성된다. 주파수로 변환된 데이터들은 전달함수와 기타 여러 가지 주파수 영역에서의 해석시 필요로 하는 채널의 주파수 데이터를 결합하여 수행함으로써 다채널의 처리를 동시에 수행 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제작된 프로그램은 16채널을 기준으로 작성된 다채널용 신호 수집 및

처리기로서 내부 구조적으로 다채널 사용을 대비한 화학설비 진단 시스템으로 구축하였다.

한편 진단 소프트웨어 구동시 각 프레임에 대한 설명이나 진단 과정 그리고 채널, 샘플링 간격 등을 포함한 각종 setup기능의 설정에 대해서 다음과 같이 자세하게 설명하였다.



[그림4-9] 소프트웨어 구동시 프레임흐름도

(3). 소프트웨어 실행 방법

(가) 진단 초기화면

진단 초기 화면이 출력되면 요구하는 각 사항을 입력한 후 [OK]를 클릭한다.

사용자는 full-down 메뉴를 통하여 현재 진단하고자 하는 설비를 선택한다. full-down 메뉴에 구성된 진단 설비의 종류는 다음과 같다.

① 진단 설비의 선택

- 반응 또는 혼합장치 - 화학물질 분리장치
- 화학물질 이송 또는 압축설비
- 화학물질 저장 또는 계량설비 - 열교환기류
- 화학제품 가공설비 - 분체화학물질 취급장치

아래의 빈칸을 채우시오

진단설비: 화학물질 이송 또는 압축설비
펌프 압축기, 이젝터

진단방식: 자동

오염정보: 미상물: Unknown
출력진동: Unknown

진단설비: 모델명: RPM: 0

Ok Cancel

[그림4-10]진단초기화면

② 진단 방식의 선택

본 시스템에서의 진단 방식은 “자동”과 “반자동”으로 구분되어 있으며 사용자는 full-down 메뉴를 통하여 선택할 수 있다.

- “자동” 선택시 시스템은 모니터링 소프트웨어의 setup 과정이나 데이터의 해석과정을 모두 내부적으로만 실행한 후 진단 결과를 출력하게 되므로 진동 해석에 경험이 없는 경우 이 모드를 선택하면 된다.

- “반자동” 선택시 시스템은 소프트웨어에 대한 setup 과정을 요구하며 입력되는 데이터의 모니터링이나 해석 기법의 변환 등을 사용자가 임의적으로 선택할 수 있으므로 진동 해석에 전문적인 지식을 갖고 있는 사용자일 경우 이 모드를 선택하여 정밀한 분석 작업을 수행할 수 있다.

③ 오감정보의 입력

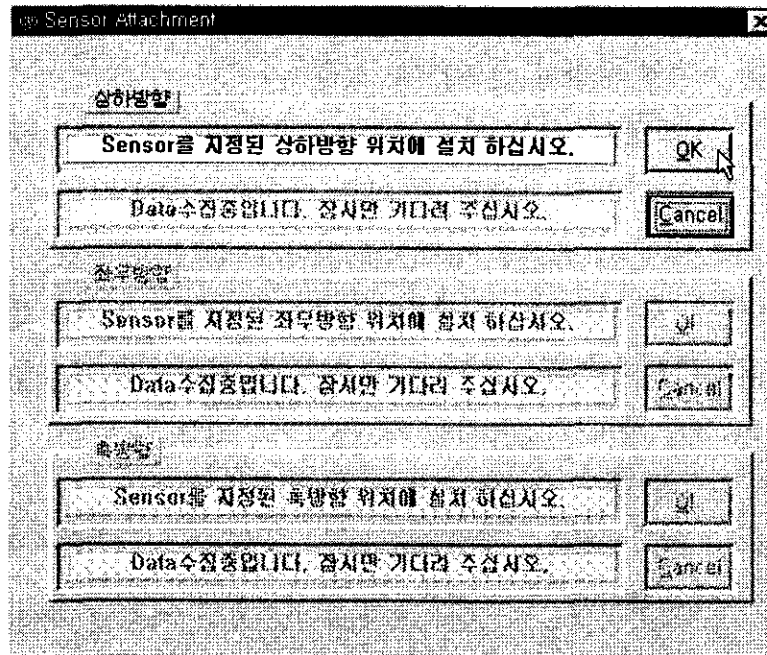
오감 정보는 진단 설비에 대해 이상음과 충격진동에 대한 사용자의 견해를 묻는 과정으로서 full-down 메뉴를 이용하여 “Yes”, “No”, “Unknown” 중 한가지를 선택할 수 있다. 이 정보는 추론시 참고자료로 활용된다.

④ 모델 및 회전수 입력

사용자는 진단하고자하는 설비의 모델과 회전수를 입력해야하며 이 정보는 기준 데이터의 호출과 회전주파수 분석에 있어 중요한 정보로 사용된다.

(나) 센서 설치 화면

진단 대상에 대한 일반적인 정보 입력이 끝나면 시스템은 데이터 수집을 위한 센서의 설치 메시지를 출력하게 된다. 사용자는 화면에 표시되는 메시지에 따라 상하방향, 좌우방향, 축방향으로 각각 센서를 설치한 후 [OK]를 눌러 진단을 진행시킨다. 한편 사용자가 “자동”을 선택하였을 경우 시스템은 데이터의 수집 과정이나 해석 과정을 내부적으로 수행하여 진단 결과만을 출력하게 되고 “반자동” 과정을 선택하면 software setup 과정으로 넘어가게 된다.



[그림4-11] 센서설치화면

(다) 소프트웨어 setup 화면

사용자가 “반자동”을 선택시 시스템은 데이터의 해석에 필요한 software의 setup을 요구하게 된다. 사용자는 목적에 따라 적절한 변수로 값을 입력하여 신호의 모니터링 및 해석을 수행할 수 있다.

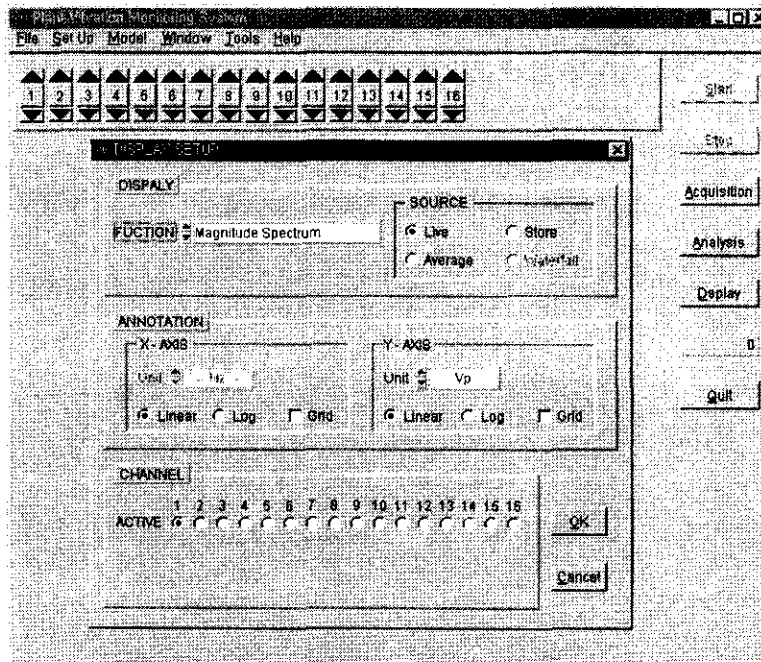
① Display setup

- FUNCTION에서는 사용자가 입력되는 데이터를 어떠한 신호처리 기법으로 해석할 것인가를 결정하는 과정이다. 이 full-down 메뉴에는 각종 기법들 (Spectrum, Transfer function, Coherence 등)이 모듈화 되어 있다.
- SOURCE에서는 입력되는 신호를 실시간으로 분석할 것인지(Live) 평균할 것

인지(Average)를 결정한다.

- ANNOTATION에서는 x축과 y축의 단위를 설정해주며 스케일을 linear 또는 log로 표현하여 그래프를 관찰할 수 있다.

- CHANNEL에서는 16개의 채널 중 현재 사용하고 있는 채널에 표시를 하여 active 상태로 변환시킨다.



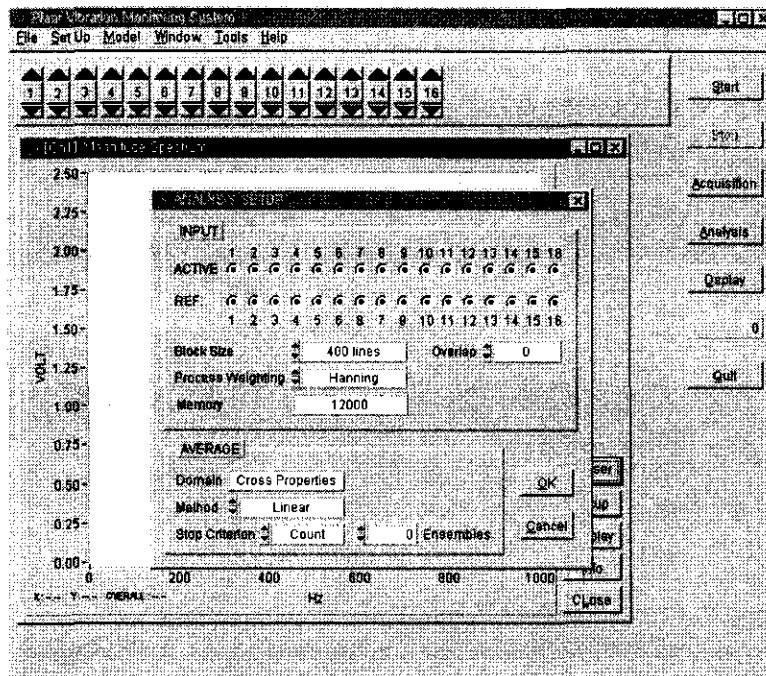
[그림4-12]디스플레이 고정화면

② Analysis setup

- INPUT에서는 화면에 데이터를 표시하는 block size를 설정할 수 있으며 overlap을 조정하여 주파수 변환시 데이터의 손실을 방지할 수 있다. 또한 weighting 기능에서는 본문 제3장 2절에서 설명한 각종 window를 해석 목적

에 따라 선택할 수 있도록 프로그램을 설계하였다.

- AVERAGE에서는 입력되는 데이터를 평균할 횟수를 결정해주는데 평균을 많이 할수록 잡음의 영향을 배제시킨 깨끗한 진동 파형을 얻을 수 있으나 평균 횟수가 많아지면 데이터 수집 시간이 길어지고 간헐적인 충격 진동은 측정할 수 없으므로 설비의 상태에 따라 사용자가 적절히 선택하여야 한다.

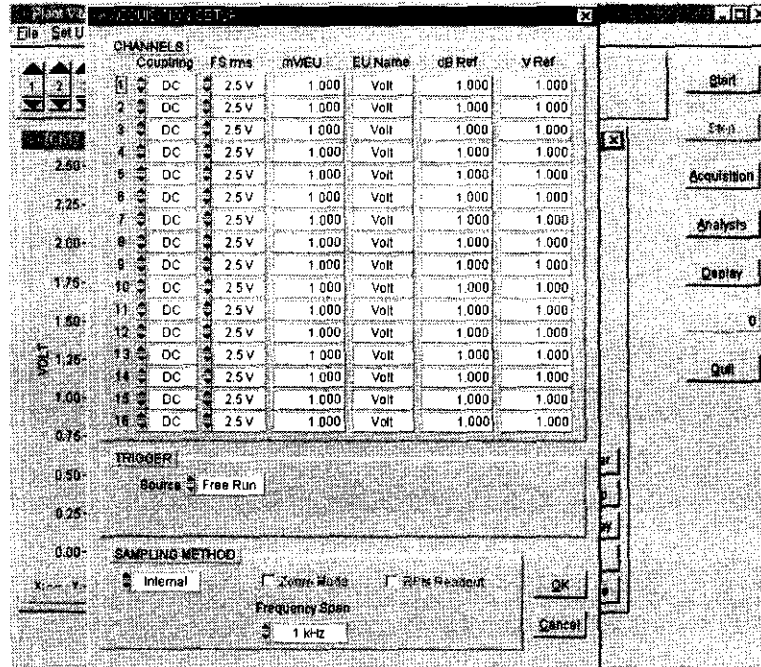


[그림4-13]분석 준비화면

③ Acquisition setup

- CHANNEL에서는 화면에 표시되는 그래프의 단위를 설정할 수 있는데 EU(Engineering Unit)의 설정이나 ref의 설정 등으로 출력값을 전압이 아닌 사용자가 원하는 단위로 변환하여 표시할 수 있다.

- TRIGGER에서는 동기화가 불가능한 경우나 외부 trigger 장치가 있는 경우에 사용할 수 있으며 불필요한 경우에는 free run 상태로 측정한다.



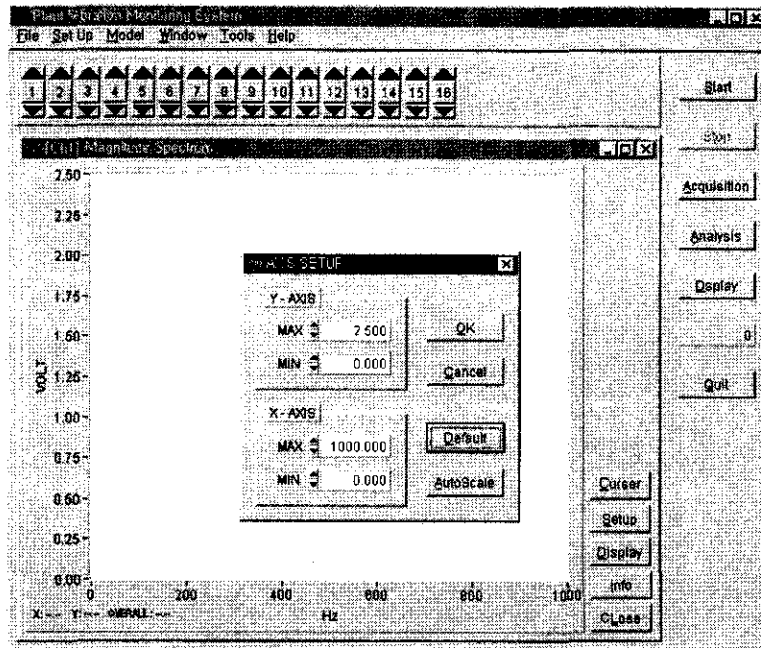
[그림4-14]그래프단위설정

- SAMPLING METHOD에서는 화면에 출력되는 최대주파수의 범위를 설정할 수 있고 사용자의 판단에 따라 신호에 대한 해석이 가장 용이하도록 값을 변환시킨다.

④ Axis setup

이 과정은 화면에 출력되는 그래프의 형태를 가장 효과적으로 관찰하기 위한 x축과 y축의 범위를 설정하는 것이다. 따라서 사용자가 입력되는 신호의 형태를 보고 신호 해석에 가장 적절한 x축과 y축 값의 최대, 최소 범위를 선택하면

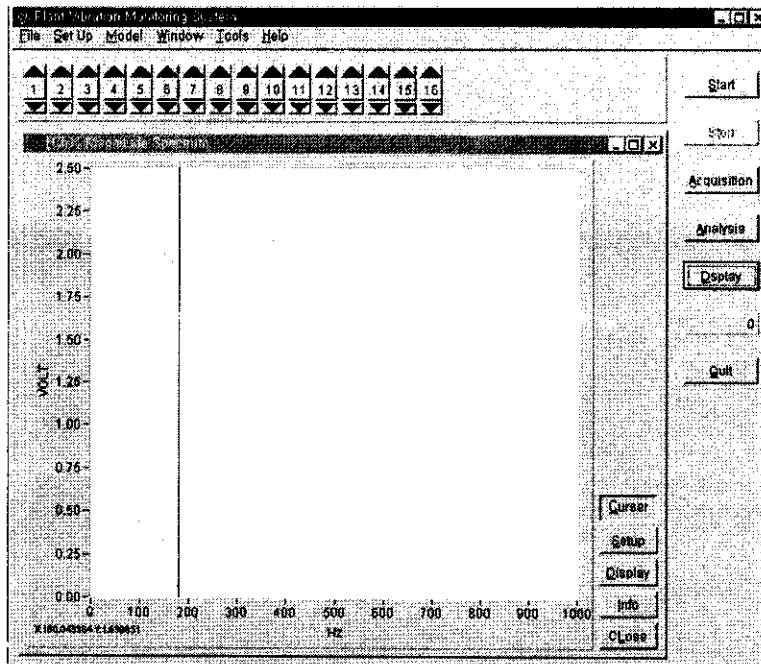
된다. 한편 "Autoscale" 버튼을 누르면 입력되는 신호가 전체 화면에 나타날 수 있도록 컴퓨터가 내부적으로 x축과 y축의 범위를 자동으로 계산한다.



[그림4-15]X,Y축 범위 설정화면

Graph 화면

software에 대한 모든 setup 과정이 끝나면 현재 입력되는 데이터가 사용자가 선택한 신호처리 기법을 거쳐 화면에 출력된다. 이때 "Cursor" 버튼을 이용하여 그래프 임의 위치에서의 x, y값을 확인할 수 있으며 그래프의 형태가 올바르게 나올 경우에는 화면 우측의 버튼을 이용하여 setup 과정을 다시 수행할 수도 있다.



[그림4-16]입력 데이터 완성그래프

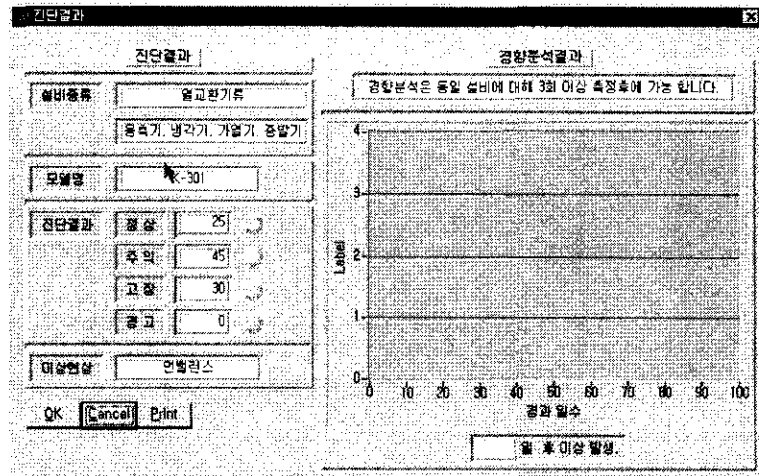
(라) 진단결과 출력 화면

진단하고자 하는 설비에 대한 기초자료 입력과 진동 데이터의 계측이 모두 끝나면 시스템은 퍼지 추론과정을 거쳐 현재 설비의 상태에 대한 진단 결과를 화면에출력한다

- 진단 결과는 “정상”, “주의”, “고장”, “경고”로 구분되는데 진단 시스템에서 추론과정을 거쳐 계산된 확률이 숫자로 표현되며 추론된 확률 중 가장 높은 숫자를 나타내는 결과에 색깔이 표시된다(정상 : 녹색, 주의 : 노랑, 고장 : 주홍, 경고 : 빨강).
- 이상현상은 “정상” 이외의 진단 결과가 출력되었을 경우 언밸런스, 미스윙라

인먼트, 오일휠, 베어링 결함, 느슨한 체결 현상 중 한가지가 출력된다.

- 경향분석결과는 동일 설비에 대해 3회 이상 측정시 예측 가능하며 예상 고장 시기가 하단에 일수로 계산되어 출력된다.
- 진단 결과표는 "Print" 버튼을 눌러 프린터로 출력할 수 있다.



[그림4-17진단결과출력화면

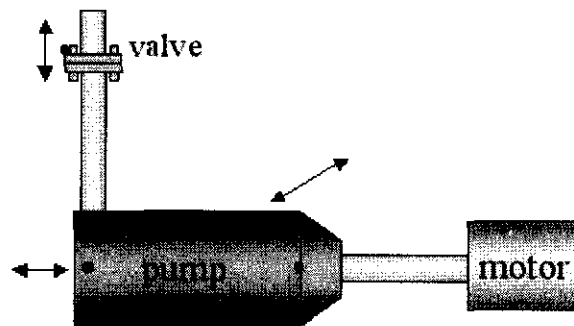
제 5 장 시스템의 현장기초실험 및 고찰

1. 현장기초자료 실험

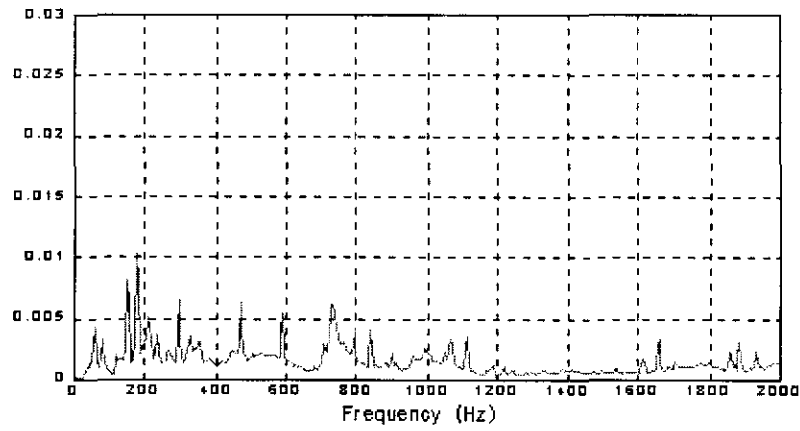
[A공장의 실험]

가. 펌프에 대한 실험

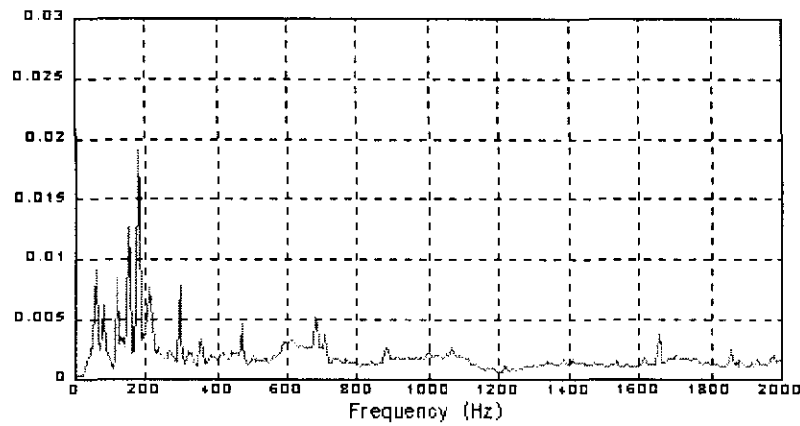
실험 대상으로 선정된 A공장의 경우 주요 회전체는 실외에 설치된 이송 펌프로써 [그림 5-1]은 진동을 계측하기 위한 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 진동 센서는 펌프의 앞쪽과 뒤쪽의 베어링 하우징 부위에 부착하였으며 펌프의 진동이 배관에 미치는 영향을 평가하기 위해서 펌프와 직접 연결된 배관의 플랜지부에 대한 진동도를 측정하였다.



[그림 5-1] A공장 펌프 진동 측정위치 및 방향



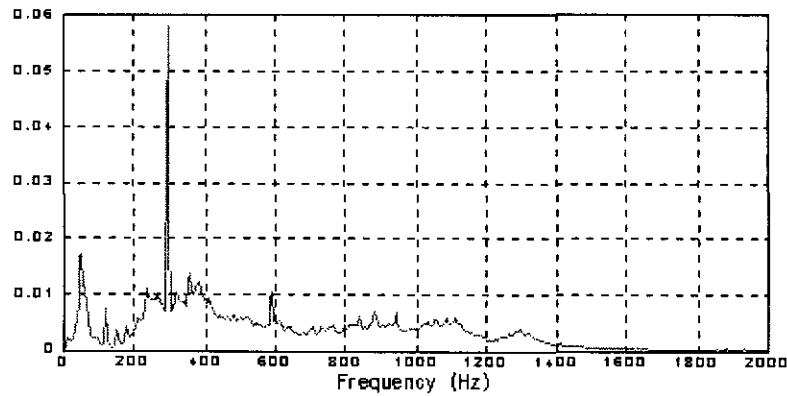
(a) 좌우 방향 진동 데이터



(b) 축 방향 진동 데이터

[그림 5-2] A공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터

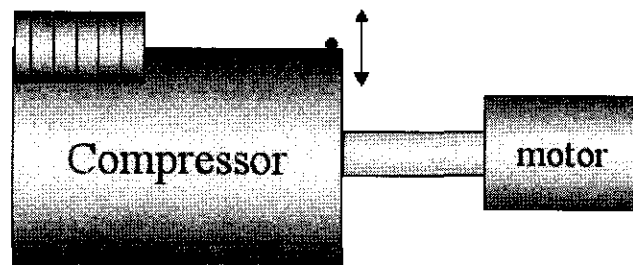
[그림 5-2]는 펌프의 좌우 방향 진동과 축 방향 진동을 나타낸 그래프이다. 한편 [그림 5-3]은 펌프에 의한 진동이 배관의 진동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 배관의 결합부에서 측정한 진동 데이터를 나타내었다.



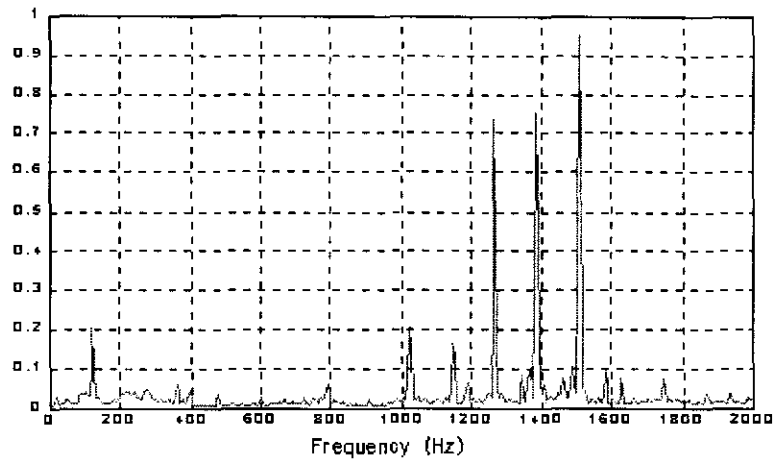
[그림 5-3] A공장 배관 진동에 대한 주파수 데이터

나. 컴프레서에 대한 실험

A 공장의 경우 주요 회전체는 펌프류이고 별도의 반응기는 없으므로 컴프레서의 진동 특성을 고찰하였다. [그림 5-4]는 센서 부착 위치 및 방향을 나타내고 있으며 [그림 5-5]는 계측된 진동 데이터의 주파수 변환 결과이다.



[그림 5-4] A공장 컴프레서 진동 측정위치 및 방향

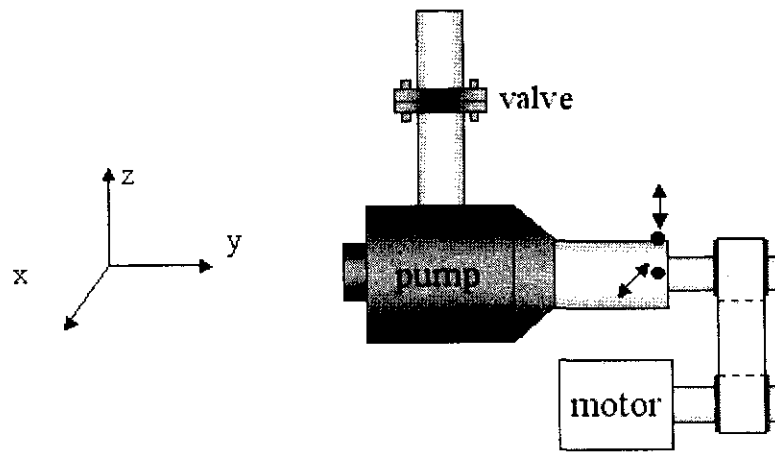


[그림 5-5] A공장 컴프레서 진동에 대한 주파수 데이터

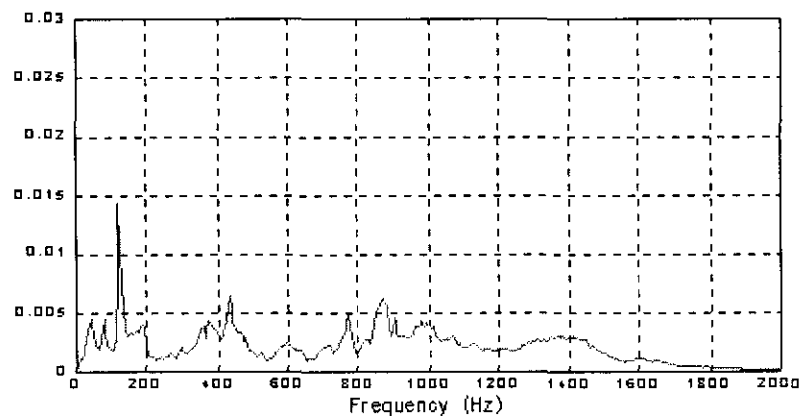
[B공장의 실험]

가. 펌프에 대한 실험

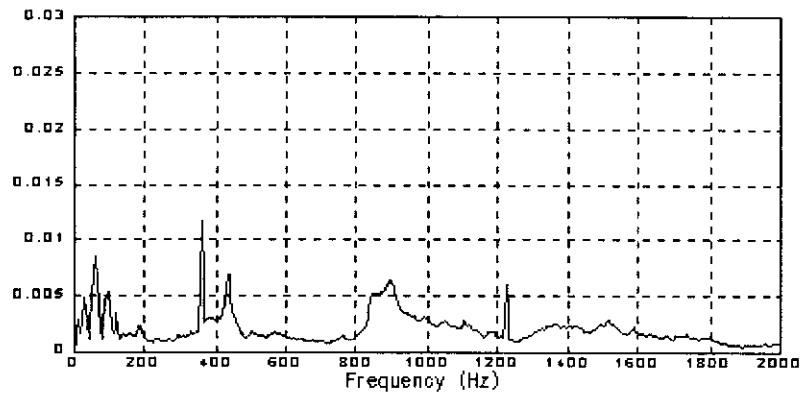
[그림 5-6]은 B공장의 펌프 진동을 측정하기 위한 센서의 부착 위치 및 방향을 나타내고 있다. B공장의 경우 원료를 이송하기 위한 펌프에 대해 진동 측정을 수행하였는데 이 펌프는 타사와는 달리 모터의 구동력이 벨트에 의하여 펌프로 전달되는 구조를 갖고 있다.



[그림 5-6] B공장 펌프의 진동측정 위치 및 방향



(a) 좌우 방향 진동 데이터

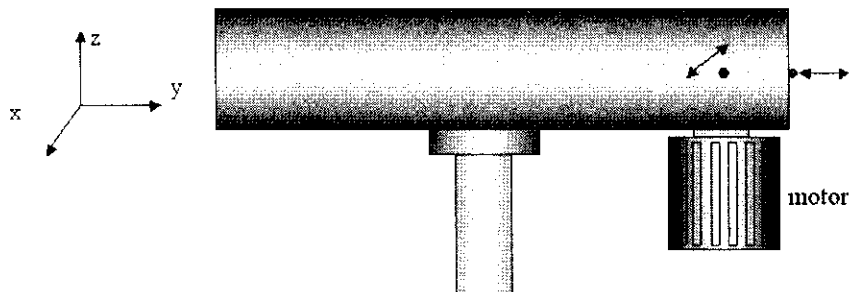


(b) 상하 방향 진동 데이터

[그림 5-7] B공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터

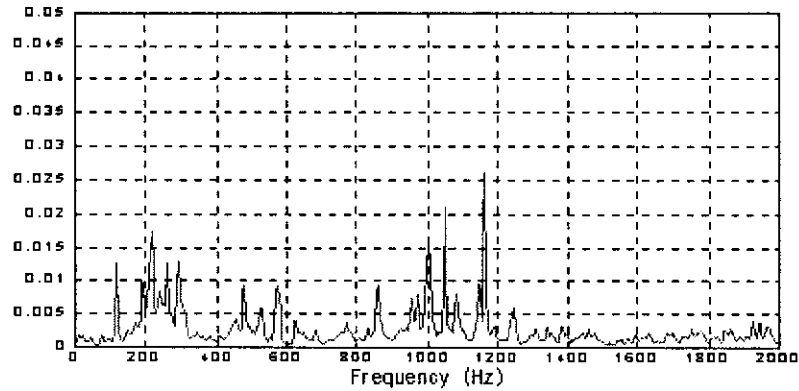
나. Dissolver에 대한 실험

B공장의 경우 타사와는 달리 Dissolver가 설치되어 있는데 [그림 5-8]은 Dissolver에 대한 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 진동 센서는 모터 회전에 의한 Dissolver 전체 시스템의 진동 영향을 평가하기 위하여 모터 부근의 프레임에 대해 좌우 방향 및 축 방향으로 부착하였다.

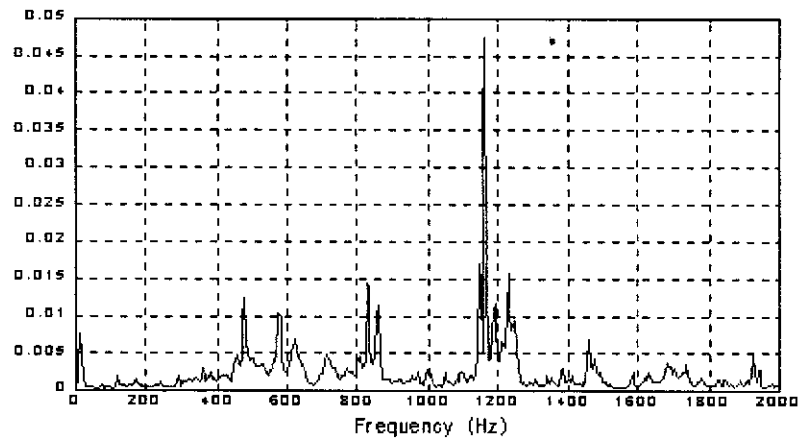


[그림 5-8] B공장 Dissolver의 진동 측정 위치 및 방향

한편 [그림 5-9]는 Dissolver의 프레임에 대하여 좌우 방향과 축 방향에서의 진동 데이터를 주파수 변환하여 나타낸 그래프이다.



(a) 좌우 방향 진동 데이터

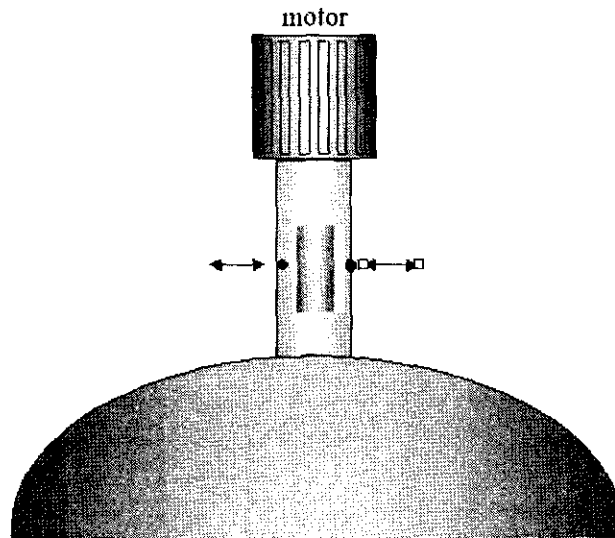


(b) 축방향 진동 데이터

[그림 5-9] B공장 Dissolver 진동에 대한 주파수 데이터

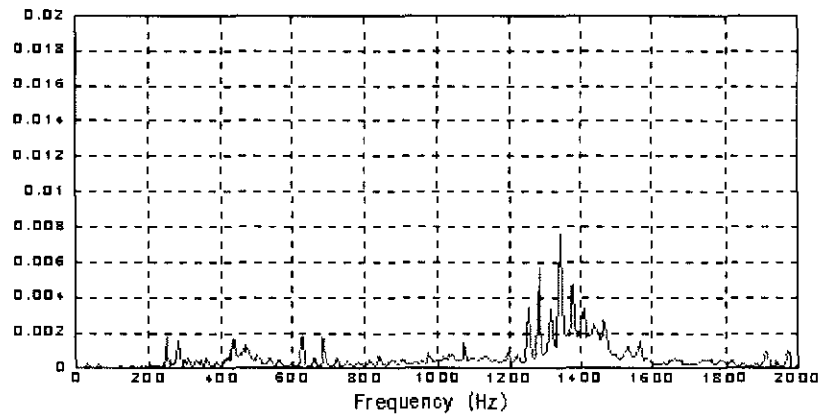
다. 반응기에 대한 실험

[그림 5-10]은 B공장 반응기에 대한 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있는데 진동 센서는 반응기 축을 감싸고 있는 프레임에 설치하였다.

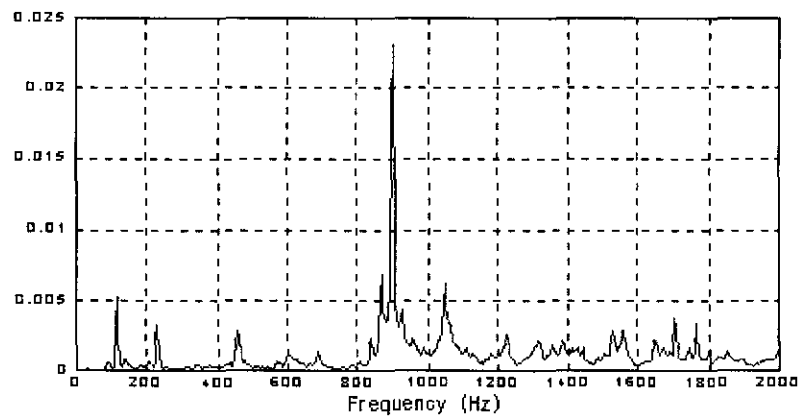


[그림 5-10] 반응기의 진동측정 위치 및 방향

한편 [그림 5-11]은 정상적인 반응기와 현장에서 이상 원인을 규명하지 못하는 반응기에 대해서 각각 진동 데이터를 측정하여 분석한 결과이다.



(a) 정상적인 반응기의 진동 데이터



(b) 이상이 있는 반응기의 진동 데이터

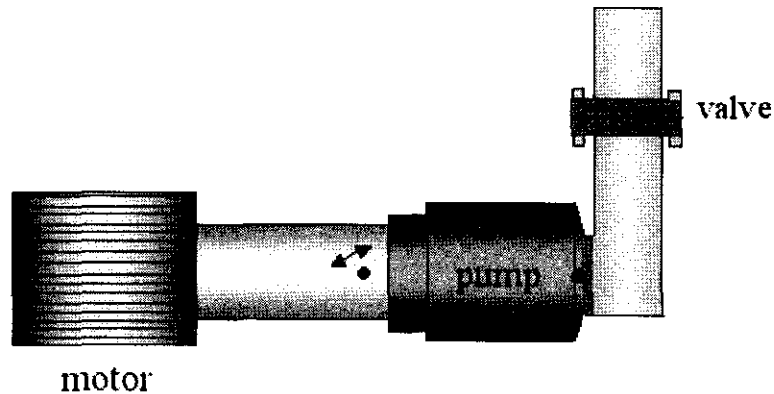
[그림 5-11] B공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터

[C공장의 실험]

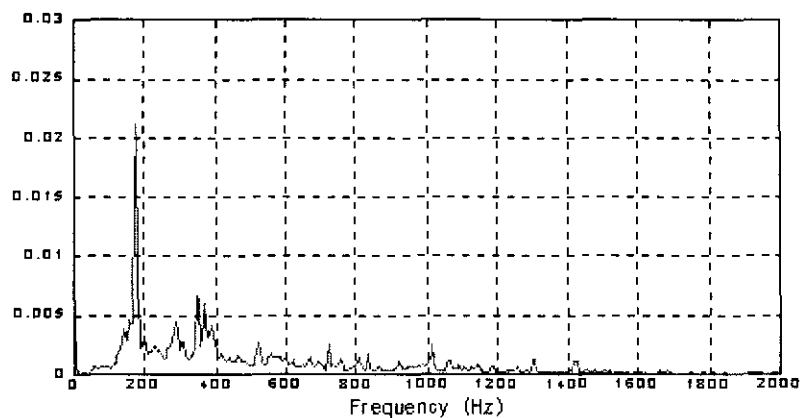
가. 펌프에 대한 실험

C 공장의 경우 이송 펌프는 실외에 설치되어 원료가 필요할 경우에만 간헐

적으로 동작되고 있다. [그림 5-12]는 C공장의 이송 펌프에 대한 진동 측정 위치와 방향을 나타내고 있다. 진동 센서는 펌프의 앞쪽과 뒤쪽 베어링 하우징 위에 부착하였다. 한편 [그림 5-13]은 C 공장 펌프의 뒤쪽 베어링 하우징에 대한 진동 측정 결과를 나타낸 그래프이다.



[그림 5-12] C공장 펌프의 진동 측정 위치 및 방향

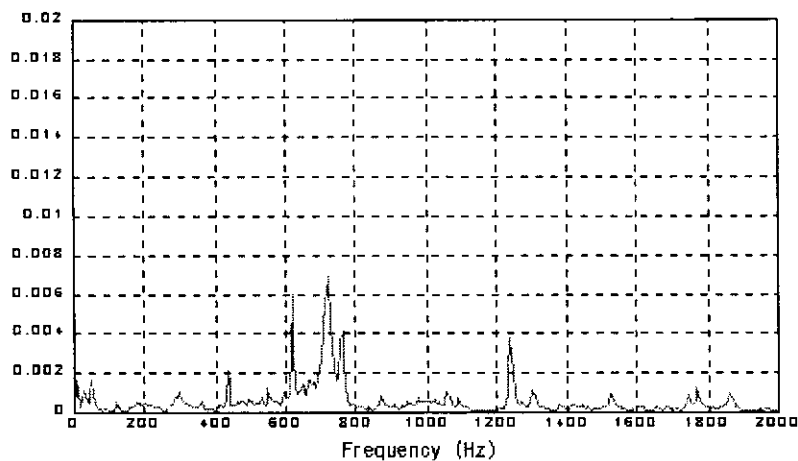


[그림 5-13] C공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터

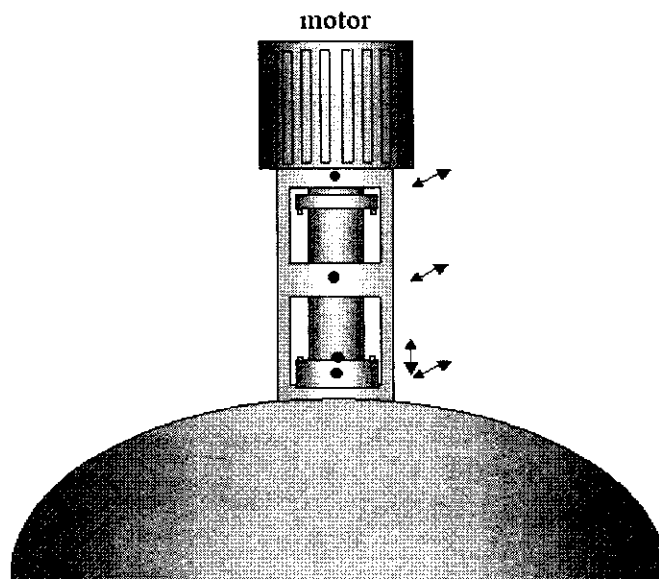
나. 반응기에 대한 실험

C 공장에서는 주파수 변화에 의하여 모터 속도를 제어하는 방식과 기어에

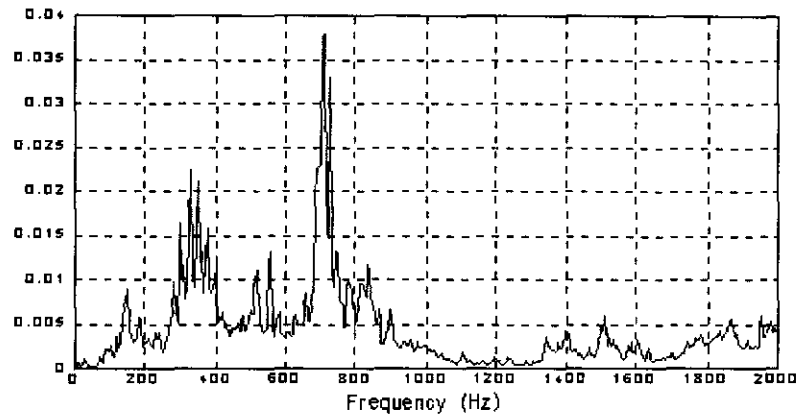
의한 감속 방식의 반응기를 혼용하여 사용하고 있다. [그림 5-14]는 반응기의 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있는데 진동 센서는 모터부와 프레임 중앙부 그리고 하단 베어링 부위에 대하여 각각 부착하여 실험을 수행하였다.



(a) 주파수 변환식 반응기의 진동 데이터



[그림 5-14] C공장 반응기 진동 측정위치 및 방향



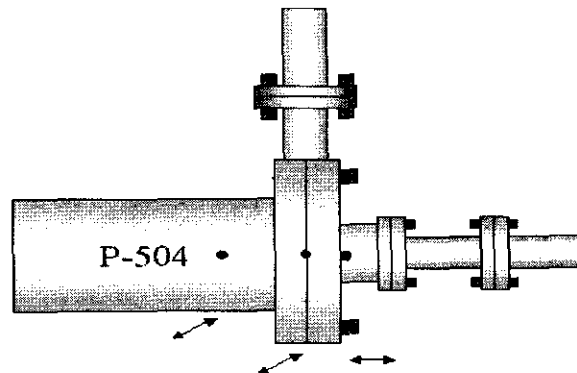
(b) 기어 감속식 반응기의 진동 데이터

[그림 5-15] C공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터

[D공장의 실험]

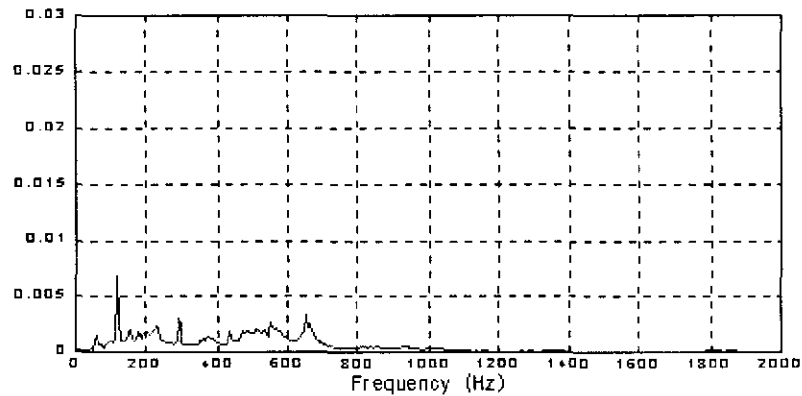
가. 펌프에 대한 실험

[그림 5-16]은 D공장의 펌프 진동을 측정하기 위한 위치 및 방향을 나타내고 있는데 센서는 펌프 몸체와 배관 연결부의 좌우 방향, 축방향으로 부착하였다.



[그림 5-16] 펌프의 진동 측정위치 및 방향

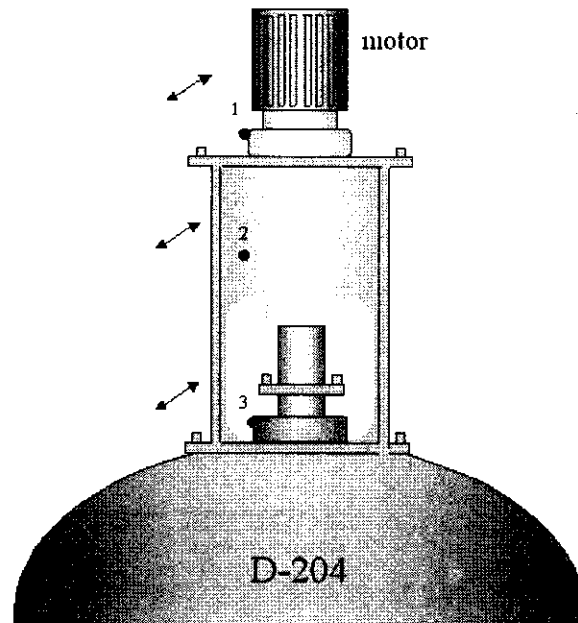
[그림 5-17]은 펌프와 배관이 연결된 부분에 진동 데이터를 나타낸 그래프이다.



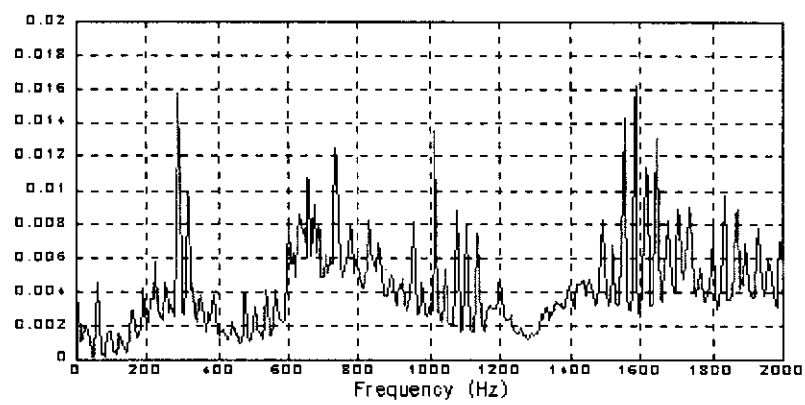
[그림 5-17] D공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터

나. 반응기에 대한 실험

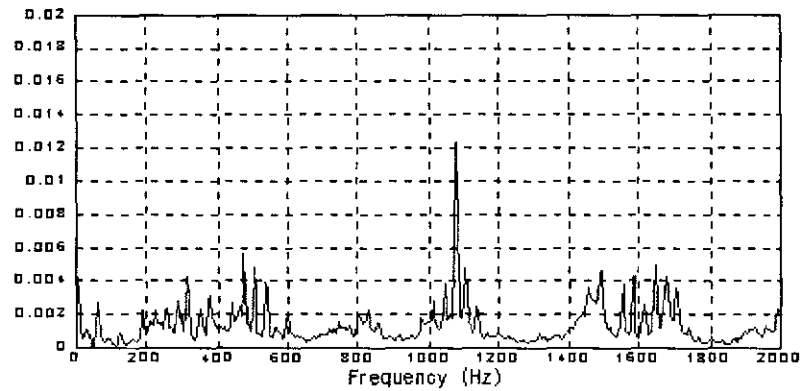
[그림 5-18]은 D공장 반응기에 대한 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 센서는 모터부, 중앙 프레임부, 하단 베어링부에 각각 설치하였는데 반응기 주위의 증발기로부터 매우 큰 진동이 전달되고 있기 때문에 반응기 자체의 진동 현상만을 분석하기 위하여 증발기의 가동을 정지시킨 상태에서 실험을 수행하였다.



[그림 5-18] 반응기 진동 측정위치 및 방향



(a) 반응기 모터 주위의 진동 데이터

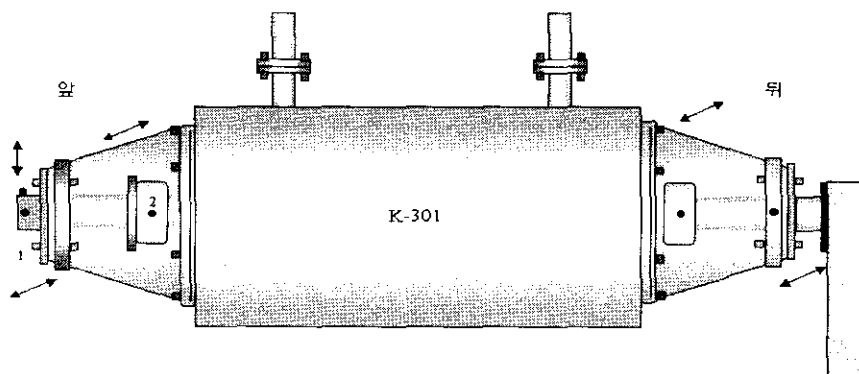


(b) 반응기 중앙 프레임의 진동 데이터

[그림 5-19] D공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터

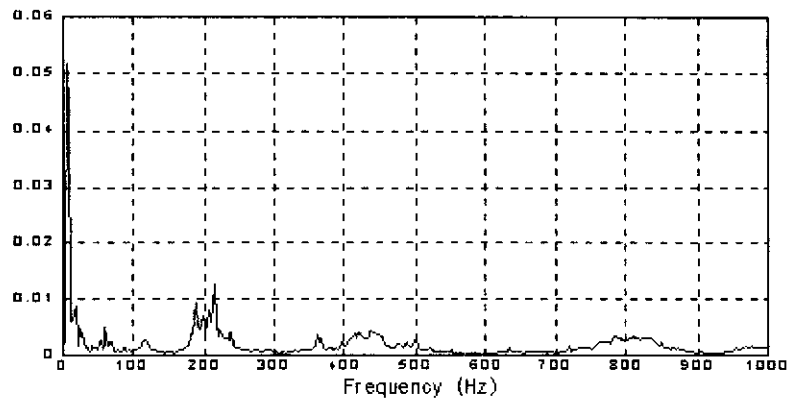
다. 증발기에 대한 실험

D공장의 경우 감각적으로 느끼는 진동레벨이 매우 큰 증발기가 설치되어 있는데 축이 내부에서 회전시 원료가 임펠러에 부착되어 편심을 일으키기 때문이다. [그림 5-20]은 증발기에 대한 진동 측정위치 및 방향을 나타내고 있으며 진동센서는 증발기의 앞쪽과 뒤쪽의 베어링 하우징 부위에 각각 부착하였다.

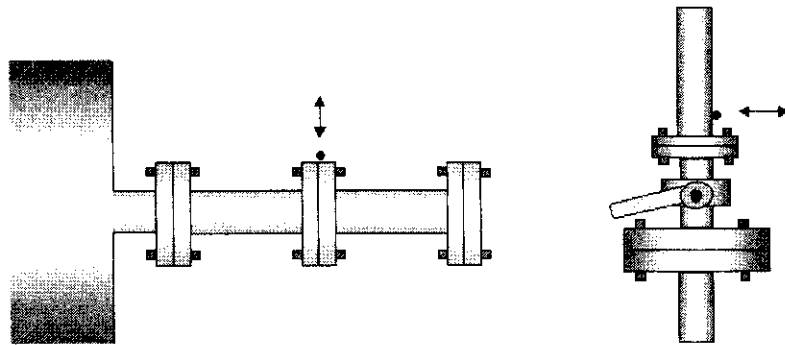


[그림 5-20] D공장 증발기의 진동 측정 위치 및 방향

한편 [그림 5-22]는 증발기에 연결된 수직 배관의 플랜지부에서 진동을 측정하기 위한 위치 및 방향을 나타내고 있다.

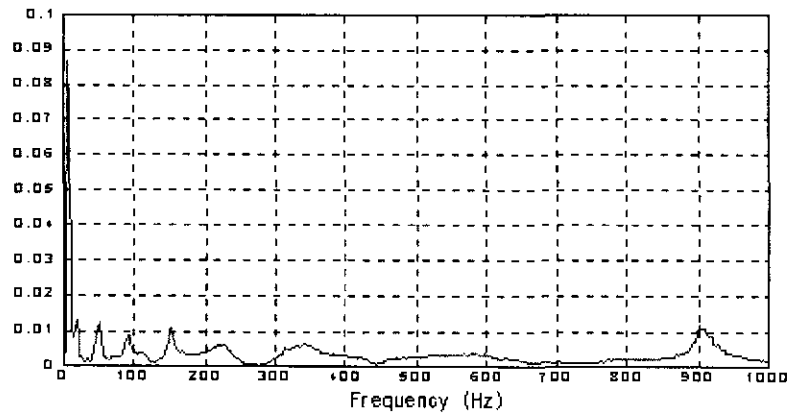


[그림 5-21] D공장 증발기 진동에 대한 주파수 데이터



[그림 5-22] D공장 배관의 진동 측정 위치 및 방향

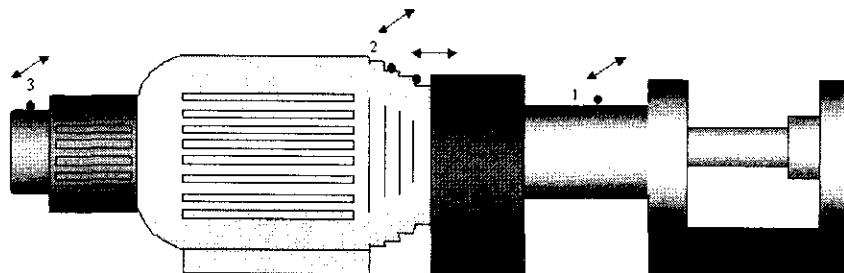
또한 [그림 5-23]은 진동 레벨이 큰 배관의 좌우 방향에 대한 데이터를 나타내고 있다.



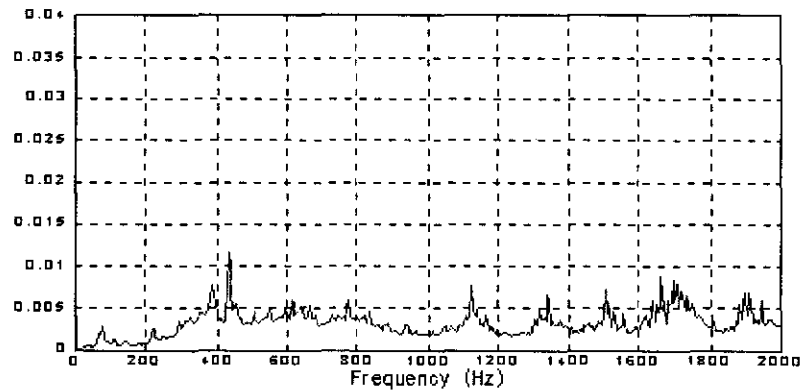
[그림 5-23] D공장 배관의 진동에 대한 주파수 데이터

라. 모터에 대한 실험

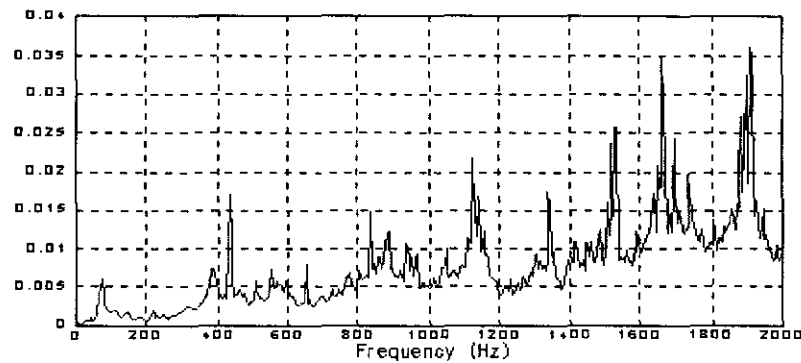
[그림 5-24]는 모터에 대한 진동 경향을 파악하기 위한 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 센서는 모터의 앞쪽, 뒤쪽에 각각 부착하였으며 중앙 부위에서는 좌우 진동과 축 방향 진동을 각각 측정하였다.



[그림 5-24] D공장 모터의 진동 측정 위치 및 방향



(a) 좌우 방향의 진동 데이터



(b) 축 방향의 진동 데이터

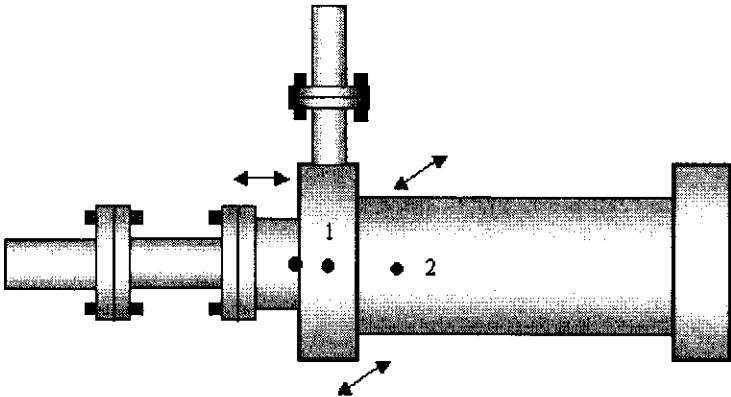
[그림 5-25] D공장 모터 진동에 대한 주파수 데이터

한편 [그림 5-25]는 모터의 중앙부위에서 측정한 좌우 방향과 축 방향에 대한 진동 데이터를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전반적인 진동 레벨이 다른 설비보다 높게 측정되었으며 좌우 방향 진동보다 축 방향 진동이 크게 측정되었다. 특히 1500Hz 이상의 고주파 영역에서의 진동 기여가 큰 것으로 나타났다. 따라서 이 설비의 경우 축 방향의 미끄러짐과 베어링의 결함 등을 조사하여 조정 작업을 수행할 필요가 있다.

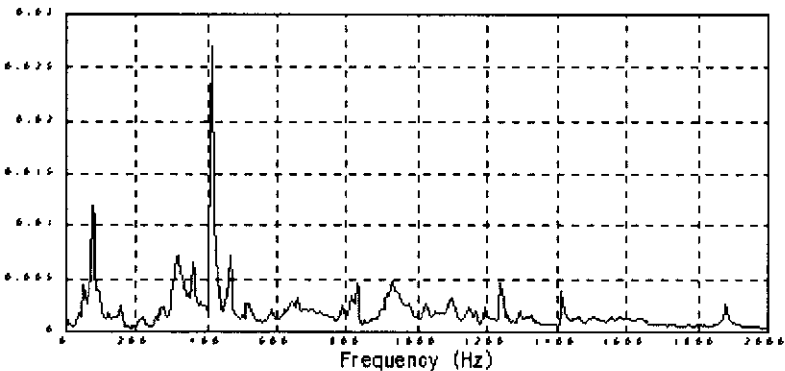
[E공장의 실험]

가. 펌프에 대한 실험

[그림 5-26]은 E 공장의 펌프에 대한 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 센서 부착위치는 배관과 연결된 부분에서 좌우 및 축방향으로 선정하였다.



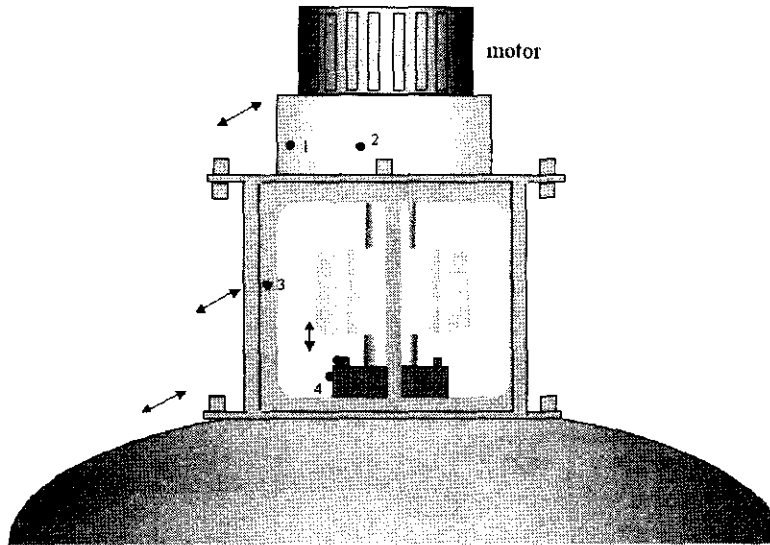
[그림 5-26] E공장 펌프의 진동 측정 위치 및 방향



[그림 5-27] E공장 펌프 진동에 대한 주파수 데이터

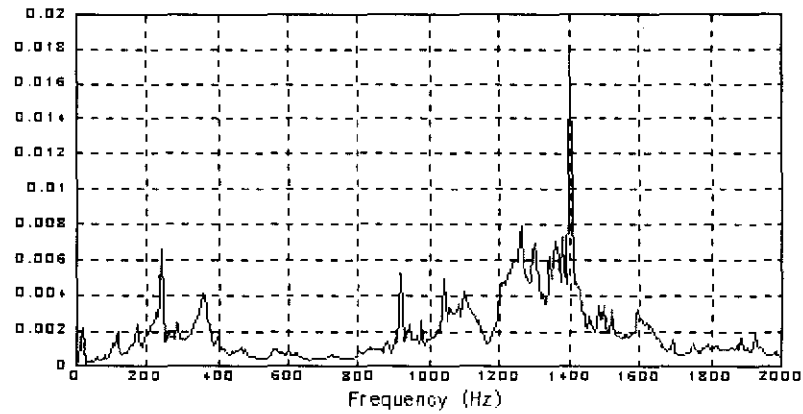
나. 반응기에 대한 실험

[그림 5-28]은 E공장의 반응기에 대한 진동 측정 위치 및 방향을 나타내고 있다. 진동 센서는 모터부와 프레임 중앙부 그리고 반응기 하단부에 각각 부착하였다.

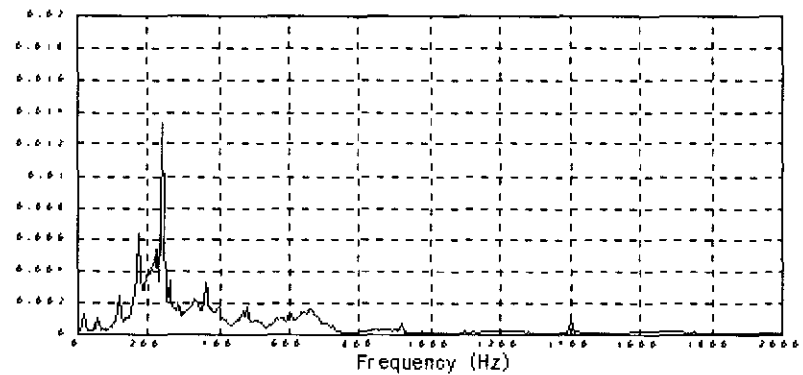


[그림 5-28] E공장 반응기의 진동 측정 위치 및 방향

한편 [그림 5-29]는 반응기의 모터 부위 및 프레임 중앙 부위에서 측정한 진동 테이터를 각각 나타내고 있다. 모터 부위에서는 1400Hz 부근의 고주파 부근에서 모터 특성이 나타나고 있지만 중앙 부위로 전달되며 고주파 특성이 없어지는 경향을 나타내고 있다. 전체적인 반응기의 진동 레벨은 다소 양호한 편으로 평가할 수 있다.



(a) 모터 부위의 진동 데이터



(b) 프레임 중앙부의 진동 데이터

[그림 5-29] E공장 반응기 진동에 대한 주파수 데이터

2. 실험결과 고찰

A 공장의 경우

두 경우 모두 180Hz 부근에서 가장 큰 피크치를 갖고 있으나 축 방향의 진동이 좌우 방향의 진동보다 2배정도 크게 측정되었으며 180Hz를 중심으로 30Hz의 side band가 존재함을 알 수 있다. 그러나 진동 레벨은 타사의 펌프에 비해

그다지 높지 않기 때문에 A공장의 실험 대상 펌프의 경우 펌프 축의 미끄러짐이나 축의 미소한 불균형 등을 생각해 볼 수 있다.[그림5-3의]주요 피크치는 300Hz와 펌프의 회전 주파수로 측정되었으나 펌프 진동이 매우 크게 증폭되어 배관에 전달됨을 알 수 있다. 따라서 펌프의 결함 발생시 진동이 배관을 타고 플랜지부에 직접 전달되어 전체 설비에 좋지 않은 영향을 미칠 수도 있을 것이다.

A공장 컴프레서의 경우 다른 설비에 비하여 전체적으로 매우 큰 진동 레벨을 나타내고 있으며 120Hz의 배수 성분인 1260Hz, 1380Hz, 1500Hz에서 뚜렷한 피크치를 갖고 있다. 그러나 이 피크치가 컴프레서에서의 공기 송출 시 나타나는 주파수인지 전기적 결함이나 회전 불균형에 의한 진동인지에 대해서는 계속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

B공장의 경우

[그림 5-7]은 좌우 방향과 상하 방향에 대한 펌프의 진동 데이터를 나타내고 있는데 펌프에 대한 좌우 방향과 상하 방향의 진동 레벨은 전반적으로 동일하며 정숙한 상태를 나타내고 있지만 특정 피크치의 형태는 서로 다르게 측정되었다. 이것은 모터에 의한 구동력이 벨트에 의하여 이송 펌프로 전달되기 때문에 각 방향의 장력 차이에 의한 결과로도 해석할 수 있으며 상하 방향의 경우 회전 주파수가 side band로 검출되어 이 방향에 미소한 축의 불균형이 존재한다고 볼 수 있다.

Dissolver의 경우 모터가 4각 프레임을 통해 구동력을 전달하므로 모터에 의한 진동과 프레임의 고유 주파수가 동시에 측정된다. 진동 레벨은 프레임에 대한 좌우 방향 진동이 축 방향 진동보다 전반적으로 높게 나타나며 구조가 크고 지지요소가 적기 때문에 다른 설비보다 비교적 큰 진동 레벨을 나타내고 있다. 좌우 방향 진동의 경우 프레임의 고유 주파수가 현저하게 나타나는 것으로 평

가되지만 1150Hz 피크의 경우 프레임 축 방향의 진동 기여가 매우 큰 것으로 측정되었다. 이 주파수가 프레임 자체의 고유 진동수인지에 대해서는 지속적인 실험이 필요하다. B 공장의 반응기는 타사에 비하여 규모가 작기 때문에 고주파 쪽의 진동 기여가 클 것으로 판단되며 정상 반응기의 경우 진동 레벨은 작지만 고주파 영역에서 회전주파수 성분이 side band로 검출되어 미세한 축의 불균형, 베어링의 미소 결함 등을 고려해 볼 수 있다. 두 반응기에 대한 주파수 분석 결과 이상이 있는 반응기의 경우 진동 레벨이 전반적으로 크게 측정되었으며 그 원인은 900Hz의 피크를 비롯한 120Hz에 대한 조화 성분이 주를 이루고 있다. 따라서 이상이 있는 반응기의 경우 모터 자체의 결함일 가능성이 클 것으로 판단되며 지속적인 실험을 통하여 정확한 이상 원인을 규명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

C공장의 경우

펌프의 앞쪽과 뒤쪽에 대한 진동 형태는 거의 유사하게 측정되었으며 180Hz의 주파수 성분을 제외하면 타사의 펌프에 비해 정숙한 진동 형태를 나타내고 있다. 이것은 펌프가 연속적으로 동작하지 않기 때문에 노후화가 늦춰져 양호한 상태를 나타내고 있다고 판단된다.

[그림 5-15]는 각 반응기의 진동 데이터 중 프레임 중앙부에서 측정된 데이터로 두 반응기 모두 모터에서 멀어질수록 진동 레벨이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 정상적인 반응기의 경우 전반적으로 양호한 진동 레벨을 나타내고 있지만 매우 저속으로 회전하기 때문에 회전 주파수에 의한 영향을 감지하기가 어려운 단점이 있다. [그림 5-15] (b)는 기어로 모터 속도를 감속시키는 방식의 반응기에 대하여 진동 데이터를 측정한 그래프로서 주파수 변환식의 반응기보다 5배 이상 큰 진동 레벨을 나타내고 있다. 주파수 형태를 보면 기어의 마모나 피치오차 등에 기인한 회전 성분들이 검출되고 있어 설비가 노후화 되

었다고 판단할 수 있다. 따라서 기어 변환식의 경우 근본적으로 큰 진동 레벨을 나타내고 있어 누출 사고의 예방을 위해서 이러한 형식의 반응기에 대한 집중적인 감시가 요망된다.

D공장의 경우

진동 레벨은 타사에 비해 전반적으로 매우 낮게 측정되었으며 축방향 진동은 좌우 방향에 비하여 약 1/4 수준이다. [그림 5-19]는 반응기 모터 주위와 중앙 프레임 부분의 진동을 주파수 변환시킨 것이다 주요 진동원은 모터로써 고주파의 진동 성분은 모터 주위에서만 크게 측정되며 기타의 주파수 성분이 프레임으로 전달되는 현상을 나타내고 있다. [그림5-19] (a)에서 1600Hz를 중심으로 발생하는 side band들은 모터 자체의 특성으로 평가되며 현재 매우 좋지 않은 축의 불균형 현상이나 마모, 전기적 결함 등을 고려해 볼 수 있다. 한편 [그림5-19] (b)에는 반응기 프레임 중앙 부위에서 측정한 진동 데이터로서 모터에서와 같이 side band 주파수들이 검출되고 있다. 타사의 반응기 진동 레벨과 비교해 볼 때 비교적 큰 진동 형태를 나타내고 있기 때문에 전체적인 설비에 대한 조정작업이 필요할 것으로 판단된다.

[그림 5-21]은 증발기의 앞쪽에서 좌우 방향에 대한 진동을 측정하여 분석한 결과다. 증발기는 매우 낮은 주파수로 편심 진동을 일으키기 때문에 다른 설비와는 달리 최대 주파수를 1000Hz로 제한하여 분석하였다. 7.5Hz의 편심 진동 주파수가 주를 이루고 있으며 증발기 앞, 뒤의 주파수 형태는 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 진동의 진폭이 크기 때문에 주위의 다른 설비에 크게 영향이 미친다

[그림5-23]에서 증발기의 7.5Hz 저주파 진동이 배관으로 2배정도 증폭되어 전달되며 매우 큰 배관의 진동 현상을 확인할 수 있었다. 따라서 배관에 대한

별도의 지지작업이 필요할 것으로 판단된다.

E공장의 경우

[그림 5-27]은 배관 연결부에서 펌프의 좌우 방향에 대한 진동 데이터를 나타낸 그래프이다. 진동 레벨은 타사의 펌프에 비해 다소 높게 측정되었으며 특히 400Hz 부근의 진동 기여가 큰 것으로 나타났다. 그러나 타사 펌프에 비해 진동 특성이 약간 다른 경향을 나타내고 있으므로 이에 대한 지속적인 확인 작업이 필요할 것으로 생각된다.

제 6 장 진단시스템 현장적용실험 고찰 평가

1. 진단실험 방법 및 고찰

가. 진단대상 및 측정위치 선정

본 시스템을 범용적으로 사용하기 위해서는 각 공장별로 공통적으로 활용되는 주요 회전체를 진단 대상으로 선정하여야 한다. 본 연구에서는 5개 회사에 2회씩의 현장실험과 여러 설비에 대한 진동 데이터의 분석 결과 이송 펌프와 반응기를 주 대상으로 선정하였다. 그러나 각 공장별로 이상 발생시 위협적인 상황을 초래할 수 있는 특수 회전 설비가 있으므로 이러한 설비들은 자체 진동 데이터를 축적하여 본 시스템에 이식함으로써 진단 시스템의 기능을 확장시킬 수도 있을 것이다.

이송 펌프의 경우에는 회사별로 진동 형태가 유사한 경향을 나타내기 때문에 펌프의 사양에 맞춰 상대적인 RMS 평가가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 이송 펌프에 대한 지식 베이스를 정기적으로 구축하여 시스템을 운용해야 할 것이다. 이송 펌프에 대한 진단 위치의 선정은 펌프 진동이 배관에 미치는 영향을 파악하기 위해서 배관과 연결된 베어링 하우스 부위에서 3축 방향에 대한 진동을 측정하는 것이 가장 효과적이므로 각 회사별로 펌프의 출력측에 가속도계를 설치하여 진단 실험을 수행하였다. 반응기는 각 회사별로 크기나 사양이 다르며 운전 조건에 따라 진동 현상이 다르게 나타날 수 있어 회사별로 진단 조건을 규격화하여 동일한 상태에서의 진단 작업을 수행하였다. 반응

기 진단시 진동 측정 위치는 모터 자체의 진동을 규명하는 것 보다는 반응기 전체의 진동 현상을 파악하기 위해 반응기의 중앙 프레임 부위가 적절하여 진단 실험에서는 중앙부위에 3축 방향의 진동을 측정하여 설비별로 진단 실험을 수행하였다.

나. 실험 방법

데이터의 수집은 5개 공장에서 펌프와 반응기에 대해 각각 2회씩 수행하였으며 1회 측정시의 데이터를 기준으로 하여 데이터 베이스로 저장하였다. 진단 실험은 2회 측정시의 데이터를 개발된 시스템에 입력하여 진단 결과를 산출하였다.

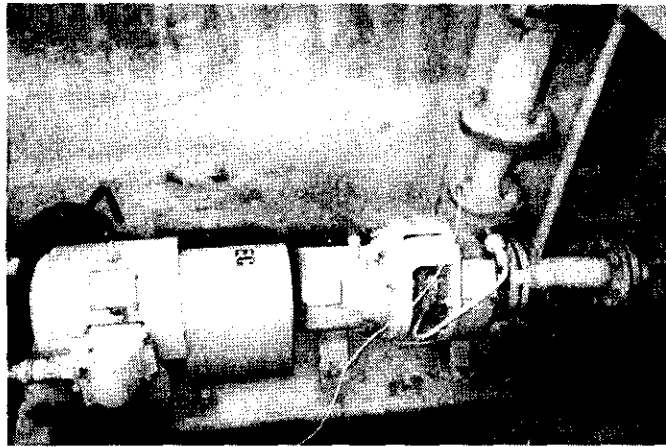
현장실험 결과 동일 설비에 대해서도 진동 측정 위치가 변할 경우 주파수 형태와 진동 레벨이 달라지는 경향이 있으므로 진단 실험시에는 진동 측정 위치를 각 설비에 표시하여 동일한 위치에서 계속적으로 데이터를 수집할 수 있도록 하였다. 진단 대상으로 한 반응기와 펌프는 모두 회전주파수가 60Hz 미만인 저속으로 동작하고 있기 때문에 기본 진단지표로 선정한 1차 회전주파수를 정밀하게 분석하기 위하여 최대 주파수를 200Hz로 하여 데이터를 수집하는 과정을 추가하였다.

진단 절차는 진동 신호의 해석에 대해 초보자인 경우도 손쉽게 진단 시스템을 사용할 수 있도록 “자동”과정을 추가하여 데이터의 수집에서 신호처리, 추론 과정이 모두 자동으로 수행되도록 하였으며 사용자가 필요에 따라 모니터링 과정이나 데이터 분석 작업을 수행할 수 있도록 “반자동”과정도 진단 메뉴에 포함시켰다.

2. 설비별 진단실험

가. 펌프에 대한 진단 실험

본 연구에서는 개발된 시스템의 성능을 평가를 위하여 설비별 진단 실험을 실시하였다. 펌프에 대한 진단실험 장면은[그림 6-1]와 같다.



[그림 6-1] 펌프에 대한 진단실험 장면

[그림 6-2]는 펌프에 대한 진단 실험을 시행하기 전 초기 데이터의 입력 화면으로서 진단설비는 "펌프"로 선택하였고 진단 방식은 "자동"을 선택하였다. 또한 오감 정보는 명확하지 않으므로 "Unknown"을 입력하였으며 회전수는 설비의 특성표에 규정된 60Hz를 입력하였다.

아래의 빈칸을 채우시오

진단설비: 화학물질 미송 또는 압축설비

진단방식: 자동

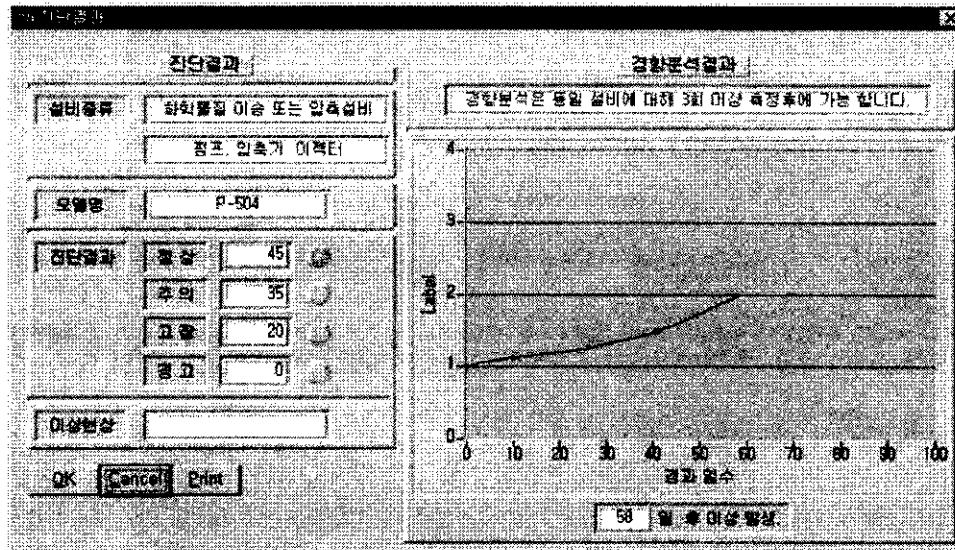
오염정보: 이상유: Unknown, 충격진동: Unknown

진단설비: 모델명: P-504, RPM: 60

Ok, Cancel

[그림 6-2] 펌프에 대한 진단 초기 화면

한편 [그림 6-3]은 A공장 펌프에 대한 진단 결과화면을 나타내고 있다. 펌프에 대한 진단 결과 “정상”이 45%로 출력 되었으므로 이상 현상은 발생되지 않았다. 한편 경향 분석은 동일 설비에 대해서 3회 이상 측정시 예측 가능하므로 프로그램의 검증을 위해 펌프의 특성을 평가하기 위한 기초실험 자료를 진단 데이터로 변환하여 프로그램을 실행하였다. 경향 분석 결과 대상 펌프에 대해 58일 후에 이상이 발생될 것으로 예측되었지만 실제 적용시 정확한 예측을 위해서는 대상 설비에 대해 일정한 시간 간격으로 정기적인 점검이 수행되어야 하며 y값에 대한 임계값도 2배, 3배와 같은 일률적인 적용이 아닌 장기간의 통계에 의한 조정작업이 필요하다.



[그림 6-3] 펌프에 대한 진단 결과 화면

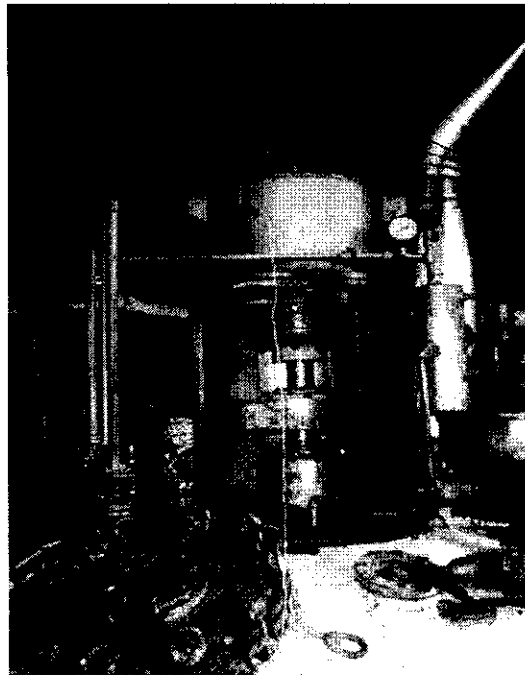
<표 6-1>은 5개 공장에 대한 진단 결과를 종합하여 나타내고 있다. 서두에서 설명한 바와 같이 약 2주일 간격으로 측정한 2회의 데이터로 진단 실험을 행하였기 때문에 진단 결과는 모두 “정상”으로 출력되었다.

<표 6-1> 공장별 펌프에 대한 진단 결과

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

나. 반응기에 대한 진단 실험

[그림 6-4]는 반응기에 대한 진단실험 장면을 나타내고 있는데 반응기가 설치된 4개 공장에 대해 진단 실험을 각각 실시하였다.



[그림 6-4] 반응기에 대한 진단실험

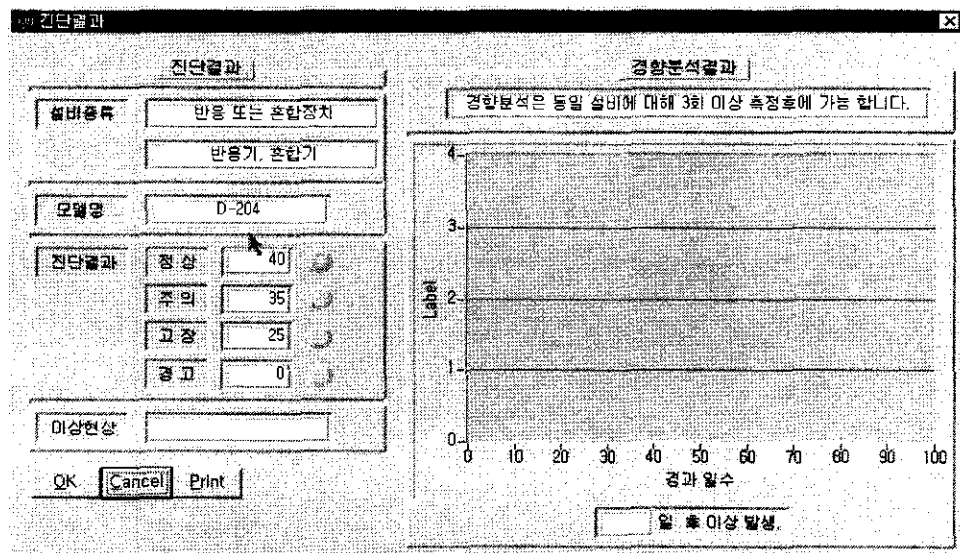
[그림 6-5]는 반응기에 대한 진단 초기 화면으로서 진단설비는 "반응기"로 선택하였고 진단 방식은 "자동"을 선택하였다. 오감 정보는 "Unknown"을 입력하였으며 회전수는 개략적으로 10Hz를 입력하였다.

<표 6-2> 공장별 반응기에 대한 진단 결과

공장명	B	C	D	E
진단결과	정상(40) 주의(35)	정상(45) 주의(32)	정상(42) 주의(30)	정상(50) 주의(27)
이상현상	없음	없음	없음	없음

[그림 6-5] 반응기에 대한 진단 초기 화면

[그림 6-6]은 B 공장의 반응기에 대한 진단 결과화면을 나타내고 있다. 반응기에 대한 진단 결과 역시 “정상”이 40%로 출력 되었으며 이상 현상은 발생되지 않았다. 그러나 “주의”가 35%로 추론되었으므로 이상에 대비한 점검 작업이 필요하다. 한편 <표 6-2>는 4개 공장에 대한 반응기의 진단 결과를 종합하여 나타내고 있다. 반응기 역기 진단 간격이 짧기 때문에 모두 “정상”의 진단 결과를 얻었다.



[그림 6-6] 반응기에 대한 진단 결과 화면

다. 증발기에 대한 진단 실험

본 진단 실험에서는 설비에 대한 진단 간격이 너무 짧기 때문에 펌프 및 반응기에 대한 진단 결과가 모두 정상으로 출력되었다. 이에 따라 진단 시스템의 고장 판별 능력을 평가하기 위하여 D 공장의 증발기에 대한 진단 실험을 수행하였다. 이 공장의 증발기는 실험 초기에는 임펠러에 원료가 부착되어 매우 큰 편심 진동을 나타내었으나 내부를 청소한 후 정숙한 상태로 변화되었다. 따라서 내부 청소후를 정상적인 상태로 가정하여 기준 데이터로 저장하고 편심 진동이 발생했던 초기 실험 데이터를 현재 상태로 가정하여 진단 시스템의 성능을 평가하였다.

[그림 6-7]은 증발기에 대한 진단 초기 화면을 나타내고 있는데 진단설비는 "증발기"로 선택하였고 진단 방식은 "자동"을 선택하였다. 오감 정보로는 "Unknown"을 입력하였으며 회전수는 개략적으로 30Hz를 입력하였다.

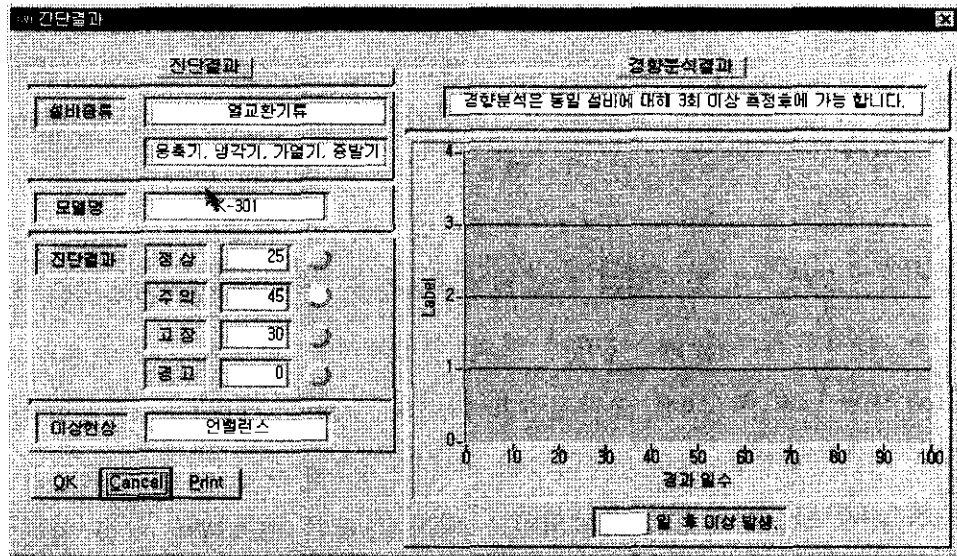
아래의 빈칸을 채우시오

진단설비	열교환기류
	응축기, 냉각기, 가열기, 증발기
진단방식	자동
오염정보	이상율 Unknown
	출력진동 Unknown
진단설비	모델명 K-301
	RPM 30

Ok
Cancel

[그림 6-7] 증발기에 대한 진단 초기 화면

[그림 6-8]은 D 공장의 증발기에 대한 진단 결과화면을 나타내고 있다. 증발기에 대한 진단 결과 “주의”가 45%, “고장”이 30%로 출력 되었으며 이상 현상으로는 “언밸런스가” 추론되었다. 따라서 본 시스템을 이용하여 이상 현상이 발생된 설비에 대한 진단이 충분히 가능할 것으로 판단된다.



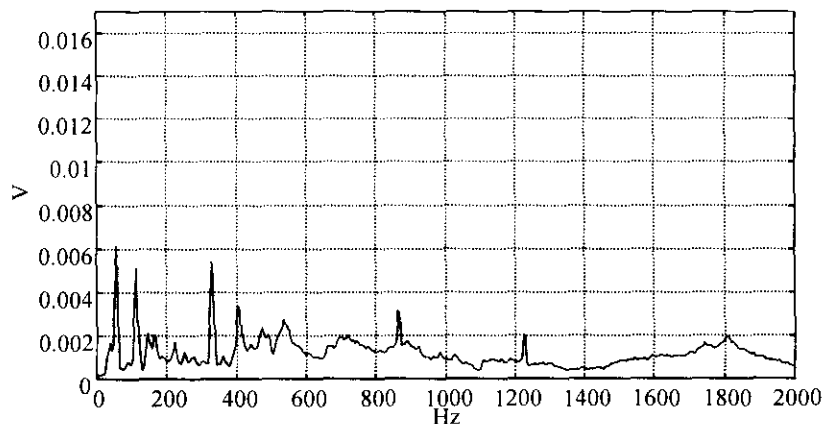
[그림 6-8] 증발기에 대한 진단 결과 화면

3. 이상 모드별 모의 진단평가 고찰

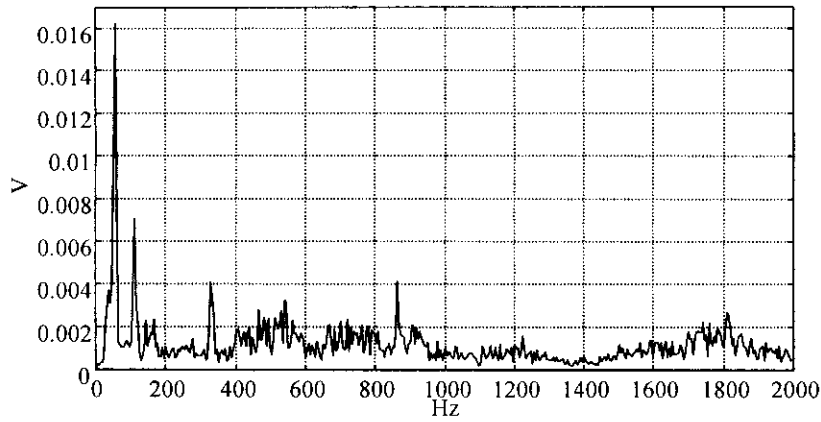
앞 절에서 언급한 바와 같이 5개 공장에 대한 진단은 2주 간격으로 측정된 데이터를 비교하여 결과를 산출하였으므로 모두 정상적인 상태로 고찰되었다. 그런데 진단 시스템의 신뢰성을 정확히 검증하기 위해서는 설비의 이상 발생 시 진단 능력을 평가해야 되지만 대부분의 회전 설비의 경우 주요 부품의 교체 주기가 1년 이상이므로 개발된 시스템을 장기간 현장에 설치하여 정기적인 점검을 통한 검증방법은 불가능하였다. 또한 인위적인 고장재현 실험을 통한 시스템의 신뢰성 검증방법이 있으나 화학공장의 특성상 가동중인 설비에 인위적인 이상을 만들 경우 대단히 위험한 상황을 초래할 수 있으며 경제적인 손실이 매우 크게 되므로 본 연구에서는 펌프에 대해 5가지의 이상 현상에 대한 모의 실험을 통하여 개발된 진단 시스템의 성능을 평가하였다.

가. 언밸런스에 대한 모의 진단

[그림 6-9]는 회전체에 언밸런스가 발생하였을 경우 진동 특성의 변화를 나타낸 그래프이다. 언밸런스는 회전체에서 가장 빈번하게 발생하는 현상으로서 축 지지부의 진동에 대한 진폭을 유발시켜 가스나 유체의 leakage를 유발할 수 있다. 언밸런스가 발생되면 1차 회전주파수는 증가하지만 전체적인 진동량은 크게 증가하지 않는다. 따라서 모의 실험에서는 펌프의 1차 회전주파수인 60Hz에 대해 크기를 2.6배 증가시키고 나머지 주파수 성분들은 약간의 변화만을 주어 진단 실험을 행하였다. [그림 6-10]은 [그림 6-9]의 (a) 그래프를 정상으로 한 경우 (b) 그래프가 입력되었을 때의 개발된 시스템에 의한 진단 결과를 나타내고 있다.



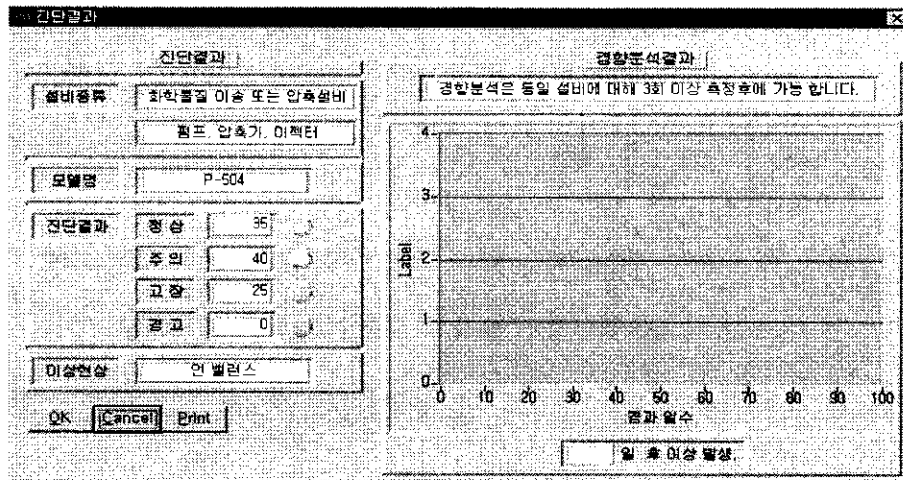
(a) 정상적인 펌프의 주파수 데이터



(b) 언밸런스가 발생한 경우의 주파수 데이터

[그림 6-9] 언밸런스에 의한 진동 데이터의 변화

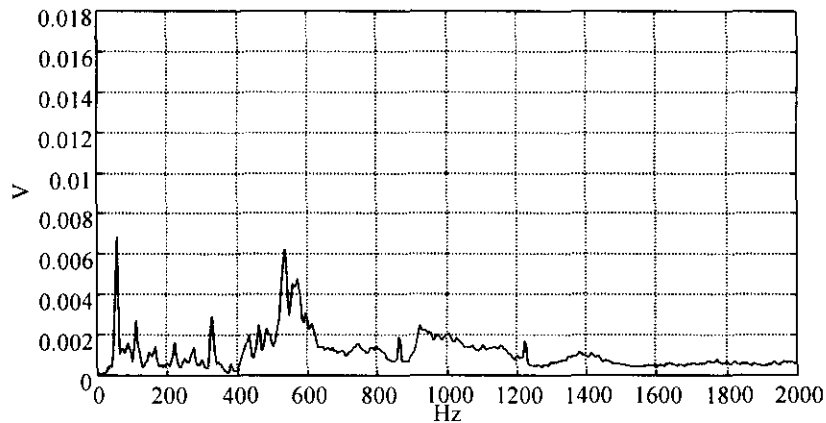
개발된 시스템에 의한 진단 결과 현재 펌프는 가장 확률이 높은 “주의” 상태로 판정할 수 있으며 그 원인은 언밸런스인 것을 알 수 있다. 그러나 기존의 RMS에 의한 진단 결과 정상과 이상의 차이가 1.2배 정도이므로 “정상”이라는 잘못된 판정을 얻게 된다.



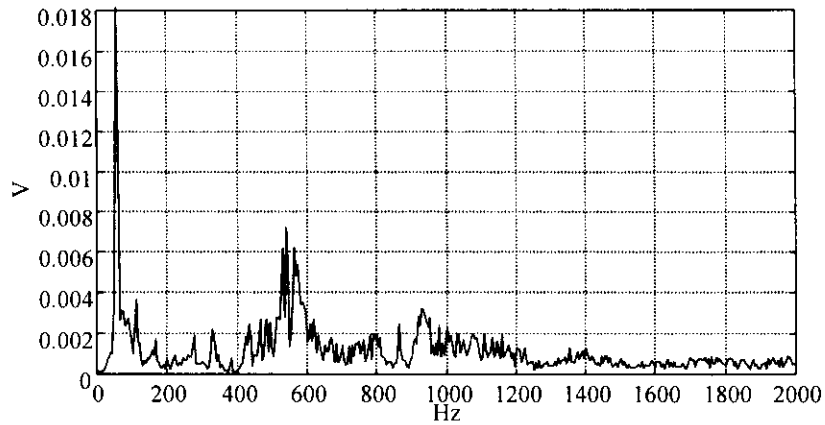
[그림 6-10] 언밸런스에 대한 진단 결과

나. 미스얼라인먼트에 대한 모의 진단

[그림 6-11]은 회전체에 미스얼라인먼트가 발생하였을 경우 진동 특성의 변화를 나타낸 그래프이다. 미스얼라인먼트는 주로 체결부의 중심이 서로 맞지 않을 경우 발생되며 그 결과로서 축방의 진동량이 증가하게 된다. 이 경우 역시 체결부에 대한 진동 진폭을 증가시켜 leakage의 원인을 제공하게 된다. 미스얼라인먼트 현상이 발생되면 축방향에 대한 1차 회전주파수가 매우 커지게 되며 정도가 심한 경우에는 2차 회전주파수도 검출된다. 따라서 모의 실험에서는 축 방향에 대한 펌프의 1차 회전주파수 58Hz를 정상보다 3배 증가시켜 진단 실험을 수행하였다.



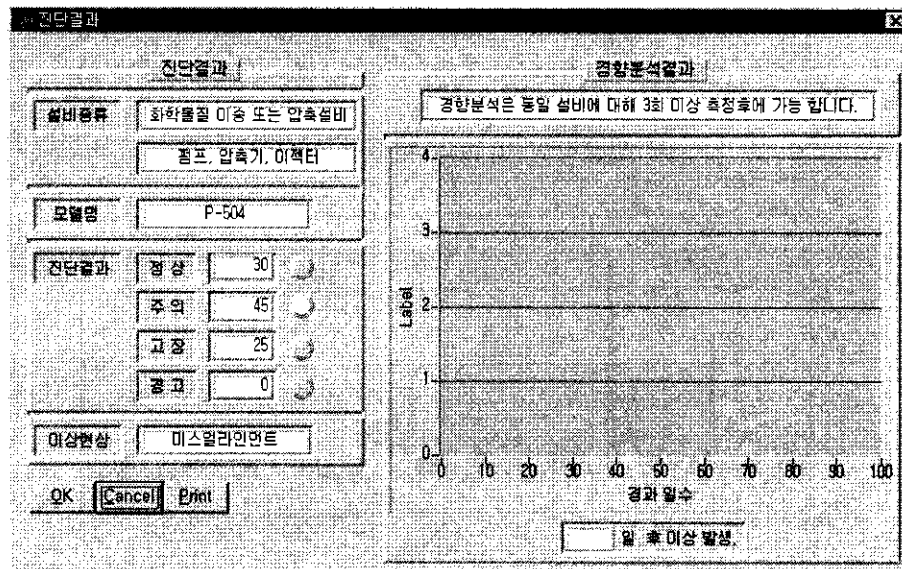
(a) 정상적인 펌프의 주파수 데이터



(b) 미스얼라인먼트가 발생한 경우의 주파수 데이터

[그림 6-11] 미스얼라인먼트에 의한 진동 데이터의 변화

[그림 6-12]는 [그림 6-11]의 (b)와 같이 미스얼라인먼트가 발생된 경우에 대해 개발된 진단 시스템에 의한 진단 결과를 나타내고 있다.

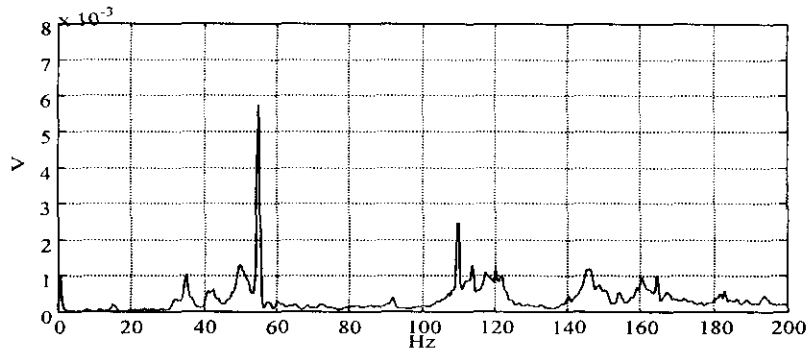


[그림 6-12] 미스얼라인먼트에 대한 진단 결과

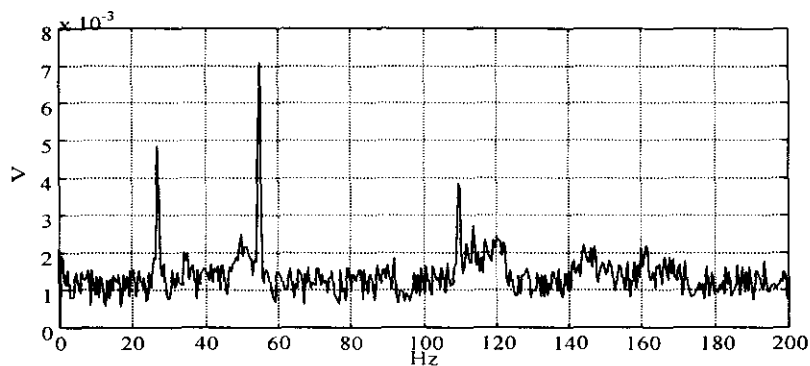
그림에서 진단 결과 현재 펌프는 “주의”상태가 45%이며 그 원인은 미스얼 라인먼트에 기인한 것을 확인할 수 있다. 그러나 기존의 RMS에 의한 진단에 있어서는 정상과 이상의 RMS 차이가 1.3배 정도이며 설비의 진단시 축방향의 진동을 고려하는 경우는 드물기 때문에 이 경우 “정상” 판정을 내리게 된다.

다. 오일휠에 대한 모의 진단

[그림 6-13]은 회전체에 오일 휠이 발생하였을 때 진동 특성의 변화를 나타냈다..



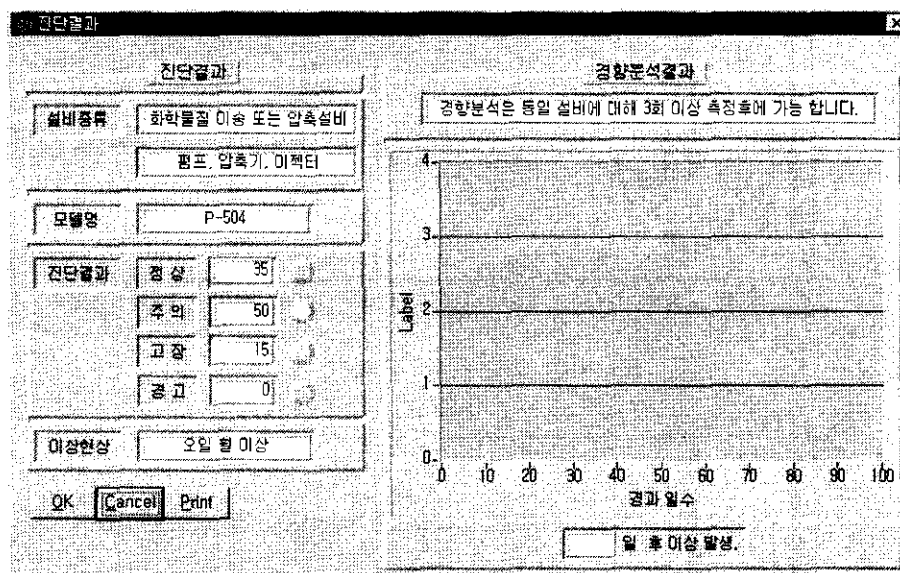
(a) 정상적인 펌프의 주파수 데이터



(b) 오일 휠이 발생한 경우의 주파수 데이터

[그림 6-13] 오일 휠에 의한 진동 데이터의 변화

오일 휠은 저어널 베어링에서 발생하는 현상으로서 윤활유의 고착에 의한 축의 회전을 방해하여 펌프의 성능을 저하시킨다. 회전축에 오일 휠이 발생되면 1/2차 회전주파수와 1차 회전주파수의 1/2 이하 영역에 대한 저주파 진동이 매우 크게 증가하므로 모의 실험에서는 30Hz와 저주파 영역에 대한 RMS 레벨을 증가시켜 진단 실험을 행하였다. [그림 6-14]는 [그림 6-13]의 (b)와 같은 오일 휠 발생시 개발된 시스템에 의한 진단 결과를 나타내고 있다.

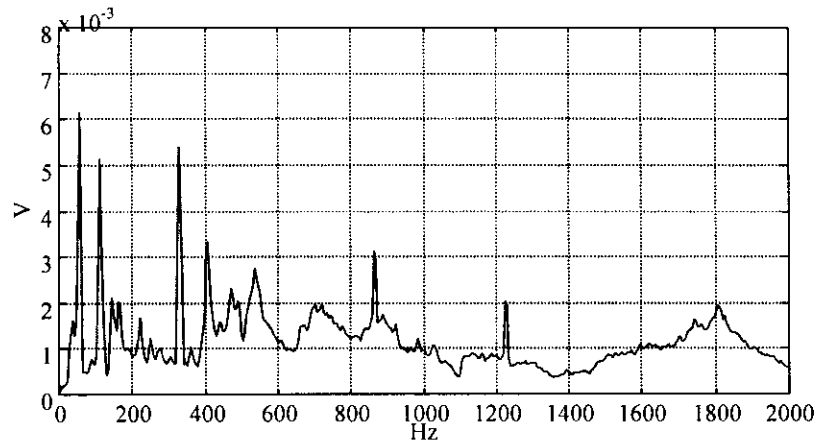


[그림 6-14] 오일 휠에 대한 진단 결과

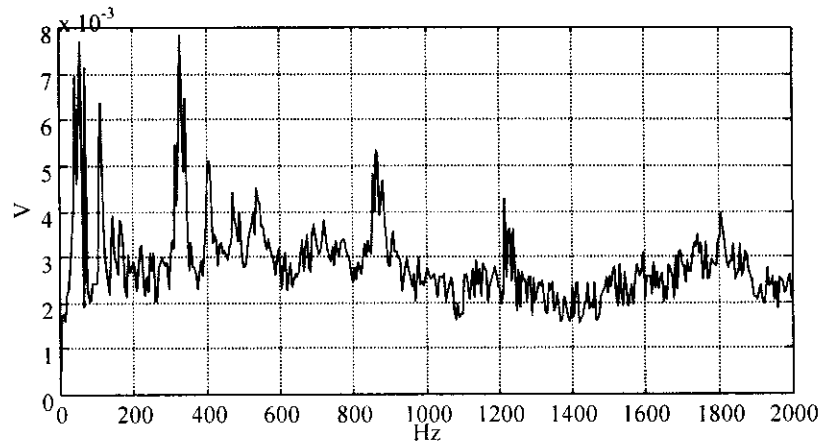
진단 결과 펌프는 50%의 “주의” 상태로 판정되었으며 그 원인은 오일 휠로 출력되었다. 한편 오일 휠이 발생하면 저주파의 RMS는 증가하지만 전체 RMS에는 크게 영향을 미치지 못하므로 RMS에 의한 진단 결과는 “정상”이다.

라. 베어링 결함에 대한 모의 진단

[그림 6-15]는 회전체를 지지하는 베어링에 결함이 발생하였을 경우 진동 특성의 변화를 나타낸 그래프이다.



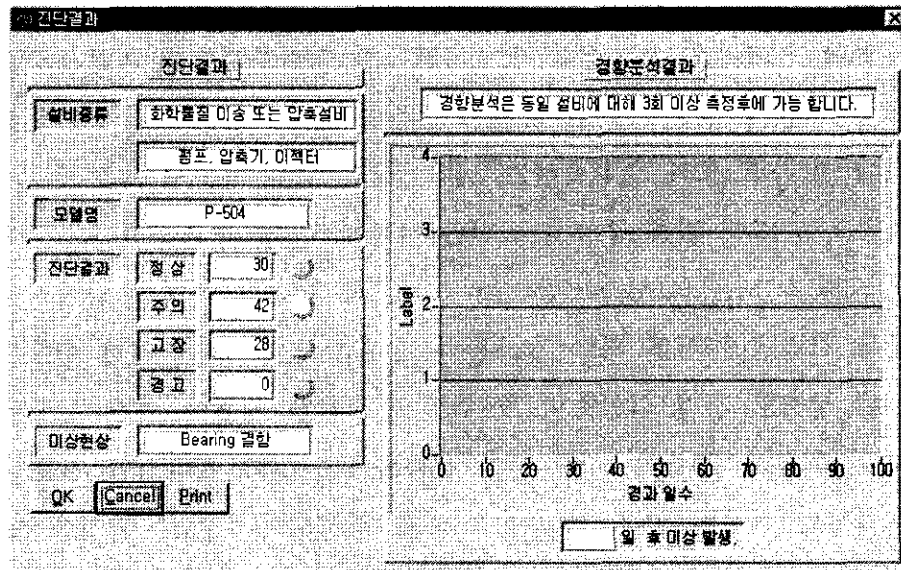
(a) 정상적인 베어링의 주파수 데이터



(b) 결함이 발생한 베어링의 주파수 데이터

[그림 6-15] 베어링 결함에 의한 진동 데이터의 변화

베어링은 일반 회전체에서 사용자의 오감에 의하여 진단할 수 있는 항목중의 하나로서 결함 발생시 충격진동과 소음을 발생시킨다. 그러나 이 경우도 결함이 상당히 진행된 후에 나타나는 현상이므로 조기 진단에 의한 적절한 교체가 바람직하다. 베어링에 결함이 발생되면 회전체 전반에 좋지 않은 영향을 미치게 되며 진동 발생이 증가된다. 특히 베어링은 내륜, 외륜, 볼 등의 결함 위치에 따라 고유의 결함 주파수를 나타내게 되며 이 결함 주파수를 중심으로 1차 회전주파수에 해당되는 side band가 나타난다. 따라서 모의 실험에서는 피크 주파수 주위에 60Hz의 side band를 발생시키고 RMS값을 전반적으로 증가시켜 진단 실험을 행하였다. [그림 6-16]은 베어링 결함에 대한 진단 결과를 나타내고 있다.



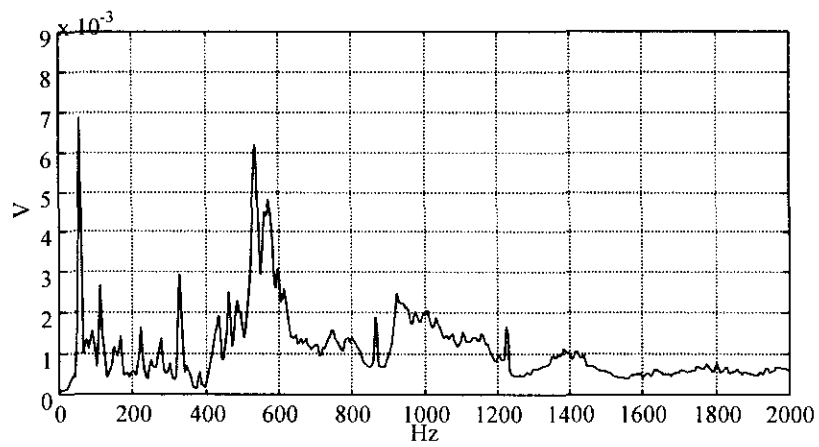
[그림 6-16] 베어링 결함에 대한 진단 결과

개발된 시스템에 의한 진단 결과 현재 펌프는 42%의 “주의” 상태로 판정되었으며 그 원인은 베어링 결함으로 출력되었다. 한편 기존의 RMS에 의한 진단 방식에서는 side band의 발생이 전체 RMS에 미치는 영향은 극히 작지만 모의 실험에서는 전체적인 RMS 레벨을 증가시켰으므로 정상과 이상에 대한 RMS 차이가 2.2배로 계산되어 “고장”이라는 결과를 산출하였다.

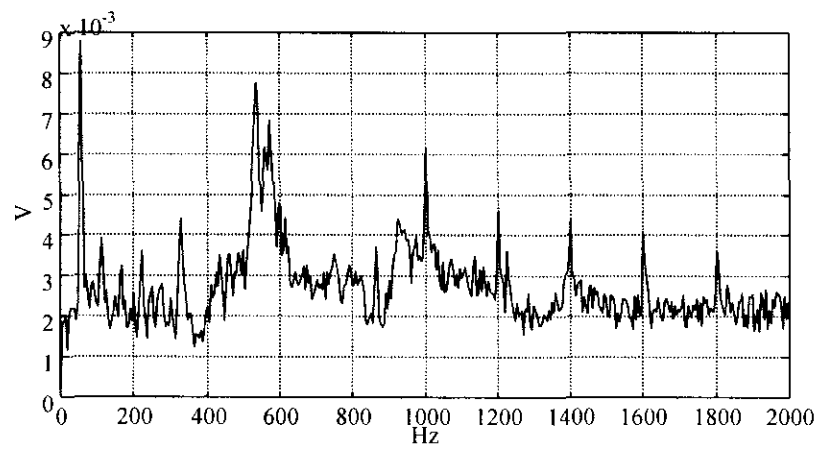
마. 느슨한 체결에 대한 모의 진단

[그림 6-17]은 회전체 일부분의 체결이 느슨해졌을 경우 진동 특성의 변화를 나타낸 그래프이다. 회전체의 체결부가 느슨해지면 충격음이 발생되므로 소리에 의하여 진단할 수도 있으나 이 경우는 정도가 심한 상태이므로 조기 진단에 의한 정비가 우선되어야 한다. 화학 설비에서 체결부의 느슨함은 곧바로 유해물질의 leakage와 연결되므로 “주의”라는 진단 결과에서도 충분한 점검을 하여야 한다. 기계적인 느슨함이 발생되면 1차 회전주파수를 기본으로하는 고차 하모닉 성분이 검출되며 전체 설비의 진동을 증가시키거나 공진을 유발하기도 한다. 따라서 모의 실험에서는 2차 이상의 고차 하모닉 성분을 첨가시키고 전체적으로 RMS 값을 증가시켜 진단 시뮬레이션을 수행하였다.

한편 [그림 6-18]은 [그림 6-17]의 (b) 그래프와 같은 데이터가 입력되었을 경우 개발된 시스템에 의한 진단 결과를 나타내고 있다. 진단 결과 펌프는 45%의 “주의” 상태로 판정 되었으며 그 원인은 느슨한 체결에 의한 것으로 나타났다. 한편 기존의 RMS에 의한 진단 결과에서도 설비 전반적인 진동 레벨의 증가로 정상과 이상의 RMS 차이가 2.5배로 측정되어 “결함” 판정을 얻을 수 있었다.

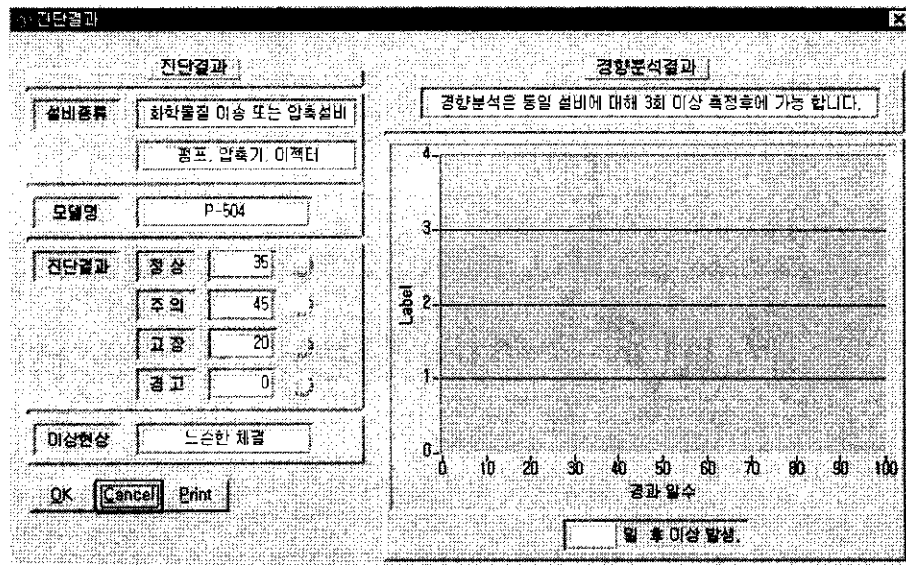


(a) 정상적인 펌프의 주파수 데이터



(b) 체결이 느슨할 경우의 주파수 데이터

[그림 6-17] 느슨한 체결에 의한 진동 데이터의 변화



[그림 6-18] 느슨한 체결에 대한 진단 결과

제 7 장 결 론

본 연구에서 사업장의 체계적인 안전관리를 위한 Expert system 구축을 할 수 있도록 예비 설문조사와 하드웨어시스템 구축을 위한 5개현장의 화학설비의 진동진단을 통한 설비의 누출상태 기초 실험을 각 2회 실시하여 공통점을 도출한 후 그 기반으로 하드웨어 진단 모니터링 시스템을 개발하고 퍼-지 추론 방식을 응용하여 측정된 신호로부터 진단결과를 해명할 수 있는 소프트웨어 프로그램을 개발하여 신뢰성과 안전성에대한 적용시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사업장의 화학설비 구동 회전체 부의 진동이 배관 전 시설에 전달되는 현상과 가스누출 정도를 측정한 결과 진동 폭의 크기가 피크점일 때, 평균 0.5~2.5%/vol가 누설되고 있었다. 설비 노후 시설 정도에 따라 결합부분에서의 가스 누설 가능성은 더욱 높은 것으로 사료된다.
2. A. E사업장의 경우 펌프 진동이 배관에 미치는 영향조사에서 3축(X, Y, Z) 방향에 대한 측정결과 펌프축의 미끄러짐이나 불균형시는 좌우 방향 진동보다 축 방향의 진동이 2~3배 커 펌프진동이 크게 증폭 전달되어 배관 후렌지부 등 전체 설비에 누출 등의 악 영향을 미치고있다. 정기적인 안전점검 추이가 절대 요구된다.
3. D공장 열 교환기의 진단 시스템 이상 고장 판별 능력을 평가하기 위하여 시제품 전과 후, 기존메이커 (미제)의 시스템과 동시 동일 조건으로 각 2회 5주 간격으로 측정, 해석한 비교 결과, 주의 45%, 고장 30%로 출력, 이상

현상은 언벨런스로 평가 판정이 나타나 개발시제품의 진단 신뢰성활용에 손색이 없는 것으로 사료됨

향후 개발된 단 체-널 진단 시스템의 진단성능 및 신뢰성 향상을 위해서 다음과 같은 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

시스템의 진단 성능 및 신뢰성 향상을 위해서 다른 센서에 의한 동시 정보(온도, leakage, 유량, 압력 등)도 입력받아 종합적인 추론을 행할 수 있는 다 채널 진단 시스템으로의 확장, 연구가 계속적으로 수행되어야 한다.

가. 각 산업현장에 사용되는 구동부분 모터는 구입 시 고유 진동 표준화 DATA를 뉴-저에게 첨부하는 것을 의무화 시켜야 할 것이다

나. 현장에 상시 밸브, 배관, 후렌지 부분, 펌핑 부분의 누설 가능성이 있는 곳은 주기적인 진동 측정과 자동 누출센서를 연계시켜 변화를 기록, 그래프 할 수 있도록 하고 디지털간이누출 측정기로 현장 근로자가 직접 확인 할 수 있도록 휴대함과 동시에 이상 발생 시는 즉시 보고조치와 개선이 되도록 정책적인 배려가 요망된다.

다. 안전관리 업무의 과학적 처리를 위한 각종 분석 전산 프로그램 개발 공급이 다양하게 이루어져야 하고 기업 스스로 안전 교육훈련이 강화되어야 한다.

라. 회전체의 다 체-널 이상고장 진단 엑스퍼트 시스템 개발과 진동누설 연관 기준 지침이 요망되며 저가의 진단 국산화장비가 각 사업장에 많이 공급 활용되어 산재예방에 기여할 수 있도록 구입자금지원이 적극 정책적으로 이루어져야 한다.

바. 화학설비의 가스 및 유해위험물질의 진동 누설에 따른 폭발화재 사례집 개발및 모의 시뮬레이션을 만들어 안전교육용으로 공급되어야 한다.

참고문헌

1. 김두환, 안전관리실무론, 중앙경제사, 1996pp.41-42, 223.
2. 노동부, 산업재해통계분석, 89 -1998, pp9-40.
3. 화학공장의 안전실태 및 대책, 한국산업안전공단, 1998. pp.41-48
4. "중대 산업사고 사례집", 한국산업안전공단, 1997, 1998. pp.27-31
5. "화학설비 개론", 한국산업안전공단, 1992p.p. 11-50
6. 오재웅, 김종관, 박수홍, "ANC법에 의한 기계 이상진단 소프트웨어 개발 (제1보 : Cepstrum해석)", 한국음향학회지, 제7권, 제4호, 1987. pp.75- 85.
7. 오재웅, "자동차 부품 고장진단 시스템 개발", 한양대학교 연구보고서, 1993
8. 오재웅, "소음, 진동의 온라인 진단 전문가 시스템 개발", 한양대학교 연구보고서, 1991
9. 오재웅 외, "NVH 진단 시스템 개발", 한양대학교 연구보고서, 1997. pp.25 - 50.
10. 신 준, "Fuzzy 추론에 의한 자동차 고장진단 전문가 시스템의 개발", 한양대학교 석사학위논문, 1990, pp.3-25.
11. 오재웅, 장경영, 이정철, 신 준, "고주파 공진법에 의한 베어링의 이상 진단", 한국자동차공학회 논문집, 제7권, 제 5호, 1989
12. 오재웅, 최병욱, "기계설비 이상진단 기법의 EXPERT화", 자동차공학회지, Vol.10, No.1, 1988
13. 오재웅 외, "Computer Integrated 신호처리 소프트웨어 개발", 한양대학교 연구보고서, 1994
15. 스스기가스히고 외 4인 : 진단센서오브를 고려한 이상진단 엑스퍼트 시스템 개발, 안전공학 VOL.33, NO.4, 1994. P.213~221.
16. 마스모도 레이노아게 외 1인 : 제어형 지식 시스템, 예측과 제어, VOL 27.

- NO.10, 1988 P.P887~892.
17. 야마구지다가히다 외 2인 : 진단형 지식 시스템, 계측과 제어, VOL 27. NO.10, 1988 P.P881~886.
 18. 데라노 다가오 : 지식 시스템의 구축 기술, 계측과 제어, VOL 27. NO.10, 1988 P.869~874.
 19. 나나가 가스미 : 운전지원 엑스퍼트 시스템 화학플랜트에 응용, 안전공학. VOL.26, NO.4 1987. PP221~226.
 20. 시마다 유기야스 외 3인 : 모듈형 지식을 사용한 이상진단 시스템에 관한 연구, 안전공학 VOL 36, NO.4, 1997. P.P214~219.
 21. 고시와마 이치로우 외 1인 : 뉴네트워크에 따른 프로세스 이상 진단, 안전공학 VOL 23. NO.1, 1993. P.P2~10.
 22. 송 단 : FT 정보를 기초한 이상진단 마티뉴럴 네트워크 구축에 관한 연구, 안전공학 VOL 35, NO.5 1996 P.P343~351.
 23. 다가하시 요시아기 : 일본석유화학에 있어 설비진단 기술현상, 안전공학 VOL 31. NO.3, 1992 P.P181~188.
 24. 스스기 가스히고 외 3인 : FT를 이용한 이상진단 엑스퍼트 시스템 개발, 안전공학 VOL 31. NO.2. 1992. P.P100~109.
 25. 이시다스기기 외 2인 : 지식공학적 기법에 의한 플랜트 이상 연쇄 시뮬레이션, 안전공학 VOL. 35. NO.2, 1986 P.P81~89.
 26. 이시무라 쓰요시 외 3인 : 고압가스 관청 신청 엑스퍼트 시스템, 안전공학 VOL. 31, NO.3, 1992. P.P89~196.3. 우메다 가스히고 외 1인
 - 27 : 화학공장에 있어 사고원인 해석을 위한 엑스퍼트시스템 구축, 안전공학 VOL. 29, NO.3. 1990. P.P175~181.
 28. 다가하쉬 히데야기 : 안전해석의 벤치마킹 테스트, 안전공학 VOL.31. NO.6,

- 1992, P.P424~432.
29. 스스기 겐지 : 신뢰성 향상을 목지한 예측형설비 관리 활동, 안전공학 VOL38. NO.2, 1999. P.P122~128.
 30. SATORU FUKAMI : Some Considerations on Fuzzy conditional inference, Fuzzy Sets & System, 4, 1980 P.P243~273.
 31. NAKANISHI 외 6인 : 화재판단 후지 엑스퍼스트 시스템, 일본화재학회 연 구발표회집 1990. P.P59~62.
 32. 豊田利夫, "設備診断の進め方", 日本フランドメンテナンス協會, 昭和57年 pp50-78.
 33. 鈴木和彦, "診断センサ誤報を考慮した異常診断エキスパートシステムの開発", 安全工学, Vol33, No.4, 1994. .pp.213 - 221.
 35. 島田行恭, "モジュール型知識を用いた異常診断システムに関する研究", 安全工学, Vol36, No.4, 1997. pp.214 - 218.
 36. 幸田武久, "エキスパートシステムと信頼性", JSME, Vol.90, No.827
 37. 廣田薫, "ファジィ活用事例集", 工業調査會, 1991
 38. 寺野壽郎, "ファジィシステムの應用入門", オ-ム社, 1990
 39. 福田敏男, "故障診断用エキスパートシステム", 日本機械學會誌, 第89卷, 第815號, 昭和61
 40. 安信誠二, "ファジィ理論の實システムへの應用", 日本機械學會誌, 第91卷, 第836號, 昭和63年
 41. R. A. Collacott, "Vibration Monitoring and Diagnosis", John Wiley & Sons, 1979
 42. R. A. Collacott, "Mechanical Fault Diagnosis", Chapman and Hall, 1977
 43. "Cepstrum", Korea B&K, 1990

44. Samuel D. Stearns, "Signal Processing Algorithm", Prentice-Hall, 1988
45. Nasir Ahmed, "Discrete time signals and systems", Reston Pub., 1985. pp.289-297.
46. Julius S. Bendat, "Engineering application of correlation & Spectral Analysis", John Wiley & Sons, 1980. pp.43- 76.
47. Arnold Kaufmann, "Introduction to fuzzy arithmetic", Van NostrandReinhold Com., 1985
48. C. V. Negoita, "Expert systems and Fuzzy systems", Benjamin/Cummings Pub.,1985
49. H. J. Zimmermann, "Fuzzy sets, Decision Making, and Expert systems",Kluwer Academic Pub., 1986
50. D. A. Waterman, "A Guide to Expert System", Addison-Wesley, 1983
51. Bruce G. Bachaman, "Rule-based Exper System", Addison-Wesley, 1985

1. 사업장 설문조사 (안)

1. 사업장개요

- ① 사업장의 주업종(기계, 전자, 건설, 서비스, 통신, 철강, 석유정제, 섬유, 도료, 플라스틱, 반도체, 창고, 운수, 정밀화학, 가스, 화학, 기타)
- ② 주생산 기계시설 형태 (반응장치, 흡착축출장치, 증류장치, 열처리장치, 열교환기, 교반혼합장치, 보일러, 운반장치, 탱크저장, 펌핑장치, 배관시설, 냉각시설, 환류장치, 탑조류, 정류장치, 기타)
- ③ 생산제품에 주사용원료로 취급되고있는 원료, 유해위험물, 가스는

주원료명

가스명

유해위험물명
- ④ 근로자수(50명 이하, 51-101, 101-300, 301-500, 501-1000, 1000명 이상)
- ⑤ 안전관리 전담부서(있다. 없다) 안전관리자 자격 (안전기사, 기타기사, 기능사, 기타)

①안전계획은 매년작성(한다, 안한다)②사고통계는 매년작성(한다 안한다)
③모든 안전보건통계 서식은 프로그램화되어 있습니까(예,아니오)프로그램이있
다면(자체개발, 외부의뢰개발, 완제품구입,)
④없다면 앞으로 안전통계 프로그램이 필요하다고 느끼니까(예 아니오)
⑤앞으로 귀사에 필요한 안전보건관련 프로그램이있으면 써주십시오
(예)휴먼에러방지프로그램, 불안전행동제거, 앓차사고활용, 안전진단전문가프로
그램,설비고장진단, 사고통계분석,적성검사,년간계획프로그램등)

- 139 -

- ①생산설비 가동중에 가스, 유해위험물질이 누출된적이 있습니까(예 아니오)
이때 작업상태는(정상,정기정비중,설비정지,임시점검중, 비정상가동,탱크저장)
- ②누출된 사실을 어떻게 알았습니까(냄새, 화재,경보기작동,현장보고 ,기타)
- ③현장의 원료누출 누설등은 어떤 방법을 이용합니까 (목측,센사,압력,유량,온도,측정검지기,진동,음향,냄새,기타)
- ④설비의 이상고장 원인을 추정하는 장비가 있습니까(예 아니오)있다면 장비명을 쓰시오()
- ⑤귀사에서는 소음진동을 이용한 설비진단을 한 적이 있습니까(예, 아니오)
있다면 그해석은 자동으로 되었습니까(예 ,아니오)
- ⑥고장진단 전문가 시스템(Expert System)을 알고 있습니까(예, 아니오)
- ⑦설비고장,이상진단 전문가 프로그램이 필요하다고 생각하십니까(예,아니오) 연구원에서 개발 공급하면 현장안전관리에 사용하시겠습니까(예,아니오)
- ⑧귀사는 화학설비의 소음진동을 정기적으로 측정하고 있습니까(예, 아니오)
- ⑨ 오감을 통한 간이진단은 하고있습니까(예, 아니오)간이진단 정보 데이터는 있습니까(예, 없음)설비기계의 구름축수 ,연결부, 온도 ,회전체,의정보는 있습니까(예, 없음)기계설비의 오감을 통한 진동, 이상음,이물,축수 온도, 부하등의 정보는 기록되어 있습니까 (예 ,없음) 설비 정밀진단의 회전 주파수정보는 있습니까(예 ,아니오)있다면 누출 위험이있는 주요부분 설비의 표준 주파수는 얼마입니까(Hz)
- ⑩연구원에서 무료로 화학설비의누출 고장예측 진단을 시범적으로 행한다면 응하겠습니까(예 ,아니오)예라면 회사명과전화번호를 써주십시오.

*본데이터는 Expert System D/B구축 연구용 외에는 타용도로 절대 사용하지 않습니다

수고 하셨습니다. 감사합니다.

2. 일반 회전기기 일상점검 항목과 판단방법

부 위	점 검 항 목	점 검 방 법	판 단 기 준
기 계 본 체	유체 · 윤활유 누출	관찰	누출이 없다.
축 수	온도	촉수(기계확인)	정상범위
	음	청음	이상음이 없음
	진동	촉수(계측)	이상진동 없음
	오일 링그	관찰	정상회전
윤 활 유	유조액면	관찰(계기확인)	정상범위
	유압 · 유량	관찰(계기확인)	정상범위
	색 · 이물	샘플유 확인	이상 없음
축 봉	누출	관찰	누출 없음
	온도	촉수(계기확인)	이상발열 없음
	냉각액량	관찰(계기확인)	정상범위
이 음	윤활제누출	관찰	누출이 없음
냉 각 수	량	관찰(계기확인)	정상범위
부 속 배 관	누출	관찰	누출이 없음
전 도 장 치	헐거움, 손상	관찰	이상이 없음
	절단	관찰	이상이 없음
여 과 기	막힘	관찰(계기확인)	막힘 없음
전 동 기	전류치	관찰(계기확인)	정상범위
기 계 상 태	성능	관찰(계기확인)	정상범위
	이상운전	관찰(계기확인)	이상운전이 아님

STEP 1 5감 · 간이진단 질문항목

1) 기계정보

- 1-1 구름축수를 진단하겠습니다? ANS(Y/N)
- 1-2 연결부의 휜성은 큼니까? NS(Y/U)
- 1-3 기계가 고온입니까, 저온입니까? ANS(Y/N/U)
- 1-4 회전체에 부식, 부착물이 예상되는 기цеп니까? ANS(Y/N/U)

2) 5감정보

- 1-5 염려되는 중간음(가가지지)이 발생하고 있습니까? ANS(Y/N/U)
- 1-6 그 중간음은 손을 대면 소거됩니까? ANS(T/N)
- 1-7 그 중간음은 축수에서 발생하고 있습니까? ANS(T/N)
- 1-8 진동은 터치해서 알 수 있습니까? ANS(T/N)
- 1-9 진동에서 충격을 느낍니까? ANS(T/N)
- 1-10 축수온도는 보통보다 높습니까? ANS(T/N)
- 1-11 부하전류치는 보통보다 높습니까? ANS(T/N)
- 1-12 윤활중에 금속이 인정됩니까? ANS(T/N)
- 1-13 축수냉각효과를 낮춘 경우에 진동이나 중간음의 감소가 인정됩니까?
ANS(Y/N/U)

3) 간이진단정보

- 1-14 Lo 렌즈측정 테이터는 정상치의 2배 이상입니까? ANS(T/N)
- 1-15 Lo 렌즈측정 테이터는 증가후 안정되고 있습니까? ANS(T/N)
- 1-16 Lo 렌즈측정 테이터는 레지얼 방향이 액셀방향보다 큼니까? ANS(T/N)
- 1-17 Lo 렌즈측정 테이터는 연결 측이 반연결측보다 큼니까 ? ANS(T/N)
- 1-18 Lo 렌즈측정 테이터는 급유온도 변화시 변합니까? ANS(T/N)
- 1-19 Md 렌즈측정 dater는 정상치 2배 이상입니까? ANS(T/N)
- 1-20 Md 렌즈측정 dater는 손으로 만졌을때 어느 정도 감소합니까? ANS(T/N)
- 1-21 Md 렌즈측정 dater는 축수냉각효과를 저하시켰을 경우에 어느 정도 감소 합니까?
ANS(T/N)
- 1-22 Hi 렌즈측정 dater는 정상치와 비교했을 때 어떻습니까? ANS(T/N)

(1:2배미만, 2:2-6배, 3: 6배이상, 4:불명)

1-23 Hi파고율(크레스트팩터)는 정상치 2배이상 인가

ANS(T/N)

1-24 Hi 렌지측정 데이터는 손을 대었을 때 감소하는가

ANS(T/N)

1-25Hi 렌지측정 데이터는축수냉각효과를 낮추었을때어느정도감소합니까

ANS(T/N)

STEP 2 정밀진단용

1) 발생주파수 대역

2-1 회전주파수 3배 이하대역의 진동은 큼니까? ANS(Y/N/U)

2-2 1K~3kHz 대역의 진동은 큼니까? ANS(Y/N/U)

2-3 10kHz 이상 대역의 진동은 큼니까? ANS(Y/N/U)

2) 회전주파수의 3배 이하의 SPECTLE

2-4 회전주파수 3배이하 Spectle에서 f가 특히 큼니까? ANS(Y/N/U)

2-5 회전주파수 3배이하 Spectle에서 2f나 3f가 큼니까? ANS(Y/N/U)

2-6 f는 회전수증가에 따라서 커집니까? ANS(Y/N/U)

2-7 f는 회전수 좁은 범위에서 갑자기 커집니까? ANS(Y/N/U)

2-8 f는 회전수 상승시/하강시 도약성 있습니까? ANS(Y/N/U)

2-9 f는 전원을 끊었을 때 차츰 감소합니까? ANS(Y/N/U)

3) ENVELOPE SPECTLE

2-10 Envelope Spectle의 오-버 올 수치는 높습니까? ANS(Y/N/U)

2-11 Envelope Spectle에 fo와 고조파가 확인됩니까? ANS(Y/N/U)

2-12 Envelope Spectle에 fi와 고조파가 확인됩니까? ANS(Y/N/U)

2-13 Envelope Spectle에 fb와 고조파가 확인됩니까? ANS(Y/N/U)

4) 고주파대역의 파형

2-14 고주파역의 파형에 충격성이 있습니까? ANS(Y/N/U)

사업장의 체계적인 안전관리 위한Expert System

구축에 관한 연구

(안전분야-연구자료 연구원 2000-16-136)

발 행 일 : 1999. 12

발 행 인 : 원 장 정 호 근

연구수행자 : 수석연구원 김 두 환

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전보건연구원

주 소: 인천광역시 부평구 구산동 34-4

전 화: (032) 5100-860

인 쇄 처: 영진인쇄사 (02) 734-3713