

碩士學位論文

火力發電所 警報處理 支援을 위한  
專門家 시스템의 開發事例 研究



110815

濟州大學校 經營大學院

經營情報學科 經營情報學 專攻

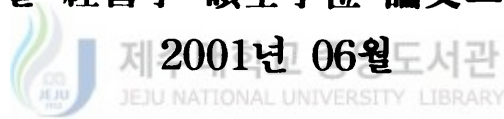
崔 光 圭

2001年度

火力發電所 警報處理 支援을 위한  
專門家 시스템의 開發事例 研究

指導教授 崔 炳 吉

이 論文을 經營學 碩士學位 論文으로 提出함.



濟州大學校 經營大學院  
經營情報學科 經營情報學 專攻  
崔 光 圭

崔光圭의 經營學 碩士學位 論文을 認准함.

2001년 06월

委 員 長 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

委 員 \_\_\_\_\_ (인)

# 차 례

<b>제 1 장 서론</b> .....	<b>1</b>
제1절 연구의 배경 및 목적.....	1
제2절 연구의 내용 및 방법.....	2
제3절 논문의 구성.....	3
<b>제 2 장 화력발전 시스템 분석</b> .....	<b>4</b>
제1절 화력발전소 개요.....	4
제2절 화력발전 시스템.....	14
제3절 화력발전 경보 시스템.....	17
<b>제 3 장 전문가 시스템인 TAPES 개발사례</b> .....	<b>19</b>
제1절 전문가 시스템 개요.....	19
제2절 TAPES의 개발사례.....	31
제3절 TAPES의 실행.....	56
<b>제 4 장 적용 사례분석</b> .....	<b>65</b>
제1절 TAPES 성과 분석.....	65
제2절 TAPES 적용에 대한 만족도 조사.....	67
제3절 분석 및 시사점.....	69

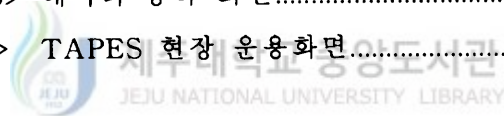
제 5 장 결 론 .....	76
[ 참고문헌 ].....	78
[ Abstract ] .....	80
[ 설 문 지 ] .....	82



## 그림 차례

<그림 2-1> 울산화력 기력 제4,5,6호기 계통도.....	6
<그림 2-2> 울산복합 발전계통도.....	11
<그림 2-3> 울산복합 제어설비 구성도.....	12
<그림 2-4> 발전 시스템 운용 구조도.....	14
<그림 2-5> 제어 시스템 운용 구조도.....	15
<그림 2-6> 제어설비분류.....	16
<그림 2-7> 중앙제어실 조작보드.....	17
<그림 2-8> 발생경보 처리 구조.....	18
<그림 3-1> 전문가 시스템의 구성도.....	21
<그림 3-2> 지식표현 기법 요약.....	24
<그림 3-3> 연역추론의 일반적인 형식과 예.....	25
<그림 3-4> 추론 및 탐색기법 요약.....	27
<그림 3-5> 지식 획득 단계.....	28
<그림 3-6> 경보처리 지원 시스템 개발기준.....	33
<그림 3-7> 발전 시스템 구성 주요 설비 선정.....	34
<그림 3-8> 시스템 지원 발생경보 선정.....	35
<그림 3-9> 지원 시스템 개발 활용 자료(1).....	36
<그림 3-10> 터빈설비 신호 및 경보처리 요소.....	38
<그림 3-11> 지원 시스템 적용 터빈 최종 Logic Diagram.....	39
<그림 3-12> 지원 시스템 개발 활용자료(2).....	40
<그림 3-13> 각 Alarm 주요 원인 및 조치내용 예시.....	41
<그림 3-14> 경보처리 지원 시스템 개발기준 적용결과.....	42
<그림 3-15> 최종사고유형: 프레임을 이용한 지식표현.....	44

<그림 3-16> Attemp. 1.1 INL. STM TEMP.>MAX의 프레임작성“예”	46
<그림 3-17> 설명 모듈 구현 “예”	50
<그림 3-18> TAPES의 구현	51
<그림 3-19> TAPES 초기 메인 화면	57
<그림 3-20> ALARM 선택시 화면	59
<그림 3-21> 찾기버튼 클릭 후 발생 화면	60
<그림 3-22> 발생 ALARM 원인 표시 화면	60
<그림 3-23> 발생 ALARM 조치사항 표시 화면	61
<그림 3-24> 다중 발생 ALARM 최종사고유형 표시 화면	62
<그림 3-25> 데이터 조회 및 입력 화면	63
<그림 3-26> 데이터 등록 화면	64
<그림 4-1> TAPES 현장 운용화면	67



## 표 차례

<표 2-1>	울산화력발전처 설비개요.....	4
<표 2-2>	울산화력 기력 제4,5,6호기 제원.....	5
<표 2-3>	울산화력 제1복합 제원.....	7
<표 3-1>	Digital Value List 예시.....	37
<표 3-2>	Analog Value List 예시.....	37
<표 4-1>	울산화력 기력 제4,5,6호기 고장정지 건수.....	66
<표 4-2>	TAPES 적용에 따른 만족도 조사내용 요약.....	68
<표 4-3>	설문문항의 구성.....	68
<표 4-4>	응답자들의 직군 분류.....	69
<표 4-5>	응답자들의 연령분포.....	69
<표 4-6>	응답자들의 근속연수분류.....	70
<표 4-7>	응답자들의 학력분포.....	70
<표 4-8>	응답자들의 TAPES 설비 사용경력 분류.....	71
<표 4-9>	TAPES 이용자 만족도 통계분석표.....	71
<표 4-10>	운전원의 직군에 따른 만족도 분석표.....	74

# 제 1 장 서 론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

전력 산업은 국가의 기간산업으로써 국민 생활에서 에너지의 근본을 이루고 있으므로 발전소는 양질의 전력을 생산, 안정되고 경제적으로 수용가에게 공급해야 한다. 따라서 발전소의 신경계통인 감시제어 시스템, 나아가 발전소의 자동화 운용 기술개발은 매우 중요한 과제가 된다.

국외의 경우 80년대 이후 분산형 디지털 감시제어 시스템이 발전소에 적용 사용되고 있고, 최근에는 복수 unit 종합 자동화 방식이 개발되어 적용되기 시작했으며, 전문가 시스템, 예측 감시제어, Fuzzy 감시제어 등의 운용을 연구하고 있다.<sup>1)</sup>

현재 국내에는 아날로그와 디지털 감시제어 시스템을 플랜트 및 산업 시설의 자동 감시제어에 이용하고 있으나 대부분이 외국에서 개발된 반제품을 도입해 응용하는 수준이고 전문가시스템은 발전소와 같은 특수한 영역에 적용할 수 있는 단계는 아직 되지 않고 있다.

그러나 최근 급속히 발전하는 컴퓨터 관련 기술과 전력계통의 여러 분야에서 전문가의 경험적 발견들이나 지식들을 고려한 새로운 접근의 기술들이 속속 개발됨에 따라 전력시스템 분야 중 화력발전소 운용에 있어서도 전문가 시스템 개발 적용은 발전소 가동률 제고 및 효율 향상등의 이득 이전에 학문적 이론 적용의 가능성을 확인하는 계기가 될 수 있다.

따라서 본 논문에서는 대형·복잡화되어 있는 국내 최대의 중유화력 발전소 울산화력 제4, 5, 6호기를 모델로 하여 발전소 오류요소 데이터베이스 구축을 통해, 화력발전 경보처리 지원을 위한 전문가 시스템인 TAPES(Trouble Analysis Pilot Expert System)를 개발하여 적용한 사례를 연구, 분석하기로 한다.

1) 유석인, “전문가 시스템의 소개”, 정보과학회지, 제6권 제2호, 1988, pp.6~12.



## 제2절 연구의 내용 및 방법

본 연구에는 발전시스템을 직접 운용하는 운전원이 보다 쉽고 신속하게 정확한 판단을 내려 필요한 조치를 취하도록 경보처리 지원 전문가 시스템을 구축한 내용과, 이를 실제 적용하여 나타난 결과에 대한 사례 분석이다.

TAPES는 다음과 같은 목적으로 구축된 시스템이라고 할 수 있다.

첫째, 숙련된 운전원의 경험과 각 기기 특성에 대한 전문적 기술지식을 보다 효과적이고 신뢰성 있게 Database화 한 것이다. 울산화력 제4, 5, 6호기에는 각 호기당 314개의 Analog Group point와 933개의 Digital Input point를 갖추면서 612개의 Alarm window를 통해 기기의 이상유무를 운전원에게 알린다.<sup>2)</sup> Alarm window를 통해 발생한 신호는 신속히 해당 Trouble로부터 해소되어야 하고 주어진 시간이 경과된 후에도 해소가 안 될시 대형 2차 사고를 유발하게 된다. 본 연구에서는 신뢰성 있고 효율적인 데이터관리를 위해 발전 시스템을 전체 정지시키거나 중요 기기에 대형사고를 유발시키는 사안에 대해서 면밀히 검토 분석하여 이와 연관성이 있는 128개의 Alarm만을 Database화하도록 한 내용이다.

둘째, 운전원으로 하여금 보다 쉽게 각 Alarm window에 대한 최종사고 유형을 인지토록 하고 그 오류신호에 대한 원인과 조치내용에 쉽게 접근 가능토록 Program화하여 PC 모니터 상에 발생하도록 했다.<sup>3)</sup> 최종사고유형이란 발전시스템을 구성하고 있는 핵심 기기들에 대한 사고발생을 말하며 관련 경보발생 후 신속한 조치가 없으면 발전시스템에 치명적인 영향을 주게된다. 이 최종사고유형을 분석·구분하는 것은 많은 경험과 전문가적 지식이 필수적으로 동원되어야 하며 본 연구의 전문가 시스

2) 한국전력공사, “울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual”, 1980, pp.186~190.

3) 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종 보고서”, 한국전력공사 전력연구원, 1997.1.

템적용의 중요한 부분이라 할 수 있다. 앞서 분석·구분되어진 사고유형에 직접적으로 관련되는 Alarm window의 요소들을 연결시키고 그에 따른 사고원인과 조치내용을 구현하는데 있어 가능한 한 개발 전문가 시스템은 단순하면서도 명확하게 해법이 발생하도록 한 내용이다.

또한, 경보처리 지원을 위한 전문가 시스템인 TAPES 적용에 따른 이용자들의 만족도에 관한 조사를 실시하여 분석하였다.

### 제3절 논문의 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다.

제1장은 서론부분으로 본 논문의 연구배경과 목적을 밝히고, 연구의 내용 및 방법 등을 기술하였다.

제2장에서는 우리 나라에서 실제 적용하여 발전하는 방식에는 크게 수력, 원자력, 화력으로 구분할 수 있는데 그 중에서 화석연료(석탄, 석유, LNG 등)를 사용하여 전기를 생산하는 화력발전 시스템에 대한 분석 사항에 관해 기술하였다.

제3장에서는 대용량 화력발전 시스템을 운용하기 위해서는 한치의 오차도 없이 정확한 운전이 되어야 하기 때문에, 만일의 Trouble 요소를 적기에 정확한 검출을 실시하여 적절한 조치를 취하도록 할 수 있는 전문가 시스템인 TAPES 개발사례에 대하여 언급하였다.

제4장에서는 발전시스템을 운용시 비정상 상황의 발생 및 조치사항을 한눈에 즉각적으로 알 수 있는 설비인 경보처리 지원 시스템인 TAPES의 적용사례를 검토하고, 이용자의 만족도에 관한 조사자료를 분석하여 DATA를 정리하였다.

제5장에서는 결론 및 추후 연구 방향으로 본 연구과제의 특징적 내용과 의미에 대해 기술하였다. 또한 본 연구에서 추후 보완해야 할 내용 및 향후 과제에 대하여 기술하였다.

## 제 2 장 화력발전 시스템 분석

### 제1절 화력 발전소 개요

모든 화력 발전소는 우라늄 또는 물의 에너지등을 사용하지 않고 석탄, 석유, 천연가스등의 화석 연료를 연소시켜 열에너지를 발생시킨 다음 열기관을 통해 기계에너지로 변환하고 발전기에 의해서 다시 전기에너지로 변환하는 발전방식을 채택하고 있다.

전국에 산재해 있는 69개소의 대소 발전소에서 2000년 6월 30일 기준으로 하여 우리나라 전체 전원 대비 64.2%인 30,190,000kW의 전력을 이 화력발전방식에 의존하여 생산하고 있다.4)

#### 1. 울산화력발전처 설비개요

국내 유류 화력으로는는 최대규모인 3,000,000KW의 시설 용량을 보유하며 전국에 양질의 전력을 공급하고 있는 울산화력발전처는 울산시 남구남화동 1번지 175,591평의 부지에 건설되어 있고 그 설비개요는 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 울산화력발전처 설비 개요

구분 Item	화력 Thermal Power		복합 Combined Cycle			
	1,2,3호기 Unit 1,2,3	4,5,6호기 Unit 4,5,6	1,2호기 Unit 1,2		3,4,5,6호기 Unit 3,4,5,6	
			가스터빈 G/T	스팀터빈 S/T	가스터빈 G/T	스팀터빈 S/T
설비용량 Capacity	200MW×3	400MW×3	100MW×2	100MW×1	150MW×4	150MW×2
사용연료 Fuel	0.3% LSWR	0.3% B.C	LNG (경유)	-	LNG (경유)	-
공사기간 Term	68.7 ~73.7	77.4 ~80.12	94.9 ~95.6	97.1 ~98.6	95.6 ~96.7	95.6 ~97.8
특징 Characteristics	고효율, 계동주파수 자동조절형 High Efficiency. Auto control of Cycle		첨두 부하 공급에 기여 For Peak load			

자료 : 울산화력 홍보용 자료, 2000.

4) 한국전력공사, “사원수첩2001”, 2000. (각종현황, p.5)

## 2. 울산화력 기력 제4,5,6호기 설비현황

본 논문에 적용되는 발전소는 기력 제4, 5, 6호기이며 울산화력발전처를 구성하는 것으로서 중유화력발전소로서는 국내 최대의 단일 용량과 국내 최고의 주파수 추종능력을 보유하고 있으며 그 제원은 <표 2-2>와 같다.

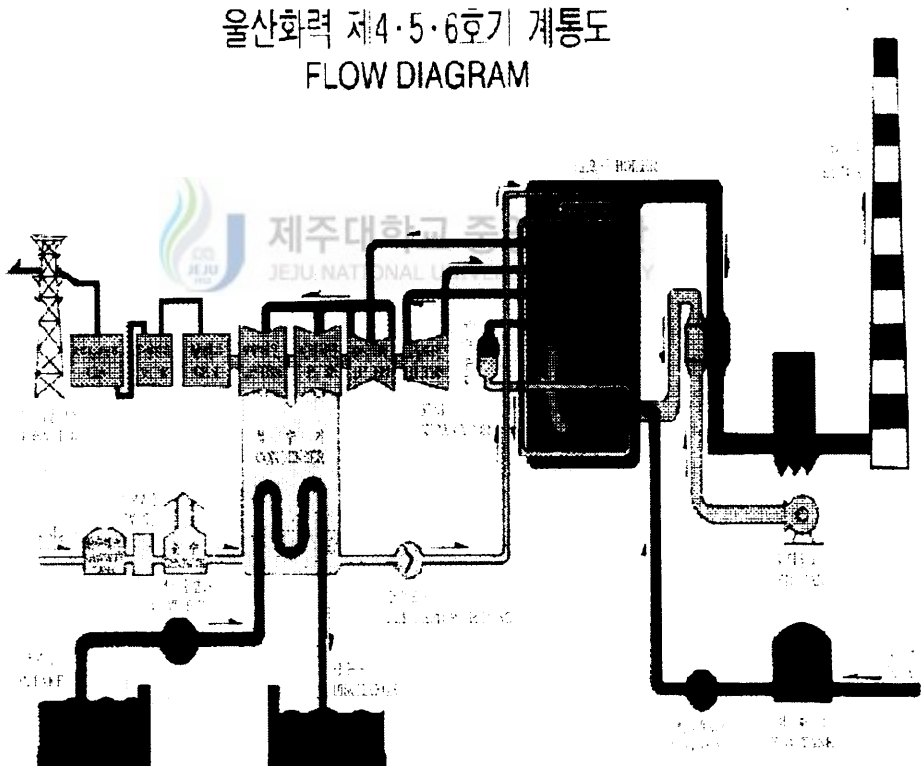
<표 2-2> 울산화력 기력 제4,5,6호기 제원

보 일 러			터 반			발 전 기		
항 목	단 위	설 계 치	항 목	단 위	설 계 치	항 목	단 위	설 계 치
형 식	-	관류,재열	형 식	-	반동 복수 재열형	형 식	-	수소 및 수냉각
용 량 (대 당)	MW	400	용 량	MW	400	용 량	KVA	473.15 9
증 발 량	t/h	1183.7	회 전 수		3,600	전 압	V	19,000
재 열 증 기 량	t/h	1095.1 2	주 증 기 입 구 압 력	kg/cm <sup>2</sup>	178.96	여 자 전 압	V	620
과 열 증 기 입 구 압 력	kg/cm <sup>2</sup>	183.5	재 열 증 기 압 력	kg/cm <sup>2</sup>	45.0	여 자 전 류	A	4,004
온 도	℃	541	온 도	℃	340	단 락 비	-	0.61
재 열 증 기 출 구 압 력	kg/cm <sup>2</sup>	42.7	진 공 도	mmHg	722	전 류	A	14,378
온 도	℃	541	추 기 단	단	7	수 소 압 력	kg/cm <sup>2</sup>	5
급 수 온 도	℃	249	Wheel Stage	단	HP:13+Impuls e wheel IP: 2 * 12 LP: 4 * 6	여 자 방 식	-	자 여 자
연 소 방 식	-	중 유				효 율	%	98.47
효 율	%	93.7	효 율	%	46.24	효 율	%	98.47

자료 : 울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual, 1980.

기력 제4,5,6호기의 발전계통은 앞의 제원에서 기술한 것과 같이 보일러, 터빈, 및 발전기로 구성된다. 아래 <그림 2-1>의 계통도는 울산화력 대형 관류형 보일러에서 발전용 연료인 벙커-C유를 연소시켜 물을 가열하면, 이때 540℃에 달하는 고온, 고압의 증기가 발생되어 터빈을 돌리고, 터빈과 같은 축에 연결된 발전기가 돌아 전기를 생산하게 되는 것을 나타내고 있다. 발전기를 통해 발생된 전기는 송전시 전력손실을 줄이기 위해 변압기를 거쳐 높은 전압으로 송압되어 전국에 공급된다.5)

<그림 2-1> 울산화력 기력 제4,5,6호기 계통도



자료 : 울산화력 홍보용 자료, 2000.

5) 한국전력공사, “울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual”, 1980.

### 3. 울산복합 설비현황

<표 2-3> 울산화력 제1복합 제원

	항 목	설 계 치
가스터빈	형 식	W501D5 (Reaction, Axial Flow, Open Cycle)
	단 수	4단(G/T),19단(Compressor)
	용 량	106,770kw × 2기
	입구가스온도	1,140°C
	배기가스온도	535°C
	회전수	3600rpm
	제 작 자	Westinghouse Electric Cop.
발전기	형 식	Synchronous
	용 량	137MVA × 2기
	역 률	0.9
	전 압	13.8kv
	회전수	3600rpm
	제 작 자	Westinghouse Electric Cop.

자료 : 울산복합화력 운전원 Manual, 1995.

울산복합 발전설비는 실내형의 G/T W501F GEN 4Unit, G/T W501D5 GEN 2Unit, HRSG 6Unit 그리고 3개의 S/T GEN로 구성되어있다. 그런데, G/T는 LNG와 경유를 연료로 사용할 수 있게 되어 있으며, HRSG는 3가지 압력의 재열기와 자연순환의 실내형으로 보조연료 연소설비가 없는 형태로 되어 있다.<sup>6)</sup>

울산복합설비는 LNG 연소로 ASME 기준에 근거하여 복합사이클로 운전시 1200MW의 출력으로 설계되었다. 또한, 다른 발전설비와의 병렬운전 혹은 독립적인운전이 가능하도록 설계되어 있으며, 환경오염이 최소가 되도록 설계되어있다.

W501F G/T는 16단의 고효율 축류 압축기, 16개의 Combustor가 원형으로 설치된 Combustion Chamber, 그리고 4단의 증동터빈으로 구성되어 있으며 또한 G/T는 직결축으로 연결되어 압축기 입구 끝에 위치한 수소냉각 발전기를 구동시킨다. G/T 로터는 압축기와 터빈의 단일축이 보울트 결합의 형태로 연결되어 있으며 Thermal Misalignment에 영향을 받지 않는 Pivoted Pad Journal Bearing으로 지지되어 있다.

6) 한국전력공사, “울산화력30년사”, 2001.

회전체의 진동이나 불평형에 의한 영향을 최소화 하도록 충분한 중량으로 되어 있으며, G/T GEN의 기동 및 정지를 완전자동화로 하며 중간부하와 첨두부하에도 대처하기 위해서 일일기동정지에 적합하게 설계되어 있다.

NOx 발생을 제한하기 위해 LNG 혹은 경유를 사용하게한 단순싸이클 및 복합 싸이클용의 Dry Low NOx Combustor System Design이 적용되었다.

HRSG는 3가지 압력으로 Vertical Gas Flow, 자연순환 재열설비, 3가지의 과열기모듈, Evaporator, Economizer, Preheater, 중압재열기를 갖추고 있다. G/T의 배기가스는 댐퍼가 있는 덕트로 통하게 된다. 즉 단순싸이클 운전시는 Bypass Stack을 통해 대기로 방출하고, 복합운전시는 배기가스의 열을 회수하여 증기를 발생시키는 HRSG를 통하도록 되어있다. 그 다음 HRSG 의 배기가스는 자체연료로 나가도록 되어 있으며 HRSG의 드럼수위 조절장치는 지나친 Blow down 없이 적정 운전수위를 유지할 수 있게 설계 하였다.

증기터빈은 고압, 중압 및 Double Flow의 저압으로 구성된 이중 케이싱이며, 특히 복합설비에 적합하도록 설계하였다. 그리고 증기터빈은 수소냉각발전기를 구동 시킨다. 또한 복수기는 50% 용량의 진공펌프 2대를 갖추고 있다. 복수는 Hot well에서 Pumping되어 탈기기로 보내진다.

HRSG의 저온부식방지를 위해 급수예열시스템을 갖추고 있다. 고압, 중압, 저압의 각각 3대의 급수펌프를 이용하여 HRSG의 각 Section에 급수를 이송한다. LNG 연소시는 급수예열기를 통해 예열하고, 경유연소 운전시는 Pegging Steam 혹은 중압터빈의 추기를 이용하여 탈기기의 급수를 예열한다. 효율을 향상시키기 위하여 HRSG의 온수 및 로터냉각기의 에너지를 이용하여 천연가스 연료를 Combustor 유입전에 예열한다.

이런 향상된 복합설비설계에서 성능보정치를 달성하기 위해 적합한 증기조건을 선택해야 한다. 복합설비는 고부하 운전일수록 유리하다. 왜냐하면 전체설비의 성능은 가스터빈에 달려있기 때문이다. 복합설비를 가스터빈이 Baseload Operation시 최고의 성능을 내도록 설계하였다.

투자비용과 관련하여 증기조건이 설비성능 평가에 최고로 적합하게 되어있다. 단순운전에서 복합모드로의 전환은 G/T 부하와 관련된 Bypass Valve의 개도를

조정하여 실시한다. 복합운전으로 전환되기 전에 HRSG와 S/T 보호를 위해 G/T부하가 감소하게 될 것이다. 앞서 설명한 절차에서 S/T 부하를 완만하게 변화시키므로해서 G/T의 급속한 부하변경에도 급격한 드림수위변화가 발생하지 않게 한다.

터빈이 Hot/Warm Condition 일 때 상당히 짧은시간에 설비기동이 가능하다. 그러나 Cold Condition 일때는 S/T를 Turning 시키면서 Heat Soaking time을 가져야 한다. 이런조건에서 G/T는 정상운전이 재개된 후 S/T의 Heat Socking 이 끝날때까지 부분부하를 유지해야 한다.

설비성능향상을 위해 부분부하 운전은 고압증기의 가변압으로 실시하며 터빈입구의 고압증기 최소압력은 64ATA, 중압증기 최소압력은 18ATA로 제한한다. 그리고 저압증기는 설비성능에 거의 영향을 미치지 않으므로 정압 4.5ATA를 적용한다. Feedwater Heation System은 탈기기와 HRSG에 예열기 재순환 펌프를 갖춘 하나의 급수예열기로 구성되어 있다.

급수예열기는 LNG연소시만 서비스하고 오일연소시는 서비스되지 않는다. 탈기기로 향하는 급수예열기출구에서 추출된 가열급수를 LNG예열기로 보내어 다시 급수예열기로 회수되게 한다. 탈기기로 향하는 급수예열기출구에서 추출된 가열급수를 LNG예열기로 보내어 다시 급수예열기로 회수되게 한다.

탈기기 가열증기는 중압추기를 사용하고 오일연소시는 각 HRSG의 저압과열기 출구증기를 사용한다. 오일 연소시 급수예열기가 Out of Service되면 탈기기 압력 3.5kg/cm<sup>2</sup>, 급수온도 135℃로 유지하기위하여 탈기기에 Pegging Steam 공급이 필요하다. HRSG의 튜브외면 저온부식 방지를 위해 탈기기내압을 3.5ATA로 일정하게 유지시킨다.

급수온도는 미쓰비시사가 제출한 그온도는 실험치에서 얻은 값 보다 더 높다. 이러한 여유를 둔 것은 최고유황함량이 이미 제시한 수치의 중량비로 0.2%를 초과하지 않는다는 가정하에 배기가스 성분변동에 대처하기 위한 것이다.

이설비에 대한 명세서는 높은 외기온도에서 G/T 첨두부하운전을 고려하면서, HP Superheater Desuperheater 의 스프레이 용량을 모든운전조건에서 과열기출구온도를 540℃로 조절하도록 설계하였다. 그리고 터빈 및 보조설비의 설계용량,



압력, 온도, HRSG 튜브크기들을 외기온도 15~35℃의 G/T 침두부하운전을 고려하여 결정하였다.

Steam Cycle에서 최고의 성능을 얻기 위해서 증기조건을 다음과 같이 적용 되어야 한다. 터빈 입구 증기조건으로 고압증기압력 127kg/cm<sup>2</sup> abs, 터빈배기증기압력 35kg/cm<sup>2</sup> abs, 그리고 저압증기압력은 4.5kg/cm<sup>2</sup> abs 이어야 한다. 이것은 Plant 가 대기온도 15℃에서 천연가스 연소시 Base-load(100%)운전시 HRSG에서 열 회수 시간을 연장시켜준다.

위에서 언급한 증기압력에서 HP의 과열증기온도는 538℃, IP의 과열증기온도는 566℃ 그리고 LP의 과열증기온도는 260℃가 되어야 한다.

HRSG에 수직, Upper flow, 자연순환 방식이 적용되었다. 이 타입은 세계의 공공전기사업자에게 공급되었으며, 가장 신뢰성이 높은 HRSG설계로 정립되었다. HRSG는 고압요소(과열기, 증발기, 절탄기), 중압요소(과열기, 증발기, 절탄기), 저압요소(과열기, 증발기, 절탄기, 예열기) 3개부분으로 구성되어있다. 탈기기는 HRSG와 분리 설치되어있다. 탈기의 목적은 응축수의 탈기와 경유(Distillate oil) 연소시의 HRSG Tube 외부표면의 황에 의한 부식을 방지하기 위함이다. 경유는 대체연료로서 사용된다.

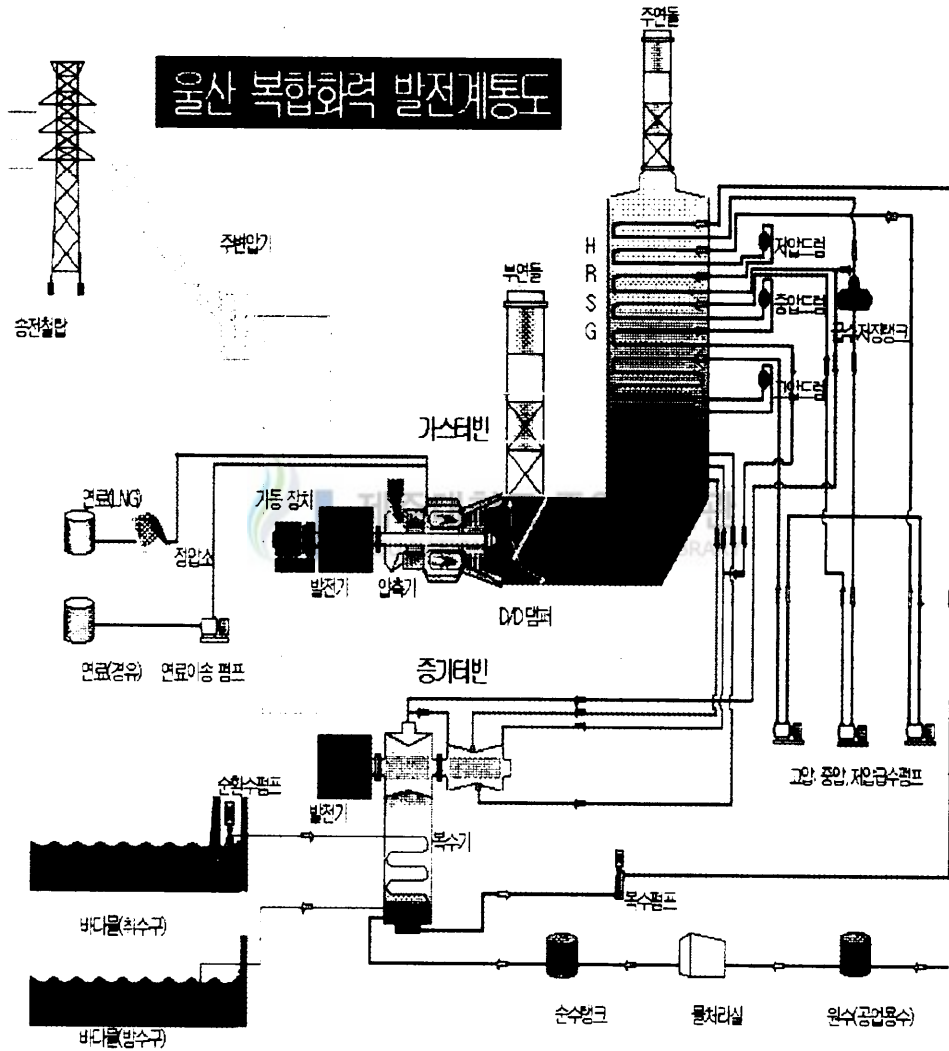
천연가스 연소시 배기가스는 적은양의 황을 포함하므로 예열기(Preheater)입구에서의 급수온도는 예열기를 재순환시켜 60℃로 조절한다. 그렇게 함으로서 황에 의한 부식을 방지할 수 있다.

경유연소의 경우 같은 효과를 얻기 위하여 예열기는 By-pass 운전을 하고 급수는 138.2℃까지 가열되어야 한다.

증기 TBN은 Tandem-compound, Double-flow type 이고 최종단 회전부 LP Blade의 길이는 33 Inch이며, 최적설계는 가능한 가장 높은성능을 보여준다. 이 증기터빈의 높은 신뢰성은 세계에 설치된 유사 유니트의 운전에서 축적된 기술에 의해 증명되어 왔다.<sup>7)</sup>

7) 한국전력공사, “울산복합화력 운전원 Manual”, 1995.

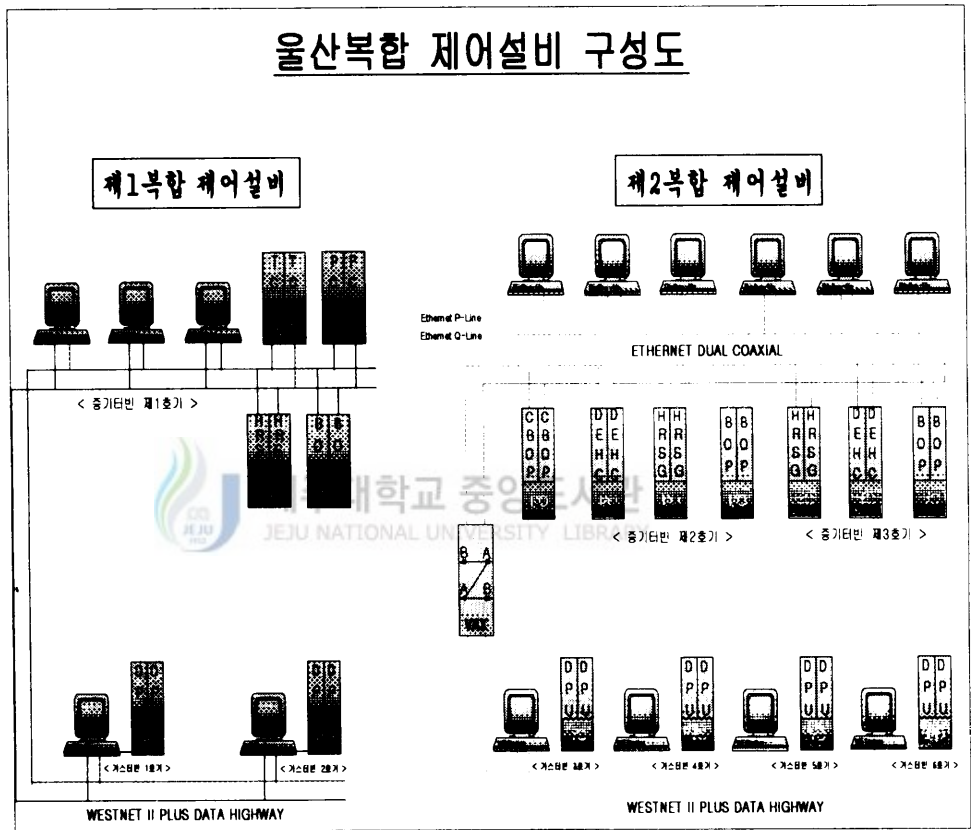
<그림 2-2> 울산복합 발전 계통도



자료 : 연구자 작성, 울산복합 운전원 Manual 참조, Excel File.

#### 4. 울산복합 제어설비 구성

<그림 2-3> 울산복합 제어설비 구성도



자료 : 연구자 작성, 울산복합 제어설비 Manual 참조, 한글File.

울산 제2복합 발전의 S/T계통의 제어시스템은 미쯔비시 화력발전 제어 시스템인 DIASYS-UP을 채용하고 있다.

DIASYS-UP은 Plant control system, HRSG, S/T EH Governor control system, Data acquisition system, Maintenance tool system으로 구성되는 마이크로 프로세서를 기본으로 하는 토탈 디지털 제어 시스템이다.<sup>8)</sup>

8) 한국전력공사, "울산복합화력 보수 지침서", 1995.

DIASYS-UP의 특징은 첫째, 계층적 분산 시스템으로 Unit 운영레벨, 플랜트 콘트롤 레벨, 그리고 드라이버 레벨로 구성된 계층적 구조의 제어 시스템이다. 그 계층적 구조중 상부 레벨은 데이터 운영, 효율, G/T에 대한 플랜트 부하 분담과 플랜트 자동 기동과 정지 시퀀스와 같은 기능을 수행하며, 하부 레벨은 개별적 플랜트에 분산되어 고 신뢰하에서 각각의 플랜트에 적용되는 콘트롤 기능을 수행하도록 되어 진다.

둘째, 부스타입 고속 데이터 회로망으로서 각 개별의 분산 마이크로 프로세서는 데이터 회로망으로 서로 연결되어 각각의 데이터를 서로 교환한다. 이를 위해 부스 타입의 네트워크가 적용되며, 만일 어느 하나가 고장이 나더라도 다른 것에 영향을 끼치지 않도록 설계된다.

셋째, 고신뢰 콘트롤러로서 CPU와 메모리, 그리고 통신 인터페이스를 포함하는 플랜트 운영을 위해 필요한 콘트롤러는 모두 이중화된 Redundant system 구조로 되어 있다. 그러므로 동작중인 모듈이 고장이 발생했을 경우에도 항상 운전이 가능하도록 한다.

넷째, CRT 동작에 의한 Man-Machine interface로서 콘트롤 루프의 프로세서 값과 설정치, 제어값에 대한 막대 그래프가 칼라 CRT화면을 통하여 한번에 볼 수 있도록 디스플레이 된다. 조작은 키보드나 멀티 윈도우, 터치 스크린을 통하여 이루어진다.

다섯째, 용이한 하드웨어 유지보수로서 모든 마이크로 프로세서는 똑같은 타입이며, 모든 모듈 또한 프리그인 타입으로서 표준화되어 있다. 이러한 타입을 적용함으로써 모듈의 스페어 부품의 수를 줄일 수 있으며, 또한 제어 시스템의 증설이 용이하도록 되어 있다.

여섯째, 용이한 콘트롤 로직 유지보수로서 플랜트 기술자 혹은 사용자는 쉽게 DDC 콘트롤 Diagram을 디자인하며 온 라인 상태에서 제어루프를 조정할 수 있다.

일곱째, 통신선로를 통한 컴퓨터간의 데이터 교환으로서 일련의 통신 채널이 네트워크와 직접 연결되지 않으 컴퓨터 시스템과의 통신을 위하여 준비되어진다.

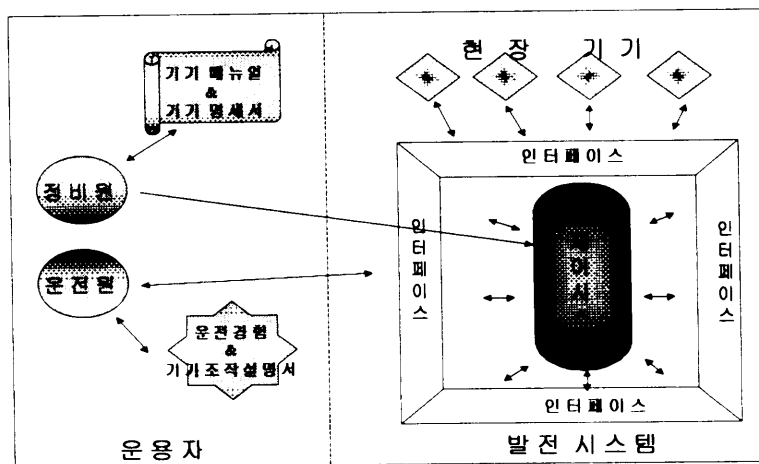
## 제2절 화력발전 시스템

울산화력 기력 제4,5,6호기는 전자식 조속기에 의한 주파수 6% 변화시 전부하를 추종할 수 있는 자동 계통 주파수 조절기능과 첨단 전자 자동제어설비를 갖춘 열효율 40.68%의 고효율 유지 발전소이다. 이러한 고성능 발전시스템을 유지하기 위해서 고도의 정밀성과 속응성을 지닌 제어 시스템이 필요하다. 울산화력 기력 제4,5,6호기는 서로 동일한 시스템을 가지고 각 호기별 보일러 제어계통과 터빈제어계통으로 나누어져 호기별 전체 발전시스템을 분담제어 하도록 되어 있다. 그러나 경우에 따라서는 분리된 두 시스템이 연관성을 갖고 협조제어를 하여 시스템 전체를 관리한다.<sup>9)</sup>

### 1. 발전 시스템 운용 구조

발전 시스템을 운용하기 위한 구성 요소는 아래 <그림 2-4>에서 나타내는 것과 같이 크게 발전 시스템이라는 하드웨어적 요소와 이를 유지·운용하기 위한 소프트웨어적 요소인 운용자로 구분할 수 있다.

<그림 2-4> 발전 시스템 운용 구조도



자료 : 유석인, “전문가 시스템의 소개”, 정보과학회지, 제6권 제2호, 1988.

9) 한국전력공사, “울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual”, 1980.

발전 시스템은 수천가지의 제어모듈로 이루어진 제어 시스템 부분과 현장 기기들의 운용상태를 제어 시스템에 송·수신하여 제어행위를 직접 담당하고 있는 각종 감지기, 측정기, 전송기 그리고 기록계 및 구동기등의 인터페이스부분 그리고 제어의 직접적 대상이 되는 현장 기기들로 구성된다.

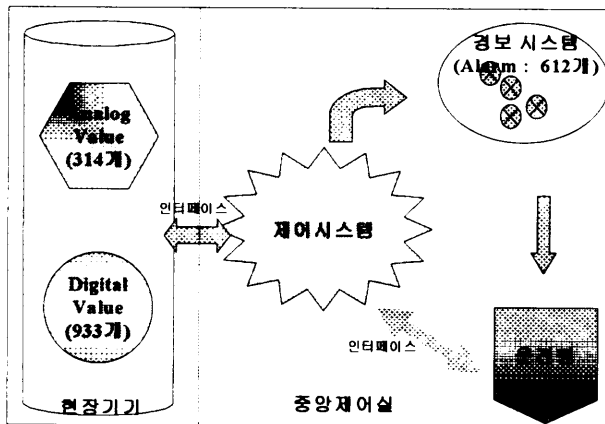
반면에 발전 시스템 운용의 한 요소인 운용자는 시스템 운용 및 정비에 관한 명확한 지식을 장기간의 교육과 현장 경험을 통해 습득한다. 이들은 다시 기기 조작을 맡아 직접 기기운전을 감시하고 위험사항에서 기기를 보호하도록 운전업무를 담당하는 운전원과 기기운용 중 발생된 Trouble을 보수하거나 최적의 제어 시스템을 구성하기 위한 작업을 담당하는 정비원으로 나눌 수 있다. 제어 시스템을 다루는 이들의 중요한 차이점의 하나는 운전원은 단지 발전 시스템의 인터페이스를 통해 제어 시스템에 접근가능하나 정비원은 필요한 도구를 가지고 직접적으로 제어 시스템의 제어요소를 변경·수정할 수 있다는 점이다.



## 2. 제어 시스템 운용 구조

제어 시스템은 발전 시스템에서 가장 중요한 역할을 수행한다. <그림 2-5>는 제어 시스템의 운용구조를 나타내고 있다.

<그림 2-5> 제어 시스템 운용 구조도



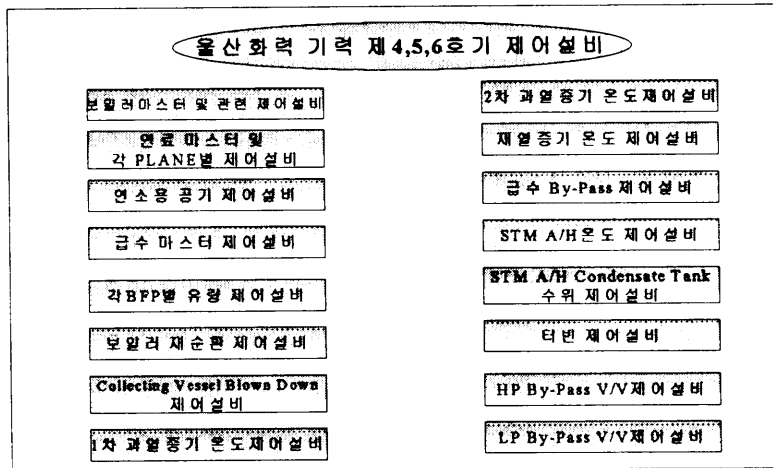
자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

발전 시스템의 제어를 수행하는데 있어 입력요소는 <그림 2-5>에서 나타난 것처럼 314 point의 Analog Value와 933 point의 Digital Value로 구성되는데 이 Value들은 각기 현장기기들로부터 각종 Sensor와 전송기들을 통해 제어 시스템에 입력된다. 제어 시스템은 이 수신 신호를 전산기와 logic 제어모듈카드를 통해 가공 혹은 직접적으로 각종 지시계 및 기록계 그리고 Alarm Window로 보내게 되고 발전 시스템의 동작사항을 전체적으로 감시하는 중앙제어실에서는 이들 각종 표시기를 통해 나타나는 제반사항을 제어 운전원들에게 알린다. 제어 운전원들은 이들 표시사항을 면밀히 분석·추론하여 기기의 이상유무를 최종 판단하고 필요시 적절한 controller 조작을 통해 제어행위를 수정하거나 변경시킨다.

### 3. 제어 시스템의 구성

모든 발전 시스템에 있어 중요한 요소가 되는 부분은 곧 제어 시스템이다. 현장에 설치된 기기를 얼마나 정확하고 신속하게 제어하느냐에 따라 그 발전소의 전체 성능이 결정되어지고 설비의 신뢰도 제고가 가능하기 때문이다. 아래 <그림 2-6>은 울산화력 기력 제4,5,6호기의 제어설비별 분류 사항이다.

<그림 2-6> 제어설비 분류



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

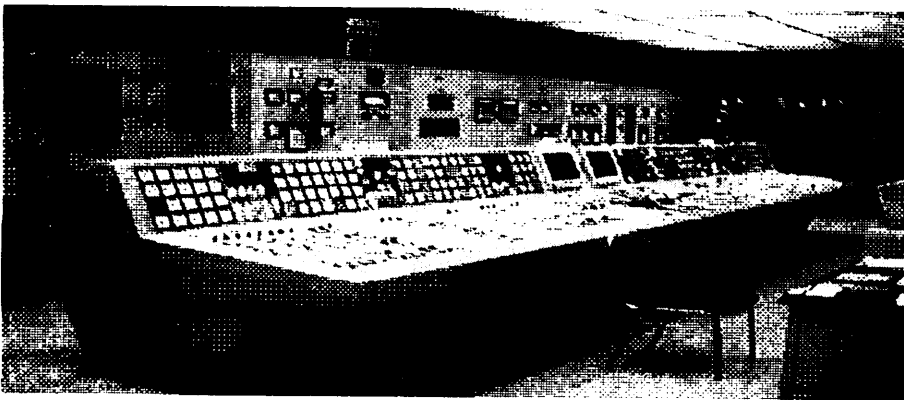
### 제3절 화력발전 정보 시스템

발전소를 안정적으로 운전하기 위해서는 현장기기에 이상상태가 발생하면 중앙제어실에 경보(Annunciation)하여 운전원으로 하여금 적정 조치를 취해 기기가 정상동작토록 지원하는 정보 시스템이 필수적이다. 울산화력 발전처 기력 제 4,5,6호기는 세밀하고 명확한 정보 시스템을 운영하고 있다. 그러나 이 시스템을 활용하여 효율적이고 안정된 발전시스템을 운용하기 위해서는 중앙제어실에 24시간 상주하며 발전 전체 시스템을 감시하고 있는 제어 운전원의 숙련된 지식과 기술이 절대 필요하다.

#### 1. 정보 설비 구성

울산화력 기력 제4,5,6호기는 중앙제어실에 3개의 조작 보드 즉, 한 호기당 1개씩의 보드를 <그림 2-7>과 같이 가지며, 각 보드 수평면상으로는 보일러와 터빈계통으로 크게 양분하여 조작계통이 배치된다. 보드의 수직면상으로는 Alarm Window가 9개의 테이블화 되어 설치되고 다시 이 테이블들은 68개의 Small Alarm Window Panel로 나뉘어 구성된다. 총 612개의 Small Alarm Window Panel들은 제각기 현장기기들로부터의 다른 Trouble 요소들을 알려준다.<sup>10)</sup>

<그림 2-7> 중앙제어실 조작보드



10) 한국전력공사, “울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual”, 1980.

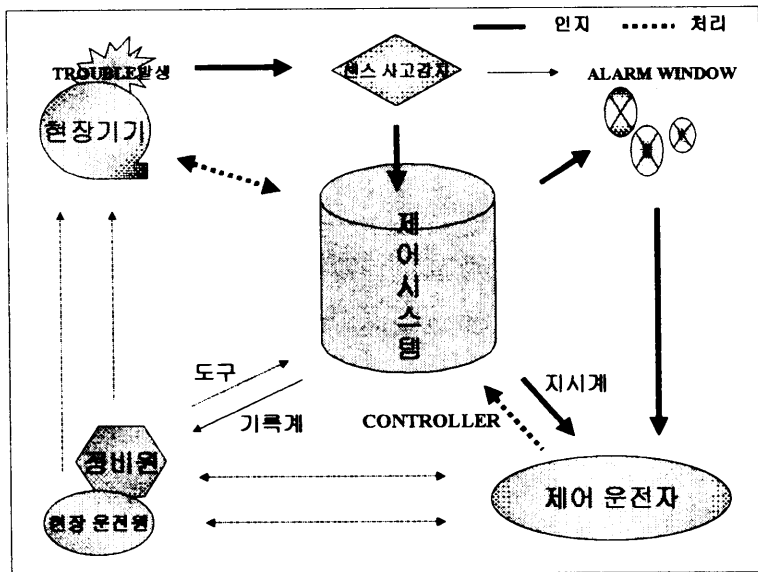


## 2. 경보발생에 따른 처리 구조

현장기기의 이상으로 중앙제어실내 조작보드의 Alarm이 발생하면 각 호기당 2명의 제어 운전원은 발생된 Alarm에 대해 신속히 검토·분석하여 발생원인과 조치사항을 인지한 후 보드상의 조작 Controller로 직접 처리하거나 현장에 배치되어 있는 각 호기당 3명의 현장 운전원에게 필요한 조치를 취하게 한다.

Alarm의 종류에 따라 처리 제한시간이 다르지만 가능한 한 빠른 조치가 필요하며 이러한 조치를 하기 위해서는 많은 운전 경험과 각 기기에 대한 전문적 지식이 절대적으로 필요하다. 이의 지원 대책으로 기본적인 경보에 대한 중요성을 염두에 두고 설계당시 Alarm Window에 대한 색깔을 다르게 표시하였다. 그러나 이 지원책은 실제 운전상황에서 조치를 취하는데 신속성을 갖게는 하지만 Trouble에 대한 판단과 조치는 전적으로 운전원에게 있다.

<그림 2-8> 발생경보 처리 구조



자료 : 유석인, "전문가 시스템의 소개", 정보과학회지, 제6권 제2호, 1988.

## 제 3 장 전문가 시스템인 TAPES 개발사례

### 제1절 전문가 시스템 개요

#### 1. 기본개념

전문가 시스템(expert system)이란 어떤 특정분야의 지식이나 기술정보를 컴퓨터에 내장해 두고, 인간 전문가가 수행하는 고도의 지적인 업무를 대신 지원하게 하는 시스템이다.

초창기 인공지능 분야의 연구자들은 모든 종류의 문제에 대한 범용 해결책을 제시하려고 많은 노력을 기울였으나 이것이 만족할 만큼의 성과를 낼 수 없음을 알게 되자, 그 이후로는 특정 영역에 관한 많은 양의 지식을 축적한 후 이로부터 해결책을 찾아 나감으로써 전체적인 복잡도를 줄여 문제 해결 능력을 높이는 전문가 시스템에 대해 많은 관심을 갖게 되었다.<sup>11)</sup>

따라서 전문가 시스템은 1980년대 이후 괄목할 만한 성장을 이루어 전문가의 전문 지식을 컴퓨터에 적절한 형태로 표현 및 저장하여 일반 사용자가 이러한 지식의 도움을 받아 특정 전문 분야에서 발생할 수 있는 여러 문제를 해결하고자 하였다.

전문가 시스템의 성능은 특정의 탐색 알고리즘이나 추론 방법보다는 전문가 시스템이 보유하고 있는 지식의 양과 질에 좌우되므로 전문가 시스템의 핵심은 지식이라고 할 수 있다. 또한 전문가 시스템은 알고리즘을 통한 명확한 해결책이 없는 문제일지라도 휴리스틱(heuristic) 방법을 통해 해결책을 찾아내어 시스템의 성능을 높이기도 한다. 이러한 휴리스

---

11) Dsva D. Sharma, D. W. Miller, Brian, B. Chandrasekaran, "Intelligent process control operator aid - an AI approach," Proc of the power plant dynamics control and testing Symp., 1986, pp. 61.01-61.20.

틱은 때로 엄격한 수학적 분석이나 알고리즘적 방법과는 상반될 경우도 있다. 알고리즘적 방법을 이용하면 문제의 뜻에 맞는 정확한 해답을 얻을 수 있겠지만 휴리스틱을 이용한 방법은 적당한 해를 얻게 한다.<sup>12)</sup>

## 2. 전문가 시스템의 구조 및 주요 기법

일반적으로 전문가들의 전문성은 상당히 희소성을 가지고 있으며 그들의 전문성을 이용하는 데는 상당한 경제적 비용이 수반된다. 그리고 일반 사용자의 입장에서 보면 전문가의 전문성은 필요할 때마다 항상 접근 및 이용 가능한 것이 아니다. 따라서 일반 사용자들은 전문가의 전문성을 보편적이고 저렴하게 또한 필요할 때 언제든지 손쉽게 이용할 수 있는 방법을 강구해 왔으며, 이러한 필요성에 의해 개발된 것이 전문가 시스템이다.

전문가 시스템의 일반적 특성을 살펴보면

첫째, 전문가 시스템은 어떤 특정 문제의 해결을 위한 세부 시스템이다. 즉, 세상의 모든 문제들을 전부 해결해 줄 수 있는 일반적 시스템이 아니라 오직 특정한 한 분야의 문제만을 해결하는데 쓰이는 시스템이다.

둘째, 전문가 시스템은 인간의 경험이나 전문화된 지식을 필요로 하는 분야에서 문제의 진단, 해결, 논리적 근거를 제시할 수 있는 시스템이다.

셋째, 전문가 시스템은 인공 지능적 시스템이다. 인공 지능적 시스템이란 컴퓨터에게 지능화된 다양한 지식을 이식시켜 컴퓨터가 인간처럼 지능적인 행동을 하도록 만든 시스템을 말하는데 전문가 시스템은 인공 지능의 분야 중 성공적으로 연구되고 가장 많이 실용적으로 활용되는 분야이다.

---

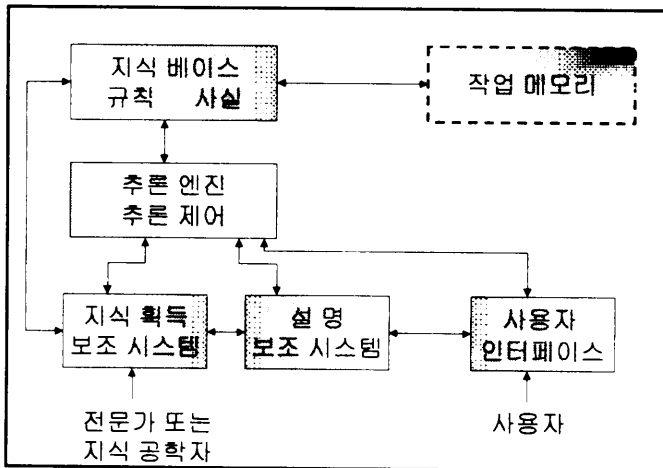
12) S. Hahemi, B. K. Hajek, D. W. Miller, B. Chandrasekaran, J. R. Josephson, "Expert system application to plant diagnosis and sensor data validation," Proc of power plant dynamics control testing Symp., 1986, pp. 65.01-65.13.

이러한 전문가 시스템의 구성은 다음과 같이 5가지 구성요소로 분류된다.

- (1) 지식 베이스(knowledge base) 모듈
- (2) 추론엔진(inference engine) 모듈
- (3) 지식 획득(knowledge acquisition) 모듈
- (4) 설명(explanation) 모듈
- (5) 사용자 인터페이스(user interface) 모듈

전문가 시스템의 구성도는 <그림 3-1>과 같으며 화살표는 구성요소 상호간의 관계를 나타낸다. <그림 3-1>의 전문가 시스템 구성도에서 작업메모리 모듈을 점선으로 표시한 이유는 일반적으로 지식베이스 모듈에 포함시킬 수 있기 때문이다.

<그림 3-1> 전문가 시스템의 구성도



자료 : 황갑주외9, “단기수요예측 전문가 시스템 개발 최종보고서”, 한국 전력공사, 계통운영처, 1995.8.

## 1) 지식 베이스(knowledge base) 모듈 및 지식표현 기법

지식 베이스 모듈은 전문가 시스템에서 사용되는 특별한 주제에 대한 지식의 데이터베이스로서 주어진 문제를 해결하는데 필요한 지식을 컴퓨터에서 사용 가능한 형태로 조직화하여 저장한 것을 말한다. 이 데이터 베이스는 문제를 해결하는데 필요한 사실(fact)과 그러한 사실들을 어떤 목표의 자료로 사용하는 규칙(rule) 으로서 구성된다.

여기에서 사실이란 추론을 하는 동안에 추가 또는 삭제가 가능한 단기 정보(short-term information)로서 주로 데이터나 사물에 대한 묘사를 나타낸다. 그리고 규칙은 문제를 풀어나가기 위한 장기 정보(long-term information)로서 전문가의 전문적 지식을 통하여 새로운 사실이나 가정을 만들어 내는데 필요한 정보이다.<sup>13)</sup>

지식베이스에 지식을 표현하는 기법에는 논리(logic), 의미회로(semantic network), 프레임(frame), 그리고 생성시스템(production system)등이 있다.

논리를 이용한 지식표현 기법은 변수(variable), 서술자(predicate), 연결자(connectives), 정량자(quantifier) 및 함수(function)등으로 구성된 서술 논리식(predicate logic)으로서 표현된다. 이 기법은 나타내고자 하는 의미를 정확히 표현할 수 있고 여러 사실로부터 유추되는 결과를 명확하게 알 수 있다는 장점이 있으나, 사실의 갯수가 많아질수록 추론을 수행하는 작업이 어려워지며 지식표현과 추론과정이 서로 분리되어 있어 지식베이스에 저장된 사실들을 어떻게 사용할 것인지 그 결정을 내리기가 어렵다는 단점이 있다.

의미회로를 이용한 지식표현 기법은 대상(object), 사건(event) 등을 나타내는 노드(node)와 두 노드를 연결시켜 관계(relationship)를 나타내는

---

13) H.S. Blackman, W.R. Nelson, "Techniques for Incorporating Operator Expertise into Intelligent Decision Aids and Training," Reliability Engineering and System Safety, 1988, Vol. 22, pp. 371-385.

아크(arc)로 구성이 된다. 이 기법은 개념을 공유할 수 있어 계층적이거나 분류학적인 문제 영역에 효율적으로 이용할 수 있지만 정형적으로 뚜렷한 표현구조가 없어 자연스럽게 서술적인 지식을 표시하기에는 어렵다.

프레임을 이용한 지식표현 기법은 어떤 특정환경 속에서 발생할 수 있는 전형적인 사건 및 대상을 표시할 수 있도록 슬롯-필러(slot-and-fill-er)표현 구조로 되어 있는데 이는 슬롯이라는 속성들을 이용하여 해당 상황을 설명해 주는 형태로 되어 있으며 아울러 대상들간의 관계들도 나타내 준다. 프레임은 다른 지식표현 기법에 비해 효과적인 지식검색 작업을 하는 이점이 있으나, 구성이 복잡하고 모든 지식이 이런 기법으로 쉽게 구현될 수 없다는 단점이 있다.

생성 규칙을 이용한 지식 표현 기법은 지식을 조건과 이 조건의 만족시 수행되는 행동의 쌍으로 나타내며 IF <condition> THEN <action>의 형식으로 표현된다. 이 표현 방법은 지식표현이 통일된 한 형태로 표현이 되므로 지식의 첨가와 제거 및 변경이 용이하고 다른 사람들이 이해하기가 매우 쉬우며 서술적인 지식을 표시하기에도 매우 적당하다. 따라서, 전문가들은 자신들이 하는 일을 어떻게 처리하는지 쉽게 설명해 나갈 수 있다. 그러나 생성 시스템은 형태가 엄격하기 때문에 문제해결시 제어의 흐름을 추적하기가 어렵고, 모든 규칙들은 비교, 선택, 수행과정을 거치기 때문에 그 수행과정이 비효율적이라는 단점이 있다.<sup>14)</sup>

각종 전문가 시스템 도구에서의 지식표현은 생성규칙에 의한 지식표현 방법과 객체 지향 기법을 이용한 지식표현 기법이 혼합한 형태가 주종을 이루고 있다. 생성규칙 및 객체지향 기법의 혼합형 지식표현 기법을 이용하여 지식베이스를 구축하면 시스템의 유지보수, 확장성의 증대는 물론, 주어진 문제들을 개발자 및 사용자가 쉽게 표현하고 이해할 수 있을 뿐만 아니라 일상생활에서 인간이 생각하는 자연스러운 방식을 그대로

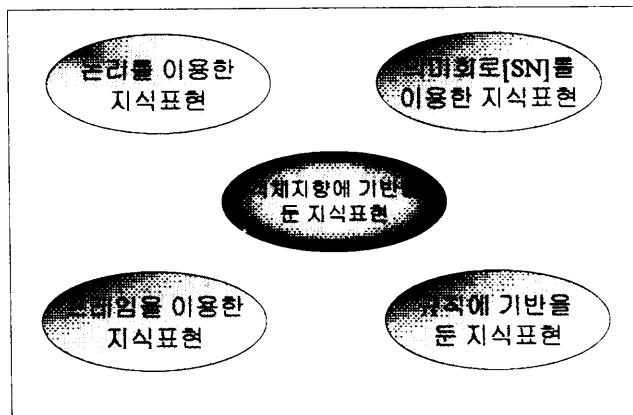
---

14) 변승현, “화력 발전소 드림형 보일러 시스템의 고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템 개발”, 학위논문집, 한국과학기술원, 1986, p.124.

표현하게 해 주기 때문에 문제 영역과 해결영역의 모델링을 보다 쉽게 해준다.

일반적으로 작업메모리(working memory)는 지식베이스 모듈내의 보조모듈(sub-module)로서의 기능을 수행하게 되므로, 지식베이스 모듈에 포함시켰으며 작업메모리 보조모듈의 기능은 다음과 같다. 작업메모리 보조모듈은 생성시스템 메모리의 동적인 부분으로 규칙의 적용에 의해 변화되는 것을 임시로 저장하는 부분으로 버퍼와 같은 역할을 한다. 작업 메모리는 단기메모리(short-term memory)라고도 부르며, 선택할 규칙의 조건과 비교될 대상으로서 현재의 상태를 나타낸다. 각 규칙의 조건부는 이것이 작업메모리에 의해서 만족되어야만 선택되어질 수 있다. 작업메모리의 구조는 단순한 리스트 링일 수도 있고, 혹은 큰 배열(array)등 여러 데이터 구조중의 하나가 될 수 있다. 일반적으로 작업메모리는 지식베이스에 포함시키므로 전문가 시스템의 구성요소에는 포함시키지 않았다. 지식표현기법을 요약하여 나타내면 <그림 3-2>와 같다.

<그림 3-2> 지식표현기법 요약



자료 : 황갑주의9, “단기수요예측 전문가 시스템 개발 최종보고서”, 한국 전력공사, 계통운용처, 1995.8.

## 2) 추론엔진(inference engine) 모듈 및 기법

추론이란 구축되어 있는 지식베이스를 이용하여 주어진 증거로부터 추론방법을 사용하여 결론을 유도함으로써 문제를 해결하는 과정을 말하며, 이러한 과정을 수행하는 프로그램을 추론엔진이라 한다. 이 추론엔진은 전반적인 문제해결에 관한 지식을 갖고서 전문가 시스템을 관장하는 전문가 시스템의 가장 핵심적인 부분이다.

추론엔진의 구성은 추론을 관리하는 부분과 제어를 관리하는 부분으로 크게 나눌 수 있다.

추론을 관리하는 부분은 새로운 지식을 추론하기 위하여 “규칙들을 어떻게 적용해야 할 것인가?”를 결정하는 부분으로, 연역 추론(혹은 귀납 추론, 형식적 추론, 절차적 숫자 추론, 메타레벨 추론등), 불확실성관리, 규칙충돌 해결을 포함하고 있다. 추론의 종류중 하나인 연역추론은  $W1 \rightarrow W2$ 와  $W1$ 으로부터  $W2$ 를 연어내는 방법으로 주로 전문가 시스템 추론에 많이 이용되고 있다.<sup>15)</sup> 연역추론의 일반적인 형식은 <그림 3-3>과 같다.

<그림 3-3> 연역추론의 일반적인 형식과 예

연역추론 규칙 : IF W1 THEN W2	예) X가 개면, X는 다리가 네개다.
사실 : W1	캐리는 개다
새로운 사실: W2	캐리는 다리가 네 개이다.

자료 : 변승현, “화력발전소 드럼형 보일러 시스템의 고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템 개발”, 학위논문집, 한국과학기술원, 1986.

15) Donald T. Chung, M. Modarres, R. Niall, M. Hunt, "GOTRES : An expert system for fault detection and analysis," Reliability Engineering and System Safety, Vol. 24, 1989, pp. 113-137.



규칙충돌해결은 동시에 두 개 이상의 규칙이 트리거(triggered)되었을 시에 하나의 규칙만을 수행(fire)시킬 수 있도록 하는 것으로 여러 가지 방법이 있다.

제어를 관리하는 부분은 추론을 하기 위하여 “규칙들을 어떠한 순서로 적용해야 하는가?”를 결정하는 부분으로, 추론제어전략과 탐색전략을 포함하고 있다. 추론제어전략으로는 이용 가능한 정보로부터 출발하여 적절한 결론을 찾아내는 전향추론(forward chaining inference)기법, 사용자가 질의시 어떤 사실들을 주어 목표나 가정을 증명하기 위하여 목표를 지지하는 관련된 사실을 찾아내는 후향추론(backward chaining inference) 기법, 전향추론과 후향추론의 장점만을 혼합하여 사용하는 혼합형 추론(hybrid chaining inference)의 세 가지 기법이 있다.

만약 추론하는 과정에서 지식의 부족으로 에러가 발생할 수 있는데 이러한 경우 에러 메시지를 보여 준 후 관련지식을 추가할 것인 지의 여부를 재질문할 수도 있다. 추가 시는 에디터 혹은 임시 저장장소를 이용할 수 있도록 하여 이를 통해 적절한 추론결과를 보여 줄 수 있도록 하고, 그렇지 않을 시는 해당과정을 무시할 수 있다.

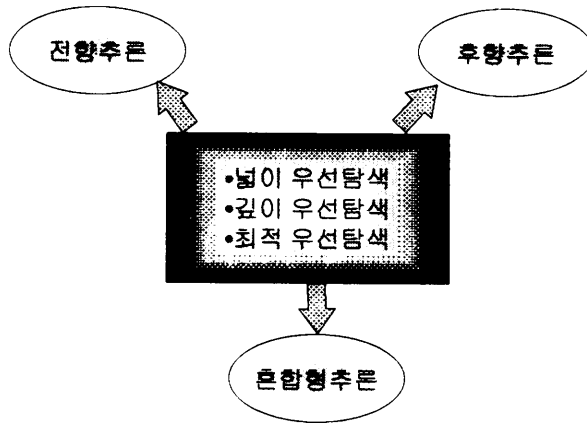
탐색전략으로는 노드를 생성되어 있는 순서대로 확장시키는 넓이우선 탐색기법(breadth first search), 가장 최근에 생성된 노드부터 확장시키는 깊이우선 탐색기법(depth first search) 그리고 목표 노드를 찾는데 밀접한 관련이 있는 최적 노드만을 고려하는 최적우선 탐색기법(Best-first Search Technique)이 있다. 이러한 추론제어전략과 탐색전략은 문제분야의 성격에 따라서 적절히 선택하여 사용하여야 한다.<sup>16)</sup>

<그림 3-4>는 추론 기법 및 주요 탐색기법을 요약하여 표현한 것이다.

---

16) Taylor A., "How expert systems can help solve a host of power station operating and maintenance problems," IEE Conf. Publication, 1988, pp. 133-137.

<그림 3-4> 추론 및 탐색기법 요약



자료 : 황갑주의9, “단기수요예측 전문가 시스템 개발 최종보고서”, 한국 전력공사, 계통운영처, 1995.8.

### 3) 지식획득(knowledge acquisition) 모듈 및 기법

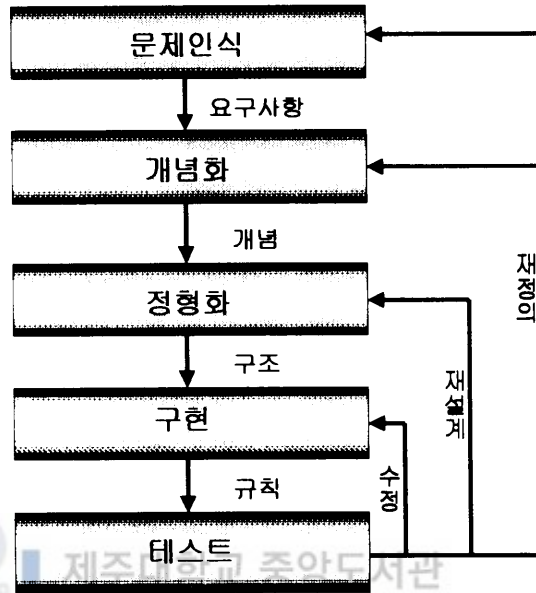
지식획득이란 전문가 시스템에서 문제 정의와 그 해결 과정에 필요한 지식을 전문가 또는 서적, 데이터베이스, 경험 등으로부터 얻는 과정을 말한다.

전문가 시스템에서 가장 중요한 것 가운데 하나는 전문적인 분야에 대해서 얼마나 많이 알고 있느냐 하는 것이므로 지식획득은 시스템 개발의 중요한 부분이 된다. 이러한 전문가 시스템의 지식 획득은 지식획득 모듈에서 관리하게 된다.<sup>17)</sup>

지식획득의 과정은 다음<그림 3-5>와 같이 다섯단계로 나눌 수 있다.

17) 황갑주의9, “단기수요예측 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국 전력공사, 계통운영처, 1995.8.

<그림 3-5> 지식 획득 단계



자료 : 김선웅, “화력발전계통의 최적 운영방법”, 학위논문집, 한국과학기술원, 1983.

① 문제 인식 과정

문제와 그 주요 특징을 알게 되는 과정으로, 문제를 세분화시키고 관계자(전문가, 사용자,...)와 시스템에 대해 정의한다.

② 개념화 과정

결정에 필요한 다양한 지식들의 개념을 정립하고, 그들간의 관계를 정의하는 과정이다.

③ 정형화 과정

지식베이스에 표현되는 방식을 고려하여 지식을 획득하는 과정으로, 지식의 획득과 그 표현을 혼합시켜 고려해야 하며 전문가로부터 지식을 추출하는 과정을 포함한다.

#### ④ 구현 과정

컴퓨터에 획득한 지식을 입력하는 과정으로, 입력 과정에서 획득한 지식에 약간의 첨가나 변형을 가할 수 있다. 전문가 시스템의 프로토타입이 이 과정에서 만들어진다.

#### ⑤ 테스트 과정

위 과정에서 만들어진 시스템을 테스트하는 과정으로, 지식 공학자가 구현된 전문가 시스템에 가상의 상황을 입력하여 나온 결과를 전문가가 검사하는 방식으로 이루어진다. 필요하다면 이 과정에서 구현된 규칙이나 프레임에 수정을 가할 수 있다.

지식을 획득하는 형태를 살펴보면 다음의 네 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 지금까지 대부분의 시스템에서는 특정분야의 전문가와 지식공학자가 상당한 기간동안 협력하여 공동작업으로 지식을 획득하는 방법이 있으나, 시간적, 경제적, 지리적인 문제로 점점 어려워지고 있다.

둘째, 전문가가 직접 편리한 편집기를 통하여 지식을 넣는 기법이다. 이 방법은 전문가와 지식베이스 사이에 중간인이 없기 때문에 특정분야의 지식을 정확하고 신속하게 저장하여 사용할 수 있어 사용자에게도 더욱 신뢰를 준다.

셋째, 쿼리 프로그램을 통하여 과거의 경험이나 문서자료에 문제해결에 필요한 지식을 골라내어 지식베이스에 저장한다. 강력한 전문가 시스템이 되기 위해서는 이러한 기능이 요구된다. 현재 실용적인 프로그램은 없고 계속 연구가 되고 있다.

넷째, 시스템이 문서자료를 읽고 직접 지식을 만들어 저장하는 기법으로서 문서자료에 필요한 부분만 뽑아 내는 능력이 필요하므로 미래에 사용 가능한 기법이다.

#### 4) 설명(explanation) 모듈 및 설계기법

설명 모듈은 사용자에게 전문가 시스템이 도출해 낸 결과에 대해 그 정당성을 보여주는 것이다. 즉, 추론의 수행과정에 대하여 사용자에게 설

명을 하여 줌으로써 사용자의 의문을 해소하고 신뢰를 얻을 수 있도록 하여 주는 시스템이다.

설명을 해 주는 기법은 '왜'라는 질의가 들어왔을 시에는 수행(fire)시키고자 하는 현재의 규칙들을 보여 줌으로써 설명을 하여주고, '어떻게'라는 질의가 들어왔을 시에는 목표를 유도하여 주는 추론의 과정을 추적하여 보여 줌으로써 설명을 하여 준다.

설명의 방식은 사전에 예상 질문과 그 답을 저장해 놓아 질문에 대답하는 방식과 규칙의 적용에 따라 설명 형태를 결정하는 방식으로 구분할 수 있으며 그 구현 방법은 저장되는 지식의 형태와 그 추론 형태에 따라 달라진다.

이 설명 모듈의 특징은 다음과 같다.

첫째, 시스템의 지식을 이해시킬 수 있다는 점이다. 이는 시스템 유지, 보수뿐만 아니라, 중간결과나 결론을 수시로 보여 줌으로써, 사용자에게 현재 어떻게 진행되고 어떤 방향으로 추론이 나아갈지를 예견할 수 있게 한다.

둘째, 교육기능의 제공이다. 전문가 시스템을 사용함으로써 무엇인가를 배운다고 느끼는 사용자들을 교육시키거나, 전문가가 가지고 있는 지식을 활용하는 방법을 제시해 줄 수 있다는 점이다.

## 5) 사용자 인터페이스(user interface) 모듈 및 설계기법

사용자 인터페이스는 사용자가 시스템을 원활히 사용할 수 있도록 시스템과 사용자간을 연결해 주는 기능을 갖는다. 사용자 인터페이스는 질의 응답장치, 메뉴방식을 이용한 장치, 자연어 처리장치, 그래픽 인터페이스가 포함된다.

질의 응답장치는 사용자의 질문에 대해서 시스템이 답을 하여 주거나, 시스템의 질문에 대해서 사용자가 대답을 함으로써 답을 구할 수 있도록 하는 장치로서, 마치 전문가와 사용자가 대화를 통하여 문제해결을 하는 듯한 상호 대화형 장치이다.

메뉴방식을 이용한 장치는 화면에 사용자가 선택할 수 있는 항목을 표시함으로써 사용자가 필요로 하는 작업만을 할 수 있도록 하여 주거나, 명령어를 간단한 기호로 표시하여 알기 쉽게 하여 사용자의 편리성을 제공해 주는 장치이다.

자연어 처리장치는 사람이 사용하는 언어인 자연어를 컴퓨터가 이해할 수 있도록 하여 사용자가 편리하고 쉽게 컴퓨터를 사용할 수 있도록 하는 장치이다. 즉, 컴퓨터와 사람이 서로 의사전달을 할 시에는 형식적이고 인위적인 언어를 이용하여 사람이 사용하기에는 매우 불편하였는데, 이를 사람이 사용하는 자연스러운 언어를 사용할 수 있도록 처리한 장치이다.

그래픽 인터페이스는 사용자의 이해를 증진시켜 주기 위하여 도형적 방법을 이용하여 시스템이 사용자에게 보여 주고자 하는 답이나 각종 정보를 기호나 시각적인 화면을 이용해서 보여주는 장치이다.

현재에는 멀티 전문가 시스템 구현을 위해 다양한 요소 즉, 그래픽, 화상, 음성등을 입력받고 또한 출력할 수 있도록 하여 사용자와 전문가의 거리를 좁히고 시스템 전체의 신뢰성을 높이도록 하고 있다.<sup>18)</sup>

## 제2절 TAPES의 개발사례

### 1. 개발 현황 및 필요성

발전 시스템을 원활하게 운용하기 위해서는 기계와 사람과의 상호 긴밀한 Interface가 필요하다. 복잡한 시스템을 완벽하게 이해하고 그 설비를 운용하는 데는 사람으로서 한계가 있다. 따라서 이 한계를 조금이나마

---

18) N. Asai, K. Onishi, S. Mori, Y. Otsuka, S. Makino, "Development an AI supporting system for knowledge acquisition and refinement," International workshop on AI for industrial applicationon AI for industrial applications, 1988, pp. 47-51.

극복하기 위해서 여러 가지 고성능화 된 자동제어 시스템을 개발하여 기계를 직접 조작 또는 운전하는 사람에게 신속·정확한 판단을 내릴 수 있도록 지원하는 노력이 계속되고 있다.

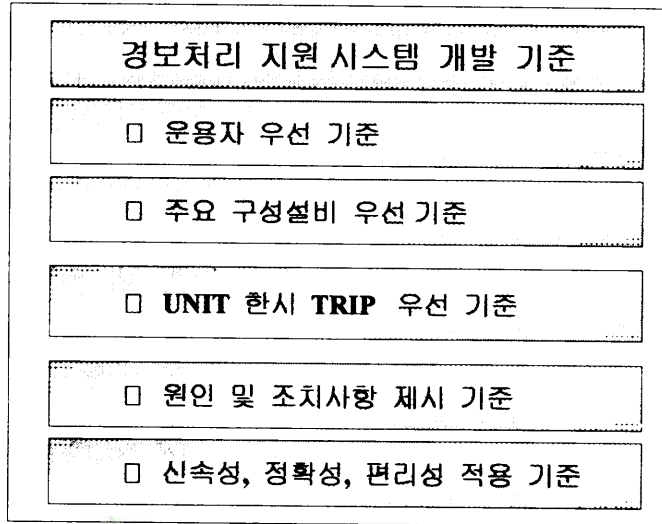
발전 시스템의 급전, 정비, 운영 부분에 관한 지원 시스템은 속속 개발되어 적용되고 있지만 운전원과 관련된 지원 시스템은 아직 개발·적용되지 않고 있다. 발전 시스템의 안정운전과 신뢰성 있는 운용을 위해서는 제어 운전원의 지원이 최우선되어야 함에도 불구하고 제반 문제가 복합적으로 작용하여 개발을 어렵게 만들고 있는 실정이다. 따라서 안정된 발전시스템 운용을 위하고 제어 운전원과 가장 밀접하게 연관되어 많은 효과를 기대할 수 있는 경보 시스템에 대하여 연구·분석후 지원 시스템을 구축하는 것이 매우 중요한 사안이라 할 수 있다. 울산화력 기력 제 4,5,6호기의 경우에도 발전 시스템 정비 및 운영에 관한 지원 시스템과 급전 관련 시스템을 운영하고 있으나 보일러 및 터빈 제어 보드를 담당하는 운전원을 지원하는 시스템은 아직 운영되지 않고 있다. 다만 호기당 2명의 운전원을 배치하여 현장기기의 이상으로 긴급히 처리 되어야 할 상황이 전개될 때 해당 운전원이 얼마나 그 경보에 대하여 정확한 원인과 조치내용을 알고 있느냐로 문제해결의 결정적 단서를 삼고 있을 뿐이다. 따라서 운전원의 축적된 경험과 각 기기에 대한 명확한 지식들이 집약된 시스템의 개발은 발전소 안정적 운전에 시급히 요청되는 과제다.

## 2. TAPES 개발기준 선정 및 적용

### 1) 개발기준 선정

발전 시스템 안정운용을 위해서는 여러 가지 지원 시스템개발이 필요하지만 그 중에서도 전자에서 기술한 발생경보처리 지원시스템이 시급하다. 이 지원 시스템이 구축되기 위해서는 다음 <그림 3-6>과 같은 기준 선정이 필요하며 선정된 기준의 적용을 통해 방대하고 복잡한 발전 시스템에 대한 효율적이고 현장성 있는 접근을 하여 TAPES를 개발한다.

<그림 3-6> 경보처리 지원 시스템 개발 기준



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

## 2) 개발기준 적용

### ■ 운용자 우선 기준 적용

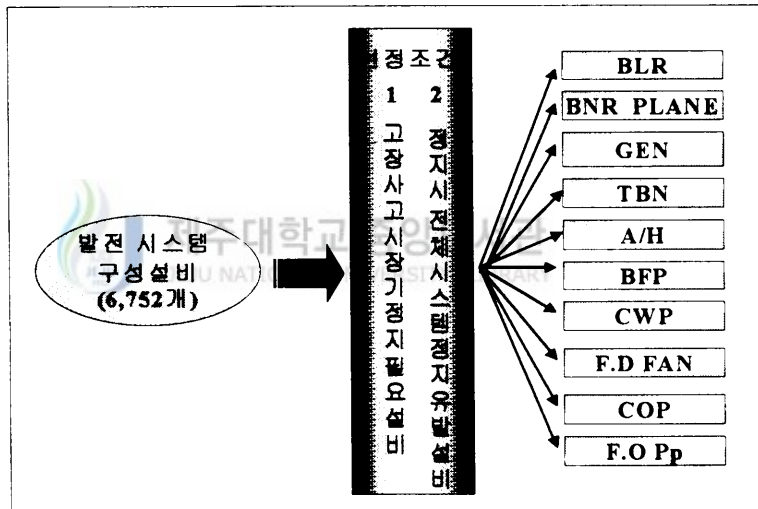
운용자 우선 기준 적용에 따라 운전자의 실경험과 현장에 실질적으로 필요한 지식제공 체계를 갖추기 위해서는 전문가 시스템에서 제시하는 체계와 기법이 필요하다. 그러나 전적으로 전문가 시스템에서 제공하는 모든 구성체제를 적용하기보다는 필요에 따라 선택적으로 적용한다. 예를 들어 전문가 시스템에서 중요한 구성요소라 할 수 있는 추론엔진부분은 본 지원시스템 TAPES를 운용하는데 있어선 필수적으로 요구되지 않고 있다. 따라서 추론엔진부분에 대해서는 적용되지 않으며 다만 전문가적 지식을 비전문가로 하여금 이용할 수 있게 하는 기본 개념체계는 응용 가능하다 할 것이다



■ 주요 구성설비 우선 기준 적용

주요 구성설비 우선 기준 적용에 있어서 발전 시스템을 구성하는 6,752 가지의 설비들 중에서 발전 시스템의 핵심 부분이 되며 이들 기기가 고장 혹은 정지시 장기간의 수리가 요하고 직접적으로 시스템 전체를 정지시키는 결과를 유발하는 설비만을 선정토록 함으로써 다음 10가지 설비로 크게 압축한다.

<그림 3-7> 발전 시스템 구성 주요설비 선정



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

■ Unit 한시 Trip 우선 기준

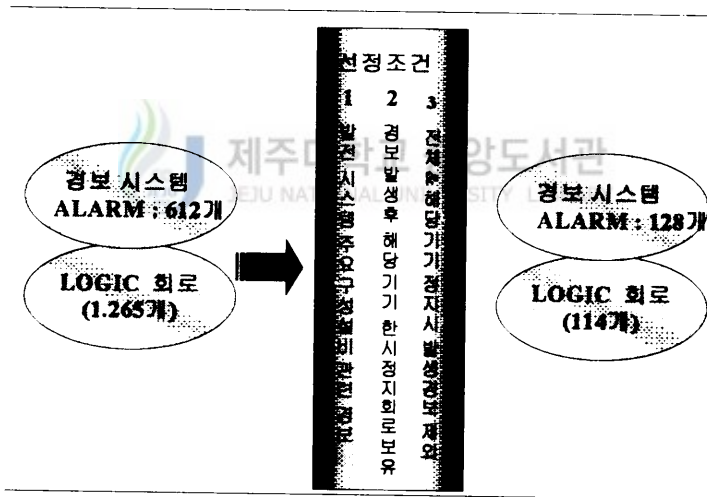
전체 발전 시스템상 Alarm 612개 사항과 관련 Logic 1,245개 요소 중에서 다음 사항을 만족하는 Alarm 및 Logic요소만을 선택하여 경보처리에 대한 효율성을 극대화하고 신뢰성을 확보토록 한다.

- ▶ 발전 시스템 주요 구성 설비와 관련될 것.
- ▶ 전체 시스템 및 해당 시스템 정지시 발생 Alarm은 제외될 것

- ▶ Alarm 취명후 무조치시 한시시간(2~15분정도) 경과 후 해당 시스템이나 전체 시스템 정지될 것

상기 사항의 적용으로 발전 시스템과 관련된 612개의 Alarm요소 중에서 본 지원 시스템에 꼭 필요한 128개의 Alarm을 선정하고 시스템을 Logic화한 표식 도면상에서 제어요소 1,265개를 114개로 크게 압축함으로써 지원 시스템의 효율성을 확보한다. 이 내용을 도식화하여 나타내면 다음 <그림 3-8>과 같다.

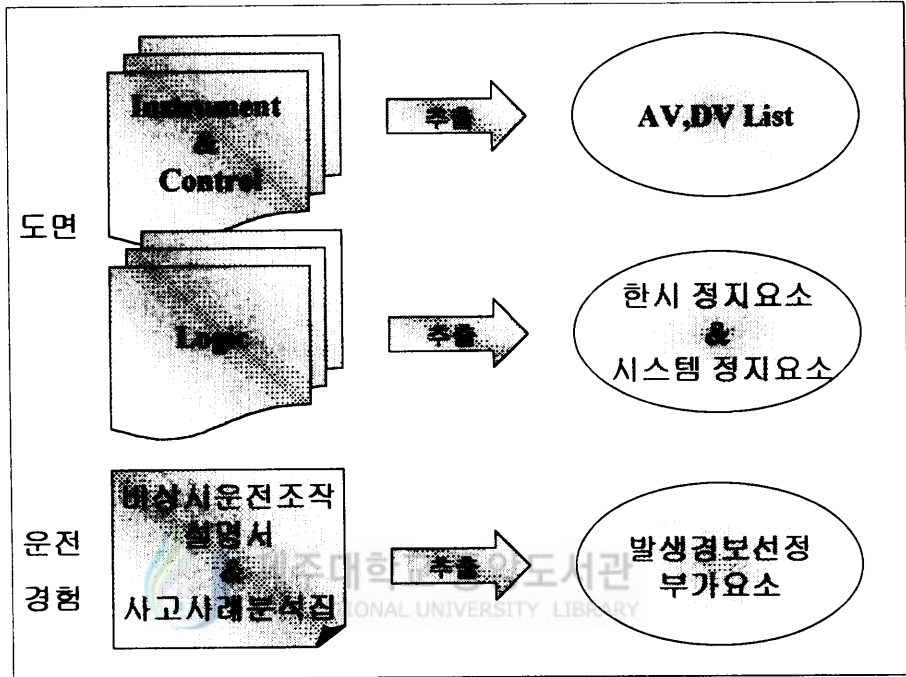
<그림 3-8> 시스템 지원 발생경보 선정



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

Unit 한시 Trip 우선 기준 적용시 다음 <그림 3-9>와 같이 해당자료를 활용하여 필요한 데이터를 추출하며 데이터 값의 명확화와 논리성을 확보한다.

<그림 3-9> 지원 시스템 개발 활용 자료(1)



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

Instrument & control Diagram을 통해 울산화력 기력 제4,5,6호기 Digital Value 933 Point 및 Analog Value 314 Point를 <표 3-1,2>와 같이 추출·작성하고 Logic Diagram을 검토하여 해당기기에 대한 한시정지요소의 발생여부와 전체 시스템에 대한 정지요소의 발생여부를 확인한다. 그리고 비상시 운전 조작 설명서와 사고 사례 분석집을 검토하여 Logic도에서 추출한 요소를 최종적으로 비교·검토함으로써 지원 시스템에 선정·반영할 경보요소를 확정한다.

<표 3-1> Digital Value List 예시

번호	DVNO	AKS NO	DESCRIPTION	NORMAL	ACTION	SOE	OPERATION
1	1	HE02C244	TT4	NORMAL	FAULTY	Y	
2	2	HE02C246	TRANSMITTER TT4	NORMAL	FAULTY	Y	
3	3	JE00U800	SOLENOID VALVE DISTRIBUTION FUSE	NORMAL	TRIP	Y	

·  
·  
·

931	931	SE20U1033	TT4 CHANNEL 1	NORMAL	TRIP	Y	
932	932	SE20U1034	TT4 CHANNEL 2	NORMAL	TRIP	Y	
933	933	SU11U103	AIR OIL/H2 DIFF. PRESS LOW	NORMAL	TRIP	Y	

자료 : 연구자 작성, 울산화력 기력 4,5,6호기 Digital Value List, Excel.

<표 3-2> Analog Value List 예시

AVNO	AKS NO	NAME	RANGE	UNIT	HH	H	LOW	LL
1	SP10T010	STATOR WINDING GROOVE 01	0-260	DEGR. C	>100	>70		
2	SP10T011	STATOR WINDING GROOVE 02	0-260	DEGR. C	>100	>70		
3	SP10T012	STATOR WINDING GROOVE 03	0-260	DEGR. C	>100	>70		
4	SP10T013	STATOR WINDING GROOVE 04	0-260	DEGR. C	>100	>70		

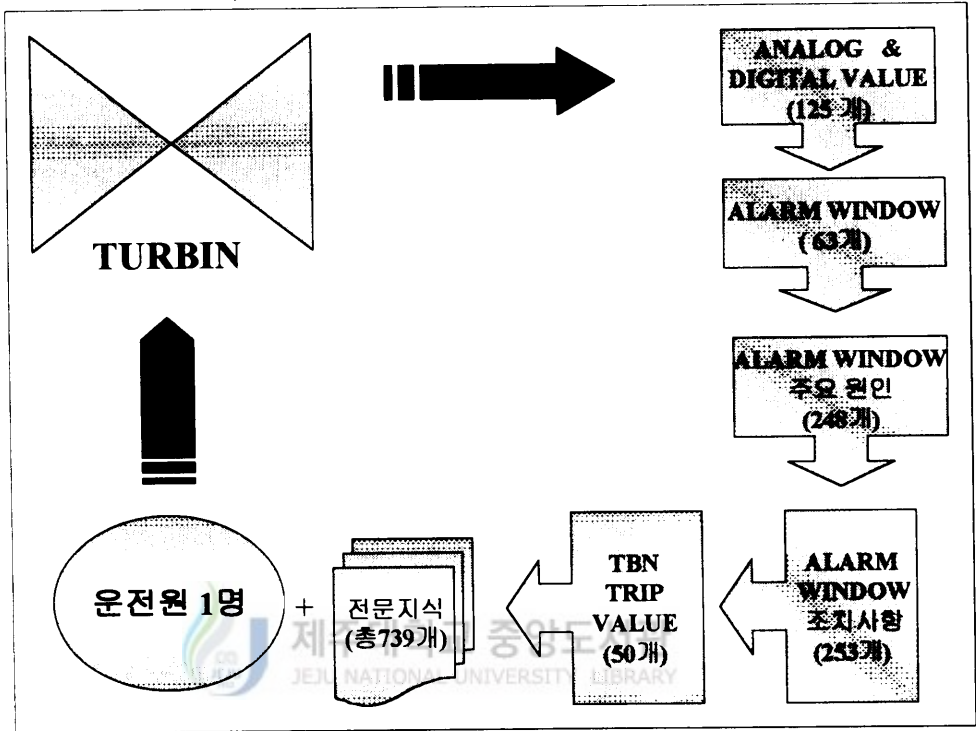
·  
·  
·

312	SP10T054	STATOR WINDING GROOVE 54	0-260	DEGR. C	>100	>70		
313	SP10T055	STATOR WINDING GROOVE 46	0-260	DEGR. C	>100	>70		
314	SP10T056	STATOR WINDING GROOVE 47	0-260	DEGR. C	>100	>70		

자료 : 연구자 작성, 울산화력 기력 4,5,6호기 Analog Value List, Excel.

여기서 앞서 기술된 기준을 터빈 구성요소에 대입시켜 전술한 내용을 확인한다. 터빈은 보일러로부터 고온 고압의 증기가 유입되면 고압터빈, 중압터빈 그리고 저압터빈순으로 하여 증기가 지나가며 가지고 있는 열 에너지를 터빈에게 전해 기계적 에너지로 전환한다. 이 과정에서 터빈과 관련된 각종 기기들이 정상적으로 동작하여야 한다. 다음 <그림 3-10>은 터빈이 운전하는데 필요한 신호 및 지식을 나타내고 있다.

<그림 3-10> 터빈설비 신호 및 경보 처리 요소



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

상기 그림에서처럼 터빈 1대를 운전하기 위해서는 터빈과 관련된 총 739개의 계량화된 전문지식이 필요함을 알 수 있다. 좀 더 구체적으로 기술하면 Analog & Digital Value 125개 요소와 중앙제어실 경보창에 나타나는 63개의 Alarm 그리고 해당 경보와 관련된 주요원인 및 조치내용 501개 사항, 터빈 정지와 관련된 요소 50개를 최종적으로 더하여 총 739개의 지식을 제어 운전원 1명이 습득하여야 하는 한계적 상황이 진행 된다. 따라서 이를 극복하고자 많은 교육과 투자가 요구되는 실정이다.

총 739사항에 해당되는 요소를 전술한 기준을 적용시켰을 때 다음 <그림 3-11>과 같은 최종적인 결과를 얻게 된다.

<그림 3-11> 지원 시스템 적용 터빈 최종 Logic Diagram



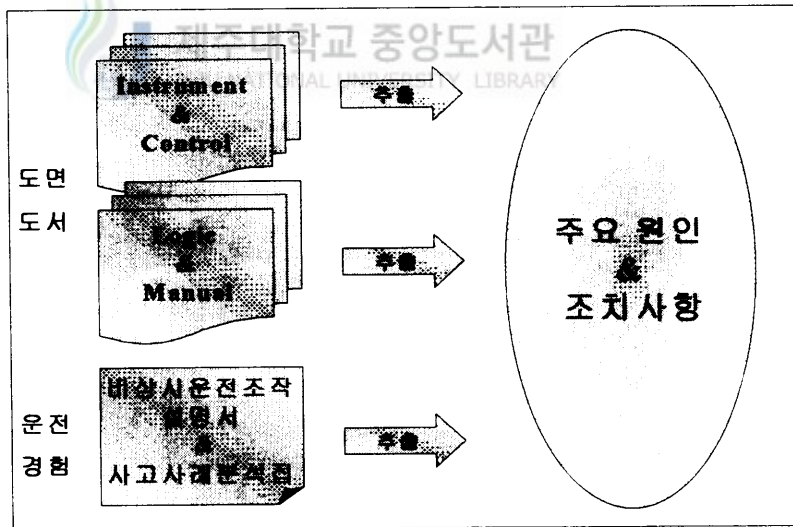
자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

상기의 안출된 터빈 Logic도에서 누락된 요소들은 타 주요 구성설비의 Logic에 상호 보완되도록 하고 발전 시스템의 주요 10개 구성설비에 대한 Logic도들을 앞서 기술한 지원시스템 기준을 적용시켜 구성토록 함으로써 지원 시스템에 이식 가능하게 한다.

■ 원인 및 조치사항 제시 기준 적용

지원 시스템 개발 기준 적용에 있어 원인 및 조치사항 제시는 매우 중요한 적용사항이다. 전술된 기준에 의해 선정된 주요 10개 구성설비와 관련되는 모든 Alarm의 발생원인과 조치사항을 Instrument & Control Diagram, Logic Diagram 그리고 해당기기의 Manual을 면밀히 검토·분석하여 필요한 지식을 도출한다. 부과하여 비상시 운전 조작 설명서와 사고 사례 분석집을 활용하여 실제 현장운영지식과 일치하도록 보완함으로써 지원 시스템 TAPES에 선정·반영할 경보요소에 대한 발생원인 및 조치사항을 최종적으로 확정한다. 아래 <그림 3-12>는 관련자료 활용에 대한 기술사항을 도식화하여 나타내었다.

<그림 3-12> 지원 시스템 개발 활용 자료(2)



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

상기 자료 활용 도식에 따라 다음 <그림 3-13>과 같이 도출된 개별 정보에 대한 발생원인 및 조치내용을 일부 예시한다.

<그림 3-13> 각 Alarm 주요 원인 및 조치내용 예시

<p>발생알람 : GE01AA22 GE01AE43</p> <p>알람이름 : ECON.OUTL.FEEDW FLOW MIN</p> <p>◆ 원 인 :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. BFP Pumping 안될 때</li> <li>2. FEED WTR Control &amp; Isolating V/V가 완전하게 열리지 않을 때</li> <li>3. Eco Flow 측정기 결함</li> <li>4. DSS 기동시 BLR Recir P'p에 Cavitation발생하여 Pumping 안될 때</li> </ol> <p>또는</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. BFP에서 Disch Flow 불충분</li> <li>2. F.W Control &amp; Isolating Vv가 완전히 열리지 않을 때</li> </ol> <p>◆ 조치 사항 :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stand by P'p 기동하고 Pumping 안되는 P'p 정지하여 원인조사</li> <li>2. FEED WTR Control V/V &amp; Isolating V/V 완전히 Open 시킨다.</li> <li>3. Feed Wtr Flow 측정기 점검 보수</li> <li>4. DSS 기동시 BLR Recir P'p Flow 줄이고 BFP Flow늘려 Collecting Vessel Level 안정시킨 후 처음대로 운전</li> </ol> <p>또는</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Auto Control 고장시 Manual로 조절하여 Feed Wtr량 증가시킨다.</li> <li>2. Feed Wtr Flow 측정기 점검보수</li> </ol> <p>등등.....</p>
---

자료 : 연구자 작성, 운전원 Manual 참조.

■ 신속성, 정확성, 편리성 기준 적용

지원 시스템 개발에 있어 신속성, 정확성, 편리성 적용은 전자에서 기술한 모든 사항을 포함하며 관련 시스템 구현시 반영하여야 할 근본원칙이 된다. 이 조건을 만족시킴으로써 화력 발전 시스템의 경보처리에 실질적인 활용을 기대할 수 있다. 그리고 전산화의 명확함을 기하는 의미에서 전문가 시스템의 기법과 구성을 응용한다. 전문가 시스템은 이미 많은 연구와 적용 실적이 있는 시스템이기 때문이다. 그러나 앞서 기술



한 것처럼 본 지원 시스템 구현에 있어서는 전문가 시스템의 대화형 기법과 추론식 방법을 통한 해법 찾기는 적용하지 않았다.

### ■ 각 기준 적용 결과

경보처리 지원 시스템 개발 기준을 모두 적용한 결과 발전 시스템 구성설비 6,752 중 주요 구성설비 10개로 압축·선별되었고 운전원이 꼭 인지하여야 할 경보를 612개에서 128개로 줄일 수 있었다. 더불어 시스템 운용에 필요한 Logic도도 1,245개에서 114개 요소로 구성하게 되었으며 그에 따른 주요 원인 및 조치사항을 효율적으로 입력 가능하게 되었다. 이로써 화력 발전 경보처리에 대한 지원 시스템으로 전문가 시스템을 응용한 TAPES를 설계할 수 있는 기반 조성을 하였다.

<그림 3-14> 경보처리 지원 시스템 개발 기준 적용결과



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

### 3. TAPES의 설계

TAPES (Trouble Analysis Pilot Expert System) 설계에 있어 전술한 바 있는 개발 기준의 적용 결과물들은 지식베이스 구축 및 표현에 바로 연결되어져 구성되고 사용자로부터 요청이 있을 경우 그 요청을 탐색하여 전문가의 지식이 저장되어 있는 데이터베이스에서 저장된 값을 가져 오거나 전문가로부터 습득된 지식을 데이터베이스에 저장하게 된다.

#### 1) 지식베이스 모듈 설계

지식베이스 구축은 다음의 단계를 거쳐 구성되도록 하였다. 첫 단계로 울산화력 발전시스템에서 사용하고 있는 Analog Value 314 point와 933 point의 Digital Value를 List화하였다. 둘째 단계로 1,247 point의 AV, DV LIST에서 실제 Trouble Alarm Window로 사용하는 612개의 Value를 9개의 테이블화 하고 세 번째 단계에선 프레임을 이용한 지식표현 기법을 활용하여 발전소 운용에서 가장 중요한 최종 사고유형 10가지를 선정한 다음 여기에 직접 연관이 있는 128개의 Alarm Value를 9개의 테이블에서 선택되도록 하였고 그 최종사고유형은 다음과 같다.

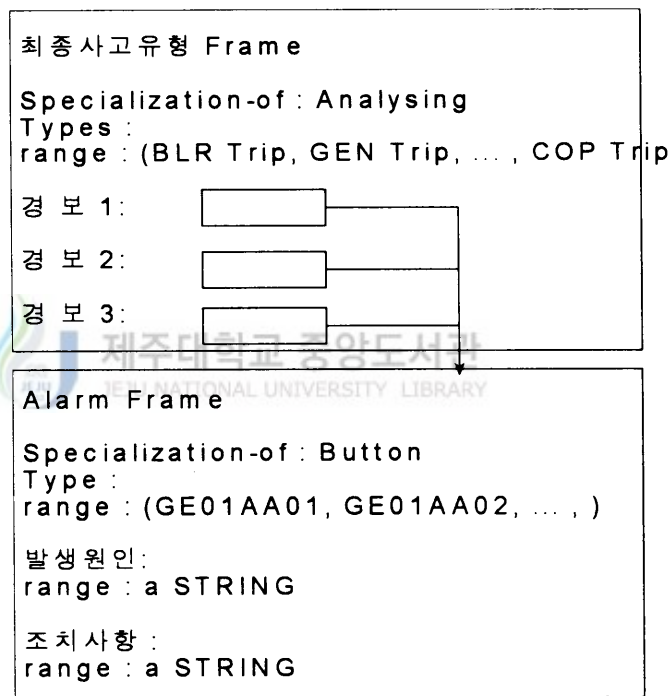
- |                |                  |
|----------------|------------------|
| ▶ BLR TRIP     | ▶ BNR PLANE TRIP |
| ▶ GEN TRIP     | ▶ TBN TRIP       |
| ▶ F.O PP TRIP  | ▶ A/H TRIP       |
| ▶ BFP TRIP     | ▶ CWP TRIP       |
| ▶ F.D FAN TRIP | ▶ COP TRIP       |

마지막 단계로 128개의 Alarm Value에 대해 해당 Value에 대한 각각의 원인과 조치내용을 검토·분석하여 작성하고 이를 지식획득 모듈을 이용하여 데이터베이스에 입력되도록 하였다.

본 논문에서 사용한 프레임 지식표현구조에 대해 세부적으로 기술하면 다음과 같다.

우선 발전소 운용에서 앞서 기술한 TAPES 개발기준에 따라 가장 중요한 사고유형 10가지가 선정되고 그 최종 사고 유형을 주 Frame으로 하여 “경보 1”, “경보 2”, “경보 3”의 슬롯을 포함하며 이와 관련되는 해당 Alarm들을 아래와 같이 지식표현 한다.

<그림 3-15> 최종사고 유형: 프레임을 이용한 지식표현



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

즉, 최종사고 유형 프레임, BLR TRIP 프레임에서 “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”가 경보로 들어올 때 “경보 1” 슬롯에 연결되어 있는 “ALARM” 프레임이 호출되어 “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”라는 이름의 프레임이 새롭게 만들어진다.“ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX” 프레임은 “ALARM” 프레임의 구체적인 예이므

로, 그것의 각 슬롯은 “ALARM” 프레임으로부터 계승된다. 따라서, “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”라고 하는 Alarm의 해석은 “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX” 프레임의 각 슬롯을 필요한 정보로 채워 감으로써 행해진다. “ALARM” 프레임에는 “발생원인”과 “조치사항”의 슬롯이 포함되어 있으므로 각 슬롯에 필요한 정보를 채워 넣는 과정은 다음과 같이 기술된다.

● 먼저, “Type” 슬롯을 채우기 위한 처리가 행해진다. 이것은 새로운 Alarm을 입력시 그 Alarm에 대한 식별성을 갖게 하는 것이다. 즉, “GE01AA24”라고 입력하여 각기 별도의 이름을 코드로서 가지게 하는 것이다.

● 두번째로, “발생원인” 슬롯을 채우는 것이다. “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”의 원인인

- 『 1. Feed Wtr 와 Fuel Oil 사이에 Control이 나쁠 때
  - 2. BLR Control의 Disturbance
  - 3. 갑작스런 Load의 저하
  - 4. Feed Wtr / Spray Wtr 비율이 맞지 않을 때 』
- 라는 사항을 입력한다.

● 세번째로, “조치사항” 슬롯을 채우는 것이다. “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”의 조치사항인

- 『 1. BLR Master로 Feed Wtr / Fuel Oil 비율을 조절
  - 2. Auto Control이 안되면 Manual로 Feed Wtr Flow를 서서히 늘이고 Fuel Oil을 서서히 감소시킨다.
  - 3. 저부하 (250MW이하)에서 1PL BNR 소화
  - 4. Decontic에서 Feed Wtr / Spray Wtr Ratio 조정 』
- 이라는 사항을 입력한다.

지금까지 슬롯에 사실을 채워 넣는 과정을 기술하였다. 이 같은 과정을 거쳐 최종적으로 “ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX”의 프레임을 작성한 결과는 <그림 3-16>과 같다.

<그림 3-16> “ATTEMP. 1.1 INL STM. TEMP > MAX”의 프레임 작성 “예”

“ATTEMP.1.1 INL STM. TEMP > MAX” Frame

**Specialization-of : Button**

**Type : GE01AA24**

**발생 원인 :**

1. Feed Wtr 와 Fuel Oil 사이에 Control이 나쁠 때
2. BLR Control의 Disturbance
3. 갑작스런 Load의 저하
4. Feed Wtr / Spray Wtr 비율이 맞지 않을 때

**조치 사항 :**

1. BLR Master로 Feed Wtr / Fuel Oil 비율을 조절
2. Auto Control이 안 되면 Manual로 Feed Wtr Flow를 서서히 늘이고 Fuel Oil을 서서히 감소시킨다.
3. 저부하 (250MW이하)에서 1PL BNR 소화
4. Decontic에서 Feed Wtr / Spray Wtr Ratio 조정

자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

## 2) 탐색엔진 모듈 설계

TAPES의 중요 구성요소로서 요청된 문제 해결에 관한 지식을 갖고 시스템을 관리하도록 한다. 이때, 탐색을 관리하는 부분은 최적 우선 탐색기법을 응용하며 규칙 충돌시 모든 대상내용을 발생토록 한다. 본 논문에서 사용하는 최적 우선 탐색기법의 알고리즘은 다음과 같다.

## <초기화>

1. 발생한 Alarm의 클릭으로 사용자의 입력을 받아 이름이 작은 순서대로 정렬을 시행한다 - 탐색의 효율을 높이기 위한 방법으로 맨 앞의 Alarm보다 더 작은 이름의 Alarm이 뒤에 존재하지 않음을 보장해 주기 위해서이다.
2. 만약, 입력된 Alarm의 개수가 3개 이상이면 3개의 Alarm이 조합되어 발생한 프레임부분을 먼저 검색을 하고 2개 이상이면 4번 항목으로 이동하고 1개일 경우는 5번 항목으로 이동한다.
3. 위의 검색에서 발견 프레임이 있으면 설명모듈로 해당 프레임을 넘겨주고 탐색을 계속하게 된다.
4. 3개이상의 조합된 Alarm 부분의 탐색을 마치면 2개 Alarm의 조합부분을 탐색한다. 위와 마찬가지로 발견 모듈이 발생할 때는 설명 모듈로 해당 프레임을 넘겨주고 탐색을 계속한다.
5. 2개 이상의 탐색을 마치게 되면 다시 각각의 1개 Alarm에 대해 탐색을 하게 된다. 여기에서도 발견된 모듈이 있으면 설명 모듈로 넘겨주고 계속탐색을 하게 된다.
6. 만약 발견된 프레임이 있으면 그 내용을 설명 모듈에서 보여주게 되는데 이때 리스트 되는 순서는 발견된 프레임의 역순이 되게 한다. 이는 사용자가 알아보기 쉽게 하기 위함이다. 그러나, 존재하지 않는다면 해당하지 않음을 나타내는 메시지를 보여 준다.

앞에서 기술한 알고리즘을 TAPES 구현에서 설명하면, 먼저 사용자가 GE01AE08, GE01AF08, GE01AA08, GE01AB08의 Alarm을 입력했다면 TAPES는 입력을 우선 정렬하게 되는데 입력은 GE01AA08, GE01AB08, GE01AE08, GE01AF08로 입력 순서가 변경 된다. 그리고 입력이 3개 이상이므로 3개 이상이 조합된 프레임의 영역을 탐색을 하게 되는데 이 때 GE01AB08, GE01AE08, GE01AF08의 3개 경보에 의해서 해당하는 BLR

TRIP 프레임이 발견되어지고 이것은 설명모듈로 곧장 보내진다. 다음으로 GE01AA08, GE01AB08의 2개의 경보에 의해서 A/H TRIP 프레임이 발견되어지고 그 다음 GE01AF08의 1개 경보에 의해 F.D Fan TRIP 이 발견되어지면 마찬가지로 프레임이 발견되어질 때마다 설명모듈로 보내지며 설명 모듈에서는 이를 다시 조합된 수가 작은 순으로 출력을 한다. 이상에서 기술한 것처럼 프레임의 많은 비교횟수를 줄임으로써 보다 빠르게 사용자에게 발생 가능한 최종 사고를 알려 주게 되는 것이다.<sup>19)</sup>

### 3) 지식 획득 모듈 설계

숙련된 운전원 및 발전소 구성기기들의 매뉴얼 등을 통해 얻은 지식을 TAPES의 지식베이스에 정해진 지식 표현구조로 나타낼 때 지식획득의 과정은 다음 다섯 단계를 거친다. 이 과정 중 앞서 개발 기준 적용시 기술한 바 있는 주요 구성설비 우선 기준, UNIT 한시 TRIP 우선 기준, 원인 및 조치사항 제시 기준의 적용 규칙을 활용한다.

첫째, 문제 인식 과정:

문제와 그 주요 특징을 알게 되는 과정으로 발전시스템을 구성하는 6,752가지의 설비들 중에서 발전 시스템의 핵심 부분이 되며 이들 기기가 고장 혹은 정지시 장기간의 수리가 요하고 직접적으로 시스템 전체를 정지시키는 결과를 유발하는 설비 사고만을 추출·분석한다.

둘째, 개념화 과정:

결정에 필요한 다양한 지식들의 개념을 정립하고, 그들간의 관계를 정의하는 과정으로 최종 사고 유형과 이를 발생시키는 원인과의 관계를 정립한다.

---

19) 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가 시스템 개발 최종 보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

셋째, 정형화 과정:

지식베이스에 표현되는 방식을 고려하여 지식을 획득하는 과정으로, 발생 가능한 최종사고유형과 그 원인에 대한 조치사항을 I & C, Logic Diagram과 비상시 운전 조작 설명서 및 사고 사례 분석집을 통해 추출하게 된다.

넷째, 구현단계:

컴퓨터에 획득한 지식을 입력하는 과정으로, 이미 추출된 최종사고 유형과 원인과 조치 내용을 구현된 입력기를 통하여 데이터 베이스에 저장을 하게 된다.

다섯째, 테스트 과정:

위 과정에서 만들어진 시스템을 테스트하는 과정으로, 구현된 TAPES에 가상의 상황을 입력하여 실제 운전자로 하여금 비교·분석하게 한다. 이에 문제점이 발생시 위 과정을 반복한다.

#### 4) 설명 모듈 설계

사용자 인터페이스를 통해서 요청된 문제해결에 대한 최종결론이 지식 베이스 모듈에서 정의된 최종사고 유형과의 연결성을 확인토록 설계한다. 이 설계를 통하여 사용자의 의문을 해소하고 신뢰를 얻을 수 있도록 하며 요청된 문제에 대한 해결책을 직접 제시한다. 즉, <그림 3-17>과 같이 TAPES에서 사용자의 입력에 대해 검색되어진 최종사고유형을 화면에 보여줄 때 그 옆에 그 사고유형을 발생시킨 해당 Alarm을 보여줌으로써 왜 이 최종사고유형이 선택되어졌는가를 알려주게 된다. 그리고 그 최종사고유형을 클릭함으로써 원인과 조치사항을 명확히 사용자에게 알려준다.



<그림 3-17> 설명 모듈 구현 “예”

예상 최종사고	발생 신호
F.D Fan TRIP ⇔	GE01AF08
A/H TRIP ⇔	GE01AA08, GE01AB08
BLR TRIP ⇔	GE01AB08, GE01AE08, GE01AF08

자료 : 연구자 작성, 운전원 Manual 및 Alarm Book 참조.

### 5) 사용자 인터페이스 모듈 설계

사용자 인터페이스는 사용자로 하여금 쉽고 간편하게 TAPES에 접근하도록 하되 속응성(速應性)을 갖추는데 중점을 두면서 아래 사항을 설계 기본요건으로 한다.

- 실제 발전시스템 기기와 유사한 인터페이스
- 사용자 입력 인터페이스
- 전문가 입력 인터페이스
- 전문가의 지식표현 인터페이스
- 조치결과에 대한 확인 및 설명 인터페이스

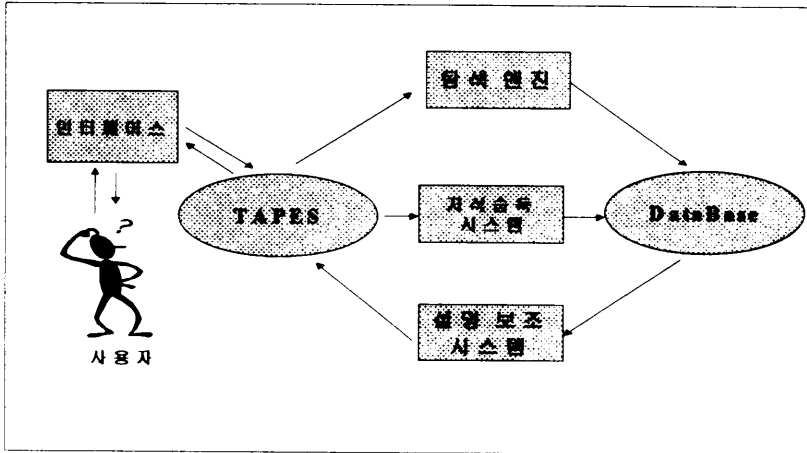
## 4. TAPES의 구현

본 논문에서는 전문가 시스템의 탐색 및 지식획득 모델을 이용하여 TAPES를 구현하였다. TAPES의 탐색엔진은 최적우선 탐색을 통해 최종 결론을 결정토록 하고 이 결과를 사용자에게 제공하도록 하였다.

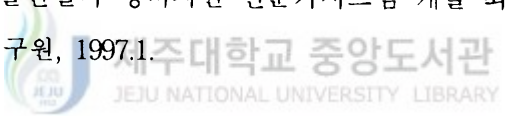
### 1) TAPES 구현의 구성요소

구성의 요소는 아래 <그림 3-18>과 같다.

<그림 3-18> TAPES의 구현



자료 : 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.



발전 시스템 Trouble Alram 발생시 사용자가 사용자 인터페이스를 통하여 TAPES에게 이 정보를 보내게 되면 TAPES는 탐색엔진을 사용하여 이미 구축된 데이터베이스를 검색한다. 얻어진 검색결과는 설명 보조 시스템에게 전달되고 설명 보조시스템은 사용자 최초 입력 요소와 탐색 검색 결과를 사용자에게 제시하여 사용자가 최종 결론을 내릴수 있도록 한다.<sup>20)</sup>

20) 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가 시스템 개발 최종 보고서”, 한국전력공사, 전력연구원, 1997.1.

## 2) TAPES의 구성요소

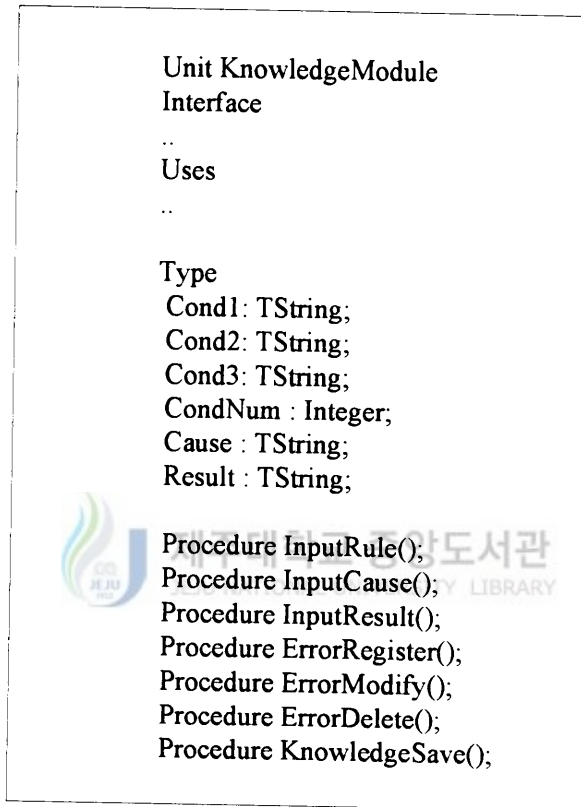
### ■ 탐색 엔진

```
Unit InferenceModule
Interface
..
Uses
..
Type
Cond1: TString;
Cond2: TString;
Cond3: TString;
Cond4: TString;
Cond5: TString;
Cond6: TString;
InferQuery : TString;

Procedure Find(InferQuery);
Procedure Send(InferQuery);
Procedure Order(Cond1,..,Cond6);
```

Cond1,..,Cond6은 발생한 Alarm을 나타내는 데이터이고 InferQuery 는 사용자로부터 입력받은 6개의 데이터를 조합하여 데이터베이스로부터 결과를 얻어내기 위한 Query이다. 먼저 Order() method를 사용하여 입력값의 우선순위를 결정하고 Find() method로 질의에 대한 결과를 얻게 된다. 그리고 얻게된 결과를 Send() method를 통하여 설명 보조 시스템으로 보내게 된다

■ 지식 획득 시스템



Cond1, .. ,Cond3는 현재 조합될 수 있는 입력 Alarm들이다. CondNum은 몇 개의 조합인지를 나타내게 되고 Cause와 Result는 각각 원인과 조치사항을 나타내게 된다. 새로 발견된 최종 사고 유형에 대한 Alarm 입력과 조합, 원인과 조치사항은 InputRule(), InputCause(),InputResult()를 이용해서 입력하게 되고 ErrorModify()와 ErrorDelete()를 통해서 삽입과 삭제가 이루어진다. 또한 이 모든 method들은 ErrorRegister() method를 통해서 실행된다.

■ 설명 보조 시스템

```
Unit SubExpModule
Interface
..
Uses
..

Type
ErrName: TString;
Cond1: TString;
Cond2: TString;
Cond3: TString;
Cause : TString;
Result : TString;
FindQuery:TString;

Procedure Find();
Procedure FindCause();
Procedure FindResult();
Procedure DisplayResult();
```

ErrName은 발견된 에러명이다. 그리고 Cond1, .. ,Cond3는 에러를 발생 시킨 Alarm명이다. Find()를 통하여 얻어진 Error명으로 다시 FindCause()와 FindResult()를 호출해서 알아낸 원인과 결과를 DisplayResult()가 인터페이스에 전달하게 된다.

## ■ 데이터 베이스

```
Unit DBModule
Interface
..
Uses
..

Type
Alarm1 : TString;
Alarm2 : TString;
Alarm3 : TString;
Msg : TString;
CondNum : Integer;
Cause : TMemo;
Result : TMemo;

Procedure CreateDBStruct();
```

Alarm1, ... , Alarm3는 에러를 발생시킨 Alarm들이고 Msg는 예상최종 사고유형이고 CondNum은 단일조건, 이중조건, 삼중조건임을 나타낸다. Cause는 에러발생의 원인이며 Result는 조치사항을 나타내는 Text이다. CreateDBStruct()는 데이터베이스의 I/O구조를 생성한다.

### 3) 수행 알고리즘

사용자가 입력한 정보를 TAPES가 분석하여 결론을 생성하여 사용자에게 돌려주는 알고리즘은 다음과 같다.

#### (1) TAPES초기화

사용자의 입력  
지식베이스를 검색  
검색된 결과를 디스플레이  
사용자의 새로운 입력

#### (2) 위험을 알리는 Alarm들을 사용자가 입력.

사용자가 입력한 Alarm을 아스키 순서로 배열함.

( 이는 검색의 횟수를 줄이기 위함이다. )

입력된 정보를 구축된 지식 Database에 존재하는지 Query.

정보가 존재하면 그 정보를 사용자가 이해할 수 있는 형태로 가공.

사용자에게 결과를 디스플레이 해줌.

사용자의 원인 및 조치사항을 인식 후 적절한 시스템 정비.

## 제3절 TAPES의 실행

### 1. 초기 화면

TAPES를 동작시키기 위해서는 우선 컴퓨터를 켜고 Windows95가 시작될 때 바탕화면에 나타나 있는 TAPES 아이콘을 더블클릭 하면 아래의 울산 화력발전소의 전경이 잠시 나타난 후 메인 화면이 나타난다.

<그림 3-19> TAPES 초기 메인 화면

파일 디어

## TAPES

GE01 (8-12) | GE01 (22-26) | GE01 (41-45) | GE02 (21-25) | GE02 (26-30) | GE03 (16-20) | GE03 (21-25) | GE03 (26-30) | GE03 (31-35)

		AIR HEATER 1 ROTATION MIN	AIR HEATER 2 ROTATION MIN	BEARING TEMP AIR HEAT.1 MAX
		AIR HEATER 1 ROTATION MIN	AIR HEATER 2 ROTATION MIN	BEARING TEMP AIR HEAT.2 MAX
BEAR 1 TEMP F.D FAN 1 MAX	F.D FAN 1 MOTOR PHASE R SLOT TEMP MAX	BEAR 1 TEMP F.D FAN 2 MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE R SLOT TEMP MAX	BEARING FAILURE A/H 1 MAX
BEAR 2 TEMP F.D FAN 1 MAX	F.D FAN 1 MOTOR PHASE S SLOT TEMP MAX	BEAR 2 TEMP F.D FAN 2 MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE S SLOT TEMP MAX	BEARING FAILURE A/H 2 MAX
BEAR 1 T.F.D FAN 1 MOTOR MAX	F.D FAN 1 MOTOR PHASE T SLOT TEMP MAX	BEAR 1 T.F.D FAN 2 MOTOR MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE T SLOT TEMP MAX	SMOKE STACK INL SO2 MAX
BEAR 2 T.F.D FAN 1 MOTOR MAX	LUBE OIL LEVEL AIR HEAT MIN	BEAR 2 T.F.D FAN 2 MOTOR MAX	COND.PURITY < MIN	SMOKE STACK INL CO MAX
FRONT.V BFN PLANE 1 AIR F. MIN	FRONT.V BFN PLANE 2 AIR F. MIN	FRONT.V BFN PLANE 3 AIR F. MIN	FRONT.V BFN PLANE 4 AIR F. MIN	FRONT INTER AIR PURG T1 TIMEREL DIST
REAR.V BFN PLANE 1 AIR F. MIN	REAR.V BFN PLANE 2 AIR F. MIN	REAR.V BFN PLANE 3 AIR F. MIN	REAR.V BFN PLANE 4 AIR F. MIN	COND CHMB FLUE GAS PR. MAX
RH.COND.CHMB FLUE GAS TEMP. MAX	AIRH.1 INL FLUE GAS O2 ANAL MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 1 MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 2 MIN	OIL TEMP RETURN L1 A/H 1 MAX
LH.COND.CHMB FLUE GAS TEMP. MAX	AIRH.2 INL FLUE GAS O2 ANAL MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 1 MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 2 MIN	OIL TEMP RETURN L1 A/H 2 MAX
PURG.STEAM BFF BURNERS MIN	BFN PLANE1 INL ATO.STM PRESS MIN	BFN PLANE2 INL ATO.STM PRESS MIN	BFN PLANE3 INL ATO.STM PRESS MIN	BFN PLANE4 INL ATO.STM PRESS MIN
PURG.STEAM BFF BURNERS MIN	AIRH OUTL COM DUCT PRESS < MIN (2Y3)	CONTROL AIR PRESS < MIN (2Y3)	FLUE GAS DAMPERS < 100%	BOILER TRIP PREWARNING
PURG.STEAM BFF BURNERS MIN	PURGING STEAM PRESS 2Y3 < MIN	START PURGING AGAIN	LUBE OIL FLOW AIR HEAT.1 MIN	0 0
LEVEL COND TANK NUOBBODI MIN	FIRE OFF	OIL FLOW LUBRICATION MIN	LUBE OIL FLOW AIR HEAT.2 MIN	0 0 0

버튼기



TAPES의 기능은 크게 2가지로 나눌 수 있다.

첫째는 발생한 Alarm을 입력받아서 그에 대한 원인과 조치사항을 알려주는 기능이다. TAPES는 이미 상당한 양의 기기 운전지식을 갖고 있다.

두 번째 기능은 TAPES가 이미 많은 양의 지식을 갖고 있지만 보다 자세하고 빈틈없는 운전을 위해서 더 많은 지식이 요구할 수도 있기에 TAPES의 지식을 강화시켜주는 기능이다.

우선 TAPES의 화면 구성을 간단히 살펴보면,

윗 부분에는 간단한 메뉴가 존재하고 가운데에는 Alarm 상황판이 존재한다. 실제로의 이들은 발전기기 각 부분의 오류를 경고하는 기능을 나타낸다.

상황판 바로 위를 보면 9개의 탭들이 있다. 이 탭들은 각기 다른 상황판을 나타내게 되는데 발전소 시스템과 동일하게 구성 배치되었다.

그리고 화면 아랫부분을 보면 여섯 개의 입력창들이 존재하는데 마우스로 화면의 상황판에 있는 Alarm을 입력하면 이곳에 사용자의 입력이 나타나게 된다. 사용자가 직접 여기에 해당 Alarm 좌표를 키보드를 통해 입력할 수도 있다.

그 6개의 입력창 옆에는 찾기 버튼이 있는데 사용자가 입력을 마친 후 이 버튼을 누르게 되면 TAPES는 최종사고유형 및 사고의 원인과 결과를 분석하게 된다.

## 2. 사용자 입력 “예”

상황판에 기기의 오류를 나타내는 Alarm이 발생했다면 사용자는 그 Alarm에 대응하는 TAPES의 Alarm을 마우스로 클릭을 하거나 좌표 입력창을 통해 직접 입력을 한다.

마우스로 TAPES의 Alarm들을 클릭하면 선택된 Alarm들의 바탕색은 연두색으로 변하면서 사용자가 선택했음을 알린다. 이때 잘못 선택했다면 다시 한번 그 Alarm을 클릭을 해주면 원상태로 복귀시킨다. 이

렇게 하여 사용자는 한꺼번에 6개까지의 Alarm을 선택하게 되고 그 이상 클릭시 입력할 수 없음을 알리는 창이 나타난다.

마지막으로 운전자가 찾기 버튼을 누르면 해당 Alarm에 대한 발생 원인과 조치사항을 알 수 있게 되며 적절한 조치가 없을 시 최종적으로 발생할 수 있는 사고유형도 보게 된다. 이렇게 입력한 모양은 아래 <그림 3-20>과 같다.

<그림 3-20> ALARM 선택시 화면

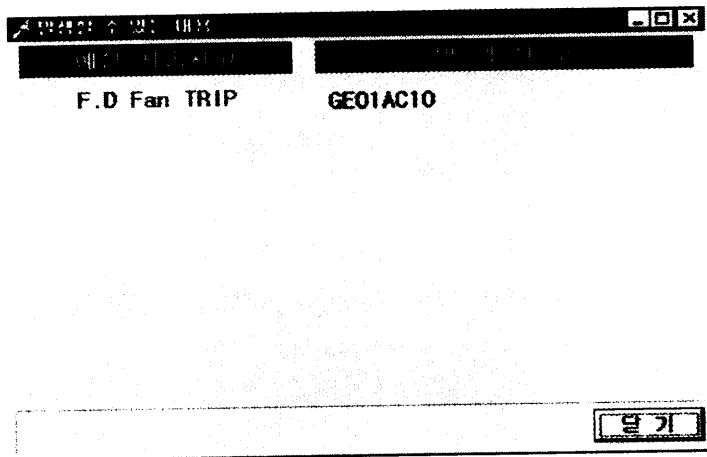
The screenshot shows a software interface for selecting alarms. At the top, there is a 'TAPES' header and a navigation bar with buttons for 'GE01 (01-21)', 'GE01 (22-26)', 'GE01 (41-45)', 'GE02 (21-25)', 'GE02 (26-30)', 'GE03 (16-20)', 'GE03 (21-25)', 'GE03 (26-30)', and 'GE03 (31-35)'. Below this is a large grid of alarm categories. Each cell in the grid contains an alarm name and its status (e.g., MIN, MAX, NIN). At the bottom, there is a status bar with buttons for 'GE01AC09', 'GE01AED8', 'GE01AFD8', 'GE01AFD', 'GE01AND8', 'GE01AL12', and a '여할 거' button.

TAPES		GE01 (01-21)   GE01 (22-26)   GE01 (41-45)   GE02 (21-25)   GE02 (26-30)   GE03 (16-20)   GE03 (21-25)   GE03 (26-30)   GE03 (31-35)			
		AIR HEATER 1 ROTATION MIN	AIR HEATER 2 ROTATION MIN	BEARING TEMP AIR HEAT.1 MAX	
		AIR HEATER 1 ROTATION MIN	AIR HEATER 2 ROTATION MIN	BEARING TEMP AIR HEAT.2 MAX	
BEAR 1 TEMP F.D FAN 1 MAX		BEAR 1 TEMP F.D FAN 2 MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE R SLOT TEMP MAX	BEARING FAILURE A/H 1 MAX	
BEAR 2 TEMP F.D FAN 1 MAX	F.D FAN 1 MOTOR PHASE S SLOT TEMP MAX	BEAR 2 TEMP F.D FAN 2 MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE S SLOT TEMP MAX	BEARING FAILURE A/H 2 MAX	
	F.D FAN 1 MOTOR PHASE T SLOT TEMP MAX	BEAR 1 T.F.D FAN 2 MOTOR MAX	F.D FAN 2 MOTOR PHASE T SLOT TEMP MAX	SMOKE STACK INL SO2 MAX	
	LUBE OIL LEVEL AIR HEAT MIN		COND.PURTY < MIN	SMOKE STACK INL CO MAX	
FRONT. # BRN PLANE 1 AIR F. MIN	FRONT. # BRN PLANE 2 AIR F. MIN	FRONT. # BRN PLANE 3 AIR F. MIN	FRONT. # BRN PLANE 4 AIR F. MIN	PROT INTERL AIR PURG T1 TYNEREL DAST	
REAR. # BRN PLANE 1 AIR F. MIN		REAR. # BRN PLANE 3 AIR F. MIN	REAR. # BRN PLANE 4 AIR F. MIN	COND CHAMB FLUE GAS PR. MAX	
RH. COND. CHAMB FLUE GAS TEMP. MAX	AIRH.1 INL FLUE GAS O2 ANAL MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 1 MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 2 MIN	OIL TEMP RETURN L1 A/H 1 MAX	
LH. COND. CHAMB FLUE GAS TEMP. MAX	AIRH.2 INL FLUE GAS O2 ANAL MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 1 MIN	OIL FLOW GEAR BOX A/H 2 MIN		
PURG STEAM BEF BURNERS MIN	BRN PLANE1 INL ATO. STM PRESS MIN	BRN PLANE2 INL ATO. STM PRESS MIN	BRN PLANE3 INL ATO. STM PRESS MIN	BRN PLANE4 INL ATO. STM PRESS MIN	
PURG STEAM BEF BURNERS MIN	AIRH OUTL CON DUCT PRESS < MIN (2Y3)	CONTROL AIR PRESS < MIN (2Y3)	FLUE GAS DAMPERS < 100K	BOILER TRIP PREPARING	
PURG STEAM BEF BURNERS MIN	PURGING STEAM PRESS 2Y3 < MIN	START PURGING AGAIN	LUBE OIL FLOW AIR HEAT.1 MIN	○ ○	
LEVEL COND TANK NJ00B001 MIN	FIRE OFF	OIL FLOW LUBRICATION MIN	LUBE OIL FLOW AIR HEAT.2 MIN	○○○	

GE01AC09 GE01AED8 GE01AFD8 GE01AFD GE01AND8 GE01AL12 여할 거

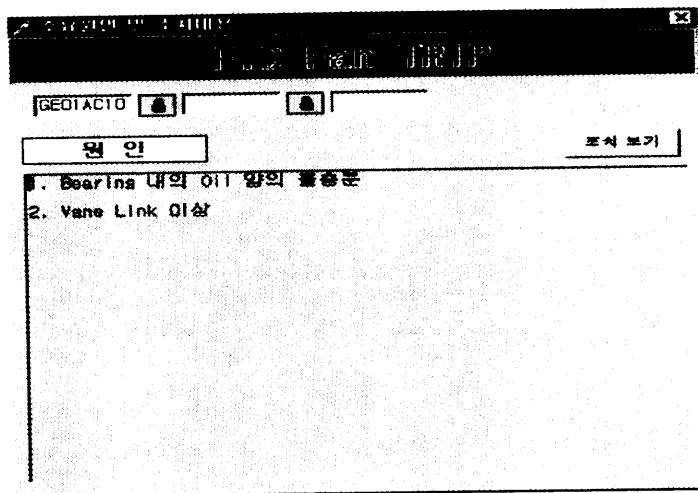
이제 찾기버튼을 누른 후 검색되어 나타난 결과를 한번 살펴보면

<그림 3-21> 찾기버튼 클릭 후 발생화면



위 <그림 3-21>에서 나타난 다이얼로그를 살펴보면 드러난 최종사고 유형은 F.D Fan TRIP이고 이러한 문제를 유발한 해당 ALARM의 좌표는 GE01AC10임을 알리고 있다. 이때 발생 ALARM에 대한 원인과 조치 사항은 최종사고의 이름을 클릭해주면 결과는 아래 <그림 3-22>로 나타난다.

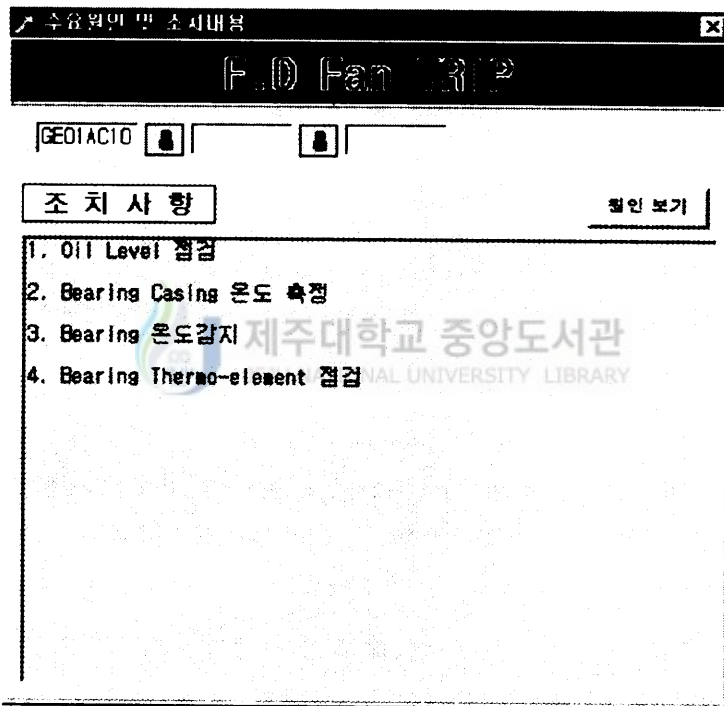
<그림 3-22> 발생 ALARM 원인 표시 화면



위와 같이 원인 표시화면이 나타나고 관련 조치사항을 알아보고 싶으

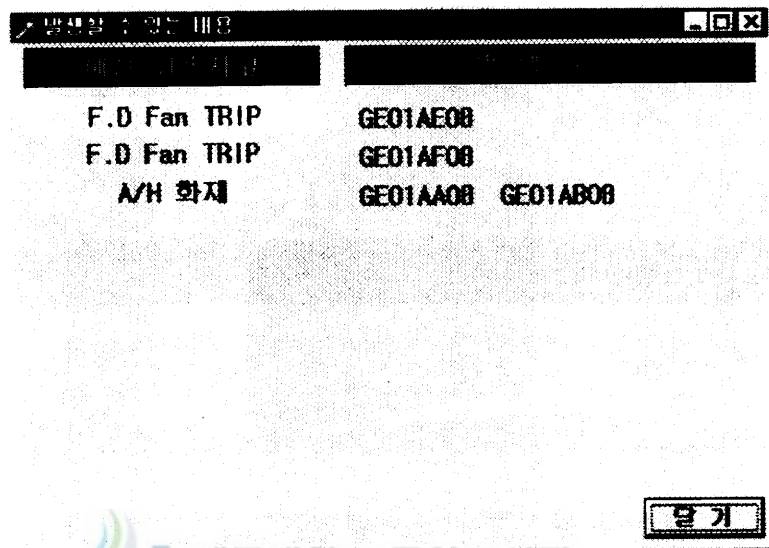
면 조치보기 버튼을 누르면 다이얼로그의 내용은 아래 <그림 3-23>과 같이 변경하게 된다. 다시 원인을 보고 싶으면 원인보기 버튼을 누르면 되며 그후 초기 화면으로 돌아가려면 왼쪽 다이얼로그의 닫기 버튼을 누르면 화면은 초기화면으로 돌아가게 된다.

<그림 3-23> 발생 ALARM 조치사항 표시 화면



TAPES는 하나의 예상 최종 사고유형뿐만 아니라 여러 가지의 최종 사고 유형도 알아낼 수도 있다. 그 예를 다음의 <그림 3-24>를 통해 나타내고 그에 따른 설명은 다음과 같다.

<그림 3-24> 다중 발생 Alarm 최종사고유형 표시 화면

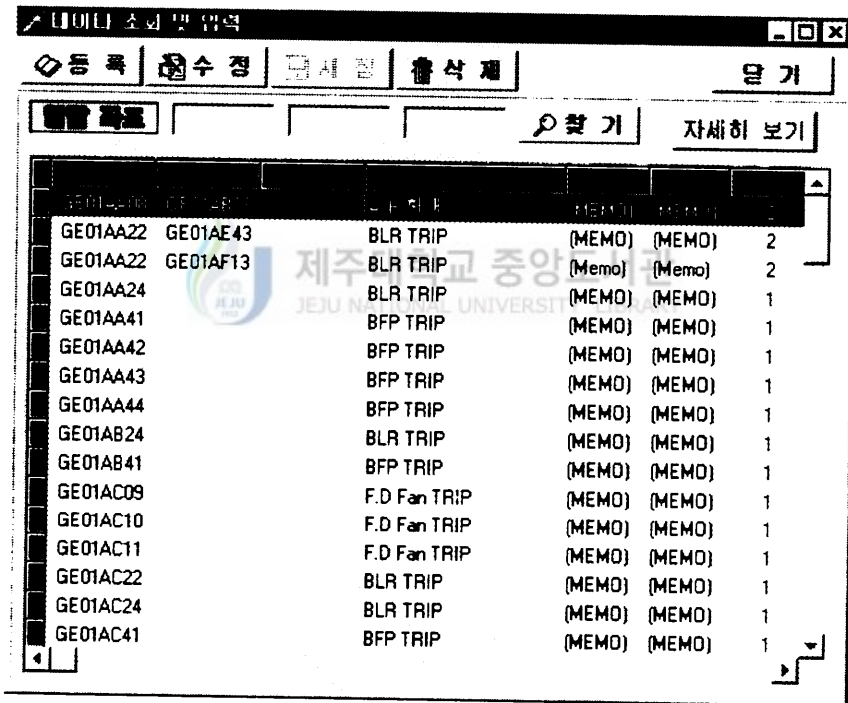


위 <그림 3-24>에서 보여주듯 Alarm의 입력이 다수일지라도 TAPES는 해당 Alarm에 대한 모든 최종사고유형을 찾아내게 된다. 현재상태로는 입력을 6개로 한정해 놓았으나 필요시 이러한 제한을 두지 않을 수도 있다. 즉 발생 Alarm이 아무리 많이 입력되더라도 TAPES는 관련된 최종사고유형을 다 찾을 수 있게된다. 하지만 운전자가 너무 많은 알람을 입력하면(실제로 이런 경우는 거의 없음) TAPES는 거의 모든 문제점들을 모두 보여주게 되어 사용자가 오히려 더욱더 혼란에 빠지게 될 수도 있을 것이다. 따라서 입력을 6개 정도로 제한해 두었다.(GIGO - Garbage in Garbage out)

### 3. 지식향상 기능

TAPES의 지식을 좀 더 향상시키기 위하여 메인 메뉴인 데이터메뉴에 데이터 입력기능을 두고 해당 버튼을 선택하게 되면 아래 <그림 3-25> 처럼 편리하게 전문가의 지식을 입력을 할 수 있는 다이얼로그가 화면에 나타난다.

<그림 3-25> 데이터 조회 및 입력화면



위에 나타난 다이얼로그에는 등록, 수정, 저장, 삭제기능을 하는 기본 메뉴가 있고 해당버튼을 누름으로서 관련기능을 즉시 수행할 수 있다.

즉, 새로운 규칙을 생성하기 위해 등록이라는 버튼을 누르면 다이얼로그는 입력 다이얼로그로 변하게 되고 그 모양은 다음 <그림 3-26>과 같다.

<그림 3-26> 데이터 등록 화면

위 <그림 3-26>의 다이얼로그에 ALARM 좌표 및 최종사고유형과 해당 원인 및 조치사항을 입력하고 저장 버튼을 누르면 이제 그 지식은 TAPES에게로 전달되어 저장된다. 만약 수정을 원한다면 이전 다이얼로그에서 원하는 규칙을 선택 한 후 수정 버튼을 누르면 바로 위의 다이얼로그와 동일한 다이얼로그가 나타나고 각 필드에 이미 입력된 정보들이 나타난다. 이때 원하는 정보를 수정 후 저장버튼을 누르면 된다.

## 제 4 장 적용사례 분석

### 제1절 TAPES 성과 분석

발전 시스템을 원활하게 운용하기 위해서는 기계와 사람과의 상호 긴밀한 Interface가 필요하다. 복잡한 시스템을 완벽하게 이해하고 그 설비를 운용하는데는 사람으로서 한계가 있다. 따라서 이 한계를 조금이나마 극복하기 위해서 여러 가지 고성능화 된 자동제어 시스템을 개발하여 기계를 직접 조작 또는 운전하는 사람에게 신속·정확한 판단을 내릴 수 있도록 지원하는 노력이 계속되고 있다.

발전 시스템의 급전, 정비, 운영 부분에 관한 지원 시스템은 속속 개발되어 적용되고 있지만 운전원과 관련된 지원 시스템은 아직 개발·적용되지 않고 있다. 발전 시스템의 안정운전과 신뢰성 있는 운용을 위해서는 제어 운전원의 지원이 최우선되어야 함에도 불구하고 제반 문제가 복합적으로 작용하여 개발을 어렵게 만들고 있는 실정이다. 따라서 안정된 발전시스템 운용을 위하고 제어 운전원과 가장 밀접하게 연관되어 많은 효과를 기대할 수 있는 경보 시스템에 대하여 연구·분석후 지원 시스템을 구축하는 것이 매우 중요한 사안이라 할 수 있다.

울산화력 기력 제4,5,6호기의 경우에도 발전 시스템 정비 및 운영에 관한 지원 시스템과 급전 관련 시스템을 운영하고 있으나 보일러 및 터빈 제어 보드를 담당하는 운전원을 지원하는 시스템은 아직 운영되지 않고 있다. 다만 호기당 2명의 운전원을 배치하여 현장기기의 이상으로 긴급히 처리 되어야할 상황이 전개될 때 해당 운전원이 얼마나 그 경보에 대하여 정확한 원인과 조치내용을 알고 있는나로 문제해결의 결정적 단서를 삼고 있을 뿐이다. 따라서 운전원의 축적된 경험과 각 기기에 대한 명확한 지식들이 집약된 시스템의 개발은 발전소 안정적 운전에 시급히 요청된 것으로 판단되며, 이에 따라 TAPES의 개발 및 적용이 이루어



졌다.

다음은 경보처리 지원 전문가 시스템의 적용전,후 발전설비 운전중 고장정지건수의 통계이며, TAPES 설치 기간 중에는 고장정지 건수가 없었음을 알 수 있다.

<표 4-1> 울산화력 기력 4,5,6호기 고장정지 건수

년도 호기	'80 ~'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	계
#4	60	3	1	2	2	1	-	1	-	70
#5	21	2	1	-	-	-	2	1	-	27
#6	24	1	3	-	-	-	2	-	-	30
총계	105	6	5	2	2	1	4	2	-	127

비고:  
 ▶ TAPES 설치기간('98.3. ~ '98.10.)중 현재 고장정지건수: 없음.  
 ▶ 사고건수1건당 소요비용('98.10.20일 기준)은 다음 산출식에 의해 약 2,000만원 발생됨.  
 ※소요비용 = 기동연료비 + 지장전력 + 설비투자비

자료 : 울산화력 30년사, 2001.

<표 4-1>의 자료에서와 같이 발전정지 사고가 1건 발생하면, 다시 설비를 기동하여 정상적으로 전력계통에 투입하기까지의 소요비용은 약 2천만원(재 기동 연료비 + 발전정지로 인한 지장전력비 + 설비 투자비) 정도의 비용이 발생하기 때문에 설비의 고장상황을 미리 감지할 수 있는

경보시스템은 발전설비 운전에서 필수적이고도 핵심부분이라 할수 있다.

아래 <그림 4-1>은 운전원이 실제 운전상황에서 TAPES를 이용하여 경보신호의 입력상황 점검과 조치내용을 실행하는 장면이다.

<그림 4-1> TAPES 현장 운용화면



## 제2절 TAPES 적용에 대한 만족도 조사

### 1. 조사대상

울산화력발전처 기력 제4,5,6호기의 중앙제어실 운전원(4조3교대 근무 인원: 24명)들의 의향을 “현장성, 정확성, 단순성, 지식확장의 용이성, 편리성, 응답시간의 적합성, 운전업무의 지원성” 등으로 조사하였다.

발전소는 하루 24시간 쉬지 않고 돌아가야 하기 때문에, 여기에 종사하는 발전 운전원들은 4개조로 편성되어 하루에 8시간씩 3교대 근무를 하고 있다. 운전원 근무의 형태는 주간근무(08:00 ~ 16:00), 오후근무(16:00 ~ 22:00), 야간근무(22:00 ~ 08:00)로 구분되며, 이에 따른 조사를 아래와 같이 중앙제어실 운전원(BTG1, BTG2라고 약칭함.)들에게 설문지를 배분하여 실시 하였다.

<표 4-2> TAPES 적용에 따른 만족도 조사내용 요약

조사 기간	설치 위치	해당 운전원	비 고
'01.5.10~5.30	중앙제어실 PC * 3대	24명	·3개 호기(#4,5,6) 4조3교대 운영으로 1일24시간적용

## 2. 설문지 구성 및 변수의 측정

설문지 구성은 아래의 <표 4-3>과 같이 이루어졌으며, 변수의 측정기준은 리커트 스케일 5점척도로 측정되었다.


 제주대학교 중앙도서관  
 <표 4-3> 설문문항의 구성  
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

변수명	측정기준	설문번호
현장성	- 현장에서의 정확한 신호발생의 상태 - 경보신호 발생에 의한 신속한 처리정도	1
정확성	- 비정상적인 경보신호의 입력에 의한 동작상태 - 정상적인 신호입력에 의한 동작상태	2
단순성	- 경보신호 발생과정의 처리상태 - 복잡한 로직회로를 이용하는지의 여부	3
지식확장의 용이성	- 경보회로 검출에 의한 동작이외에 기능여부 - 입력된 프로그램의 수정,삭제,추가 기능여부	4
편리성	- 경보회로 입력신호와 일반신호의 처리상태 - 시스템의 사용상 애로사항 유,무 관계	5
응답시간의 적합성	- 경보신호 입력 시 처리되는 상태 - 입력신호의 오 동작이나 시간지연 여부	6
운전업무의 지원성	- 발전설비 운전과의 연관성 - 경보회로 동작에 의한 전 설비의 연동관계	7

### 제3절 분석 및 시사점

#### 1. 응답자의 특성

<표 4-4>에서 응답자들의 직군 분류를 해 보면 발전전기가 20.8%, 발전기계가 79.2%로 기계직군의 중앙제어실 근무인원수가 상대적으로 많은 것으로 나타났다.

<표 4-4> 응답자들의 직군 분류

응답자의 직군	빈도	비율(%)
발전전기	5	20.8
발전기계	19	79.2
합계	24	100

<표 4-5>에서 응답자들의 연령 분포를 살펴보면 25세 이하와 26~30세이하, 41세 이상이 4.2%로 비교적 낮은 분포를 보이는 반면 31~35세는 50%, 36~40세는 37.4%로 대부분의 연령 분포가 31~40세인 것으로 나타났다. 하지만 41세 이상도 1명이 있는 것으로 보면 연장자와 젊은층의 같은 근무조의 분위기 조성에 관한 애로사항을 유추할수 있다.

<표 4-5> 응답자들의 연령분포

응답자의 연령	빈도	비율(%)
25세 이하	1	4.2
26~30세	1	4.2
31~35세	12	50.0
36~40세	9	37.4
41세 이상	1	4.2
합계	24	100

<표 4-6>에서 응답자들의 근속연수를 분류해 보면 3년 이하와 4~6년, 15년 이상이 4.2%이며 7~10년이 62.4%, 11~14년 사이가 25%로 나타났다. 대부분의 근무자 근속연수가 10년차 전,후로 나타난 것은 입사후

경력이 원숙도에 있는 자들로 중앙제어실 근무를 하고 있는 것으로 분포도를 측정해 볼 수 있다.

<표 4-6> 응답자들의 근속연수 분류

응답자의 근속연수	빈 도	비 율(%)
3년 이하	1	4.2
4~6년	1	4.2
7~10년	15	62.4
11~14년	6	25.0
15년 이상	1	4.2
합 계	24	100

<표 4-7>에서 응답자들의 학력분포를 분류해 보면 고졸 20.8%, 전문졸 37.4%, 대졸이 41.8%로 나타났으며 근래에 들어서 운전원들 중에도 대졸 근무자가 많이 분포되는 것으로 볼 수 있다.

<표 4-7> 응답자들의 학력분포

응답자의 학력	빈 도	비 율(%)
고졸	5	20.8
전문졸	9	37.4
대졸	10	41.8
합 계	24	100

<표 4-8>에서 응답자들의 TAPES 설비 사용경력을 분류해 보면 6개월 이하가 4.2%, 1년 이하가 16.5%, 2년 이하가 25%, 3년 미만이 12.5%, 3년 이상이 41.8%로 나타났으며 대부분의 근무자들이 중견사원 위주로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 발전설비 운전의 핵심요원들이라 할 수 있는 중앙제어실 근무자는 경력이 어느 정도 갖추어진 직원들로 구성되어 있음을 생각해 볼 수 있다.

<표 4-8> 응답자들의 TAPES 설비 사용경력 분류

응답자의 사용경력	빈 도	비 율(%)
6개월 이하	1	4.2
1년 이하	4	16.5
2년 이하	6	25.0
3년 미만	3	12.5
3년 이상	10	41.8
합 계	24	100

## 2. 분석결과

<표 4-9> TAPES 이용자 만족도 통계 분석표

번호	평가항목	평가(명/비율(%))				
		우수	양호	보통	미약	불량
1	현장성	18 (75.0)	4 (16.6)	1 (4.2)	1 (4.2)	
2	정확성	11 (45.9)	4 (16.6)	6 (25.0)	2 (8.3)	1 (4.2)
3	단순성	17 (70.9)	5 (20.8)	2 (8.3)		
4	지식확장의 용이성	16 (66.6)	5 (20.8)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)
5	편리성	20 (83.4)	2 (8.3)	2 (8.3)		
6	응답시간 적합성	21 (87.4)	1 (4.2)	1 (4.2)	1 (4.2)	
7	운전업무 지원성	23 (95.8)	1 (4.2)			
합계(평균%)		126(75.0)	22(13.1)	13(7.7)	5(3.0)	2(1.2)
※ 평가자 : 울산화력 제4,5,6호기 제어실 운전원 24명 전원 ※ 정확성과 지식확장의 용이성에서 불량(2명)으로 조사된 사항은 향후 연구의 대상이 된다 할 수 있음.						

<표 4-9>의 TAPES 이용자 만족도 통계 분석표에서 나타난 내용을 다음과 같이 세분하여 분류해 볼 수 있다.

1) TAPES 설비를 운영함에 있어서 현장에서의 정확한 신호와 이의 전달 상태에 의한 경보를 발생시켜주는 **현장성**은 우수하다 75%, 양호하다 16.6%, 보통이다와 미약하다는 각각 4.2%로 대부분 만족함을 볼 수 있다. 하지만 보통이다 이하의 표를 한 2명의 의사도 프로그램 개선을 위해 고려해 볼 여지가 있다.

2) 현장신호 중에서 비정상적인 상태의 신호가 시스템에 입력되어서 경보로 연결되어 질 때 **정확성**은 우수하다 45.9%, 양호하다 16.6%, 보통이다 25%, 미약하다 8.3%, 불량하다 4.2%로 나타났다. 미약하다 이하 수준의 생각이 10% 이상으로 나타난 것은 정확성에는 약간의 문제점이 있는 것으로 판단되며, 가끔씩 오 동작이 있는 것으로 생각된다.

3) 경보신호의 발생과정에서 여러 가지 복잡한 제어회로나 로직회로를 거치지 않고 프로그램 된 대로 즉각적인 동작을 하는 **단순성**에서는 우수하다 70.9%, 양호하다 20.8%, 보통이다 8.3%로 나타났다. 90% 이상이 단순성에는 만족한 결과를 보이고 있다.

4) TAPES 설비를 운용하면서 여러 가지 응용자료를 수용하고 제거할 수 있는지의 기능을 확인할 수 있는 **지식확장의 용이성**은 우수하다 66.6%, 양호하다 20.8%, 보통이다 와 미약하다, 불량하다는 각각 4.2%로 나타났는데, 그 중에서 불량하다는 분포가 나타난 것을 보면 여러 가지 응용능력을 이용할 수 있는 단계까지는 보완할 사항이 많은 것으로 생각되어진다.

5) 발전설비를 운전하면서 각종 현장신호와 경보신호의 구분과정이 명확하게 인지되며, 경보지원 시스템의 사용에 대한 **편리성**은 우수하다 83.4%, 양호하다와 보통이다가 각각 8.3%씩 나타난것으로 보아 TAPES 설비 운용상의 편리성은 대부분 만족하는 것으로 평가된다.

6) 발전설비 운전 중 여러 가지 요인에 의한 설비의 비정상 상태의 신호를 감지했을 때, 이에 따른 동작상황을 분석해 보면 **응답시간의 적합성**은 우수하다 87.4%, 양호하다와 보통이다, 미약하다가 각각 8.2%로 나타났으며, 대부분은 경보신호의 응답이 우수하지만 보통이다 이하로 표시한 2명의 의견을 평가해 보면 시간지연의 상황이 가끔씩 발생하는 것으로 판단되며, 이의 개선을 위한 프로그램의 점검 및 보완작업이 필요한 것으로 분석된다.

7) 전체적인 TAPES 설비를 운영하면서 발전설비와의 연계성과 상호의존성을 파악해 볼 수 있는 **운전업무의 지원성**은 우수하다 95.8%, 양호하다가 4.2%로 나타난 것으로 보아 발전설비의 운영 및 경보처리설비의 운전업무 지원은 비교적 잘 되는 것으로 판단된다.

### 3. 평가자 형태에 따른 만족도

<표 4-10> 운전원의 직군에 따른 만족도 분석표에서 나타난 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 현장성은 발전전기 직군의 근무자들에게서 불만의 목소리가 있는 것으로 분석된다. (보통이다: 1명, 미약하다: 1명씩 분포)

2) 정확성은 발전기계 직군의 근무자가 불량하다는 의견까지 표시한 것으로 보아, 여기에서는 재분석 및 원인의 확인이 필요한 것으로 생각된다. (보통이다: 5명, 미약하다: 2명, 불량하다: 1명)

3) 단순성은 두 직군 모두 양호하다 이상이지만 2명은 보통이다로 표시한 것으로 보아 미약한 부분이 있는 것 같다.

4) 지식확장의 용이성은 대부분 양호하지만 발전기계 직군의 1명이 불량하다로 표시한 내용에 대해서는 재검토의 여지가 있다.

5) 편리성은 두 직군 모두 공통적으로 양호한 쪽에 평가한 것으로 보아 발전설비의 운영에 도움이 되는 것으로 생각된다.



6) 응답시간의 적합성은 발전전기 직군에서 보통이다와 미약하다를 표시 했는데, 이것은 전기적인 회로의 구성에 문제가 있는 것으로 판단 되므로 입력신호의 연결관계를 재검토할 필요성이 있는 것 같다.

7) 운전업무의 지원성은 대부분 우수한 것으로 평가했다. 이것은 발전설비의 운전경보처리 전문가 시스템이 많은 도움이 되는 것으로 판단된다.

<표 4-10> 운전원의 직군에 따른 만족도 분석표

평가항목	직군구분	우수하다	양호하다	보통이다	미약하다	불량하다
현장성	발전전기	2	1	1	1	
	발전기계	16	3			
정확성	발전전기	3	1			
	발전기계	8	3	5	2	1
단순성	발전전기	1	3	1		
	발전기계	16	2	1		
지식확장 용이성	발전전기	1	2	1	1	
	발전기계	15	3			1
편리성	발전전기	2	2	1		
	발전기계	18	1			
응답시간 적합성	발전전기	3		1	1	
	발전기계	18	1			
운전업무 지원성	발전전기	4	1			
	발전기계	19				

#### 4. 시 사 점

TAPES 적용에 따른 만족도 조사 기간중('01.5.10 ~ 05.30) 운전원 오조작으로 인한 사고는 한 건도 발생치 않았다.

각 항목별 TAPES의 사용에 대한 전체적 평가는 “우수하다”로 평가된다. 그러나 “정확성”과 “지식확장의 용이성”에 대해서는 “우수도”가 다른 평가항목과 비교하여 상대적으로 떨어지므로 좀 더 세밀한 지원체계를 갖추도록 하는 연구가 필요하다고 본다.

하지만 전체적으로는 TAPES에 대한 호응도가 높아 지원 시스템 운영 역할을 충분히 수행하였음을 볼 수 있다.

본문에서 언급했듯이 화력발전소는 종합적인 기술의 집합체라고 할 수 있다. 기계, 전기, 화학, 건축 등 모든 공학적인 계통의 기술이 집약적으로 결합되어 이루어진 일종의 기술 공동체라고 해도 과언이 아니다.

이에 따라 설비의 구성도 복잡, 다양할 뿐만 아니라 최신 디지털 컴퓨터 시스템으로 대부분이 구성되어 있다.

이러한 구성 가운데, 경보처리를 위한 전문가 시스템이라 할 수 있는 TAPES를 개발 및 적용한 사례는, 산업의 원동력이며 국가 기간산업인 전력생산 설비의 안정적 운용과 중단 없는 양질의 전기를 공급하는데 일익을 담당하고 있다고 분석할 수 있겠다.

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 이미 이론이 정립된 전문가 시스템에서 제시하는 개념과 기법에 따라 화력 발전 시스템 감시제어 분야에 제한된 부분에서나마 실제 적용 가능한 Pilot Expert System을 구현하고자 한 내용의 사례 분석이다.

구현된 TAPES(Trouble Analysis Pilot Expert System)는 지식베이스 모듈, 지식획득 모듈, 설명 모듈, 사용자 인터페이스 모듈로 구성되며 델파이에서 제공하는 도구를 통해 구축하여 졌다.

지식베이스는 최종사고 유형 10가지의 사실과 114가지의 규칙으로서 구성되고 최종사고의 유형 10가지 사실 범위 안에서 128개의 관련 Alarm이 있도록 함으로써 612개의 발전소 운전 에러상황을 간단명료하게 데이터베이스에 정리되도록 하였다.

지식획득 모듈을 통해 데이터베이스에 저장된 전문가의 경험과 지식은 지식베이스의 탐색 모듈을 통해 사용자 요구가 있을 시 호출되거나 입력되도록 하였다.

이때 요구된 값이 호출 혹은 입력될 때 항상 출력경로는 설명 모듈을 통하여 구현되도록 하여 사용자의 의문을 해소하고 발생 값에 대한 신뢰를 얻을 수 있도록 하였다.

본 연구에서 검증한 TAPES는 또한 화력 발전시스템 감시제어에 있어서 신속·정확한 판단을 내릴 수 있도록 하였으며 운전원은 단지 마우스 혹은 키보드로 Alarm Window 보드에서 해당 발생 Alarm을 클릭하여 확인 지시만 내리면 최종 사고유형과 해당 주요 원인 및 조치내용이 발생되도록 한다는 것이다.

신속, 정확함과 실용성을 중요 설계 요건으로 함에 따라 전문가 시스템에서 기술한 추론제어를 지양하여 가능한 한 예측요소의 불확실성은 배

제되도록 하였다.

실제 울산화력 제4,5,6호기에 1998.3.25 ~ 2001.05.30 현재까지 적용하여 보완·교정을 거쳐오는 동안 최종 사용자인 운전원으로부터 많은 신뢰를 받고 있다.

그러나 몇 가지 추가적인 기능보완 요청사항으로 원인 및 조치사항의 내용에 대한 프린팅 기능과 또한 Alarm 발생시 음성 경고 메세징 기능 등을 들 수 있는데 아직 추가되지 못한 부분으로 남아 있다.

추후 연구 과제는 앞서 말한 기능 보완 요청사항의 별도 필요한 부분이 있다면 이를 개선 적용하고 향후 장기적 추진과제로서 TAPES의 입력 요소를 중간 매개체 없이 발전시스템과 직접 연결시키는 연구가 필요하며 사용자로부터 요청된 Alarm의 횟수를 별도 기억 장소에 두어 계수화 하는 것도 매우 중요한 연구 사항이라 할 수 있겠다.

이 연구성과가 이루어지면 TAPES의 입력 부분에 대한 소요시간 단축과 입력값에 대한 정확도 재고를 가져올 수 있을 것이며 또한 일간, 주간, 월간, 년간별로 사용빈도가 검색되어져 그 해당 설비의 취약점을 미리 예측해 볼 수도 있을 것이다.

더 나아가 TAPES의 출력 부분도 입력 부분과 마찬가지로 발전 시스템과 직접 연결시켜 시스템제어를 완전자동화 하는 단계까지 이 분야에 대해 지속적인 연구가 필요하다고 하겠다.

또한 울산복합화력과 전국의 수,화력 및 원자력 발전소에도 적용 가능한지의 여부에 대해서 지속적인 연구를 수행하여 새로운 설비에 대한 도입 판단의 필요성 검토가 이루어져야 하겠다.

## [ 참고 문헌 ]

### 1. 國內 文獻

- 유석인, “전문가시스템의 소개”, 정보과학회지, 제6권 제2호, 1988.
- 황갑주의9, “단기수요예측 전문가시스템 개발 최종보고서”, 한국 전력공사, 계통운영처, 1995.8.
- 김건영외13, “발전설비 정비지원 전문가 시스템 개발 최종 보고서”, 한국전력공사, 전력연구원 1997.1.
- 변승현, “화력 발전소 드럼형 보일러 시스템의 고장진단을 위한 퍼지 전문가 시스템 개발”, 학위논문집, 한국과학기술원, 1986.
- 김선용, “화력발전계통의 최적 운영방법”, 학위논문집, 한국과학기술원, 1983.
- 한국전력공사, “울산화력 기력 4,5,6호기 운전원 Manual”, 1980.
- 한국전력공사, “울산복합화력 운전원 Manual”, 1995.
- 한국전력공사, “울산복합화력 보수지침서”, 1995.
- 한국전력공사, “사원수첩2001”, 2000. (각종현황, p.5)
- 한국전력공사, “울산화력30년사”, 2001.

### 2. 國外 文獻

- Donald T. Chung, M. Modarres, R. Niall, M. Hunt, “GOTRES : An expert system for fault detection and analysis,” Reliability Engineering and System Safety, Vol. 24, 1989, pp. 113-137.

- Dsva D. Sharma, D. W. Miller, Brian, B. Chandrasekaran,  
"Intelligent process control operator aid - an AI approach,"  
Proc of the power plant dynamics control and testing  
Symp., 1986, pp. 61.01-61.20.
- H.S. Blackman, W.R. Nelson, "Techniques for Incorporating  
Operator Expertise into Intelligent Decision Aids and  
Training,' Reliability Engineering and System Safety, 1988,  
Vol. 22, pp. 371-385.
- N. Asai, K. Onishi, S. Mori, Y. Otsuka, S. Makino,  
"Development an AI supporting system for knowledge  
acquisition and refinement," International works hopon AI for  
industrial applicationon AI for industrial applications, 1988, pp.  
47-51.
- S. Hahemi, B, K, Hajek, D. W. Miller, B. Chandrsekaran, J. R.  
Josephson, "Expert system application to plant diagnosis and  
senor data validation," Proc of power plant dynamics control  
testing Symp., 1986, pp. 65.01-65.13.
- Taylor A., "How expert systems can help solve a host of  
power station operating and maintenance problems," IEE Conf.  
Publication, 1988, pp. 133-137.

## [ Abstract ]

### **Studying for Development of an Expert System for Supporting Alarm Processes in Thermal Power Plants**

**Kwang-gyu Choi**

**Department of Management Information System**

**Graduate School of Business Administration**

**Cheju National University**

**Supervised by Professor Byoung-kil Choi**

Control systems in a thermal power plant(here in after referred to as TPP) are important to maintain stable operations. especially, in the viewpoint of characteristics of TPP, which consists of lots of equipment, the alarm system in a control system is essential to prevent extended accidents.

When an abnormal state is generated due to various accidents of the operating equipments, the alarm system enables the TPP to maintain normal operations continuously, preventing from the spread of the accident by alarming the abnormal state to control-operators rapidly.

Currently the technical support for operators, who are responsible for handling generated alarms, is unsatisfactory, while the technology in control and signal systems is rapidly developed.

To get rid of misjudgement possibilities and to improve accuracy of alarm processes by operators, in this paper, we developed an expert

system for supporting alarm processes, called TAPES(Trouble Analysis Pilot Expert System).

TAPES has a database for abnormal states of the power generation system recognized by the supervisory control system in the TPP, representing operators' experience as a logical form which can be processed in the computer.

In addition, in case of alarm generations due to abnormal states of the power generation system, TAPES provides us with the causes, the measures and the finally anticipated trouble models of generated alarms for abnormal states.

TAPES is constructed on the basis of feasibility, speediness, accuracy, and extensibility, so, it makes users to easily recognize their finally anticipated trouble models, their causes, and their measures by simply putting their signals into the TAPES for the alarm generated actually in abnormal states.

TAPES has been developed by using DELPHI 3.0, and is executed on the windows 95 operating system and the paradox database system.



## [ 설 문 지 ]

### TAPES 적용에 따른 이용자 만족도에 관한 설문조사

안녕하십니까?

저는 제주대학교 경영대학원 경영정보학과에 재학중인 최광규 입니다.

본 설문지는 울산화력발전처 기력 4, 5, 6호기에 적용되어 운용하고 있는 화력발전소 경보처리 지원을 위한 전문가 시스템의 개발사례에 대하여 여러 가지 방면으로 조사하여, 현장신호의 전달과정과 한치의 오차도 없이 정확한 동작을 하는지의 여부, 그리고 운용의 편리성등을 참고자료로 하여 기력 1, 2, 3호기 및 제1, 2복합화력에도 적용할 수 있는지와 전국의 수,화력 및 원자력과 신규 발전소에도 설계에 반영이 가능한지를 연구해 보고자 실시하는 설문조사입니다.

귀하의 응답은 저의 석사학위 논문작성과 전국의 발전설비의 설계 및 운용과 정비에 귀중한 참고자료가 될 것입니다.

여기에서 얻게되는 모든 자료는 학술적 연구 및 통계목적 이외에는 어떤 용도로도 절대 사용하지 않을 것을 약속드립니다.

바쁘시더라도 저의 연구목적에 큰 도움이 될 수 있도록 솔직히 의견을 기록해 주시길 부탁드립니다.

2001년 5월

◆ 제주대학교 경영대학원 경영정보학과

◆ 연구자 : 최광규(E-mail: ckg6307@dspow.co.kr, ☎011-9327-5516)

◆ 지도교수 : 최병길(E-mail: choice21@cheju.cheju.ac.kr)

※ 본 설문지에서 조사하고자하는 경보처리 지원 시스템의 개발기준은 다음과 같은 관점에서 이루어졌으니 참고하시기 바랍니다.

■ **운용자 우선 기준 적용(☞ 전문가 시스템 응용 전산화)**

: 운용자 우선 기준 적용에 따라 운전자의 실 경험과 현장에 실질적으로 필요한 지식제공 체계를 갖추기 위해서는 전문가 시스템에서 제시하는 체계와 기법이 필요하다. 그러나 전적으로 전문가 시스템에서 제공하는 모든 구성체제를 적용하기보다는 필요에 따라 선택적으로 적용했다.

■ **주요 구성설비 우선 기준(☞ 주요설비선정: 6,752개 ⇒10개)**

: 발전 시스템을 구성하는 6,752가지의 설비들 중에서 발전 시스템의 핵심부분이 되며 이들 기기가 고장 혹은 정지시 장기간의 수리가 요하고 직접적으로 시스템 전체를 정지시키는 결과를 유발하는 설비만인 10가지로 압축하였다.

■ **UNIT 한시TRIP 우선 기준(☞ TRIP 한시요소 선정: 경보회로; 612개⇒128개, 로직회로;1,245개⇒114개)**

: 전체 발전 시스템 상 경보회로612개 사항과 관련 로직 1,245개 요소 중에서 다음 사항을 만족하는 경보 및 로직요소만을 선택하여 경보처리에 대한 효율성을 극대화하고 신뢰성을 확보토록 했다.

- ① 발전 시스템 주요 구성설비와 관련될 것.
- ② 전체 시스템 및 해당 시스템 정지시 발생하는 경보는 제외될 것.
- ③ 경보 취명후 무 조치 시 한시시간(2~15분 정도) 경과 후 해당 시스템이나 전체 시스템 정지될 것.

■ **원인 및 조치사항 제시(☞ 주요 원인 및 조치사항 입력)**

: 지원 시스템 개발기준 적용에 있어 원인 및 조치사항 제시는 매우 중요한 적용사항이다. 위에서 선정된 주요 구성설비 10개와 관련되는 모든 경보의 발생원인과 조치사항을 I & C Diagram, Logic Diagram 그리고 해당기기의 설명서를 면밀히 검토, 분석하여 필요한 사항을 도출했다.

■ **신속성, 정확성, 편리성 적용기준(☞ TAPES 개발)**

: 지원시스템 개발에 있어 신속성, 정확성, 편리성은 시스템 구현시 반영해야할 근본원칙이다. 이 조건을 만족시킴으로써 화력발전 시스템의 경보처리에 실질적인 활용을 기대할 수 있다.

**I. 각 항목별 TAPES 적용에 따른 이용자 만족도에 관한 설문**

1. TAPES 설비를 운영함에 있어서 현장에서의 정확한 신호와 이의 전달 상태에 의한 경보를 발생시켜주는 **현장성**에 대한 귀하의 생각은 무엇이라고 생각하십니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

2. 현장신호 중에서 비정상적인 상태의 신호가 시스템에 입력되어서 경보로 연결되어 질 때 **정확성**에 대해서는 어떻게 생각하십니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

3. 경보신호의 발생과정에서 여러 가지 복잡한 제어회로나 로직회로를 거치지 않고 프로그램 된 대로 즉각적인 동작을 하는 **단순성**에 대한 귀하의 의견을 나타내 주신다면 무엇이라고 생각하십니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

4. TAPES 설비를 운용하면서 여러 가지 응용자료를 수용하고 제거할 수 있는지의 기능을 확인할 수 있는 **지식확장의 용이성**에 대한 귀하의 의견은 무엇입니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

5. 발전설비를 운전하면서 각종 현장신호와 경보신호의 구분과정이 명확하게 인지되며, 경보지원 시스템의 사용에 대한 편리성은 어떠하다고 생각하십니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

6. 발전설비 운전 중 여러 가지 요인에 의한 설비의 비정상 상태의 신호를 감지했을 때, 이에 따른 동작상황을 분석해 보면 응답시간의 적합성은 어떠하다고 생각하십니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

7. 전체적인 TAPES 설비를 운영하면서 발전설비와의 연계성과 상호 의존성을 파악해 볼 수 있는 운전업무의 지원성에 대한 귀하의 의견은 무엇입니까?

①	②	③	④	⑤
불량하다	미약하다	보통이다	양호하다	우수하다

II. 다음은 일반사항에 관련된 질문입니다.

1. 귀하의 직군은 무엇입니까?

- 1) 발전전기 2) 발전기계

2. 귀하의 연령은 다음중 무엇입니까?

- 1) 25세 이하 2) 26~30세 3) 31~35세 4) 36~40세 5) 41세 이상

3. 귀직종에 종사한 기간은 얼마입니까?

- 1) 3년 이하 2) 4~6년 3) 7~10년 4) 11~14년 5) 15년 이상

4. 귀하의 학력은?

- 1) 고졸 2) 전문졸 3) 대졸 4) 대학원졸

5. 귀하께서 TAPES 설비를 사용한 경력은 어느 정도입니까?

- 1) 6개월 이하 2) 1년 이하 3) 2년 이하 4) 3년 미만 5) 3년 이상

※ 바쁘신 중에도 끝까지 응답해 주신 직원 여러분께 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.