

# 기계설비 이상진단 기법의 Expert화

Expert for technique of fault diagnosis

吳 在 應\*, 崔 炳 旭\*\*  
Jae Eung Oh Byung Wok Choi

## 1. 서 론

기계가 계속 정지하지 않고 작동하고 있을 때 기기의 어느 부분에 이상한 곳이 발생한다. 사람도 마찬가지로 신체의 어느 부위가 이상한 상태가 발생한다. 이와 같이 이상이 발생하는 곳 혹은 이상한 부위의 영향이 아직 표면화 되지 않은 사이에 적절한 처리(maintenance 혹은 치료)가 가능하다면 커다란 사고를 미연에 방지할 수 있다. 이것은 고장의 조기진단이며, 인간이라면 조기진단에 의한 질환의 발견, 요양이 필요하게 될 것이다. 이에 대해서 시스템내의 이상이 고장으로 표면화된 경우에 어떻게 하여 이렇게 됐는가를 그 원인과 결과를 생각하는 것이 사후진단이다. 이와 같은 어떠한 진단도 플랜트 및 인간의 하드웨어 뿐만 아니라 컴퓨터 프로그램의 소프트웨어를 대상으로 하기 때문에 상당히 폭이 넓은 분야라고 말할 수 있다.

이와 같이 고장진단은 하드웨어, 소프트웨어로부터 플랜트의 건전성을 보완하며 또한 최근의 공장자동화에 있어서는 24시간 운영을 실현하기 때문에 필요불가결한 기술이다. 따라서 종래부터 maintenance중에 설비진단 기술으로써 연구되어 왔는데 최근에는 수명예측 기술에로 확장되어 왔다. 종래의 진단에는 주

로 통계적 방법 및 패턴분류를 중심으로 한 판별법이나 crester 분석에 대해서 연구되어 왔다. 이에 대해서 최근에는 1970년대 expert 시스템에 의한 진단, 추론의 응용이 매우 활발하게 연구되고 있다.

여기서 본 해설에는 종래의 통계적 방법을 기초로 한 각종 진단방법과 expert 시스템에 의한 진단방법을 비교하면서 구조 및 문제점, 앞으로의 연구방향에 대해서 기술하고자 한다.

## 2. 통계적 기법과 expert 시스템

일반적으로 고장진단에 있어서는 Fig.1에 표시한 원인 및 결과가 있으며 그 결과가 프로세스의 고장으로써 표면화한 것이기 때문에 고장징후 vector라고 부른다. 고장진단으로는 그 징후로부터 원인을 추정하는 것이다. 그런데, 이 프로세스의 구조는 단순하지 않기 때문에 징후로부터 원인을 추정하기 위해 각종 방법이 종래부터 많이 연구되고 있다.

그 하나의 예로써, 프로세스를 미크로적으로 보는 것으로부터 원인과 결과(징후)의 모델을 베이스론적이고 수학적으로 기술한 방법이다. 정상상태의 모델을 구하는 것에 의해 정상시 모델로부터 편차 벡터의 크기와 방향을 구하여 통계적 검증을 하여 진단을 수행하기

\* 한양대 정밀기계공학과

\*\* 한양대 전자통신공학과

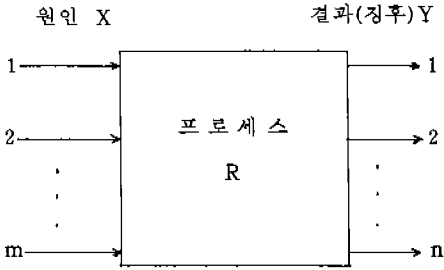


Fig. 1 고장의 발생

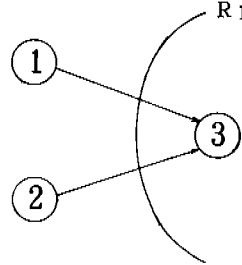
때문에 이 방법은 전에 작성한 모델의 정도와 모델의 크기(변수의 수)에 의존하게 되기 때문에 실용적이지 않다. 따라서 고장모델을 수학적으로 구하지 않고 원인 결과가 되는 CCT(Cause Consequence Tree)를 작성하는 고장진단의 방법이 제안되었다. 이것은 각각의 고장원인이 어떻게 파급되어갈 것인가를 효율적으로 나타내기 때문에 이 방법은 원자로의 이상진단 등에 연구되어 왔다. 말하자면 하나 하나의 물리현상이 구체적으로 전개된 형태로 기술된 것이지만 그 기술은 대규모시스템이 되면 될수록 부분적으로 유사한 기술을 포함하는 것이다. 다만, CCT에 있어서는 가능한 주관적 판단은 제외하고 물리적 인과관계에 의거한 모델이 작성되기 때문에 완전한 것이라고는 말할 수 없다.

Expert 시스템은 AI의 연구중에 지식공학의 응용분야로써 출현되어 온 것이지만 고장진단에는 상기한 마이크로모델화 보다 매크로모델화를 취한 것으로 해석할 수 있다. 또한 상기의 CCT가 Tree상으로 전개되는 것에 대하여 초기단계에는 전문가의 주관적 기술을 IF~, THEN~의 형식으로 표현하여 하나 하나의 event에 대해서 Tree상으로 전개하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 그후, 물리적현상도 IF~, THEN~의 형식으로 표현하는 것에 따라 그 기능의 기술을 포함한 고장진단용 expert 시스템도 개발되어 왔다. 이와 같은 expert 시스템은 CCT와 비교하여 compact하고 진단모델도 비교적 용이하게 작성될 수 있기 때문에, 현재 실용시험단계에 있다고 말할 수 있다.

### 3. 고장진단용 expert 시스템의 구조

인간이 갖고 있는 지식은 간단히 기술하기 힘들기 때문에 그 미묘한 표현을 나타내기란 힘든 일이다. 따라서 인공지능 연구자들은 그 인간의 지식을 나타내기 위해 몇 가지 방법을 제시하였는데 그것이 production rule, semantic net, Frame 등이다. 특히 진단에는 MYCIN류의 rule base의 production 시스템을 기초로 한 원인 및 결과의 인과관계에 관한 지식을 조합한 결론을 유도하는 것이 압도적으로 많으며 또한 실용적인 시스템도 많다. 여기서 초기의 진단시스템 MYCIN 등의 expert 시스템에 이용되어 있는 production 시스템을 이용한 진단에 대해서 서술하고자 한다.

진단시스템은 얻어진 결과(징후) Y로부터 원인 X를 추정하는 것이 된다. 이 원인탐색 과정이 IF(징후), THEN(원인) rule로 기술되는 것이 rule base의 진단시스템이다. Fig. 2는 IF~, THEN rule을 그래프로 표현한 것이며, rule 자체가 이들의 AND/OR로 결합된다. 진단은 Fig. 1의 반대로 수행하는 것이기 때문에 징후 Y로부터 원인 X를 Fig. 3과



R1: IF 1 AND 2, THEN 3

Fig. 2 IF~ THEN rule의 표현

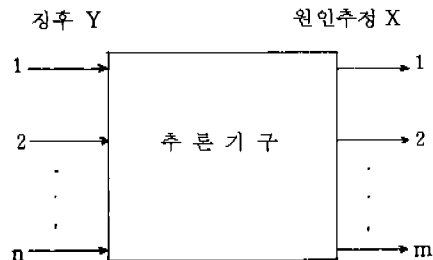


Fig. 3 고장진단

같이 추정하는 것이며 이 추론방식에는 기본적으로 두 가지가 있다.

(1) Forward chaining 추론(데이터 구동형)

이 추론은 징후 Y로부터 원인 X에 향하여 각각의 사실에 대한 진위를 판단하여 가도록 한다. 최종적으로 「진」으로 된 것은 고장의 원인으로 검출되지만, 복잡한 시스템은 중간변수를 모두 만들어냄으로써 진단 목적에는 효율이 나쁘게 된다.

(2) Backward chaining 추론(목표지향형)

이 추론에는 반대로 IF~, THEN rule의 THEN 부에 대한 원인의 가설을 하나씩 모아 그 진위의 정도를 알아 보는 것이다. 즉 원인 X가 성립한다고 가정하면 그 징후 Y가 성립되어 있을까 어떨까를 판정하여 성립하지 않은 경우는 「진」으로 하고 이것을 「진」으로 하는 징후가 어떤지 반복하게 된다. 이 과정으로부터 명확한 바와 같이 허위로 되면 그 전에 것과 대조(matching) 수행하지 않는다. 이 밖에 이들을 조합한 것이 있다. 이들의 추론 제어의 흐름은 Fig.4에 나타내었다. 여기

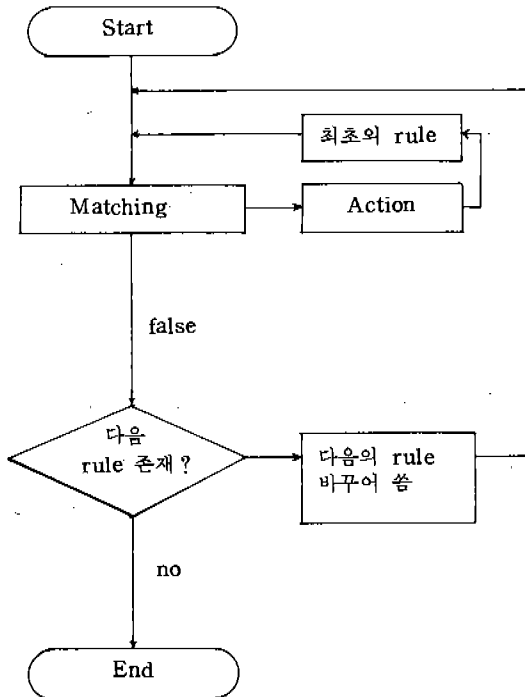


Fig.4 제어의 흐름도

서 진단을 위한 지식을 무엇인가의 방법으로 rule의 형으로 모을 수 있다면 Fig.5에 나타낸 하나의 production 시스템을 구축하는 것이 가능하고 또한 data base 부도 production 시스템을 구축하는 것이 가능하다. data base

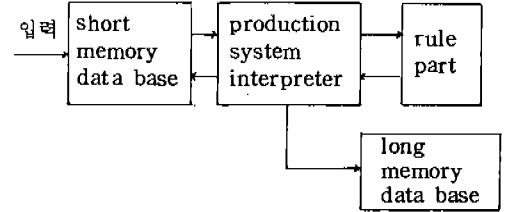


Fig.5 expert 시스템의 구조

부는 production 시스템에 의해 다시 쓰는 대상이 되는 기호열이 축적되는 부분이다. 특히, short 메모리와 long 메모리가 있으며 전자는 외부로부터 입력된 처리대상정보의 기호열이며 후자는 처리된 정보이고 지식 데이터 베이스를 형성한다. production 시스템의 interpreter는 production 시스템 내부에 어떤 rule 부의 rule을 이용하여 입력된 short 메모리의 기호열과 대조한다. 이것이 「진」일 때는 그 rule 부의 action 부를 실행하는 것이다. 이와 같은 expert 시스템을 만드는 데는 언어로써 문자처리용의 LISP나 Prolog 등이 사용된다. 고장진단용에는 그 문자처리도 많지 않기 때문에 Basic, C, PASCAL 등의 언어나 데이터 베이스 언어를 이용하여 expert 시스템을 작성할 수 있다.

4. 고장 진단용 기법의 응용예

고장 진단용 기법으로써는 Conditioning monitoring 기술이 연구되고 있으며 적용방법에 따라 1) Run-to-break method, 2) Time-based preventive maintenance method, 3) On-Condition Maintenance로 분류된다. 기계의 성능을 대별할 수 있는 측정 변수의 선정 방법은 1) dynamic method, 2) Non-destructive Test, 3) Contaminant Inspection Method, 4) Trend analysis 등이다. 특히 Marsins와 Gerges는 시간영역에서 Martine

은 스펙트럼 해석법에 의해 진동특성에 의한 베어링 손상에 대해서 연구하였으며 J. E. OH 등은 Bispectrum과 Cepstrum 해석법에 의해 베어링 이상진단에 관하여 연구를 하였다.

또한 A. E 초음파 탐상에 의한 결합탐지와 배관 진단용 로봇의 개발 등이 있다. 통계적 수법을 이용한 센서의 이상진단, 이상진단을 위한 최적센서의 배치에 관한 연구 등이 있다. 마이크로 프로세서를 이용한 원자로 압력용기, 화력발전 플랜트의 진단에 등 많은 연구가 수행되고 있다.

### 5. 이상진단을 위한 expert 시스템의 응용에

여기서 고장진단용 expert 시스템을 자동차 산업에 적용한 응용예를 소개하면 다음과 같다.

현재 자동차 고장 진단에 있어서는 정비공

장의 정비사의 지식과 경험에 의존하는 면이 많지만 차량용 제어시스템은 성능 향상과 신기능 추가 때문에 시스템의 사양이 점차적으로 새로운 것으로 변천하고 있다. 이들 시스템의 고도화, 복잡화에 따른 시스템의 사양, 기능을 숙지하지 않기 때문에 확실한 진단을 하는 것은 곤란하게 된다. 여기서 AI의 기법을 활용하여 전문가의 지식을 체계화하여 컴퓨터에 축적함으로써 진단의 지원을 수행하려고 하는 것으로 생각된다.

엔진 고장진단 expert 시스템의 구축에는 지식구조와 추론기능을 어떻게 설계할 것인가가 중요하다. 지식표현으로써는(IF~, THEN~)로 표현되는 production rule과 지식구조를 반영시키는 frame구조가 있다. 일반적으로는

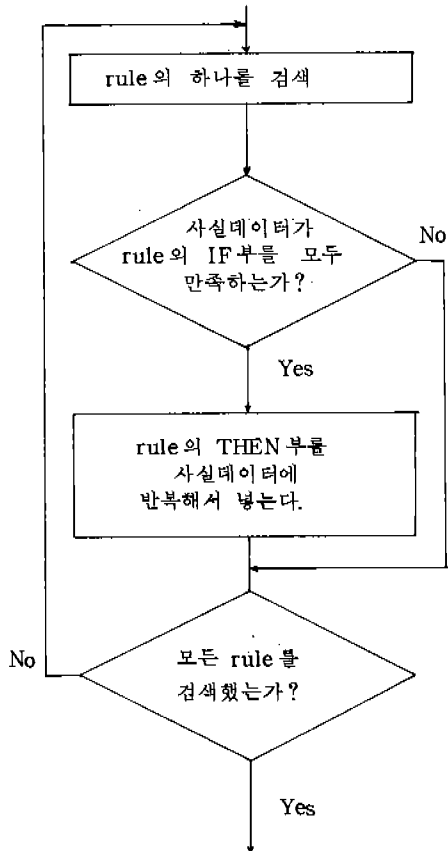


Fig.6 Forward chaining 추론

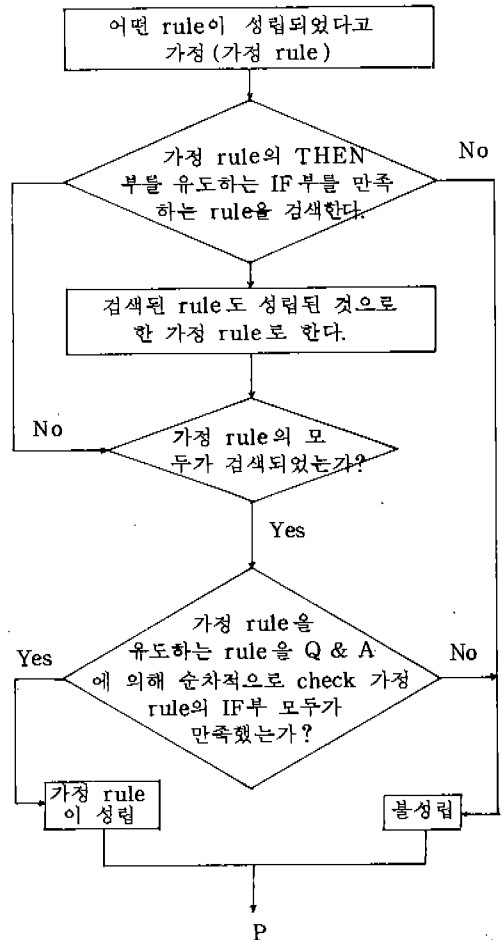


Fig.7 Backward chaining 추론

이용의 편리함으로부터 productional rule 이 사용되고 있다.

추론기능으로는 forward 탐색(Fig.6), backward 탐색(Fig.7) 등을 조사하여 고장장소를 알아내도록 하였다. 이 검출법으로써 진단 expert 시스템으로 채용된 일반적 approach 로써는 다음 2가지의 방법이 있다. 한 가지는 부품과 부품과의 접속을 추론으로 구해 고장장소를 검출하는 방법이고, 다른 한 가지는 현상으로부터 원인을 전문가가 경험적으로 얻은 결과를 축적하여 know-how로써 추론을 수행하고 고장장소를 검출하는 것이다. 실제의 진단 expert 시스템은 이들 approach를 잘 조화하여 구축하도록 한다. 여기서 시스템의 진단 순서를 flow chart 화한 것을 Fig.8에 나타내었다. 현상원인의 지식표현에는 production rule 을 채용하고 있다. 먼저 누구든지 이

상하다고 느끼는 현상으로부터 대체적인 원인 규명을 적극적으로 forward 전체의 탐색추론 으로부터 수행한다.

더우기 원인을 검출하기 위해서 필요한 점검방법을 제시한 점검결과를 입력하는 문답식 진단을 backward 로 추론을 행하여 진단결과와 수리방법을 제시한다.

### 6. 고장진단용 expert시스템의 특징

Expert 시스템이 종래의 통계적 진단법과 비교하여 좋다고 말할 수 있는 점은 그 설명기능일 것이다. 즉 왜 이와 같은 진단을 행하였는가, 그 추론과정을 나타내주기 때문이다. 종래의 방법에는 진단의 방법을 나타내지 않고 그 결과만을 나타내기 때문에 그 이유를 인간측이 생각하도록 되어 있다. expert 시스템은 그 원인 탐색의 단계에서 어디까지 원인후보를 축소할 것인가를 나타내는 것이 가능하기 때문에 인간측이 그 이유를 추적하여 결론에 이르는 길을 용이하게 이해할 수 있다. 또한 그 원인 후보를 진으로 하기 위해서 사실(징후)의 조합을 모두 용이하게 나타낼 수 있기 때문에 check list로 써도 이용 가치가 높다. 새로운 rule 을 작성 변경하여 시스템에 작성하여 넣는 것이 용이하는 것등 시스템의 확장성이 크다. 이것은 전에 서술한 CCT 등은 그 구조가 명확히 정하여져 있고, 도중의 한 곳을 변경 수정하는 것이 상당히 번잡하게 되는 것에 비하여 expert 시스템은 유연하게 대처할 수 있다.

더우기 고장진단만이 아니라, 진단 대상으로 하는 시스템의 종합적 유지관리의 점으로 그 진단 결과의 활용법(수리방법, 시스템의 운전 방법 등)을 넣어 종합화할 수 있다. 즉 단순한 고장진단만으로 끝나지 않고 total 시스템의 maintenance 가 진단-보수-운전의 closed-loop의 형태로 구성될 수 있다. 그 중에는 물론 각 부품의 고장 이력등의 데이터 베이스도 넣는 것이 가능하다. 예로써, maintenance 의 operator 나 로봇의 배치, 운전 계획, maintenance 의 계획, 수명예측 등을 넣

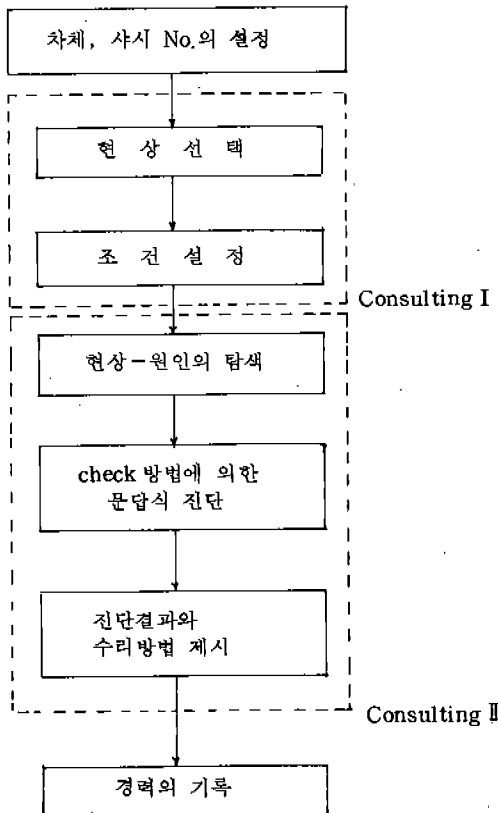


Fig.8 엔진진단 expert 시스템의 진단순서

는 것이 가능하다. 그 결과, 종래의 maintenance를 보다 체계적으로 수행 할 수 있다.

## 7. Expert 시스템의 문제점과 전망

이와 같이 전도가 열리는 시스템 이지만 그 유연성(flexibility) 때문에 문제점도 남아 있다. 그 중에 가장 큰 것은 누군가 지식을 창출해내 정리해 내는 것이다. 일반적으로 expert 시스템을 만드는 사람 A와 고장진단에 중사하는 사람 B가 별도의 사람인 것이 압도적으로 많다. 이때에 A가 B의 지식을 충분히 흡수할 수 있는지가 좋은 시스템이 되는 결정적인 요인이다. 종래의 진단에는 시스템의 취급 범위가 한정되어 적은 영역만을 취급하였기 때문에 비교적 쉬웠지만 대상이 대규모로 됨에 따라 B도 복수로 되고 그 정확성도 문제가 된다. 이때문에 이와 같은 지식을 획득하기 위해 expert 시스템이 연구되고 있지만 현재 아직 사람손에 의존하는 경우가 많다.

다음에 고장진단 expert 시스템은 미묘한 인간의 감 또는 애매한 표현을 넣을 수가 있다. 이것은 인간의 언어표현과의 관변으로 B로부터 A에 충분히 지식을 전달하는 것이 가능하지 않기 때문이다. A와 B는 동일한 환경속에서 작업감각을 갖고 있지 않기 때문에 언어에 의한 방법만 얻어진다. 또한 다른 방법으로 정보전달이 가능하다고 해도 이것을 컴퓨터 프로그램의 형식으로 표현하는 것이 어렵다. 예를 들어서 회전기계의 베어링부가 이상음을 발생시키는 경우 이것이 간헐적으로 음의 상태에 따라 베어링부의 윤활부족이나 coupling 부의 마모 등 예상되는 이상현상도 다르게 나타난다. 플랜트 현장의 operator 에는 체험적으로 알고 있는 event 일지라도 언어표현을 하는 것이 상당히 어려운 것이 많기 때문이다. 이와 같이 expert 시스템의 핵이 되는 추론 mechanism에 넣는 rule화한 지식이 충분히 현실성을 갖는 것이 아니면 안된다. 더우기, 현재의 expert 시스템은 시간의 인자가 넣어진 경우는 거의 없고 모든 event는 동시성을 가정하지 않으면 안된다. 이것은 하나

의 event와 다른 event가 일어나 그 결과가 일어나는 경우일 것이다. 두 개의 event의 시간적 추이관계는 실제의 고장진단에는 중요하에도 불구하고, 이를 취급하는 것은 거의 없다.

또한, expert 시스템의 체계에 대한 지식에 오류나 모순이 있으면 시스템 전체는 잘못된 결과나 무한 loop를 만들어 결과가 나오지 않을 염려가 있다. 카운터를 넣어 looping을 방지하는 방법이 고려되지만 이들을 방지하는 관점만 보면 적극적인 방법이다. 현재까지의 고장진단 시스템의 경우에는 소규모적인 것이 많고 rule수도 적기 때문에 손작업으로 이를 지식을 모으게 되었지만 대규모로 되는 경우는 이들을 자동적으로 수행할 필요가 있다. 이때 문에도 경제적 지식과 물리적 기능적 지능을 합하여 각각의 지식의 정당성을 검증하는 것이 필요하다. 이때 물리적 기능적 지식으로는 반드시 미분 방정식으로 기술되는 「Quantitative」 뿐만 아니라 「Qualitative」한 것으로 설명할 수 있다면 좋다고 생각된다.

고장 진단에는 추정할 만한 원인의 수와 expert 시스템으로 이용되는 rule의 수와의 관계로 시스템 효율의 관점으로부터 중요하며 종래 그다지 거론되지 않았던 문제이다. 시스템의 구조가 커지면 커질수록 rule의 수가 많게 되고, 컴퓨터내에 지식을 넣기 위해서는 시간이 길리게 되지만 인간은 지식을 만드는 데는 그렇게 시간이 걸리지 않는다. 이와 같은 효과적인 지식을 만드는 것은 「indexing」 문제로서 연구되고 있으며 「연상기억」의 모델과 함께 실시간의 제어진단시스템으로써 중요하며, 앞으로의 연구가 기대된다.

또한, 종래의 통계적기법과 설비진단 등에 스펙트럼해석기법 등 정밀진단기법을 가미하여 실시간 데이터 처리기능을 갖는 고장진단 시스템의 요구가 높다. 이와 같은 기능을 넣어 로봇트화를 할 수 있는 고장진단 본래의 시스템 maintenance의 일익을 담당하는 종합적인 시스템도 앞으로의 연구과제일 것이다.

### 8. 결 론

설비 이상 진단의 입장에서부터 종래의 통계적 기법으로부터 현재의 expert 시스템에 이르는 과정을 설명하였으며 특히 자동차의 ex-

pert 시스템을 예로 들어 고장진단 expert 시스템의 구조와 문제점 및 앞으로의 연구전망을 서술하였다.