

# 확신도 기법을 적용한 선박엔진 고장진단 전문가시스템 구현에 관한 연구

정 경 열\* · 최 욱 현\*\* · 임 현 호\*\*\* · 류 길 수\*\*\*\*

A Study on the Implementation of A Ship Engine  
Diagnosis Expert System Using Certainty Factor

K. Y. Chung\* · W. H. Choi\*\* · H. H. Lim\*\*\* · K. S. Rhyu\*\*\*\*

〈 목 차 〉	
Abstract	
1. 서론	3.1 선박엔진의 객체지향분석 및 확신도 속성 정리
2. 이상상태의 분석 및 결정테이블 의 작성	3.2 확신도 기법의 적용
2.1 이상상태의 분석	4. 선박기관실 모니터링시스템과 고정진단시스템의 통합
2.2 결정테이블의 결정	5. 결론
3. 지식베이스의 구축	※참고문헌

## Abstract

This paper presents the design and implementation of a diagnosis system incorporating with a monitoring system. We classified the ship engine into the sub parts as similarly a experts classification method, acquired the causal relation between measuring data and fault states in consultation with experts, constructed a rule-base using them, and adopted a certainty-factor method in order to handle uncertainties of evidences and rules. When alarms occur, the system infers diagnostic conclusion by using certainty factor obtained from an alarm state (one of 4 levels) and an alarm datum's trend (one of 3 levels), and the certainty factor of a related rule (one of 3 levels).

Key words

Certainty-factor, Rule-base system, Decision table, Qualitative Analysis

\* 한국기계연구원

\*\* 한국해양대학교 대학원

\*\*\* KT 전기

\*\*\*\* 한국해양대학교 교수

## 1. 서 론

선박엔진의 동작상태에 대한 감시와 경보에 대한 빠르고 적절한 조치는 선박운항의 안전성과 경제성을 위해서 매우 중요하다. 또한 기관사의 고장원인에 대한 오판으로 적절한 조치를 취하지 않으면 더 큰 문제를 야기할 수 있다. 따라서 기관사의 객관적인 판단을 도와주는 고장진단 시스템이 요구되고 있다.<sup>[1]-[3]</sup>

지금까지 고장진단 시스템에 관한 연구로는 정성적 모델과 정성적 시뮬레이션을 이용한 방법<sup>[4]</sup>, 정성적 모델과 정량적 모델을 동시에 이용한 방법<sup>[5]</sup>, 발전소와 같은 복잡한 시스템을 기능적이고 구조적으로 구분하여 이들을 계층적으로 나타내어 추론시간을 단축하고자 한 방법<sup>[6]</sup>, 이산사건 모델링을 통한 고장진단 방법<sup>[7]</sup> 등의 여러 가지 방법들이 발표되고 있으나, 복잡한 시스템에서의 적용에는 한계를 보이고 있다.

본 논문은 기관실 모니터링 시스템과 연동할 수 있는 엔진고장진단시스템의 개발을 목적으로 하고 있다. 즉 모니터링시스템이 이상 상태를 감지하게 되면 경보메시지를 발생시킴과 동시에 진단시스템에게 경보의 종류와 계측항목의 트렌드를 전송하도록 하여 진단시스템 내에 구현된 규칙베이스를 이용하여 고장의 원인을 추론해 주는 시스템의 구현에 대하여 논한다. 이러한 시스템에서 가장 중요한 것은 규칙 베이스의 구축과 추론방법의 결정이다. 본 논문에서는 기관사가 엔진동작에 이상이 발생하였을 때 그 원인을 찾는 방법인 경험적인 지식과 운영 매뉴얼을 참조하는 방법으로 지식베이스를 구현하였으며, 증거와 지식의 불확실성을 다루기 위해서 확신도 기법을 적용하였다. 이를 위해 계측항목과 이상 상태의 관계를 강·중·약으로 모델링하여 결정테이블로 만들어 두고, 이것으로부터 진단모델의 규칙을 추출하여 규칙베이스가 구축되도록 하였다. 계측항목 중에서 경보가 발생한 데이터에 대해서는 경보의 단계를 High-High, High, Low, Low-Low의 네 단계로 분류하여 각각에 서로 다른 확신도를 부여했으며, 데이터의 트렌드를 증가, 일정, 감소의 세 가지 정성적 상태로 분류하여 이에 대한 확신도를 부여했다. 이 두 확신도의 결합으로부터 규칙의 확신도가 구해지도록 하였다. 따라서 시스템은 경보가 발생하면 해당 계측항목과 이와 관련된 규칙으로부터 새로운 확신도를 구함으로써 고장원인을 추론하게 된다.

시스템의 구현을 위해서는 객체지향기법과 규칙베이스를 지원하는 뉴런데이터사의 IRE를 사용하여 효율적으로 지식베이스를 구축하였다.<sup>[8]-[9]</sup>

## 2. 이상상태의 분석 및 결정테이블의 작성

### 2.1 이상상태의 분석

매뉴얼 참조와 전문가 상담을 통해 선박엔진의 시스템 자체이상에 관한 100여 개의 이

상상태를 조사하여 분석하였다. 그리고 이상상태를 가동부 이상, 발전기 이상, 열교환 이상, 냉각 이상, 흡배기 이상, 연료공급 이상, 유회 이상으로 분류하고, 또 각각을 세부항목으로 정리하였다. Table 1은 연료공급이상에 관련된 이상을 조사하고 분류한 것이다. 여기에서 가장 왼편으로부터 대 분류, 중 분류, 소 분류 순서로 정리하였다.

## 2.2 결정테이블의 작성

전문가와의 인터뷰를 통해 계측항목과 이상상태의 인과 관계를 결정테이블로 나타내었다. 특히 계측항목과 이상상태의 관계를 강·중·약의 정성적인 값으로 표현하고 이런 지식의 불확실성을 처리하기 위해서 추론 기구에서 확신도 기법을 적용하도록 하였다. Table 2는 계측항목과 이상상태의 인과 관계를 결정테이블로 나타낸 일부이다. 여기에서 “강”은 계측항목과 이상상태의 인과관계가 대단히 강함을 나타내며, “중”은 보통, “약”은 약간의 관계가 있음을 나타내고, 빈곳은 전혀 관계가 없음을 의미한다.

Table 1 Classification Table for The Abnormal of Fuel Oil Feeding

연료공급이상	연료성상불량		-사용연료의 질 불량 -연료에 공기 혼입 -연료에 물 혼입
	연료공급량 부족	연료유량부족	-연료서비스 탱크유량부족 -연료공급펌프의고장 -연료필터 막힘 -연료공급배관으로부터 누설 -연료배관 막힘
		연료분사량부족	-고압파이프 누설및 균열 -분사펌프의 이상 -분사밸브의 이상 -연료온도상승 -가버너의 이상
	연료공급량과잉	연료유량과잉	-연료온도이상 -연료피이드백배관 막힘
		연료분사량과잉	-분사펌프의 이상 -분사밸브의 이상 -가버너의 이상
	연료분사시기의 이상	분사펌프의 이상	-타핏트롤러 또는 캠 마모 -타핏트 조정 나사의 이완 -분사펌프의 베어링조립불량

Table 2 A Part of Decision Table made by Causal-relation between Measuring Items and Abnormal States

계측항목	이상상태	사용연료 질불량	연료에 공기 혼합	연료에 물 혼합	연료탱크 유부족	연료공급 펌프고장	연료필터 막힘	연료배관 막힘	연료공급 배누설	고압 파이프 누설	분사 프 의 상
001	외기온도										
002	실내온도										
101	기관 회전수		강	약	중	약	중	중	중	강	강
102	급기압력										
103	급기온도										
104	배기온도(기통별)	중	약	중	중	강	강	강	강	강	강
112	과급기입구배기온도	중	약	중	약	중	중	중	중	중	중
113	과급기출구배기온도		중	중	중	중	중		중	중	중
114	배기배압										
115	기관입구냉각수온도										
116	기관출구냉각수온도				약	약	약	약	약	약	약
117	기관입구윤활유온도										
118	기관출구윤활유온도										
119	연료유온도	중	약	약	약						
120	연료유량	강	강	강	강	강	강	강	강	강	강
121	기관진동		약	약	약	약	약	약	약	중	중
301	열교환기입구온도1	중	중	중							
304	열교환기출구온도1	중	중	중							

### 3. 지식베이스의 구축

#### 3.1 선박엔진의 객체지향분석 및 확신도 속성 정의

선박용 엔진에는 메인 엔진과 발전기엔진의 두 종류가 있다. 발전기엔진과 메인 엔진은 같은 디젤엔진이라는 점에서 매우 유사하다. 따라서 본 논문에서는 발전기 엔진만을 모델링하였다. 엔진의 전체적인 모습을 간략화 하면 Fig. 1과 같다.

엔진의 구성요소를 나타내기 위해 Fig. 2와 같이 엔진의 주요 구성요소를 객체로 정의하여, 이것을 계측항목이라는 클래스와 통합하고, 센서의 계측항목을 객체의 속성으로 정의하였다. 이렇게 함으로써 엔진의 전체적인 구조를 명확하게 파악할 수 있도록 하였으며, 분석 때 구성된 클래스의 내용을 규칙베이스의 구현에 그대로 적용함으로써 계층적인 규칙베이스를 구현하도록 하였고, 계측항목, 확신도, 트렌드 등의 자료관리를 효율적으로 할 수 있었다. 계측항목 클래스에 확신도 속성을 정의하여 상속관계에 의해서 모든 계측항목이 확신도 속성을 가지게 하였다. 확신도 속성은 계측항목에 발생한 경보의 종류와 트렌드에 의해서 구해진 확신도 값이 저장되게 된다.



이상상태의 경우에는 Fig. 3과 같이 시스템 자체 이상이라는 클래스를 정의하고 세부 이상상태를 그것의 상속을 받는 객체로 정의하였다. 시스템 자체이상 클래스에 확신도 속성을 주어 하위 객체들이 확신도 속성을 가지게 하고 이상상태의 확신도를 계산하는 메소드를 클래스에 정의하여 경보발생시 각 이상상태의 확신도를 자동으로 계산하도록 하였다.

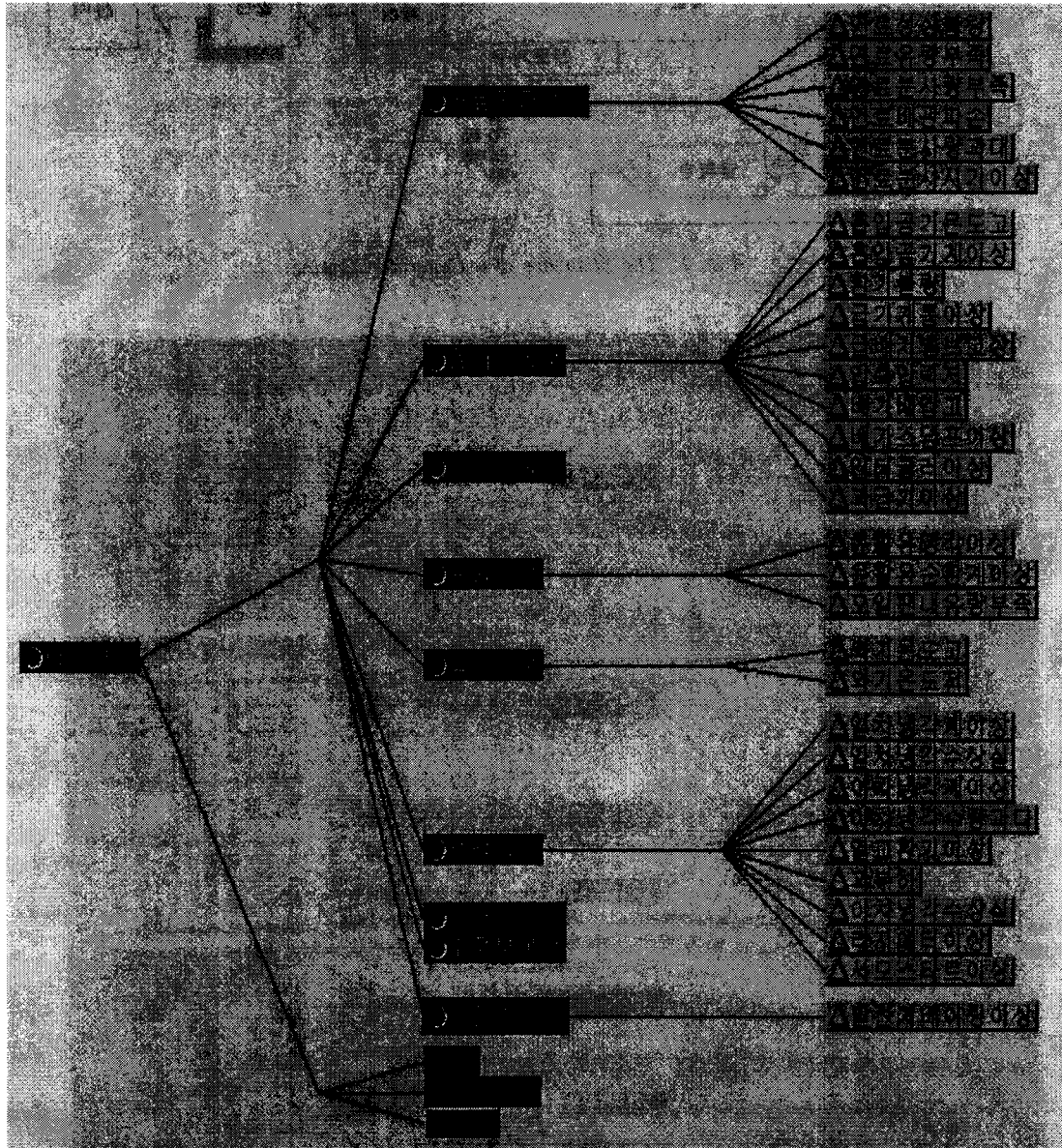


Fig. 3 Hierarchy for Abnormal State of a Engine

### 3.2 확신도 기법의 적용

본 논문에서 사용하는 고장진단 기법에는 두 가지의 불확실성이 존재한다. 한가지는 모니터링 시스템으로부터 받은 경보의 불확실성이고, 다른 한가지는 전문가의 조언으로 만들어진 결정데이터의 수치들의 불확실성이다.

먼저, 경보의 단계를 High-High, High, Low, Low-Low의 네 단계로 분류하고, 계측치의 변화상태를 상승, 일정, 하강으로 분류하였다. 경보 발생시 경보의 단계와 계측치의 변화상태에 따라서 경보에 대한 확신도는 달라지게 된다.

두 번째로 계측항목과 이상상태의 관계에서 서로의 인과관계의 강약을 표현하는데 불확실성이 존재한다. 여기서 전문가는 인과관계를 강·중·약의 단계로 제시해 주었고, 이것에 따라서 다른 확신도를 적용하였다. 현재에는 “강”인 경우를 1.0, “중”인 경우를 0.6, “약”인 경우를 0.2로 할당하였다.

지금 If E Then H 라는 규칙에서 E라는 증거에 불확실성이 존재하는 경우 H라는 결론을 추론하는 데에는 E자체와 규칙자체에 각각 불확실성이 존재한다. 이 경우 결론에 대한 확신도는 다음 식에 의해 구할 수 있다. 여기에서 CF(H,e)는 결론에 대한 확신도, CF(H,E)는 규칙의 확신도, CF(E,e)는 증거에 대한 확신도이다. [11]

$$CF(H, e) = CF(E, e) \times CF(H, E)$$

이것을 보다 구체적으로 나타낸 것이 Fig. 4이다.

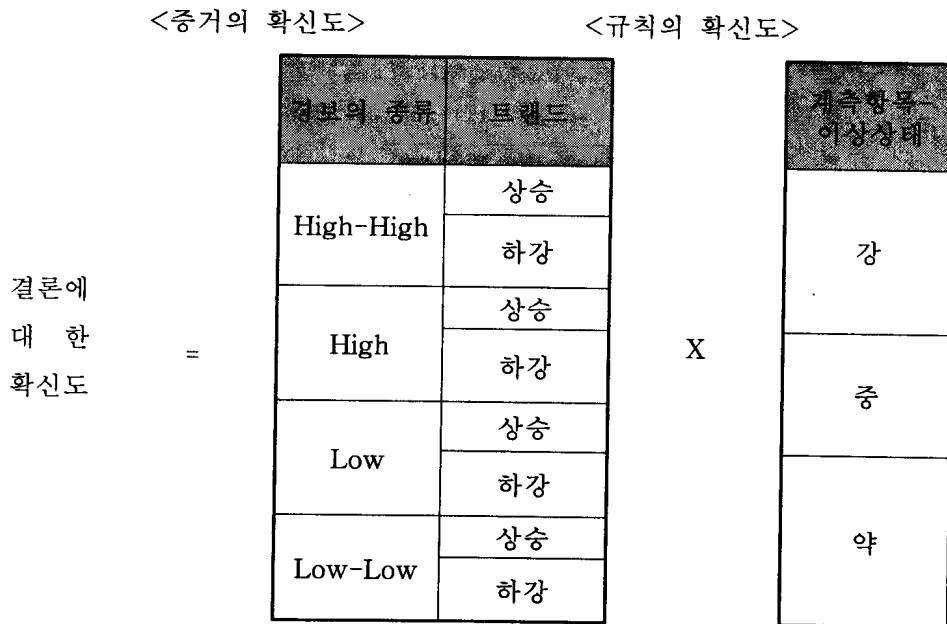


Fig. 4 The calculus method of certainty factors for rules conclusion

Table 2 계측항목과 이상상태의 관계에서 보면 여러 개의 계측항목이 한 개의 이상상태와 관계를 가지는 것을 볼 수 있다. 여기에서 한 개의 이상상태와 관련 있는 두 개 이상의 계측항목에서 경보가 발생하면 그 이상상태의 확신도는 다시 구해져야 한다. 이런 경우의 확신도를 구하는 것은 여러 개의 규칙이 동일한 가설을 결론으로 할 때 확신도를 구하는 방법과 동일하다. 두 개의 규칙의 확신도를 각각 CF1 과 CF2 라고 하면 이 두 개의 규칙의 결합된 확신도는 다음과 같다.

$$CF(CF_1, CF_2) = \begin{cases} CF_1 + CF_2(1 - CF_1) & (\text{두개의 확신도모두} > 0) \\ \frac{CF_1 + CF_2}{1 - \min(|CF_1|, |CF_2|)} & (\text{두개의 부호가 다를때}) \\ CF_1 + CF_2(1 + CF_1) & (\text{두개 확신도모두} < 0\text{일때}) \end{cases}$$

세 개 이상의 확신도를 결합할 때는 먼저 두 개를 결합한 후 그 결과에 세 번째의 확신도를 결합하는 식으로 계산하면 된다.

#### 4. 선박기관실 모니터링시스템과 고장진단시스템의 통합

Fig. 5는 선박엔진 고장진단시스템과 기관실 모니터링시스템과의 통합된 구성도를 보여주고 있다. 먼저 모니터링 시스템이 분산네트워크를 통해서 데이터를 수집하여, 경보를 판단하게 된다. 그리고 이 경보메시지를 고장진단 시스템에 전송하고, 고장진단시스템은 이 경보메시지를 이용하여 고장의 원인을 찾는다. 이때 고장진단시스템의 지식베이스와 추론엔진이 작동하게 된다.

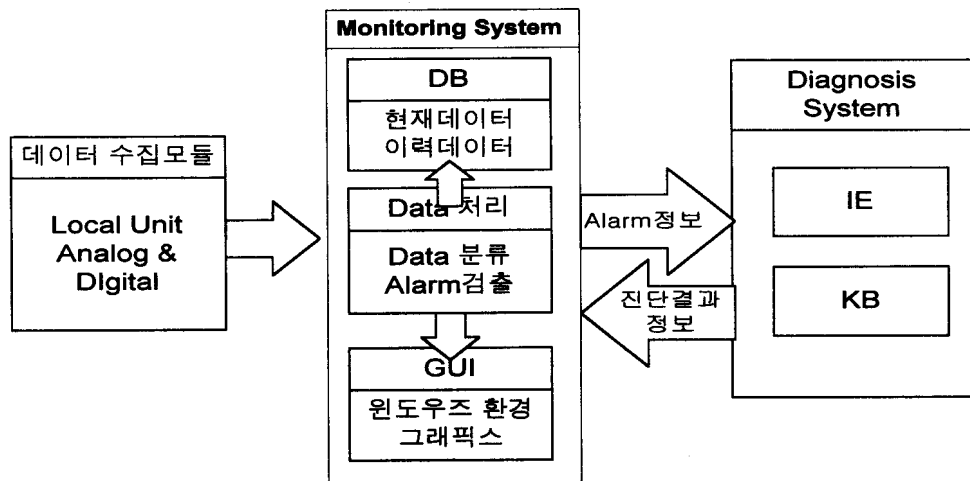


Fig. 5 Integration of a Monitoring System and a Diagnosis System



Fig. 6은 본 논문에서 이용한 전문가 시스템 개발도구 IRE에 의한 고장진단 시스템의 추론과정을 보여주고 있다. 우선 모니터링시스템에서 경보가 발생하면 경보와 관련된 데이터를 진단시스템으로 보낸다. 이 데이터를 받은 진단시스템은 먼저 패턴매칭 기법을 적용하여 각 규칙의 확신도를 구한다. 그렇게 확신도를 가지게 된 계측항목은 추론엔진의 우선순위 큐(Agenda)에 올려지고, 추론시작 명령에 의해서 연쇄적으로 추론이 이루어진다.

추론의 결과로는 고장의 원인으로서는 가능성이 있는 이상상태와 각 이상상태의 확신도가 여러개 구해진다.

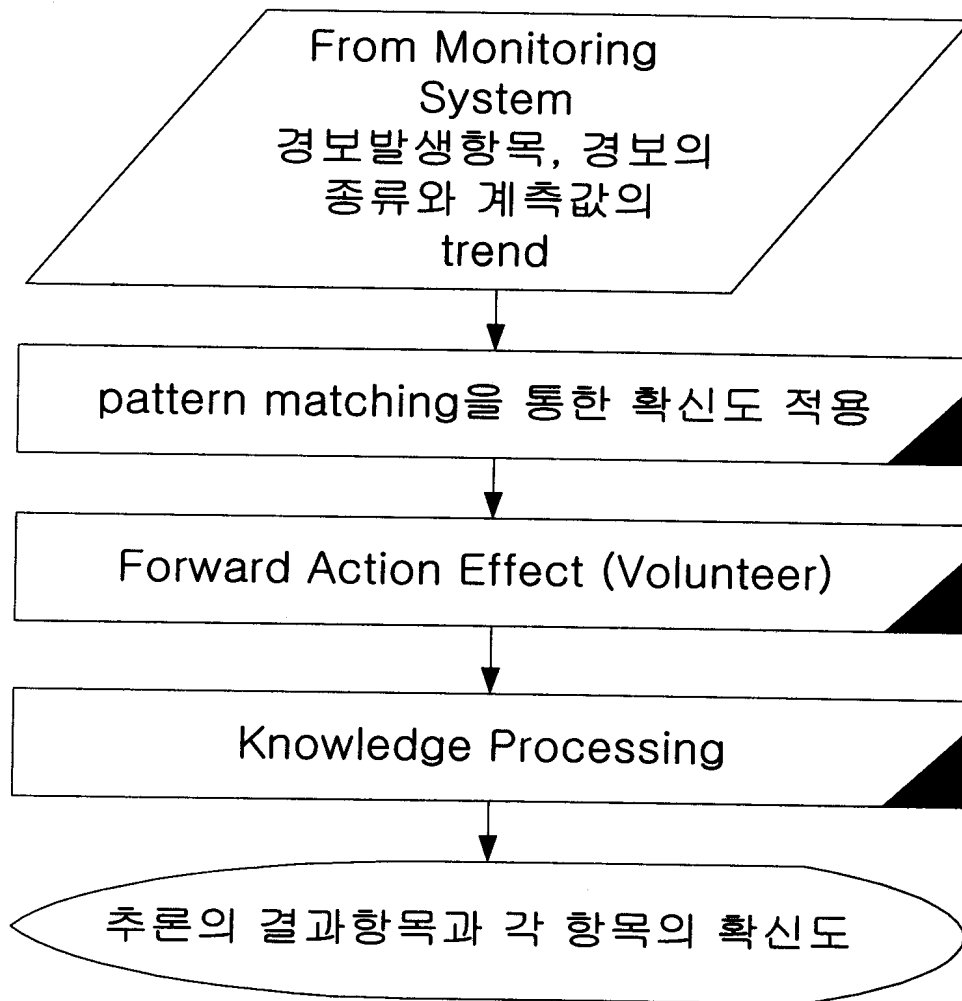


Fig. 6 Reasoning Process of our Diagnosis System Using IRE

## 5. 결 론

선박엔진 고장진단 시스템 구축을 위한 이상상태를 수집하고, 계층항목과 이상상태의 관계를 나타내는 테이블을 구성하였으며, 이것을 기반으로 지식베이스를 구현하였다. 그리고, 엔진을 객체지향분석기법으로 분석하기 위해 엔진을 서브계통으로 분류하고 다시 각 계층항목으로 분류하도록 하였다. 이렇게 구성된 계층항목 계층도와 이상상태 계층도를 지식베이스의 구현에 그대로 적용함으로써 클래스, 객체, 속성으로 이루어지는 체계적인 지식베이스의 구축이 가능하였다. 또한 지식베이스 시스템에서 필연적으로 존재하게 되는 증거와 지식의 불확실성을 다루는 데 확신도 기법을 적용하였으며, 기관실 모니터링 시스템과 연동하는 형태로 전체 시스템을 설계하였다.

현재 엔진의 객체 지향분석을 보다 더 상세화하고 있는 중이며, 이 때 선박엔진에 관련된 전문가의 조언이 필연적으로 뒤따르게 될 것이다. 금후에는 고장원인에 대한 자세한 조치방법을 설명하는 기능을 함께 제공함으로써, 기관사를 보조하고 비전문가를 교육할 수 있는 기능을 구현할 계획이다.

## 참 고 문 헌

- [1] John Durkin "Expert Systems Design and Development" Prentice Hall
- [2] 모경주의 3명 "화학 공정의 이상 진단을 위한 조업 지원 시스템의 개발" 전문가시스템학회지 제2권 제1호(1996. 6)
- [3] 정학영, 박현신 "경보처리 기반 진단 시스템 개발" 전문가시스템학회지 제4권 제1호(1998. 6)
- [4] N.Naito and S. Ohtsuka, "Intelligent Alarm Processing System for Nuclear Power Plants", Nuclear Technology Vol.109, pp.255-264 1995
- [5] S.Padalkar, G. Karsai, C. Biegl, and J. Sztipanouts, "Real-Time Fault Diagnostics", IEEE Expert, Vol.6, No.3, pp.75~85, 1991
- [6] K.S. Kang, "A Study on the Development of the on-Line Operator Aid System using Rule Based Expert System and Fuzzy Logic for Nuclear Power Plants", Ph.D Dissertation, KAIST Dept. of Nuclear Eng., 1995
- [7] J.M. Vision and L.H. Ungar, "Dynamic Process Monitoring and Fault Diagnosis with Qualitative Models", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.25, No.1, Jan. 1995
- [8] "Elements Environment Getting Started" Neuron Data
- [9] "Elements Environment User's Guide" Neuron Data
- [10] "Elements Environment IRE Language Programmer's Guide" Neuron Data
- [11] 이재규의 5명 공저 "전문가 시스템 원리와 개발" 법영사