하이브리드 지식표현을 이용한 선박엔진 고장진단시스템의 개발에 관한 연구

최 욱 현* · 류 길 수**

A Study on the Development of a Ship Engine Diagnosis System Using Hybrid Knowledge Representation

W. H. Choi* · K. S. Rhyu**

Abstract

This paper presents the design and implementation of ship engine diagnosis system using hybrid knowledge representation method and certainty-factor rule base. The Monitoring system of ship engine room gets measuring data in real-time from distributed local units, processes, displays on CRT and saves them in the database. The alarm management function checks the alarm state of the monitoring data. If the alarm occurs, it displays on CRT and saves at database. This ship engine diagnosis system uses this monitoring data and alarm data to diagnosis data. The knowledge representation is used object-oriented knowledge representation method. The diagnosis data and abnormal states are represented each objects and abstracted class of diagnosis data and class of abnormal state. We use object-oriented concepts that are object hierarchical structure, inheritance, method, pattern matching etc. then we can construct knowledge base effectively. We use certainty-factor method for handling uncertainties of evidence and rule. The certainty-factor rule-base is developed using pattern matching and method that is attached at each abnormal state objects.

* 한국해양대학교 제어계측공학과 석사과정
** 한국해양대학교 자동화 · 정보공학부 교수

1. 서 론

선박엔진의 운전중 동작상태의 감시와 경보에 대한 빠르고, 적당한 조치는 선박운항의 안전성과 경제성을 위해서 매우 중요하다. 더욱이 기관사의 고장원인에 대한 오판으로 조치의 적기를 놓치면 더 큰 문제를 야기 할 수 있다. 그런 이유로 기관사의 객관적인 판단을 도와주는 고장진단 전문가시스템이 요구되어 왔다.

본 논문에서는 선박엔진을 대상으로 하여 객체지향기법과 규칙기반기법을 함께 사용하는 복합지식표현기법으로 고장진단시스템을 구축하는 방법을 제안한다. 규칙기반 지식베이스는 규칙의 수가 많아지면 지식을 분류, 검색하기가 어렵게 되는 단점이 있으며, 이것을 객체지향기법의 클래스(Class)를 이용하여 보완해 줄 수 있다.[1],[8] 그리고 객체지향기법의 클래스 계층구조, 상속, 메소드 등의 유용한 기법들을 활용해서 규칙을 작성함으로서 구조적이고 이해하기 쉬운 지식베이스의 구현이 가능해진다.

2. 결정테이블의 작성

2.1 배기가스계통의 분석

Fig. 1은 배기가스 계통의 연결도를 나타내고 있다. 배기온도 센서 1번부터 6번까지는 병렬로 연결됨으로써 경보가 어느 한곳에서라도 발생하게 되면 배기온도 9번, 과급기 출구온도에 영향을 미치게 되어 배기가스계통에 이상이 발생한 것으로 간주된다. 이와 같은 센서들의 연결 형태는 OR관계로 표시될 수 있다.

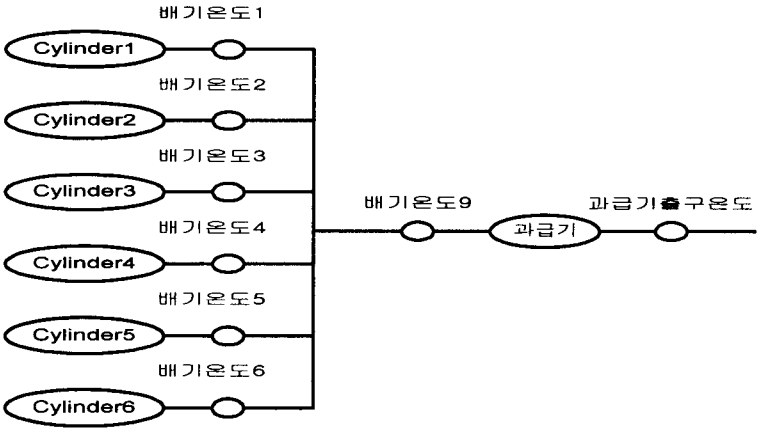

Fig. 1 Pipeline of Exhaust Gas

dCollection

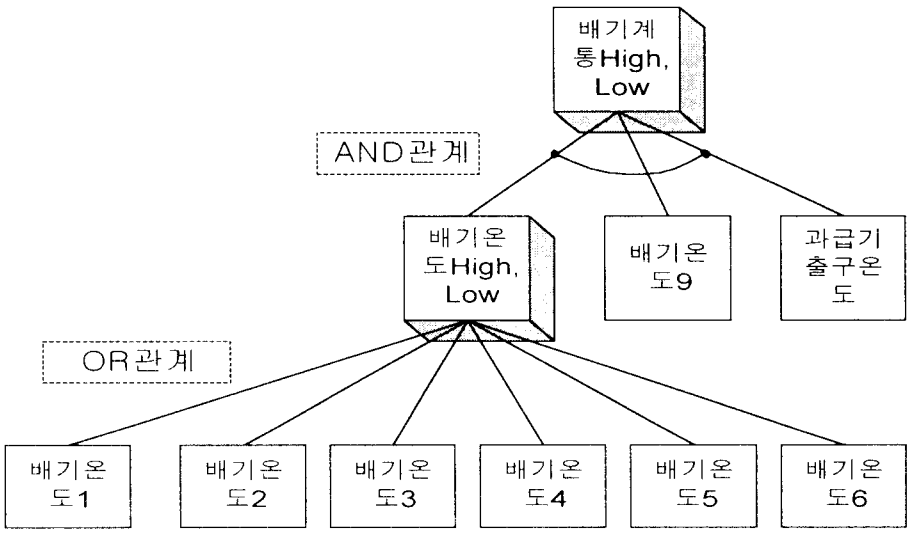

Fig. 2 AND/OR Graph of Exhaust Gas Pipeline

배기온도 1~6번과 배기온도 9번, 과급기출구온도 사이는 직렬로 연결됨으로서 AND 관계가 성립한다. 만약 배기온도 1번 센서에 경보가 발생했는데 배기온도 9번에 경보가 발생하지 않았다면 엔진자체 이상이 아닌 센서의 이상등에서 경보의 원인을 찾아보아야 할 것이다. 이런 배기계통의 관계를 AND/OR 그래프로 표시하면 Fig. 2와 같다. 여기에서 새로운 객체 배기온도High, 배기온도Low, 배기계통High, 배기계통Low를 추가로 정의하였다.

2.2 결정 테이블(Decision Table)의 작성

어떤 센서의 계측 값이 정상값을 벗어나면 전문가는 시스템에 대한 지식과 운영 경험에 의해서 원인을 추측 할 수 있을 것이다, 특히 한 개의 계측 값 보다 여러 개의 계측 값이 동시에 정상치를 벗어나면서 이 계측항목들이 특정 원인과 관계가 있다면 그 원인에 대한 확신은 증가할 것이다. 이렇게 전문가 어떤 계측항목의 경보와 인과관계가 깊은 고장을 경험과 학습을 통해서 알고있기 때문에 어떤 계측항목에 경보가 발생하면 경보의 원인이 되는 고장을 추론할 수 있다. 이런 전문가의 문제 해결과정을 본 논문에서는 계측항목과 이상상태의 인과관계의 강약을 표시하는 표를 작성하여, 이 표를 바탕으로 규칙베이스를 구현함으로써 전문가의 문제 해결 능력을 모방하였다.

dCollection

Table 1 Diagnosis Data

번호	항목명칭	번호	항목명칭
1	배기온도1(고)(저)	15	급기온도(고)
2	배기온도2(고)(저)	16	급기압력(저)
3	배기온도3(고)(저)	17	윤활유압력(저)
4	배기온도4(고)(저)	18	배기배압(고)
5	배기온도5(고)(저)	19-20	열교환기출입구온도차1(대)(소)
6	배기온도6(고)(저)	20	열교환기출구온도1(고)(저)
7-10	과급기출입구온도차A(대소)	21-22	열교환기출입구온도차2(대)(소)
8-10	과급기출입구온도차B(대소)	22	열교환기출구온도2(고)(저)
9	배기온도9(고)(저)	24	발전기축수온도(고)
10	과급기출구온도(고)(저)	25	기관진동(대소)
12	기관출구냉각수온도(고)	28	발전기주파수(증)(감)
13-12	윤활유냉각수온도차(대)	31	연료유량(대)(소)
14	흡입공기온도(고)(저)	32	기관회전수(증)(감)

Table 2 Decision Table made by Causal-relation between Measuring Items and Abnormal State

진단데이터 \ 이상현상		연료성상불량	사용연료질불량	연료에공기혼합	연료에물혼합	연료유량의불량	연료탱크유량부족	연료탱크밸브고장	연료탱크결함	연료배관의결함	연료공급배관누설	연료분사부족
001	외기온도											
002	실내온도											
101	기관 회전수	중		강	약	중	중	약	중	중	중	강
102	급기압력											
103	급기온도	중	중	약	중	강	중	강	강	강	강	강
104	배기온도	중	중	약	중	중	약	중	중	중	중	중
112	과급기입구배기온도	약		중	중		중	중	중		중	중
113	과급기출구배기온도											
114	배기배압											
115	기관입구냉각수온도					약	약	약	약	약	약	약
116	기관출구냉각수온도											
117	기관입구윤활유온도											
118	기관출구윤활유온도	약	중	약	약	약	약					
119	연료유온도	강	강	강	강	강	강	강	강	강	강	강
120	연료유량도											
121	시동용배터리전압	약		약	약	약	약	약	약	약	약	약
301	열교환기입구온도1	강	강	강	강	중	중	강	강	강	약	강
304	열교환기출구온도2	중	중	중	중	중						

dCollection

먼저 계측항목에서 진단에 필요한 데이터를 추출하여 진단데이터를 만들었다. 진단데이터는 Table 1과 같다. 이것은 계측항목의 경보를 기반으로 이상상태를 추론하는데 필요한 데이터이다. 진단데이터와 이상상태의 인과관계를 결정테이블로 나타낸 것이다. 여기에서 강·중·약은 진단데이터와 이상상태의 인과관계를 정성적인 값으로 표현한 것을 의미한다.

2.3 센서데이터의 정성적 해석

전문가는 수치로서 출력되는 센서의 데이터를 확인하고, 이것을 높다, 정상이다, 낮다의 정성적인 표현으로 인식하여 그것에 따른 적당한 조치를 취한다. 이것처럼 전문가 시스템도 이상진단을 위해서는 데이터 수집모듈(Data Acquisition Module)을 통해서 수집한 정량적인 데이터를 추론에 이용할 수 있는 정성적인 데이터(진단데이터)로 해석하는 과정이 필요하다. 이와 같이 수치적인 센서 값으로부터 추론에 사용할 수 있는 유용한 정보를 추출해 내는 것을 정성적인 해석이라고 한다. 정성적인 해석은 현재 센서 값의 경향(Trend)을 구하는 처리를 포함하고 있다.

본 논문에서는 경보의 종류를 한계점검법(Limit Checking)을 사용하여 High-High, High, Low, Low-Low의 단계로 나누어서 분류하고, 센서 값의 트랜드는 증가, 정상, 하강으로 구분한다.

3. 객체지향 지식 표현

본 논문에서는 지식베이스를 구축하기 이전에, 수집하고 분석한 데이터를 기반으로 클래스와 인스턴스, 속성, 메소드를 정의하는 객체지향 지식 표현을 통한 클래스와 객체를 정의하였다.

3.1 진단데이터 객체의 정의

계측항목으로부터 이상상태를 진단하는데 필요한 데이터를 추출하여 이것을 진단데이터 객체로 선언하였다. Table 2를 바탕으로 진단데이터 클래스를 선언하고, 하나 하나의 진단데이터를 인스턴스 객체로 정의하였다. Fig. 3은 이런 진단데이터 클래스의 구조를 보여주고 있다.

dCollection

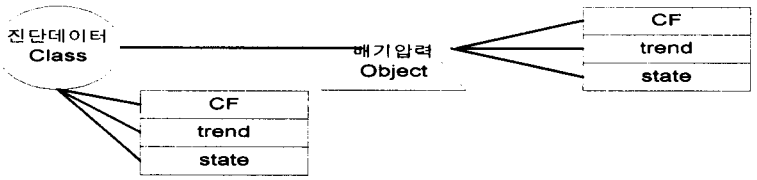

Fig. 3 Hierarchical Architecture Diagram of Diagnosis Data

진단데이터 객체는 각각 CF, state, trend의 세 개의 슬롯을 가진다. CF 슬롯은 각 진단데이터의 확신도 값을 저장하는 슬롯이고, state 슬롯은 현재의 진단데이터의 경보의 종류를 저장한다. trend 슬롯은 현재 각 진단데이터의 변화 상태, 즉 트랜드를 저장한다. 이 슬롯들은 상위의 진단데이터 클래스에 속성으로 선언하여 하위의 각각의 인스턴스 객체들이 이것을 상속받게 하였다.

3.2 이상상태 객체의 정의

본 논문에서 판단할 이상상태를 정하여 이상상태 객체를 정의하였다. 이상상태라는 슈퍼클래스를 선언하고, 그 아래 이상상태를 분류하여 서버클래스를 선언하였다. 그리고 이상상태 항목들을 인스턴스 객체로 선언하였다. Fig. 4는 간략화 시킨 이상상태 클래스의 계층도를 보여준다. 각각의 이상상태 객체는 확신도를 저장하는 CF 슬롯을 가진다. CF 속성을 이상상태 슈퍼클래스에 선언함으로 하위의 서브클래스와 인스턴스 객체에 까지 상속된다. 그리고 각각의 이상상태는 확신도 값을 계산할 수 있는 메소드를 가진다.

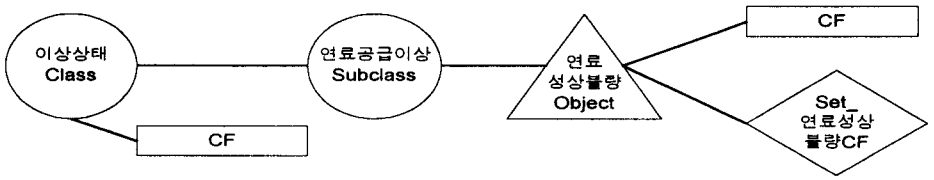

Fig. 4 Hierarchical Architecture Diagram of Abnormal State

3.3 확신도 객체의 정의

확신도 클래스는 경보의 불확실성을 표현하는 증거CF 객체와 전문가가 제시한 계측항

dCollection

목과 이상상태의 인과 관계의 불확실성을 표현하는 규칙CF 객체를 가진다. 규칙CF는 강, 중, 약의 속성을 가진다. 속성은 여러 번의 실험 끝에 적당한 확신도 값을 부여받도록 하였다. 증거CF는 경보의 종류를 모두 속성으로 가진다. Fig. 5는 확신도 클래스의 계층도를 보여준다.

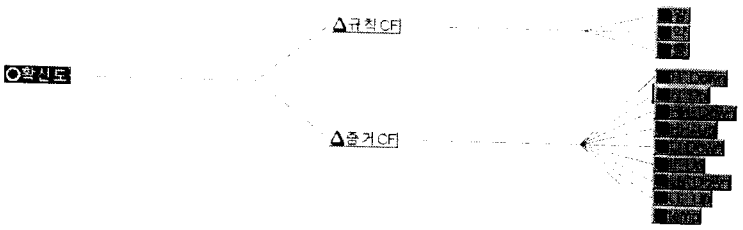

Fig. 5 Object Network Diagram of Certainty-factor Class

4.규칙베이스의 구현

4.1 확신도 적용 규칙

진단데이터 항목마다 확신도 값을 부여하는 패턴매칭 규칙은 Fig. 6과 같다. 이 규칙은 진단데이터 클래스에 정의된 모든 객체들의 state와 trend를 평가하여 "High"이면서 "Down"의 조건이 만족되면, 이 진단데이터 객체의 CF 속성에는 증거CF 클래스의 H_Down 슬롯의 값이 할당된다. 이와 같은 패턴매칭 규칙을 경보의 종류별로 구현하여 적용하였다.

```
RULE :  Rule R_H_Down
If      <|진단데이터|>.state is precisely equal to "High"
And <|진단데이터|>.trend is precisely equal to "Down"
Then H_Down is confirmed.
And 증거CF.H_Down is assigned to <|진단데이터|>.CF
```

Fig. 6 Pattern Matching Rule for Certainty-factor Support

dCollection

4.2 이상상태의 추론

패턴매칭이 적용된 이후에는 알람이 발생한 모든 진단데이터의 CF 속성은 특정 값을 가지게 된다. 이렇게 진단데이터가 확신도 값을 가지게 되면 전 방향 추론(forward reasoning)이 이루어져서 진단데이터의 CF를 조건부에 가지는 규칙(rule)들이 연쇄적으로 전 방향 추론이 이루어지게 된다.

Fig. 7은 배기계통의 규칙 네트워크를 보여주고 있다. Fig. 2 배기계통 AND/OR 그래프를 바탕으로 IRE를 이용하여 규칙베이스를 구현한 것이다. 배기온도 1번부터 6번은 OR관계로 연결되고, 배기온도High 가설이 만족된다. 배기온도High와 배기온도 9번, 과급기 출구온도는 AND 관계로 이루어지며 배기계통High 가설을 만족한다.

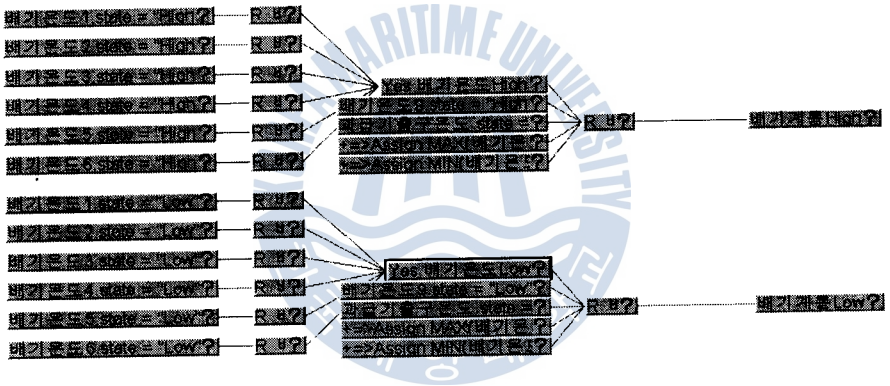

Fig. 7 Rule Network of Exhaust Gas Pipeline

Fig. 8은 배기온도 1번이 High의 경보 상태를 가질 때 배기온도High 가설이 만족하는 규칙이다.

RULE : Rule R_배기온도High
If 배기온도1.state is precisely equal to "High"
Then 배기온도High is confirmed.

Fig. 8 Rule for Temperature of Exhaust Gas

Fig. 9는 배기온도High 가설이 만족되고 배기온도 9번의 경보상태가 "High"이고, 과급

dCollection

기 출구온도의 경보상태가 "High"일 때 배기계통High의 가설이 만족되는 규칙이다. 배기계통High 가설이 만족되면 OR로 연결된 배기온도 1번부터 6번의 확신도는 최대값을 배기온도High의 확신도로 결정한다. 그리고 AND 관계로 연결되는 배기온도High와 배기온도 9번, 과급기출구온도의 확신도는 최소값을 취하여 배기계통High 의 확신도로 결정한다.

```
RULE : Rule R_배기계통High
If there is evidence of 배기온도High
And 배기온도9.state is precisely equal to "High"
And 과급기출구온도.state is precisely equal to "High"
Then 배기계통High is confirmed.
And MAX(배기온도1.CF,배기온도2.CF,배기온도3.CF,
배기온도4.CF,배기온도5.CF,배기온도6.CF)is assigned to 배기온도High.CF
And MIN(배기온도High.CF,배기온도9.CF,과급기출구온도.CF) is assigned to 배기계통High.CF
```

Fig. 9 Rule for Exhaust Gas Pipeline

Fig. 10은 연료분사량과대를 가설로 가지는 규칙들을 규칙 네트웍으로 표현한 것이다. Table 2 진단데이터항목과 이상상태 항목의 인과 관계를 표시한 결정테이블(Decision Table)을 바탕으로 구현하였다. 이상상태 연료분사량과대는 배기계통High, 기관진동(고), 기관회전수(고), 기관진동(저), 발전기주파수(고)의 경보와 인과 관계를 가진다. 경보들 간의 관계는 하나의 경보만 참이 되어도 연료분사량과대라는 가설이 만족되는 OR관계로 구현하였다.

Fig. 11은 이상상태 연료분사량과대를 가설로 가지는 대표적인 두 개의 규칙을 보여주고 있다. 규칙 "R_연료분사량과대"는 배기계통High라는 증거가 주어졌을 때 연료분사량 과대라는 가설이 만족되는 규칙이다. Fig. 3 규칙의 결론에 대한 확신도를 구하는 방법을 적용하여 결론의 확신도를 구한다. 그리고, 이상상태 연료분사량과대의 확신도를 구하는 메소드를 호출한다. 이때 결론의 확신도를 인자로서 넘겨준다. 규칙 "R_연료분사량과대_1"은 기간진동의 state 슬롯이 "High"라는 값을 가질 때 연료분사량과대라는 가설이 만족하는 규칙이다.

dCollection

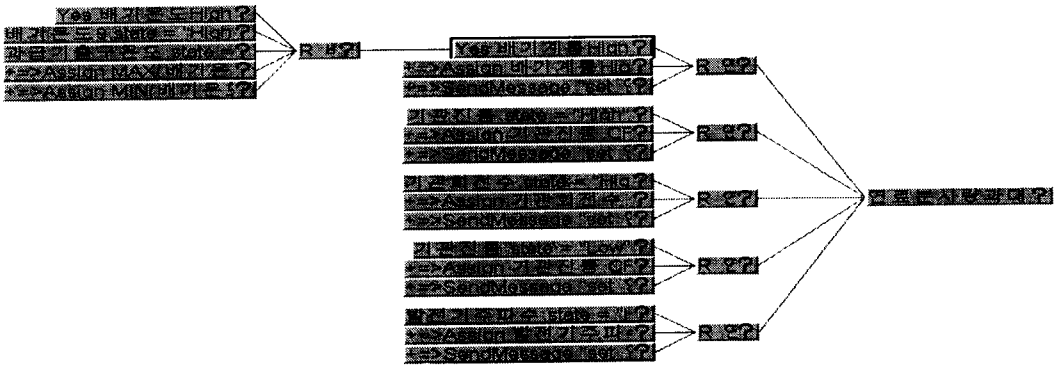

Fig. 10 Rule Network for The Abnormal State of Fuel Oil Injection Quantity

RULE : Rule R_연료분사량과대

If there is evidence of 배기계통High

Then 연료분사량과대 is confirmed.

And 배기계통High.CF*규칙CF.강 is assigned to 결론CF.temp

And Sending Message "set_연료분사량과대CF" @TO=<|이상상태|> ; @ARG1 = 증거CF.temp;

RULE : Rule R_연료분사량과대__1

If 기관진동.state is precisely equal to "High"

Then 연료분사량과대 is confirmed.

And 기관진동.CF*규칙CF.약 is assigned to 결론CF.temp

And Sending Message "set_연료분사량과대CF" @TO=<|이상상태|> ; @ARG1 = 증거CF.temp;

Fig. 11 Rule for The Abnormal State of Fuel Oil Feeding Overflow

4.3 인터페이스의 설계

Fig. 12는 인터페이스 프로그램을 도식하고 있다. 응용 프로그램의 초기화 단계에서 IRE를 초기화시키고, 지식베이스를 로드하고, Suggest나 Volunteer 할 지식베이스에서의 가설이나 슬롯 이름을 확보해 둔다. 그런 후 경보가 발생하면 모니터링 시스템으로부

dCollection

터 경보인식메시지가 전달되고, 이 메시지를 받은 고장진단 전처리 모듈은 데이터베이스를 액세스하여 진단데이터를 생성한다. 그리고 Suggest/Volunteer 명령을 이용하여 진단데이터를 초기화에서 확보해둔 지식베이스의 슬롯에 할당한다. 그리고 추론엔진을 구동시킨다. 마지막으로 추론의 결과를 화면에 표시하고, 지식베이스와 작업메모리를 초기화 상태로 돌려놓는다.

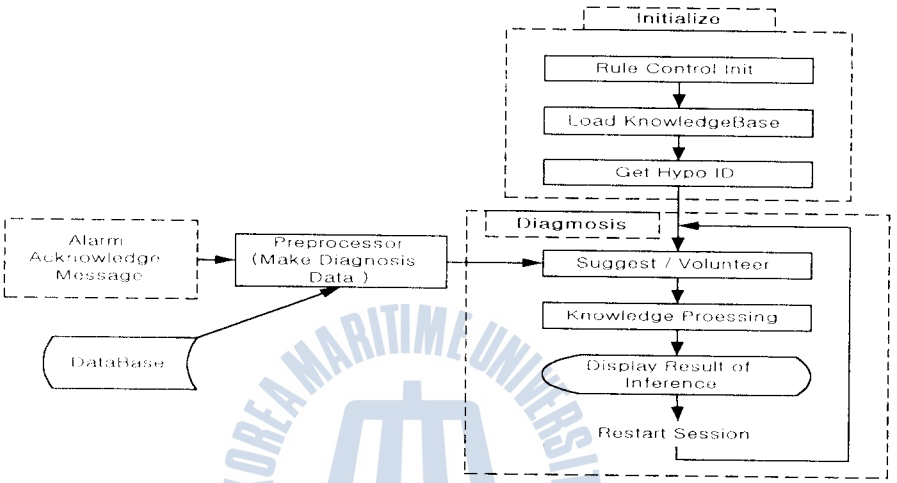

Fig. 12 Interface of a Diagnosis System

5. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 지식표현을 이용한 선박엔진 고장진단 시스템의 개발에 관하여 논하였다. 지식 표현 기법으로는 객체지향 표현 기법과 규칙기반 표현법을 이용하였으며, 전문가시스템의 구축에서 필연적으로 발생하는 증거와 지식의 불확실성 문제를 처리하기 위해서 확신도 기법을 적용하였다. 그리고 기존에 운영되고 있는 선박기관실 모니터링 시스템과 통합되는 형태로 고장진단시스템의 인터페이스를 설계하였다.

고장진단 능력을 강화하고, 고장예측 능력을 추가하고, 편리한 사용자 인터페이스를 지원하는 연구를 앞으로 연구과제로 남기고 있다.

참 고 문 헌

[1] "전문가 시스템 원리와 개발" 이재규 외 5명 공저, 법영사
[2] "전문가시스템의 응용과 사례분석" 이재규 외 5명 공저, 법영사

dCollection

[3] R. Khosla, T. Dillon" Enableing Technology for Diagnostic Applications" Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligent and Expert Systems
[4] 모경주외 3명 "화학 공정의 이상 진단을 위한 조업 지원 시스템의 개발" 전문가시스템학회지 제2권 제1호(1996. 6)
[5] Larry R. Medsker "Hybrid Neural Network and Expert Systems" Kluwer Academic Publishers
[6] 정학영, 박현신 "경보처리 기반 진단 시스템 개발" 전문가시스템학회지 제4권 제1호 (1998. 6)
[7] Satoshi Tanaka, Masao Okamachi "Operator Support System on Alarm Condition for Combined Cycle Power Plant"
[8] John Durkin "Expert Systems Design and Development" Prentice Hall
[9] 최욱현 외3명 "선박기관실 실시간모니터링 시스템의 HMI 구현에 관한 연구", 한국박용기관학회 1998년도 춘계학술대회
[10] "Elements Environment Getting Started" Neuron Data
[11] "Elements Environment User's Guide" Neuron Data
[12] "Elements Environment IRE Language Programmer's Guide" Neuron Data

dCollection