

## 지식기반 유조선 안전 적·양하 모니터링 시스템

이경호<sup>(1)</sup>, 박진형<sup>(2)</sup>, 이희용<sup>(2)</sup>, 서상현<sup>(2)</sup>, 권병곤<sup>(3)</sup>

### Knowledge-Based Loading/Discharging Monitoring System for a Crude Oil Tanker

by

Kyung Ho Lee<sup>(1)</sup>, Jin Hyung Park<sup>(2)</sup>, Hee Yong Lee<sup>(2)</sup>, Sang Hyun Seo<sup>(2)</sup>  
and Byung Kon Kwon<sup>(3)</sup>

#### 요 약

최근 들어, 컴퓨터와 전자장비의 기술 발전에 힘입어 대부분의 유조선에서도 자동 적·양하 시스템 장비들이 도입되고 있다. 그러나 과도한 자동화에 따른 기기 조작이 복잡해짐에 따라 사람의 조작 실수에 따른 사고의 가능성이 높아지고 있는 것이 사실이다. 즉, 비록 적·양하 작업이 전문가들에 조작되지만 전체 작업 과정에서의 인적 오류 가능성을 배제할 수 없으며, 현재 도입되어 있는 시스템들은 오조작에 대한 방지 및 시스템의 이상 상황을 진단하여 대안을 제시할 수 있는 기능을 보유하고 있지 않다. 유류와 관련된 사고는 엄청난 피해를 초래하기 때문에 본 시스템의 개발 목적은 완전 자동화 시스템을 지양하고, 안전을 고려한 시스템 개발을 추구하고 있다. 본 논문에서는 지식기반 모니터링 시스템 개발을 위한 적·양하 작업 분석과 시스템 작동 가이드 및 시스템의 이상 상황과 작업자의 오조작을 모니터링하여 이에 신속히 대응할 수 있는 시스템 설계에 대해 언급하였다.

#### Abstract

Recently, according to the rapid development of computer and electronic technology, most crude oil carriers adopt automated cargo handling system. But an excessive automation makes system so complicate that it could increase the possibility of accidents due to human error. Although a cargo handling process is done by an expert, the potential of accidents by human factor lies through the whole cargo handling procedure and the current automated system lacks of the functionality to prevent a mis-operation and diagnose the abnormal status of the system. Because the oil concerned accident could be almost a disaster, the primary goal of system development should not be a fully automated system but be a perfectly safe system. This paper deals with the analysis and design of an expert system which can provide mariner with the operational guidance

(1) 정희원, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, khlee@kriso.re.kr

(2) 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

(3) (주)인터백

and the facility of crisis management by monitoring system's abnormal condition and human's mis-operation.

Keywords: Loading/Discharging Monitoring System, Knowledge-Based Expert System, Realtime Monitoring, Socket Programming

### 1. 서 론

최근 들어 해양 환경에 대한 관심이 증대되면서 유조선의 운항 관리뿐만 아니라 부두 내에서의 유류 적하 및 양하 작업에 대한 안전 관리가 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 중요성 때문에 적·양하 작업에 대한 자동화가 상당 부분 이루어져 있으며, 이러한 자동화 시스템의 개발에 힘입어 선박 운용에 있어서 보다 적은 인원으로 도 안전하고 편리한 작업이 가능하게 되었다. 그러나 날로 복잡해지고 다양화되는 자동 제어 시스템의 발달에 따른 시스템 오조작 등의 인적요소(Human Factor)에 의한 사고 가능성은 점점 높아지고 있다(한국해양수산연수원[1998]).

본 연구의 목표가 되는 지식기반 유조선 적·양하 모니터링 시스템(Knowledge-Based Loading/ Discharging Monitoring System for a Crude Oil Tanker)의 필요성은 유조선 사고가 유류라는 화물의 특성상 심각한 환경 오염 및 막대한 재산상의 손실을 야기한다는 데 있다. 따라

서 적·양하 작업, 항해, 정박 작업 등 선박 운용의 모든 상황에서 화물과 관련된 유조선의 안전 상태를 감시하고 제어하는 시스템의 개발이 요구되고 있으며, 이러한 시스템은 적·양하 작업 중의 탱크의 유류 레벨 변화, 기본적인 밸브와 펌프 제어 등의 자동화 기능을 포함하고 하역 전문가의 수준에서 안전 상태를 감시하고 제어하는 기능을 가져야만 한다.

이러한 배경에서 숙련된 적·양하 전문가의 경험을 지능적으로 반영하여 최적의 적·양하 작업을 수행하며, 각 상황에서의 안전 상태를 감시하고 사고의 가능성을 진단하여 위험 상황에 대처할 수 있게 함으로써, 효율적인 적·양하 작업과 유류의 안전 수송에 크게 기여할 수 있는 유조선 안전 적·양하 모니터링 시스템이 개발될 수 있을 것이다.

본 논문에서는 유조선의 안전 적·양하 감시 및 제어 시스템의 구성과 특히 이 시스템의 핵심 모듈인 지식기반 적·양하 모니터링 시스템의 구현 과정 및 시스템 통합에 대해 기술하였다.

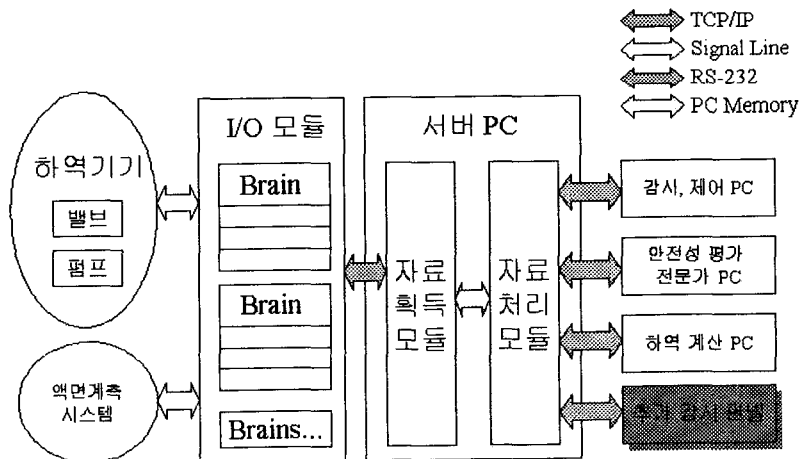


Fig. 1 System Configuration

## 2. 안전 적·양하 감시 및 제어 시스템의 구성

유조선의 안전 적·양하를 지원하기 위한 감시 및 제어 시스템은 하역 기기들로부터 정보를 수집하는 모듈과 수집된 정보를 바탕으로 오작동 여부를 판단하여 주고, 또한 작업자에게 현재의 종합적인 고려 사항들을 비교 분석하여 행동지침을 제시하여주는 전문가시스템(모니터링 시스템) 모듈, 기기들을 그래픽 기능을 통하여 감시(Monitoring)하기 위한 감시 패널 및 그래픽 제어 모듈, 그리고 이들간의 정보 인터페이스를 위한 I/O 모듈 등으로 구성되어 있다. Fig. 1은 구현된 시스템의 전체 구성도이다.

### 2.1 하드웨어 구성

본 연구에서는 주요 기기의 감시 및 제어 동작을 시험하기 위해 시범 시스템을 구성하였다. 구성된 시범 시스템에는 6개의 탱크와 탱크의 레벨 감지를 위한 액면 계측 시스템, 밸브, 구동 펌프 등이 있다. 또한 이들의 상태를 감시하고 제어하기 위한 제어 캐비닛이 있는데, 여기에는 3개의 브레인 콘트롤러와 밸브 구동을 위한 릴레이 장치, 전원 장치, 배선 연결장치 등이 설치되어 있다. Fig. 2는 시범 시스템으로 구성된 배관 및 물탱크의 설치 상태를 보여주고 있고, Fig. 3은 제어 콘솔 및 제어 캐비닛을 나타내고 있다.

### 2.2 소프트웨어 구성

앞서 언급한 하드웨어를 제어하기 위한 소프트웨

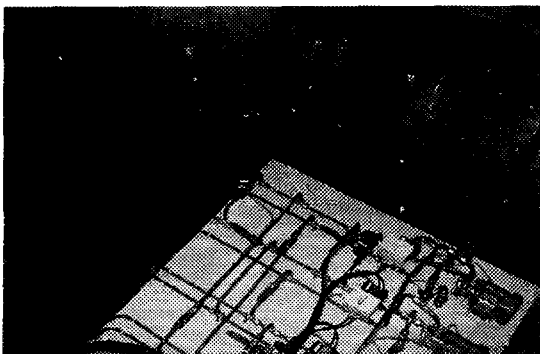


Fig. 2 Piping and Tanks of the Simulation System

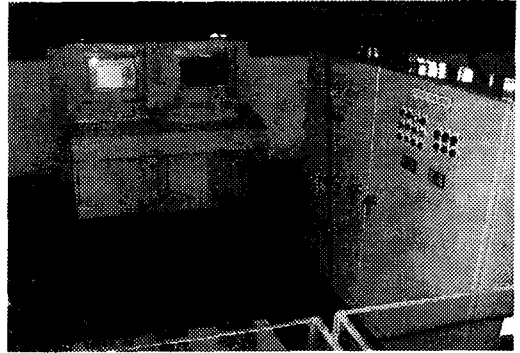


Fig. 3 Console and Control Cabinet of the Simulation System

어 시스템은 I/O 모듈을 포함하는 전체 콘트롤러를 관리하는 서버 시스템과 감시 및 제어를 담당하는 클라이언트 시스템, 작업 절차 및 작동을 감시하기 위한 지식기반 모니터링 시스템으로 구성된다.

#### 1) 시스템 등록 프로그램

인터넷으로 연결된 시스템은 감시 및 제어 프로그램만 있으면 어디서든 접속할 수 있다. Fig. 4는 각 시스템에서 서버로 사용되는 시스템의 IP 주소를 등록하고 로딩 프로그램의 주소와 각 콘트롤러의 IP 주소를 입력함으로써 시스템을 구성하기 위한 것이다.

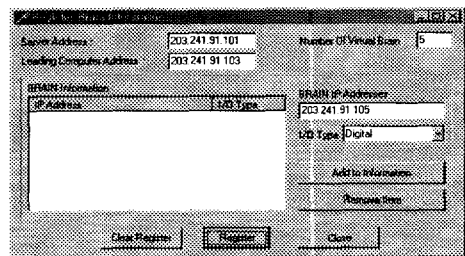


Fig. 4 Program for System Setup

#### 2) 서버 시스템

설치된 콘트롤러 및 I/O모듈에서 데이터를 획득하고 이를 접속한 각 클라이언트 시스템에 배포하는 기능을 한다. 시범 시스템에서는 콘트롤러가 모두 설치되지 않기 때문에 가상 콘트롤러라는 개념을 도입하여 마치 실제 콘트롤러가 있는 것처럼 데이터를 생성할 수 있다.

기본 기능으로 콘트롤러와 연결 기능, 연결을 확인하는 기능, 데이터를 수신하여 간단한 표시기에 그 결과를 보여주는 기능과 가상 콘트롤러의 데이터 설정 기능이 있다. 또한 접속한 클라이언트에 대한 접속 리스트를 유지하면서 접속과 단절된 상태를 감시하고 관리한다.

### 3) 감시 및 제어 프로그램

Fig. 5는 적·양하 작업시에 적·양하기기를 감시하고 제어하는 기본화면이다. 화면상의 그림객체를 선택하면(마우스 클릭) 대상 기기의 제어를 수행할 수 있다. 일정시간단위로 서버와 통신하면서 화면을 갱신한다.

### 4) 지식기반 모니터링 프로그램

지식기반 시스템에서는 적·양하 기기들로부터 들어오는 정보를 바탕으로 작업이 정상적으로 진행되고 있는지 감시하면서 위험 상황에서의 알람 및 대처 방안을 제시하여 준다.

## 3. 지식기반 적·양하 모니터링 시스템 구현

유조선의 적·양하 작업은 숙련된 전문가에 의해 이루어지고 있지만 항상 인적과실에 의한 위험요소를 가지고 있으며, 이로 인한 피해를 고려하면 작업 과정에서 발생하는 모든 상황을 감시(Monitoring)하고 이를 분석하여 만일의 사고에 신속히 대처할 수 있는 체계의 구축이 절실히 요구되며, 이를 효과적으로 지원할 수 있는 개념이 전문가시스템의 도입이다.

본 시스템은 유조선의 적·양하 작업을 완전 자동화하기보다는 적·양하 작업 과정에서 발생할 수 있는 인적과실을 지속적으로 실시간 감시하여 현재 상황에 대한 내용과 위험요소가 발견되었을 때 이를 신속하게 알려줄 수 있는 경고 시스템 및 위험요소 제거 방안들에 대한 가이드를 제공하는 개념으로 접근하여 실제 작업에 활

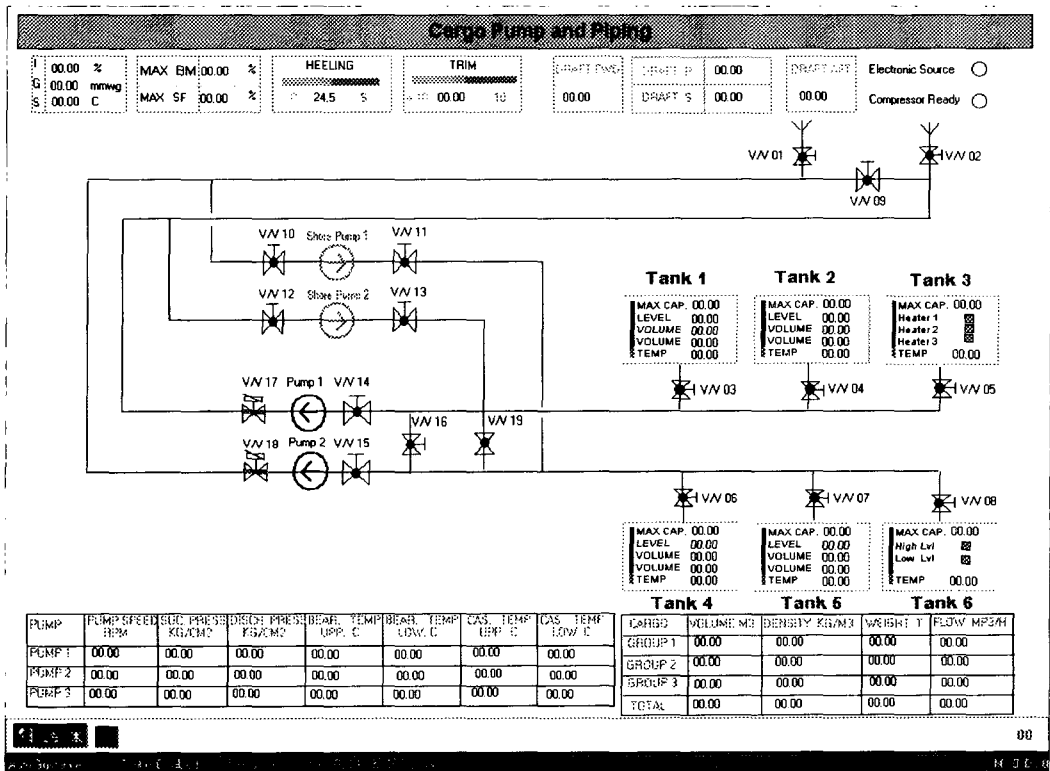


Fig. 5 Monitoring Window for the developed Prototype System

용할 수 있는 시스템의 개발을 지향하고 있다.

### 3.1 지식기반 시스템 개발 환경

본 지식기반 시스템의 개발을 위한 시스템 환경은 다음과 같다.

- OS : Windows 98 or NT
- 지식기반 시스템 개발 도구 : Element Environment 2.1
- API 환경 : Visual C
- 실시간 인터페이스 : 소켓 프로그래밍
- 데이터베이스 : MS Access

### 3.2 유조선의 적·양하작업 분석 및 지식 추출

유조선의 안전 적·양하 모니터링 시스템을 개발하기 위한 것으로서 전문가시스템의 현장 적용을 용이하게 하기 위해서는 얼마나 현실적인 지식이 추출되어 이를 바탕으로 지식베이스를 구축하는가 하는 것이다.

이러한 취지에서 본 과제에서는 10년 이상 유조선 운항 경력이 있는 항해사를 통하여 유조선 적·양하 작업의 전반적인 작업절차를 추출하였으며, 각 절차 중에 고려해야 할 사항들과, 점검해야 할 사항들을 분석하였다. 또한 문제가 발생하였을 때의 대처방안들도 추출하여 정리하였다 (한국해기연수원 자료 참조).

#### 1) 적하작업(Loading) 분석

유류의 적하 절차는 개념적으로 비교적 간단한 형태를 취하고 있는데, 다음과 같이 크게 나눌 수 있다.

- 탱크 검사 (Tank Inspection)
- Line Up
- Loading 작업 개시
- Loading Rate 체크
- 현재 Loading중인 탱크의 Loading 상태 체크
- 탱크의 Ullage 체크
- Grade별 Loading 상태 체크
- Topping Off 레벨을 체크하면서 Loading Rate 조절

적하 작업에서는 탱크 검사 후 Loading Plan을 입력받아 적하 작업이 시작되는데 Loading Plan에는 다음과 같은 항목이 포함된다.

- Cargo Grade별로 적재할 탱크 지정
- Loading Sequence 입력
- Cargo 및 Ballast 탱크의 Level(혹은 Ullage) 입력
- 초기 Loading Rate
- 최대 Loading Rate
- Draft 제한 입력
- 트림 제한 입력 (L. Limit = 0m, U. Limit = 3m)
- Heeling 제한 입력( $-1 \leq \text{Heeling} \leq 1$ )
- Loading Quantity 입력
- Deballasting Quantity 입력
- Topping Off Group 지정
- 각 탱크별 Topping Ullage 입력

이러한 데이터를 입력받아 전문가시스템에서는 앞서 언급한 절차에 따라 작업 감시 및 검사를 통하여 현 작업 시점에서의 문제점 및 해결 방안 등을 메시지를 통하여 제시하여 준다. 여기서는 적하, 양하 작업에 대한 이상 메시지가 각각 100여 개 정의되어 이상 상태가 발생하면 이를 통보하게 된다.

#### 2) 양하작업(Discharging) 분석

유류의 양하 절차는 개념적으로 매우 복잡한 형태를 취하고 있는데, 다음과 같이 크게 나눌 수 있다.

- 탱크 검사 (Tank Inspection)
- Line Up
- 펌프 흡입압력 체크
- 펌프 토출압력 체크
- 양하작업 시작 (Gate 밸브 open)
- IGS(Inert Gas System) 가동
- 펌프 가동 및 지정된 펌프의 RPM 체크
- 베어링 및 케이싱 온도 체크
- 양하 탱크의 Level(혹은 Ullage) 체크
- Line Draining
- Stripping

양하 작업에서는 탱크 검사 후 Discharging Plan을 입력받아 펌프와 밸브를 점검 한 다음 양하 작업이 시작되는데 Discharging Plan에는 다음과 같은 항목이 포함된다.

- Cargo & Ballast 탱크의 Level(혹은 Ullage) 입력

- Cargo Grade별 양하순서 및 Grade별 탱크 그룹 입력
- Grade별 화물량 입력
- 현재 양하 하려는 Grade 지정
- 초기 RPM (700)
- 정상 운전 RPM (700 - 1300)
- Manifold 압력 (kg/Cm<sup>2</sup>)
- 모든 탱크의 Bottom Ullage 입력
- 트림 제한 (0m ≤ Trim ≤ 6m)
- Draft 제한 입력 (21m)

```
(@OBJECT=      nol_ccot
  (@CLASSES=
    Tank
  )
  (@PUBLICPROPS=
    current_level
    level
    loading_process
    name
    pressure
    target_level
    topping_ullage
    ullage
    ullage변화량
  )
)
```

### 3.3 지식베이스 구축

지식은 크게 정적 지식과 동적 지식으로 구분할 수 있다(Lee[1996]). 즉, 정적 지식은 지식에 사용되는 대상(Objects)을 표현하는 것이고, 동적 지식은 문제를 해결해 가는 전문가의 전문지식(Expertise)을 표현하는 것이다. 따라서 전문가시스템의 지식베이스 구축을 위해서는 먼저 지식을 구성하기 위한 대상에 대한 정의를 하여야 한다.

#### 1) 객체의 정의

앞서 적·양하 절차 분석을 통해 추출된 지식을 바탕으로 유조선 안전 적·양하 전문가시스템 구축을 위한 대상 객체를 정의하였다. 여기에서는 객체들의 개념적 상위 객체로서 Tank, COT\_Position\_VV 등의 클래스(Class)를 정의하고 이들의 속성(Property)들과 속성들이 갖는 데이터의 형식(Type)을 정의하였다.

이들 클래스의 인스턴스(Instance)로서 nol\_ccot, nol\_ccot\_fill\_suc\_vv와 같은 객체를 정의하고 이들의 속성은 상위 클래스로부터 상속받도록 하는 객체지향 개념의 지식표현 방법을 사용하였다. 다음은 본 지식베이스에서 정의된 클래스와 객체의 정의 예이다.

```
(@CLASS=      Tank
  (@PUBLICPROPS=
    current_level
    level
    loading_process
    name
    pressure
    target_level
    topping_ullage
    ullage
    ullage변화량
  )
)
```

#### 2) 규칙(Rule)의 구현

이렇게 정의된 객체들을 바탕으로 적·양하작업 과정에서 발생할 수 있는 사고에 신속히 대응하기 위한 작업 감시(Monitoring) 및 진단 시스템 구현을 위하여 앞서 언급한 적·양하 절차를 바탕으로 한 규칙을 생성하였다. 여기서 규칙은 하나의 지식베이스로 구현하지 않고, 기능별로 분류하여 여러 개의 지식베이스로 구현하였고, 이렇게 함으로써 적·양하 작업 절차 중에서 유사하게 발생하는 작업에 대해서는 재사용할 수 있도록 하였다.

Fig. 6은 안전 적·양하 모니터링 시스템에서 구현된 지식베이스들 중의 하나로서 그 지식베이스의 규칙 계층도를 보여주고 있다.

본 지식베이스에 있어서 두 가지 Method를 구현하여 객체의 속성 슬롯에 연계함으로써 지식베이스의 추론 중에 그 객체 슬롯이 추론 Agenda에 올라오게 되면 자동으로 정의된 Method가 동작하도록 하였다(Lee[1997]).

첫 번째 Method는 'OrderOfSource' Method로서 이것은 객체 슬롯의 값이 어떻게 결정되는가를 정의하는 것으로서 위에서 구현된 지식베이스의 예는 Example 1과 같다.

여기서 탱크의 Ullage 값은 일반적으로 전체 레벨에서 현재의 유량 레벨을 뺀 값이 된다. 이를 시스템에서 자동적으로 계산하기 위해서 추론 과정에서 no3\_scot\_s 탱크의 Ullage 값을 찾는 규칙을 만나게 되면 전문가시스템은 자동으로 위의 Method를 찾아 level과 current\_level 값은 얻은 다음 이를 계산하여 값을 돌려준다.

또 하나의 Method는 'IfChange' Method로서

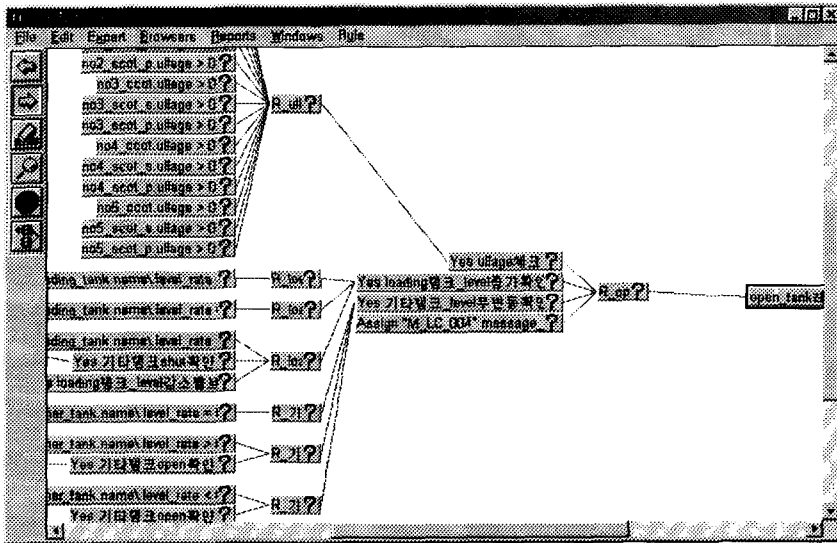


Fig. 6 Knowledge Tree in Knowledge-Based Monitoring System

이는 객체 슬롯 값이 변경되었을 때 자동으로 정의된 Method를 실행하는 것으로서 그 예는 Example 2와 같다.

여기서는 message\_ID.Value 라는 객체 슬롯이 추론 과정에서 적·양하 과정의 문제가 발생하여 앞서 정의해 놓은 메시지 ID가 지정되면 지식베이스는 이 값의 변화가 있을 때마다 "message\_handler"라는 함수를 호출하여 현재의 message\_ID 값을 메인 프로그램에 송부하여 문제 발생 상황을 알려주도록 되어 있다.

### 3.4 인터페이스 구현

이렇게 구현된 지식베이스를 바탕으로 유조선의 안전 적·양하 모니터링 시스템을 구현하기 위해서는 작업 과정에서 원하는 지식베이스를 호출하여 현재의 적·양하 기기나 장비의 상태를 입력하고, 이를 바탕으로 추론하여 문제가 발생 할 때는 생성된 메시지를 Socket 프로그래밍을 통해 송부하게 된다.

이를 위해서는 먼저 전문가시스템의 지식베이

```
(@METHOD= OrderOfSources
  (@ATOMID=no3_scot_s.ullage;@TYPE=SLOT;)
  (@FLAGS=PUBLIC;)
  (@LHS=
    (Assign (no3_scot_s.level-no3_scot_s.current_level) (no3_scot_s.ullage)))
  )
```

(Example 1)

```
(@METHOD= IfChange
  (@ATOMID=message_ID;@TYPE=SLOT;)
  (@FLAGS=PUBLIC;)
  (@LHS=
    (Execute ("message_handler") (@WAIT=TRUE;)))
  )
```

(Example 2)

스를 제어 할 수 있는 프로그램을 개발하여야 한다. 이를 위해서는 본 연구에서 활용한 Expert Element 뿐만 아니라 대부분의 범용 전문가시스템 셸들이 개방형 설계를 지원하기 위하여 Call-In, Call-Out 개념을 제공하고 있다. 이는 사용자가 필요에 따라 사용자 프로그램에서 전문가시스템의 지식베이스를 제어할 수 있고, 전문가시스템의 지식베이스에서도 외부 환경을 제어할 수 있도록 하는 것이다. 본 연구의 사용자 인터페이스는 C언어로 구현되었으며, 프로그램 내부에서 지식베이스를 제어할 수 있고, 반대로 지식베이스에서 일반 언어로 구축된 모듈들을 실행할 수 있다(Lee[1998]).

본 연구에서는 Socket 프로그래밍에 의해 네트워크 상의 로딩 컴퓨터로부터 실시간으로 얻은 데이터들을 NXP\_GetAtomId에 의해 객체와 매칭을 시키고 NXP\_Volunteer를 이용하여 얻은 값을 지식베이스에 넘겨 추론을 수행하게 된다. 이들의 값들을 서로 인터페이스 하기 위해서 I/O Tag를 정의하고, Tag별로 제어하고자 하는 기기 또는 장비의 리스트를 정리하였다.

본 연구에서 구성한 유조선 안전 적·양하 모니터링 시스템은 로딩 컴퓨터와 전문가시스템 등이 독립적으로 분산되어 존재하며, 이들이 작업

시 서로 데이터 통신을 하며 원하는 데이터를 실시간으로 주고받으면서 작업에 따른 전문가시스템의 판단 결과가 네트워크를 통해 로딩 컴퓨터로 보내지도록 되어 있다. 이는 소켓 프로그래밍을 통해 가능해지며, 이를 통한 실시간 데이터 통신을 할 수 있게 하였다.

### 3.5 적·하역기기의 상태 변화에 따른 전문가시스템 추론 결과

Fig. 7은 구현된 지식베이스의 추론 과정과 앞서 언급한 소켓 프로그래밍에 의한 인터페이스를 통해 실시간으로 데이터를 받아 지식베이스가 원활히 작동하는지를 검증한 것으로서 현재의 입력된 상태에 따른 전문가시스템에서 요구하는 메시지를 보여주고 있다.

여기서는 Loading 작업 중에 현재 Loading 중인 탱크의 레벨변화에 이상이 발생한 경우로서 message\_ID 슬롯에 "M\_LC\_007"이라는 값이 할당되면서 정의되어 있던 IfChange Method가 가동되게 되고, message\_handler( ) 함수에서 소켓 프로그래밍을 이용하여 메시지 ID를 로딩 컴퓨터로 보내게 된다.

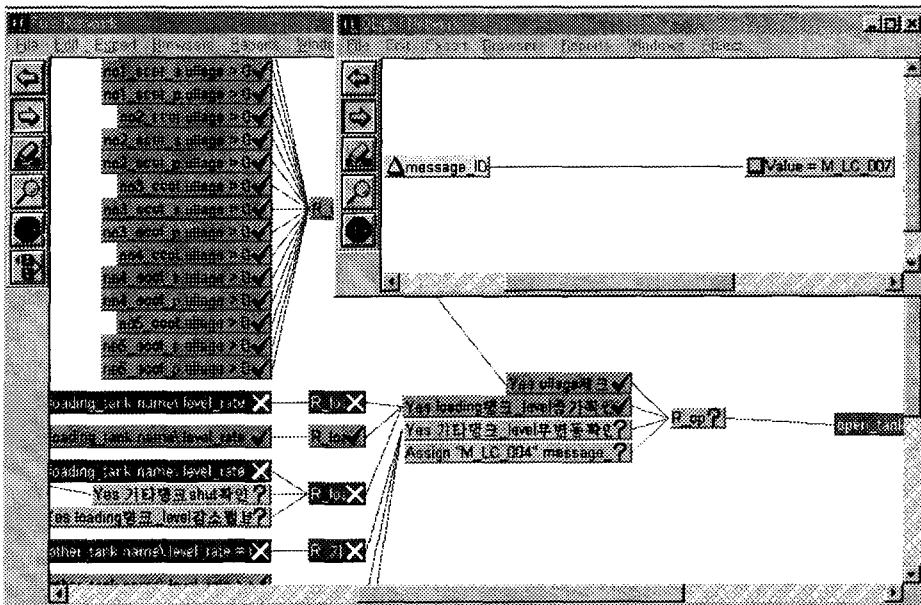


Fig. 7 Inferencing Result for abnormal condition in Knowledge-Based System



## 4. 결 론

본 연구에서는 유조선의 안전 적·양하를 위한 감시 및 제어 시스템을 개발하기 위한 시범 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 시스템 등록 프로그램, 서버 프로그램 및 제어 및 감시 프로그램 등으로 구성되었으며, 적·양하 작업 과정에서의 인적과실을 최소화하기 위하여 적·양하 작업 과정에서 기기들의 상태를 실시간으로 감시, 진단하기 위한 전문가시스템을 포함하고 있다.

본 연구는 지식 기반 전문가시스템을 적용한 유조선의 Operation System으로서 안전한 적·양하 작업을 위한 각 작업별 위험 요소를 정리하고 적·양하 작업에 사용되는 기기에 대한 감시 및 진단을 위한 지식베이스를 구성하였다. 또한 이들의 실시간 인터페이스를 위하여 소켓을 기반으로 한 API(Application Programming Interface) 프로그램을 구현하고 타 시스템과 전문가시스템이 통합된 지능화된 하역 감시 및 진단 시스템을 개발할 수 있었다.

향후 연구결과의 실선 적용을 통하여 실용화 계획을 갖고 있다.

## 후 기

본 논문은 산업자원부의 지원을 받아 공업기반과제로 수행한 “유조선 안전하역 전문가시스템 개발” 과제의 2차년도 연구결과의 일부임을 밝혀둔다.

## 참고문헌

- [1] 한국해기연수원, OIL TANKER, 56~67.
- [2] 한국해기연수원, 탱커기초교육
- [3] 한국해양수산연수원, 1998, 우리나라 연안유조선의 안전운항과 대책.
- [4] Lee, K.H., et al., 1996, "Object-Oriented Approach to a Knowledge-Based Structural Design System", Expert Systems with Applications, Vol. 10, No. 2, 223~231.
- [5] Lee, K.H. and Lee, K.Y., 1997, "Knowledge-Based Nonmonotonic Reasoning Process in Ship Compartment Design System", Expert Systems with Applications, Vol. 13, No.

2, 145~154.

[6] Lee, K.H., et al., 1998, "Intelligent Approach to a CAD System for the Layout Design of a Ship Engine Room", Computers & Industrial Engineering, Vol. 34, No. 3, 599~608.