

화학 플랜트의 고장원 탐색 전문가 시스템에 관한 연구
-기능구조에 의한 대상의 지식표현 방법-

A Study on the Development of an Expert System for Chemical Plant
Diagnosis Fault

-An Object Description System based on Functional Structure-

황 규 석*
Hwang Kyu-Suk

ABSTRACT

A methodology for developing an object description system based on functional-structure of chemical plant is proposed. A knowledge base for chemical plant fault diagnosis is also organized in a generic fashion using the heuristic knowledge of human operators.

A plant can be seen as a hierarchical set of subsystems. Each subsystem is called a SCOPE. The state of the plant and the behavior of each subsystem is managed by the SCOPES.

A computer-based system based on this methodology and knowledge base has been developed and applied to the subprocess of ethylene plant to evaluate the effectiveness of the methodology.

1. 서 론

최근의 화학프로세스는 점점 대형화 복잡화하고 있고, 그에 따라 공정이상의 조속하고 정확한 고장원인 진단¹⁾이 더욱 힘들게 되어 플랜트를 안전하게 운전 제어하는 문제가 큰 과제로 등장하게 되었다.

현재, 현장에서의 이상진단은 대부분이 숙련된 현장 운전원의 경험에 의존하고 있으며, 최근들어 이상진단

을 지원하는 시스템이^{5~11)} 여러종류 개발되고 있으나 효율적으로 이상진단을 지원하고 있다고는 할수 없다.

지원시스템의 개발이 힘든 이유는 플랜트의 운전관리에 관한 지식이 주로 경험적 지식에²⁾ 의거한 상황판단으로 구성되어 있는 바 적절한 수식화가 불가능한 점을 들 수 있다.

본 연구의 목적은, 현장의 운전원이 보유한 경험적 지식(대상 프로세스의 구조 및 기능상태와 거동에 관한 정성적 인식방법등)을 최근의 AI¹²⁾ 응용기술(전문가 시스템, 지식공학)을 활용하여 정리하고, 화학플랜

* 正會員 : 부산대 화학공학과

트를 구성하고 있는 각 장치 간의 계층관계 및 기능적인 인과관계를 기능구조에 의한 지식 Base의 형태로 정리하여, 숙련된 운전원이 플랜트의 고장진단을 행하는 상황판단법과 유사한 방법으로 고장진단을 행할 수 있는 전문가 시스템을 개발하기 위한 대상의 지식표현 방법론을 개발하는 것이다.

2 고장원 탐색 시스템의 기본개념

화학공장에서 현장의 OPERATOR는, 각각의 기능계 또는 각각의 기능을 발휘하는 SECTION을 기능적인 인과관계로 서로 계층적으로 연관지어 파악하고 있으며, 프로세스에 이상상태가 발생하였을서는, 대상 프로세스 내에서 기능적인 관련성으로 성립해야 될 여러 가지 하위 기능에 관한 정보를 체크함으로써 의심이 가는 플랜트내의 특정의 SUBSYSTEM(기기 및 장치의 정적인 결합구조)에 주목하여, 그 SUBSYSTEM의 기능이 발휘되고 있는지(즉, 고장발생 유무)를 검토함으로써 고장원 탐색을 행하고 있다고 본다.

본 연구에서도, 이와같은 화학플랜트의 기능적인 계층 구조에 기본을 둔 고장원 탐색 수법을 전개한다. 즉, 화학플랜트에 내재하고 있는 계 기능을 계층화하고, 각각의 기능을 달성하는데 필요한 프로세스의 SUBSYSTEM으로 『SCOPE』를¹⁾ 정의한다. 각기능

의 달성 상태 및 프로세스의 동적 거동은 SCOPE의 상태변수를 통하여 표현된다.

다음에, 고장원의 탐색은, 임의의 기능이 발휘되지 않고 있는 것은(즉, 이상상태의 발생), 그 기능을 구성하는 하위의 기능, 또는 기능적인 인과관계로 서로 연결된 기능에 이상이 있기 때문이라고 보고, 각각의 기능을 달성 하기 위하여 필요한 특정의 SCOPE의 집합을 먼저 검출해 낸다.

다음에, 검출된 SCOPE 내에서 발생가능한 고장원인을 가정하여, 각 SCOPE의 상태변수 값에 대한 정성적 SIMULATION을 행하여 현재의 이상현상을 설명할 수 있는 고장원인이 나타날때 까지 탐색을 계속한다.

3. 화학 프로세스의 표현방법

대상 플랜트의 결합구조를, 밸브 이외의 기기장치를 NODE로 나타내고 파이프를 ARC로 나타낸 유향 GRAPH로 나타낸다. 밸브는 대응하는 ARC 상에 표현하고, 검출기(DETECTOR)는 사각으로 나타내고 검출기가 부착된 기기에 2중선으로 연결한다. 조절기(CONTROLLER)는 검출기와 나란히 사각으로 나타내고 조절기의 신호는 제어 대상기기를 향하여 점선으로 나타낸다. (FIG. 1)

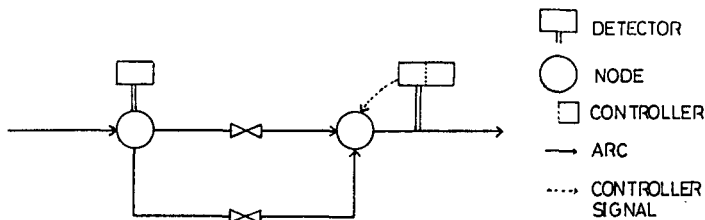


Fig. 1. Graphical representation of process structure

이와같은 플랜트의 결합관계 및 DATA, 대상플랜트의 상태와 거동의 표현은 시스템 내부에서는 속성 LIST(PROPERTY-LIST)와 LISP CODE, 기능연산 RULE의 형태로 표현된다.(FIG. 2)

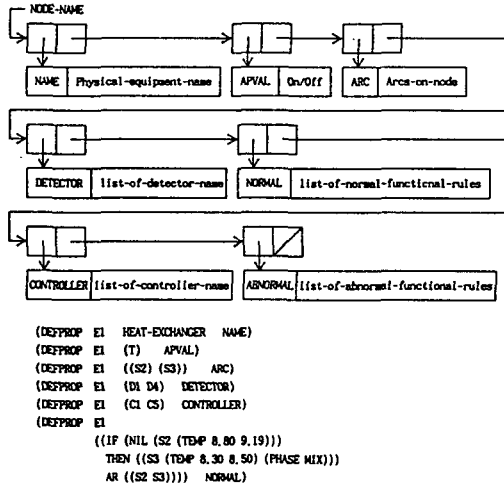


Fig. 2. Structure of property list of a node

플랜트의 상태와 거동을 일반적으로 표현하기 위해서는 다음과 같은 상태의 표현이 필요하다.

(1) ARC

ARC 내를 흐르는 유체의 상태 및 접속된 계측제어 기기를 표현하기 위하여 다음과 같은 속성 LIST가 준비된다.

APVAL(ARC의 ON / OFF상태), TEMP, PRESS, COMP, PHASE(유체의 온도, 압력, 성분, 상상태), DETECTOR, CONTROLLER(접속된 검출기, 조절기)

(2) 검출기(DETECTOR), 조절기(CONTROLLER)

NAME(명칭), ITEM(검출항목), CONNECT(접속기기명), VALUE(출력치), ELEMENT(조절기기 출력 신호를 보내는 기기명)

(3) NODE

NAME(장치의 실제명), APVAL(ON / OFF 상

태), ARC(장치에 연결되어 있는 입출력 ARC의 LIST), DETECTOR, CONTROLLER(접속검출기, 조절기), CON-SIGN(출력신호를 보내는 CONTROLLER), TROUBLE(발생가능한 고장명), NORMAL, ABNORMAL(정상운전시, 비정상운전시의 장치의 거동을 나타내는 기능연산 RULE)

기능연산 RULE이란, 다양한 조작조건하에서 그 장치가 나타내는 기능을 표현한 지식 BASE로 다음과 같은 형식을 취하고 있다.

```
(IF ((고장 원인명) (입력상태 LIST)))
(THEN (출력상태 LIST))
(AR (입출력 ARC 대응 LIST))
```

이것은 IF-PART의 (고장 원인명)에서 지정된 고장이 발생하고, 유입되는 유체의 상태가 (입력상태 LIST)와 일치할때, 그 장치에서 유출되는 유체의 상태가 THEN-PART의 (출력상태 LIST)에서 지정된 상태로 되는 것을 의미한다.

이상과 같은 DATA는 엄밀한 구문규칙에 의하여 기술되어 있으며, DATA의 추가 및 변경은 구문규칙에 따라 자유로이 행하여 진다.(TABLE 1)

Table 1. A part of syntax rule for the system

```
<list-of-functional-rules> ::= (<sequence-of-functional-rules>)
<functional-rule> ::= (IF (<list-of-trouble-names> <IF-part-list>
THEN <THEN-part-list>) AR (<list-of-correspondence-of-arcs>))
<IF-part-list> ::= (<sequence-of-input-states>)
<sequence-of-input-states> ::= (<input-arc-name> <sequence-of-states>)
: (<list-of-input-states>) (<input-arc-name> <sequence-of-states>)
:
<THEN-part-list> ::= (<sequence-of-output-states>)
<sequence-of-output-states> ::= (<output-arc-name>
<designation-of-output-states>)
: <sequence-of-output-states>
(<output-arc-name> <designation-of-output-states>)
```

[프로세스의 상태와 거동의 표현]

(1) SCOPE

화학플랜트를, 목적 기능을 달성하기 위하여 유기적으로 결합된 하위기능을 가진 SUBSYSTEM의 집합이라 보고, 플랜트의 기능은, 그 기능을 달성하는데

필요한 임의개의 하위의 기능으로 구성되어 있다고 본다. 이러한 각 LEVEL에서의 기능을 달성하는데 필요한 SUBSYSTEM을 『SCOPE』라 한다.

이때 플랜트 기능의 NETWORK은 예를 들면, FIG. 3과 같이 된다. 반응, 증류등의 기능을 달성하

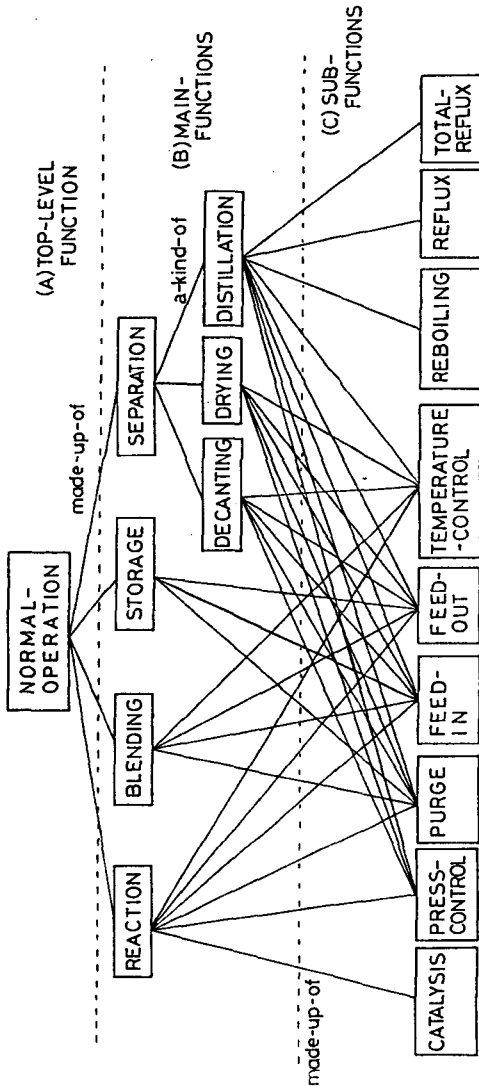


Fig. 3. Hierarchical relation among functions in the chemical plant

기 위해서는 각 기능에 대한 하위의 기능의 달성이 필요하며, 이러한 계층관계는 일반적인 형태로 정리가 가능하다. “증류”, “반응” 등과 같이 각 기능을 구성하는 하위기능이 일반적인 형태로 정리 가능한 기능중에서 최상위의 기능을 주 기능이라 한다. 한편, 이러한 각각의 기능을 보유한 SCOPE가 몇개 존재하는가는 각 플랜트 고유의 구조에 의하여 결정된다.

SCOPE는 OBJECT-ORIENTED¹³⁾ 방법론에 의한 CLASS-INSTANCE의 관계로 표현되고, 통상의 화학 플랜트에 존재하는 전형적인 SCOPE는, CLASS의 집합체로써 LIBRARY의 형태로 정리되어 있다. 현재 대상으로 하고 있는 플랜트의 개개의 SCOPE의 INSTANCE의 작성은, 일반적 계층구조인 CLASS의 형태로 정리되어 있는 SCOPE를, 특정 UNIT 주변의 부분구조로 구체화 함으로써 시스템에 의하여 자동으로 이루어 진다. FIG. 4에 증류기능

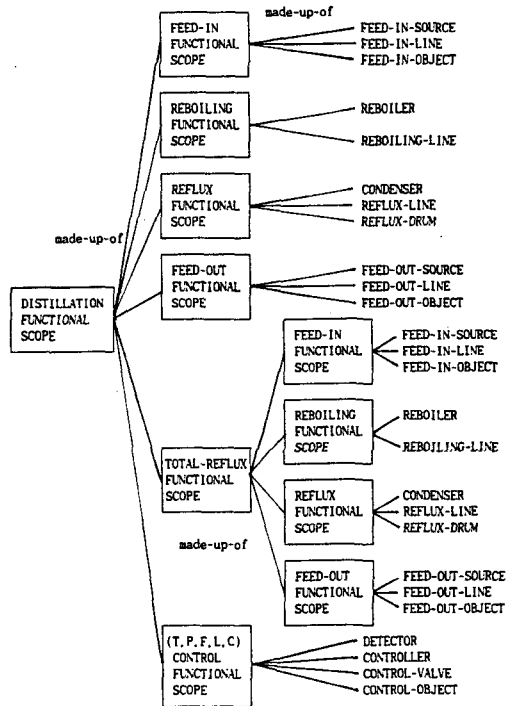


Fig. 4. An example of a hierarchical structure of functional scopes

SCOPE를 구성하는 하위 SCOPE의 CLASS의 계층구조를 나타내었다. SCOPE는 최하위의 PRIMITIVE-SCOPE와 그 이외의 FUNCTIONAL-SCOPE(기능 SCOPE)로 구별된다.

(2) PRIMITIVE-SCOPE

화학플랜트를 구성하는 가장 기본적인 요소인 NODE, ARC, DETECTOR, CONTROLLER를 PRIMITIVE-SCOPE라 한다. 프로세스의 기본적인 기기 장치의 상태 및 거동의 표현은 FRAME 형태로 표현된 PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE에 각 NODE, ARC등의 속성치(PROPERTY LIST VALUE)를 부여함으로써 표현된다. PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE는 다음과 같은 FRAME 구조를 가진다.

- (E6(NAME(VALUE DISTILLATION-COLUMN))
- (TYPE(OBJECT INSTANCE))
- (CLASS(VALUE DISTILLATION-COLUMN))
- (OTHER-VARIABLE
- (A-PART-OF(상위 SCOPE의 INSTANCE명)
- (IN-ARC(입력 ARC LIST))
- (OUT-ARC(출력 ARC LIST))
- (DETECTOR(접속 검출기 LIST))
- (CONTROLLER(접속 CONTROLLER LIST))
- (STATE-VARIABLE
- (APVAL(NODE의 ON / OFF 상태, T / NIL))
- (WORKING?(현재 정상적으로 기능하고 있는지 여부, T / NIL))
- :

PRIMITIVE-SCOPE에 대해서는, PLANT HARDWARE의 계층구조를 정리함으로써 일반화된 LIBRARY로 집중 관리하도록 하였다. PLANT HARDWARE의 일반화된 계층구조를 FIG. 5에 나

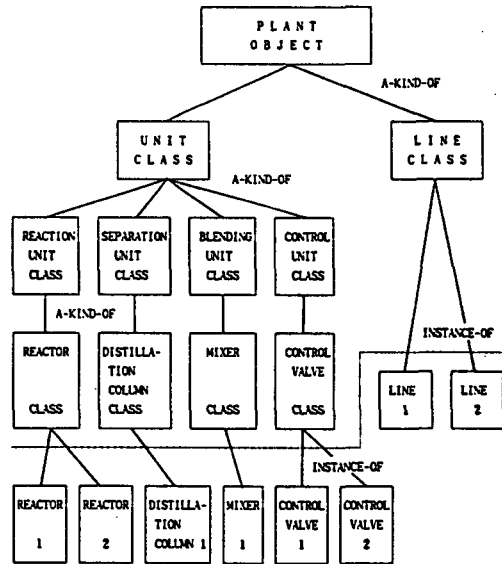


Fig. 5. Hierarchical relation among units in the chemical plant

타내었다.

(3) 기능SCOPE(FUNCTIONAL-SCOPE)

화학 플랜트의 기능을 달성하는데 필요한 각 LEVEL의 SCOPE중, PRIMITIVE-SCOPE 이외의 SCOPE를 기능SCOPE라 부른다. 기능SCOPE는 PRIMITIVE-SCOPE의 DATA 또는 당해기능 SCOPE의 하위기능 SCOPE의 상태의 집합에 의하여 그 상태를 인식하도록 되어있다. 기능SCOPE의 CLASS는 다음과 같은 구조를 가진다.

- <중류 기능 SCOPE>
- (TYPE(OBJECT CLASS))
- (SCOPE 기능 SCOPE))
- (SUPERCLASS(VALUE SEPARATION-FUNCTIONAL-SCOPE))
- (MAIN-UNIT(VALUE DISTILLATION-COLUMN))
- (MADE-UP-OF
- (하위 기능SCOPE(FEED-IN 기능SCOPE REBOILING 기능SCOPE

```
(INSTANCE 변수
  (IDENT(NAME TYPE MAIN-UNIT
    MADE-UP-OF..))
  (상태(WORKING? ID)))
(METHOD-LIST(CLASS-METHOD(NEW
INIT)))
(CLASS-METHOD
  (NEW(MAKE-FUNCTIONAL-INST-
  ANCE
  DISTILLATION-FUNCTIONAL-SCOPE))
  (INIT(INIT-FUNCTIONAL(ELEMENT
  ARC))))
```

4. 진단 대상의 기능구조 지식 표현 시스템

(1) 시스템의 개요

대상 PLANT의 부분 집합인 SCOPE의 INST-
ANCE와 각 INSTANCE간의 계층구조를, 일반화된
계층구조의 지식 BASE에 의거하여 자동작성 하는 지
식표현 시스템을 개발하였다.

고장원 탐색은, 본 시스템에 의하여 작성된 대상 플
랜트의 SCOPE의 INSTANCE에 대하여 먼저, 발생
가능한 고장원의 가정이라는 가설을 설정하고, 다음에
현재 플랜트의 이상현상을 설명할 수 있는지 여부를
검증하는, 가설-검증형식을 통하여 행하여진다. 이
하에 지식표현 시스템의 개요를 나타낸다.

본 시스템은 4개의 MODULE로 구성되어 있으며
(FIG. 6), 개인용 컴퓨터인 PC-AT에서 작동하는
COMMON-LISP로 작성되었다.

- DATA-IN.LSP : 대상 플랜트 고유의 NODE,
ARC, DETECTOR등에 관한 특성 DATA를 등록하
는 MODULE.
- SCOPE.LIB : SCOPE-LIBRARY, 화학 플랜
트에 일반적으로 존재하는 SCOPE를 CLASS의 형
태로 LIBRARY화 하여 정리한 지식BASE이다.
- PRIMITIVE-SCOPE-GENERATOR : 대상

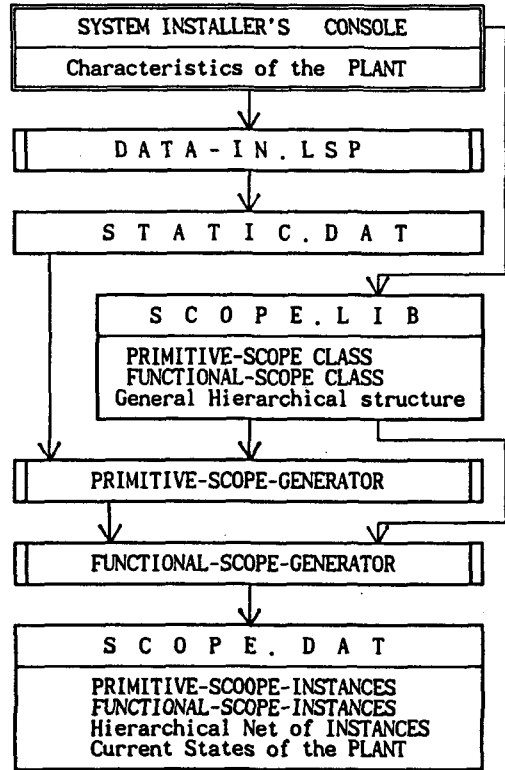


Fig. 6. Overview of the system

플랜트의 특성에 관한 DATA(STATIC.DAT)에 의
거하여 SCOPE-LIBRARY를 참고로 하면서
PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE를 작성하는
MODULE.

- FUNCTIONAL-SCOPE-GENERATOR : 대
상플랜트의 PRIMITIVE-SCOPE의 각 INST-
ANCE에 관한 정보와 SCOPE-LIBRARY를 참고
로 하여, 대상 플랜트에 존재하는 기능SCOPE의 IN-
STANCE를 작성하고, 기능적인 계층구조의 NET-
WORK을 작성하는 MODULE.

(2) PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE 작성

PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE 작성법은
다음과 같다.

① 대상 플랜트에 존재하는 전 기기에 대하여,
 ② 기기명을 변수값으로 하여 CLASS OBJECT에 'NEW MESSAGE'를 보냄으로써 FRAME 형태의 DATA 구조를 한 INSTANCE의 형식적 형태를 작성한다. 다음에, 당해요소의 고유정보와 상태에 관한 초기 설정치를 저장하여, 대상 플랜트에 존재하는 PRIMITIVE-SCOPE의 INSTANCE를 전부 작성한다.

(3) 기능SCOPE의 INSTANCE 작성

기능SCOPE의 INSTANCE를 작성하기 위하여, 기능SCOPE의 기본단위가 되는 BLOCK, RECYCLE의 개념을 도입한다. 주 기능SCOPE의 INSTANCE 및 계층구조의 작성법은 다음과 같다.

1) 대상 플랜트의 구조로부터 작성된 GRAPH표현에 의거하여, BLOCK(유한/무한, SINK / SOURCE로 구별되는 프로세스의 부분으로, 물질이 흐를수 있는 최소 SUBPROCESS를 의미함) 및 RECYCLE (LOOP 형태의 LINE을 작성하는 BLOCK의 집합)을 작성한다.

2) 현재 대상으로 하고 있는 플랜트의 특성치 DATA를 체크하여, 대상플랜트 고유의 주 기능으로서 어떠한 것들이 있는가를 검출한다.

3) 각 주기능에 대하여 CLASS-OBJECT를 검출하여, 당해 주기능을 발휘하기 위한 대상 플랜트의 중심 UNIT에 연관해서 INSTANCE를 작성한다. (FIG. 7 참조).

① 검출된 CLASS-OBJECT(CLASSO)에 INSTANCE 작성을 위한 MESSAGE를 보낸다.

② MESSAGE에 의하여, CLASS-OBJECT(CLASSO)는, 우선 CLASS에 대한 INSTANCE(instance0)의 형식적 형태를 작성한다.

③ 다음에, instance0의 각 SLOT에 변수값을 설정하기 위하여, 하위의 INSTANCE를 작성할 것을 시도한다. instance0의 하위 INSTANCE에 관한 정보는, CLASS-OBJECT인 CLASSO의 'MADE-UP-OF SLOT'에 기술되어 있다.

④ 이때, 현재 작성하려고 하는 기능 SCOPE의

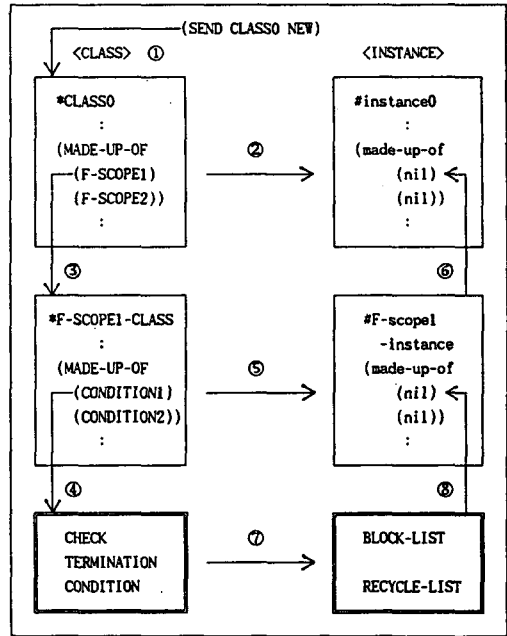


Fig. 7. Procedure for generating instances of functional-scope

INSTANCE가 최하위 기능SCOPE일때는 ⑦ 번의 작업을 행하고, 그렇지 않을 경우에는 ⑤ 번의 작업을 행한다.

⑤ 최하위 기능SCOPE가 아닐 경우에는, MESSAGE에 의하여, 하위의 CLASS-OBJECT(즉, F-SCOPE1-CLASSO)는, 하위의 INSTANCE의 형식적 형태를 작성하고(F-scope1-instance),

⑥ 상위 INSTANCE(instance0)의 'made-up-of SLOT'의 변수 값으로 저장한다. 다음에, F-scope1-instance의 하위 INSTANCE를 작성하려고 시도한다. 이와같은 작업을, 최하위 기능 SCOPE의 INSTANCE의 작성에 도달할 때까지 계속한다.

⑦ 최하위 기능SCOPE일 경우에는, 당해 CLASS-OBJECT(F-SCOPE1-CLASSO)의 'MADE-UP-OF SLOT'에, 당해 SCOPE의 INSTANCE를 인식하기 위한 일반적인 조건이 기술되어 있다. 현재 주목하고 있는 UNIT에 대하여 이 조건을 만족하는 BLOCK과 RECYCLE의 집합이 당해 기능SCOPE의 INSTANCE로 선택된다.

- ⑧ 선택된 BLOCK과 RECYCLE의 집합을 F-scope-instance의 'made-up-of SLOT'에 등록하여, 최하위 기능SCOPE의 INSTANCE를 작성한다.
- 4) 이상의 작업을 대상 플랜트에 존재하는 주기능의 각요소에 대하여 행함으로써, 대상 플랜트에 존재하는 전 기능SCOPE의 INSTANCE와 INSTANCE간의 계층구조가 작성된다.

5. 시스템의 적용 예

(1) 대상 플랜트의 개요

본 시스템의 유효성을 검증하기 위하여, 이상의 기능구조 지식표현 시스템을 실제의 플랜트에 적용시켜 그 결과를 평가하였다. 대상으로 한 프로세스는 ETHYLENE PLANT의 DEPROPANIZER 주변의 SUBPROCESS이다.(FIG. 8)

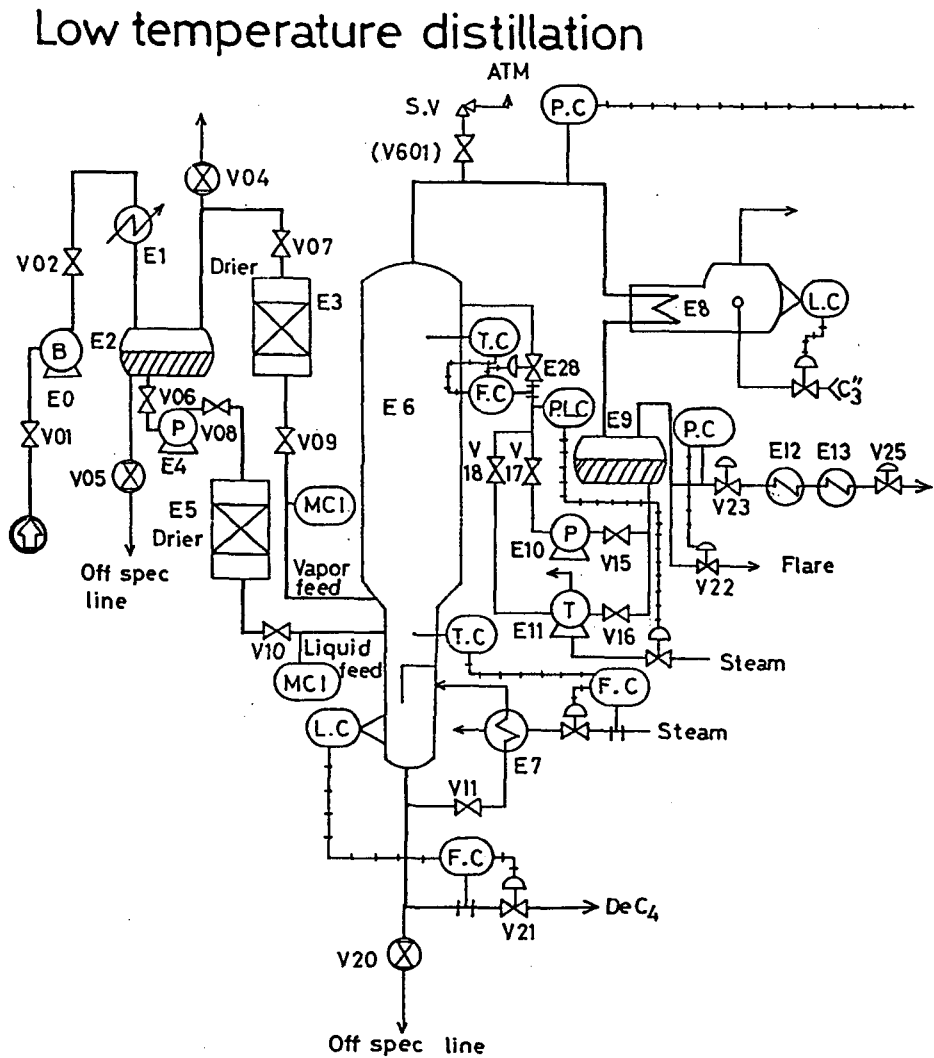


Fig. 8. Flow sheet of model process

C4이하의 가스 상태의 성분은 COMPRESSOR를 통하여 보내어져, 열교환기에서 냉각되어 일부 액화된다. 다음에 DECANTER에서 기-액 분리되어, DRYER에서 수분이 제거된후 증류탑에 공급된다. 탑 정에서 나오는 C3이하의 성분은 2단의 열교환기를 거쳐 승온된후, 다음 단계인 ACETYLENE 반응탑에 보내어진다.

FIG. 9에 대상 프로세스의 GRAPH 표현을 나타낸다. 본 프로세스는, NODE 26개, ARC 29개, DETECTOR 41개, CONTROLLER 9개로 구성되어 있다.

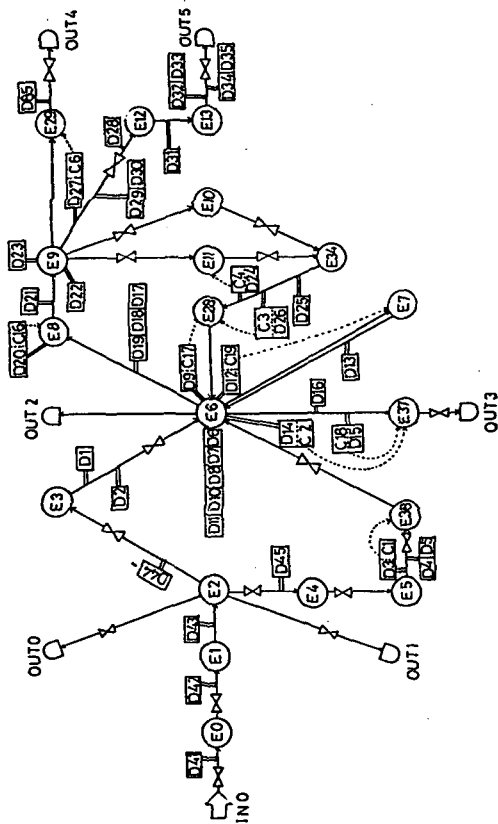


Fig. 9. Graphical representation of model process

(2) 적용 예 및 고찰

대상 프로세스에 본 시스템을 적용시켜 작성한 SCOPE의 예를 TABLE 2에 나타낸다. 이 대상 프로

Table 2. An example of scopes generated by the system

```

(E8 (NAME (VALUE CONDENSER))
  (TYPE (OBJECT INSTANCE))
  (CLASS (VALUE CONDENSER))
  (OTHER-VARIABLE
    (A-PART-OF (F64 F57 F41 F42 F60))
    (IN-ARC (S13)) (OUT-ARC (S14))
    (OPCOND T) (DETECTOR (D20))
    (CONTROLLER (C16)) (CON-SIGN (C13))
    (NORMAL
      ((IF (NIL (S13 (PHASE GAS) (TEMP LESS 89.5)))
        THEN ((S14 (TEMP 85.4 89.5)
          (PHASE MIX))) AR ((S13 S14)))
        (IF (NIL (S13 (TEMP LESS 85.4)))
          THEN ((S14 (PT S13))) AR ((S13 S14)))))))
  (STATE-VARIABLE (APVAL T) (ID NIL) (WORKING? NIL)))

(F15 (NAME (VALUE F15)) (TYPE (OBJECT INSTANCE))
  (CLASS (VALUE DISTILLATION-FUNCTIONAL-SCOPE))
  (MAIN-UNIT (VALUE E6))
  (MADE-UP-OF
    (REL (F26 F27 F28 F34 F47 F48)))
  (OTHER-VARIABLE (A-PART-OF (F1))
    (ELEMENT (E3 E5 E12 E34 E28 E6 E7))
    (ARC (S8 S9 S11 S27 R15 R20 R53 R12))
    (OPCOND T) (NEED-PURGE? NIL))
  (STATE-VARIABLE (WORKING? NIL) (ID NIL)))
    
```

세스에서는 105개의 PRIMITIVE-SCOPE와 15개의 BLOCK, 7개의 RECYCLE, 72개의 기능 SCOPE가 작성되었다.

7. 결 론

화학 플랜트의 안전운전을 지원하는 운전지원 기술의 하나인, 화학 플랜트의 고장원 탐색문제를 해결하는데 있어서 활용되어야 할 대상의 인식법을 정리하고, 대상의 기능구조에 의거한 지식표현 방법론을 개발하였다.

본 연구에서는, 화학 플랜트에 내재하고 있는 제기능의 계층화, 구조화라는 관점에서, 화학 플랜트의 고

장원 탐색에 사용되는 지식을 일반화하고, 기능적인 계층구조 및 인과관계로 서로 연결된 부분을 표현하기 위하여 「SCOPE」 개념을 도입하였다. 이러한 「SCOPE」의 계층구조와 기능의 달성상태를 이용하여, 프로세스의 상태와 거동을 표현하였다.

이러한 방법은, 현장의 운전원이 고장원 탐색을 할때의 대상의 인식법과 고장원 탐색시의 방법론에 근거한 것으로, 주로 숙련된 운전원의 경험적 지식에 의거하고 있으며, 또한 수학적으로 엄밀하게 정리하여 해를 구하는 것이 힘든 분야인 이상진단 분야에 대단히 유효하다고 사료된다. 또한, 진단 대상의 기능 구조를 자동 작성하여 FRAME형태로 작성하는 지식표현 시스템을 개발하여 실제의 MODEL PLANT에 적용하여 그 유효성을 검증하였다.

감 사

본 연구는 1991년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 학술연구 조성비에 의하여 이루어진 연구결과로 당 재단에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) Hwang, K.S., S.Tomita and E.O'shima : KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU, 14, 6 (1988)
- 2) Tomita, S., K.S.Hwang, E.O'shima and Colin Mcgreavy : J.Chem. Eng. Japan, 22, 4 (1989)
- 3) Hwang, K.S., S.Tomita and E.O'shima : KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU, 16, 2 (1990)
- 4) Andow, P. : Alarm systems and alarm analysis., PLANT / OPERATION PROGRESS, 4, 116 (1985)
- 5) Davis, J.F. : FOCOPO-87, Park City, Utah (1987)
- 6) Kramer, M.A., B.L.Palowitch : AIChE, 33, 7, 1067-1078 (1987)
- 7) Venkatasubramanian, V., S.H.Rich : Comput. Chem. Eng., 12, 9 (1988)
- 8) Andow, P.K., Lees, F.P. : Trans. Instn. Chem. Eng., 53, pp.195 (1975)
- 9) O'shima, E. : J.Chem. Eng. Japan, 11, pp.390 (1975)
- 10) Yoon, E.S. : World Cong.III Chem. Eng., TOKYO, 1088 (1986)
- 11) Kim, C.J., J.K.Oh, E.S.Yoon ; HWAHAK KONGHAK, 28, 4, pp.417-429 (1990)
- 12) Winston, P.H. : Artificial Intelligence, Addison-Wesley (1984)
- 13) Goldberg, A., D.Robson : Smalltalk-80, Addison-Wesley (1983)