

보일러 플랜트의 위험상태 방지를 위한 전문가 시스템

허보경 · 안대명 · 황규석^{*}

부산대학교 화학공학과
(1996년 3월 5일 접수, 1996년 7월 10일 채택)

An Expert System for Preventing Hazardous Conditions in Boiler Plants

Bo Kyeng Hou, Dae Myung An and Kyu Suk Hwang^{*}

Dept. of Chem. Eng., Pusan National University, Pusan 609-735, Korea
(Received 5 March 1996; accepted 10 July 1996)

요 약

보일러 플랜트의 운전관리 미숙(오조작, 오판단)으로 인해 발생하는 shutdown을 예방하기 위한 운전 지원용 전문가 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 대상공정과 거동에 대한 symbolic modeling을 실시하고, 조작에 의한 공정상태 변화의 모사방법과 상황 의존적인 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 또한, 위험상황과 운전상황의 인식에 필요한 지식을 일반화하여, 오판단과 오조작으로 인한 보일러의 이상상태를 조작에 미리 앞서서 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 개발된 시스템을 실제 공정에 적용하여 제시한 방법이 유용한 것임을 검증하였다.

Abstract—An operation aiding expert system is developed for preventing an unexpected shutdown caused by operation errors or misjudgements in boiler plants. Based on symbolic model about the plant structure and the behavior characteristics, the change of process states is simulated. And the method for solving context-dependent problem is suggested. With generalized knowledges for the recognition of operational situations and hazardous conditions, a strategy is suggested for anticipating accidents caused by operation errors or misjudgements in advance. By the results of the application of this system to the real plant, it is shown that the methodology suggested in this study is useful.

Key words: Operation Aiding Expert System, Boiler Plants, Hazardous Conditions

1. 서 론

화학공장에 있어서 각 공정에 에너지와 스팀을 공급해 주는 스팀 보일러의 조업은 타 공정에 큰 영향을 미치게 되어 있다. 보일러에서 공정에 공급하는 스팀의 품질에 따라서 공정에서 생산하는 제품의 질을 결정하기 때문에 안정적인고 효율적인 보일러의 운전이 요구된다. 보일러 조업지원 시스템의 국내/외 연구동향을 보면, 미국의 MIT대학과 일본의 Mitsubishi Kasei회사가 개발한 이상진단용 전문가 시스템(Diad-Kit/BOILER)[1]과 정성적 모델을 이용한 전문가 시스템 등[2-7]이 개발되고 있으나 대부분 에너지 절약과 이상진단을 중심으로 수행되고 있는 실정이다.

본 연구에서는, 운전원의 오조작으로 인한 보일러 플랜트의 이상상태 발생과 이로 인한 shutdown을 사전에 방지할 수 있는 운전지원 시스템을 개발하고자 한다. 즉, 현장 운전원의 보일러 플랜트 운전조작 방법과 추론지식을 정리하여 운전지원용 knowledge base를 작성하고, 보일러의 운전상황을 인식하고 위험상황을 체크할 수 있는 지식표현법 및 추론방법론을 제안하고자 한다.

2. 대상 공정

본 연구의 대상보일러 플랜트는 석유화학 공장에서 일반적으로 사용되는 드럼형태의 스팀보일러이다(Fig. 1).

주요 구성요소는 보일러, 헤더, 파이프, 상부 드럼, 하부 드럼, 버너, 과열기(superheater) 등으로 구성되어 있으며, 급수는 급수 펌프에서 절탄기(economizer)를 통해 예열되어 상부 드럼으로 들어간다. 상부 드럼의 물은 하강관을 통해 하부 드럼으로 내려가게 되며 다시 상승관을 통해 올라가면서 열을 전달받아 수증기로 된다. 수증기는 수십 개의 가는 튜브로 이루어져 있는 1차 과열기, 2차 과열기를 통하여 과열증기로 되어 스팀헤더로 보내어지며, 공기는 FDF(Forced Draft Fan)를 통하여 들어와 SAH(Steam Air Heater)와 AH(Air Heater)를 거쳐서 버너 주위로 유입되고, 각 라인을 통하여 버너로 유입되는 기름과 가스, 그리고 기름을 분산시키는 역할을 하는 atomizing steam과 혼합되어 furnace에서 연소된다. 연소가스는 AH에 열을 공급하고 EP(Electrostatic Precipitator)를 거쳐 stack을 통해 배출된다.

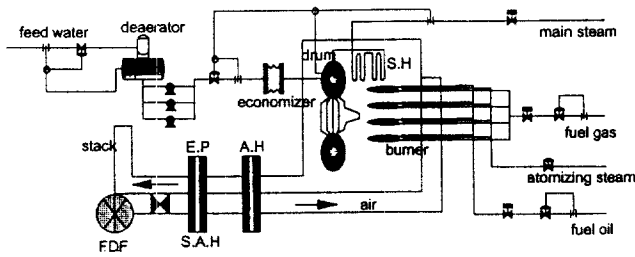


Fig. 1. Boiler plant.

3. 시스템의 구성

3-1. 시스템의 개요

보일러에서 발생하는 대부분의 사고는 조작의 예비조건을 만족하지 못한 상황(오판단)에서 조작을 행하는 경우와 운전원의 오조작으로 인해서 발생하고 있다. 보일러의 공정상태가 인터락조건에 해당되면, 위험상태로 인한 보일러의 파손을 막기 위해서 인터락 신호가 Main Fuel Trip(MFT)을 기동시켜 각 line의 trip 밸브를 차단하여 보일러를 shutdown시키고, 보일러로부터 스팀을 공급받는 화학플랜트도 shutdown되므로 막대한 경비손실을 초래하게 된다. 기존의 인터락 제어 알고리즘은 조작으로 인해 공정상태가 변한 다음, 인터락조작을 실행하므로 오조작으로 인한 사고를 사전에 막을 수 없다. 본 시스템에서는 조작을 행하기 전에 현재 공정의 상황을 인식한 다음, 조작에 의해 변화되는 상황을 모사하고 변화된 상황이 안전한지를 판단하는 방법을 제시한다.

(1) 시스템은 Dainin.lsp를 사용하여 대상공정의 구조와 초기 공정의 상태 및 운전상황 인식에 필요한 knowledge base를 입력받아 현재 공정의 상황을 인식한다(Fig. 2).

(2) 현재상태에 대하여 운전원 혹은 사용자로부터, 조작의 안전성 여부를 체크할 기가 조작에 대한 명령을 지시받는다.

(3) 조작에 의한 위험성을 예측하기 위하여 먼저, 조작기기의 기동 전 제약조건을 만족하는지를 검토한 후, 조작 가능하면 가상적으로 조작을 행한 후, 공정상태 모사기(process-state-simulator)를 사용하여 조작에 따른 공정상태를 모사한다.

(4) 다음에 상황인식기(situation-recognizer)는, 미리 준비된 상황인식 knowledge base(Situation.lib)와 모사된 공정상태를 이용하여 보일러의 운전상황을 인식한다.

(5) 안전성 평가기(safety-evaluator)는 장치 제약조건, 공정상의 제약조건 및 발생가능한 위험상황을 규정한 위험 특성 knowledge base(Hazard.lib)를 참조하여 변화된 상황의 위험성여부를 체크한다.

3-2. 상황인식을 위한 지식표현법

3-2-1. 플랜트의 상태표현

보일러 플랜트의 결합구조는, 상태를 나타내는 공정변수(온도, 압력, 구성물질, 상, 유량, 밸브의 개/폐, 장치의 작동상태)의 값을 변화시키는 모든 요소(밸브와 장치)와 separating point(분리점), mixing point(혼합점)를 node로 나타내고 node와 node사이의 pipe를 arc로 나타낸 유량 그래프로 나타낸다. Purge공정에 해당하는 부분을 유량 그래프로 나타내면 Fig.3과 같다.

보일러의 상태변화는, 각 arc와 node의 속성 변수값과 path의 상태(open/close)를 이용하여 인식한다.

(1) 플랜트의 결합관계 및 기기장치의 상태와 운전정보, 거동의 표현은 각 node와 arc의 속성변수를 사용한다(Table 1).

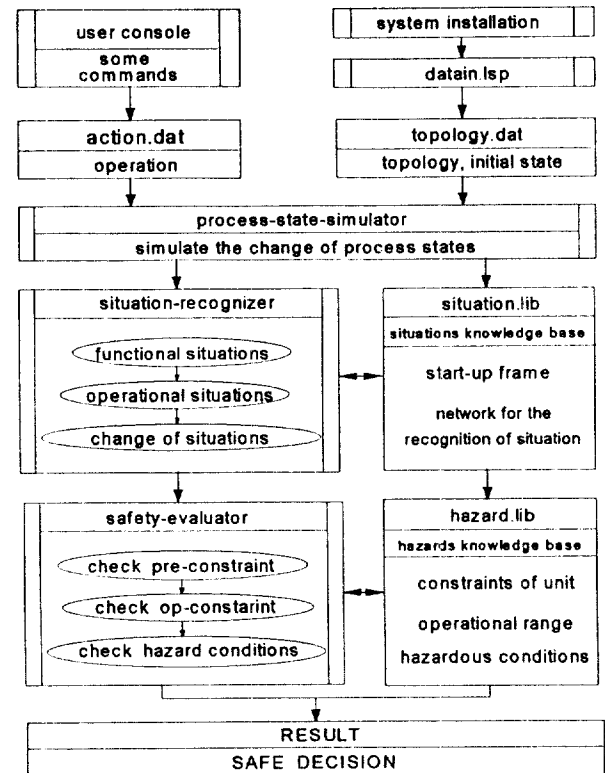


Fig. 2. Overview of the system.

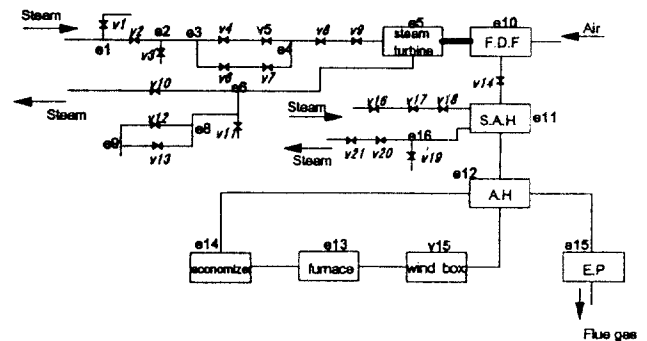


Fig. 3. Graphical representation of the purge process.

Table 1. Property variables of arcs and nodes

Meaning	Property variables
Temperature	temp
Pressure	press
Flow rate	flow
Phase	phase
Components	comp
Open, on/close, off	apval
Functional rules	funcop
Input and output arcs	arc
Functional utility	func-utility
Working state	working?
Range of operational conditions	op-constraint
Constraints before operation	pre-constraint

(2) 조작에 의한 path(상류측에서 하류측으로 물질이 흐를 수 있는 경로)의 open/close여부는 path상에 존재하는 모든 arc와 node의 개/

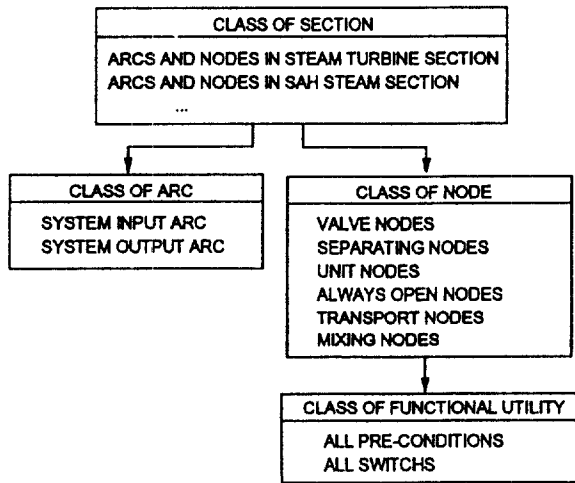


Fig. 4. Functional classification of node and arc.

폐상태로 결정된다.

그리고 결합구조를 기본으로 하여 각 기능을 담당하고 있는 section별로 나누고, node와 arc는 기능형태에 따라 다음과 같이 나눈다 (Fig. 4).

- ① Transport node(수송 node)는 유체의 흐름을 유발시키는 장치로 pump, FDF, compressor 등이 있다.
- ② 분리점과 혼합점, SAH, AH, furnace, economizer, EP 등은 항상 open상태로 존재하는 node이다.
- ③ 각 node의 기동여부는 node가 가지는 functional utility(작동 스위치 등)의 작동여부로 판별된다.
- ④ 각 작동 스위치(EP, AH 작동스위치)는 속성 변수 "node"를 사용하여 어떤 node의 작동스위치인지를 인식하게 된다.
- ⑤ System input/output arcs는 공정으로 물질이 유입/유출되는 지점의 arc들이다.

3-2-2. 플랜트의 상황 표현

(1) 기능상황의 표현

대부분의 보일러 플랜트 사고가, 조작을 행하기 위해서 만족되어야 할 상황을 만족시키지 못하고 조작을 행한 경우에 잠재되어 있는 위험성이 발생함으로써 일어난다. 따라서 운전원은 작업시, 현재상황 바로 직전에 어떤 상황이 존재했고, 과거에 어떤 상황이 존재했느냐를 알고 있어야 한다. 본 시스템에서는 다음과 같은 방법을 제안한다.

- ① 임의의 조작을 행하기 전에 보일러 플랜트내의 각 상황의 발생여부는 각 상황의 속성변수인 "Before" 속성변수의 T/Nil값으로 나타내고, 조작을 행하고 난 뒤의 각 상황의 발생여부는 "After" 속성변수의 변수값으로 나타낸다. 또, 임의의 상황이 이전에 발생했는지 여부는 "Id" 속성변수의 변수값으로 나타낸다. 즉 조작전/후의 각 상황 발생여부는 각 상황 속성변수(Before, After, Id)의 T/Nil값으로 표현한다.
- ② 위의 과정을 임의의 조작이 행해질 때마다 반복하여 조작에 의하여 변화되는 조작전/후의 플랜트 상황변화를 파악한다.

한편, 플랜트의 현재의 운전상황이 위험상황인지 여부를 판별하기 위하여, 플랜트의 기본기능을 담당하고 있는 각 path를 정의하고, 각 운전조작시점에서의 path의 기능발휘(즉, 기능상황의 발생, functional situation) 여부는 상황속성변수(Before, After, Id)값을 파악하여 인

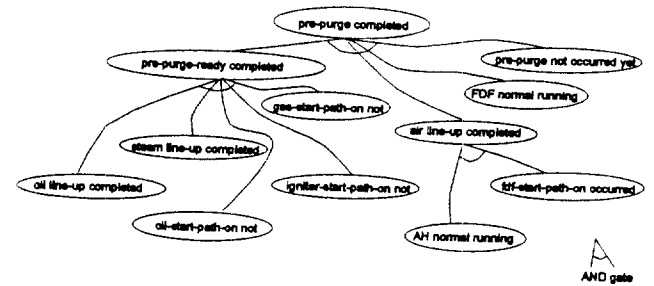


Fig. 5. Network representation of operational situations.

식하도록 설계한다. 또한, 이러한 각 path의 기능상황을 조합하여 플랜트의 운전상황을 표현하기 위하여, frame형식을 도입하여 각 장치의 기동조작에 필요한 관련조작 및 기능상황을 표현하였다. 각각의 frame은 다시 계층적으로 표현되며, 최하부 frame은 구체적인 path명으로 표현된다. frame의 구체적인 표현은 다음과 같다.

```
(Steam-turbine-start-up-frame
  (Pre-Check ((nil)))
  (Rel-State ((steam-turbine-drain-frame)
    (steam-turbine-trap-frame)
    (warming-up-frame)
    (steam-turbine-start-frame)))
  (Message-state ((warming-up-frame)
    (steam-turbine-start-frame)))
  (Message ((steam-turbine on)
    (FDF on))))
```

위 표현의 구체적인 의미는 다음과 같다.

(스팀 터빈의 start-up frame

(요소의 기동전 제약조건은 (없다))

(요소의 기동에 관련되는 frame은

((스팀 터빈 드레인 frame)

(스팀 터빈 트랩 frame)

(Warming-up frame)

(Main steam turbine frame)))이다

(다른 요소의 작동에 영향을 미치는 frame은

((Warming-up frame)

(Main-steam-turbine frame)))이다

(Message-state의 상황변화에 따라 행하여지는 조작은

((스팀 터빈 작동) (FDF 작동)이다)))

(2) 운전상황의 표현

보일러 전체의 운전상황(operational situation)을 인식하기 위해서는, 각 하부기능을 가지는 path의 open/close상태를 나타내는 기능상황 변수값과 arc와 node의 속성변수값의 조합으로 구성된 상황인식 네트워크를 이용한다. 운전상황을 나타내는 각 상황변수들은 조작 전/후의 상황에 대한 정보도 가지고 있다. 상황인식 네트워크의 구체적인 표현은 다음과 같다(Fig. 5).

```
(IF (And (air-line-up-complete after t)
  (pre-purge-ready-complete after t)
  (FDF-normal-start-complete after t)
  (pre-purge-complete id nil))
```

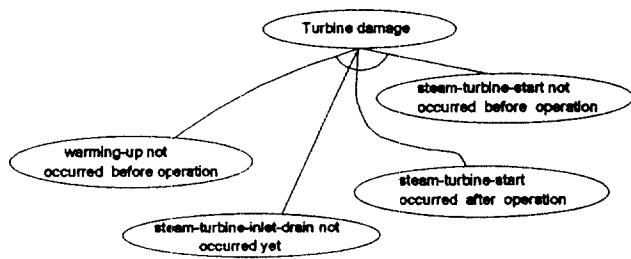


Fig. 6. Network representation of hazardous conditions.

THEN (pre-purge-complete after t))

위 표현의 의미는 다음과 같다.

(만약 (동시만족?

(조작후 air line의 line-up 완료)

(조작후 pre-purge조작 예비조건 만족)

(조작후 FDF가 정상운전되고 있다)

(조작전 pre-purge가 실행된 적이 없다))

그러면 (조작후에 pre-purge가 실행된다))

(3) 위험상황의 표현

보일러 플랜트에서 일어날 수 있는 위험상황과 trip 조건들, 위험한 상황으로 발전가능한 상황들을 정리하여 knowledge base를 만들었다. 위험 조건은 각 기능상황과 상황 인식 네트워크에 의해서 인식된 운전상황, node와 arc의 속성변수들로 구성되어 있다.

위험 발생 가능성 조건의 구체적인 표현은 다음과 같다(Fig. 6).

(IF (And (steam-turbine-start after t)

(steam-turbine-start before nil)

(steam-turbine-inlet-drain id nil)

(warming-up before nil)))

THEN (occur-turbine-damage))

위의 구체적인 의미는 다음과 같다.

(만약 (동시에 만족?

(조작후 steam-turbine-start 됨)

(조작전 steam-turbine-start 안됨)

(터어빈의 inlet-drain된 적 없음)

(조작전 warming-up 안됨)))

그러면(turbine의 파손 우려됨))

3.3. 플랜트의 상황인식법

3.3-1. 상태변화의 인식

조작에 따른 상태변화의 인식단계는 다음과 같다. 1단계에서는 각 node의 functional utility(기능 유틸리티)의 작동상태를 인식하고, 2단계에서는 각 node의 작동상태를 인식한다. 3단계에서 path상에 존재하는 모든 arc와 node가 open상태이면 path상태가 open되어 있다고 인식하고, 4단계에서는 각 node의 기능연산물 중에서 현재상태와 일치하는 물을 인식하여 선택하고, 마지막 단계에서는 선택된 물을 사용하여 조작에 따른 공정상태의 변화를 모사하게 된다(Fig. 7). 여기서 상태모사는, MYCIN 등의 시스템에서 사용한 IF-THEN rule의 형태로 정리한 보일러 플랜트 거동모사용 knowledge base(즉, 각 node의 기능연산물)를 사용하여, 조작에 의하여 변화되는 보일러

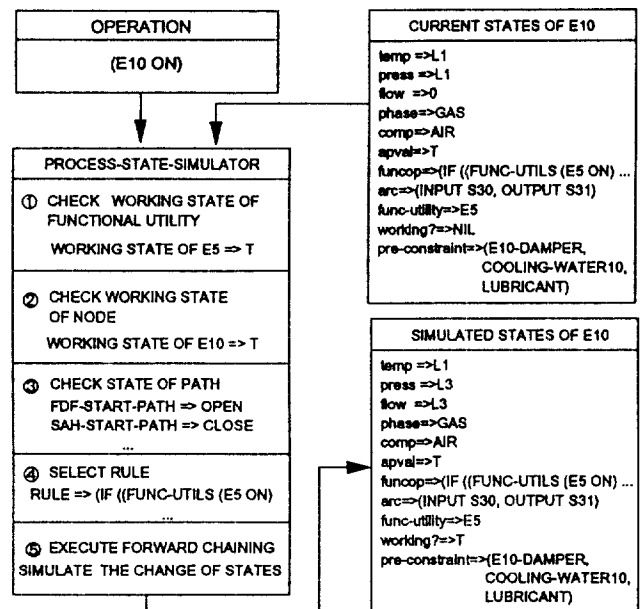


Fig. 7. procedure for changing process states.

Table 2. Functional utility of nodes

No.	Node	Functional utility
1	Steam turbine(e5)	Steam-turbine-start-path, warming-up-path
2	FDF(e10)	Steam turbine(e5)
3	SAH(e11)	SAH-start-path
4	AH(e12)	AH-start-switch
5	EP(e15)	EP-start-switch

의 상태와 상황을 모사한다. 즉, 조작이 행하여지면, 각 node는 기능연산물을 적용시켜 보일러내의 전체 node와 arc의 상태를 변화시키고 변화된 상황을 인식하는 방법으로 상태변화를 모사한다.

여기서, 기능 유틸리티라는 것은, 임의의 장치가 정상적으로 기능을 발휘하기 위하여 만족해 주어야 할 기능 준비조건을 말하는 것으로, purge process(Fig. 3)의 구체적인 기능 유틸리티는 Table 2와 같다. 작동상태(working?)의 의미는, node가 가지고 있는 고유한 기능을 발휘할 수 있는 상태를 말하는 것으로 개/폐상태와는 다른 의미를 가진다.

한편, 기능연산물이란, 다양한 조작 조건하에서 그 장치가 나타내는 기능을 표현한 지식 베이스로 다음과 같은 형식을 취하고 있다.

<IF (물을 적용시키기 위한 Func-utility들의 작동상태)

(Node의 작동상태)

(입력 Arc 상태 List)

THEN (Node의 상태 List) (출력 Arc 상태 List)

AR (입출력 Arc 대응 관계)>

IF-PART에 지정된 상태를 만족하면, 그때 유출되는 유체의 상태와 node의 상태가 AR-PART의 입출력 arc대응관계를 참조하여 THEN-PART에서 지정된 상태로 변화되는 것을 의미한다.

예를 들면, 스팀 에어 히터(e11)의 기능연산물(Funcop)에 대한 구체적인 표현은 다음과 같다(Fig. 3).

(put 'e11 'funcop '(

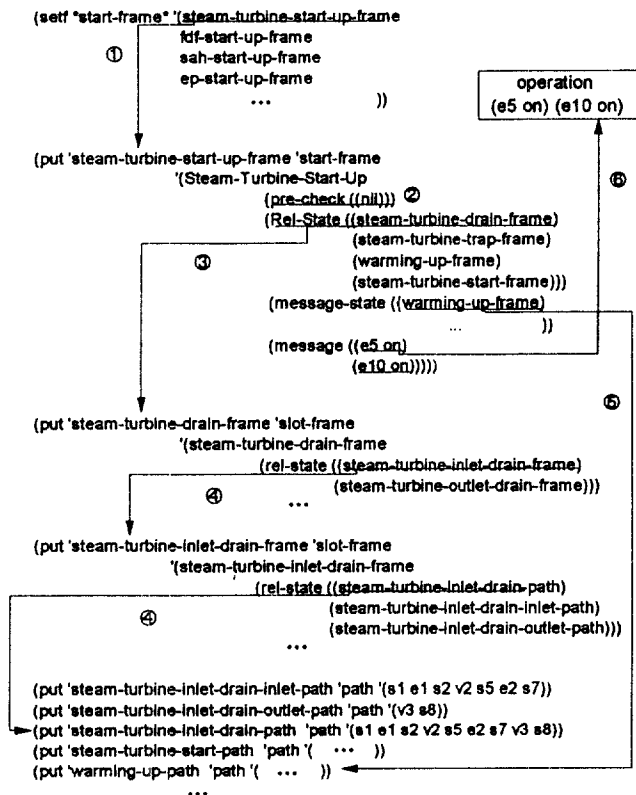


Fig. 8. Procedure for recognizing functional situations.

```

    (If ((func-utils ((sah-start t)))
      (working? (t))
      (S (s32 (temp l2) (comp air)
        ...)))
      Then (e11) ((s33 (temp l3) (comp air)
        ...)))
      Ar ((s32 s43) (s33 s44))))
  
```

즉, Sah-start라는 path가 open상태이며, 스팀 에어 히터의 입력 arc(s32, s43)의 상태가 위와 같을 때 출력 arc(s33, s44)의 상태는 Then부에 지정된 상태로 출력된다는 것을 나타낸다. 이러한 방법으로 더 이상 변화시킬 node와 arc가 없을 때까지 FORWARD CHAINING법으로 변화시켜 나간다.

3.3-2. 상황의 인식과 위험상태 판별

플랜트내 각 level의 상황 인식단계는 다음과 같다.

(1) 기능상황의 인식은, start-up frame에 정의된 관련 frame의 하부구조인 path의 open/close상태를 파악하여, 당해 path의 기능상황(예, warming-up-path가 open되어 있는 경우 warming-up 기능이 실행됨)의 실현여부를 인식한다(Fig. 8). ① 임의의 조작이 실행될 때마다 전체 frame 리스트에서 임의의 frame을 선택하여, 기동전 제약조건을 만족하는지 pre-check slot의 제약조건들을 체크한다. ③ 제약조건을 만족하면, 어떤 상황이 전개되고 있는지를 인식하기 위해서, rel-state slot 중에서 하부기능 frame 한 개를 선택하고, ④ 선택된 frame의 path를 조사한다. 여기서 해당 path가 open된 상태이면, 해당 path의 "After"와 "Id" 변수에 T를 대입하고, close상태이면 NIL를 대입한다. ⑤ 또, 해당 start-up frame의 message-state slot에 있는 요소작동을 위한 상황이 달성되었는지를 체크한다. ⑥ 만일 mes-

sage-state slot의 상황이 달성되었으면 message slot의 조작명령이 실행되어 당해 장치가 조작된다. 이와 같은 조작을 전 frame과 하위 frame 및 path에 대하여 실행하여 플랜트에 존재하는 전 기능상황의 실현여부를 인식한다.

(2) 한편, 운전상황의 인식은, 각 기능상황에 관한 정보, node와 arc의 속성변수들의 값으로 구성되어 있는 운전 상황 인식 네트워크의 IF-THEN rule을 이용하여, 보일러 플랜트의 전체 운전상황을 인식한다(Fig. 9).

(3) 1단계와 2단계에서 인식된 보일러 운전상황에 대한 정보를 이용하여 상황의 시간적 변화상태를 인식하게 된다(Fig. 9). 각 운전상황의 시간적 변화상태를 파악하기 위해서 각 상황의 속성변수(Before, After, Id)의 조합 형태로 표현되는 인식률을 이용하여 변화과정을 인식한다(Table 3).

(4) 마지막으로 위험상황의 발생여부는 기능상황, 운전상황, 공정

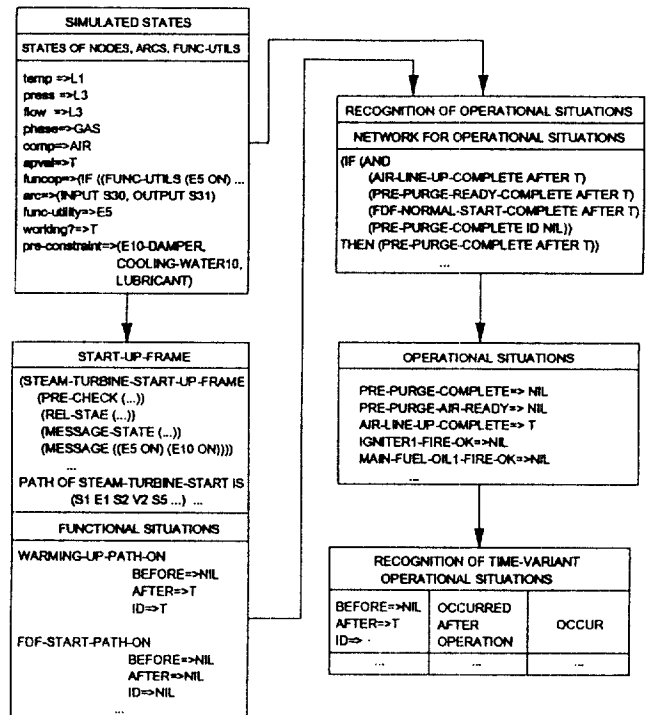


Fig. 9. Procedure for recognizing operational situations.

Table 3. Property variables for time-variant situations

Combinations of variables		Meaning	Time-variant variables
before	nil	Occurred	occur
after	t	after operation	
id	.		
before	t	Disappeared	disappear
after	nil	after operation	
id	t		
before	.	Occured once	once
after	.		
id	t		
before	t	In progress	ing
after	t		
id	t		
before	.	Not occurred	never
after	.	yet	
id	nil		

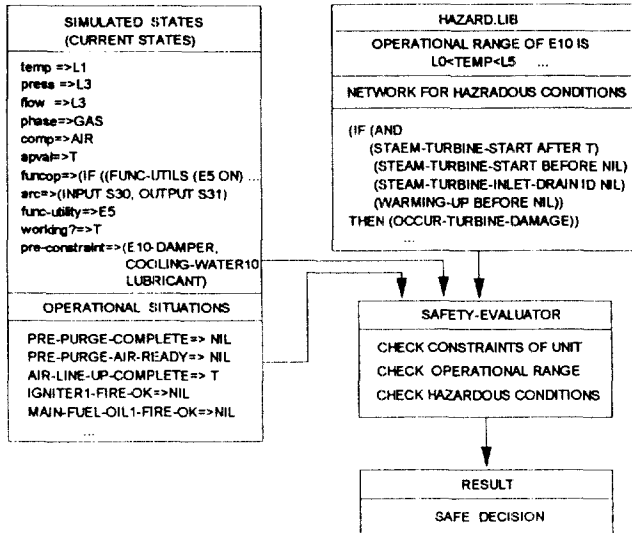


Fig. 10. Procedure for safety-evaluator.

Table 4. Component of the boiler plant

Classification	Component
Boiler main	Steam drum(Including riser/down comer)
	Primary/Secondary superheater
	Furnace, burner
Feed water	Deaerator, deaerator pump
Fuel supply	Feed water pump/line
	Fuel oil line
	Fuel gas line
Air supply	Atomizing steam line
	FDF
	Steam air preheater
	Air preheater
	Economizer
	Electrostatic precipitator
	Stack
Steam distribution	Air supply line
	HP header
	MP header
	Turbine
	Steam distribution line

속성변수들로 구성되어 있는 Fig.6에서 표현한 위험상태 발생 가능성조건의 IF-THEN Rule을 pattern matching시켜 판별한다(Fig. 10).

4. 결과 및 고찰

위험상태 방지 시스템의 타당성을 확인하기 위하여 실제 화력공장의 150 ton/hr 스팀보일러를 대상으로 유효성 평가를 행한 결과 유효성을 확인할 수 있었다.

4-1. 실행예

대상보일러 플랜트를 Table 4와 같이 기능별 단위공정으로 분류하고 유향그래프로 표현하면, 323개의 arc와 247개의 node로 구성된다. Arc와 node는 다시 기능적 분할원칙에 따라 표현하고(Table 5). 전체공정의 위험발생 가능성 조건과 운전상황 인식 네트워크를 작성하였다.

시스템은 사용자로부터 입력된 조작에 의해 발생하는 위험상황과

Table 5. An example of structure representation in boiler plant

Variable	Component
sah-steam-section	s40 v16 s41 v17 s42 v18 s43 e11 s44 e16 s47 v20 s48 v21 s49 s45 v19 s46
transport-node-list	e10 e17 e58
switch-list	ah-start-switch ep-start-switch sparker-switch1 sparker-switch2 ...
warming-up-path	s1 e1 s2 v2 s5 e2 s1 e3 s10 v6 s11 v7 s14 e4 s15 v8 s16 v9 s17 e5 s18 e6 s19 v10 s20
...	...

Table 6. Change of operational situations

Operational situation	Initial	Final
Pre-purge-complete	nil	t
Pre-purge-air-ready	nil	t
Pre-purge-ready-complete	nil	t
FDF-normal-start-complete	nil	t
AH-normal-start-complete	nil	t
Sah-normal-start-complete	t	t
Normal-air-supply	nil	t
Igniter1-fire-ok	nil	t
Main-fuel-oil1-fire-ok	nil	t
Main-fuel-oil1-fire-normal-ok	nil	t
Scavenge1-complete-ok	nil	t
...

그때까지의 조작 sequence를 알려주고, 위험발생을 유발시키는 조작을 조작리스트에서 제외시키고 공정상태를 조작전의 공정상태로 되돌린다. 모든 조작에 대한 위험성을 평가한 다음 안전한 조작 sequence와 보일러의 최종 운전상황을 제시해 준다(Table 6). 보일러에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황 중에서 아래의 경우에 대하여 위험성을 평가하였으며, 구체적인 실행에는 다음과 같다.

<상황: FDF의 기동전 제약조건을 만족시키지 않고 기동할 경우>

시스템을 구동시키면, 조작의 안전성여부를 체크할 조작 리스트가 변수 *operation-list*로 주어지고, 현재상황은 steam-turbine-start-path(해당 path)를 open하기 위해서 해당 path에 필요한 트레인과 트랩을 실행하기 위한 밸브조작을 행한 상태이다

그 다음(V7 OPEN)조작으로 steam-turbine-start-path를 open하여 steam turbine(E5)을 작동시키고자 한다. Steam turbine이 가동되면, steam turbine과 연동장치(shaft)로 연결되어 있는 FDF(E10)가 작동된다. 그런데 FDF(E10)의 기동전 제약조건인 냉각수(COOLING-WATER10)가 가동되지 않은 상태로 FDF를 기동시켰기 때문에 FDF를 기동시키는 상황(steam-turbine-start-path의 open)을 발생시키는 해당조작(V7 OPEN)은 허용되지 않는다. 이때 시스템은 장치의 기동전 제약조건을 만족하지 못한다는 message를 출력하고 조작전의 상태로 복구시킨다. 운전원이 다시 FDF(E10)의 냉각수펌프를 가동시키고 나서 V7을 open하면 FDF의 기동전 제약조건이 만족되므로 위험상황이 발생하지 않는다.

위와 같은 조작리스트에 대한 위험상태를 평가해 본 결과 시스템은 적절하게 위험상황이 발생함을 알려주고 운전원에게 안전한 조작을 제시해 줌을 알 수 있었다.

clisp> (BOILER-HAZARD)

(*operation-list* is (---(V7 OPEN)(COOLING-WATER10 ON)(V7 OPEN)(V4 OPEN)(V7 CLOSE)(SPARKER-SWITCH1 ON)(V15

OPEN)))

..

(&operation& is (V7 OPEN))

((V7 OPEN) satisfies the pre-constraint)

(We finished the state-change by the operation (V7 OPEN))

(***** message-list is a ((E5 ON) (E10 ON)) *****); Steam-turbine-start-path의 Open으로 스팀터어빈과 FDF의 기동을 시도함.

...

((E5 ON) satisfies the safety-constraints)

(***** message-list is a ((E10 ON)) *****)

(&operation& is (E10 ON))

((E10 ON) can not satisfy the pre-constraint (OIL10 COOLING-WATER10 E10-DAMPER))

((COOLING-WATER10 Working? nil)); FDF의 기동전 제약조건 중에서 냉각수가

(We can not operate (V7 OPEN)); 기동되어 있지 않음. 따라서 (V7 OPEN)조작은 불가.

(Return to the state before operation (V7 OPEN)); (V7 OPEN)하기 이전의 상태로 복구시킴.

=> UNSAFE

(&operation& is (COOLING-WATER10 ON)); FDF의 냉각수 Pump를 가동시킴.

((COOLING-WATER10 ON) satisfies the pre-constraint)

(We finished the state-change by the operation (COOLING-WATER10 ON))

=> SAFE

(&operation& is (V7 OPEN)); Steam-turbine-start-path를 Open시키는 조작을 다시 행함.

((V7 OPEN) satisfies the pre-constraint)

(We finished the state-change by the operation (V7 OPEN))

(***** message-list is a ((E5 ON) (E10 ON)) *****)

...

((E10 ON) satisfies the pre-constraint (OIL10 COOLING-WATER10 E10-DAMPER))

(We can operate (V7 OPEN)) ; FDF의 기동전 제약조건을 만족함.

=> SAFE ; (V7 OPEN) (E5 ON) (E10 ON) 조작

성공.

..

(***** SAFE OPERATION-PROCEDURE is (-(COOLING-WATER10 ON)(V7 OPEN)(V4 OPEN)(V7 CLOSE)(SPARKER-SWITCH1 ON)(V15 OPEN)))

5. 결 론

보일러 플랜트의 운전관리 미숙(오조작, 오판단)으로 인해 발생하는 shutdown을 방지하는 운전지원용 전문가 시스템을 개발하기 위해서, 대상공정과 거동에 대한 symbolic modeling을 실시하였다. 그리고 조작에 의한 공정상태변화 모사방법 및 상황의존적인(context-dependent) 문제를 해결하는 방법을 제시하고, 상황인식을 하기 위한 지식표현기법과 위험상황의 인식에 필요한 지식을 일반화하였다. 시스템을 실제공정에 적용하여 제시한 방법이 유용한 것임을 검증하였다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 지정 우수연구센터인 공정산업의 지능자동화 연구센터의 일부연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Calandranis, J. and Stephanopoulos, G.: *Chem. Eng. Progress*, **1**, 60(1990).
2. King, H., Roger, L., James, S. and Hollingsworth, L.: *IEEE Trans. on Energy Conversion*, **6**, 356(1991).
3. Alatiqi, I. M. and Meziou, A. M.: *Comput. Chem. Engng.*, **16**, 51(1992).
4. Follett, H. D. and Larva, W. J.: *ASCE J. of Energy Engng.*, **114**, 69(1988).
5. Tomita, S., Hwang, K. S. and O'shima, E.: *J. Chem. Eng. Japan*, **22**, 364(1989).
6. Fusillo, R. H. and Powers, G. J.: *AIChE J.*, **34**, 558(1988).
7. Rich, S. H. and Venkatasubramanian, V.: *Comput. Chem. Engng.*, **12**, 27(1988).