

보일러 플랜트의 Start-Up 운전자동화를 위한 모델링

Modeling for the Automation of Start-up Operation in Boiler Plant

윤 영 진* · 황 규 석*

Young-Jin Yoon · Kyu-suk Hwang

(1996년 6월 12일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

ABSTRACT

Since, human error is a major factor contributing to disaster during start-up of operation in Boiler plant, it is necessary to develop an automation system which prevent mode of operation that are known to be dangerous and to bring a loss of energy. The aim of this study is to suggest a model for the computer-aided synthesis of operation sequence as a part of automation system for start-up operation.

Synthesis is accomplished by the formation of a hierarchical network of goals which decide sequence of operations. Hierarchical Network is formed by using method which upper goals (i. e. upper operational situation) are classified by the function of themselves into lower goals (i. e. lower operational situation). Knowledge for deciding operation sequence is generated by putting in order the knowledge of hazard operation and energy management.

1. 서 론

보일러 플랜트는 정상조업시에는 자동제어되어 조업되고 있다. 그러나, Start-up 조업시에는 Controller는 Manual Mode로 두고 운전원이 직접조작 하며, Interlock system에는 정상조업시에 적용되는 Interlock logic을 피하기 위한 Start-up 특수조작이 존재할 뿐만아니라 Line-up, 기기작동, Warming-up, 승압조작 등의 일련의 조작들이 존

재하여 다양한 상황이 발생하고 비정상상태로 운전된다.

그러므로 Start-up운전은 기존의 수치 제어로서는 불가능하므로, 운전원의 상황판단과 경험지식에 의존할 수밖에 없었다. Start-up운전 자동화를 위한 시스템은 운전상황의 이해 및 판단능력과, 조작의 의미이해와, 다양한 상황변화에 대한 대처능력이 갖추어져야 할 것이다.

Fig. 1과 같은 보일러 사고원인 통계치에 의하

* 부산대학교 화학공학과

면 Start-up시 오조작이나 사전준비조건의 미비로 인한 사고가 60%를 상회하고 있어 운전원의 조작 순서 혼돈에 의한 사고의 비중이 가장 높으며 조작 순서에 관한 연구의 중요성을 나타낸다.

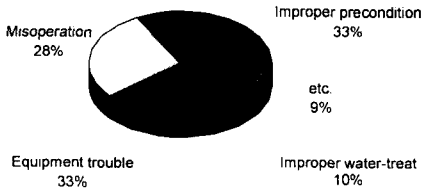


Fig. 1 Reasons of boiler accidents

연구 대상으로 하고있는 대형 보일러의(Fig. 2) 경우 Start-up시간이 48시간이며 Sensor나 기기장치, Controller등이 약 2000여개가 존재하고 조작단으로 사용되는 장치만 400여개에 달한다.

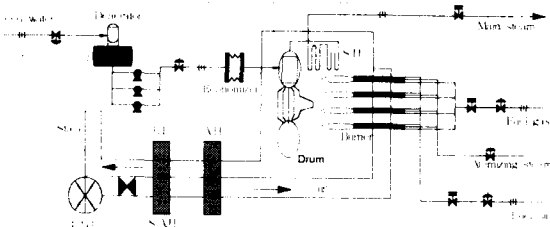


Fig. 2 Boiler Process

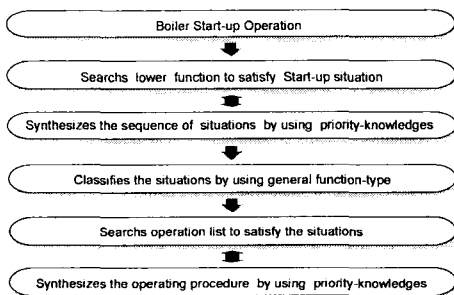


Fig. 3 Method used by operator for determining operating procedures

이러한 보일러의 조작단에 대해 On/Off만 고려하여 임의로 조작수순을 합성하였을 경우에도 컴퓨터내 조합폭발문제를 발생시켜 무한상태공간에서 필요경로만을 탐색하는 방법에 대한 연구가 필

요하다.

본 연구에서는 운전자의 지식흐름을 컴퓨터로 처리할 수 있는 적절한 모델링을 수립하고 상황의 미론을 도입하여 탐색공간을 최소화 시키고자 한다. 본 연구의 목적은 컴퓨터 내 운전지식의 흐름을 체계화하고 보일러 플랜트의 조작수순의 자동합성기를 개발하여 운전원에게 안전한 조작을 제시함으로써 Start-up시의 조작순서 혼돈으로 인한 오조작을 제거하는 것이다.

보일러 플랜트의 Start-up 운전시의 운전원들의 조작 순서 결정 방식은 Fig. 3과 같다.

2. 모델링 구성

Boiler plant의 Start-up운전 절차의 합성은 대상공정의 구체적인 조작후보를 생성한 후 조작후보들의 순서를 결정하여 합성한다. Fig. 4와 같이 모델링 후반부의 조작후보 생성기(Operation-list generator)에서 조작을 탐색해 내며 조작의 우선순위를 결정 지식(Priority knowledge for operation)에 의해 조작후보들의 순서를 결정하여서 조작절차를 합성한다.

한편, 조작후보는 Start-up 운전상황의 기능을 만족시키기 위한 것들이다. Start-up운전상황의 기능은 운전상황 Network의 최하위 상황들이 가지고 있는 기능에 의하여 달성되므로, 최하위 상황의 기능을 만족시키는 조작을 탐색하여 조작후보로 제시하였다.

최하위 상황의 기능은 유체흐름을 형성하는 기능, 공정상태값을 조절하는 기능 등으로 일반성을 찾아 분류하고 각 기능에 대한 Library를 만든다. Fig. 4의 중반부에 나타낸 바와 같이, 예를 들어, 최하위 상황이 상황분류기에서 유체흐름 기능으로 분류된다면 기능Library는 대상공정의 Topology에 관한 지식으로부터 구체적인 흐름대상, 흐름Source, 흐름Sink, 흐름Path 등을 결정하고, 흐름기능을 만족시키는 조작으로는 흐름Path를 열어주는 조작을 실행하여야 한다. 따라서, 유체흐름기능을 가지는 최하위상황은 흐름Path를 열어주는 대상공정의 구체적인 조작으로 표현된다.

또한, Start-up 운전상황의 Network은 상위상황을 만족시키며 구체적인 기능을 가진 하위운전상황의 집합으로 계층적으로 표현하였고, 각 상황들

간의 우선순위를 결정하고 조작후보들간의 우선순위를 결정하기 위한 우선순위 결정지식은, 위험발생 가능성 지식과 사전준비조작 지식, 그리고 예

너지손실지식 등을 이용하여 재 배열하여 정리함으로써 생성되어진다.

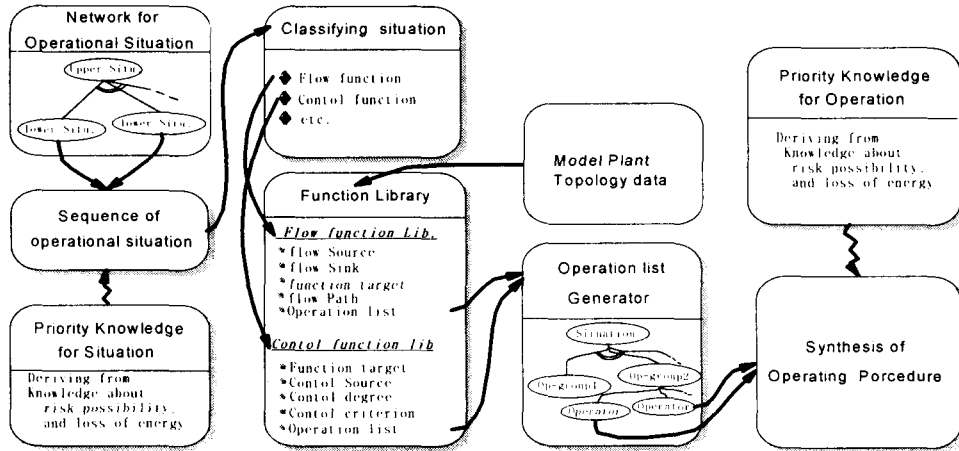


Fig. 4 The Scheme of Data flow

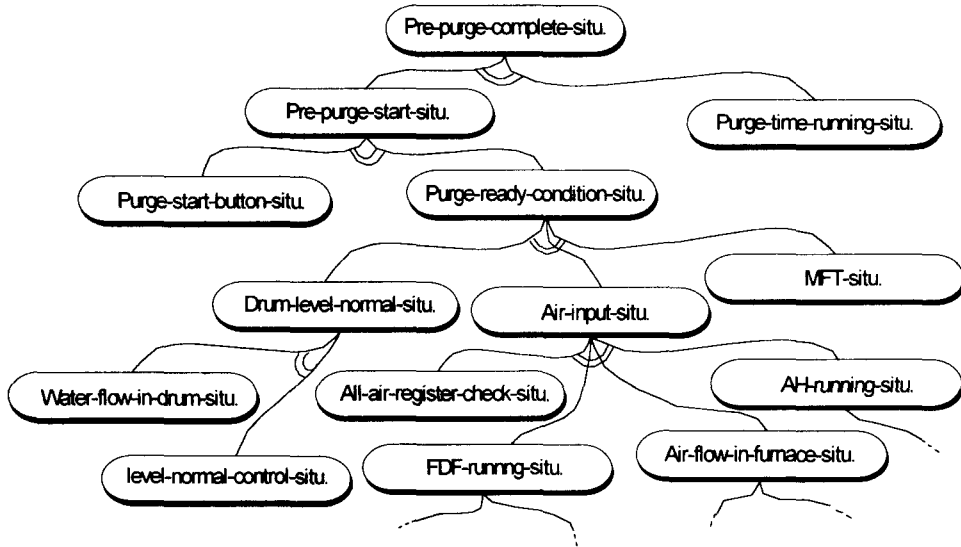


Fig. 5 Hierarchical Network of Operational Situation

3. 상황의 계층적 Network

본 연구에서는 Goal 상황을 구체적인 조작후보를 생성시킬 수 있는 상위-하위 상황의 Network으로 계층적으로 표현하였다. Goal상황으로 표현된 운전조작의 기능은 계층적 구조로 표현된 상위-하

위 상황들의 Tree로 구성되어 있으며 상위 상황을 달성하기 위하여 하위상황의 기능을 달성하여야 하며, 이러한 상황의 계층적 Network의 최말단에 존재하는 최하위 상황은 구체적인 조작단의 조작 (Valve 의 Open/Close, 장치의 On/Off 등)으로 달성되어진다.

Fig. 5에서 표현한 바와 같이 퍼지를 완료 하는 Goal 상황(Pre-purge-complete-situ.)은 퍼지를 실시하는 하부상황(Pre-purge-start-situ.)과 실시 후 시간이 경과하는 상황(Purge-time-running-situ.)으로 분류된다. 또한, Purge-time-running-situ.는 운전원이 적절한 시간 만큼 기다리는 운전의 형태로 구분될 수 있으며 더 이상 확장되지 않는 상황이다. 한편 Pre-purge-start-situ.는 구체적인 조작 후보를 만드는 기능을 가진 상황이 아니므로 다시, 하위상황들로서 세분화시켜야 한다.

이러한 운전상황의 Network 정보와 기능형태에 관한 정보는 다음과 같은 상황의 속성값을 사용하여 표현된다.

상황 속성값	내 용	종 류
Extend?	하부상황으로의 팽창여부를 분류	Upper-situ., Bottom-situ.
Character	유의하여야 할 상황의 특성이나 기능형태별 상황의 분류값	Top-situ. Flow-situ., Control-situ. ...
Rel-situ.	{관련 상부상황} {관련 하부상황}	

예를 들어 Purge-ready-condition-situation에 대한 상황의 표현은 다음과 같다.

{Purge-ready-condition-situ.

{Extend? {Upper-situ.}

Character {nil}

Rel-situ. {{Pre-purge-start-situ.}

{Drum-level-normal-situ.

Air-input-situ.

MFT-situ. {}}

위 표현의 구체적인 의미는 다음과 같다.

{Purge 준비 조건상황

{더 팽창되는가? {상위 상황이므로 더 팽창된다.}

{상황의 특징 {없다.}

{관련상황 {상부상황: Pre-purge 실시상황}

{하부상황: 드럼수위 정상 상황

공기유입상황

MFT 상황 {}}

하위상황의 만족이 상위상황에 미치는 영향에 관한 구체적인 표현은 다음과 같다.

{IF {and {Drum-level-normal-situ. id t}

{Air-input-situ. id t}

{MFT-situ. id t}

THEN {Purge-ready-condition-situ. id t}

위 표현의 구체적인 의미는 다음과 같다.

{만약

{동시만족?

{MFT 상황을 만족하고 있다.}

{드럼수위가 정상인 상황을 만족하고 있다.}

{공기가 유입되는 상황을 만족하고 있다.}

그러면 {Purge 준비조건을 만족하고 있다.}}

4. 상황의 우선순위 결정

상황 Network의 하위상황들의 우선순위를 결정하여 순서를 가지는 Network으로 재구성시키게 되면 상황의 순서가 합성될 수 있다.

우선순위는 단일 Level에, 혹은 여러 Level에 걸쳐진 상황의 순서를 결정해 줌으로써 탐색공간을 최소화시키고, Backtracking을 줄일 수 있다.

상황의 우선순위를 결정하기 위하여, 먼저 ① 위험발생 가능성 지식과 ② 사전 준비조작 지식 그리고 ③ 에너지 손실 지식 등을 사용하여, 일반적인 지식형태의 우선순위 결정지식 Base를 작성한 다음, 이러한 지식Base를 상황의 계층적 Network에 적용하여 각 상황 달성간의 우선순위를 결정한다.

① 위험발생 가능성 지식에 대한 표현의 간단한 예로써는 다음과 같다.

{HAPOSSI 'water-hammer-in-s/t

{and {s/t-pre-working-situ. id nil

{s/t-working-situ. id t}}

위 표현의 구체적인 의미는

{위험발생가능성}

{스팀터빈 내 워터해머발생

{동시만족 {스팀터빈의 예비가동 상황이 만족안됨.}

{스팀터빈의 가동상황:}}

위 표현은, 스팀터빈의 예비가동을 하지않은 상황에서 스팀터빈을 가동하는 상황은 스팀터빈의 워터해머 위험을 발생시킬 가능성이 있다는 것을 나타내며, 스팀터빈 가동상황을 먼저 만족시키고 스팀터빈 예비가동상황을 다음으로 만족시키고자 할 때 발생하는 위험가능성을 표현한 것이다.

그러므로 위 표현은 우선순위의 혼돈으로 인한 위험발생 가능성을 나타낸 것이며, 다음과 같이 바꾸어 표현할 수도 있다.

{HAPOSSI 'water-hammer-in-s/t

{and {s/t-working-situ. first}

{s/t-pre-working second}}}

따라서 위험하지 않은 상황을 이루기 위해서는 스티م 예비가동 상황을 먼저 만족시킨 후, 스티م 가동상황을 만족시켜야 하며, 일반적인 지식형태의 우선순위 결정지식 Base로 변수 *situ. -priority*에 다음과 같이 저장된다.

Priority 1 :

{Self 'situ. -priority'

'((s/t-pre-working-situ. first)

(s/t-working-situ. second))}

생성된 우선순위 표현의 구체적인 의미는

우선순위 1 :

'((스티머빈의 예비가동 상황이 우선적으로 만족되고)

(스티머빈의 가동상황이 만족된다.))

Fig. 6은 폭발가능성 위험에 의해 우선순위가 생성되는 방법에 대해 보이고 있다. 드럼의 수위가 정상이지 못한채 화염이 발생하면 폭발 위험이 있는데, 화염발생은 항상 가능성이 상존한다. 그러므로, 화염발생상황 이전에 항상 수위를 정상으로 만들어야 한다는 우선순위 결정지식이 생성된다.

② 사전 준비조작 지식에 대한 표현으로는

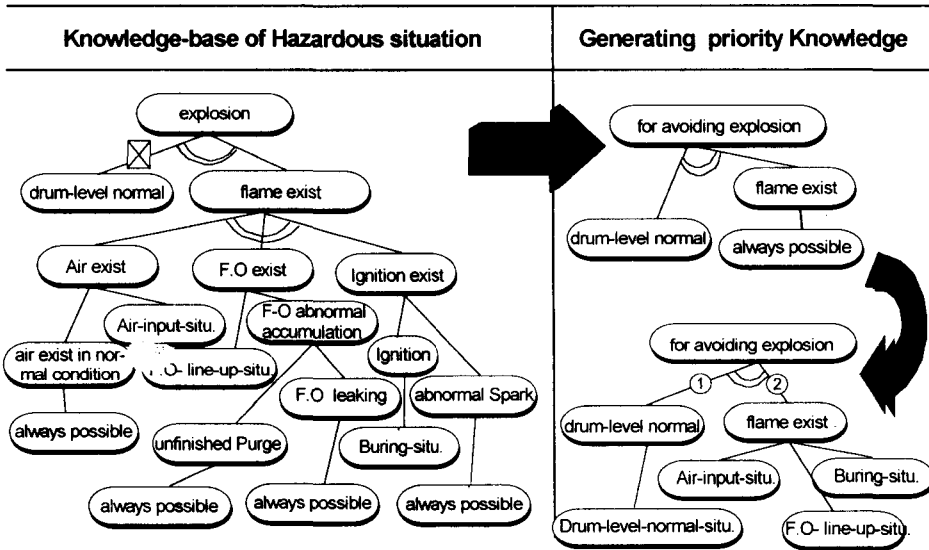


Fig. 6 Generation of Priority Knowledge for situations

{PRECAU1 'AH-working-situ.

'(AH-pump-working-situ. AHLO-pump-working-situ.))

위 표현에 대한 구체적인 의미는 다음과 같다.

{공기예열기 가동상황에 있어서 사전에 준비되어져 있어야 할 상황으로는

'(공기예열기 pump 가동상황과

공기예열기 유탄유 Pump 가동상황이 존재한다.}}

이러한 사전조작 지식에 의해서 생성된 우선순위 결정지식은 다음과 같이 표현된다.

Priority2 :

{(AH-pump-working-situ. first)

(AH-working-situ. second))}

Priority3 :

{(AHLO-pump-working-situ. first)

(AH-working-situ. second))}

③ 에너지 손실지식을 표현하면 위의 위험발생 가능성 지식과 비슷하며 다음과 같다.

{E-LOSS1 (And ((Purge-air-flow-control-situ. first)

(FDF-running-situ. second))}

위 표현에 대한 구체적인 의미는 다음과 같다.

{에너지손실 (동시만족

((공기 흐름을 Purge양 만큼 조절하는 상황이 먼저 만족.)

(FDF가동 상황을 후에 만족))}

이러한 에너지 손실지식에 의해서 생성된 우선순위 결정지식은 다음과 같다.

Priority4 :

((FDF-running-situ. first)

(Purge-air-flow-control-situ. second))

5. 상황의 수순 합성기

상황의 수순은 상황Network을 상황들의 우선순 위지식에 의해서 수순 합성된 새로운 Network으로 재구성시킴으로써 결정된다.

먼저, 상황이 수순합성되는 절차를 보면

① 상황의 분류 속성 중 Character속성이 Top-level-situ. 인 상황을 *Situ.-queue*변수에, 관련하부상황을 취하여 Situ.-q 변수에 둔다.

② Situ.-q 의 element들과 일치하는 *situ.-priority*의 element를 비교하여 Situ.-q값을 변화시켜준

다.

③ Situ.-q를 관련상부상황이 되는 *Situ.-queue*의 element 값에 치환시켜 삽입시킨다.

④ *Situ-queue*의 첫 element인 상황을 취하여 상황의 분류속성 중 extend? 값이 bottom-situ. 인 경우는 Pass시키고, Upper-situ. 인 경우를 취하여 관련하부상황을 Situ.-q 변수에 둔다.

⑤ 더 이상 Upper-situ. 속성을 가지는 상황이 존재하지 않으면 종료한다. 그렇지 않으면, ②과정-④과정을 되풀이 한다.

다음 Fig. 7은 상황의 수순이 합성되는 절차를 그림으로 보인 것이며, 그림 아래쪽의 합성된 상황의 결과 예는 Pre-purge-complete-situ. (퍼지 완료 상황)을 달성하기 위한 최하위 상황의 달성 순서예이다.

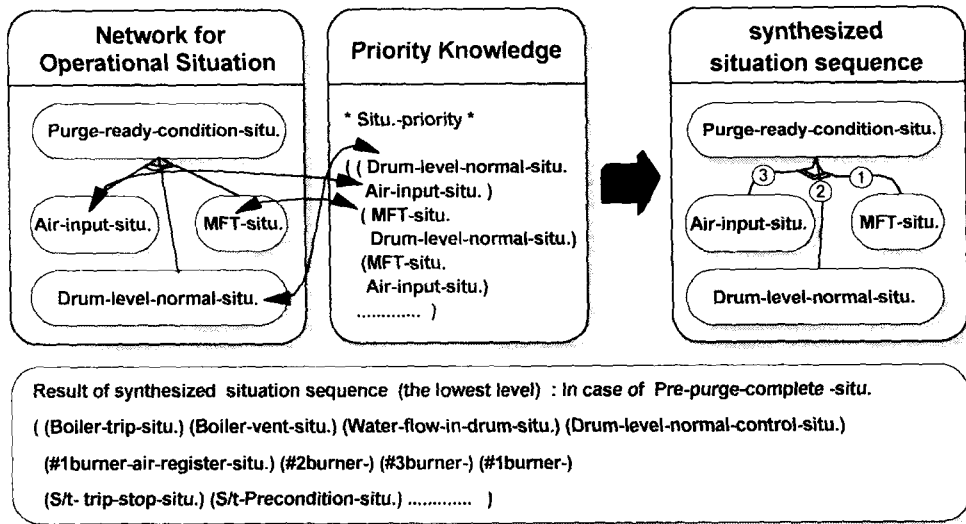


Fig. 7 Synthesis of situation sequence

6. 상황의 기능 Library

● 기능 형태별 상황의 분류

상황 수순합성기에서 합성되어진 최하위 운전상황의 각각에 대해서 구체적인 조작을 찾기 위해서 각 상황이 가지는 기능형태 혹은 운전형태에 따라 일반성을 찾아 분류한다.

분류되는 유형으로는

① 유체 흐름을 형성시키는 기능을 가진 조작

Group

② 상태의 Level을 조절시키는 기능을 가진 조작 Group

③ 시간의 경과가 필요한 조작 Group

④ Valve의 최적조작이 필요한 조작 Group

⑤ Swich의 최적조작이 필요한 조작 Group

⑥ Panel Button의 최적조작이 필요한 조작 Group

⑦ Mode 전환이 필요한 조작 Group 등으로 분

류된다.

또한, 운전상황은 동시에 두가지 이상의 조작 Group 유형에 속하는 것도 있으며, 예로써 Steam-turbine 가동상황은 유체흐름을 형성시키는 기능을 가짐과 동시에 Valve의 최적조작이 필요한 상황이다.

Purge 공정에 대해 분류되어진 운전상황을 보면 다음과 같다.

유체흐름 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · Steam-Turbine 가동상황 · Steam-Turbine 예비가동상황 · Steam-Turbine 예열 상황 · 노내 Air-flow 형성 상황 · Drum내 Water-flow 형성상황
시간경과 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · 적정 시간 Purge 실시
Valve 조작 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · Steam-Turbine 가동상황 · Steam-Turbine 예비가동상황 · Steam-Turbine 예열 상황
조절 조작 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · PurgeAir-flow양 조절상황 · Drum 수위정상 조절상황
Mode 전환 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · FDF damper · auto-mode 전환 상황

P/B 조작 기능 상황	<ul style="list-style-type: none"> · Purge start 실시 상황 · S/T Steam trip 플립상황 · #x Air-register 열림상황 · AH all breaker 플립상황 · AH all local 조작상황 · AHLO Pump 가동상황 · AH motor 가동상황
--------------	---

● 기능Library 내용

각 상황에 대해 기능을 만족시키는 대상공정의 구체적인 조작을 찾기 위해서는 기능의 정보를 보관하고 있는 기능Library를 참조하여야 한다. 기능 Library 내용의 예를 들어보면 유체흐름 기능 Library는 흐름의 시작점이 되는 흐름 Source, 흐름의 끝점이 되는 흐름Sink, 흐름이 이루어지는 경로, 흐름에 의해 영향을 받는 대상등으로 이루어져 있다. 따라서 흐름기능을 만족시키는 조작단은 흐름 Path를 Open 시키기 위한 조작단의 집합으로 찾을 수 있다.

각 기능Library의 구성내용은 다음과 같다.

<유체흐름 기능 Library>

유체흐름기능 Library (Water-flow-in-drum-situ. 경우)		
흐름 대상	흐름에 의해 영향을 미치는 대상	Upper-Drum
흐름 Source	흐름이 시작되는 무한 Material Source	BFW-Tank
흐름 Sink	흐름이 멈추는 무한 Material Sink	Lower-drum
흐름 Path	흐름이 이루어지는 경로	(E0 E1 E2 E3 E4 V5 V6 V7 E5 E6 E7 V14 E9 E10 E11)
흐름 조작단	흐름 Path를 모두 Open 시키는 조작	((BFW-pump on) (BFW-remote-controller open) (BFW-R/C-pre-B/V open) (BFW-R/C-post-B/V open) (Economizer-pre-B/V open))

<조절기능 Library>

조절기능 Library (Drum-level-normal-control-situ.)		
조절 Source	조절조작을 실시하는 기기장치	Remote-contoller
조절 상태	조절조작을 실시하여 영향을 미치는 상태	(Drum-level BFW-R/C-line-flow)
조절 기준치	조절되어야 하는 양	((First (flow 25T/H)) (Second (drum-level -30mm)))
조절 정도	조절 강도	((First (Speed +1%/s)) (Second (Speed 0%/s)))
조절 조작단	조절 Source를 조절 정도에 따라 조절상태의 기준치에 맞추는 조작	((BFW-R/C +1%/s 25T/H) (BFW-R/C 0%/s -30mm))

〈시간경과 기능 Library〉

시간경과 기능 Library (예 : Purge-Time-pass-situ. 의 경우)		
시간경과 대상	시간이 경과되어야 하는 목적	Purge-time-running
경과 시간	기능을 수행시키는데 필요한 시간	3 Min
시간경과 조작단	인간이 경과시간 만큼 기다리는 조작	(3 Min)

● 기능 Library 생성

기능 Library의 내용은 보통 전문가에 의해 주어지는 것이 주가 되지만(예, Valve 조작Speed 등), Topology data로부터 자동생성되는 내용도 있다. 자동생성되는 내용으로써는 각 기능 Library의 조작대상과 각 기능Library의 조작단과 흐름Source, 흐름Sink, 흐름Path, 조절Source 등이 생성될 수 있고, 그 방법은 다음과 같다.
(Source, Sink, Path)

기능 Library	생성 방법
흐름 Source	④모든 흐름 Source를 찾는다. ⑤흐름대상과 연결되어있는 흐름Source만 고른다. ⑥제한조건을 따르는 것만 고른다.
흐름 Sink	④흐름 Source를 지나는 Path를 찾는다. ⑤그중 흐름 대상을 지나는 Path를 찾는다. ⑥Path의 Out node를 찾는다.
흐름 Path	④흐름 Source를 찾는다. ⑤흐름 Sink를 찾는다. ⑥흐름 Source와 Sink를 연결하는 Path를 찾는다.
조절 Source	④모든 조절Source를 찾는다. ⑤조절상태와 관련한 Source만을 찾는다. ⑥제한 조건을 따르는 것만 고른다.

〈조작단〉

조작단	생성 방법
흐름 조작단	④흐름기능 Library의 Path속성값을 찾는다. ⑤Path상의 (Flow-unit ON) (그외-unit 제거) (Valve OPEN) ⑥구체적인 Unit와 Valve 값을 흐름 조작단의 List로 저장한다.
조절 조작단	④조절기능 Library의 조절 Source를 찾는다. ⑤조절기능 Library의 조절 정도값을 Append 시킨다. ⑥조절기능 Library의 조절 기준치를 Append 시킨다. ⑦조절기능 Library의 모든 조절 기준치에 대하여 반복시킨다.

Valve 조작단	④Valve 조작 기능 Library의 조작 Source를 찾는다. ⑤조작 속도값을 Append 시킨다. ⑥조작 기준치값을 Append 시킨다. ⑦모든 조작 Source에 대하여 반복한다.
P/B 조작단	④P/B 조작 기능 Library의 조작 대상을 찾는다. ⑤P/B 조작 기능 Library의 조작 Panel을 Append 시킨다. ⑥(조작대상 조작Panel)에 ON을 Append 시킨다.
Mode 전환 조작단	④Mode 전환 조작 기능 Library의 조작대상을 찾는다. ⑤조작 Mode값을 Append시킨다.
시간경과 조작단	④시간경과 조작 기능 Library에서 시간경과 대상을 찾는다. ⑤경과 시간값을 Append 시킨다.

7. 조작 후보의 생성

각 상황에 대한 조작의 후보들은 크게 상황의 기능을 만족시키기 위한 조작후보와 기능에 수반되어야 하는 첨가 상황의 조작후보들로 구성 된다. 예를 들어 스팀 터빈 예비 가동 상황은 유체흐름기능과 Valve 조작기능을 가지므로 각 기능을 만족시키는 조작이 필요하며 스팀이 사용되는 기기이므로 드레인을 없애주어야 한다는 첨가 기능을 만족시키는 조작이 필요하다.

이러한 첨가상황 또한, 준비된 상황 Network과 우선순위 지식으로 상황수준이 합성되고 기능Library 생성과정을 거쳐 조작List를 생성한다.

Fig. 8에서는 스팀터빈 예비가동 상황이 가지는 조작후보들을 나타내었다. 이 스팀터빈 예비가동 상황은 유체흐름을 형성시키기 위한 예비가동 Path를 여는 조작-Group(Pre-working-path-open)과 그리고 첨가상황을 만족시키기 위한 스팀터빈 워밍업 Path를 여는 조작Group(s/t-warming-up-path-open), 작동Pipe의 드레인 Path를 여는 조작Group(line-drain-path-open), 드레인을 빼기 위한

시간경과 조작(drain-time-running), 그리고, 드레인 제거후 드레인 Path를 닫는 조작 Group(drain-path-close) 등으로써 이루어진다.

이러한 스팀 터빈 예비가동 상황에서 구체적인 조작까지의 Network을 생성할 때는 0-Level은 물론 최하위 상황이 되며, I-Level은 상황이 가지는 기능과 첨가 되는 상황의 기능, II-Level은 I-Level의 기능을 만족시키는 구체적인 조작후보, 즉, Turbine-inlet-valve 열림조작, turbine-inlet-Main-valve 열림조작 등으로써 Network을 구성하게 된다.

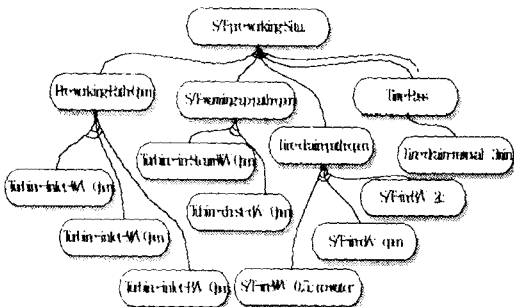


Fig. 8 Relationship between the lowest level situation and operation

8. 우선순위 결정지식에 의한 조작의 수순합성

조작의 수순합성은 조작후보들을 우선순위에 의해서 재배열 시키는 방법으로 이루어진다. 조작의 우선순위 결정지식 또한, 상황의 우선순위 지식과 같은 방법으로 위험발생 가능성 지식, 사전준비 지식, 에너지 손실지식 등을 사용하여 생성된다. 다음 Fig. 9는 Open-path가 형성되지 않은 상태에서 Pump를 작동하면 Pump파열 가능성이 있다는 위험발생 가능성 지식에 의해서 Pump파열을 막기 위해서는 Open-path를 형성하는 조작을 먼저하고, Pump를 작동시키는 조작을 다음으로 하여야 한다는 우선순위 결정 지식의 생성으로 이어지는 그림을 나타낸 것이다.

조작의 수순합성 절차는 상황의 수순 합성절차와 같으며, 조작의 우선순위 결정지식을 사용하여, 하위 상황을 달성하기 위한 조작Group의 Network내에 존재하는 조작후보들의 조작순서를 결정한다. 예를 들어 Water-flow-in-drum-situ. (드럼

내 충수 상황)의 경우 (Fig. 10) 조작 Group에 존재하는 조작들 중, (BFW-Pump-switch ON) (BFW-remote-controller OPEN)의 조작순서를 결정하기 위하여, 조작의 우선순위 *Op-Priority*에 저장되어 있는 지식Base를 탐색하게 되면 ((BFW-remote-controller OPEN) (BFW-pump-switch ON))의 조작순서를 찾을 수 있게 된다. 따라서 조작Group이 가지는 조작순서는 ((BFW-remote-controller OPEN) (BFW-pump-switch ON)이 된다.

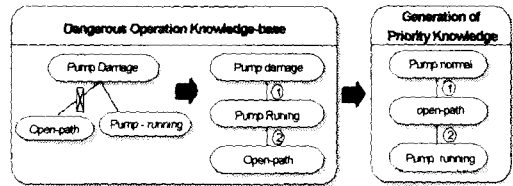


Fig. 9 Generation of Priority Knowledge for operations

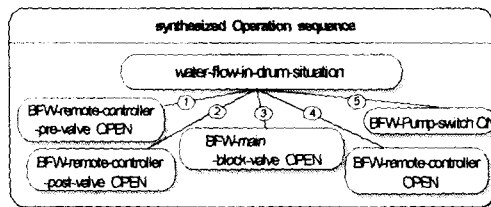
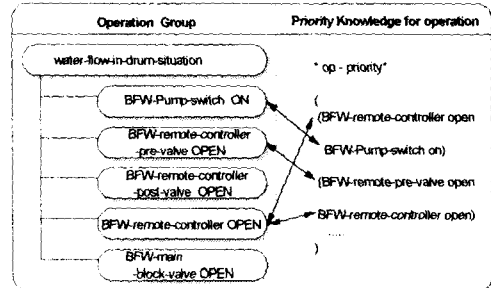


Fig. 10 Synthesis of Operating Procedures

9. Boiler Plant 구조 표현방법

보일러 플랜트의 구조를 크게 Node와 Arc로 구분하여 유향그래프로 표현하였다. Valve, equipment, Mixing-point, Separating-point는 Node로써 표현하고 Pipe는 Arc로 표현하였다. Boiler Plant의 Equipment 를 크게 Transfer unit와 Control unit로 나눈다. Transfer unit는 Source of

thermal energy, Sink of thermal energy, Source of momentum, Source of material, Sink of material 등으로 표현된다. 또, Control unit는 Control of temperature, Control of Pressure, Control of flow 등으로 구분하여 표현한다. Equipment의 기능은 다음과 같은 방식으로 표현이 된다.

(Put 'Equipment 'is-a '(transfer-unit control unit))
 (Put 'transfer-unit 'is-a '(theraml-device flow-driver feed-unit))
 (Put 'thermal-device 'is-a '(heaters coolers))
 (Put 'heaters 'is-a '(gas-fired steam-heated))
 (Put 'steam-heated 'is-a '(650#-steam-header 500#-steam-header 150#-steam-header))
 위 표현을 그림으로 보면 Fig. 11와 같다.

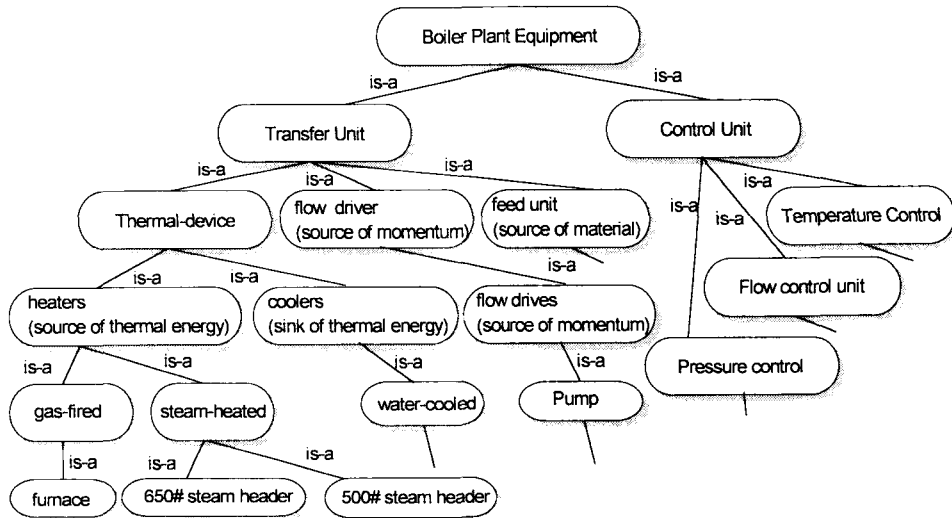


Fig. 11 Hierarchical Structure of Boiler plant Equipment

10. 결 론

조작순서의 혼돈에 의한 오조작을 없애기 위해서 Start-up운전의 자동화를 위한 모델링을 제시하였으며 Goal상황을 계층적 Network으로 표현함으로써 탐색하여야 할 상태공간을 줄였다. 위험특성 지식, 사전조작 준비지식, 그리고 에너지 손실지식 등을 사용하여 우선상황이나 우선조작을 선택할 수 있는 우선순위 결정지식을 생성시킴으로써, 상황 또는 조작의 수순을 탐색할 때 사전에 위험하고 에너지가 낭비되는 상황이나 조작의 경우, Route를 차단시켜 backtracking을 줄였다.

기능형태나 운전형태별로 상황을 분류하고 기능 Library를 생성하여 상황Network의 최하위 운전상황에서 조작Group과 구체적인 조작 후보까지의 Network의 생성이 자동화 되었다. 이렇게 만들어진 Network에 대하여 조작의 우선순위 결정지식을 적용함으로써 조작순서를 자동으로 합성하는 것이

가능해졌다.

본 연구는 한국과학재단 지정 우수연구센터인 공정산업의 지능자동화 연구센터와 에너지자원 기술개발지원센터 연구지원으로 이루어졌으며 지원에 감사합니다.

참 고 문 헌

- 1) K. S. Hwang, S. Tomita and E. O'shima, Automatic synthesizer of an operating procedure for chemical plant involving parallel operations, KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU, 16,2,343-353, 1990.
- 2) B. O. Hou, D. M. An, K. S. Hwang, A Study on the Knowledge Representation for the Recognition of Hazadous Conditions in Boiler plant., journal of KIIS 10, December,

- 60-67, 1995.
- 3) Fusillo, R. H., and G.J. Powers : Computer-aided planning of purge operations., AICHE Journal, 34, 4, pp. 556~558, 1988.
 - 4) J.ROBERTO RIVAS, DALE F. RUDD, and LLOYD R. KELLY, "Computer-Aided Safty Interlock Systems", AICHE Journal, 311, 319, 1974.
 - 5) J.ROBERTO RIVAS, and DALE F. RUD-D, "Synthesis of Failure-safe Operations", AICHE Journal, 311, 319, 1974.
 - 6) Hwang, K.S., S.Tomita and E.O'shima, "On the development of computer-based system for synthesizing chemical plant operation.", KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU, 14, 6, 728, 736, 1988.
 - 7) Winston, P.H. "Artificial Intelligence", Addison-wesley, Inc.
 - 8) Winston, P.H., B. K. P. Horn "lisp". Addison-wesley, Inc., 1989.