

## 보일러 플랜트의 위험상태 예측 전문가 시스템에 관한 연구

허보경, 안대명, 황규석, 윤인섭\*  
부산대학교 화학공학과, 서울대학교 화학공학과\*

### A Study on the Expert System for the Prediction of Hazardous Conditions in Boiler Plant

Bo-Kyeng Hou, Dae-Myung An, Kyu-Suk Hwang, En-Sup Yoon\*  
Dept. Of Chemical Engineering, Pusan National University  
Dept. Of Chemical Engineering, Seoul National University\*

#### 1. 서론

화학공장에서 각 공정에 에너지와 스팀을 공급해 주는 스팀보일러는 큰 비중을 차지하고 있으며, 스팀보일러의 조업은 타 공정에 큰 영향을 미치게 되어 있다. 특히 Start-up, Shutdown시에는, 운전의 복잡성때문에 폭발의 위험이 크므로 안전상 주의를 요한다.

근래 보일러 플랜트는 점점 대형화, 복잡화되고 있으며, 보일러 운전제어의 고도화를 통한 에너지 절약 및 안전, 재해방지, 공해방지 등을 시도하고 있으므로 시스템의 안전성, 신뢰성을 확보하는 문제가 큰 과제로 등장하고 있다. 대형보일러의 경우, 시동조작이 대단히 복잡하여 운전관리가 자동화되지 못하고 현장운전원의 경험에 의존하고 있으며, 이러한 이유로 운전관리의 미숙으로 인한 사고가 전체 사고원인의 대부분을 차지하고 있는 실정이다.(Fig. 1)

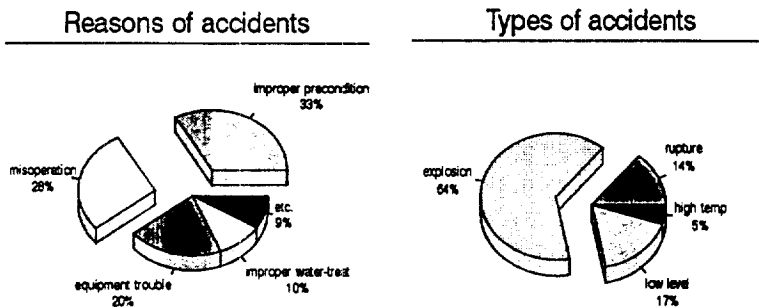


Fig. 1 보일러 플랜트의 사고발생 유형

#### 2. 이론

전문가 시스템을 활용하여 운전원의 오판단, 오조작에 의한 보일러의 위험성을 예측하고, 안전하게 목적상태에 도달하도록 도움을 주는 운전 지원 전문가 시스템을 구축하는데 필요한 지식을 인공지능적인 기법을 이용하여 해석하고 표현하였다. 즉 현장의 운전원이 보일러 플랜트 개시 조업시에 행하는 운전조작 방법과 내부 프로세스 모델, 추론시 사용하는 정성적, 정량적 지식을 수집, 해석, 정리하여 운전지원용 지식 Base를 작성 하고, 여러가지 지식표현기법을 이용하여 보일러의 상태인식과 위험성을 체크할 수 있는 지식표현 방법및 제어구조를 개발하였다.

#### 3. 연구 방법

보일러 플랜트의 위험성 예측 전문가 시스템을 구축하기 위해서 운전원들이 사용하고 있는 추론유형을 이용한다.(Fig. 2)

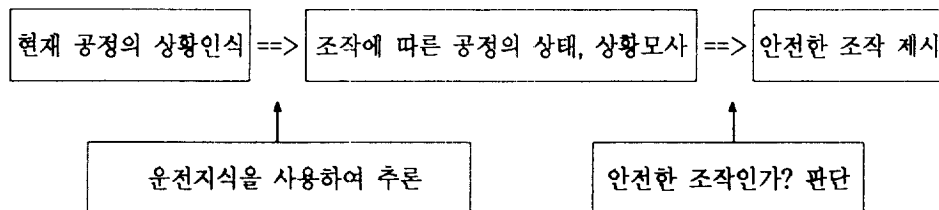


Fig. 2 추론 유형

대부분의 사고가 조작전 예비상황을 만족시키지 못한 경우나 오조작으로 인하여 발생하고 있기때문에, 보일러 플랜트의 안전한 조업을 위해서는 조작전에 어떤 상황이 존재하고 있으며 과거에 어떤 상황들이 존재하고 있었는지를 인식해야 한다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 제안한다.(Fig. 3)

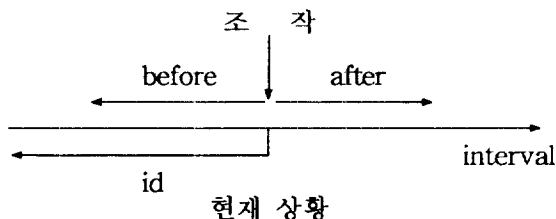


Fig. 3 상황인식 기본 구조도

- ① 조작을 행하기 전에 현재의 상황을 before라는 속성변수에 저장하고, 조작을 행하고 난 뒤의 상황은 after라는 속성변수에 저장하게 된다. 즉 조작 전/후의 상황에 대한 인식 내용을 저장하게 되는 것이다.
- ② 여기서 id속성은 임의의 상황이 과거에 한번 존재한 적이 있으면 항상 t로 둔다.
- ③ 위의 과정을 조작이 행해질 때마다 반복한다.

대상공정의 결합구조는, 공정변수의 값을 변화시키는 모든 요소(밸브, 장치)와 Separating point(분리되는 곳)와 Mixing point(혼합되는 곳)를 Node로 나타내고 Node와 Node사이의 Pipe를 Arc로 나타내고 각 기능을 담당하고 있는 Line별로 나누고, 다시 각 line의 노드와 아크는 기능형태에 따라 나눈다. 또한 Node의 작동에 관계되는 예비조건요소나 작동 스위치로 나눈다. 조작에 의한 공정상태의 변화는 If-Then Rule로 표현한 Node의 기능관계를 사용하였다. 구체적인 표현은 아래와 같다.

```

If ((func-utility의 기능정도 (steam-turbine (3600)))
    (node의 기능정도 (1/2 open))
    (input-arc (temp T2)(comp air O2)(press P1)(phase gas)(flow F3)))
Then (node상태List) ((output-arc (temp T3)(compO2)(press P4) (phase gas)(flow F6)))
Ar ((input-arc)(output-arc)))
    
```

즉, If-Part의 Utility상태, Node상태, Input-Arc의 상태를 만족하면 Ar-part의 node의 전후 Arc 대응관계를 살펴서 Then-part에 표현되어 있는 해당 output-arc의 상태를 변화시키게 된다. 조작에 의해서 공정상태가 변하면 아래와 같은 단계를 거쳐 보일러의 상황을 인식하게 된다.(Fig. 4)

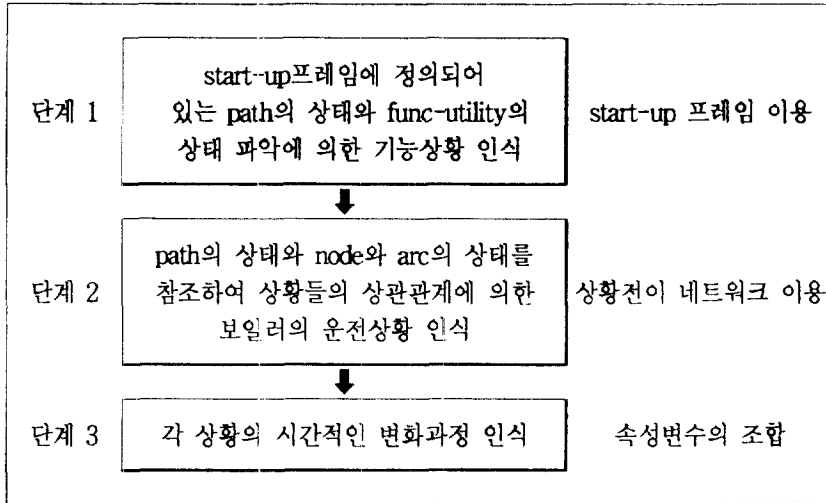


Fig. 4 Levels for the recognition of situations

위의 조작에 의한 공정 상태와 상황의 변화를 각각 체크한 후 과연 조작에 의해서 변화된 상황이 안전한지를 위험발생 가능성조건과 비교하게 된다. 앞의 과정을 대략적으로 요약하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- ① 대상공정의 결합구조, 기기장치들에 관한 제약조건, 운전에 관한 Frame Data, 대상공정의 초기상태에 관한 Data, 위험특성 Data Base 등이 시스템에 입력된다.
- ② 먼저, 보일러 플랜트에 임의의 한 조작(기기장치의 기동, 또는 밸브의 개/폐 등)이 행하여 진다.
- ③ 조작에 의해서 해당되는 Node 또는 Utility의 속성변수값이 변하게 된다.
- ④ 기기장치가 기동됨에 따라 공정내 흐름이 변하게 되고, 그에 따른 공정전체의 상태변화를 기능연산 Rule을 사용하여 모사하고 Node와 Arc의 각 속성변수값에 추가로 저장한다.
- ⑤ 변화된 각 Arc와 Node의 상태를 파악하여 각 요소의 Start-up 프레임에 관련된 각 Path와 기능 유틸리티의 상태를 파악하고 현재의 기능상황을 인식한다.
- ⑥ 상황전이 네트워크를 이용하여 보일러 플랜트의 전체 운전상황을 인식한다.
- ⑦ 상황전이의 시간적인 변화과정을 인식한다.
- ⑧ Arc와 Node의 상태변수값, 각 상황의 속성변수값, 위험특성 Data Base를 사용하여 위험발생 가능성조건을 검사하게 된다.

#### 4. 연구 결과

유공의 150 ton/hour의 스팀을 생산하는 보일러(Fig. 5)를 대상공정으로 선정하여 Pre-purge 개시 조업시 일어날 수 있는 위험성을 예측함으로써 본 시스템에서 제시한 위험성 예측 전략이 타당한 것임을 알 수가 있었다.

- ① (put 'v2 'apval nil)... (put 'v3 'apval nil) ;;초기 공정상태의 상태 입력
- ② (\*\*\*\*\*INITIALIZATION IS COMPLETED\*\*\*\*\*) ;;초기에 주어진 공정의 상태를 가지고 현재 공정의 상태와 상황을 모사하여 초기화
- ③ (\*\*\*) ACTION-LIST IS ((OIL5 ON)(OIL10 ON)(OIL12 ON)(COOLING-WATERS5 ON)(E10-DAMPER ON)(COOLING-WATER10 ON) ... (AH-START-SWITCH))  
;;다음 조작 리스트의 각 조작에 대해서 일어날 수 있는 위험성을 조사
- ④ (&&&OPERATION&&& IS (OIL5 ON)) ;;조작 리스트로 부터 조작을 입력
- ⑤ (%(OIL5 ON)% THIS OPERATION CAN SATISFY THE PRE-OPERATION CONSTRAINTS\.) ;;조작의 조작전 예비조건을 체크
- ⑥ (%%%%OIL5 WE WILL SET ON) ;;조작대로 대상 노드의 조작을 행함
- ⑦ (%%%%WE WILL CHANGE THE STATES OF THE PROCESS)  
;;공정상태의 변화 모사
- ⑧ (\*\*\*\*\* WE WILL CHECK HAZARDOUS-CONDITIONS \*\*\*\*\*) ;;위험상황 체크
- ⑨ (\*UP-DATE IS COMPLETED\*) ;;현재상황이 안전하면 상태와 상황을 Update함
- ⑩ 위와 같은 방법으로 조작 리스트의 각 조작에 대하여 위험성 조사
- ⑪ (\*\*\*\*\* (V8 OPEN) THIS OPERATION CAN NOT SATISFY THE SAFETY-CONRAINTS.) (\*UP-DATE IS COMPLETED\*)  
;;위험상황이 발생한 경우에는 상태와 상황을 조작전으로 회복시킨다.  
(%%HAZARDS ARE ((HUMAN-DAMAGE-SAH-CONTROL-VALVE-DRAIN)  
(HUMAN-DAMAGE-STEAM-TURBINE-DRAIN)))  
(\*\*\*) SAFE OPERATION-PROCEDURE IS ((OIL5 ON) (OIL10 ON) .... (V7 CLOSE))) ;;발생한 위험상황을 알려주고, 위험상황을 유발시킨 조작을 제외한 안전한 조작 리스트를 찾아준다.
- ⑫ (WE HAVE TO CHECK THE NEXT OPERATION\*\*\*\*)  
;;다음 조작을 선택하여 위의 과정을 반복한다.
- ⑬ (\*\*\*\*\* CURRENT STATES ARE AS FOLLOWS. \*\*\*\*\*) ;;모든 조작을 행  
(PRE-PURGE-COMplete ----> T) ... 한 후 보일러의 운전상황 제시  
(PRE-PURGE-READY-COMplete ----> T)

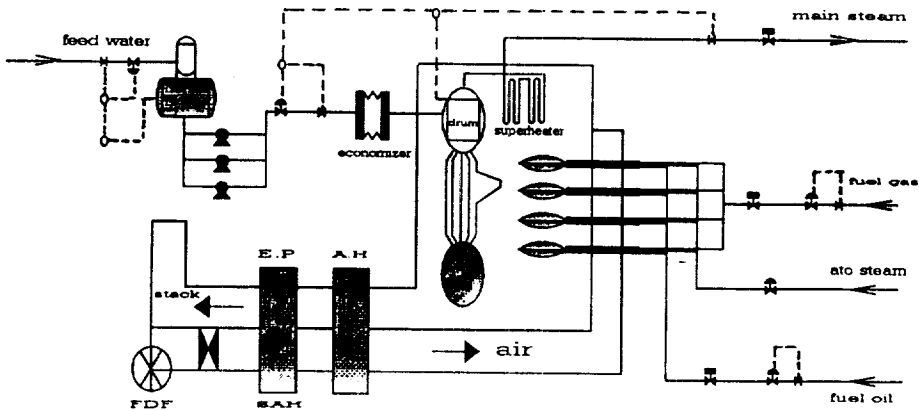


Fig. 5 대상보일러 플랜트

5. 참고 문헌

(1) Fusillo, R.H., and G.J. Powers : Computer-aided planning of purge operations., AIChE Journal, 34, 4, 558-556 (1988)