

냉각장치의 고장징후에 대한 전문가시스템의 개발

- 크실렌 산화 공정을 중심으로 -

심 종 철* · 김 창 은** · 주 용 준***

Jong-Chil Shim* · Chang-Eun Kim** · Young-jun Ju***

* 명지대학교 대학원 산업공학과

** 명지대학교 산업공학과 교수

*** 중경전문대학교 공업경영과 교수

ABSTRACT

본 연구는 위험성이 큰 화학플랜트에서 크실렌 산화공정의 냉각계통에 잠재한 위험성을 HAZOP{Hazard and Operability Studies}기법을 통하여 잠재한 위험공정부분을 미연에 파악하고 이를 평가하여 안전의 효율성을 높이며, 또한 평가 후 이를 전문가시스템을 통하여 취약점을 미연에 파악할 수 있도록 냉각장치의 전문가시스템을 제시하고자 한다.

1. 서 론

화학공장은 대량의 위험물질을 저장하고 이들이 대부분 고온·고압에서 취급되기 때문에 화재, 폭발, 누출확산의 위험성이 다른 산업에 비하여 클 뿐만아니라 화학공장에서의 화재나 폭발사고는 다른 산업에서의 사고와는 달리 많은 인명피해와 막대한 재산피해를 유발하는 경우가 많다. 그러나 안전 관리 관련 법규나 Standard는 경험에 바탕을 둔 최소한의 필요한 조치를 규정하고 있을 뿐이며 이러한 제 규정을 준수하였다 하여도 모든 사고의 원인들을 근본적으로 제거했다고 보기는 어렵다.

본 연구는 위험성이 큰 화학플랜트에서 크실렌 산화공정의 냉각계통에 잠재한 Hazards을 HAZOP{Hazard and Operability Studies}[7, 10]기법의 Hazard Identification Method을 통하여 잠재한 위험공정부분을 미연에 파악하고 이를 평가하여 안전의 효율성을 높이며, 또한 평가 후 이를 전문가시스템을 통하여 취약점을 미연에 파악할 수 있도록 냉각장치의 전문가시스템을 제시하고자 한다.

2. 지식베이스의 형성

2.1 크실렌 산화공정

연구대상으로 하는 크실렌 산화공정은 고온·고압의 가혹한 조건이며 para-xylene의 액상산화촉매에 의한 완전연속공정으로서 반응부에서는 예열된 용매 aceticacid 와 para-xylene 및 촉매(cobal acetate, manganese acetate, 4-bromoethane)용액을 반응기에 투입하고 약 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 압축된 공기와 함께 공급한다. 이때 반응기내의 조건은 $220\text{-}225^\circ\text{C}$, $22\text{-}25\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다.[1] 반응은 고도의 발열반응이므로 응축기를 통하여 열을 제거하여 소정의 압력하에서 환류 시킴으로서 (Reflux) 온도를 조정하도록 하는 냉각계통도는 FIG 1과 같다.

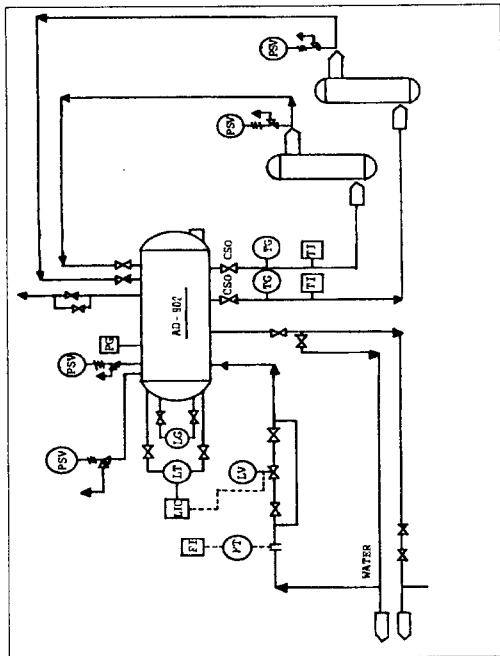


FIG. 1 Control Loops of the Xylene Oxidation Reactor Cooling System

크실렌 산화공정에서 냉각계통인 응축기 (열교환기)가 고장이 나면 반응기 내부에서 온도가 상승하고, 이에 따라 반응폭주(run away)가 일어날 수 있으므로, 이 공정에서 반응폭주를 방지하기 위해서는, 냉각장치가 중요한 역할을 한다.[2, 5, 6]

2.2 지식베이스의 구성

HAZOP STUDY는 추후 전문가시스템의 지식베이스를 구성하는데 중요한 역할을 한다. HAZOP STUDY는 많은 노력과 시간이 소요되므로 공장전체에 대한 STUDY 보다는 Unit별 또는 Section별로 나누어 개괄적인 검토를 실시하고 그 결과 심각한 위험요소가 예상되는 부문에 대해 실시하는 것이 보통이다. 일반적으로 HAZOP STUDY의 적용대상이 되는 기준은 다수의 사상자나 심각한 환경오염을 초래할 수 있는 치명적인 화학물질이나 독극물의 노출의 우려가 있을 경우, 대형화재나 폭발의 우려가 있을 경우, 새로운 공정 기술이나 공정 제어시스템을 도입하는 경우, 기존 설비의 변경으로 인하여 위험요소가 증가될 우려가 있는 경우이다.

또한 HAZOP STUDY의 주요 목적은 안전 측면에서 잠재적인 위험요소나 운전상의 문제점을 파악, 파악된 위험요소나 운전상 문제점에 대한 고려가 설계상에 반영되어 있는지 확인, 위 문제점들의 설계상의 고려가 적합한지 확인, 위 문제점들의 설계상의 고려가 누락 또는 적절하지 않다고 판단된 경우 설계변경, 또는 설계 변경을 요청하는 것이다.

화학플랜트에서 반응기내의 압력이 증가하면 크실렌 산화반응공정에서 폭발재해가 발생된다. 압력의 증가는 급격한 증가와 점진적인 증가로 나눌 수 있고, 급격한 압력 증가현상은 폭발범위내의 크실렌과 산소혼합물이 폭발하고 그때 파열판등 안전장치가 제대로 작동되지 않았을 경우이고, 점진적인 압력증가 현상은 냉각계가 고장을 일으키고, 이때 안전장치가 제대로 작동되지 않았을 때이다. 또 냉각장치가 고장을 일으키기 위해서는 냉각수의 액위가 정확히 측정되지 못하거나 액위제어가 잘못되었거나, 급수펌프가 고장이 났을 때로 나누어 생각할 수 있다. 따라서 이를 FT(Fault Tree)도로 작성하면 FIG 2와 같다.

FT도 FIG 2에서 냉각수 액위가 낮을 수 있는 고장을 데이터[4]를 이용하여 응축기의 액위가 낮아질 고장을 계산하면 년당 2.80건/년(Faults/Year)이며, 이를 HAZOP을 통하여 위험성을 수정 변경하여 설계를 다시 하였을 경우 냉각수 액위가 낮아질 고장을 계산하면 년당 1.16건/년(Faults/Year)이다.

그러나 데이터베이스의 조사에 의하면 제품의 개발과정에서 각 단계의 설계변경 비용은 10의 배수로 증가한다고 한다.[11]

따라서 본 연구에서 필요로하는 goal은 냉각장치의 고장에 이르게 하는 냉각수의 수위가 낮아지는 것에 있으므로, 고장요인에 도달하는 과정을 FT로서 나타내고, 위 그림에서 goal에 이르는 계층적 현상들로부터 rule을 구성하였으며, 냉각장치에 국한하여서만 rule을 구성하였다.

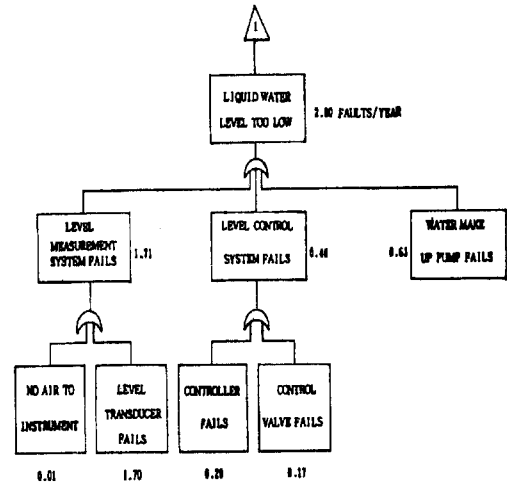


FIG. 2 FAULT TREE for primary events leading to "EXPLOSION" in the Xylene Oxidation Reactor Modified

2.3 고장진단시스템의 구현

전문가시스템은 특정영역의 문제를 해결하기 위하여 전문가적 지식을 사용하는 컴퓨터 프로그램으로, 이는 지식의 상징적 표현, 추론과정의 설명과 인간이 해결하는데 장시간이 소요되는 영역의 문제를 처리하는데 편리한 시스템으로, 문제해결에 도움을 주는 고수준의 전문기술을 갖고 있으며, 이 전문 기술은 정확하고 효과적인 문제 해결 방법을 도출하기 위해, 어떤 연구 분야에서 최상의 사고력을 가진 상급 전문가의 지식을 의미한다. 그러나 연구범위의 한정성과 인간전문가의 절대적인 도움을 필요로 하므로 공학기술자의 한정된 이해가 단점으로 작용될 수 있으며, 적용범위가 개발된 일정분야나 특정부서에 한정되는 것이다.

본 논문에서는 냉각장치의 고장진단은

rulebase를 기본으로 하는 소규모전문가시스템으로 한정된 고장요인을 대상으로 하고 있다. 즉 한정된 요인 중 하나 또는 다수를 goal로 선택하는 진단시스템으로 일반적인 backward chaining의 control structure에 의해 개발될 수 있다.[9] Backward Chaining은 Goal Driven Approach라고도 하며, 어떤 결론을 제시해 놓고 그 결론이 나오게된 여러가지 배경과 이유를 도출해 내는 방법이다. 즉 현재의 Goal이 결론의 사실을 결정했다면, 그 과정은 상황에 Matching되는 Premise Clause를 결정하려고 하는 것이다.

본 연구에서 필요로 하는 냉각장치에서 발생하는 각종 고장의 원인을 분석 진단할 수 있는 전문가시스템을 형성하기 위한 냉각장치의 구조는 Fig 1과 같이 표시되며, 본 연구의 목적에 적합하고 소규모의 시스템을 쉽게 구성할 수 있게 만들어진 EXSYS[3]를 이용하여 냉각장치의 고장요인을 분석하고자 한다. 냉각장치 전문가시스템의 한 부분에서 발생하는 고장의 요인을 전문가적 지식으로 판단해 주기 위하여는 지식베이스를 구축하는 것은 HAZOP을 이용하였으며, 기 제시된 원인을 하나의 결론으로 rulebase를 구성하였다. 즉 HAZOP 수행결과 응축기의 수위가 낮아질 수 있는 경우를 각 위험요소를 보완하여 변형후의 공정에 대한 FT도의 FIG 2의 1의 부분으로 고장요인에 도달하는 과정을 FT로서 나타내었다. FIG 2에서 Goal에 이르는 계층적 현상들로부터 rule을 구성하였으며, 냉각장치에 국한하여서만 rule을 구성하였다. Fig 3은 본 시스템의 지식베이스를 형

성하고 있는 rule 이다.[9]

```

RULES:
/* RULE NUMBER: 1
IF:
    냉각기 수위가 {수위가 정상이다.}
THEN:
    > 냉각기가 고장이 아니다. - Confidence=75/100
/* RULE NUMBER: 2
IF:
    냉각기 수위가 {너무 내려갔다.}
and:
    수위 계측기가 {정상작동을 하지 않는다.}
THEN:
    > 계기 일정압력이 없다. - Confidence=10/100
and:
    > 레벨 트랜듀서가 고장이다. - Confidence=90/100
/* RULE NUMBER: 3
IF:
    냉각기 수위가 {너무 내려갔다.}
and:
    수위 계측기가 {정상작동을 하고 있다.}
THEN:
    수위 계측기가 {정상작동을 하고 있다.}
/* RULE NUMBER: 4
IF:
    수위 계측기가 {정상작동을 하고 있다.}
and:
    수위 제어기가 {정상작동을 하지 않는다.}
THEN:
    > 제어기가 고장이다. - Confidence=40/100
and:
    > 제어밸브가 고장이다. - Confidence=30/100
/* RULE NUMBER: 5
IF:
    수위 계측기가 {정상작동을 하고 있다.}
and:
    수위 제어기가 {정상작동을 하고 있다.}
THEN:
    > 용수 공급 펌프의 고장이다. - Confidence=60/100

```

FIG. 3 Sample Rules of the Cooling System

예로서 본 Cooling System Checker expert system을 실행하면 시스템은 첫번째로 FIG 4에 나타난대로 사용자의 질문을 유도하게 된다. 다음 FIG 5에서 사용자가 이상 여부에 Cooling System Checker는 냉각기의 수위의 이상여부에 대하여 질문을 하면, 사용자가 “냉각기의 수위가 내려갔다”를 대답하면, 다음 FIG 6에서 Cooling System Checker는 냉각기의 수위의 이상여부에 관련된 증상을 찾아내어 다음 질문을 하게되고, 사용자가 “수위 제어

기가 정상작동을 하지 않는다”를 대답하면, 다음 FIG 7에서 Cooling System Checker는 최종적으로 냉각기의 수위의 이상여부에 관련된 증상을 찾아내어 “제어기가 고장이다” 또는 “제어밸브가 고장이다”라는 결론을 내리게 되는 것이다.

confidence factor는 일종의 신뢰정도를 표시하는 방법으로서 확률과 유사한 의미를 가지고 있으나 확률은 전체의 합이 1이어야 하는 반면 confidence factor는 전체의 합이 항상 1일 필요는 없다.

본 논문에서는 confidence factor의 결정 방법을 신뢰정도의 단순평균을 이용하거나, 종속적 혹은 독립적 관계를 이용하는 -100에서 100 시스템을 사용하였다.

본 전문가시스템은 사용자가 제공하는 데이터와 지식베이스 내의 rule에 근거하여 냉각장치에 발생하는 특정시설의 고장을 추출하여 준다. data를 제공하는 사용자의 confidence factor를 함께 고려하였을 경우, 시스템의 사용가능성을 더욱 높아질 것이다.

3. 결 론

본 연구에서 화학플랜트중 크실렌 산화 반응공정의 냉각계통에 관한 정성적인 분석방법인 HAZOP STUDY를 실시하여 위험성을 확인하고, 이를 FT로 나타내어, 고장요인을 추출하여 그것을 goal로 하고 사용자가 경험할 수 있는 여러 현상들을 rule로 한 전문가시스템을 제시하였다.

추후 연구과제는 냉각장치의 신뢰성 확

보를 위하여 FTA 분석을 통하여 수정 보완하는 것이며, 특정 화학플랜트 전체에 대한 실용적인 전문가시스템의 구축이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 이종원, “석유화학공업”, 한국의 화학공업, 한국화학공학회, p.90(1982)
2. Bourne, J. R., Chem. Eng. Sci., 42(9), p.2183(1987)
3. Exsys Professional, Exsys Inc.(1988)
4. Frank P. Lee, Loss Prevention in the Process Industries, Volume 1, Chap. 8, p.142(1989)
5. Gygax, R., Chem. Eng. Sci., 43(8), p.1759(1988)
6. Gygax, R., Inter. Symp. Runway Reaction, p.53(1989)
7. Henry Ozog, Lisa M. Bendixen, Hazard Identification and Quantification, Chem. Eng. Progress, pp.55-64(1987)
8. ICI Central Safety Dept., Hazard and Operability Studies, Chemical Industries Association Ltd., pp.1-42(1977)
9. James P. Ignizio, Introduction to Expert Systems, McGRAW-HILL, Inc, pp.111~151
10. Paul Guymer, Geoffrey D. Kaiser, Probabilistic Risk Assessment in the CPI, Chem. Eng. Progress, pp.37-45(1987)
11. The Race to Market Heats up : Machine Design, p.14(1993)