

## 화공플랜트 위험성평가에서의 인적오류분석

임현태, 정원진, 김연중  
(주)유피테크

### Human Reliability Analysis, An Important Part of Chemical Risk Assessment

H. T. Yim, W. J. Jung, Y. J. Kim  
United Pacific Technology, Inc.

#### 1. 서론

화공플랜트를 비롯한, 위험성을 내포하고 있는 시설물에서 발생하는 사고의 주요 원인은 크게 (1) 기계/장치의 고장, (2) 천연재해를 포함한 외부사건, (3) 인적 오류의 세가지로 분류할 수 있다. 지금까지 각종 사고의 원인을 분석한 결과에 따르면 전체 사고의 약 절반 정도가 인적오류에 의한 것으로 알려지고 있다. 그러나 기계 또는 장치를 설계, 보수 및 시험하거나 관련 절차를 작성하는 주체가 사람이라는 점을 감안했을 때 전체 사고의 90% 이상이 직·간접적으로 사람의 실수가 개입되어 있다는 주장도 인정되고 있다.

화공플랜트 시설에 대한 위험성 측면에서도 사람의 실수가 중요하다는 인식이 강조되어 왔으며 미국의 경우, 현재 연방법으로 시행중에 있는 "유독화학물에 대한 공정안전관리 (Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, 29 CFR 1910.119, 1992년 5월 발효)" 에서도 인적요인을 고려하도록 되어 있다. (조항 (e)(3)(vi))

본 문에서는 인적오류의 유형, 인적오류 정량분석 접근방법을 소개하고, 위험성평가의 일부로 활용된 예를 제시하고자 한다.

#### 2. 인적오류의 유형

화공플랜트 시설물의 고장 또는 사고와 관련한 인적오류 유형의 구분은 분석의 관점에 따라 여러가지로 분류될 수 있는데 대체로 동적오류(Active Error)와 잠재적오류(Latent Error)의 두가지로 크게 분류할 수 있으며 그 의미는 다음과 같다.

- 동적오류(Active Error) : 주어진 임무를 수행하는 과정에서의 실수를 의미하며, 실수의 영향이 즉시 나타나 설비고장 또는 사고를 유발하게 되거나 사고발생후 사후조치의 과정에서 실패하는 경우
- 잠재적오류(Latent Error) : 사람의 실수가 설비고장 또는 사고로 직접 나타나지는 않지만 실수의 영향이 다른 어떤 요인과 결부되어 설비의 고장 또는 사고가 발생하는 경우

동적오류는 (1) 수행되어야 할 과제의 전부 또는 일부를 수행하지 못하는 누락오류(Omission Error), (2) 과제의 전부 또는 일부를 수행하는 과정에서 실수하는 실행오류(Commission Error), (3) 과제의 전부 또는 일부를 수행하는 과정에서 불필요한 행동을 취하는 과잉행위(Extraneous Action), (4) 과제의 전부 또는 일부를 수행하는 과정에서 그 순서를 제대로 따르지 않는 순차오류(Sequential Error), (5) 정해진 시간내에 과제의 전부 또는 일부를 수행하지 못하는 시간오류(Time Error) 등의 유형으로 세분하여 생각할 수 있다.

지금까지는 일반적으로 계통 또는 설비의 위험도분석 또는 사고발생후 사고조사 활동에서 주로 동적오류에 주안점이 두어져 왔으며 잠재적오류를 간과한

경우가 많았다. 그러나 잠재적 오류는 상황에 따라서는 운영요원이 인지하지 못한채 장기간 방치되어 있을 수 있고, 또 어떤 요인이 결부되어 사고가 발생했을 때 사고의 원인이 잠재적 오류에 의한 것이라는 사실을 판단하기가 어려울 수도 있기 때문에 그 중요성이 상당히 크다.

**3. 인적오류분석의 절차**

화공플랜트 시설물에서의 인적오류에 대한 정량분석의 절차를 간단히 나타내면 그림 1과 같다.

먼저 분석대상 인적오류에 대한 정의를 검토하여 그 대상 시설물, 해당 수행 절차, 오류의 유형 등에 대하여 명확히 파악한 후, 각 인적오류에 대한 오류 가능성을 보수적으로 평가한 결과를 근거로 대상 시설물의 위험도 관점에서 검토한다(선별분석). 선별분석 결과, 대상 시설물의 위험도 관점에서 중요한 것으로 판단된 인적오류에 대해서는 상세분석을 수행하게 된다.

중요 인적오류에 대한 상세분석을 위하여 먼저, 대상 행위를 적절히 모델화 하는데 그 모델 기법은 인적오류의 유형에 따라 선정된다. 선정된 기법에 따라 모델화 되면 필요한 데이터를 구해 모델에 입력함으로써 대상 인적오류의 가능성을 정량화한다. 마지막으로 선별분석과 상세분석에 있어서의 분석방법, 가정사항, 분석내용, 데이터 등을 정리하여 문서화한다.

**4. 인적오류분석의 예**

여기에서는 인적오류의 예를 선정하여 그림 1의 모델화 및 정량화를 포함한 상세분석 기법을 예시한다.

대상 인적오류의 정의를 검토해 보았을때, 주어진 수행과제가 "A"와 "B"의 두가지 행위단위로 이루어져 있다고 하면, 모델화의 과정으로 그림 2와 같은 사건수목(Event Tree)을 작성할 수 있다. 여기서는 행위단위 "A"가 먼저 수행되고 그 다음으로 행위단위 "B"가 수행되는 경우인데 각 분지의 오른쪽은 행위단위의 실패를 나타내면서 대문자 A, B로 표기되고, 왼쪽 분지는 행위단위의 성공을 나타내면서 소문자 a, b로 표기된다.

행위단위 "A"와 "B"가 모두 성공해야만 과제가 성공인 경우에는 그 성공확률을  $P_s$  는

$$P_s = P(a)P(b/a) \dots\dots(식1)$$

와 같고, 행위단위 "A", "B"중 하나의 행위단위가 성공하면 과제가 성공인 경우에는 그 성공확률  $P_s$  는

$$P_s = P(a)P(b/a) + P(a)P(B/a) + P(A)P(b/A) = 1 - P(A)P(B/A) \dots\dots(식2)$$

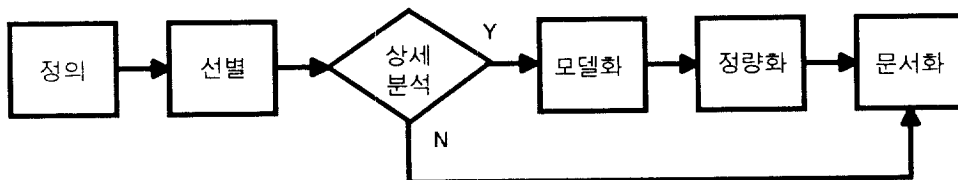


그림 1 인적오류 정량분석 절차

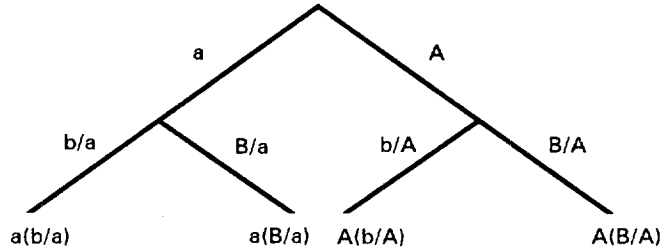


그림 2 인적오류분석 사건수목의 예

와 같다. 그리고, 과제실패의 확률  $P_f = 1 - P_s$ 의 식으로 구할 수 있다. 그리고 각 분지의 오른쪽과 왼쪽, 즉 실패와 성공확률의 합은 항상 1.0이 된다.

이제  $P(A)$ ,  $P(B/a)$ ,  $P(B/A)$  등 각 분지의 오류확률(HEP, Human Error Probability)을 평가한다. 평가요소로는 기본오류확률(BHEP, Basic HEP), 수행 특성인자(PSF, Performance Shaping Factor), 종속성(Dependency), 회복효과(Recovery Factor)가 있으며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$HEP_i = (BHEP)_i \times (PSF)_i \times (DEP)_i \times (REC)_i \quad \dots\dots\dots(식3)$$

여기서,  $HEP_i$  = 행위단위 "i"의 오류확률,

$(BHEP)_i$  = 행위단위 "i"의 기본오류확률,

$(PSF)_i$  = 행위단위 "i"의 수행특성인자,

$(DEP)_i$  = 행위단위 "i"의 종속성,

$(REC)_i$  = 행위단위 "i"의 회복효과

기본 오류확률은 현재 이용가능한 문헌을 이용하거나 인적오류분석 전문가의 의견을 들어 추정한다. 그리고 수행특성인자는 사람의 행위에 미치는 영향을 의미하며 작업의 성격, 작업자의 경력, 작업자의 긴장도(Stress) 등을 검토하여 평가한다. 종속성이란 행위단위 "A"와 "B" 사이의 의존성을 의미하는데 "A"의 성공 또는 실패의 결과가 "B"의 성공/실패 가능성에 영향을 미치는 정도를 무종속성(0%), 저종속성(5%), 중종속성(15%), 고종속성(50%), 절대종속성(100%)의 5단계로 나누어 평가한다. 회복인자는 인적오류의 발생을 방지하고 그 영향을 완화시킬 수 있는 요인을 의미하는데 작업원의 수, 작업가용시간 등을 검토하여 평가한다.

추정된 기본오류확률에 수행특성인자, 종속성의 정도, 회복효과를 반영하여 각 분지의 오류확률을 계산하고, (식1) 또는 (식2)를 이용하여 해당 인적오류의 확률을 구한다.

### 5. 인적오류분석의 한계

인적오류 분석에는 분석모델 측면과 데이터 적용 측면에서 한계가 있다. 사람의 행위는 기계부품과는 달리 부품신뢰도 평가에 사용되는 것과 같은 단순한 모델로 충분히 묘사되기가 어렵고, 모델 구성작업에 있어서 분석담당자의 판단에 의존하기 때문에 분석의 불확실성이 크다. 그리고, 화공플랜트에서 운전원, 보수원 등 운영요원의 실수에 관한 실제 데이터가 없기 때문에 각 행위단위의

기본오류확률을 추정하는데 외국의 문헌 또는 전문가의 의견이 이용된다.

외국에서는 모의제어반(Simulator)을 이용한 운영요원의 오류가능성 분석과 같은 연구가 꾸준히 수행되고 있다.

## 6. 결론

지금까지 화공플랜트에서 인적오류의 유형, 상세분석 절차, 분석기법, 분석의 예 및 인적오류분석의 한계성을 논의하였다. 현재까지 화공플랜트에서 이러한 인적오류분석 및 인간공학 연구에 거의 무관심하였으나 각종 사고의 원인중 사람의 실수로 인한 것이 지대함을 인식하고 앞으로 이 분야에 대한 연구가 필요하다.

인적오류 분석은 위험성평가의 일부로 수행되어야 할 뿐만 아니라 운영절차서, 비상조치 절차서의 작성 및 활용에도 고려되어야 하는 중요한 측면이다. 더 나아가서 화학공장 제어실의 설계, 현장의 장치, 배관의 배열에도 인적요인(Human Factor)을 반영한다면 안전성 제고의 효과를 크게 기대할 수 있다.

## 참고문헌

1. *Federal Register*, 6404-6405 (1992)
2. Swain, A. D. and Guttman, H. E.: "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications," NUREG/CR-1278 (1983)
3. Hannaman, G. W.: "Systematic Human Action Reliability Procedure (SHARP)," EPRI NP-3583 (1984)
4. Spurgin, A. J.: "Operator Reliability Experiments Using Power Plant Simulators," EPRI NP-6937 (1990)
5. Meshkati, N.: "Human Factors in Process Plant and Facility Design," (1994)
6. "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures," Center for Chemical Process Safety AIChE (1992)