

가스시설에 대한 인적 신뢰도 평가 방법에 관한 연구

박명섭, 석현진, 서재민, 김윤화, 고재욱
광운대학교 화학공학과

Study on Methods of Human Error Reliability in Gas Facility

Myung-Seop Park, Hyun-Jin Suk, Jae-Min Seo, Yun-Hwa Kim, Jae-Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon Univ.

1. 서론

인적 오류(Human Error)는 공장 설비의 설계, 제작, 건설, 운전, 폐쇄 등 모든 단계에서 발생할 수 있는데 지금까지 발생한 크고 작은 사건, 사고의 대부분이 직·간접으로 인적 오류의 영향과 연관되어 있음은 잘 알려져 있는 사실이다. 통계적으로 화학공장과 같은 시설물인 경우, 인적 오류가 관여된 사고가 전체 사고의 80%이상을 차지하고 있는 것으로 지적되어 왔다. 그러나 사고의 직·간접적인 원인을 좀더 심도있게 분석한다면, 불시의 지진이나 태풍, 홍수, 화재 등 외부사건(External Event)에 의한 사고를 제외하고는 거의 모든 사고에 인적 요인이 개입되어 있다는 주장도 있다. 설비를 설계, 제작, 건설하고 운영하는 주체가 사람이라는 점을 감안하면 의미가 있는 주장이다.

사고의 주원인인 사람의 잘못에 대한 분석은 가능한 사고를 예측하고 방지방안을 극대화 시킨다는 의미에서 매우 필요하다. 사람이 실수하게 되는 이유는 여러 가지가 있다. 전문가의 견해에 따르면 사고를 유발한 사람의 실수가 그 개인의 심신 상태 또는 부주의에 의한 것은 불과 전체의 10%정도라고 말하고 있다. 대부분의 경우 인간 실수의 근원적인 원인은 개인적이라기 보다는 외부적인 요소, 즉, 절차서의 결함, 부적절한 교육 훈련, 규정과 실무사이의 불일치, 의사 소통상의 문제, 사람·기계 인터페이스에 대한 이해부족, 인력부족 등 적절치 못한 작업 여건에 있다. 이러한 외부적인 요인들은 인적 측면의 다른 요인과 맞물려 있으며 결국 대상 설비에 대한 관리된 사항으로 연결된다. 미국 등 선진국에서 먼저 소개되었고, 최근 국내에서도 도입, 시행하는 공정안전관리등을 관찰한다면 더욱 이해가 쉬워질 것이다.

2. 이론

요즘 가스 시설 및 화학 공정의 정기적 안전 평가를 수행하라는 요구가 증가하고 있으며, 이에 위험성 및 신뢰도 분석가는 hardware 시스템의 분석외에도 인적 신뢰도의 평가를 수행해야 한다. 이것은 전형적인 안전 평가의 기초사항이다.

인적 신뢰도에서의 강조 점은 이상 트리의 사용을 위한 산술적 오류 확률을 유도하는 방법들에 관한 것이다. 그러나 많은 방법 중에서는 절대적 정량화의 강조는 많은 오류를 가져왔다. 평가의 정량적인 결과들이 특정부문에 있어서 결정을 내리는데 중요함에도 불구하고, 이러한 분석에 포함된 많은 자료들이 상당한 불확실성을 가지고 있던 것이 폭넓게 인지되어

왔다. 이러한 불확실성이 존재한다면, 체계적이고 포괄적인 정량적 방법이 위험 원인이 실패 결과들의 확인과정에 적용되어지는 것이 더욱 더 중요하게 된다. 이와 같은 과정은 분석 중에 중요한 실패의 생략이 없어야 한다. 또한 관리, 경영, 과정, 훈련, 의사소통, 그리고 다른 체계적 인자들의 조사를 통한 공장의 포괄적인 평가를 통해 일반적 실패 자료가 관심 대상의 특정 위험성 평가의 사용을 위해 어떻게 보완되어야 하는지에 대한 통찰력을 얻게 된다.

정성적 인적 오류 예측 기법은 위험성에 대한 인간의 기여성을 판단하고 줄이는 측면에 있어서 매우 중요하다.

정성적인 방법은 업무 분석(Task Analysis), 수행성 영향 인자 분석(Performance Influencing Factor Analysis), 예측적 인적 오류 분석 (Predictive Human Error Analysis), 사고 결과 분석 (Consequence Analysis), 오류 감소 분석(Error Reduction Analysis) 의 절차를 수행한다.

정성적 분석의 결과가 정량화를 위한 시작점으로 사용되어진다면, 그것은 적절한 형태로 표현되어야 한다. 표현의 형태는 이상 트리(fault Tree) 또는 사건 트리(Event Tree)가 될 수 있다. 인적 신뢰도에서 정량화는 매우 중요하며 실제로 사용되는 기법은 그리 많지 않다.

가스공정 시설물에서의 인적 오류에 대한 정량적 분석의 절차를 간단히 나타내면 그림 1과 같다.

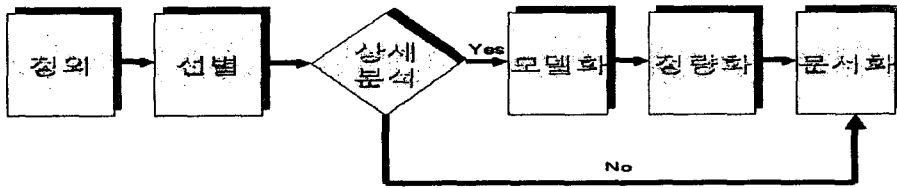


그림 1. 인적 오류 정량분석 절차

공정 산업에서 수행되고 있는 인적 신뢰도 분석 방법은 8가지가 있는데, 본 연구에서는 전문가 아닌 Operator들이 사용할 수 있는 간략한 방법으로 HEP(Human Error Probability)를 구할 수 있는 방법을 소개하겠다.

2-1. TESEO (Tecnica Empirica Stima Errori Operatori : Empirical Technique to Estimate Operator Errors)

이 방법은 우선적으로 문헌 조사를 바탕으로 하여 어떤 업무를 수행하는 제어실 작업자의 실패 가능성 평가를 하기 위해 모델이 구성되었다. 이 모델은 다섯 가지 Factor의 곱셈 함수로써 작업자 실패 가능성을 나타낸다. 즉,

- ① 수행되는 작업의 형태 (K1)
- ② 작업 실행하기 위한 유효 시간 (K2 ; 또한 Temporary stress factor)
- ③ 인간 작업자의 특성 (K3)
- ④ 작업자의 감성 상태 (K4 ; 또한 'Activity's anxiety factor)
- ⑤ 환경적 인간공학 특성(K5 ; 또한 'Activity's ergonomic factor)

따라서 주어진 업무에 대해 인적 오류 가능성 (Human Error Probability ; HEP)은 다음과 같이 계산 될 수 있다.

$$HEP = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5$$

이 각각의 factor의 값은 표와 그래프로부터 얻어낼 수 있다.

표 1. 수행되는 작업 형태

작업 형태 (Type of Activity)	K1
간단함, 기계적이고 틀에 박힌 일	0.001
주의의 필요, 기계적이고 틀에 박힌 일	0.01
틀에 박히지 않을 일	0.1

표 2.1 틀에 박힌 활동에 대한 일시적 스트레스 요소

유효 시간 (Time available (s))	K2
2	10
10	1
20	0.5

표 2.2 틀에 박히지 않은 활동에 대한 일시적 스트레스 요소

유효 시간 (Time available (s))	K2
3	10
30	1
45	0.3
60	0.1

표 3. 작업자 특성 요소

작업자의 자질(특성)	K3
섬세함, 전문가, 훈련도가 높음	0.5
평균적 지식과 훈련	1
거의 없는 지식, 어설픈 훈련	3

표 4. 작업 요구 요소

Anxiety의 상태 (State of Anxiety)	K4
중대한 응급 상태	3
잠재적 응급 상태	2
정상 상태	1

표 5. 작업 인간공학 요소

환경적 인간공학 요소	K5
훌륭한 미기후(microclimate), 훌륭한 공장 인터페이스	0.7
좋은 미기후, 좋은 공장 인터페이스	1
분리된 미기후, 분리된 공장 인터페이스	3
분리된 미기후, 빈약한 공장 인터페이스	7
최악의 미기후, 빈약한 공장 인터페이스	10

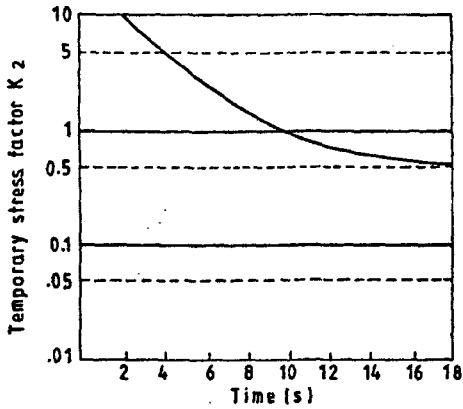


그림 2. Temporary Stress Factor K2 for Routine Time Activity

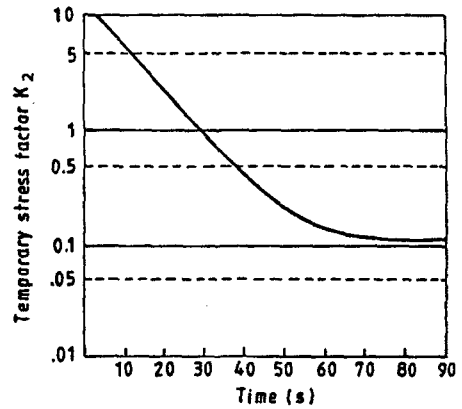


그림 3. Temporary Stress Factor K2 for Non-Routine Time Activity

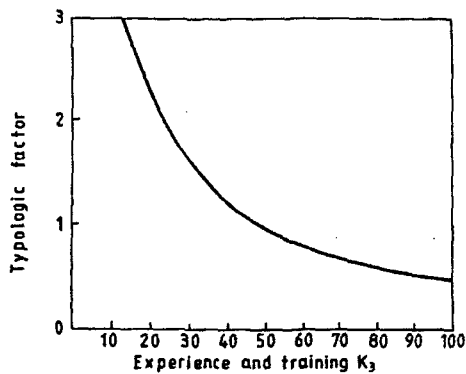


그림 4. Progress of the Operator's Typologic Factor as a Function of his/her Degree of Experience and Training(K3)

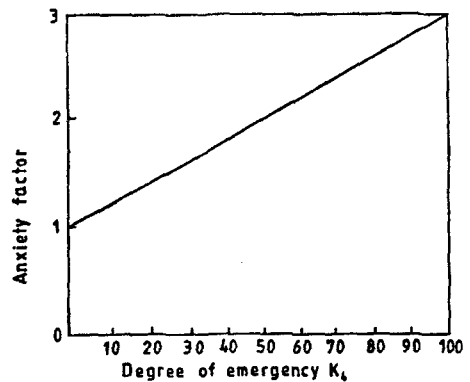


그림 5. Progress of the Anxiety Factor as a Function of the Degree of Emergency(K4)

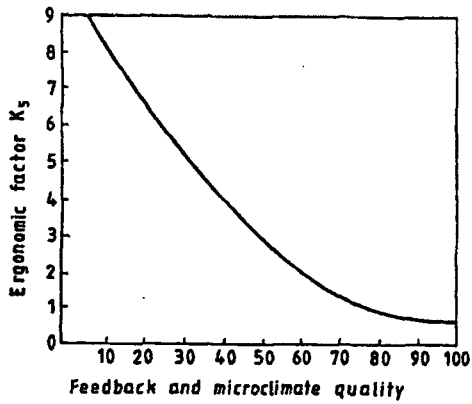


그림 6. Progress of the Ergonomic Factor K_5 as a Function of Feedback and Microclimate Qualities

기법 사용을 위한 간단한 Logic Diagram은 다음과 같다.

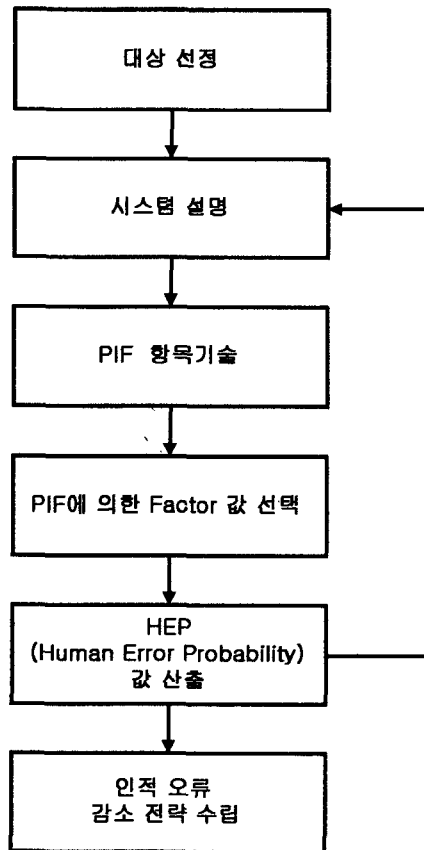


그림 7. HEP 산출 Logic Diagram

이 기법(TESEO)은 적용 속도가 빠르고 사용하기 쉬우며, 또한 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 용이하게 한다. 즉, 인적 신뢰도에 관한 인적 요소 개선 효과를 결정하는데 도움을 줄 수 있는 반면에 여기에 소개된 다섯 개의 factor는 어떠한 공정에서 적절하다고 가정 을 하지만 이것의 이론적인 정당성은 주어지지 않는다.

3. 적용 사례 및 고찰

시스템 설명 : 작업자는 원거리 제어 밸브를 개방하기 위한 두 개의 탱크 사이에 생산 이송라인을 선택해야 한다. 작업자는 밸브의 인식 못하고, 제어실은 잡음과 조명이 부적절하다. 작업을 수행할 수 있는 유효시간은 5분이며, 작업자의 경험은 평균적인 수준을 유지하고 있다.

위의 표로부터 각각의 변수 값을 결정 할 수 있다.

K1=0.01

K2=0.5

K3=1

K4=1

K5=10

따라서, Human Error Probability(HEP)는 $K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 = 0.05$ 를 나타낸다. 보다 정확한 업무 분석이 이루어진다면 도표보다는 그래프를 이용하여 근사값을 얻어낼 수 있을 것이다. 이것을 바탕으로 정성적 업무 분석에 의해 나타난 결과를 이용해서 개선 방안을 제시할 수 있다. 만약, 제어실의 환경이 호전된다면 K5의 값은 1로 바뀌게되며 HEP는 0.005감소한다. 각 요소들의 변화로써 인적 오류감소 방향을 제시할 수 있다고 고려된다.

4. 향후 연구 계획 및 결론

가스 산업과 화학산업과 같은 장치산업이 점차 자동화, 대형화됨에 따라 인간이 시스템에 관여하는 작업은 보다 복잡해지고 있다. 이것은 기계적 오류보다는 인적오류로 인한 치명적인 인명사고와 같은 대형 사고를 유발할 확률이 점차 높아짐을 의미한다. 따라서 인적 오류에 대한 다각적인 분석을 수행하여 사고 발생 억제에 최선을 다하여야 한다.

현재까지 산업시설에서 이러한 인적 오류 분석 및 인간공학 연구에 거의 무관심하였으나 각종 사고의 원인 중 사람의 실수로 인한 것이 지대함을 인식하고 앞으로 이 분야에 대한 연구와 투자가 필요하다고 생각이 든다.

본 연구를 하면서 인적 요소에 관한 Data의 부족과 서로의 정보 공유가 어려워서 보다 적절한 결과를 얻어내기 힘들고 이 기법들은 해외에서 적용·발전된 것으로 국내에 적용하기에는 많은 어려움이 있고 국내 실제 공정에 적용과 검토가 필요하다고 사료된다.

그리고 본 기법은 독립적인 방법으로 사용하기에는 단점이 있으며 다른 기법들과의 결합함으로써 보다 유용하고 정확한 결과를 나타낼 것이라 사료된다.

앞으로 TESEO 기법을 HEART(Human Error Assessment and Reduction Technique) 와 접목을 시켜서 인적 신뢰도를 평가하고 HEART 기법에 의한 Remedial Measures의 사용을 하여 인적 오류를 감소시키는데 도움이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정책연구원의 인위재해방재기술사업과 포항공과대학교 공정산업의 지능자동화연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

1. CCPS, Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety , AIChE, NY, 1994.
2. J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat, New Technology and Human Error , John Wiley & Sons Inc., 1987.
3. 한국화학공학회 & 서울산업대학교 안전과학연구소, 화재 폭발위험물질의 위험성 평가방법에 관한 학술연구 용역 (화학물질을 취급하는 작업자의 오류 가능성을 중심으로) ,1995.12.
4. AEA Technology, Human Reliability Assessment's Guide
5. John Wiley & Sons, Inc. , Handbook of Human Factors 1987.