

화학 산업 시설에서의 인적신뢰도 분석 방법을 이용한 HEP프로그램 개발

김정원 · 이성곤* · 유진환 · 임차순 · 백종배** · 고재욱
광운대학교 화학공학과 · *한국가스공사 · **충주대학교 안전공학과

Development of Human Error Probability Program Using Human Reliability Analysis Methodology in Chemical Industry Facilities

Joung-Won Kim, Sung-Kon Lee*, Jin-Hwan Yoo, Jong-Bae Baek**, Jae-Wook Ko
Dept. of Chemical Engineering, Kwangwoon University,
Korea Gas Corporation*, Dept. of Safety Engineering, Chungju National University**

1. 서 론

급속한 산업의 발달에 따른 화학산업 시설의 공정 및 설비의 세분화는 대규모의 잠재 위험성을 증가시키며, 산업현장에서는 인간의 불안정한 행동 및 상태의 잠재위험으로 인한 중대재해 사고의 우려가 더 한층 증가하고 있다.

인적 오류(human error)는 국내·외의 사고사례의 원인을 분석하여 볼 때, 공장 설비의 설계, 제작, 건설, 운전 그리고 유지·보수의 모든 단계에서 발생할 수 있으며, 사고의 대부분이 직·간접적으로 인적오류의 영향과 관계되어 있는 것으로 조사되고 있다. 전문가의 의견에 의하면 사고를 유발하는 사람의 실수는 그 개인의 심신상태 또는 부주의에 의한 것이 전체의 10% 정도를 차지하고 있으며, 대부분의 경우 근본적인 인적 오류는 외부적인 요인, 즉, 절차서의 결함, 부적절한 교육·훈련, 규정의 불일치, 의사소통의 문제, 사람·기계 인터페이스의 이해부족, 인력 부족 등 부적절한 작업 조건에 있다고 할 수 있겠다.

본 연구에서는 인적오류의 원인을 파악하기 위해서 체계적으로 사고사례를 분석하고, 외국의 인적오류의 정성적·정량적 분석 방법론들을 국내의 화학 산업 시설에 적절하게 적용할 수 있는 모델을 선정하고자 한다. 그리고 현장의 작업자 행동 특성 및 오류 메커니즘을 확인하여 작업자의 운전 매뉴얼을 분석하여 공정에서 발생하는 인적오류를 평가하고자 한다.

2. 인적오류분석 기술 개발절차

본 연구에서 개발하고자 하는 인적오류분석 기술 개발절차는 Fig. 1과 같다. 기술 개

발을 위해서는 기본적으로 공장의 설비 배치도 및 단위공정별 공정을 이해해야 한다.

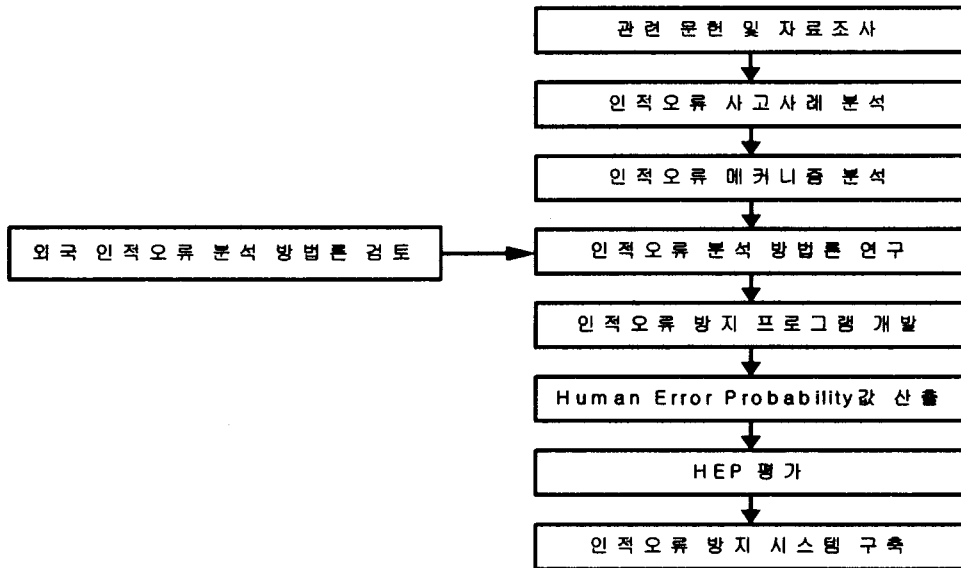


Fig. 1. Procedure of human error analysis technology development

3. ASEP(Accident Sequence Evaluation Program) 방법

Human Error Probability 평가 수행을 위해서 미국 원자력 위원회가 개발한 ASEP (Accident Sequence Evaluation Program) Human Reliability Analysis 방법은 비교적 방법이 단순하고, 미국의 원자력 규제위원회에서 원자력 발전소의 정량적 위험성 평가 용으로 공식적으로 인정하는 방법으로서 널리 활용되고 있다. 그러나 이 방법론의 단점은 인적오류 factor들이 단순하여 세부적인 인적오류분석을 하기가 어렵다는 점이다.

ASEP방법은 크게 Pre-accident task와 Post-accident task로 나누어 인적오류 확률값을 산출하게 되며, 세부적으로 Nominal analysis와 Screening analysis로 나누어 분석한다.

1) Pre-accident task

시운전과 같은 특별한 조건을 포함하는 정상운전 조건에서 수행된 활동 또는 비정상적인 사건에 의해서 장치의 유용성에 영향을 미칠 수 있는 활동과 관련된 직무

2) Post-accident task

비정상적인 사건을 일으키는 모든 직무로서, 어떤 비정상적인 사건이 발생한 공정 또는 공장이 안전 조건으로 운전되기 위해서 적절한 시스템 대응이 요구되는 상황

3) Nominal analysis

Screening Analysis에서 사용된 신뢰도가 높은 평가들로부터 구분되는, 실패확률에 대한 가장 정확한 평가들이 사용되는 규칙적인 확률론적 위험성 평가

4) Screening analysis

민감도 분석의 초기 유형으로서 각 시스템의 사건이나 인간의 직무에 대한 인간행동에 대한 신뢰성 있는 평가들의 사용을 포함한다.

4. 화학공장에서 ASEP방법을 이용한 HEP 평가절차 구축

현재 원자력 분야에서 사용되고 있는 ASEP HRA 방법을 기본으로 화학공장의 공정 시스템, 운전자 작업특성 및 운전절차를 고려하여 HEP 평가 절차를 개발하였다.

HEP 평가 절차에 의해서 인적오류확률은 사건이 발생하기 전의 오류와 사건이 발생한 후의 오류로 분리되어 pre-accident와 post-accident 인적오류확률 평가 절차에 의해서 오류확률 값을 산출하였다.

본 평가 절차에서의 인적오류 확률은 사건이 발생하기 전보다는 사건이 발생한 후에 일어나는 상황에 따라서 발생하는 오류확률에 관심을 갖고 평가 절차를 구축하였으며, 최종적으로 pre-accident와 post-accident 인적오류 확률을 더함으로써 total human error probability를 산출할 수 있었다.

그림 2~5는 pre-accident와 post-accident 인적오류 평가 절차를 설명한 것이다.

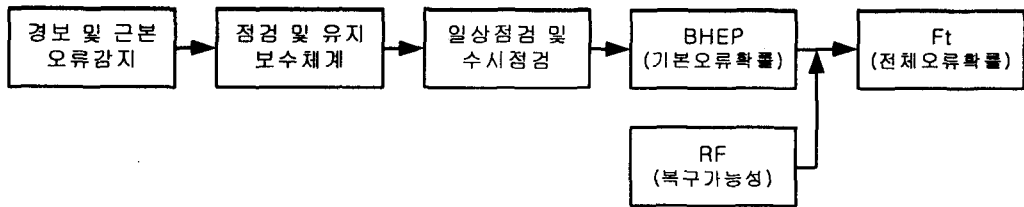


Fig. 2. Procedure of pre-accident error assessment

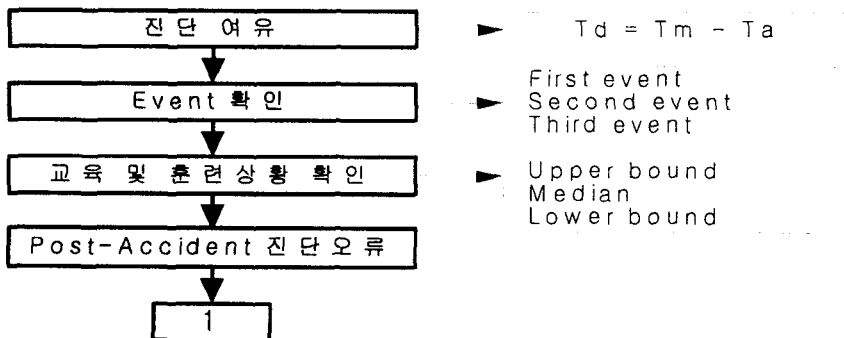


Fig. 3. Post-accident diagnosis error analysis

ASEP 방법론을 이용한 HEP 절차의 큰 장점은, 지금까지의 인적오류분석과 같은 전문가의 주관적인 판단이 필요한 knowledge-based 절차를 사용한 것이 아니라, 몇 가지

중요한 요소들을 선택하여 객관적으로 인적오류확률을 평가할 수 있는 rule-based 절차를 사용하였다는 것이다.

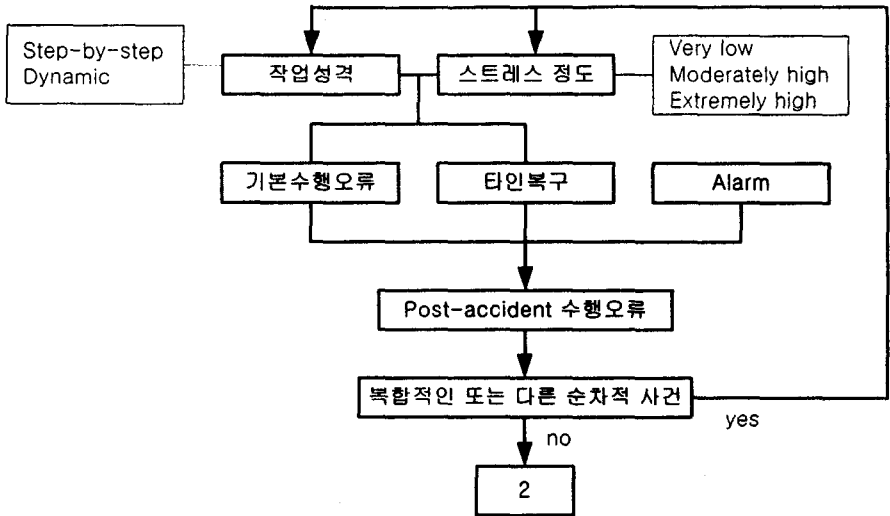


Fig. 4. Post-accident commission error analysis

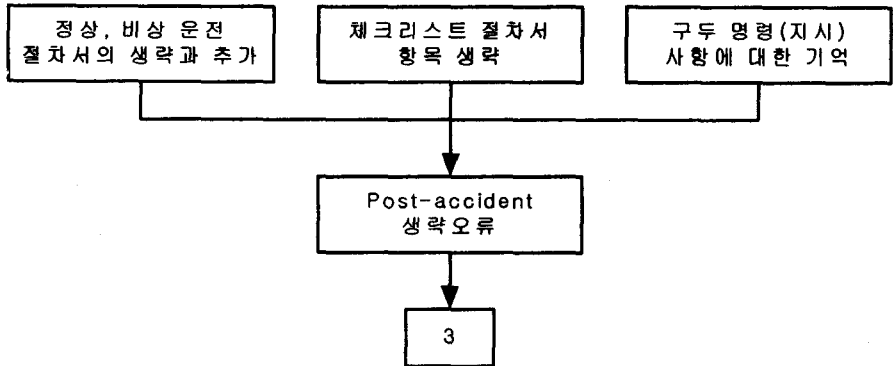


Fig. 5. Post-accident omission error analysis

5. ASEP HEP 프로그램 개발

ASEP(Accident Sequence Evaluation Program)방법론을 이용한 Human Error Probability 프로그램은 Pro-Accident HEP와 Post-Accident HEP을 산출할 수 있도록 구성되어 있다. 사건 및 사고 전, 후의 경과에 따른 인적오류 확률을 분석함으로써, 공정의 운전매뉴얼 항목별 상대적인 확률 값을 산출할 수 있다.

따라서 상대적인 인적오류확률 값을 비교할 수 있으므로, 인적오류확률 값이 높은 항

특별로 인적오류 예방 및 대책을 강구할 수 있을 것이다.

Fig. 6. ASEP HEP Program 초기화면

번호	HEP 작업절차	Pre Accident HEP	Diagnosis Error	Commission Error	Omission Error	Post Accident HEP	Total HEP
1	1. 탱크로리를 지정된 위치에 주차시키고 시동을 끈 후 움직이지 못하도록 고정시킨다.	0.0003	0.6	0.025	0.001	0.626	0.6263
2	9. 기계라인으로 밖의 유입여부를 확인한다.	0.00003	0.24	0.000125	0.006	0.246125	0.246155
3	2. 정차된 탱크로리 측면에 경계표시 및 소화기를 부착하고 차량을 고정시킨다.	0.0003	0.04	0.125	0.02	0.185	0.1853
4	5. 호스를 연결하고 콘트롤에서 완전한 접속유무를 확인한다.	0.003	0.017	0.125	0.04	0.182	0.185
5	15. 연결호스를 분리시킨다.	0.0003	0.05	0.125	0.001	0.176	0.1763
6	10. 탱크로리 및 탱크로리의 드레인 밸브를 개폐하여 액의 분리를 확인한다.	0.003	0.34	0.025	0.004	0.069	0.072
7	14. 안전관리책의 지도 하에 탱크로리의 정밀측 중시로 확인하여 90%이상 충진되지 않도록 하며, 90%가 되면 하역작업을 중지한다.	0.0003	0.04	0.000125	0.03	0.070125	0.070425
8	8. 탱크로리의 불발브를 사서시 연다.	0.00003	0.05	0.000025	0.01	0.060025	0.060055
9	4. 저장탱크 및 탱크로리의 밸브의 누설여부를 확인한다.	0.003	0.05	0.000025	0.003	0.053025	0.056025
10	3. 저장탱크의 정정압을 확인한다(저장탱크 용적의 90% 이내로 충진중지).	0.0003	0.04	0.00009	0.003	0.04309	0.04339
11	11. 저장탱크와 탱크로리의 균압상태를 확인한다.	0.003	0.0235	0.000125	0.01	0.033625	0.036625
12	6. 저장탱크밸브 및 배관밸브를 연다.	0.00003	0.0235	0.000075	0.001	0.024575	0.024605

Fig. 7. HEP 결과 화면

6. 결 론

화학산업 시설에서 발생하는 사고의 원인 중 인적오류(human error)는 운전, 유지·보수 및 이상사태 발생에서 큰 비율을 차지하고 있으며, 그에 따른 인적오류확률 분석과 체계적인 안전관리를 위해서 지금까지 해외에서 사용되고 있는 인적오류 분석방법들을 적용하였다. 그러나 이러한 인적오류 분석 방법론을 현장에 적용하기 위해서는 전문가에 의한 오랜 연구과정을 통하여 인적오류 확률 값을 산출할 수 있었다.

본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내에서 인적오류와 관련된 사고사례들을 검토하고 분석하여, 화학산업 시설에서의 작업자의 실수, 오조작 등의 인적오류 메커니즘에 관한 원인을 분석, 평가하고 인적오류 분류코드를 구축하였다.

둘째, 외국에서 개발된 인적오류 분석방법들을 소개하고 그 중에서 국내 화학산업 현장에서 적용할 수 있도록 인적오류 확률평가 절차를 구축하였다. 그리고 작업자 운전매뉴얼 분석 및 정량적 분석방법에 의한 HEP 분석을 수행하여, 각 공정별 작업절차를 분석함으로써 HEP를 산출하였다.

셋째, 인적오류 확률평가 절차를 통한 알고리즘을 개발함으로써 국내에서 적용하기 쉽고, 활용 가능한 인적오류 분석 프로그램을 개발하였다.

따라서, 본 연구에서 개발한 인적신뢰도 분석방법(ASEP)을 이용한 HEP 프로그램은 화학산업 시설현장의 운전매뉴얼 및 작업절차를 통하여 정량적 HEP를 제공해 줌으로써 상대적인 인적오류 확률 값을 산출하여 인적오류로 인한 사고의 예방 및 인적오류 예방을 위한 대책을 강구할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. AEA Technology, "Human Reliability Assessor's Guide", AIChE, 1995.
2. CCPS, "Guideline for Preventing Human Error in Process Safety", AIChE, 1994.
3. CCPS, "Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", AIChE, 1989.
4. Trevor Kletz, "Computer Control and Human Error", GULF Publishing Company, 1995.
5. D.K. Lorenzo, P.E, "A Manager's Guide to Reducing Human Errors(Improving Human Performance in the Chemical Industry)", Chemical Manufactures Association, Inc., July 1990.
6. Gavriel Salvendy, "Handbook of Human Factors", JOHN&SONS, 1987.
7. 화재, 폭발 위험물질의 위험성 평가 방법에 관한 연구, 한국화학공학회