



석유화학 산업에서의 수행영향인자 및 근본원인 분석 결과

†유광수 · 김은정 · 김용수*

한국가스안전공사, *서울산업대학교
(2006년 10월 16일 접수, 2007년 6월 19일 채택)

Analysis of Performance Influencing Factor in Chemical Process Industry : A Practical Application

†Kwang Soo Yu · Eun Jung Kim · Yong-Soo Kim*

Korea Gas Safety Corporation
*Seoul National University of Technology
(Received 16 October 2006, Accepted 19 June 2007)

요 약

한국에서는 석유화학 산업의 역사가 30년 이상이 되어 시설이 노후화되기 시작하여 잠재적인 사고의 위험 가능성이 높아지고 있다. 지금까지의 석유화학 산업에서의 전통적인 위험성 평가와 시스템의 제어는 기계적인 결함에만 중점을 두었기 때문에 인간의 행동을 제어하는 것은 간과하여 왔다. 자동화 기술과 제어기술의 발전도 필요하지만 인간의 의사 결정 요소가 석유화학산업에서 사고를 예방하는데 필수적이다. 거의 모든 심각한 사고는 인간 행동과 안전 장비의 기계적인 결함이 동시에 부적당할 때 발생한다. 진보적인 인간의 신뢰성 분석 소프트웨어는 실패 데이터를 수집하고, 한국의 화학 산업에서 인간의 오류 확률을 분석하기 위해 개발되었다. 이 논문에서는 Root cause Analysis를 통한 결과와 PIF(Performance Influencing Factor) 평가 결과를 보여준다.

Abstract – Chemical Process industry in Korea has over 30 year's of history and is likely to face potential incidents. The traditional risk analysis and control system in Chemical Process industry focuses on mechanical defects, overlooking the human performance control. Although development of automation technology and controlling technology was necessary, human decision factor is essential to preventing accidents in the Chemical Process. Almost all serious accidents take place when inappropriate human performance and mechanical defects of safety equipments simultaneously occurs. The A-HRA(Advanced Human Reliability Analyzer) software has been developed to collect failure data and analyze human error probability (Reliability) in Chemical Process Industry in Korea. This paper describes the HRA analysis result of PIF(Performance Influencing Factor) evaluation, HEP(Human Error Probability) and root cause of accidents by applying a Chemical Process Industry related accident data. This analysis result should present a scheme that, by controlling human error factor other than putting safety management funds into the machinery in plants, can reduce cost and maximize the safety in Chemical Process Industry.

Key words : Human error, PIF, HEP, Root cause analysis, Chemical process industry, Accidents

I. 서 론

산업의 급속한 발전에 따라 생산현장은 점점 더 복잡하고 고도화된 시스템으로 구성됨에 따라 인간의 행위는 작업환경의 영향을 더 많이 받게 되어 복잡한 시스템 상에서의 인간의 오류는 플랜트에서 대형사고가

발생하는 주요 원인이 되고 있다.

인적오류란 시스템의 성능, 안전 또는 효율을 저하시키거나 감소시킬 잠재력을 갖고 있는 부적절한 인간의 판단이나 행동으로 정의할 수 있다. 인적신뢰도 분석은 작업자가 직무를 성공적으로 수행하지 못하는 작업 실패 확률을 분석하는 작업이다.

인적오류의 분석을 위하여 본 연구에서 개발한 A-HRA 프로그램은 인적오류 사고 데이터베이스, 인적오

†주저자:yks@kgs.or.kr

류 확률 계산, 사고의 근본원인분석, 인적오류를 발생시키는 인간의 행위 요소 평가로 구성되어 있다. 또한, 이 프로그램에는 원자력에 주로 사용하고 있는 ASEP (Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure) Method를 활용하여 인적오류 확률을 계산할 수 있는 정량적 알고리즘을 확립하였고, 인간의 오류에 영향을 미치는 행위 요소의 분류체계를 개발하였다. 이 연구에서는 프로그램을 활용하여 1960년대부터 최근까지 한국의 석유화학 산업에서 발생한 500여건의 인적오류 사고의 원인을 분석한 결과를 기초로 사고의 근본원인과 수행영향인자의 평가 결과에 대하여 논한다.

이 연구를 위하여 한국의 대표적인 석유화학 업체 11개사를 회원사로 구성하여 사업장내에서의 각종 인적오류 사고 정보를 수집하였고 회원사가 프로그램을 공유하고 시간적·공간적 제약을 받지 않고 사용할 수 있도록 Web Application으로 개발하여 회원사는 각각의 사업장에서 인적오류 사고를 입출력하고 다른 사업장에서의 사고 정보도 공유할 수 있다. 이렇게 축적된 인적오류 데이터를 기초로 석유화학공단 내에서의 인적오류로 인한 사고 예측 및 투자 우선순위 결정 등에 기초자료 활용이 기대 된다.

II. 인적신뢰도 데이터베이스 설계 (Human Reliability Database Design)

인적오류에 대한 연구는 정량적 접근, 정성적 접근 및 관리적 접근으로 나누어 정량적 연구는 미국 원자력 규제 위원회가 인적신뢰도 분석을 위하여 개발한 ASEP 절차를 응용하여 석유화학 사업장의 인적신뢰도 분석자라면 누구나 손쉽게 인적오류 분석을 수행할 수 있도록 ETA(Event Tree Analysis)를 이용하여 간단히 인적오류율을 계산할 수 있다.

정성적 연구에서는 석유화학, 정유 산업 플랜트의 인적오류 사고를 데이터베이스화하고 인간의 심리학적 측면에서 인적오류 판별 및 원인 분석에 의한 발생 구조 해석 등 인간의 인지적 행동 특성을 파악할 수 있도록 Root Cause Analysis 기법을 활용하여 Major Root Cause, Near Root Cause, Root Cause의 분석을 하였고, 석유화학산업에 적합한 수행영향인자의 분류체계를 개발하여 사고의 영향 요소를 개인적 영향 평가에서 조직이 수행하는 작업오류로 연구 영역을 확장 하였다.

관리적 접근 방식에 의한 근본원인 분석 결과 및 수행영향인자 분석 결과는 석유화학 산업에서의 제도개

선, 설계개선, 작업절차 개선 및 사고 사례의 전과 등 인적오류 감소를 위한 업무에 활용한다.

III. 수행영향인자 분류 체계의 개발

모든 인간의 행위는 주어진 상황 혹은 조건하에서 수행되며, 인적성능(Human Performance)은 이러한 상황의 영향을 받게 되어 있다. 인적신뢰도 분석방법에서는 인적성능에 미치는 직무 상황을 몇 개 혹은 다수의 수행영향인자(PIF, Performance Influencing Factor)를 통해서 표현하고 있다. 즉, 수행영향인자는 인간이 처한 전반적인 작업 상황 혹은 조건을 나타낸다.

이러한 인자들은 초기 인적신뢰도 분석 방법에서는 주로 인적오류 확률을 얻어내는데 사용되어 왔으나 현재 개발되고 있는 방법들에서는 인적오류확률의 계산뿐 아니라 인적오류의 발생과 관련한 기술적인 요소, 환경적인 요소, 조직적인 요소 등을 포함하는 전반적인 작업 상황을 평가하여 인간오류의 발생을 예측 분석하는 데에도 활용할 목적으로 분류체계를 개발하고 있는 추세이다.

동 연구에서 작업상황과 관련한 상세 수행영향인자 분류체계를 얻기 위하여 다음의 자료들에서 제공하고 있는 수행영향인자들을 참고로 하였으며, 이 자료들 외에 다른 참고문헌에서 인간의 수행에 영향을 미치는 것으로 제안하고 있는 인자들도 다루었다.

- 1) 기존의 상세 수행영향인자 분류체계
 - CSNI Taxonomy(Rasmussen)
 - THERP(Swain)
 - HEART(Williams)
 - PHECA(Whalley)
 - PSF Taxonomy(Bellamy)
 - Influencing Factors(Gerdes)
- (2) 세부 영향인자에 대한 연구 자료
 - 조직지원과 관련된 인자들
 - 팀내/외에서 상호작용과 관련된 인자들

위의 참고자료들로부터 얻은 각각의 수행영향 인자들은 Fig. 1에서 제안한 새로운 작업 상황에 대한 모델 체계 내에서 정리하여 새로운 분류체계를 구성하였다. Fig. 1을 기본으로 하여 작업자의 작업 수행능력에 영향을 미치는 상황인자를 크게 4개의 그룹으로 나누어 Table 1과 같이 세부수행영향인자 분류체계를 개발하였다.

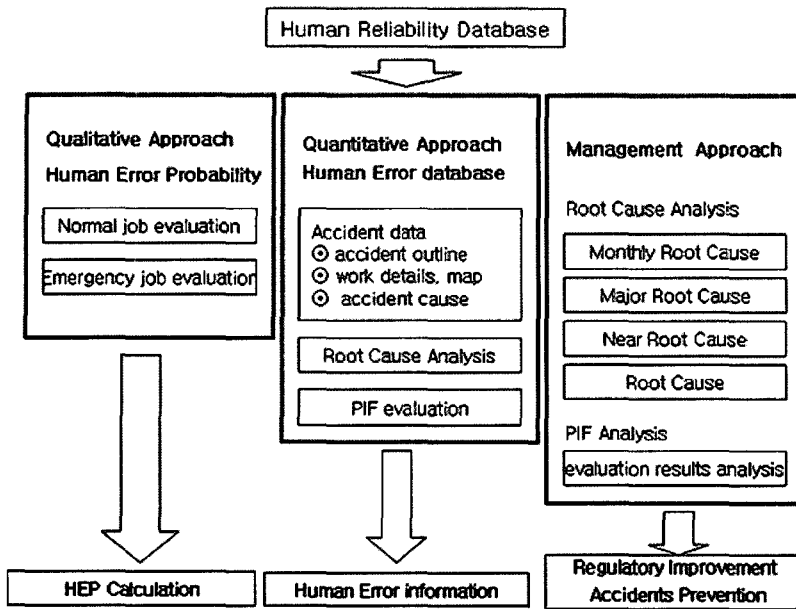


Fig. 1. Flowchart of the A-HRA software.

Table 1. Selection of PIF Taxonomy.

Level I	Level II	Level III	Level I	Level II	Level III		
Management system	Procedures	Adequate explanation of procedure	Facility & equipment	Individual and Social Factors	Medical treatment		
		Cleanness of procedures			Experience		
		Adequate application of procedure			Work time		
		Synchronous work			Level of stress		
	Task characteristics	Difficulties of work		Familiarity of work	Design	Normal operation of Facility & Equipment	
				Repetition of work		Appropriateness of design	
				Risk of work	System	Automation of Facility & Equipment	
				Complexity of work		Error sensing system	
				Seriousness of work		Error recovery system	
				Urgency of work		Maintenance Procedure system	
				Need of a higher office admission		Daily work procedure checkup	
				Correspondence of procedure with training		Physical Environment	Noise, illuminate, temperature
				Need of assistant equipment			Protection Equipment
				Cognitive factors			Culture & working environment
Safety of working area							
Working tools							
People	Physical condition/psychological state	Training level on the job	Teamwork	Ventilation of working area			
		Previous study on the work		Indication of accurate order			
		Experience on the work		Adequation explanation on the work			
		Concentration on the work		Work sharing			
		Age					
Sight/hearing impediment							
Burden on the work							

주: 작업장에서 작업자가 업무 수행 중 사고가 발생할 요인이 될 수 있는 상황인자를 분류한 체계도

IV. 인적오류 데이터베이스 분석 결과

한국 석유화학 산업에서 발생한 인적오류 관련 사고를 Root Cause Analysis 기법을 활용하여 분석한 결과 Table 2와 같이 Major Root Cause는 Facility & equipment와 관련된 사고가 169건으로 36.3%, Management system과 관련된 사고가 133건으로 28.6%, culture & working environment와 관련된 사고가 87건으로 18.7%, People과 관련된 사고가 76건으로 16.3%이고, Near Root Cause를 보면 Design과 Procedures와 관련된 사고가 105건으로 22.5%이고, Root Cause를 보면

observance of procedure가 72건으로 15.5%, operation condition of Facility & Equipment는 52건으로 11.1%이다.

V. 결 론

작업자 행동의 전반적인 특성을 정확하게 하지 않으면 인적오류의 발생 가능성을 정확히 예상하는 일은 매우 어려운 일이다. 그동안 원자력분야에서만 수행되던 인간공학에 대하여 관심이 증가하면서 기존의 방법에 대한 문제제기와 새로운 방법 개발에 대한 움직임이 활

Table 2. RCA(Root Cause Analysis) data

Major root cause	Near root cause	Root cause		Major root cause	Near root cause	Root cause		
Management system 133(28.6%)	Procedures 105(22.5%)	Adequate explanation of procedure	6 (1.3%)	Facility & equipment 169 (36.3%)	Design 105 (22.6%)	Operation condition of Facility & Equipment	52 (11.1%)	
		Cleanness of procedure	23 (4.9)			Appropriateness of design	45 (9.7%)	
		Observance of procedure	72 (15.5)			Automation of Facility & Equipment	8 (1.7%)	
		Synchronous work	4 (0.8%)			System 64 (13.7%)	Error sensing system	2 (0.4%)
	Task characteristics 28(6.0%)	Difficulties of work	5 (1.1)		Error recovery system		2 (0.4%)	
		Risk of work	6 (1.3%)		Maintenance Procedure system		14 (3.0%)	
		Urgency of work	2 (0.4%)		Daily work rocedure checkup		46 (9.9%)	
		Need of a higher office admission	3 (0.6%)		Physical environment 62(13.3%)		Protection equipment	15 (3.2%)
		Correspondence of procedure with training	2 (0.4%)				Working area arrangement	10 (2.1%)
		Need of assistant equipment	3 (0.6%)			Safety of working area	31 (6.7%)	
People 76(16.3%)	Cognitive factors 43(9.2%)	Training level on the work	20 (4.3%)	Culture & working environment 87(18.7%)		Teamwork 25 (5.4%)	Working tools	3 (0.6%)
		Previous study on the work	23 (4.9%)				Ventilation of working area	3 (0.6%)
Physical condition/ Psychological State	32 (6.9%)	Concentration on the work	32 (6.9%)				Indication of accurate order	15 (3.2%)
Individual/ social factors		Working time	1 (0.2%)			Adequation explanation on the work	7 (1.5%)	
						Work sharing	3 (0.6%)	

주 : 본 연구는 전체 Major Root Cause에 대한 수행영향 인자를 평가하였음

발해졌다.

이러한 여건을 배경으로 정량적 관심에만 치중되었던 것에서 탈피하여 정성적인 부분에 초점을 맞추어 개발된 A-HRA 프로그램은 Web Application으로 개발되어 한국 석유화학공정산업의 인적오류 데이터, 근본원인 분석, 수행영향인자 평가 결과 정보를 용이하게 측정함으로써 향후 한국의 석유화학 산업에 맞는 인적오류 확률 값을 도출하고 인적오류 사고를 예측할 수 있을 것이다.

또한, 동 프로그램은 설비신뢰도 분석 프로그램과 연동되어 활용되도록 구성되어 NCC, HDPE, PP 플랜트 위주로 약 1,000여개의 설비신뢰도 분석 결과와 데이터를 공유할 수 있다. 향후에는 석유화학 시설 관련 자료의 신뢰성을 높이는 연구보다 환경요소를 반영한 다양한 석유화학 플랜트와 석유화학외의 사업 분야도 구성하여 실제적으로 기업에서 위험분석활동으로 연계시킬 수 있는 신뢰도 자료를 구축하는 것이 필요하다고 판단된다.

추후 사고시나리오 분석시스템과의 연계성도 더욱 발

진시켜 연구가 완성되면 예측적 손실방지 기술로서 기업의 사고를 줄이는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] DOE, Root Cause Analysis Guidance Document, U.S. Department of Energy, DOE-NE-STD-1004-92, (1992)
- [2] Swain, A.D. and H.E. Guttman, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratories for the U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, (1980)
- [3] EPRI, Human Performance Enhancement System, (1987)
- [4] NURGE/CR-1278, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant ApplicationII, June (1983)
- [5] USNRC, Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis(ATHEANA), Draft Report for Comment, USNRC, (1998)