

석유화학 산업에서의 수행영향인자 및 근본원인 분석 결과

김은정, 유광수1*, 박교식2**

한국가스안전공사 가스안전연구개발원

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

Eun Kim, Kwang Soo Yu and Kyoshik Park

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

초 록

한국에서는 석유화학 산업의 역사가 30년 이상이 되어 잠재적인 사고의 위험 가능성이 높아지고 있다. 지금까지의 석유화학 산업에서의 전통적인 위험성 평가와 시스템의 제어는 기계적인 결합에만 중점을 두었기 때문에 인간의 행동을 제어하는 것은 간과하여 왔다. 비록 자동화 기술과 제어기술의 발전이 필요함에도 불구하고 인간의 의사 결정 요소는 석유화학 산업에서 사고를 예방하는데 필수적이다. 대부분의 심각한 사고는 부적절한 인간의 행동과 안전장치의 기계적인 결합이 동시에 존재할 경우에 발생한다. A-HRA(Advanced Reliability Analyzer) 소프트웨어는 석유화학 플랜트 내에서의 인적오류 확률을 분석하고 사고 데이터를 추적하기 위하여 개발되었다. A-HRA 프로그램을 이용하여 1960년대 이후부터 최근까지 한국의 석유화학 산업에서 발생하여온 인적오류 사고 데이터를 입력하고 사고마다의 근본원인과 수행영향인자를 분석하였다. 이 논문에서는 Root cause Analysis를 통한 결과와 PIF(Performance Influencing Factor) 평가 결과를 보여준다. 이 분석 결과는 석유화학 산업의 안전을 극대화 시키면서도 인적오류 제어를 통하여 안전비용을 최소화 시킬 수 있는 대책을 제시할 것이다.

1. 서론

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, 인적오류 확률 계산, 사고의 근본원인분석, 인적오류를 발생하는 인간의 행위 요소 평가로 구성되어 있다. 또한, 이 프로그램에는 원자력에 주로 사용하고 있는 ASEP 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

2. 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(Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure) 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 사고의 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 제도개선, 설계개선, 작업절차 개선 및 사고 사례의 전파 등 인적오류 감소를 위한 업무에 활용한다.

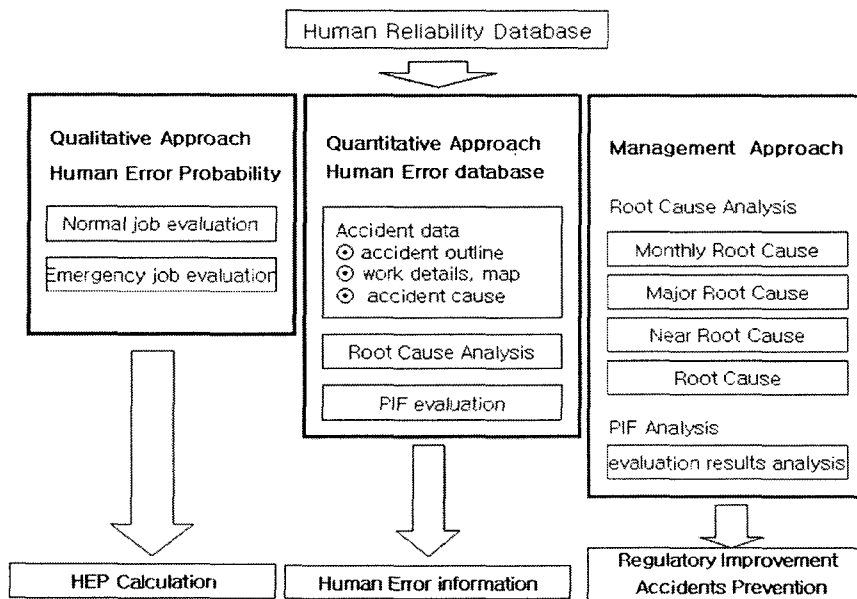


Fig2. Flowchart of the A-HRA software

3. 수행영향인자 분류 체계의 개발

모든 인간의 행위는 주어진 상황 혹은 조건하에서 수행되며, 인적성능(Human Performance)은 이러한 상황의 영향을 받게 되어 있다. 인적신뢰도 분석방법에서는 인적 성능에 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 인적 오류확률의 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



Fig2. A practical illustration of human

위의 참고자료들로부터 얻은 각각의 수행영 factors in process safety

향 인자들은 그림1에서 제안한 새로운 작업

상황에 대한 모델 체계내에서 정리하여 새로운 분류체계를 구성하였다. 그림1을 기본으로 하여 작업자의 작업 수행능력에 영향을 미치는 상황인자를 크게 4개의 그룹으로 나누어 표1과 같이 세부수행영향 인자 분류체계를 개발하였다.

Table 1. Selection of PIF Taxonomy

<i>level I</i>	<i>level II</i>	<i>level III</i>	<i>level I</i>	<i>level II</i>	<i>level III</i>	
<i>management system</i>	<i>Procedures</i>	Adequate explanation of procedure		<i>Individual and Social Factors</i>	medical treatment	
		clearness of procedures			Exprience	
	<i>Task characteristics</i>		Adequate application of procedure	<i>facility& equipmen</i>	<i>Design</i>	Work Time
synchronous work			<i>System</i>			Level of stress
difficulties of work						Nomal operation of Facility&Equipment
familiarity of work						appropriateness of design
repetition of work						Automation of Facility&Equipment
risk of work						Error sensing system
complexity of work						Error recovery system
seriousness of work						Maintenance Procedure system
urgency of work						daily work procedure checkup
need of a higher office admission						<i>Physical Environment</i>
correspondence of procedure with training	Protection Equipment					
<i>People</i>	<i>Cognitive Factors</i>	need of assistant equipment	<i>Teamwork</i>	Working area arrangement		
		Training level on the job		Safety of working area		
		Previous study on the work		Working tools		
		Exprience on the work		Ventilation of working area		
	<i>Physical condition/Psychological State</i>	Concerntration on the work		Indication of accurate order		
		Age		Adequation explanation on the work		
		sight/hearing impediment		work sharing		
		burden on the work				

4. 인적오류 데이터베이스 분석 결과

한국 석유화학 산업에서 발생한 인적오류 관련 사고를 Root Cause Analysis 기법을 활용하여 분석한 결과 표2와 같이 Major Root Cause는 Facility&equipment와 관련된 사고가 169건으로 36.3%, Management system과 관련된 사고가 133건, 28.6%, culture&working environment와 관련된 사고가 87건 18.7%, People과 관련된 사고가 76건 16.3%이고, Near Root Cause를 보면 Design과 Procedures와 관련된 사고가 105건 22.5%이고, Root Cause를 보면 observance of procedure가 72건 15.5%, operation condition of Facility& Equipment 52건 11.1% 이다.

Table2. 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%)
		clearness 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
	Task characteristics 28(6.0%)	difficulties of work	5(1.1%)	culture& working environment 87(18.7%)	Physical Environment 62(13.3%)	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 procedure checkup	46(9.9%)
		need of a higher office admission	3(0.6%)			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%)	Teamwork 25(5.4%)	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 1(0.2%)	Working Time		1(0.2%)	Adequation explanation on the work	7(1.5%)
					work sharing	3(0.6%)	

본 연구는 전체 Major Root Cause에 대한 수행영향인자를 평가하였으나, 표3에는 Management System의 수행영향인자를 평가한 결과만 보였다.

Table3. PIF evaluation results

<i>level II</i>	<i>level III</i>	<i>ITEM</i>	<i>PIF</i>	<i>level II</i>	<i>level III</i>	<i>ITEM</i>	<i>PIF</i>
<i>Proce- dures</i>	explanation of procedure is adequate?	YES	326	<i>Task charac- -teristi cs</i>	Is the work risk?	YES	249
		NO	113			NO	187
		<i>The others</i>	42			<i>The others</i>	45
	clearness of procedures is adequate?	YES	290		Level of work complexity	SIMPLE	310
		NO	147			COMPLE- -XITY	126
		<i>The others</i>	44			<i>The others</i>	45
	Procedure is observed?	High	83		Level of work seriousness	YES	198
		Middle	171			NO	238
		Low	183			<i>The others</i>	45
	Is the work synchronous	<i>The others</i>	44		Is the work urgent?	YES	77
		YES	47			NO	269
		NO	390			<i>The others</i>	135
<i>Task charac- -teristi cs</i>	Level of the work Difficulty	YES	390	Do they need the admission from higher office	YES	11	
		NO	390		NO	325	
		<i>The others</i>	44		<i>The others</i>	45	
	Level of the work familiarity	Dynamic	115		Is the procedure correspondent with training?	YES	183
		Step by step	267			NO	253
		<i>The others</i>				<i>The others</i>	45
	Is the work repeated?	High	119		Do they need the assistant equipment?	YES	162
		Middle	205			NO	272
		Low	113			<i>The others</i>	47
		<i>The others</i>	44				
		YES	266				
		NO	170				
	<i>The others</i>	45					

5. 결론

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 활발해졌다. 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 추적함으로써 향후 한국의 석유화학 산업에 맞는 인적오류 확률 값을 도출하고 인적오류 사고를 예측할 수 있을 것이다.

7. 참고문헌

1. DOE, "Root Cause Analysis Guidance Document", U.S. Department of Energy, DOE-NE-STD-1004-92, 1992
2. Swain, A.D. & Guttman, H.E., "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 Application II", June 1983
5. USNRC, "Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis(ATHEANA)," Draft Report for Comment, USNRC, 1998