

Chemical 공장 안전사고의 Human-Error 방지에 대한 연구

- A Study for Human-Error Prevention of Chemical Plant Safety Accident -

윤 용 구 *

Yoon Yong Gu

홍 성 만 *

Hong Sung Man

박 범 **

Park Peom

Abstract

The chemical factory deals with dangerous element and more advance, human-error analyzes and becomes effective research for the country and region.

This paper analysis the form of work-miss on human-error according to a safety accident for domestic chemical factory from 1999-2002.

It include the present contents and raise issues human knowledge, behavior, judgment, sensibility as an important counter plan that makes the safety solution of work miss.

For the point of view of human knowledge, it takes color standard for works to be effective in work place. For behavior, the test has been for risk point of work place and infra worker movement, also the workers performed professional work as classify according to work. For judgement, the valuation sheet is reflected to minimize the human-error and the 3rd supervisor does a cross-check audit beforehand. For sensibility, it is applicable for human relations, information, communication by program to the consciousness and an attitude of worker-supervisor.

Keyword : Human-Error, Safety Accident, Chemical Plant

* 아주대학교 산업공학과

** 아주대학교 산업정보시스템공학부

1. 서론

화학 공장은 다종의 유해 물질을 다량으로 취급하고 있고 고도의 정밀한 장치산업이 대부분이며 공장의 운영 면에서 자동화에 대한 여러 가지 직·간접 영향을 받게 되므로 Human Error에 의한 중대사고가 발생하여 막대한 경제적 손실을 가져올 수 있기 때문에 타 산업보다 높은 안전성과 신뢰도가 요구되고 있다.

또한, 화학 공장에서의 물질은 대체로 유해하고, 위험하기 때문에 사고 발생 시 환경 오염을 유발할 가능성이 높으며 이러한 위험물질에 의한 대형사고의 위험이 크다. 그리고, 화학물질에 의한 연쇄적인 피해로 인해 사고의 유형에 대한 구조가 복잡하고 취급 설비가 고도의 자동제어 시스템으로 구성되어 있어서 설계 및 운전 기술이 전문화 되어야 하며 구성 설비가 다양하여 각 설비마다 신뢰성 확보가 요구되어 검사, 보수에 대한 숙련된 경험자가 필요하다.

한편, 화학 공장에서 발생하는 사고는 Human Error에 기인한 사고가 빈번히 발생하게 되는데 그럼에도 불구하고 이 분야의 전문 인력이 부족하고 관련 지식 축적 미비 등에 의해 재발 방지를 위한 대책이 미흡한 실정이다.

본 연구는 화학공장에서 Human Error에 대한 기존 사례연구에 대한 고찰을 통해 문제점을 도출하여 해결 방안을 제시하고자 한다.

2. Chemical 공장에서의 Human Error에 대한 기존 연구 고찰

세계 각국은 70년대부터 인간의 업무수행능력 기초 연구로 인간 행동 모델화 기법 개발, 인간의 신뢰성평가 기법, 감성 공학 등을 응용하여 연구가 진행되고 있고, 특히 기간산업의 핵심인 화학, 항공기, 원자력, 철도, 자동차등 각 전문분야별로 연계성을 가지고 Human Error가 연구되고 있다. 각 기업체도 독자적인 Human Error 대책 연구를 실시해 안전성, 신뢰성, 정보교류가 인간의 지각 시스템 모델, 인지 시스템 모델, 행동시스템 모델에 관련한 개인적, 조직적, 시뮬레이션, 수학적, 환경모델 등으로 전반적인 분야로 진행되고 있다.

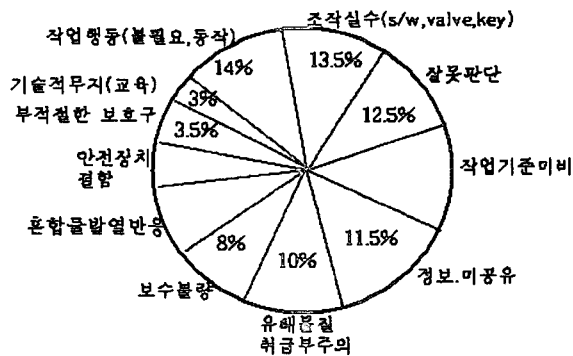
영국의 Human Factor(HF) 연구는 심리학에서 인간의 인식과 행동에 관한 기초적 연구로부터 Human Error Engineering에 실제적 응용과 결과가 반영되고 있다. 특히, 영국 원자력청(UKAEA)은 Human Factor에 관한 설계 지침과 데이터베이스를 근간으로 기술 조언, 심사 평가를 운영하고 있으며 국립 시스템 신뢰성 센터(NCR)에 인간과 관

계된 유효한 협력 관계를 위해 Human Factor 연구 그룹(HFRG)을 운영하는 등 활발한 연구가 진행되고 있다.

프랑스의 경우 신뢰성 연구 프로그램을 담당하는 기관(CEA)에서의 중앙 연구부서(CEN) 및 프랑스 전기(FDE)의 안전 신뢰성국(SRB)을 운영하여 이 분야 연구를 진행하고 있다.

미국은 NRC, 에너지성 본부, NASA, 운수성, 국방성 연방 항공국 등에 걸쳐 전반적으로 HF 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 원자력발전소 소관 NRC와 NRC HF Program Plan의 사고 고장 정보 시스템(HPES)을 통해 항공기에 관한 Trouble Report System(ASRS)을 기반으로 Human Performance에 의한 사고 분석을 진행하고 있다.

우리나라는 Human Error와 관련하여 인간공학 분야의 인간-기계 시스템 설계에서의 분석 및 평가에 대한 사항과 감성공학 분야에 기초한 Human Error의 인간의 인지 문제를 인간의 감성 측면으로 접근하여 가상현실(VR)이나 인공현실(AR)로 시스템을 적용하여 Human Error 발생의 진단 System으로 활용하는 연구가 이루어지고 있다. 그러나, 점차 High Tech화 되어가고 있는 화학 장치산업에 있어서의 Human Error에 대한 연구는 극히 미비한 실정이다[1].



< 그림 1 > A factor of Chemical Plant Safety Accident

국내 화학공장 안전사고의 유형을 분석해 보면 작업자의 실수에 의한 안전사고는 작업행동(불필요, 동작:14%), 조작실수(s/w, valve, key:13.5%), 잘못판단(12.5%)으로인한 문제로 전체 40%정도로 안전사고에서 많은 부분을 차지하는 것을 <그림 1>에서 알 수 있다[2].

원료가 반응, 생성 과정에서 고열, 고압, 고온, 자동 이송 급속화로 위험 요소가 생존하는 속에서 작업자의 개개인의 특성과 상황 변화에 따른 Error는 사고의 근간이 된다[4]. 이러한 범주 보면 Chemical 공장에서 발생하는 사고에 영향을 주는 주요 요소가 취급 물

질의 성질, 생산 공정, 작업 방법, 생산 규모, 관리 System, 설비와 공급 장치에 대한 단위 부품, 저장소(Tank류), 각종 utility 배관류, 연결용 부품의 노후와 각종 부품에 대한 열화, 소형 용량의 저장소 및 각종 부대시설에서 기인하므로 이들의 취급 및 운용에 있어 사고의 근간을 이루는 대부분의 요소가 Human Error와 연계된다고 볼 수 있다.

Chemical 공장에서의 영향을 미치는 인자로는 근로자의 특성에 대한 요인, 작업상의 특성에 대한 요인, 작업환경상의 요인, 경영풍토에 대한 요인으로 분류 가능하며 특히 이와 같은 문제는 직, 간접으로 Human Error가 포함되어 있으므로 물질, 설비, 인적, 작업관리가 유기적으로 관리가 되어야 한다.

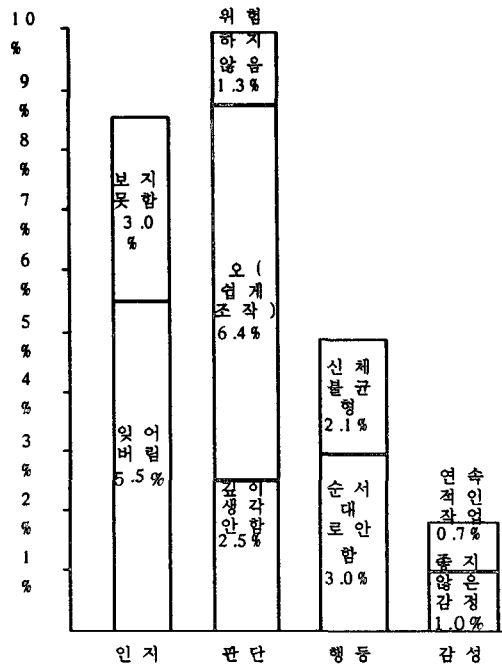
3. 사례 연구

3.1 사례연구 대상

국내 A사의 Chemical 공장에 대한 최근 3년간의 사고 사례 조사표는 <표 1>과 같다. 사고 사례에 대한 원인에 대해 분석해 보면 48.3%가 운전 관계의 인적 요인으로 이중 Human Error에 기여된 것이 25.4%를 나타내고 있다.

< 표 1 > Classification of Chemical Accident Form

| | | 구 분 | 건수 | 발생율 |
|----|-----|-----------|-----|------|
| 설비 | 제작 | 설비구조불량 | 5 | 4.2 |
| | | 재료불량 | 12 | 10.2 |
| | | 제작불량 | 11 | 9.3 |
| | | 계장불량 | 10 | 8.5 |
| | | 소계 | 38 | 32.2 |
| | 사용 | 검사불량 | 4 | 3.4 |
| | | 노화, 열화 | 9 | 7.6 |
| | | 오동작 | 6 | 5.1 |
| | | 충격 | 4 | 3.4 |
| | | 소계 | 23 | 19.5 |
| | | 설비 소계 | 61 | 51.7 |
| 운전 | 관리자 | 기술적 미경험 | 20 | 16.9 |
| | | 작업전달 Miss | 2 | 1.7 |
| | | 작업기준불량 | 2 | 1.7 |
| | | 교육 | 3 | 2.5 |
| | | 소계 | 27 | 22.8 |
| | 작업자 | 인지 | 10 | 8.5 |
| | | 판단 | 12 | 10.2 |
| | | 행동 | 6 | 5.1 |
| | | 감성 | 2 | 1.7 |
| | | 소계 | 30 | 25.5 |
| | | 운전 소계 | 57 | 48.3 |
| | | 총계 | 118 | 100 |



< 그림 2 > The Result of Investigation (Before Improvement)

A사를 대상으로 동작 오류에 대한 안전사고에 대하여 인지, 행동, 판단, 감성 측면에 따라 분류한 후 각각의 요소에 대한 세부 대책을 세워 작업자들에게 적용을 한 후 시행 전·후의 영향에 대해 비교하였다.

적용 전의 A사는 < 그림 2 >와 같이 인지 측면에 있어서는 잊어버림과 보지 못함 순으로 작업자의 시각적인 인지에 대하여 취약하다는 부분이 대두되었고, 판단 측면은 깊이 생각안함, 위험하지 않음, 쉽게 조작함 순으로 비율을 보이고 있다. 행동 측면에서는 순서대로 안함과 신체 불균형 순으로 작업 방법, 절차의 정확한 기준과 표준 process plan이 미비한 점으로 나타났으며 감성 측면은 연속적인 작업과 좋지 않은 감정 순으로 원인이 되어 작업자의 동작 요소와 인간관계에 의한 동작 miss가 안전사고의 원인으로 나타났다.

3.2 추진 내용

안전 관리자, 관리 감독자 및 안전 보건 총괄 책임자를 포함한 안전 담당 부서 근무자의 토의를 실시하였다. 토의는 브레인스토밍 방식을 거쳤고 토의 결과에 따라 A사

의 동작 Miss에 대한 안전사고를 예방하기 위한 작업자 중심의 대책을 선정하여 1년간 다음 사항들을 추진하였다.

1) 인지측면

색채 표준의 기본은 각종 화학 설비의 utility류에 대한 용도별과 액상에 따른 실명과 흐름과 성상의 종류에 따른 색상의 용도와 밸브의 개폐 및 computer의 control switch까지 mapping에 대한 눈 관리를 병행하고 이에 대한 eye marking 관리를 시행하였다. 이는 작업자의 실수로 인한 문제에 대하여 대책의 일환으로 보지못함, 잊어버림에 대한 기본적인 인지, 확인상의 오류를 줄이기 위함이었다.

2) 판단 측면

판단 측면에서 발생하는 인간의 오류는 위협하지 않게 여김, 깊이 생각안함과 쉽게 조작한다는 것이 주원인으로 주로 2차적인 원인을 보면 작업자의 작업성에 대한 skill up grade와 작업성에 대한 작업평가제와 작업공간과 infra의 여건과 제도를 우선 선행하였고, 여기에 수반되는 작업 plan이 설계, 시공, 감리에 준해 업무의 작업요소 역할의 definition이 명확화가 시행되었다.

또한, 그와 연관된 전체 유지보수와 공사 작업 및 기계 설비의 보수, 수리 시 돌발적인 trouble에 대한 사전 대응 등을 적용하였다.

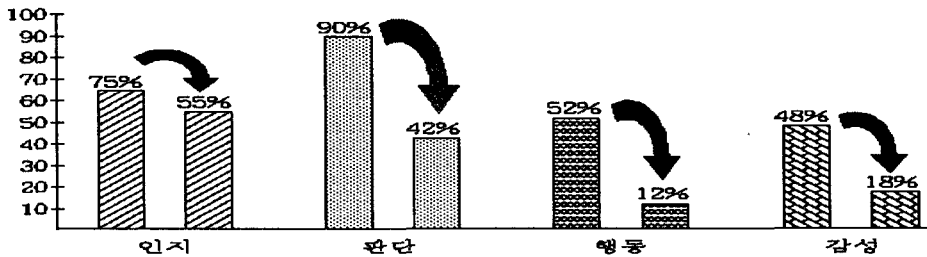
3) 행동측면

행동 측면은 주로 작업에 대한 경, 중, 하에 대한 위험 요소 평가가 되어 작업 부위와 환경에 따른 작업자 선정 및 시행을 하였다. 작업자의 작업성에 대한 skill up grade와 작업성에 대한 특화별 전문가적인 expert제를 우선 선행하였는데 작업자에 대한 평가 기준이 일반화되어 있는 것보다 전문성이 요구되는 Point가 있고 작업자의 업무 특화성이 요구되어 어려움이 있었고, 차후에 선진화된 기법의 Bench Marking 사례에 적용 연구는 과제로 남겨져 있다.

4) 감성 측면

감성 측면은 작업자의 작업량 및 관리 상태 및 감독자의 역할에 대한 중요성을 강조하여 작업자와 관리, 감독자간의 정보공유 및 의사전달의 분위기형성에 대한 인간관계가 우선문제가 정립이 되도록 system적으로 구성이 되도록 하였다. 작업 전에 작업자 각자의 인간관계에 대한 부분에 대하여 관리자와 작업자간의 tool box meeting, 위험 예지 훈련의 touch & call을 사용함으로써 감성 부분에 대한 개선의 의지를 피하였다.

3.3 Human Error 방지를 위한 개선 후 평가



< 그림 3 > The Result of Investigation(After Improvement)

적용 후의 동작 Miss에 대한 Human Error에 대한 대책을 적용한 후의 결과는 < 그림 3 > 과 같다.< 그림 3 >에서 보면 불과 1년만에 현저히 줄어든 A사의 Human Error 결과를 한 눈에 볼 수 있다. 시행 도중 실시한 내용에 대한 구체적인 사례는 다음과 같다.

- 1) 인지 측면의 중점 관리 항목으로 색체 표준에 대한 Operation Standardization Process를 지침으로 하여 표식화를 명확히 하였다. 이는 Utility 에 대한 Human Error를 가져올 수 있는 원인을 제거하기 위함이었다.
- 2) 판단 측면에서는 작업자의 임의판단을 할 수 없게 하고 평가 Sheet에 의해서 작업 유, 무에 의해 관리 할 수 있는 Audit을 실시하였는데 작업시행부서 전체의 사전 평가, 작업관리부서의 사전 평가, 환경 안전부서의 자체평가로 3개 부서의 Cross Audit을 실시했다.
- 3) 행동 측면은 작업시행부서의 작업 Point에 대한 작업내용의 전문화를 두어 그 작업 Contents에 따라 Expert된 사람이 작업 순서서에 일을 할수 있도록 했다. 예를 들어 배관작업 시 용접자를 좀 더 전문화를 시켜 배관 Cutting자, 설치자, 중요업무에 선택과 집중을 함으로 개선의 차이를 가질 수 있었다.
- 4) 감성 측면은 관리자와 작업자간의 인간관계 및 작업현장의 작업 환경에 필요한 Infra 측면의 작업자간의 감성을 살릴 수 있는 현장의 작업자의 의식화 및 작업태도에 몰입할 수 있는 프로그램을 적극 활용하였다.

4. 결 론

안전에 대한 사회 전반적인 의식의 고취를 위해서는 제반 여건을 보다 표준화, 인증화, 시스템화, 교육화, 눈 높이화 하는 것이 중요하며, 산업체에서의 안전한 작업 환경을 구현하기 위해서는 현장 안전 전반에 대한 요건이 시스템되어 유기적인 관계를 이루어야 하는 것이 선행되어야 한다[4].

이러한 관점에서 산업체에서의 인간-기계 시스템을 적용한 Human Error에 고려는 재해 예방 위한 매우 중요 부분이다.

본 연구에서는 안전사고에 기인하는 Human Error에 대한 기존 연구 동향을 고찰하고 화학 공장에서의 Human Error 개선을 위한 적용 사례에 대한 연구를 실시하였다.

그 결과 화학 공장에서 사고 예방을 위해 인지, 판단, 행동, 감성 측면에 따른 각각의 개선 대책을 실시하였을 때 Human Error 예방에 도움을 주는 것으로 조사 되었다.

본 연구는 Human Error 예방에 관한 연구가 미약한 화학 공장에서의 적용 사례로 유용하게 활용될 수 있으리라 기대된다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 이순요, 양선모, "감성공학", 청문각, PP. 62, 1999
- [2] 삼성화재 위험관리연구소, "제2회 삼성화재 사고예방 논문", PP. 212, 1985
- [3] 윤용구, 홍성만, 박 범 "반도체 산업에서의 재해예방 모델 개발", 안전경영과학회지 Vol. 4, No. 3, PP 3, 2002
- [4] 윤용구 "반도체 산업재해 분석 및 예방 Model 개발", 아주대학교 산업대학원 석사 학위 논문, PP 23, 2002
- [5] Dan Petersem(Third Edition) Human Error Reduction Safety Management, Van Nostrad Reinhold PP 57.
- [6] Advances in Human Factors Ergonomics, 7 Series, Analysis, Prediction and Prevention of Human Error, Elsevier Science Publication PP 99~101, 1987
- [7] 박 범, 양성환, 정호근, "산업인간공학", 신평출판사, PP. 158, 2000
- [8] 유승동, "인간-기계 인터페이스 대한 사용자 인지지도 추출모델개발", 아주대학교 대학원 공학박사 학위 논문, PP 13, 2002
- [9] 양정희, "예방정비정책의 일반화재에 관한 연구", 성균관대학교 대학원 박사학위 논문 PP 59, 1997
- [10] 이동춘 "인간-기계 시스템의 인간공학적 평가에 관한 연구", 동아대학교 대학원 공학박사 학위 논문, PP 48, 1986

저 자 소 개

윤 용 구 : 아주대학교에서 공학 석사 학위를 취득하고(2002), 현재 아주대학교 산업공학과 박사과정에 재학 중이다. 삼성전자(반도체) System LSI 환경안전부에 재직 중이며 주요 관심분야는 산업안전, 감성공학 등이다.

홍 성 만 : 숭실대학교 산업공학 학사(1999), 아주대학교에서 공학 석사 학위를 취득하고, 아주대학교 산업공학 박사 과정을 수료하였다. 관심 분야는 산업안전, 감성공학, HCI 등이다.

박 범 : 아주대학교 산업공학과를 졸업하고 미국 Ohio Univ. 산업공학 석사, Iowa State Univ.에서 산업공학 박사학위를 취득하였고, 한국 전자통신 연구소에서 Human-machine Interface 업무에 선임 연구원('93-'95)을 역임하였으며, 현재 아주대학교 산업공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 인간공학, 감성공학, HCI, 설비안전이다.