

중소화학제품 제조업의 인적오류 사고예방 시스템 개발

Development of Preventive System for Accident Causing by Human Error in Small Manufacturing Industries of Chemical Products



글 / 金斗煥
(Kim, Du Hwan)
화공안전기술사,
산업안전보건연구원 안전공학연구실.
E-mail: kd860@kosha.net

About 70% ~ 80% of the serious injury that occurs in the chemical product small manufacturing industries is caused by human error, but technical development for analysis and inspection to preestimate and exclude such human error is still insufficient.

Small - to - medium sized enterprises are economically vulnerable and technical foundations for safety management is weak. Under such circumstances development of easy to use computerized support programs that can be operated without the help of professionals are keenly needed.

1. 서론

1.1 연구의 목적 및 필요성

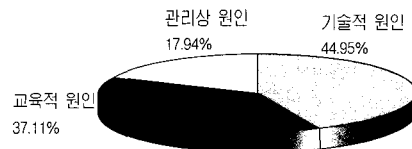
1999년도 노동부 재해통계에 의하면 100인 미만의 238,268개 사업장에서 발생한 재해 발생율은 전체재해의 72.32% (재해자 40,058명)을 차지하여 대기업의 6.6배에 이르고 있다. 전체 화학제품 제조업에서 2,326명의 재해자(전체 재해율의 1.19%)가 발생했다. 중대재해 및 유해위험 기계기구 등에 의한 재해자 2,834명에 대한 발생 원인을 보면 <표 1-1>과 같다. 과거 11년간(1988년부터 1999년까지) 산업현장에서 발생한 산업재해 <표 1-1> 불안정한 행동원인분석

원인	위험소 접근	안전장치 제거	복장 보호구 잘못 사용	기계기구 잘못 사용	운전 중기계 손질	불안전 위험물 취급부주의	유해물질 상태 방치	불안전 지체 동작	불안전 감동 및 연락 불충분	기타	총계	
전산업 총계(명)	360	391	86	205	94	37	51	490	667	87	375	2,843명
발생률(%)	12.66	13.75	3.02	7.21	3.31	1.30	1.79	17.24	23.46	3.06	13.19	100%
제조업명	198	327	42	160	77	29	30	304	409	48	229	1,853명

주 : '99 노동부 산업재해분석

통계에 의하면 총 1,144,420명의 재해자 중 40.42%인 462,522명의 재해자가 50인 미만의 중소기업에서 발생했다.

이들 재해자들을 50인 미만의 925개 사업장이 10년 동안 생산 못하고 휴업한 결과와 같다. 사고를 관리적 원인별로 보면 기술적 원인 1,278명(44.95%) 교육적 원인 1,055명(37.11%) 작업관리상원인 510명(17.94%)으로 재해원인은 인간 실수에 의한 오류가 대부분이다.



<그림 1-1> 관리적 원인별 사고

국내외에 발표된 휴면애러에 기인한 분야별 사고의 주원인을 보면 <표 1-2>와 같다.

작업을 하면서 사고가 일어날 것을 생각하고 업무수행을 하는 자는 한사람도 없다. 그러나 사람이 관여하는 데는 사고가 일어나고 있다. 따라서 사고

〈표 1-2〉 휴먼에러에 기인한 사고비율연구

분 야	휴먼에러에 기인한 사고비율	발 표 자
구조물 사고	90% 이상 78% (800건) 66% (287건)	Allem(1975) Hauser(1979) Maeda(1983)
석유화학 플랜트 화재 폭발 석유정제	45~65% (483건) 61.2% (828건) 58% \$563백만손실액 190건 150건중 68.7%	일본고압가스보안협회 정보 센터 (1978-1982) 우에하라(1986) Garrison(1989) Rasmussen(1989) 김두환(1998)
위험물화재	50% (1270건)	우에하라(1985)
항공기선박 발전소사고	70~90%	Rubinstein(1979) Danaher(1980) Billings(1981)
제조업사고	40% 이상	일본노동성안전년감(1981)

원인을 근본적으로 밝혀 내지 않으면 안 된다. 중 소화학제조업에서 휴먼에러에 영향을 미치는 인자는 ①근로자의 행동 특성, ②작업 특성, ③작업환경 요인, ④경영조직 풍토 요인 등으로 생각되며, 특히 이와같은 요인은 직접, 간접으로 조직에 뿌리깊이 잠재한 휴먼에러 핵터가 연결되어 있기 때문이다.

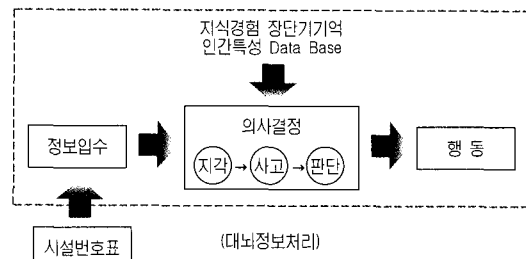
정부는 근래 사고 다발에 따른 기술 기반의 신뢰성 저하로부터 근로자의 안전보건 유지 면에 심각한 사태를 조속히 대처하고 21세기 종합 안전관리를 적극적으로 추진하기 위하여 사업장에 「11대 기본안전수칙 준수부터」 라는 표어를 내걸고 불안전 행동 제거 노력에 심혈을 기울여 독려하고 있다. 사업장은 작업자에 기인된 사고나 설비고장 등이 어떠한 종류의 행동요인과 관계가 있는가, 어떠한 작업에 영향을 미치고 있는가 등을 검토하여 인간의 신뢰성에 미치는 영향의 크기를 정량적으로 분석적용한다면 근로자의 작업방법 지도나 작업안전풍토 조성유지 관리에 효율적인 대책을 세울 수 있을 것이다.

2. 화학제품 제조업의 인적오류방지 기법

2.1 인적오류의 요인과 영향인자

인간은 오관을 통해서 정보를 입수하면 뇌에 저장된 지식, 경험 데이터를 기반으로 선별 인지하

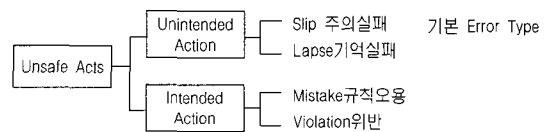
여 의사를 결정하고 판단된 내용을 신경계를 통해 손발을 움직여 행동으로 나타내도록 지령한다. 이때 반응하는 인지과정이 올바르게 처리되고 안전한 행동이 되기 위해서는 정보 단계에서 정보를 정확하게 탐색하여 인지 판단이 되도록 해박한 안전지식과 기술, 많은 경험의 D/B가 저장되어 있지 않으면 안된다.



〈그림 2-1〉 인간행동 인지과정

〈그림 2-1〉은 인간과 기계계(HMI) 접속시 대 뇌에 저장된 처리과정을 상세하게 제시하여 인간 행동과 기계계가 원활하게 안전이 유지되도록 나타낸 과정이다.

James Reason은 〈그림 2-2〉에서 휴먼 에러는 불안전행동을 야기시키는 무의식행동과 의식적인 행동으로 동작의 반복에 의한 실수(저하), 생략, 순서틀림, 동작의 잘못이해, 의도상실, 계획내용 생략, 작업순서의 행동을 잊음(생략), 부적절한 규정 적용, 동작의 혼입 등에 의해서 발생된다고 한다.



〈그림 2-2〉 인간 행동 Error

인간은 조직내에서 업무 수행 형태에 따라 개인 자질과 의지에 따라 긴장 수준, 생리적 리듬, 심리적인 피로상태(스트레스), 교육 훈련 등 여러 인자가 환경조건 상태, 변화의 악화에 따라 복합적으로 작용하여 인간행동에 직접적으로 영향을 미치는 에러가 발생한다. 그 행위 특징을 보면

기획특집

〈표 2-1〉과 같다.

〈표 2-1〉 에러의 5분류 및 행위

에러 분류	에러 행위	비고
1. 감각 에러	목인, 못봄	
2. 인지계 에러	잘못 보고 들음	
3. 판단 에러	잘못된 판단	
4. 결정확인 에러	확인 잘못	
5. 작업동작 에러	잘못 이해	

James Reason은 인간행동 과정을 3가지 유형의 SRK모델로 설명했다.

지식베이스, 규칙베이스, 숙련베이스로 나눠 감각정보를 숙련된 기반에서 생각하고 인지하여 적절한 규칙에 따라 작업결정을 하고 순서에 정해진 대로 자동 조작되어 신호를 보낸다.

지식베이스 KB	감정	작업결정	순서계획
규칙베이스 RB	인지	상황과 작업일치	정해진 작업일치
숙련베이스 SB	사상인지		자동감각조작패턴
	감각정보		신호 조작

〈그림 2-3〉 James Reason의 SRK 모델

이때 지식기반은 창조적으로 1회에 1건만 처리하며, 규칙베이스는 모방적으로 어떤 정해진 규칙을 참고로, 한 행동을 어떤 목표나 목적을 향해邁進하며, 숙련베이스는 동시에 몇 건이라도 처리할 수 있는 숙달된 행동으로 어떤 신호에 무의식적인 반사적 행동을 습관적으로 다음과 같이 유형별로 대표적인 에러 인자를 나타내고 있다.

KB-Mistake : 적절한 규칙 오용, 부적절한 규칙 오용

RB-Mistake : 과신, 자문자답, 착각 시인성, 인과관계, 과소평가

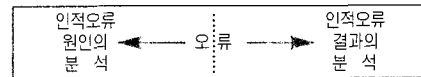
SB-Lapse : 기억결핍(예정생략, 장소잊음, 의도잊음)

SB-Slip : 주의결핍(간섭, 생략, 역행, 어긋남, 시간차)

2.2 인간행동 오류 분석방법

인간의 행동 오류 분석은 오류의 원인(source)

에 관심을 집중하는 분석방법과 오류발생의 결과(consequence)에 관심을 집중하는 분석방법으로 나눈다.



〈그림 2-4〉 인적오류분석의 두 가지 형태

인적 오류에 대한 정량적 분석은 보통 인간 신뢰도 분석(Human Reliability Analysis : HRA)으로 인적오류의 발생가능성을 확률적 측면에서 수치적으로 추정하는 과정으로 인간 - 기계 시스템에서 기계신뢰도와 결합하여 시스템의 전체 신뢰도를 추정하기 위해, 또는 시스템의 확률적 위험평가(Probabilistic Risk Assessment : PRA)에서 하나의 입력자료로 사용하기 위해 수행된다. HRA는 확률적 위험평가의 입력자료로 사용하기 위한 모든 인적오류를 시스템 확률적 위험평가 모형에 결합시켜 확률로 정량화된 분류체계는 〈표 2-2〉를 참조할 수 있다.

〈표 2-2〉 정량적 분석 적용방법 분류체계

HRA 방법	방법설명	분류체계	작업자 모델	PSF 영향
AIPA	상세하지 않음	성공/실패	블랙박스(TRC)	고려안됨
Confusion matrix	기본적 원칙 설명	부적절한 진단	없음	고려안됨
OAT	상세한 절차제공	부적절한 진단 (성공, 실패)	단순한 단계 모델이지만 TRC에 중점	고려안됨
STahr	기본적 원칙 설명	없음	없음	영향도에 의해 적용
THERP	상세한 절차 제공	작위, 부작위 시간초과	S-O-R 시간초과는 SRK 인용	정량적으로만 고려
전문가 추정	기본적 원칙 설명	명백히 정의되지 않음	없음	합목적 및 정량적으로만 고려
SLIM/MAUD	상세한 절차 제공	명백히 정의되지 않음	없음	정량적으로만 고려
HCR	상세한 절차 제공	성공, 실패, 무반응	TRC 곡선의 선택에 대해서만 SRK 인용	정량적으로만 고려
MAPPs	명백하지 않고 시뮬레이션에 포함	명백히 정의되지 않음	명백하게 정의되지 않음	명확히 설명안됨

3. 화학제품 제조업의 실태조사 분석

3.1 사업장의 실태조사

(1) 목적

영세 사업장의 안전성을 확보하여 경쟁력 있는

생산성이 유지되도록 인적오류진단 프로그램 D/B구축에 목적이 있다.

(2) 조사방법

경인지방의 U사, S사의 7개 사업장의 근로자 350명을 임의 선정, 현장을 방문하여 담당자와 충분한 의도를 설명한 후 설문을 배포하여 기입 후 직접 회수 분석하였으며 2차 설문은 S사 70명과 산업안전교육원 수강생 30명을 대상으로 작성후 직접회수 분석하여 통계처리 하였다. 이를 토대로 프로그램을 실용화 하였다.

〈표 3-1〉 설문 항목구성

분 류	항 목 수	비 고
1. 작업자의 특성	지식 능력 경험 부족 등 4항목	
2. 작업관리 체제	교육훈련지도 불충분 등10개 항목	
3. 작업특성 및 작업환경	작업자의 육체적부하 등 9항목	
4. 사람 - 기계계 특성	신호 형태의 분별 9개 항목	
5. 기타	시간상황의 결박감 등 4개항목	

1,2차 조사기간 : 2000. 5. 25 ~ 2000. 6. 25
방문 적용 시험 : 2000. 11. 20 ~ 2000. 11. 30

(3) 설문 실태분석 및 고찰

1차 설문결과는 〈표 3-2〉와 같이 작업자 개인 특성이 가장 큰 문제로 나타났고 다음이 작업특성 및 환경조건이며 관리체제 순으로 인적인 불안전 행동에 영향인자가 크게 작용함을 알 수 있다.

〈표 3-2〉 설문항목 평균점유율 순위

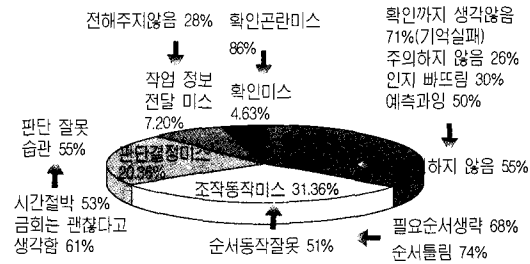
항 목	점유율	순 위
· 작업자 개인 특성	22.6%	1
· 작업특성 및 환경조건	20.7%	2
· 작업관리체제	20.5%	3
· 사람 기계계	17.3%	4
· 기타	19.1%	5

〈표 3-3〉 업무수행 중 인간 정보처리 과정에서 발생하는 에러율

구 분	항 목	비 고
1. 정보인지	4항 7.27%	
2. 인지확인미스	14항 36.36%	
3. 판단결정미스	14항 20.36%	
4. 조작동작미스	14항 31.36%	
5. 조작후확인미스	4항 4.63%	

인간정보 처리과정에서 발생한 에러비율은 〈표 3-3〉과 같다.

정보처리과정에서 발생한 에러들의 배후요인을 각각 세부적인 항목으로 분석하면 〈그림 3-1〉과 같다.



〈그림 3-1〉 휴먼에러 연쇄과정

(4) 고찰

아차 사고원인들을 분석한 결과 70-80%가 휴먼에러에 기인하며 공통문제점은 다음과 같다.

- 1) 작업자의 개인특성은 지식부족 및 동기부여 결함에 기인된다.
- 2) 작업조직체제는 인간관계, 의사소통, 정보제공 상에 문제가 있다.
- 3) 작업특성은 작업환경상 판단과 행동에 복잡한 조건이 작용하고 있다.
- 4) 인간 - 기계계에서는 인간공학적인 설계 결함이 오류를 범하게 된다.

따라서 휴먼에러를 방지하기 위하여 다음 과정으로 접근하는 것이 바람직하다.

- ① 휴먼에러 체크리스트를 사용하여 요인을 상세히 체크한다.
- ② 휴먼에러 발생의 공통적인 문제점, 경향성을 도출한다
- ③ 배후요인을 검색한다.
- ④ 기본대책을 검토하여 결정한다.
- ⑤ 구체적인 실시 방법을 결정한다.
- ⑥ 대책 효과를 평가하고 개선책을 제시한다.

4. 인적오류 사고분석 지원시스템의 개발

4.1 시스템 개요

본 연구에서 구축한 인적오류 분석 시스템은 KISCO - HEAS ver 1.0을 개편하고, 프로그램의 사용자 인터페이스를 개선함으로써 전문 분석자가 아니더라도 쉽게 사용할 수 있도록 개발되었다.

(1) 시스템의 설치

Windows 환경에서 사용할 수 있도록 Power Builder로 개발되었다

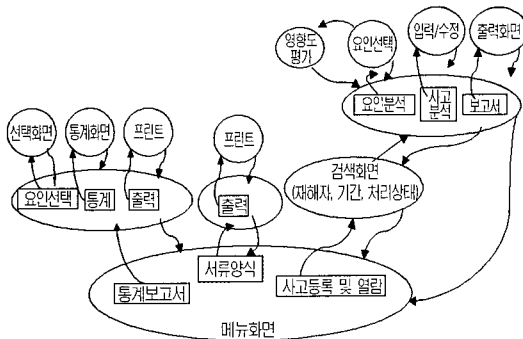


〈그림 4-1〉 인적오류 분석시스템의 메뉴

(2) 메뉴

〈그림 4-1〉과 같이 사고 등록 및 열람, 사고통계 보고서, 보고서 서류양식의 메뉴로 구성되어 있다.

- 1) 사고 열람 및 검색기능 : 재해 자료의 등록 및 수정, 검색, 삭제등이 가능
- 2) 사고 경과 : 사고 발생의 개요에서 처리종료까지의 처리과정에 관한 정보
- 3) 재해자 정보 : 재해자의 인적 사항 및 작업 관련 사항, 정보
- 4) 사고 상황 : 사고와 관련한 일반적인 분석 내용
- 5) 오류 분석 : 인적오류에 영향을 미친 요인의 선별, 원인 및 대책, 오류 영향도 평가 기능



〈그림 4-2〉 인적오류 분석시스템의 구조 및 화면 설계

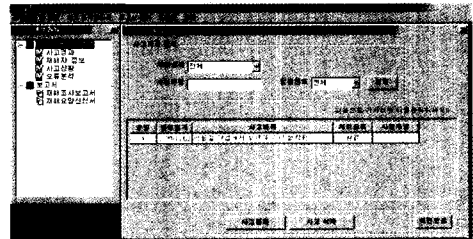
6) 보고서 : 요양신청서와 사고 분석보고서의 제공 사고에 관련된 기간별, 부서별 통계항목을 선택하여 산출할 수 있다.

▶ 보고서 양식 : 요양신청서와 사고분석보고서 서류 양식의 제공

〈그림 4-2〉는 시스템의 화면 설계에 관한 구조 및 상호 연관 내용을 나타낸 것이다.

4.2 인적오류 분석 시스템의 기능 및 인터페이스

(1) 사고 분석 및 열람은 〈그림 4-3〉과 같다.



〈그림 4-3〉 인적오류 분석 시스템의 초기 화면

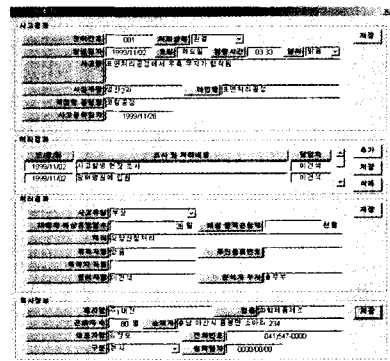
전체화면, 사고 분석화면, 사고등록 및 열람 화면 등 3개의 창으로 분할 되어 있다.

〈그림 4-4〉는 사고 등록 처리 화면을 나타낸다.

사고 등록 처리 화면은 사고 경과, 처리 결과 등, 정보를 관리한다.

▶ 사고 원인 분석

사고와 관련한 불안전 행동과 불안전 상태, 관리적 원인, Human Error 요인을 분석한다.

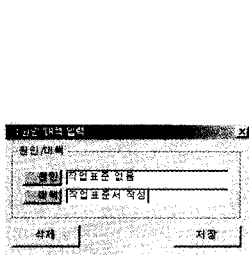


〈그림 4-4〉 사고 등록 처리 화면

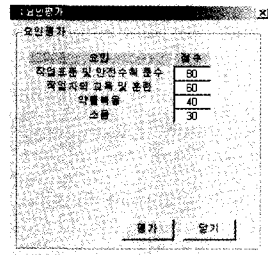
5. 요인분석

사고 요인분석 메뉴를 클릭하면 오류 분석 화면이 나타난다. 오류에 영향을 미친 요인을 선별하고 요인의 원인 및 대책을 입력한다. 또한, 이들 선택된 요인들을 대상으로 평가 가중치를 입력하고 파레토 분석에 의해 영향도를 구하여 요인별로 평가하게 된다. <그림 4-5>참조.

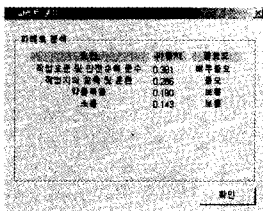
<그림 4-6>은 선택된 요인들이 해당 작업에 얼마나 영향을 주는지 평가 점수를 0에서 100까지의 범위에서 상대적인 영향도가 자동적으로 계산된다.



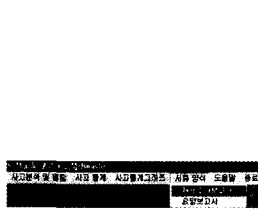
<그림 4-5> 선택된 요인의 원인 및 대책



<그림 4-6> 선택된 요인의 가중 점수 부여



<그림 4-7> 파레토 분석에 의한 영향도 평가결과



<그림 4-8> 서류 양식 메뉴

▶ 사고 통계 그래프 검색

사고 통계 그래프 메뉴를 선택하면 각종 재해 통계 그래프를 볼 수 있다. 통계 그래프 검색 창에서는 기간별로 통계 그래프를 검색할 수 있다.

6. 결론

휴먼에러는 작업자 개인특성 및 작업방법, 작업체제의 결함이 대부분이다.

- ① 이들 결함은 휴먼에러 발생 원인이 되고 이 발생원인은 사고 후 원인 조사 과정에서 감지하게 되는 것이 대부분이다.
- ② 사고 원인은 작업자의 휴먼팩터에 기인한 인지확인 및 동작오류의 에러 연쇄를 끊으면 사고발생 60-70%는 줄일 수 있다.
- ③ 에러가 앓차 체험으로 남을 경우 잘못된 행동이 지속되던가 다른 사람에게 전승시키는 계기가 될 수 있다.

(원고 접수일 2001. 5. 18)

참고문헌

1. 김두환, 안전관리실무론, 중앙경제사, 1999
2. 김두환, "휴먼에러방지 연구" 산업안전보건연구원 연구보고서, Vol. 1, 1998.
3. 김두환, 화학공장의 휴먼에러방지 당면과제, 인지공학회, 1998
4. 김두환, 기업의 앓차위험 실태분석과 대책방안 연구, 한일기술사십포지움, 1997
5. 과학기술처 : 인적오류기법개발, 한국과학기술원, 1995
6. 과학기술처, 인적행위 분석기법 개발, 한국원자력연구소, 1995
7. 한국산업안전공단, '98 중대사고사례집, 1998
8. 노동부 : 산업재해 통계분석, 노동부, 1997~1999
9. 임희남 : 인간 신뢰성 공학, 일본해문당, 1984, pp. 38~41
10. 신승헌 : 인간공학, 형설출판사, 1990, pp. 209~214
11. 黒田勳 : Human Factor를 깊이한다. 중앙재해방지협회, 1990, pp. 117
12. 중재방 : 안전, 중앙재해방지협회, 1991, pp. 16~22
13. 휴먼에러 예측인과모델개요, 휴먼팩터학회지, Vol.21, NO. 1, 1997
14. 휴먼에러유발 요인으로서의 중요성과 그 구축, 휴먼팩터학회지, Vol. 1, NO. 1, 1966.
15. 古田勝久, 山本重彦, 森亨一 外 1명, プラントの 安全操業と 制御systemの 信頼性.安全性 計装 Vol. 38 No. 9, 1995.
17. Hallangel E., Human reliability analysis context and contral, Academic press, 1993.
18. Reason, J., Lapses of attention in everyday life, In R, parasuraman & D. R. davies(eds) varieties of attention, Academic press, 1984
19. Hollnagel, E., The phenotype of erroneous actions, I.J. Man-machine Studies, 39, 1-32,(1993)
20. Pew, R.W. and Baron, S., Perspectives on Human Performance Modelling, Automatica, 19(1983), 663 ~ 676, 5