

안전분야-연구자료
연구원 01-10-31
S-RD- 01-10-31

불안전 행동과 종합 휴먼에러 방지 기술

2002. 11.

한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제출문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본보고서는2002년도 안전보건연구개발사업의 일환으로
수행한 『불안전 행동과 종합 휴먼에러 방지 기술』 연구
의 최종보고서로 제출합니다.

2002.11

주 관 연 구 부 서 : 산업안전보건연구원
연구책임자 : 안전공학연구실
수석연구원 김두환

요 약 문

1. 과 제 명: 불안전 행동과 종합 휴먼에러 방지 기술

2. 연구기간: 2002. 1. 1. - 2001. 10. 31.

3. 연 구 자 : 안전보건연구원 수석연구원 김두환

4.연구목적:

모든 사업장은 정기또는 비정기적인 보수시에 중대사고가 많이 발생되고 있다. 팀구성에 따른 근로자들 각자의 기본 행동 특성이나 자질을 사전에 발견하지못함에따라사고로이어지므로,다각적인개별인자선별측정평가가 필요하다. 그러므로 과학적이고 구체적인 근로자안전 행동 방안을 제시할 예측기법을 지금까지 연구한 내용을 집약 정리하여 보급하고자 한다

5.연구내용:

산업재해 예방을 위한 정책의 효과는 근로자들의 사고 특성과 원인을 얼마나 잘 파악하고 대처하느냐에 달려 있고 사업장에서 연간 재해 예방 계획을 입안하는데 필수적이다. 재해 예방 활동추진에 핵심은 사고없이 기업생산성을 향상시켜 기업목표를 달성시키는 수단이다. 그러므로 근로자행동특성과 기계설비, 작업 환경, 등에서 위험 요소 특성을 잘 파악하고 분석하여, 이에 대한 대

책을 얼마나 작업 환경 및 조직풍토에 맞게 제시하여 적극적인 추진하느냐에 달려 있다고 볼 수 있다.

매년 발생한 산업 재해통계 분석을 보면 똑같은 원인이 반복되고 있어도 산업재해건수나, 재해율은 감소하고 있으나, 사망 등의 중대재해나 단위 재해 1건당 경제 손실액수는 증가하는 추세를 보이고 있다. 그러나 핵심적인 제거대책은 사업장에서 실행되지 못하고 있다

우리 나라의 산업재해가 주로 중소 규모의 사업장에서 발생하는 이유는 중소 규모의 사업장은 안전관리자가 채용되지 않은 경우가 대부분이기 때문에 사고시 자료를 분석하거나, 그 결과를 체계적으로 정리하여 산업재해 예방추진에 이용하는데 현실적으로 어려움이 많기 때문이다.

최근 산업 현장은 과학기술의 발달로 산업시설이 주로 자동화된 기계로, 인간의 작업도 육체적 능력에 의존하던 작업에서 감시, 제어등 정신적인 작업 쪽으로 변모하고 있어 불안전행동과 인적 오류(human error)에 의해 발생한 산업재해의 비율이 증가하고 있다. 사고를 없애려면 당사자인 작업자에 책임추궁을 하는 것만으로는 해결되지 않으며, Error가 유발하는 배후요인까지 거슬러 올라가지 않으면 안 된다는 인식이 진전되고 있다. 작업장에서 발생하는 인간의 불안전 행동을 예방할 수 있다면, 대부분의 재해는 방지할 수 있을 것이고, 이에 따라 경제적인 산업재해로 인하여 발생하는 대부분의 손실은 줄어들 것이다.

사업장에서 인간행동 오류의 발생을 방지하는 것이 산업재해 예방을 위한 가장 중요한 조치이지만, 인적 오류를 방지한다는 것은 간단한 문제가 아니다. 현재까지 국내에서는 산업재해 방지라는 측면에서 산업재해에 관한 인적 오류

를 체계적으로 연구하여 산업현장에서 직접적으로 활용할 수 있도록 쉽게 제시한 지침서가 없는 실정이다. 그 이유는 우리 나라의 산업재해 분석이 산재처리 책임위주로, 실질적으로 존재하는 인적 오류에 관한 체계적인 통계분석이 없고 정보가 있어도 신뢰도의 정확성이 미비하다. 인간의 오류를 예방하기 위한 점검표 및 지침서, 인적오류에 기인한 사고 사례 D/B가 없어 근로자들에게 인적 오류를 줄이기 위한 실용적인 교육이 되지 못하는 등 산업재해 예방 대책에 어려운 점이 많이 있다. 그러므로 산업현장에서 쉽게 이용될 수 있는 종합휴먼에러 방지기법 정리가 요망된다. 인적오류 사고에 대한 체계적인 분석을 통하여 산업 재해 예방 대책수립과 단위 사업장별 재해예방 활동추진에 많은 기여를 할 것으로 기대된다

차 례

제 1 장. 서 론.....	1
1. 연구의 필요성 및 목적.....	1
2. 연구 기간	4
3. 연구방법 및 범위.....	4
제 2 장 휴먼에러 발생과 불안전 행동.....	6
1. 불안전행동과 사고유발요인.....	6
2. 휴먼에러 형성과정 및 인자분류.....	18
3. 연구자에 의한 휴먼에러 인자분류.....	29
제 3 장 휴먼에러분석 기법	40
1. 휴먼에러 분석 개요.....	40
2. 정량적 휴먼에러 분석 방법론.....	42
3. 정성적 휴먼에러 분석.....	59
제 4 장 휴먼에러특성진단과 평가적용대책.....	80
1. 인간행동 특성 측정 적용 및 평가.....	80
2. 휴먼에러 예측 시스템 적용.....	86
3. 휴먼에러 방지 대책 방안.....	94
제 5 장 결 론.....	102
참고 문헌.....	115

〈표 차례〉

<표1-1> 휴먼에러에 기인한 사고비율.....	3
<표2-1> 조작상의휴먼에러.....	26
<표2-2> Error의 영향요인 분류체계.....	31
<표2-3> 인적기능에 영향 형성인자(A.D Swain).....	33
<표2-4> 신입자가 범하기 쉬운 에러.....	36
<표2-5> 인간의 뇌파형태와 의식수준.....	36
<표2-6> 주의단계별 에러형성.....	37
<표2-7> 인적과오 분류(미국 1972~1989).....	39
<표3-1> HCR 모형에 사용되는 와이블 분포의 모수값.....	57
<표3-2> 수행도 수준에 따른 오류현상분류.....	70
<표3-3> 정량적 HRA방법들의 비교.....	76
<표3-4> 스트레스 효과를 고려한 HEPs의 수정.....	77
<표4-1> 판단과 동작 빠르기의 사고지수.....	80
<표4-2> 사고빈발자의 성격과 심신특성	83
<표4-3> 인간행동 분류	84
<표4-4> 그룹종합평가 결과표.....	85
<표4-5> 개인행동특성 진단측정 결과표	85
<표4-6> 인간 정보처리 과정의 에러분류.....	96
<표4-7> 사고경위 및 휴먼에러 분석보고서	99

〈그림 차례〉

[그림 1-1] 인적 오류 분석 시스템.....	4
[그림 2-1] 전 산업의 불안전행동 원인별	6
[그림 2-2] 중대재해자의 불안전행동 원인	6
[그림 2-3] 인간의 행동을 규제하는 인자 ^{47),50)}	9
[그림 2-4] 불안전행동의 특성 ¹⁾	11
[그림 2-5] 불안전 행동유발 요인 연관도	13
[그림 2-6] 불안전행동의 인적결함 요소.....	14
[그림 2-7] 불안전행동의 에러 영향인자.....	15
[그림 2-8] 사고원인 및 요인분류.....	17
[그림 2-9] 사고 인과관계도.....	17
[그림 2-10] 인간행동 인지과정.....	19
[그림 2-11] Rasmussen의 인간 Error 발생과정의 영향인자.....	22
[그림 2-12] 인간정보처리행위 형성과 사고발생과정.....	22
[그림 2-13] 근로자특성과 조직시스템목표관계.....	24
[그림 2-14] 휴먼 에러요인과 연관된 결과	26
[그림 2-15] 에러 행동 인자분석	27
[그림 2-16] 정보감지 오류 전달과정	28
[그림 2-17] Human Factor 정보분석 평가흐름.....	29
[그림 3-1] 휴먼에러분석의 두가지 형태.....	40
[그림 3-2] 정량적 인적오류 분석의 특성.....	42
[그림 3-3] 기본적인 조작자 행동 나무.....	46
[그림 3-4] STAHR 영향도.....	48
[그림 3-5] THERP를 이용한 오류분석의 예.....	50
[그림 3-6] HRA를 위한 THERP기법의 적용순서.....	52
[그림 3-7] 오류 모드의 차원(dimensions).....	63
[그림 3-8] CREAM에서 결과-선행조건 관계의 원칙.....	68

[그림 4-1] 팀에러 저해요인영향관계.....	87
[그림 4-2] 팀휴면에러 예측모델구조.....	87
[그림 4-3] 생산 요원 정보입력 화면.....	88
[그림 4-4] 개인정보 확인 화면.....	88
[그림 4-5] 팀 등록 화면.....	88
[그림 4-6] 팀 요원 선택 및 에러화면.....	88
[그림 4-7] 업무 PSF 의 추출 평가순서.....	92
[그림 4-8] 팀 행동 예측프로그램 구성.....	94
[그림 4-9] 인간정보처리과정.....	95
[그림 4-10] 휴면에러원인 연쇄과정.....	96

제 1.장 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

산업재해 예방을 위한 활동 추진의 효과는 근로자들의 사고(思考)특성과 행동 상태를 얼마나 잘 파악하고 대처하느냐에 달려 있고 사업장에서 연간 재해 예방 계획을 입안하는데 필수적이다. 재해 예방 활동을 추진하는 핵심은 쾌적한 안전환경 속에서 기업생산성을 향상시켜 기업목표를 안전하게 달성하여 기업 발전, 번영시키는데 있다. 그러나 작업현장에 따라 근로자 행동특성과 기계설비, 작업 환경, 등에 잠재한 위험 요소 특성을 잘 파악하고 분석하지 못하여 어려움을 당하는 기업도 허다하다. 매년 발생한 산업 재해통계 분석을 보면 똑같은 원인이 반복되고 산업재해건수나, 재해 및 경제 손실액을 감소시키려는 노력에 못 미치는 증가하는 추세를 보이고 있다.

우리 나라의 산업재해가 300인 미만 중소 규모의 사업장에서 82.4%를 점유하고 있다. 이같은원인은 중소 규모의 사업장은 경제적 여건이 빈약하여 안전관리 기술 전문인원이 채용되지 않은 경우가 대부분이고 안전기술정보 교류 및 입수도 취약하기 때문에 사고발생 즉시 원인을 분석하여 적절한 대응책을 수립 실시하거나 체계적으로 정보를 D/B화하여 산업 재해 예방에 재활용하지 못하고 있기 때문에 비슷한 유형의 사고가 반복 발생하고있다고 사료된다.

과학기술의 첨단화로 산업시설도 최첨단 자동화된 기계설비가 많고, 생산작업도 근로자들의 육체적 능력에 의존하던 작업에서 감시, 제어 등 정신적인 작업

쪽으로 변모하고 있어 산업재해 원인은 주로 근로자들의 불안전행동의 인적 오류(human error)에 의해 발생하는 비율이 증가하고 있다. 그러므로 사고를 극감 시키기 위해서는 작업자행동의 특성에 대한 심도있는 연구가 요망되고 있다. 선진국에서는 70년대 후반부터 휴먼에러방지 연구가 산학연구로 전문화 되어 오고 있다. 사고의 책임추궁을 하는 것만으로는 사고감소가 해결되지 않으며, 휴먼에러가 사고로 유발하는 배후요인을 찾아 근본적으로 제거하지 않으면 안 된다는 인식이 제기되고 있다. 따라서 인간의 불안전 행동을 예방할 수 있다면, 대부분의 재해는 방지할 수 있을 것이고, 이에 따라 산업재해로 인한 경제적인 손실도 크게 줄어든 것이다. 사업장에서 인간행동 오류의 발생을 방지하는 것이 산업재해 예방을 위한 가장 중요한 조치이지만, 휴먼에러를 방지한다는 것은 간단한 문제가 아니다.

<표1-1> 는 각국에서 사고 중 휴먼에러가 차지하는 비율을 연구결과 제시한 것이다.

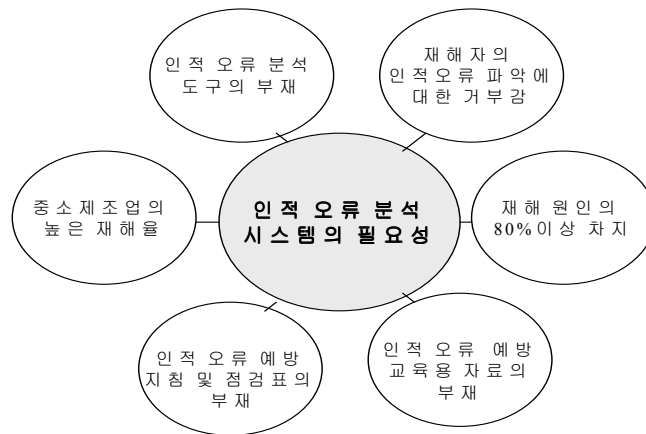
현재까지 국내에서는 산업재해 방지라는 측면에서 휴먼에러를 체계적으로 연구하여 산업현장에서 직접 활용할 수 있도록 쉽게 제시한 지침서가 없는 실정이다. 그 이유는 우리나라의 산업 재해통계 분석이 산재처리 및 책임위주로 집계 되어 실질적으로 산재예방을 위한 원인분석 중 휴먼에러에 관한 체계적인 통계분석이 되어 있지 않고 정보가 있어도 신뢰도나 정확성이 미비하다는 데 문제가 있다.

따라서 산업현장에서 쉽게 이용될 수 있고 실용적인 산재예방 교육에 활용될 수 있는 종합휴먼에러 방지 지도서가 요망된다.

<표1-1>휴먼에러에 기인한 사고비율

분 야	휴먼에러에 기인한 사고비율	발 표 자
구 조 물 사고	90%이상 78%(800건) 66%(287건)	Allem(1975) Hauser(1979) Maeda(1983)
석유화학플랜트화재폭발 석유정제	45-65%(483건) 61.2% (828건) 58% \$563백만손실액 190건	일본고압가스보안협회 정보 센터 (1978-1982) 우에하라(1986) Garrison(1989) Rasmussen(1989)
위험물화재	50%(1270건)	우에하라(1985)
항공기선박발전소사고	70-90%	Rubinstein(1979) Danaher(1980) Billings(1981)
제조업사고	40%이상인 휴먼에러	일본노동성안전년감(1981)

휴먼에러 발생과정을 이론적으로 전개하여 사고 원인 중에 인적인 불안전 행동에 영향을 미치는 휴먼에러요인을 이해시키고 과거 5년에 걸쳐 연구한 결과물을 근거로 휴먼에러 방지에 적용할 수 있는 기법을 요약·정리한 사용지침서를 제시하고자 한다.



[그림1-1] 인적 오류 분석 시스템의 필요성

2.연구기간 : 2002. 1. 1. - 2002. 10. 31.

3. 연구방법 및 범위

본 연구를 수행하기 위하여 지난 5년간 연구한 휴먼에러 관련 논문체계를 정리하고 근로자들의 불안전 행동 및 휴먼에러 발생과정의 영향인자를 추출하는 기법, 행동예측에 관련된 국내외 문헌 및 기술자료를 조사, 분석하여 이론적인 바탕을 정립하고, 휴먼에러 데이터베이스 구축에 필요한 실용 기준을 팀의 업무 수행형성인자(PSF), 조직체제 및 작업특징을 조사 통계 처리하여 에러요인 및 발생가능 인자들의 인과관계 규명방법을 정리보완 했다. 그리고 5년간 연구한 휴먼에러 관련 개발프로그램을 산업현장에 적용하여 작업자들의 불안전행동과 휴먼에러 방지 지도에 응용 할 수 있도록 제시하는데 한정하였다.

본 연구정리를 성공적으로 추진하기 위하여

▷ 기술정보 자료 수집 분석정리

- 기존에 연구되었던 인적오류에 대한 연구자료 수집 분석 정리
- 산업재해 통계자료 분석 휴먼에러 개발프로그램에 적용검토
- 국내외 휴먼에러 문헌자료의 인터넷 활용검색

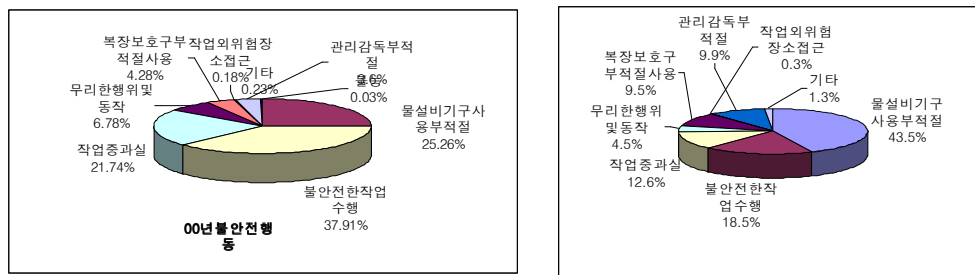
▷ 전문가 및 연구기관의 자문

- 인간공학 및 산업안전 분야 전문가들의 자문 활용

제2장 불안전행동과 휴먼에러 발생 상관 관계

1. 불안전행동과 사고발생 유발요인

매년 발생한 산업 재해통계 분석을 보면 전체 재해의 대부분이 인간의 불안전 행동에 기인하여 유발되고 있다. 2001년 통계에 의하면 전년대비 산업재해자 수는 81,434명(18.06%증가), 재해율(0.77%)은 5.48%증가하고, 사망 2748명으로 8.7%증가, 단위 재해 1건당 경제 손실액도 증가한 추세를 보였다. 재해자 6168명을 불안전 행동별로 보면 불안전한 작업수행이 2238명(37.91%) 작업수행 중 에러 1341명(21.74%) 위험장소접근 11명(0.18%) 무리한행위 및 동작 418명(6.18%) 기계 기구의 잘못사용 1558명(25.26%) 복장보호구 잘못사용 264명(4.28%) 감독 및 연락불충분 222명(3.06%) 기타 16명(0.26%) 순이다. [그림2-1]참조. 특히 산업재해 발생 인적원인 중 약 70%~80%가 휴먼에러에 기인된 원인으로 각 사업장은 핵심적인 산업재해의 불안전한 행동원인 추적이 과학적으로 분석되지 못하고 대책 방안도 형식적이어서 성과를 얻지 못하고 있다. 이를 심층 분석하여 구체적인 방지대책이 시급히 마련되어야 산업재해를 근본적으로 줄일 수 있을 것이다.



[그림2-1]전산업의 불안전행동 원인별 [그림2-2]중대재해자의 불안전행동 원인

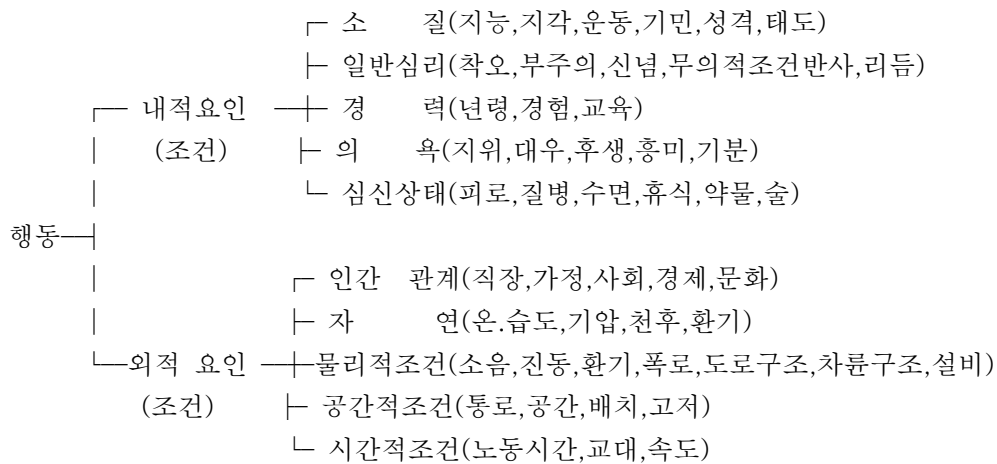
중대재해 1,197명의 산업재해를 불안전행동요인별로 보면 불안전한 작업수행이 221명으로 18.5%, 무리한 동작행위가 54명(4.5%), 작업수행중과실이 151명(21.742%), 복장보호구 부적절 사용 114명(9.5%), 상호연락 관리감독 부적절 119명으로 9.9% 작업외 위험장소접근 4명으로 0.3%, 기타13명(1.3%)순으로 휴먼에러에 관련된 것이 55.3%를 점유한 것으로 나타났다.[그림2-2]참조.

인간은 생산과정에서 항상 실수를 범할 수 있는 존재가 되고 있다. 특히 생산현장에는 시설물과 사람이 함께 어울려 제품생산이 이루어지고 있으므로 사람들의 감각기에 결함이 있으면 정보를 입수하고 파악하는 과정에서 정보는 정확하게 파악했으나, 판단할 수 있는 필요 지식 량의 공급에 결함이 있거나 부족하면 입수된 정보를 충분히 이해하지 못하여 인지, 판단, 조작 상에 실수를 쉽게 범할 수 있다. 이와같이 행동에 실수가 일어나는 것은 인간 자신에 결함이 있는 경우와 주변 환경조건이 열악할 때 일어나기 쉽다. 또 근로자 자신이 갖고있는 개인특성과 조직의 내외적인 결함, 주변 환경조건 등이 서로 안전성을 이루지 못했을 때 일어나기 쉽다. 근로자들의 불안전행동은 사고를 일으키는 직접원인으로 대부분 인간의 성격, 신체조건, 피로, 흥분, 정서적 불안, 인지와 행위의 불균형, 과도한 긴장, 작업시간, 작업조건, 재료, 공구, 설비의 작업 환경조건, 등 각종 요인이 복잡하게 얽혀져서 발생한다. 산업재해는 인간과 기계가 존재하는 한 지속적으로 발생할 것이므로 따라서 재해 유발 요인을 최소화시키는 것이 필요하다. 그러기 위해서는 개별적인 인간 행동특성을 파악할 필요가 있다. 인간행동에 영향을 주는 인자로는 개개인의 행동의 내적, 외적인 요인이 안전성을 유지하지 못하면 불안전행위를 발생한다. 내·외적인 조건은 [그림2-3]과 같다.

매년 발생한 산업 재해통계 분석을 보면 전체 재해의 80%이상이 인간의 불안

전행동에 기인하여 유발되고 있다. 2001년 통계에 의하면 산업재해 건수나, 재해율(0.76%)은 감소하고 있지만, 사망 등의 중대재해 및 단위 재해 1건당 경제 손실액은 증가한 추세이다. 그럼에도 각 사업장은 핵심적인 산업재해 주원인 추적이 과학적으로 제시되지 못하고 대책 방안도 형식적이어서 산업재해감소 성과를 얻지 못하고 있다. 특히 우리나라의 산업재해 통계분석 중 인적원인이 약 70%~80%를 점유하고 있어 인적원인 중 휴먼에러에 의해 발생하는 세부 원인을 심층 분석하여 적절한 방지대책이 시급히 마련되어야 산업재해를 근본적으로 줄일 수 있을 것이다. 특히 중소 규모의 사업장에서 산업재해 78-80%가 발생하고 있으면서도 안전관리자나 사고시 자료를 분석하거나, 그 결과를 체계적으로 정리하여 산업 재해 예방에 이용할 정보도 없어 산업재해를 감소시키는데 현실적으로 어려움이 많이 있다. 인간은 누구나 생산과정에서 항상 실수를 범할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 특히 생산현장에는 시설물과 사람이 함께 어울려 생산이 이루어지고 있으므로 사람들의 감각기에 결함이 있으면 정보를 입수하고 파악하는 과정에서 정보는 정확하게 파악했으나, 판단할 수 있는 필요 지식 량 공급에 결함이 있거나 또는 입수된 정보를 충분히 이해하지 못하여 인지, 판단, 조작 상에 실수를 쉽게 범할 수 있다. 이와같은 행동에 실수가 일어나는 것은 인간 자신에 결함이 있는 경우와 주변 환경조건이 나쁠 때 일어나기 쉽다. 즉 이같은 발생 원인은 대부분 인간의 성격, 신체조건, 피로, 흥분, 정서적 불안, 행위의 불균형, 과도한 긴장, 작업시간, 재료, 공구, 설비의 작업 환경조건, 작업방법상 결함 등 각종 요인이 대단히 복잡하게 얽혀져서 발생된다. 사고 원인은 인적인 불안전행동 유발요인이 압도적으로 많고 비정상 작업이 지배적이다.⁸⁾ 산업재해는 인간과 기계가 존재하는 한 지속

적으로 발생될 것이므로 따라서 재해 유발 요인을 최소화시키는 것이 필요하다. 그러기 위해서는 개인 행동에 영향을 주는 인자를 파악할 필요가 있다. 인간행동은 내·외적인 요인에 강한 영향을 받는다. 심리적 갈등, 특히 욕구 불만이 형성되면 자신의 내적인 요인이 불안전하게 작용하여 인지판단의 오류를 일으켜 쉽게 편리한대로 처리되고 과격한 행동, 퇴보된 행동 등 불합리한 행동을 발생시켜 사고로 이어진다.^{47),1)}



[그림 2-3] 인간의 행동을 규제하는 인자

가. 불안전행동 특성

불안전행동은 「안전한 상태를 불안전한 상태로 바꿔놓는 행동 또는 재해로 이어지는 조건을 완료시킬 우려가 있는 행동」으로 총칭한다. 불안전한 행동은 여러 가지 형태요인이 있겠으나 주로 지식부족, 기능미숙, 의식부족, 인간특성 등에 의한 에러가 있다.

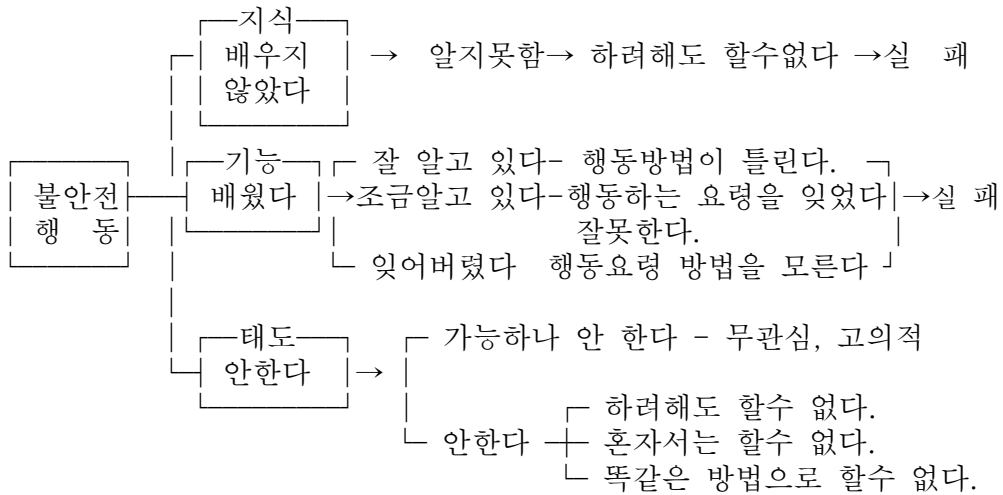
인간은 행동을 다음같이 간략하고 편하고 쉽게 처리하려는 버릇이 있다

- (1) 고생스러운 것보다 우선 현재 즐거운 것을 택하며,
- (2) 귀찮고 어려운 것보다 편하고 쉬운 것으로
- (3) 장래 이익보다는 위험해도 지금 당장의 이익을 생각하며,
- (4) 지정된 규칙준수보다는 생략하고 자기 편한 대로 행동하려 한다.

이같은 행동이 습관화되고 욕구불만, 군중심리 등 심리적인 강한 요소의 지배를 받으면 확인없이 불안전행동을 하게 되는 경우가 많다.¹⁶⁾

최근에 과학기술의 급속한 발전으로 새로운 첨단제품이 개발되어 치열한 경쟁속에 높은 생산성과 경제성을 추구하면서 이에 못지않게 인간의 행동 신뢰성도 엄격한 검토가 요망되게 되었다. 관심없이 지나쳐버리던 개인의 행동특성 부분이 휴먼에러를 속출하여 예측하지 못한 사고의 결과 대형재해로 연계되는 것을 흔히 볼 수 있다. 경험부족과 숙련이 되지 않은 상태에서 행동할 때 준비가 부족하고 적절한 방법을 익히지 못했기 때문에 무리한 자세, 불필요한 체력낭비 등으로 균형 없는 작업을 하게 되어 사고의 잠재위험을 안게 된다. 위험이 존재하고 있는 것을 알면서도 자기경험만으로 괜찮다고 생각되어 행동의 절차를 생략하는 의식부족, 마음가짐의 문제는 불안정한 행동 요인을 유인하게 된다. 인간은 특정한 대상에 한정해서 또는 선택적으로 의식을 집중한다. 한곳에 의식을 집중하면 다른 대상에 대해서는 충분한 주의력이나 그 방향성의 판단이 어려워지고 주의 정도는 변동성이 있기 때문에 전반적인 의식 행동의 안전화가 어렵게 되어 불안정한 행동을 하게되는 특성이 있다. [그림 2-2]에서 불안전행동이 발생하는 주원인은

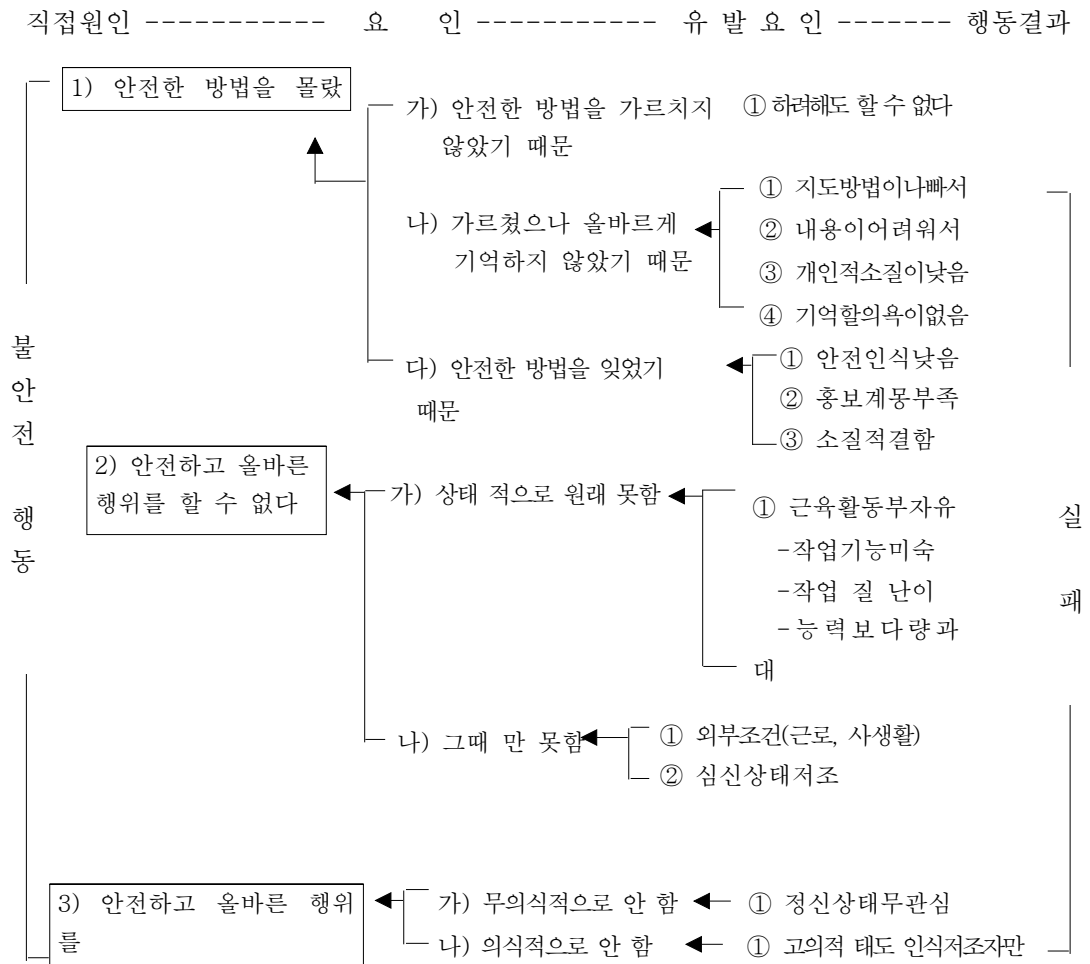
행동----- 원 인 ----- 요 인 ----- 결 과



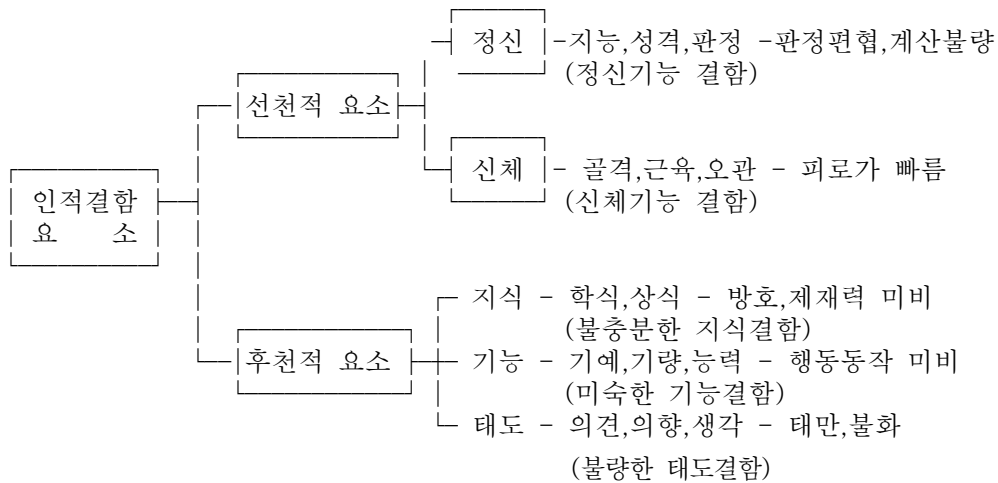
[그림 2-4] 불안전행동의 특성

안전하고 올바른 방법을 가르치지 않았기 때문에 모르거나 가르친 방법이 나빠서 또는 교육내용이 어려워져서, 피교육자의 개인적인 소질이 없거나, 기억하려는 의욕이 없었기 때문에 모르는 경우도 있으며, 가르쳤으나 적절한 계몽이나 소질적인 결함이 있어 잊어버리고 행동할 때 도 있다. 또 알고있지만 올바른 행동을 할 수 있는 기능이 미숙하거나 작업이 너무 어려워져서 또는 자기능력에 비해서 작업량이 너무 많이 할당되었거나 공동 팀 편성이 나쁘기 때문에 할 수 없는 경우, 불안전한 행동을 하게 된다. 안전하고 올바른 방법을 알고 있으면서도 고의적으로 안하는 사람은 작업태도가 나쁘거나, 안전인식이 저조한 개인특성을 갖춘 사람 등 심신상태가 비정상일 때도 발생한다. 물론 이와같은 불안전행동을 하게 되는데는 [그림 2-6]과 같이 개인적인 인적 결함요소를 갖고 있다. 선천적으로

태어날 때부터 불안정한 인자가 있는 자도 있으나, 대개 성장하면서 생기는 후천적 요소가 그 상황이나 시간의 변화에 따라 불안정한 행동으로 변용되어 사고로 이어질 수 있는 가능성도 다분히 갖고있다. 습관화된 불안전행동은 의도하지 않는 작업자의 안전의식 수준이나 주의력, 의욕을 낮추어 단순한 기계조작에도 멍청한 실수가 나타나며 기억이 쉽게 나지 않고 잊거나 무시하거나 규칙을 준수하지 않는 등 다양한 제 요인과 상호인과 관계로 얽혀 사고나 재해로 연결되는 경우가 많이 있다.



[그림2-5] 불안전 행동유발 요인 연관도



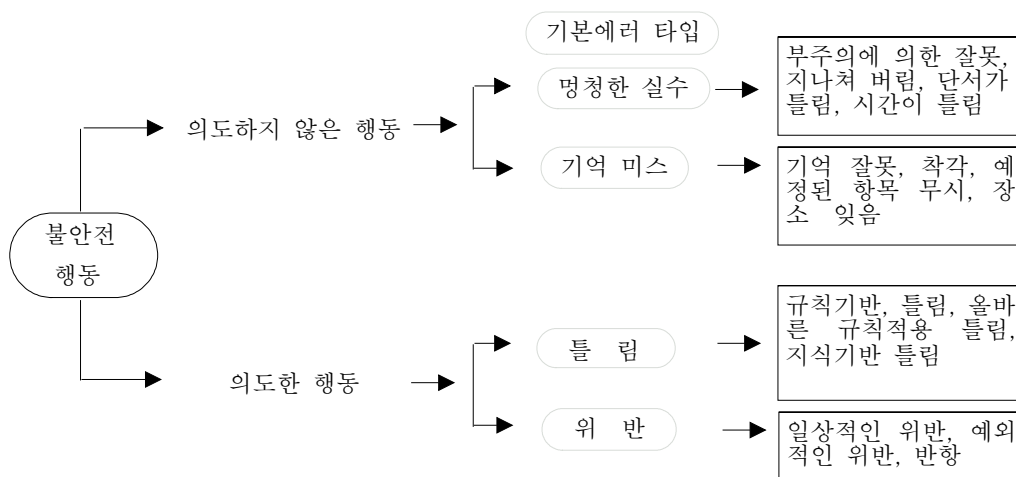
[그림 2-6] 불안전행동의 인적결함 요소.

특히 불안전행동의 인적결함은 작업내용이 단조롭고 흥미가 없으면 집중력을 잃어버려서 졸음이 생기게 되고 긴장도 장시간 유지하지 못하며 과도한 긴장은 과로를 증가시켜 안전성을 잃게 된다. 신체적으로 근육의 수축 지속시간은 생체 내에서 기능의 부담을 주어, 순발력을 필요로 하는 근육운동에 대해 피로속도를 현저하게 빨리 증가시킨다. 더욱이 외부의 환경조건이 열악할 경우 더욱 피로감을 가속시켜 판단력이 흐려지고, 자신 없는 작업을 수행하면 판단과 행동은 불안전하게 변한다.

특히 중 고령자일 경우는 뇌 세포가 쇠퇴하여 근육조절이 원만치 못하고 민첩성의 기능이 약화되어 판단행동에 지장을 받게 된다. 수면시간도 크게 감소하여

피로감을 빨리 느끼게 되고 선별, 인지판단력도 낮으며 행위의 균형감도 불안정하게 변용되어 나타날 수 있어 안전한 행동도 심리적, 생리적인 기능이 떨어짐에 따라 산업재해로 급속히 나타나는 추세다.

불안전한 행동은 의도하지 않은 행동과 의도한 행동으로 구분할 수 있으며 이들 행동에 영향을 주는 여러 인자들은 [그림2-4]와 같다.



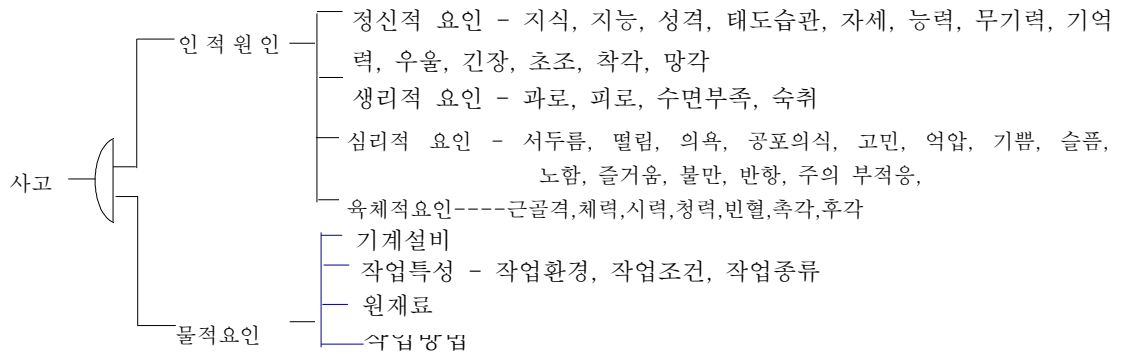
[그림2-7]불안전행동의 에러 영향인자

누구나 동작을 의도하고 실행하는 단계에서 한번쯤 다시 안전을 생각하고 확인하는 습관이 필요하다. 무의식적인 행동은 습관적인 상황 속에서 만들어지며 고의적인 행동은 욕구불만 등 심리적인 보상관계에서 이루어진다고 한다. 휴먼 에러는 정신적 심리적 생리적인 개인특성 주변환경에 따라 많이 작용되고 있

다. 그 기본행동에러 형태는 무의식적 행동 범주(1,2)의 내용과 고의적 행동 범주(3,4)의 내용으로 분류할 수 있다

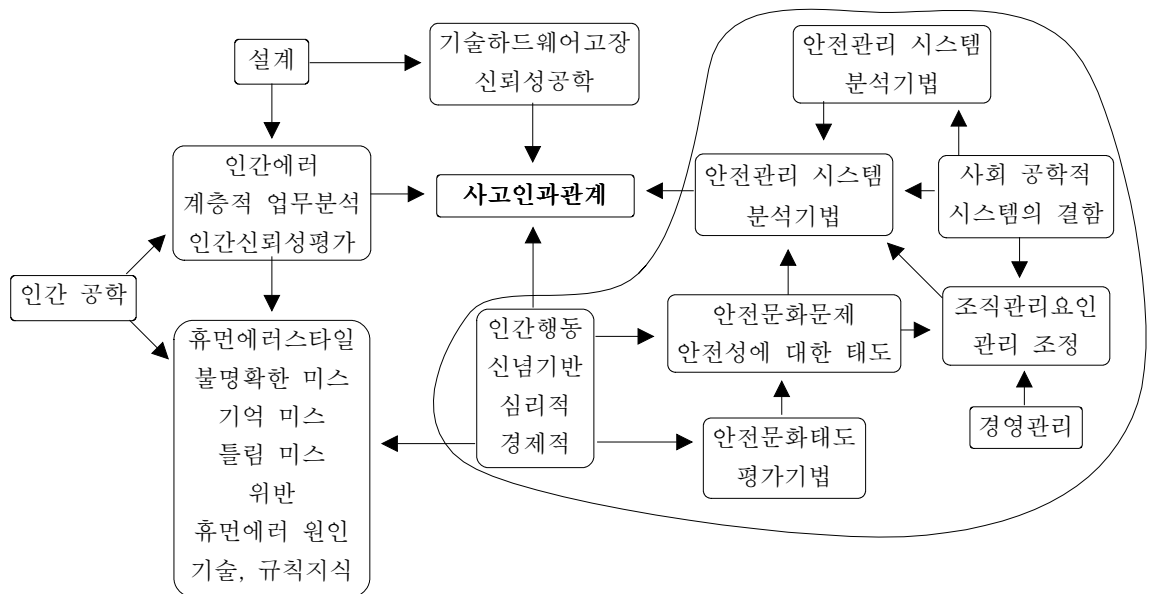
- (1). Slip(과실) : 행위단계에서 숙련의 에러- 간섭, 생략, 역행, 어긋남.
- (2). Lapse(실수) : 단기적인 기억의 결핍, 증발을 초래한 숙련의 에러- 장소잊음, 의도잊음
- (3). Mistake(실책): 순서의 선택을 실수하는 규칙의 에러-부적절한 규칙적용, 오용
생각하는 단계에서 착오를 초래하는 지식의 에러-과신, 착각, 과소평가
- (4). 위반

지능이 낮거나 너무 높은 사람은 평범한 사람보다 사고를 일으키기 쉽고, 특히 이들의 성격, 태도가 정서적으로 불안정하면 신경질, 긴장과도, 기분의 심한 변화, 감정의 격함 등이 쉽게 나타나 자기중심적인 성향으로 비협조적, 주관적 공감성의 결여, 기준 미준수, 공격적, 충동적으로 자기억제가 어렵고 경솔하며 무모한 행동을 다발하여 어떤 계기에 불안정한 행동기능이 지각기능을 상회하는 행동으로 변화되어 사고를 다발 시키기도 한다. [그림2-8]의 인적원인 중 정신적, 생리적, 심리적 요인이 중복되어 사고로 연결될 수 있는 인자들로 근로자들이 작업을 수행하는데 필요한 기술적인 지식, 경험, 기술능력 심신상태가 미숙함으로서 사전 준비나 대처하는 방법이 취약하고 무리하게 작업을 수행하거나 쉽게 하기 위해 정해진 순서나 규칙을 무시하고 생략하는 태도, 마음가짐 등의 불안전행위가 재연되고 있다.



[그림2-8] 사고원인 및 요인분류

¹⁾[그림2-9]의 사고인과 관계에서 보면 인간공학적인 측면에서 휴먼에러 스타일은 인간에러의 신뢰성과 인간행동 신념기반 심리에 영향을 받는 인과관계가 있다. 설계 측면에서 인간에러는 사고와 밀접한 인과관계를 나타내고 있다.



[그림2-9] 사고 인과관계도

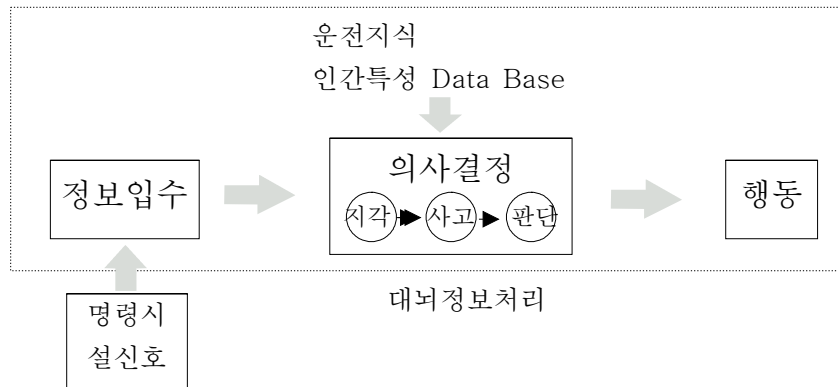
사고인과 관계는 개인 휴먼에러 문제로부터 조직의 안전문화 문제에 이르기까지 경영자의 의사결정 및 커뮤니케이션(의사소통)에 문제가 있으면 조직관리상의 시스템 결함이 사고의 잠재원인으로 작업현장에 나타나기 때문이다. 잠재적인 결함과 현존하는 결함 배후에는 여러 가지 요인이 폭 넓게 인지되고 있다. 조직 내 숨어있는 조잡한 설계 실책이 실제 사고원인으로 나타나 위험한 기술의 심각성을 제시할 수 있으며, 편견적인 발상이 안이하게 인간의 주의력이나 기억력에 의존해서 안전을 달성하려는 생각은 사고를 반복시키는 계기가 될 것이다.

휴먼에러 와 기술적 하드웨어고장 및 조직적인 안전관리 시스템은 안전유지를 확보하기 위하여 개선시키는데 최선을 다해야 할 조건들이다.

2. 휴먼에러 형성과정 및 인자 분류

휴먼에러란 인간이 행동한 결과 환경이나 기계, 시스템 등과의 접촉면(Interface)에 적합하지 않은 상태가 되어 인간이 달성하려고 하는 어떤 목표에서 기대에 어긋나거나 의도하지 않는 방향으로 벗어나 것을 말한다.

최근 산업 현장은 과학기술 및 IT산업의 발달로 산업시설이 주로 메모리가 자동화 되어, 인간의 작업도 육체적 노동 능력에 의존하던 작업에서 감시, 제어 등 지적 정신적인 두뇌작업 쪽으로 변모하고 있어 개인의 정보입력 오류나 인지판단의 인적 오류(human error)에 의한 행동에러로 산업재해를 증가시키는 계기가 되고 있다. 따라서 우선 인간행동 인지 형성과정을 상세히 파악할 필요가 있다. 상사로부터 생산지시 명령이 떨어지면 근로자들은 정보를 5관을 통해 입력하여 대뇌중추 정보처리 계를 거쳐 저장된 데이터를 적용하여 인지, 판단하여 행동으로 지시하면 손발을 움직여 행동화한다.



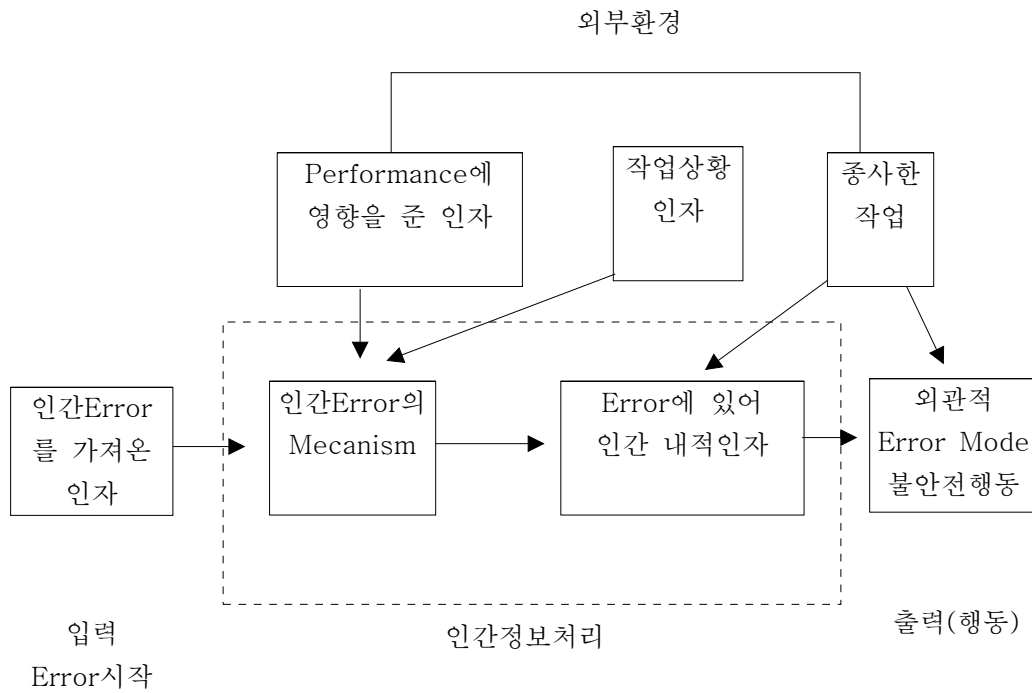
이 과정에서 개인특성과 지식 경험 등의 장단기 기억정도 및 작업환경에 따라 에러가 발생할 수 있다. 사업장에서 근로자 개인 행동형태는 개개인의 특성 자질에 따라 휴먼에러가 발생하여 작업에 영향을 주는 인자로 존재한다고 본다. 사고 빈발 소질자에 의해서 일으키는 사고빈도가 정상자가 실수에 의해서 일으키는 빈도보다도 훨씬 높다. 문제는 작업조건 중에 휴먼에러 유발인자나 사고경향성을 높이는 빈도 요인 조건을 찾아 근원적으로 없애는 것이 생산원가 측면에서 효과가 클 것이다. 기업의 본질적인 기능은 작업목표와 방향을 설정하고, 근로자들에게 작업분담 배분을 하여 업무 수행을, 안전하고 상호 침착하게 신뢰성을 높여, 효율적으로 목표를 달성 유지시키는데 있다. 따라서 휴먼에러 가능성이 높은 요인을 사전에 도출 규명하여 재발을 방지하거나 에러발생을 배제, 감소시키는 것이 절대 필요하다. 특히 불안정한 행동에러 결과가 중대사고로 이어지는 민감한 사업장에서는 사전에 근로자들의 불안전행동을 예지하여 대응 관리하는 것이 무엇보다 중요하다. 근로자들이 갖고있는 행동특성의 변수들은 다양함으로 개개인의특성을 조사하여① 현장에서 작업과 관련하여 발생하고 있는 각종 기초적인 휴먼에러는 어떤 유형이 있는가 ② 개인의 어떠한 행동특성 요인이 불안전 행동과 어떻게 연계되어 작용하는가를 조

사하여 작업량과 단위시간당 작업수행 능력의 심리적인 변화, 개인이 갖고있는 신체조건과 성격, 동작의 선별력과 균형감, 적응성, 판단능력, 정서안정도 등을 도출 대비 시켜보면 이상상태를 사전에 예지하여 지도할 수 있다. 또 이와같은 여러 인자들의 대응책을 찾아 개선지도하면 팀워크의 관리도 좋아져 기업의 생산성도 향상되고 사고감소를 위한 안전관리의 효율적 지도방안의 기초자료가 될 수 있다. 작업자에 기인된 사고나 설비고장 등은 어떠한 종류의 행동요인과 관계가 있고, 작업에 어느 정도 영향력을 미치고 있는가를 검토하여 그 행동형성과정 요인을 차단하는 대책을 세울 수 있다. 시설의 안전성, 신뢰성을 평가할 때도 관련 있는 인간 에러율을 함께 예측할 수 있어 현장에 조화성 있는 작업안전관리가 정착 될 수 있을 것이다. 인간의 신뢰성은 동일 조건의 운전 보수유지 작업에 있어서도 근로자들의 행동형성 요인의 존재나 종류에 따라 큰 영향을 주게 되므로 각 현장에 인간 에러의 산정을 확립시킬 필요가 있다. 외계정보를 대뇌의 감각 중추에서 인지되기까지 과정에서 에러가 발생하거나 인지된 상황을 적응행동으로 의사 결정하여 운동 중추에서 동작으로 이행되는 과정에, 기억의 반감으로 잘못 조작하는 과정에서 판단에러가 생기므로 인간의 대뇌가 명쾌하지 않으면 정보량을 처리하는데 신뢰성이 없게 된다. 인간의 두뇌는 지각정보를 다양하게 활용해 출력할 수 있지만, 반면 다양성 때문에 불명확이라는 에러를 발생시키고 있다. 인간의 감각기로 입력되는 정보는 다종다양하며 시각은 $3 \times 10^6 \text{bit/sec}$, 청각은 $3 \times 10^4 \text{bit/sec}$ 이며, 뇌의 중추에서 최대정보 처리 능력은 10^2bit/sec 로 입력정보를 1,000만분의 1 밖에 처리하지 못한다. 뇌의 중추 정보처리 계는 지식 베이스의 행위나 행동을 동시에 두 가지 출력 할 수 없어 우선 순위의 혼란으로 부주의 에러가 나타난다. 전처리 과정에서 생활체험이나 교육, 훈련, 작업의 목적 등에 의해 정보압축이나 정보선택, 특성에 의한 여과(濾過), 등의 처리가 행해진다. 뇌에서 단기 기억으로 한번에 기억할 수 있는 수는 「 7 ± 2 」 개로 재생까지에 허용되는 시간이 10에서 20초 정도로 매우 짧아 정보가 들어오면 지워 없어져 「잊었다!」고 하는 에러를 발생할 소지가 있다.

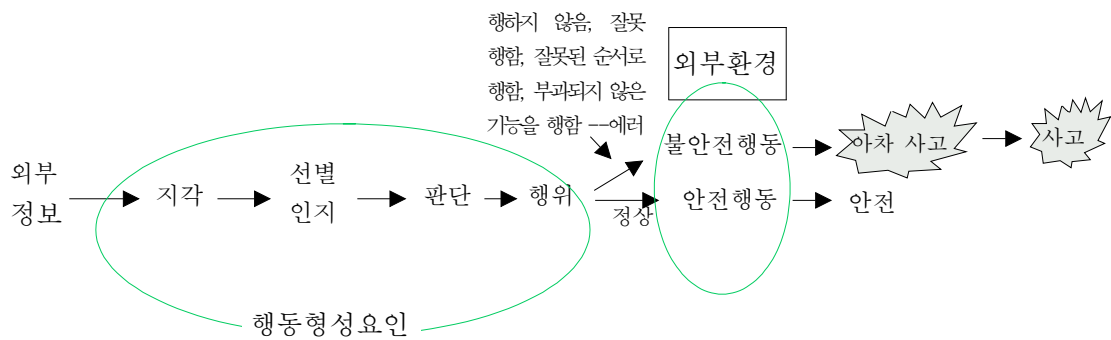
감각기에 입력된 정보는 변형되지 않고 전달과정에 뉴론(Neuron : 신경 세포와 이로부터 돌기한 신경 섬유)의 충칭)을 지날 때마다 의도나 감정, 환경, 습관, 분위기 등에 따라 복잡하게 변형되어 「초조함」이나 「자만심」의 에러가 되고 있다. 인간이 기계를 취급 조작하는 사이에 에러가 발생하는 과정은 많은 요인들이 작용하여, 작업자들의 여러조건에 따라 그세부 요인이 연쇄적으로 결합되어 각단계에 나타난다

Rasmussen는[그림2-11]에서 인간 에러 발생 과정에 영향을 미치는 인자는 업무수행 중에 작업상황, 환경 등이 인간 에러 메카니즘에 영향을 주는 외부환경이 정보인지 선별과정에 인간이 갖고있는 내적 인자와 결합되어서 에러를 돌출 시키고 있다고 제시했다.

산업현장에 잠재한 재해의 주원인은 인적원인인 근로자들의 불안정한 행동과 물적원인인 불안정한 상태에 의한 것이므로 행동특성에 나타나는 휴먼에러, 불안정한 기계설비, 열악한 작업 환경, 등 공통 핵심 인자들을 철저히 규명하지 않으면 기업의 생산성을 향상이나 기업목표를 달성시키는 데 차질을 초래하게 된다. [그림2-12]은 에러가 정보처리과정에 존재하면 사고로 이어지는 과정을 나타냈다.



[그림 2-11] Rasmussen의 인간 Error 발생



[그림 2-12] 인간정보처리행위 형성과 사고발생과정

산업재해가 발생한 원인을 인간의 행동 결함에 의한 에러측면에서 생각하면

- ① 위험판단과 작업을 진행하는 방법에 대한 안전 지식 부족
- ② 안전한 작업을 진행하기 위한 능력 부족
- ③ 안전한 작업을 추진하기 위한 의욕 부족
- ④ 인간 본래의 특성에 기인한 오류

등으로 나눌 수 있다. 이러한 지식 부족이나 능력 부족은 인간의 착각, 오 판단, 기억 잘못, 조작미스 등 각종 착오 현상을 유발시키는 인자가 있다. 불안정한 상태는 경험적인 판단이나, 분위기형성에 따라 휴먼에러를 촉진시키는 계기가 될 수 있다.

영국 심리학자 리즈는 인간의 정보처리 과정에서 발생하는 행동에러는 「반복」, 「틀림」, 「혼입」, 「생략」의 4종류로 나타냈다.

근로자들의 앓차 체험, 사고 등 행동에러배후 요인 중에 심리적 결함요인에 의한 비율을 인지기능, 기억을 포함한 「분위기 파악」에 의한 것이 25.5%, 생각기능, 가치기능을 포함한 「생각의 통합」이 48.5%, 「감정적 문제」가 5.6%, 운동기능, 협응 등의 「작업동작」이 20.4%로 나타나 있다. 특히 제조업은 「생각의 통합」, 「판단 결심」 등의 중추정보처리 과정상의 문제가 중요시되고, 고령화에 따라 「운동기능, 협응력, 동작시간」 등에 관련된 작업동작이 큰 문제점으로 지적되고 있다.⁴⁰⁾

앓차 사고는 70-80%가 대부분이 휴먼에러에 기인한다. 휴먼에러는 작업방법이나 행동오류가 대부분이다. 이요인은 사고조사과정에서

- ① 작업자의 개인특성에러는 지식부족 및 동기부여에 결함이 있다.
- ② 작업조직체제상 에러는 의사소통, 정보제공 방법에 결함이 있다.
- ③ 작업특성에러는 환경상 판단이나 행동에 복잡한 조건이 얹혀 있다.
- ④ 인간-기계계 미스는 인간공학적인 설계결함에 있다

설비시스템결함 제조프로세스 제조방법의 하드웨어발생 원인이 휴먼에러 발

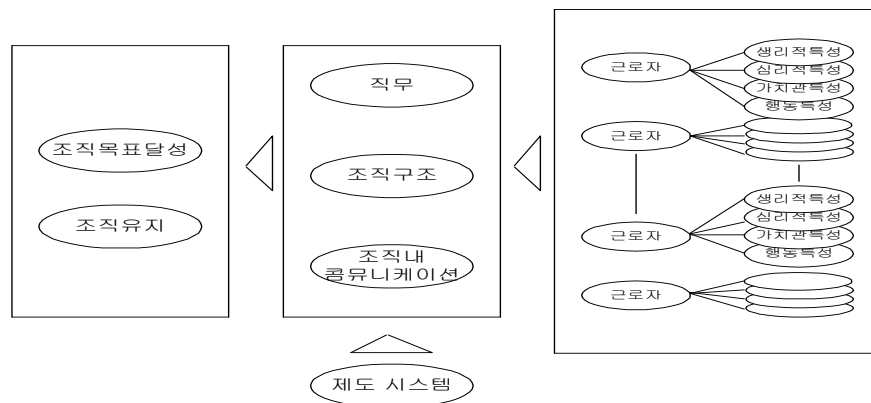
생 원인이 되고 이 발생원인은 누구나 확실하게 인식하고 있지 않으므로 사고 후에 그 원인을 조사하는 과정에서 느끼게된다.

발생원에서 작업자가 휴먼팩터에 기인한 에러의 연쇄결과 사고가 발생하고 조작동작에러에 이르기까지 연쇄를 끊으면 사고발생은 없을 것이다.

이 연쇄가 일어나도 사고가 되지 않는 경우도 있다. 이것은 앓차 체험으로 남게된다. 또 잘못된 행동을 계속 하든가 다른 사람에게 계승시키는 원인이 될 수 있다.

휴먼에러 발생 배경에는 숨어있는 유발 요인으로 업무를 빠르게 진행하기 위해 의식행위생략, 정신상태, 성격, 건강상태 등 개인특성, 인간관계, 주변환경 등이 배후에 요인이 되고 있다.

근로자들 개개인이 갖고있는 행동특성을 세분하면 심리적 특성, 생리적 특성, 정신적 특성, 행동적 특성으로 작업성과에 큰 영향을 주는 휴먼 팩터들이다. 생산 활동을 통해서 조직의 목표달성 (즉 생산성, 성장성, 수익성, 조직유지 등)은 조직의 유효성을 도모하기 위해 노력하고 있다. 따라서 근로자 개인특성과 조직의 특성을 잘 조화시킴에 따라 조직의 안전성을 가져올 수 있다.



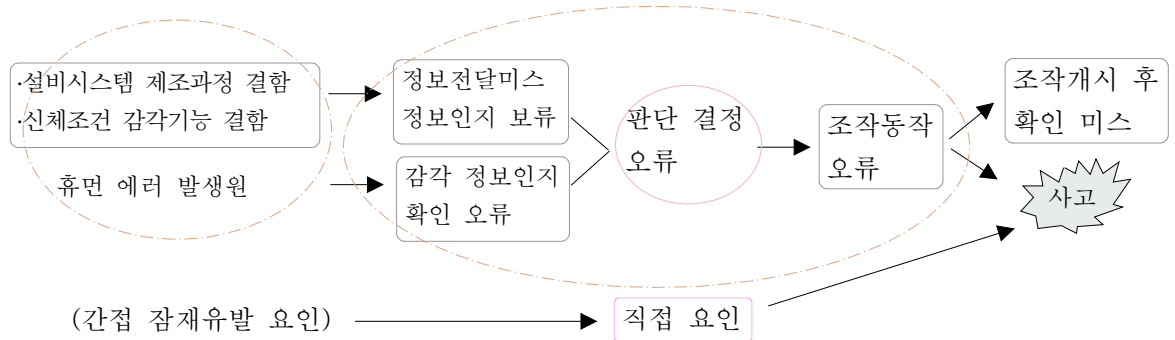
[그림2-13]근로자특성과 조직시스템목표관계

[그림2-13]에서 근로자들의 행동특성은 조직시스템의 직무, 구조, 의사소통에 많은 영향을 준다. 분류한

- ① 생리적 특성은 인간의 생체기관이 갖고 있는 기본적 기능으로 규칙적인 생체리듬을 유지, 보전하는 특성을 가르킨다.
- ② 심리적 특성은 인간정보 처리과정의 기능으로 5관을 통한 정보를 감지하여 올바르게 인지 판단하여 올바른 행동으로 옮기는 제반과정에 영향을 주는 인간 감정 욕구 등의 심리상태를 가르킨다.
- ③ 정신적 특성은 인간이 정보처리과정에 감각기능을 올바르게 조정하는 정신력을 말한다.

이와같은 행동의 특성요소는 인간의 신체적인 각 부위 동작 특성으로 업무수행에 안전성을 발휘하여 업무의 효율화를 올리고 안전하게 행동하는 과정을 말한다. 휴먼에러는 그룹이나 개인의 사소한 잘못을 믿어버림(Slips), 깜박 잊음(Lapses), 실수(Mistake)를 조장하는 작업조건이나 환경에, 충분한 관심을 기울이지 않는 조직에서 일어나며 상호 의사소통의 결핍, 설정하지 않은 작업 순서, 설비환경의 상태불량 등이 중복되어 근로자들의 행동을 실패하는 계기로 만들고 있다.

여러 가지 작업활동을 행하는 경우에 정보에 따른 에러는 매뉴얼, 작성순서, 체크리스트, 등의 미비, 교육훈련불충분, 감독불충분에 따라 생긴다. 더욱이 인간행동은 작업자의 판단을 요하는 정보의 복잡성, 감각기관간의 지각적 경합, 적량이상의 정보진달, 축적된 정보와 운동패턴의 경합, 정보의 불충분, 정보의 휘드백 결함 등이 있을 때, 필요한 작업이나 순서의 실행에 오류를 범하게 되고 또는 부정확하게 실행하며 불필요한 작업순서를 실행하게 된다.



[그림2-14] 휴먼 에러요인과 연관된 결과

더욱이 인간 측에 결함이 있어 올바른 정보를 파악할 수 없을 때는 정보를 입력하는 과정에 신체감각 결함으로 대뇌의 감각중추에서 인지되기까지 과정에 에러가 발생하거나 정보는 정확하게 전달 파악했으나, 판단할 수 있는 필요 지식량의 저장부족이나 기억결함으로 정보처리량이 적절치 못한 상태에서 행동을 하여 인지, 판단, 조작상에 오류가 나타난다. 인간 행동 변화에 따라 조작동작상의 에러는 <표 2-1>와 같이 지식, 정보, 표시, 제어기구, 조작환경, 시간관련 사항

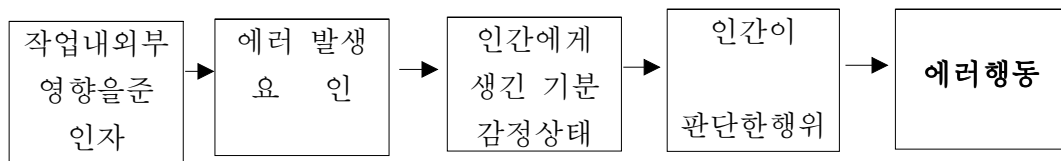
<표 2-1> 조작상의 휴먼에러^{1b)}

발생 장소	원 인
지식 관련	자극이 과대 또는 과소
정보 관련	불완전 정보전달
표시 기구	양적, 질적 표시방법 부정확
조작 환경	작업공간 온열환경의 부적성
시간 관련	작업시간의 부적성

에 따라 부적합성이 원인이 되고 있다. 사람에 따라서는 판단기준과 관찰대상의 작업 특징을 꼼꼼히 비교하여 보고, 판정식별 기능을 균형감있게 시행하지 않음

면 휴면에러를 범하게 된다.

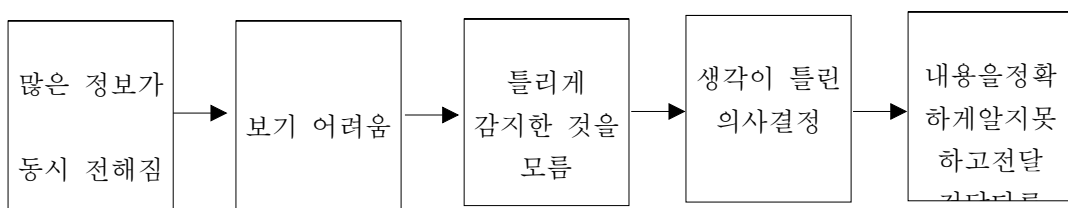
작업경험이나 이해력이 부족하면 정신적인 스트레스가 증대하여 육체적 부담감을 초래하고 습관적인 행동에러가 발생하는 계기를 주게 된다. 사람이 위험을 감지할 수 있는지 여부는 그 사람의 지각이나 감각, 경계심에 좌우된다. 위험이 있는 것을 인식하면 그 위험을 피하기 위한 행동을 어떻게 하도록 할 것인가 하는 문제의 결단이 필요하다. 위험을 피하는 행동을 어떻게 할 것인지 여부는 그 사람의 경험이나 학습, 동기부여, 개인특성 등에 따라 영향을 받는다. 그 사람의 지적능력이나 예지경험은 교육 훈련에 좌우되고 위험을 인식하지 못하면 필연적으로 사고가 되는 위험한 행동을 하게된다. 그 일례로 특징적 대응관계의 상관성을 [그림2-13]에 나타냈다.



[그림2-15] 에러 행동 인자분석

우리들은 일상 행동을 하면서도 작업 내외부에 영향을 준 인자에 의해서 발생하는 에러요인은 지나쳐버린다. 즉 행동한 후 「틀린 것이 마음에 꺼림직하다」 「아무생각 없이 전했다」고 말한다. 이러한 마음가짐 상태 결과를 「실수였다」라고 말하는 의식자체가 너무나 책임감 없는 상태에 있는 것으로 생각된다. 안전에 대한 노력은 개인의 에러를 최소화하는 노력도 중요하지만, 조직이라는 군중 심리적인 조직 중에 잠재하고 있는 에러를 관리감독자가 사전에 발견하여 시정 개선하려는 의지와 노력, 전문지식이 거의 없는데 문제가 있다.

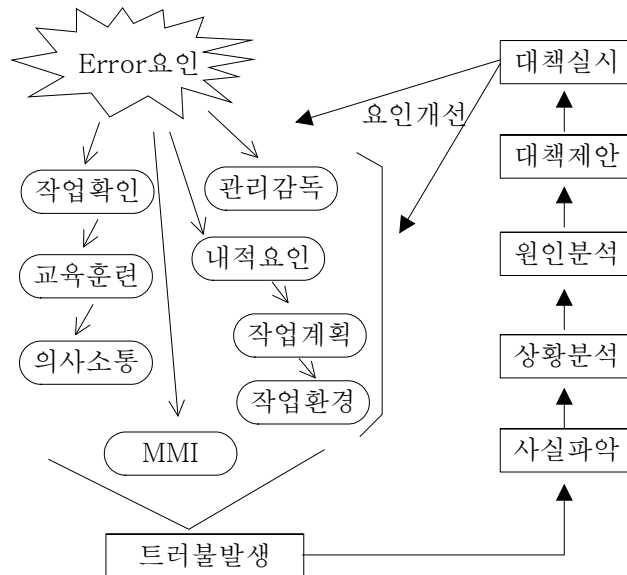
현장에서 근로자들은 마음이 조급하면 무리하고 난폭한 행위를 하기 쉬운 경향이 있다. “작업환경 변화에 마음이 들지 않는다.”, “작업수행 중 틀려 기분이 언짢다” 등 식별능력이 저하한 상태에서는 착각이라는 행위로 나타나기 쉽고 불안전하다. 이와같은 행위를 현장에서 쉽게 감지할 수 있다.



[그림2-16] 정보감지오류전달과정

작업현장에는 수시로 많은 작업요구 지시가 하달되어 많은 정보가 작업자들에게 전달되고 있으나 그전달 방법에 따라 결과가 엄청난 차이를 가져다 줄 수 있다. 작업계획에 따라 분담된 작업량, 납기, 품질, 안전등 여러조건을 만족시키려고 주의를 집중하다 보면 [그림2-14]에 제시된 오류가 발생할 가능성이 많이 잠재하게된다. 이때 조급한 관리자지시가 조급한 행동에러를 불러일으키는 계기가 될 수 있고 이것이 사고로 직결되는 과정을 볼 수 있다. 이와같은 원인은 관리감독자와 근로자 사이에 의사소통, 인지판단 능력의 불균형에서 발생되고 있는 문제를 찾아 낼 수 있다. 그러나 현장은 결과 책임만을 추궁하기 때문에 자신의 원인을 인정하려하지 않는다. 인적인 사고 직접원인을 불안전행동으로 분류하면서 그 원인을 본인 부주의라는 단순결과로 매듭을 짓는 습관 때문에 근본적인 원인추적은 사라지고 사고는 없어지지 않고 반복되고 있다고 사료된다. 에러 발생을 일으킨 요인은 내 외부로부터 영향을 받은 에러 인자 가운데 연관성을 찾아내는 것이 중요하다. 인간 정보처리 과정에 구체적으로

저해한 요인을 찾아냄으로써 예상되는 대응관계가 명확하게 제시될 수 있다.



[그림2-17] Human Factor 정보분석 평가흐름

사고 유발은 소수 인원이 일시적인 불안전 상태에서 발생하기 쉽기 때문에 의사소통의 불합리, 역할 분담의 심리적 부담은 에러의 잠재성인자이며 때에 따라서는 사고로 이어질 수도 있음으로 관리 감독자들은 특히 주의해야 할 요소들이라 사료된다. 특히 관리자와 생산요원, 운전요원사이에, 또는 협력사와의 공동작업 배치시 상호 협력관계는 휴먼에러 발생 요소와 인과관계가 있으므로 세심한 관찰과 대응책이 필요하다는 사실을 잊어선 안될 것이다. 치열한 국제 경쟁사회에 살아남기 위해서는 모든 근로자들은 위험을 발견하는 안전기술의 질적 능력을 높여야한다. 기계설비의 고속화, 복잡화, 컴퓨터화가 됨에 따라 안전화를 추진하는 기술자가 적고, 안전화를 추진하는 기술수준도 낮으며, 안전화를 필요로 하는 경영안전 지식기반 이해도, 자율적인 안전규제 등을 예외

시하여 문제가 대두되는 기업은 세계화 첨단생산기술 개발 속도에 따라 안전
화 효율화로 연계되지 않아, 사회적인 안전책임을 다하지 못하여 살아 남기 어
렵게 될 것이다.

3. 연구자에 의한 휴먼에러 인자 분류

James Reason은 휴먼 에러는 불안전행동을 야기 시키는 무의식행동과 의도한 행
동이 기본적인 에러를일으키고 동작의 반복에 의한 실수(저하), 기억미스, 생략 순
서틀림, 동작의 잘못된해, 의도상실, 계획내용 생략, 작업순서의 행동을 잊음(생략),
부적절한 규정적용, 동작의 혼입 등 세부적인 요인에 의해서 발생된다고 제시했다.
.Reason의 직무특성, 개인특성, 환경특성 등의 에러분류를 종합해서 화학공장에
영향을 미치는 에러 인자들을[표2-2]와 같이 근로자 특성요인, 작업특성요인, 작업
환경요인, 화학공장 특성요인으로 각각 세분하여 분류하였다.

Malone, T. B.는 스리마일드 중앙제어실 디자인과 운전원의 조작 작업의 인간공
학적 평가(NUREG/CR-1270)에서 휴먼에러 요인을 ① 인간개인의 요인, ② 작업상
의 요인, ③ 설계상의 요인, ④ 순서의 요인, ⑤교육 훈련 요인으로 분류하였다.

Kurt Hewin은 인간행동의 기본은 인간 및 환경과의 관계변수에 따라 결정됨을
제시하고 있다. 이 결과는 사고로 이어지는 직접계기가 될 수 있다. 인간의 정보처
리과정 특성에서 개인 경험, 기능의 특성, 소질, 성격 등은 비교적 장기적으로 지속
되어 형성된 인자들이다. 사고발생 시는 비교적 단기간에 형성된 인간의 상태로
피로 상태, 감정적으로 흥분상태 등의 인자의 영향과 작업을 수행하는 과정의 환경
조건, 작업특성, 기계 특성 등의 변동성이 크게 작용하며 또, 인적인 관계자간의 의
사소통의 나쁨 등이 휴먼에러를 유발하는 계기가 되고 있다.

[표2-2] Error의 영향요인 분류체계

대분류	중분류	소분류
근로자 특성요인	·신체적 요인 ·정신적 요인 ·심리적 요인	·연령, 신체조건, 감각, 운동능력 ·성격, 태도, 소속감, 책임감, 지식 습득 정도, 경험, 수면정도 ·동기부여, 감정상태, 피로정도, 불안감, 고통, 배고픔, 자신감, 만족감
작업특성요인	·시설장비 특성 ·물리적 업무 특성 ·인지적 업무 특성	·표시, 경보, 조절장치 계기의제조건 ·기간의 적합성, 작업시간, 의사소통, 적합성, 빈도, 반복성, 정보유무, 휴식시간 ·작업부하, 위험도, 단조, 경계, 자격요건, 운동요건, 적합성
작업환경요인	·물리적 요인 ·화학적 요인 ·상해 내적 요인	·주변소음, 기계적 진동, 조명, 고저온 습도, 압력, 유속, 기후, 작업 공간, 통로,부식,충격 ·방사선, 유해물질폭로, 청결, 위험물저장, 환기자동화(Fail-safe) 안전장치 점검 ·재해정도,형태,유형, 장비보호구,
조직특성	·조직부서 관련요인	·안전문화, 조직풍토, 경영System, 노사관계 ·근로자사기의욕, 기술지원, 인간관계 정보제공 ·부서간 의사소통, 협력, Team구성 유대관계

A. T. Welford는 인간 인지행동의 기본원리를 정보처리과정으로 하여 그 기본 모델을 입력-변형-출력으로 자극이나 정보를 받아서 입력된 것을 선별 정리하고 기억하고 생각하는 변형과정을 거쳐 동작이나 언어를 통해 출력하는 3단계 과정을 거치고 있다고 말하고 있다.

캘리포니아대 Norman은 인지심리학적 분류로 ① 감각지각시 : 입력에러, ② 정보매개처리 단계 : 매개에러, ③ 신체에 따른 반응을 일으킬 때 : 출력에러로 동작을 의도한 단계에러를 실책(Mistake), 의도한 동작을 실행한 단계 에러를 과실

(Slip)로 칭하고 있다.

L. W. Look은 에러의 분류를 ① 인간공학적 설계에러 ② 조작에러 ③ 검사에러 ④ 설치 및 보수 에러 ⑤ 조작에러 ⑥ 취급에러로 분류하여 제품의 설계 단계부터 사용단계까지 다양하게 발생하는 에러의 종류를 제시하고 있다.

J. M. Christensen과 R. G. Mills는 인간의 요소적 기능을 지각적 과정에서 정보를 올바르게 탐색하고 이해하여 정보 처리과정에서 문제해결 및 의사결정을 하고 감독, 지시, 응답, 전달, 조언 등 상호 의사소통이 이루어져야 한다고 제시하고있다.

캘리포니아대 Norman은 인지 심리학적 분류로 ① 감각 지각시 : 입력에러, ② 정보매개처리 단계 : 매개에러, ③ 신체에 따른 반응을 일으킬 때 : 출력에러로 동작을 의도한 단계에러를 Mistake, 의도한 동작을 실행한 단계 에러를 Slip로 칭하고 있다.

Surry는 개인요인, 환경요인, 상해대리 요인으로 분류하였고 Garwron는 환경(작업장소 타입 환경속성,) 작업장(육체적특성, 정신상태, 감각) 직무(조정장치 표시장치,기계 자극, 직무형태, 속성)으로,

S. D. Swain은 인간이 원인이 되는 에러가 작업자의 작업상황에 따라 외적인 인자,(상황, 업무를 좌우하는 인자) 내적 인자(개인적 인자) 스트레서(심리적 스트레스, 생리적 스트레스) 외적 요인에 따라 실수를 하기 쉬우며 그 형성인자는 [표 2-3]와 같다.

[표 2-3] 인적기능에 영향 형성인자(A.D Swain)

I. 외적인자	
I-1. 상황적 특성	
-	시공상 구조, 환경(온도, 습도, 공기, 방사선, 조명, 진동, 소음, 일반적 정돈상태)
-	작업시간/휴식 전용설비, 기구나 공급물질 Availability의 충분성
-	인원계획, 조직형태(권한, 책임, 연락망)
-	감독자, 협력자, 대표자, 규제담당자의 기능과 기여
-	보수, 평가
I-2. 직무작업지시	
-	매뉴얼, 문서 또는 구두지시, 주의, 경고, 작업방법
I-3. 작업과 설비면 특성	
-	지각상 요구사항, 행동상 요구사항(속도, 강도, 정확도), 조작기구, 표시관련성
-	사전에 상정되는 요구사항
-	해석(의미부여), 의지결정, 정보처리부하
-	작업폭, 빈도, 작업중요성
-	장기/단기 기억, 계산상 요구사항
-	회드백 결과지연
-	연속성, 팀구성 커뮤니케이션
-	인간기계간의 인터페이스
-	주된 기계형태 테스트용 기기
-	제조용 기기
-	직무지원용 기기, 체기구, 비품
II. 스트레스	
II-1. 심리적 스트레스	
-	돌발성 스트레스 시간
-	작업속도, 작업 부하, 위험성, 압박감(실패)
-	업무의 단조로움, 품격, 무의미, 장시간 감시
-	자극, 주의(소음, 색채)
-	직무수행상 갈등, 재훈련 결함
-	모순된 보조
II-2. 생리적 스트레스	
-	스트레스 길이 피로, 불쾌감, 진통
-	공복, 갈증, 극단온도조건, 방사선
-	과대한 중력, 기압, 산소결핍, 진동, 활동제약
-	운동부족, 일상리듬 혼란

III. 내적요인

III-1. 개인적 요인

- 지금까지 훈련경험, 최근 실무경력, 기능 - 성격, 지능적 자질, 동기와 태도
- 정서, 감정, 심리 육체적 긴장 - 표준적으로 요구되는 지식, 성적차이
- 체격조절, 가정 주변 사람에게 영향 - 직장그룹 특성

Pulat는 휴먼에러 인자를 작업장, 작업내용, 작업조직, 작업환경으로 분류했으며 Kroemer는 작업형태, 작업량, 일정 환경 조건, 작업자의 능력, 태도, 조직직무, 개인습관 등으로 분류하여 인자를 제시하였다. 특히 불안정한 상태의 경험적인 판단, 분위기형성은 휴먼에러를 촉진시키는 계기가 될 수 있다. 그러므로 근로자들 개개인이 갖고있는 심리적 특성, 생리적 특성, 정신적 특성, 행동적 특성은 작업성장에 큰 영향을 주는 휴먼 팩터들이다

J. M. Christensen과 R. G. Mills는 인간의 요소적 기능을 지각적 과정에서 정보를 올바르게 탐색하고 이해하여 정보 처리과정에서 문제해결 및 의사결정을 하고 감독, 지시, 응답, 전달, 조언 등 상호 의사소통이 이루어져야 한다고 제시하고있다. 캘리포니아대 Norman은 인지 심리학적 분류로 ① 감각 지각시 : 입력에러, ② 정보매개처리 단계 : 매개에러, ③ 신체에 따른 반응을 일으킬 때 : 출력에러로 동작을 의도한 단계에러를 Mistake, 의도한 동작을 실행한 단계 에러를 Slip로 칭하고 있다.

James Reason은 인간 에러는 불안전행동을 야기 시키는 무의식행동과 의식동작 행동으로 동작의 반복에 의한 실수(저하), 생략 순서틀림, 동작의 잘못이해, 의도상실, 계획내용 생략, 작업순서의 행동을 잊음(생략), 부적절한 규정적용, 동작의 혼입 등에 의해서 발생된다고 한다. James Reason의

SRK 모델의 에러는 다음과 같다.

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)

신입근로자들은 새로운 현장의 업무에 익숙하지 못하기 때문에 정보를 입수하여 취사선택하고 단기 기억한 것을 계획대로 이행이 되지 못하는 경향이 높으며, 습관이 형성되어 있지 않아 어떻게 처리해야 안전한지 망설이게 되고 확인하는 시간이 늦어 정해진 시간에 조작이 완료되지 않아 서둘러 판단하므로 조작의 혼란이 생기고 불필요한 긴장을 하게되며 정신적 피로가 높게되어 실수를 쉽게 범하게 된다. 반대로 숙련자들이 많은 경험이나 습관에 젖어 자신과잉, 요령에 익숙해서 오류를 범하는 예가 많음을 예시하고 있다. 몸에 익숙한 조작을 하게될 때는 기억의 조합이나 대응 조작을 깊게 생각할 필요가 없는 기억의 생략이나 중단이 되는 경우도 있으며 믿으면 모두 틀리게 동작할 위험성도 생기는 경우가 있다. 숙련자가 명칭한 것을 하는 것은 중단회로가 갖는 위험성이다. 행동의식 수준의 신뢰성은 사고유발과 밀접한 관계를 갖고 있다. 하시모도구니에는 대뇌의 의식수준을 5단계로 분류하였고<표 2-3>, 1924년 독일의 Berger는 뇌파를 가지고 생리학적인 현상과 주의력관계를 설명하여 불안전행동을 지적했다. [그림 2-6] 의식수준의 I 단계에서 심리적으로나 생리적으로 부담을 갖고 행동을 하면 사고의 위험이 돌출될 수 있다. 근무중에 반 이상이 II단계로 창조적 의지력이나 예측이 활발치 않아 인간공학적인 배려가 요구되는 단계이다. 뇌파는 5종류로 β 파는 흥분, α 파는 안정, 의식이 둔해져 에라를 일으키기 쉬운 졸음상태를 θ 파, 수면상태의 방추파, 숙면상태의 δ 파 등 파형의 변화에 따라 의식수준이 달라짐을 지적하고 있다

<표2- 4> 신입자가 범하기 쉬운 예러

- ① 지각정보의 취사선택이 계획대로 행해지지 않는다 - 무엇이 중요한 것인가를 선택
- ② 지각정보가 과잉이 되어 혼란하게 한다.
- ③ 지각정보의 통합화, 시계열적 처리가 가능치 않다.
- ④ 지각감도가 낮다 → 지각정보의 변동율을 판단하여 큰 편차가 되지 않도록 눈치챈다.
- ⑤ 단기 기억을 사용할 여유가 없다.
- ⑥ 기억량이 적고 확실치 않다.
- ⑦ 기억이 원활하게 인출되지 않는다 → 기억하고 있는 것이 곧 생각나지 않는다.
- ⑧ 결심이 뒤따르지 않아 미궁이다 - 자신이 없다.
- ⑨ 예측폭이 좁다 → 바로 직전에 행한 것이 생각나지 않는다.
- ⑩ 가장 중요한 것에 초점이 흩어진다.
- ⑪ 최악 상태로 되었을 때 눈치챈다.
- ⑫ 조작성이 늦고 매끄럽지 못하며 더욱이 분주한 상태가 된다.
- ⑬ 외부로부터 갈라져서 전체순서가 혼란하다.
- ⑭ 어느 것도 여유가 없고 정신적 긴장상태에 바로 결함이 있다.

<표 2-5> 인간의 뇌파형태와 의식수준^{41),11),8)}

단계	의식의 상태	주의작용	생리적상태	신뢰성	뇌파형태	뇌파변화
0	무의식, 실신	없 음	수면, 뇌발작	0	δ파	0.5~3.5Hz
I	정상이하, subnormal 의식둔화	부주의	피로, 단조로움, 졸음, 주	0.9이하	θ파	4~7Hz
II	정상 normal 이완 relaxed	수동적, 내향적	안전기점, 휴식, 정상작업	0.99~0.99999	α파	8~13Hz
III	정상 normal 명쾌 clear	능동적, 전향적, 위험예지, 주의력범위 넓음	적극활동	0.999999 이상	β파	14~30Hz
IV	초 정 상 , hypernormal 흥분 excited	한점에 고집, 판단정지	감정흥분, 긴급방위반응, 당황과 공포반응	0.9이하	β파혹은 전간파	

<표2-6> 주의별 에러단계

단계 I
(I) 눈앞의 신호, 정보를 빠트린다. 무관심하다. 오인하다. (I) 귀찮다고 하는 기분이 앞서 점검, 확인을 생략한다. (P) 지시, 연락사항을 까맣게 잊음. (D) 눈앞의 사건에 안이하게(상황이나 결과를 생각하지 않고) 손을 내놓는다. (D) 감정적으로 난폭하게 취급한다. (D) 빨리 작업을 중단한다.
단계 II
(I) 예상치 않은 사태에 말려들어(예측부족) 확인하지 않고 인지를 잘못한다. (I) 예측과잉 (I) 지레짐작, 틀리게 읽는다. (P) 위험하다고 알고 있으면서 그 순간 위험을 잊었다. (P) 확인할 필요가 없이 확실하다고 믿고 점검을 하지 않았다. (P) 앞에서도 성공하였기 때문에 이번에도 틀림없다고 생각했다. (P) 상대는 알고 있다고 생각하고 연락하지 않았다. (P) 용건은 끝났다고 생각하여 다음의 작업을 시작했다. (P) 다음의 작업에 신경을 쓰고 수순을 빠트렸다. (D) 약간의 시간을 기다리지 못하고 다른 일에 손을 대고 시기를 잃었다. (D) 습관동작이 튀어나오는 것을 컨트롤 할 수 없었다. (D) 반사적으로 손을 냈다.(의지에 대한 억제가 되지 않는다)
단계 III
(P) 시간의 절박, 상황의 급변으로 즉시 판단을 몰아치다. (P) 한쪽의 고장의 수리에 열중하여 당면의 시간경과를 잊어 시동이 늦었다. (P) 작업과제가 복잡하여 생각에 잠기다.
단계 IV
(I) 폭전의 돌발사태에 1점 집중하여 다른 정보를 무시한다. (P) 과도의 긴장, 흥분 때문에 판단불가능이 되었다. (P) 화내고, 공포 때문에 냉정한 판단을 잃는다. (D) 무목적, 무의미하게 동작을 반복한다.

(주) : (I)인지·확인 의 에러, (P)판단·기억의 에러, (D)동작·조작의 에러

의식수준의 부주의 현상

단계 I 은 심하게 피로하였을 때의 아주 귀찮다고 하는 기분이 선행하므로 에러행동이 일어나기 쉽다.

단계 II는 예측하지 않은 사태에 주의를 빼앗기어 인지를 잘못하거나 확인을 하지 않는다거나 의식적으로 억제가 듣지 않아 컨트롤을 잃어버린다고 하는 판단·의지결정을 둘러싼 정보처리상의 에러행동이 많다.

단계 III은 주의력이 가장 훌륭하게 활동하여 전향적으로 주의폭도 넓어진다고 하나 그것으로도 부주의 현상이 나오는 것은 있을 수 있다.

단계 IV는 눈앞의 사건에 깜짝 놀래어 그것에 주의를 빼앗긴다던가, 당황하여 조작을 잘못한다고 하는 에러행동이 나오기 쉽다.

미국의 Fullwood는 작업상의 가장 인간 과오율이 높은 작업이 정비작업으로 1,000건당 1.4건의 오류가 발생했고, 10인당 2.5건의 오류를 지적하고 있다. 이와같이 인간행동이 사고경향의 제문제로 부각되는 것은 사고경향자의 행동과악, 사고방지대책 향상의 인간특성 기여율의 미확보, 사고발생조건의 세부적인 분석 사례연구가 체계적으로 이루어지지 않고 있다는 점을 지적할 수 있다.

<표 2-7> 인적과오 분류(미국 1972~1979)⁴⁰⁾

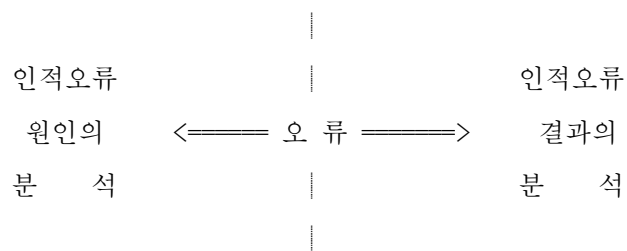
	PWR	BWR	계	%
검출불량	5	5	10	1.4
관 찰	7	9	16	2.2
커뮤니케이션	19	14	33	4.5
잘못된 순서	66	60	126	17.4
순서 불이행	50	36	86	11.8
조작탈락	55	86	141	19.4
잘못된 조작	62	62	124	17.1
관리조작의 탈락	22	1	23	3.2
시행	24	32	56	7.7
부품 잘못	6	19	25	3.4
부차적 이상효과	3	6	9	1.2
진단	6	0	6	0.8
상황과악	6	5	11	1.5
목표	1	2	3	0.4
업무	3	3	6	0.8
콜-드	1	4	5	0.7
운용한계이탈	4	9	13	1.8
기 타	14	19	33	4.5
계	354	372	726	100.0

제 3 장 제조업에서의 휴먼에러분석 기법

1 휴먼에러 분석 개요

인적오류는 인간이 명시된 정확도, 순서, 혹은 시간한계 내에서 지정된 행위를 하지 못하는 (또는 금지된 행위를 하는) 것으로 정의할 수 있다. 인적오류의 주원인은 고유한 인간의 변화성(variability)이다.

인적오류의 발생은 때로는 심각한 사고를 초래할 수 있기 때문에 인적오류를 줄이기 위해 다양한 분석방법이 연구되었다. 인적오류의 분석은 보통 그림 2.1과 같이 두가지 다른 관점에서 수행될 수 있다. 첫번째 분석의 관점은 오류의 원인(source)에 관심을 집중하는 분석방법이다. 이 방법은 하향식분석(top-down analysis)이라고 부른다. 두번째는 오류발생의 결과(consequence)에 관심을 집중하는 분석방법이다.

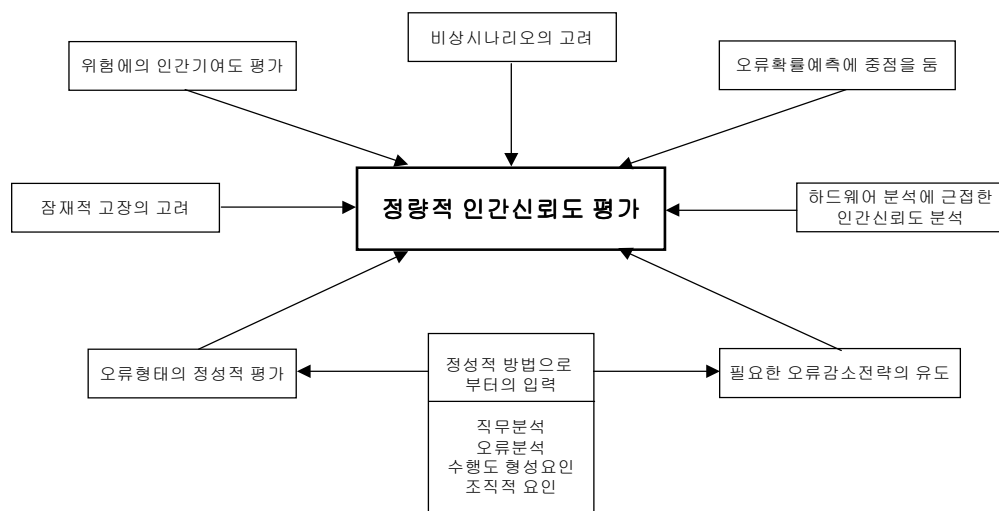


[그림 3-1] 휴먼에러분석의 두가지 형태

이전의 인적오류분석의 문제는 확률적 위험평가(probabilistic risk assessment)의 측면에서 수행되었기 때문에 주로 정량적인 오류분석에 대해 연구되었다. 인적 오류에 대

한 정량적분석은 보통 인간신뢰도분석(Human Reliability Analysis:HRA) 이라고 하며 인적오류의 발생가능성을 확률적 측면에서 수치적으로 추정하는 일련의 과정을 말한다. 인간신뢰도분석은 보통 인간-기계 시스템에서 기계신뢰도와 결합하여 시스템의 전체신뢰도를 추정하기 위해, 또는 시스템의 확률적위험평가(Probabilistic Risk Assessment:PRA)에서 하나의 입력자료로 사용하기 위해 수행된다. 확률적위험평가에서의 입력자료로 사용하기 위한 HRA는 다음의 요구조건들이 만족되도록 수행되어 왔다. 정량적 측면에서의 HRA의 특성을 도식화하면 다음 [그림 3-1]와 같다.

- 위험스런 모든 인적오류가 밝혀져야 한다.
- 이들 오류는 PRA 모형에 결합될 수 있어야 한다.
- 이들 오류는 확률로 정량화 될 수 있어야 한다.



[그림 3-2] 정량적 인적오류 분석의 특성

2. 정량적 휴먼에러 분석방법론

현재 명확히 구별할 수 있는 HRA방법들은 대략 35-40가지 정도 된다. 그러나, 그러한 방법들 중 몇몇은 같은 방법의 변형에 지나지 않고, 따라서 명확하게 구별할 수 있는 HRA방법의 수는 그렇게 많지 않다. 과거에 HRA방법들에 대한 연구가 많이 있었는데, 주로 1970년대부터 방법에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다고 할 수 있다.

HRA 방법들의 개발 연도를 보면 1970년대 후반에 몇가지의 방법들이 개발되었지만, 대부분은 1980년대 초반에 개발되었고 1980년대 후반으로 가면서 개발된 방법의 수는 점차 줄어들었다. 물론, 1990년대에 제안된 몇가지의 새로운 방법들이 있긴 하지만, 그 수는 1980년대 초에 비해 현저히 적었다. 이러한 현상은 1979년도에 발생되었던 TMI(Three Mile Island)사고의 발생과 무관하지 않을 것이다. 즉, TMI사고는 원전에서의 인적오류의 중요성을 많은 사람들이 공감하였고, 그에 따라 새로운 HRA분석 방법의 필요성을 많은 사람들이 공감하였기 때문이었을 것이다.

이러한 방법들에 대한 비교 분석이 여러 연구자들에 의하여 연구되었지만, 주로 기술적 수준에서의 설명보다는 특정한 목적을 기준으로 이들 방법들을 설명하였다. 한 예로, Dougherty & Fragola(1988)의 HRA에 관한 책에서 시스템 공학적 접근방법을 설명하였는데, 그들이 설명한 HRA 방법들은 주로 THERP(Technique for Human Error Rate Prediction)에 초점을 맞추었다. 또한, Park(1987)의 인간신뢰도에 관한 책에서는 인적오류와 그것의 방지에 더 많은 초점을 맞추었는데, 주요한 관심은 THERP, OAT(Operator Action Tree), 그리고 여러 가지의 결함수(fault-tree)방법에 대한 설명을 포함하고 있다.

가. 사고 조사 및 진행 분석 (Accident Investigation and Progression Analysis; AIPA)

AIPA는 대형의 고온 가스-냉각 반응로(High Temperature Gas-Cooled Reactors)의 작업에서 작업자의 반응 확률을 추정하기 위한 방법으로 1970년대 중반에 개발되었다. 작업자의 행위는 요구된 반응을 수행하였는지의 여부에 의하여 표시되었다. 다시말해, 분류체계는 단지 성공과 실패만으로 구분하고 있다. AIPA의 목적은 행위가 수행되었을 확률을 결정하는 것이었는데, 이 확률은 작업자 반응까지의 평균시간에 의하여 표시되었다. 물론, 이 방법은 TRC(Time-Reliability Correlation)의 초기 형태이다.

1) 방법

AIPA는 기본적으로 다음과 같은 모델링 가정을 포함하고 있다.

- 작업자가 즉각적으로 어떠한 반응을 할 확률을 0이다.
- 충분한 시간이 주어졌을 때, 작업자가 어떠한 행위를 취할 것이고, 그것은 사고를 악화시키지는 않는다.
- 첫 번째 행위가 불충분하였다는 것을 작업자가 알았을 때, 작업자는 바람직한 상태가 될 때까지 수정 행위(corrective action)를 취할 것이다.

2) 분류체계

AIPA의 분류체계는 요구된 행위가 수행되었는가에 따라 기본적으로 성공과 실패로 구분한다. 이것은 작업자 반응에 대한 평균시간(mean time)을 발견하고자 하는 목적과 부합된다.

3) AIPA가 작업자 모델을 포함한다고는 할 수 없다. 기본적으로 이 방법에서는 작업자를 미지의 메카니즘에 따라 반응하는 블랙박스(black box)로 고려한다. 메카니즘의 특성은 TRC에 의하여 근사화되고, 실제적으로 어떠한 반응을 할 것인가를 규정하지는

않는다. 또한, AIPA에서는 PSFs에 대한 명확한 고려가 없다.

AIPA는 분류체계나 작업자 모델의 측면에서 매우 정교한 방법이라고는 할 수 없다. AIPA 방법은 현재에는 거의 사용하지 않는다고 하더라도, 이 방법은 정량적 HRA방법의 기본적 형태로 고려되어야 할 필요가 있다.

나. Confusion Matrix

Confusion matrix 방법은 작업자가 초기사건을 올바르게 진단하지 못할 확률을 추정하기 위하여 사용된다. confusion matrix는 보통 자동적인 시스템 반응을 보완하는 사건 순서 중에 취해진 모든 행위를 포함하지만, 시험과 보수 작업에서의 오류와 같이 사고-반응 범위 밖의 행위들을 제외한다.

1) 방법

confusion matrix의 이론적 근거는 동일하게 보이는 사고들은 작업자에게 혼동을 줄 수 있고, 그럼으로써 부적절한 진단을 유발한다는 것이다. confusion matrix는 행렬의 수직 및 수평축에 유사한 초기 사건들을 열거하여 구성된다. 증상의 유사성과 그들의 기대빈도가 분석되고, 이것은 다른 유발원인과의 혼동가능성에 따라 각 사고유발원인(initiator)의 순위를 정하기 위하여 사용된다. 일단 순위가 완성되면, 각 오진단에 대한 확률이 부여되고, 제어실 설계 및 작업자 훈련의 정도(quality)를 반영하여 수정한다. 이러한 방법으로 사고 순서의 두 단계의 각각에 대해 행렬이 구성된다. 예를들면, 하나는 사고시작후 처음 15분을 포함하는 초기단계에 대한 행렬이고, 두 번째는 다음 단계에 대한 행렬이다. 마지막으로, 각 초기 사건에 대해 빈도분석이 수행되고, 오진단에 대한 추정된 전체 확률이 계산된다.

2) 분류체계

confusion matrix에 대한 분류체계는 매우 단순한데, 작위-부작위(omission-commission) 분류체계 중 이방법은 주로 부작위에 대한 것이지만, 실제적으로는 오진단에 대해서만

고려된다. confusion matrix는 명확한 분류체계를 사용하지 않는다고 할 수 있다.

3) 모델

confusion matrix는 작업자 모델을 사용하지 않는다. 이 방법의 한 단계는 작업자가 사건을 오진단하거나 적절하게 반응하는데 실패할 확률을 추정하는 것이다. 그러나, 이러한 추정은 인지에 대한 영향, 즉 명확한 작업자 모델을 고려하지 않고 추정된다. 또한, 이 방법은 두 개의 초기 사건에 대한 혼동 가능성을 고려할 때, PSFs를 고려하여야 함에도 불구하고 PSFs의 영향을 고려하지 않고 있다.

confusion matrix는 인간의 오류행위에 대한 명쾌한 고려방법을 제공하고 않고 있다. 그럼에도 불구하고 이 방법은 전체적인 상황평가를 포함한다라는 측면에서 다른 정량적 방법과는 다르다. 또 다른 긍정적인 측면은 사건이 진행됨에 따라 발생하는 많은 상황적 변화를 고려하고, 따라서 다른 시점에서의 confusion matrix는 같지 않다는 것이다.

다. 조작자 행동 나무(Operator Action Tree: OAT)

조작자 행동 나무 체계는 1980년대 초에 John Wreathall에 의하여 개발되었다. OAT는 사고가 시작된 이후에 발생하는 사건의 전개과정에서의 인적오류 분석을 대상으로 하고 있다. 인간 신뢰도 분석에 있어서 주요한 고려사항 중의 하나는 진단(diagnosis)과 의사 결정시의 착오에 대한 것이다(예를 들어, 사고가 발행한 후의 원자력발전소 운전자의 의사결정).

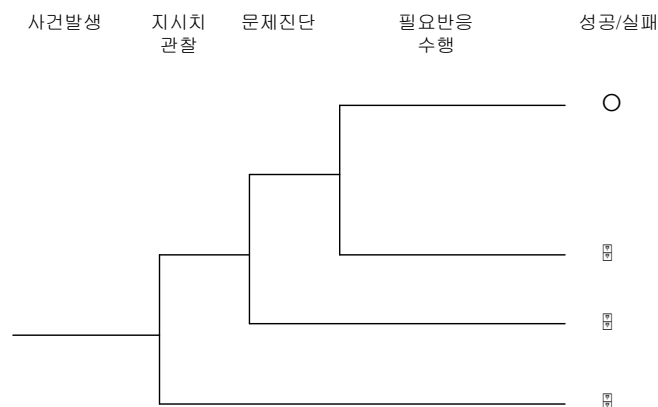
OAT는 의사결정시 여러 단계에서 조작자의 선택을 성공과 실패의 경로로 표현하고, 이로부터 일반적인 상황에 일치하는 조작자의 확률적 성능을 묘사한다. OAT는 주위의 사건에 대한 인간의 대응을 세가지 활동: ① 감지(perception), ② 진단(diagnosis), ③ 반응(response)으로 표현하고 있다. 그림 3.3은 OAT를 적용하여 인간신뢰도 분석을 수행하는 간단한 예제를 나타내고 있다.

OAT의 접근방법은 진단을 위해 可用한 시간이 조작자의 실패 확률을 압도한다고 가정한다. 즉, 주어진 시간이 짧으면 작업자가 상황을 정확히 진단하는데 실패하기가 쉽다는 것이다. 따라서, 가용한 시간과 실수확률과의 관계를 나타내는 시간-신뢰도 곡선 (Time-Reliability Curve: TRC)이라는 분석도구가 개발되었다.

1) 방법

OAT는 다음의 다섯 단계를 포함한다.

- 시스템 사상수로부터 적절한 발전소 안전 기능을 규명한다.
- 발전소 안전 기능을 달성하기 위하여 요구된 특정한 행위들을 규명한다.
- 적절한 경보 지시를 나타내는 표시(display)와 적절한 행위를 취하기 위하여 작업자가 이용할 수 있는 시간을 규명한다.
- 고장수나 사상수에서의 오류들을 나타낸다.
- 오류의 확률을 추정한다.



[그림 3-3] 기본적 조작자 행동 나무

2) 분류체계

이진(binary)의 조작자 행동 나무로 적당한 행위를 나타낸다. 분류체계는 성공과 실패로 구분되는데, 이것은 정량적 HRA 방법들에서 발견될 수 있는 기본적 분류이다.

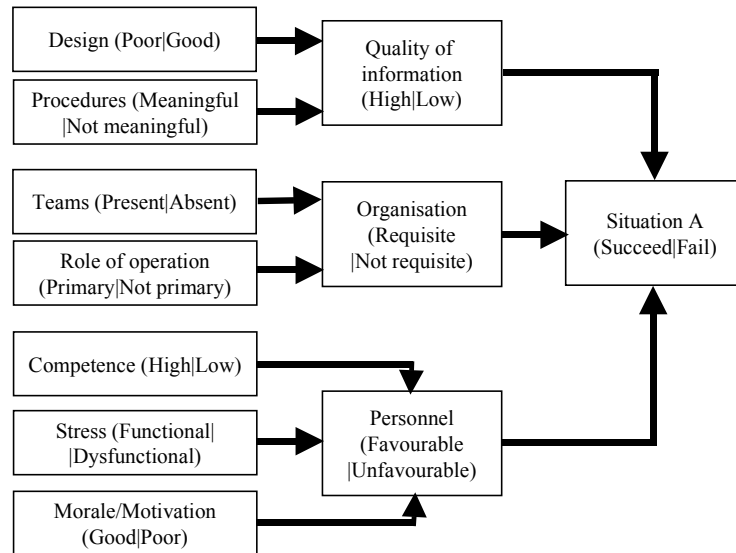
3) 모델

OAT는 표면적으로는 진단에 관련된 인지기능을 고려하는 방법이다. 따라서, OAT가 인지기능으로 진단을 설명할 수 있는 모델을 고려했다고 생각할 수 있다. 원칙적으로 OAT는 반응의 확률만이 고려된 고수준의 정보처리 모델을 사용하고 있다고 말할 수 있지만, 구체적인 작업자 모델을 포함하고 있다고는 할 수 없다. 그리고, 다른 방법들과 마찬가지로, PSFs의 영향이 명확히 고려되지 않고 있다.

OAT는 사건을 진단하는데 있어서의 실패 확률을 고려한다. 따라서, OAT는 인간의 오류행위에 대해 적당하게 고려하고 있다고 말할 수 없다. 그럼에도 불구하고, 세단계의 반응: 관찰, 진단, 그리고 반응 사이의 명확한 구별을 유지한다는 측면에서 대부분의 정량적 HRA 방법들과는 다르다.

라. 사회-기술적 인간신뢰도 평가 (Socio-Technical Assessment of Human Reliability; STAHR)

STAHR는 다른 정량적 HRA 방법들과는 여러 가지 측면에서 다르다. 이 방법은 복잡한 기술적 시스템에서 인간신뢰도를 평가하기 위한 심리적 척도 방법이고, 기술적 및 사회적 구성요소로 구성된다. 기술적 구성요소는 요인들을 상황의 결과에 연결하는 원인 및 효과의 네트워크를 나타내는 영향도이다 (그림 2.4참조). 사회적 구성요소는 영향도에서 나타내어진 여러 가지 요인들의 가중치와 조건부 확률에 대한 전문가 판단을 나타낸다.



[그림 3-4] STAHR 영향도

1) 방법

다른 정량적 HRA방법들과 비교하여 STAHR 방법은 꽤 복잡하다. 주요한 단계를 요약하면 다음과 같다.

- 모든 적절한 조건부 사건들을 나타낸다.
- 목표 사건을 정의한다.
- 중간 수준의 사건들을 선택하고 그것에 기여하는 하위수준의 영향요인 각각에 대한 명확한 가중치를 평가한다. (위의 그림 2.4에서 하위수준은 가장 왼쪽의 열이고, 중간수준은 중간열이다.)
- 하위수준의 영향요인에 관한 중간수준의 조건부 가중치를 평가한다.
- 남은 중간 및 하위수준 영향요인에 대해 위의 과정을 반복한다.

- 중간수준 영향요인에 관한 목표 사건의 조건부확률을 평가한다.
- 목표 사건의 비조건 확률과 중간수준의 영향요인에 대한 명확한 비조건 가중치를 계산한다.
- 계산결과들을 평가자의 주관적 판단과 비교한다: 평가자의 주관적 판단과 모델 결과 사이의 차이를 줄이기 위하여 필요하다면 평가를 수정한다.
- 평가자가 그들의 판단을 끝낼 때까지 필요하다면 위의 단계를 반복한다.
- 민감도분석을 수행한다. 어떠한 결과에 대해 그룹간의 불일치가 존재한다면, 점 추정치(point estimate)를 기록한다. 불일치가 중요하다면, 구간 추정치(range estimate)를 기록한다.

2) 분류체계

STAHr는 PSA 사상수에 크게 의존하지 않기 때문에, 인간의 오류행위에 대한 고려는 다른 정량적 HRA방법들 보다 미약하다고 할 수 있다. STAHr는 기본적으로 확률 추정치를 획득하고 결합하기 위한 방법을 제공한다. 따라서, 명확한 분류체계에 대한 필요성은 적다고 할 수 있다.

3) 모델

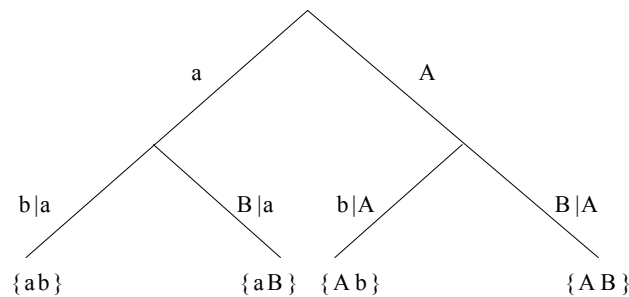
STAHr는 명확한 작업자 모델을 사용하지 않고, 인간의 오류행위에 대한 명확한 모델도 사용하지 않는다. 영향도는 결과에 영향을 줄 수 있는 여러 요인들 사이의 관계를 나타내는 모델이다. 그러나, 그러한 부분에 대한 근거는 명확히 정의되어 있지 않다. PSFs는 영향도의 가장 왼쪽 열이 주요한 수행도 결정요인을 나타낸다는 의미에서 명확하게 다루어지고 있다고 할 수 있다.

전문가 추정 방법으로서, STAHr는 인간의 오류 행위에 대한 명확한 처리방법을 제공하지는 않는다. 이 방법이 분해원칙에 근거하지 않기 때문에, 분리된 척도로서 PSFs를 고려할 필요는 없다.

마. THERP

정량적 HRA 방법중에서 가장 광범위하게 사용되고, 가장 많이 알려진 기법이 THERP이다. Swain(1989)에 의하여 1961년도부터 THERP의 개발이 시작되었고, 1970 년대에 주요한 작업이 수행되었다. 그후, 1983년도에 Swain & Guttman(1983)에 의하여 THERP 핸드북이라 불리는 결과물을 발간하였다. .

THERP의 목적은 작업의 수행을 위하여 필요한 행위들의 성공확률을 계산하는 것이다. 확률의 계산은 미리 정의된 오류율 (소위, 인적오류확률)에 근거한다. THERP에서는 분석될 작업의 수행특성에 대한 명세(description)를 제공하기 위하여 직무분석 과정이 포함된다. 직무분석의 결과는 요구된 순서의 행위에 대한 HRA 사상수로 표현 된다. 즉, THERP는 분석하고자 하는 작업을 기본적 행위로 분할하여 각 행위의 성공 또는 실패확률을 곱함으로써 분석작업의 성공확률을 추정하는 방법이다. 그림 2.5 는 두 행위 A와 B를 포함하는 간단한 작업에서 그 작업의 인간신뢰도를 예측하기 위하여 THERP를 적용한 예제이다.



[그림 3-5] THERP를 이용한 오류분석의 예 (소문자:작업성공, 대문자:작업실패)

일단 그림 3.5와 같은 사건 나무(event tree)가 작성되고, 각 행위의 성공 혹은 실패 확률의 추정치가 각 가지에 부여되면, 나무를 통한 각 경로의 확률을 계산할 수 있다. 각 행위의 실패확률은 Swain & Guttman의 THERP 핸드북(NUREG/CR-1278)의 인적오류 자료 은행을 사용하여 부여한다. HRA 사상수의 분석으로부터 명목 확률 추정치들은 PSFs의 영향을 고려하여 수정된다.

1) 방법

그림 3.6은 인간신뢰도 분석을 위해 THERP를 적용할 때의 일반적인 순서를 나타낸다. 우선, 발전소상황을 이해할 필요가 있고, 그후에 정성적 평가, 정량적 평가, 구체화의 과정을 거친다. 파악(familiarization)은 정량화할 직무를 이해하고, 그 절차를 검토하고, 발전소와 발전소를 운영하는 사람들에 대한 정보를 모으는 것이다. 정성적 평가는 직무분석을 수행하는 것을 말한다.

즉, 평가되어야 할 직무를 결정하고, 직무의 단계와 중첩성, 그리고 각 단계에 영향을 미치는 수행도형성인자(PSF: Performance Shaping Factors)를 결정한다. 그 후에 HRA 사건나무를 통하여 정량적 평가를 행한다. 최종적으로, 민감도분석이나 통계분석 등을 통하여 결과를 통합시킨다.

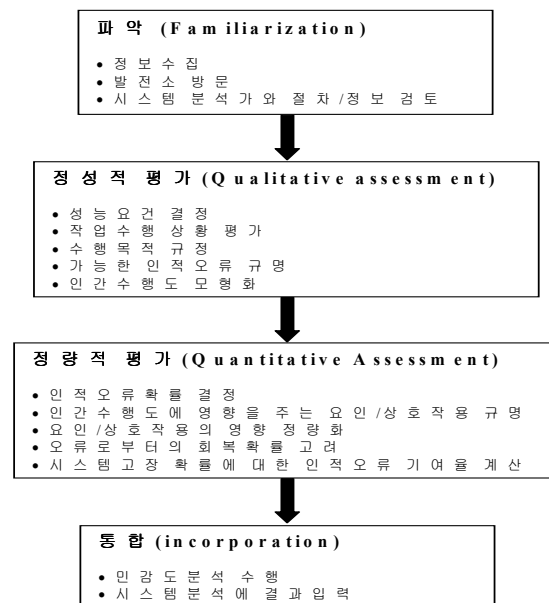
2) 분류체계

오류행위의 분류는 기본적으로 작위와 부작위로 구분되는데, 후에 부적절하게 수행된 행위가 포함되었다. 그러나, 분류체계의 주요한 원칙은 이진(binary) 선택이라고 할 수 있다.

3) 모델

THERP 초기 버전에서의 작업자 모델은 잘 알려진 Stimulus-Organism-Response 모델의 변형이었다. 이것은 후에 지각과 행위 사이에서 발생하는 것으로 가정되는 인지 기능의 구체적인 내용으로 확장되었다. 그러나 THERP에서는 명확한 작업자 모델을 고려하지 못하였다. PSFs의 영향은 명목 HEP를 수정하기 위하여 고려된다. 이것은

정량적 방법이고 PSFs가 어떠한 영향을 주는지를 설명하기 위한 목적은 아니다.
THERP는 사건들이 어떻게 모형화되어야 하고 어떻게 정량화되어야 하는가를 표현한
다는 점에서 완전한 HRA방법들 중의 하나로 생각할 수 있다. 그러나, 분류체계와 모
델이 제한되어 있다는 문제를 안고 있다. 따라서, 복잡한 오류 모드를 고려하는데 있
어서 문제가 있고 SRK-구조에 대한 고려가 어렵다는 문제를 가지고 있다.



[그림3-6] HRA를 위한 THERP 기법의 적용순서

바. 전문가 평가

이 방법은 인적오류 확률을 추정하기 위하여 전문가의 판단을 사용한다. 전문가 평가를 위한 여러 가지 방법이 있는데, 쌍대비교 절차(paired comparisons procedure), 순위/등급 부여 절차(ranking/rating procedure), 직접 수치추정법(direct numerical estimation), 간접 수치추정법(indirect numerical estimation), 다중속성 평가절차(multi-attribute utility procedure) 등이 있다.

전문가들은 그들 자신의 배경 및 경험에 의하여 오류확률을 추정한다. 따라서, 현장 데이터 수집은 요구되지 않는다. 전문가가 일반적인 직무 명세를 개발하는 것이 이 방법에서의 본질적 부분이다. 전문가 평가를 통하여 추정된 인적오류확률의 타당성은 비슷한 작업을 수행하고 평가하는데 있어서의 전문가적 경험뿐만 아니라 일반적인 참고지식 등에 의해서도 좌우된다.

1) 방법

Seaver & Stillwell은 전문가의 판단을 고려한 두가지 심리학적 척도(psychological-scaling) 기법을 제시하였고, 원전운전작업에서의 인적오류확률을 추정하는 데 이 기법을 적용하기 위한 일련의 절차를 개발하였다. 그 중 한 방법이 쌍대비교(paired comparisons)를 이용하는 방법으로, 이는 두 작업 중 어느 작업의 인적오류 발생가능성이 더 높은가에 대한 상대적인 비교에 의해 인적오류 확률을 추정하는 방법이다. 적용순서는 다음과 같다.

- ① 전문가에게 제시할 작업의 쌍을 정한다. 이 때 작업의 쌍은 전문가의 수와 가용한 시간에 의해 정해진다.
- ② 두 작업중 어떤 작업이 더 일어나기 쉬운가에 대한 전문가의 판단을 듣는다. 그리고, 그 전문가의 수를 기록한다. 이 기록으로부터, 각 작업간의 빈도표를 작성한다.
- ③ 이 표로부터 두 작업 사이의 비율표와 정규편차(normal deviate)와 스케일값(scale value)를 구한다.

④ 두 개의 독립적인 작업에 대한 HEP를 정하고, 이로부터 모든 작업의 HEP를 스케일값으로부터 구한다.

2) 분류체계

전문가 추정법은 명확한 분류체계를 사용하지 않는다. 대신, 특정한 행위에 대한 인적 오류확률을 직접적으로 추정한다.

3) 모델

confusion matrix의 경우에서 처럼, 전문가 추정은 어떤 종류의 작업자 모델도 사용하지 않는다. 또한, HEPs가 직접적으로 계산되므로, PSFs의 영향은 전문가의 판단에 포함된다고 가정된다.

전문가 추정은 인간의 오류행위에 대해 명확히 고려하지 않는다. 그것은 전문가의 직관적 이해에 의존한다.

사. Success Likelihood Index Method/Multi-Attribute Utility Decomposition (SLIM/MAUD)

SLIM/MAUD은 최근에 가장 광범위하게 사용되는 정량적 분석기법중의 하나로 수행도형성인자(Performance Shaping Factor: PSF)들과 결합하여 작업의 성공가능성을 추정하는 방법이다. SLIM/MAUD의 기본적인 가정은 주어진 상황에서의 인적오류확률은 몇개의 PSF들의 결합에 의해 영향받을 수 있다는 것이다.

1) 방법

다음은 SLIM/MAUD기법의 개략적인 절차이다.

- ① 분석하고자하는 작업에서 PSF들의 영향에관한 상대적 중요성(weight)을 평가한다.
- ② 분석작업의 작업환경에서 PSF들의 상태나 수준을 ①과는 독립적으로 평가한다 (PSF가 얼마나 좋은지, 나쁜지에 관한 수치적 등급(rating) 평가).
- ③ 각 PSF에 대한 중요성(weight)과 등급(rating)을 곱한다.

④ 분석작업의 SLI(Success Likelihood Index)를 구하기 위하여 ③에서 구한 결과를 모두 더한다.

⑤ SLI는 다음의 식을 통하여 인적오류확률(HEP)로 변환한다.

$$\log(1 - HEP) = a + b \cdot SLI$$

2) 분류체계

confusion matrix와 STAHRC처럼, SLIM/MAUD는 완전한 HRA 방법이라기 보다는 전문가의 주관적 판단에 근거하는 방법이라는 점을 Swain(1989)은 지적하였다. SLIM/MAUD에서는 오류 모드의 특성이 고려되기는 하지만, 오류 모드의 분류가 전문가에 의하여 만들어지기 때문에 명확하게 설명된다고 할 수 없다.

3) 모델

SLIM/MAUD는 명확한 작업자 모델을 사용하고 있지 않고, 인간의 오류 행위에 대해서도 명확한 모델을 사용하지 않고 있다. 전문가 판단이나 confusion matrix 방법들과 유사하게, 전문가에 의하여 사용된 함축적인 모델에 의존한다. SLIM/MAUD는 PSFs의 영향을 명확하게 고려하지만, 단지 정량적 목적을 위해서이다. 명확한 작업자 모델이 없기 때문에, PSFs가 어떠한 영향을 주는지에 대한 명확한 설명이 포함되지 않고 있다.

전문가 판단 방법처럼, SLIM/MAUD는 인간의 오류 행위에 대한 명확하고 체계적인 처리방법을 제공하지 못한다. 특히, PSFs가 최종적인 확률에 어떻게 영향을 주는지 명확한 설명을 제공하지 못하고 있다.

아. 인간인지신뢰도(Human Cognitive Reliability; HCR)

원자력 발전소의 비상상황중에 작업자가 행해야 하는 행위는 그 상황하에서 작업자에게 허용된 시간에 종속되어 있다. 즉, 이러한 상황하에서 작업자의 신뢰도는 허용

시간 안에 필요한 행위를 성공적으로 수행하는 것인데, 행위를 성공적으로 수행할 확률은 시간종속적(time-dependent)이라고 가정된다. 일찍이 원자력발전소의 비상상황에서 허용된 시간내에 작업자의 반응확률을 정량화하고자 하는 노력이 있어왔고, 그 결과 TRC(Time-Reliability Correlation), HCR (Human Cognitive Reliability) 등의 모형이 개발되었다.

보통 비상상황하에서 작업자가 행해야 하는 작업은 복수개의 행위를 연속적으로 수행해야 한다. 즉, 일련의 각 행위의 필요성을 인식하고, 허용시간내에 각 행위들을 모두 성공적으로 수행해야 한다. Hannaman, et al. 은 비상상황하에서 작업자가 사고상황을 감지하여 적절한 대응조치를 취할 확률을 정량화하는 HCR 모형을 개발하였다.

HCR 모형은 사고발생시 주제어실 작업자가 허용시간 내에 사고를 감지, 정확한 현상파악과 적절한 대응조치를 취할 확률을 구하기 위하여 개발된 방법이다. 사고전개상황에서 작업자가 현상을 파악하고 적절한 조치를 성공적으로 수행할 확률은 상황판단에 관련된 인식과정의 종류(기능-기반, 규칙-기반, 지식-기반), 주어진 작업허용시간, 작업소요시간, 작업자의 경험, 스트레스, 주제어실의 환경 등 여러 가지 요인에 의하여 좌우된다.

1) 방법

작업자가 허용시간 내에 적절한 대응조치를 취하지 못할 확률은 다음과 같은 모형에 의해 표현된다.

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{(t/T_m) - a_i}{c_i} \right)^{b_i} \right]$$

여기서, t : 사고발생후 대응조치를 수행해야 하는 허용시간

T_m : 작업자가 상황판단과 작업수행에 걸리는

실제 작업시간 (median response time)

<표 3-1> HCR 모형에 사용되는 와이블 분포의 모수값

인식과정의 종류	a_i	b_i	c_i
기능기반	1.2	0.7	0.407
규칙기반	0.9	0.6	0.601
지식기반	0.8	0.5	0.791

a_i, b_i, c_i : i 번째 인식단계와 관련된 모수

$P(t)$: 사고발생후 허용시간 t 내에 대응조치를 성공적으로
수행하지 못할 확률

중앙반응시간(median response time)은 행위나 작업을 완수하기 위해 작업자에 의해 취해진 추정된 중앙시간(median time)을 나타내고 이는 보통 모의실험, 직무분석, 또는 전문가 판단을 통해 추정된다. 그리고 작업자의 경험, 스트레스, 주제어실의 환경 등 여러 가지 수행도 형성인자들의 영향은 중앙시간(median time)의 수정을 통하여 고려된다. 일반적으로, HCR모형에 사용되는 분포의 모수값은 <표3-1>과 같다.

2) 분류체계

HCR은 OAT와 공동적인 분류: 성공과 실패 (또는 적절한 반응과 부적절한 반응)체계를 사용한다. 이후에 세 번째 종류인 무반응(no response)을 추가하여 기존의 분류를 확장하였다. 무반응은 ‘늦은 인지(slow cognition), 즉 작업자가 허용된 시간보다 더 많은 시간을 사용할 때의 결과로 고려될 수 있다. HCR이 1984년 정도에 개발되었기 때문에, 그 후에 소개된 분류체계는 고려되지 못하였다.

3) 모델

이 방법은 특정한 작업자 모델, 즉 기능기반(skill-based), 규칙기반(rule-based), 지식기반(knowledge-based) 구조를 고려하여 개발되었는데, 두가지의 형태로 사용된다. 첫 번째는 행위에 의하여 요구된 ‘인지 과정’을 분류하기 위해서이고, 두 번째는 각 형태의 ‘인지과정’에 대해 반응을 못할 확률을 제공하기 위한 세가지의 시간-신뢰도 곡선

들을 구분하기 위해서이다. HCR 방법에서는 PSFs의 영향에 의하여 중앙반응 시간을 수정한다. 그러나, 이것은 순전히 정량적 목적을 위해서만 고려되고 가능한 정보처리 구조를 위하여 고려되지는 않는다.

HCR은 가장 명확하게 인지 모델을 고려한 정량적 HRA 방법이다. 이 방법은 SRK 구조를 고려하여 개발되었지만, SRK 구조에 근거한 상세한 오류 모델이 개발되기 전에 개발된 방법이기 때문에, 인간의 오류행위에 대한 고려는 다른 정량적 방법들과 같은 수준이다. HCR에서 PSFs는 정보처리의 형태가 결정된 다음에 적용되고, 정보처리의 형태는 환경과 관계없는 작업특성에 따라 결정되기 때문에, PSFs가 작업 수행도에 어떠한 영향을 주는지에 대한 명확한 설명을 포함하고 있지 않다.

차. Maintenance Personnel Performance Simulation(MAPPS)

MAPPS 컴퓨터 모델은 원자력발전소에서 보수작업을 분석하기 위한 도구로 개발되었다. 모델의 주요 관심은 PRA 목적을 위하여 보수에 관련된 인간의 성능 신뢰도 데이터를 제공하는 것이다. MAPPS의 결과에서는 예측된 오류, 작업자 요건, 작업자 스트레스와 피로, 수행시간, 그리고 사후나 예방 정비행위에 대한 요구 능력수준을 제공한다. Gertman & Blackman(1994)은 시뮬레이션의 주요 부분에 대한 평가의 어려움과 분배의 어려움 때문에 이 방법이 광범위하게 사용되지 못하였다고 지적하였다.

1) 방법

다른 HRA방법들과 달리 MAPPS는 “사상수”에 대한 시뮬레이션이다. 사용자의 관점에서, 이 방법은 실제적 계산단계를 나타내는 것보다는 주로 시뮬레이션에 대한 입력 정보를 제공하는 것으로 구성된다. 입력자료는 미리 정의된 일반적 부직무(sub-task)로부터 선택된 부직무의 정의와 부직무 변수의 사양(specification)을 포함한다.

2) 분류체계

MAPPS에서는 명확한 분류체계를 포함하고 있지 않다. MAPPS는 직무가 성공적으로 수행될 수 있는지를 모의 실험하는 것이기 때문에, 성공과 실패의 구분이 모형화에 포

함된다고 함축적으로 가정할 수 있다.

3) 모델

MAPPS에서는 한명의 작업자보다는 주로 2-8명의 작업자 수행도를 모의 실험하는 경우에 사용된다. 따라서, MAPPS에 포함된 모형화는 개인적 오류행위보다는 작업그룹의 수행도에 관련되어야 한다. 기본적으로, 이 방법에서는 일반적 의미의 작업자 모델이 포함되지 않았다.

MAPPS는 일반적 의미의 분류체계나 모델을 포함하고 있지 않다. 사용자의 주요한 노력은 시뮬레이션을 위해 요구된 입력자료를 생성하는 것이기 때문에, MAPPS에서 인간의 오류행위는 고려되지 않았다.

3. 정성적 휴먼에러 분석

정량적 분석기법들 중 몇 가지는 이론적 배경 하에서 개발되었다 하더라도, 대부분은 실제적 필요성에 의하여 개발되었다. 이러한 문제는 방법들 사이의 연관성 결여와 분류체계의 비논리성을 가져온다. 성공과 실패가 모든 방법들의 근본적 분류체계인데, 그 이유는 PSA 사상수(event tree)에서 사용된 이진 표현의 개념과 무관하지 않다. 따라서, 정성적 HRA 방법에서는 두가지 기본적 요건이 보장되었는데, 개선된 PSA 사상수를 사용한다는 것과 확장된 오류모드의 형태를 포함한다는 것이다.

정성적 HRA 방법에서는 인적오류의 발생확률을 추정하는 것을 주목적으로 하는 정량적 HRA 방법과는 달리, 발생 가능한 인적오류를 찾고, 분류하고, 인적오류의 발생구조를 밝히고, 인적오류의 발생원인을 찾음으로써 최종적으로 인적오류의 저감을 위한 대응방안을 수립할 수 있는 결과를 제공해준다. 정성적 HRA 방법들은 작업수행과정의 어느 단계에서 인적오류가 발생했으며, 발생과정이 어떠했는지를 분석하는 일반적인 분석방법과 작업자의 인지과정을 고려한 분석방법으로 나눌 수 있다.

PHECA(Potential Human Error Cause Analysis), Human HAZOP(Hazard and

Operability) 등의 분석방법이 전자에 해당되고, GEMS(Generic Error Modeling System), Rasmussen의 연쇄적오류모형, CREAM 등이 후자의 분석방법에 해당된다. 여기에서는 가장 일반적으로 사용되는 몇가지의 정성적 HRA 방법에 대해 알아본다.

가. CREAM

CREAM은 기존 방법들의 상세한 분석을 통하여 개발된 방법으로, 방법, 분류체계, 인지 모델을 명확하게 포함하고 있다. CREAM은 기본적인 인지모델로부터 개발된 것은 아니고, 인적 행위에서의 가능한 원인과 영향을 설명하는 몇가지의 부류를 구성하기 위하여 전통적인 방법을 사용하였다. CREAM의 주요한 목적은 수행도 분석과 예측에 대한 실제적 접근방법을 제공하는 것이다.

1) CREAM의 원칙

CREAM의 주요한 원칙은 이 방법이 완전히 양방향성(bi-directional)이라는 것이다. 또한, 순차적 분석과정보다는 반복적인 분석과정을 따르기 때문에, 분석이나 예측이 끝나야 되는 시점을 결정하는 명확한 중단규칙(stop-rule)을 포함하고 있다. 중단규칙은 이 방법의 사용에 대한 일관성을 보장하고, 적용분야와 사용자에 관계없이 균일하게 사용될 수 있도록 한다. 즉, 방법 자체가 반복적 특성을 갖기 때문에, 이러한 중단 규칙은 반드시 필요하다.

2) 인지모델

모델은 분류체계의 구성요소들 사이의 관계, 특히 오류행위가 발생하는 방법을 정의하여야 한다. 또한 인간 오류행위를 설명하기 위하여 사용될 수 있는 인지기능을 설명할 수 있어야 한다.

(가) 단순한 인지 모델 (Simple Model of Cognition; SMoC)

CREAM분류체계의 초기 버전은 SMoC라 불리는 단순화된 인지 모델을 사용하였다.

SMoC의 목적은 인간의 기본적 인지특성을 설명하는 것이었고, 이 모델에서의 인지기능은 인간 인지의 특성에 관한 일반적 내용들을 반영하고 있다. 이러한 기본적 인지기능은 ATHEANA와 같은 다른 HRA방법에서도 발견되었다.

SMoC의 두가지 기본적 특성은 (1) 관찰과 추론사이의 차이와 (2) 인간 인지의 순환적 특성이었다. 첫 번째 특성은 관찰될 수 있는 것과 관찰로부터 추론될 수 있는 것을 명확하게 구별하였다는 것이다. 두 번째 특성은 인지기능이 예견된 미래의 사건뿐만 아니라 과거 사건들의 배경에 의해서도 표현된다.

(나) 능력과 조정(Competence and Control)

인지는 입력을 처리하고 반응을 생성하는 이슈뿐만 아니라, 연속적인 수정과 목표 및 의도의 평가, 즉 해석과 계획수립 수준에서의 "반복(loop)"도 포함한다. 인지는 단계의 순서로 설명되는 것이라기 보다는 이용 가능한 능력(기술, 절차, 지식)과 자원(resources)의 조절된 사용으로 설명되어야 한다. CREAM에서 작업자 모델의 목적이 분류체계와 연관된 방법을 보완하기 위한 것이기 때문에, 중요한 문제는 어떻게 분석을 수행하느냐 하는 것이다.

(다) 네 개의 조정 모드

조정 수준은 경험된 배경, 행위들 사이의 종속성에 대한 경험과 지식, 상황이 어떻게 전개될 것인가에 대한 기대 등에 의하여 영향받는다.

3) 분류체계의 기본 원칙

분류체계는 가능한 대부분의 원인들 뿐만 아니라 가능한 오류행위에 대해서도 표시할 수 있어야 한다. 작위-부작위-과도한 행위와 같은 분류는 가능한 모든 오류행위를 포함할 수는 있지만, 상세성이 떨어지고 분석자가 일관성있게 어떠한 행위를 이 분류체계내에 포함시키는 것이 힘들다. 반면, 분류체계가 너무 상세하고 종류의 수가 너무 많다면 행위를 분류하는 것이 지루하고 어려울 수 있다.

최상위 수준에서 분류체계는 결과(표현형이나 표시)와 원인(인자형)으로 분류된다.

결과는 주어진 시스템에서 관측될 수 있는 것이다. 분류체계가 가능한 결과들을 나타낼 수 있어야 한다는 것은 분명히 중요하다.

원인은 어떠한 것이 결과를 초래할 수 있는지를 설명하기 위하여 사용될 수 있는 종류이다. 인간 행위와 관련하여, 원인은 겉으로 드러나거나 외적인 것보다는 내적이고, 추리나 추론과정을 통하여 결정되어야 한다. 분류체계는 가능한 원인과 결과사이의 연관성을 정의하기 위하여 사용되고, 따라서 분류체계의 구성이 잘 되어야 하는 것이 매우 중요하다.

4) 분류 집단

일관성 있는 계층적 분류를 생성하기 위하여 필요한 인간 행위의 원인에 대한 지식이 충분하지 못하고, 계층적 분류체계는 절차적 분석을 강요한다는 점 때문에 CREAM에서는 계층적 분류체계를 사용하지 않았다.

(가) 오류모드 (기본적 표현형)

오류모드는 부적절하거나 오류적인 행위가 어떻게 나타날 수 있는 가를 설명하는 분류(category)이다. 오류모드라는 말은 공학적 시스템에서의 고장 모드(failure mode)와 유사한 개념을 갖는 용어이다. 가능한 오류모드가 그림 3.7에 표시되었다. 그림 7에서는 오류 모드에 대한 8개의 다른 분류그룹으로 표시하였지만, 다음과 같은 4개의 분류 그룹으로 나누는 것이 더 현실적이다.

- Action at the wrong time

이 집단은 타이밍과 기간에 관한 오류모드들을 포함한다.

- Action of wrong type

이 집단은 힘, 거리, 속도, 그리고 방향에 대한 물리적 특성을 포함한다. 힘은 행위를 수행하기 위하여 필요한 근력이나 노력을 나타낸다. 너무 많은 힘은 장비의 오기능이나 고장을 유발할 수 있고, 불충분한 힘은 행위에 대한 원하는 결과를 얻지 못한다.

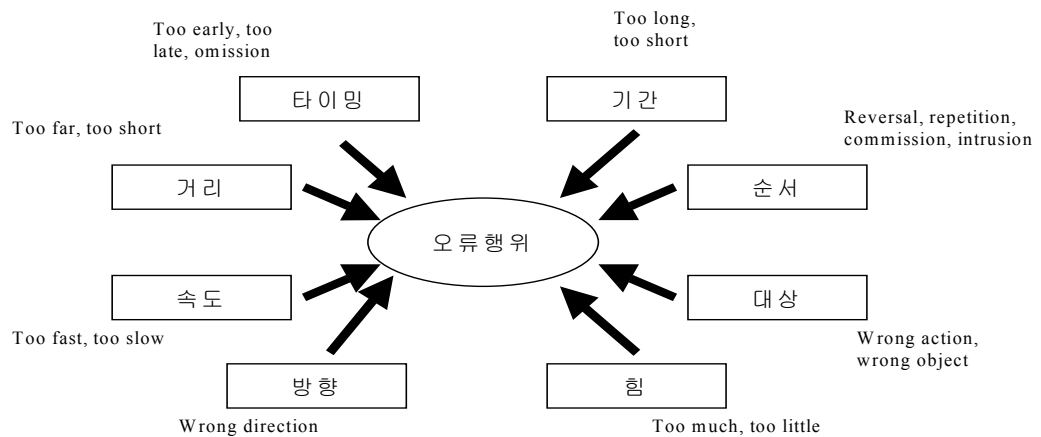
거리는 행위 공간에서의 크기를 나타낸다. 속도는 행위를 얼마나 빨리 수행하였는지를 나타내고, 방향은 레버를 움직인다든지 노브(knob)를 돌리는 것과 같이 행위수행을 위한 방향을 나타낸다.

- Action at wrong object

이 집단은 대상에 관한 오류모드를 포함한다. 원칙적으로는 잘못된 방향과 잘못된 거리나 크기를 나타낸다. 하지만, 개념적으로 잘못된 대상에 의하여 더 단순하게 표현된다는 것을 의미한다. 'Action at wrong object'는 잘못된 버튼을 누르는 것이나 잘못된 표시장치를 보는 것 등과 같이 가장 갖은 오류모드 중의 하나이다.

- Action in wrong place

이 집단은 단지 순서에 관한 오류모드를 포함한다. 따라서 'wrong place'는 물리적 위치보다는 행위의 상대적 순서를 나타낸다. 순서적으로 잘못된 시기에 행위를 수행하는 것은 일반적으로 발생하는 오류 행위이다.



[그림 3-7] 오류 모드의 차원(dimensions)

(2) 인간 관련 인자형(person related genotypes)

오류 행위의 분석을 위하여, 관찰된 행위를 설명하기 위한 인지기능을 규명하는 것이 필요하다. 사고(thinking)와 의사결정에서의 기본적 과정인 인지기능은 많은 다른 방법으로 분류될 수 있는데, 가장 단순한 것 중의 하나가 분석과 통합사이의 차별화이다. 분석은 관찰, 식별, 인식, 진단 등을 포함하여 상황을 파악하려 할 때 발생하는 기능이다. 통합은 무엇을 해야 할 것인지, 어떻게 해야 할 것인지를 결정할 때 발생하는 기능이다. 이것은 선택, 계획수립, 일정계획 등을 포함한다. 현재의 분류체계에서 분석의 범주는 관찰(observation)과 해석(interpretation)을 포함하는데, 이것은 데이터와 정보를 받아들일 때 필수적인 과정이다. 통합의 분류는 계획수립(planning)과 실행(execution)이다.

가) 관찰

이 분류집단은 관찰의 실패에 대한 결과(consequent)를 나타낸다. 이들 결과들은 오류 모드와 같은 방법으로 관찰될 수 있는 것보다는 오히려 오류 모드의 설명을 위하여 필요한 것이라는 의미에서 다른 분류집단의 선행조건(antecedent)이다.

나) 해석

해석은 이해, 진단, 그리고 평가에 대한 일반적 용어로 사용된다. 따라서, 관찰된 정보의 세분화와 관련된 인지과정의 집단을 나타낸다. CREAM에서 해석은 예측뿐만 아니라 의사결정을 포함하는 것으로 가정된다.

다) 계획수립

이 집단은 상세한 행위과정, 즉 선택과 일정계획을 나타내는 모든 기능을 포함한다.

라) 일반적 인간관련 기능

특정한 인지기능뿐만 아니라, 인간 관련 인자형은 일시적 일반기능과 영구적 일반기능이라 불리우는 두 집단을 포함한다. 인간관련 기능은 연관된 인지모델에 의하여 명확하게 설명된다는 의미에서 특정한 인지기능과 직접적으로 연결되는 것이 아니라, 그들

의 수행도에 영향을 주는 인간의 특성과 관련된다. 그러나 어떤 부류가 일반적 인간관련 기능에 속하는지 또는 특정한 인지기능에 속하는지는 해석의 문제일 수 있다. CREAM의 경우에, 분류체계에 대한 변화가 어떻게 이루어지는지에 대한 명확한 원칙이 있기 때문에 심각한 문제는 아니다. 이 분류집단에는 인간의 심리적 구성요소나 인체측정학적 특성을 나타내는 부류는 포함하지 않는다. 하지만, 이러한 부류는 쉽게 추가될 수 있다.

일시적 인간관련 기능과 영구적 인간관련 기능사이의 명확한 구별을 하는 것이 필요한데, 일시적 인간관련 기능은 제한된 기간을 갖는 사건이나 작업에서의 특정한 변화가 있을 수 있는 것을 말한다. 반면, 영구적 인간관련 기능은 모든 상황에서 일정한 영향을 주는 기능을 말한다.

(3) 기술관련 인자형

기술에 관련된 인자형은 시스템의 기술적 부분에 직접적으로 관련되는 모든 것을 포함한다. 이것은 발생할 수 있는 여러 가지 종류의 기술적 오기능(malfunction), 작업지원 시스템의 부적합성, 인터페이스의 일반적 이슈 등을 포함한다.

기술적 시스템의 뚜렷한 특성은 하드웨어나 소프트웨어에 관한 문제에 의하여 실패할 수 있다는 것이다. 구성요소나 하부 시스템의 고장은 어떤 사건의 유발원인 중의 하나가 될 수 있지만 인간의 오류행위에 대한 기여원인이 되는 경우는 드물다. 반면, 인터페이스의 고장은 직접적으로 인간의 성능에 영향을 주고 오류 모드의 직접원인이 될 수 있다. 특별히 중요한 부류는 소프트웨어 시스템의 고장인데, 그것은 오늘날 장비의 일부로 고려된다.

가) 절차

산업환경에서 대부분의 인간성능은 절차(procedure), 즉 특정한 목표를 달성하기 위하여 수행할 행위들을 단계적으로 상세히 설명한 설명서에 의하여 좌우된다. 절차상의

결함이나 절차와 작업환경사이의 차이는 인간의 오류행위에 대한 주요 원인이 될 수 있다는 것이 입증되어 왔다.

나) 인간-기계 인터페이스

적당하게 작동하는 인간-기계 인터페이스(또는 인간-컴퓨터 인터페이스)는 인간이 적당하게 그들의 작업을 수행하는데 있어 중요한 선행조건이다. 이 분야는 최근에 상당한 관심을 받아온 분야인데, 그 이유는 오류 행위의 직접원인이 부적당한 정보 표시와 같은 인터페이스에 관련되는 경우가 많기 때문이다. 인간-기계 인터페이스의 고장은 일시적이거나 영구적일 수 있는데, 그것은 분석될 상황의 기간에 관련된다.

(4) 조직 관련 인자형

분류체계의 세 번째 주요한 부류는 작업자나 기술적 시스템보다는 오히려 환경에 기인할 수 있는 모든 인자형을 포함한다. 주로 기술적 시스템보다는 사회-기술적 시스템(socio-technical system)에 더 많이 속한다. 여러 가지 용어가 사용될 수 있지만 조직 관련 인자형(organisation related genotypes)이라는 용어를 사용한다. 이 부류는 경영이나 조직의 관리적 측면보다는 더 넓은 개념이다.

가) 의사소통

첫 번째 집단은 의사소통(communication), 즉 작업자들 간의, 또는 작업자들과 제어실 밖의 정보원간의 정보교환에 관련된 요인들을 포함한다. 인터페이스로부터 수집하는 정보는 의사소통으로 고려되지 않는다. 의사소통에 대한 고전적 예는 항공 관제탑과 조종사, 주제어실과 기술지원 센터, 그리고 일반적인 관리실과 조종실 사이에서 발견된다.

나) 조직

조직에 관련된 요인들은 경영이나 관리 구조, 품질 보증 절차, 그리고 기본적인 사회적 관계 등을 포함한다. 조직요인의 그룹은 쉽게 커질 수 있다. 그러나 조직요인의 그

류는 분류체계의 목적이 인자형에 가까운 가능한 원인들, 즉 작업자의 수행도에 직접적인 영향을 주는 원인들을 규명하는 것이다. 이것은 조직요인의 수에 대한 한계를 제공한다.

다) 훈련

훈련은 작업자가 올바르게 정보를 이해하고 공정을 제어하기 위한 본질적인 요소이다. 조직은 작업자가 그들이 수행할 작업에 대해 충분히 훈련받도록 할 책임이 있다. 충분한 기술이나 지식의 결여는 대개 오류행위에 대한 원인이 된다.

라) 환경조건과 작업조건(ambient condition and working condition)

환경조건은 작업수행에 유의한 영향을 주는 물리적 조건을 말하고, 작업조건은 심리적 작업조건을 말하는데, 어느 정도까지는 사회적 환경을 포함한다.

(5) 요약

여기에서 설명된 분류체계는 표현형과 인자형으로 구성된다. 표현형과 인자형 모두 두 개의 상세한 분류집단으로 나뉘어지고, 그것의 각각은 일반적 결과(general consequents)와 특정한 결과(specific consequents)에 의하여 표현된다. 표현형은 오류모드를 나타내고, 그것은 4개의 분류그룹: (1) action at wrong time, (2) action of wrong type, (3) action at wrong object, (4) action in wrong place/sequence로 나뉘어진다.

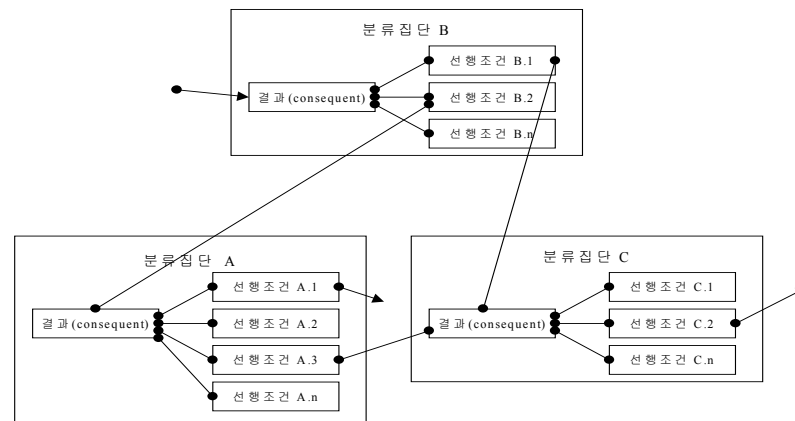
인자형은 분류체계에서 선행조건(actecedents), 즉 기여원인으로 제공되는 종류를 나타낸다. 인자형은 10개의 다른 분류그룹으로 나뉘어지는데, 그것은 차례로 세가지 주요 부류에 할당된다. 한가지 주요 부류는 (1) 관찰, (2) 계획수립, (3) 해석, (4) 일시적 인간관련 원인, 그리고 (5) 영구적 인간관련 원인으로 나뉘어지는 인간관련 인자형이다. 이것들 중 처음 세가지는 기본적 인지모형을 고려하였는데, 여기에서 실행 기능은 오류모드에 포함된다. 두 번째 주요 부류는 (1) 구성요소, (2) 절차, (3) 일시적 인터페이스 문제, (4) 영구적 인터페이스 문제로 세분되는 기술 관련 인자형이다. 마지막으로

세 번째 주요한 부류는 (1) 의사소통, (2) 조직, (3) 훈련, (4) 환경 조건, (5) 작업조건으로 세분되는 조직 관련 인자형이다.

5) 분류 집단 사이의 관계(links)

분류체계의 목적은 오류행위가 어떻게 발생할 수 있는가에 대한 설명을 제공하는 것이다. 따라서, 분류집단 사이의 가능한 연관관계가 명확히 설명되는 것이 필요하다.

먼저 분류체계가 계층적으로 구성된 것이 아니기 때문에, 분류집단 사이에 미리 정의된 관계는 없다. 대신, 분류집단이 서로 연결될 수 있는 원칙을 명확하게 제공하는 것이 필요하다. 이 원칙에서는 분류집단에 의하여 표시된 각 결과(consequent)에 하나 이상의 선행조건(antecedents)을 대응시켜야 하고, 이들 선행조건은 다른 분류 집단에서 나타나야 한다는 것을 주목해야 한다. 그렇지 않다면 분류체계는 불완전한 것이다. CREAM에서의 원칙에 의하면, 인자형은 표현형의 선행조건이었고, 차례로 표현형(오류 모드)은 일반적 오류 결과의 선행조건이었다. 이처럼 반복된 선행조건-결과 (또는 원인-결과) 관계는 두 수준 이상의 부류를 갖는 분류체계에서 발견될 수 있는 특성이므로, 따라서 전통적인 인간공학과 정보처리 방법에서 발견될 수 있다.



[그림 3-8] CREAM에서 결과-선행조건 관계의 원칙

다음으로, 분석이 행해질 때, 가용한 정보량은 변화될 수 있다. 이것은 분석의 상세함에 영향을 주게 되는데, 이것을 해결하기 위하여 다른 정도의 전문성을 제공하는 개념이나 용어가 사용되어야 한다. 이를 위하여 적어도 두 수준의 개념: 일반적(generic)과 세부적(specific)이 사용되어야 한다.

CREAM의 주요한 특성은 완전히 양방향성(bi-directional), 즉 같은 원칙이 사후분석(retrospective analysis) (즉, 원인 탐색) 과 수행도 예측에 적용될 수 있다는 것이다. 이 모델은 수행도가 상황에 어떻게 관련되는가를 설명하는 방법을 제공하는 능력(competence)과 제어(control)사이의 기본적 차이에 근거한다. 먼저, 분류체계는 원인(인자형)과 결과(표현형)를 명확히 분리하고, 또한 인자형 집단에 대한 비 계층적 구조를 제공한다.

나. GEMS(Generic Error Modelling System)

GEMS는 인적오류의 인지적인 분석을 가능하게 하는 종합적인 오류분석체계이다. GEMS가 추구하는 목적은 인적오류에 대한 보다 예측가능한 다양성을 유발시키는 주요한 인지적 한계와 편향들을 파악할 수 있는 단순한 개념적 구조를 제공하는 것이다. GEMS는 기능기반 실수(skill-based slips), 규칙기반 착오(rule-based mistakes), 지식기반 착오(knowledge-based mistakes) 등의 세가지 기본적인 오류유형과 표 3.2와 같이 수행도 수준에 따른 오류현상의 분류를 기본적인 골격으로 삼고 있다. GEMS는 분석체계의 저변에 인지시스템의 구조와 관련해서 다음과 같은 가정을 하고 있다.

- 인지적인 통제과정은 여러 수준에서 이루어지며 넓은 시간 축을 따라 동시에 영향력을 미친다.
- 통제시스템의 상위 수준은 긴 시간 축과 넓은 환경범위에 걸쳐서 기능을 할 수 있

다. 이러한 상위수준은 주로 목표의 선정, 목표달성을 위한 수단의 설정, 이러한 목적들을 위한 시스템의 진행과정의 감시 작업 등과 관련이 있다.

◦ 인지활동의 상당부분이 독립된 기능을 할 수 있는 낮은 수준의 처리(schemata, scripts, frames, heuristics 등)에 의해서 이루어 질 수 있다.

◦ 인간행동의 통제는 두가지 통제방식(ACM: Attentional Control Mode, SCM: Schematic Control Mode)의 상호작용으로 부터 이루어진다.

GEMS는 두가지 작업영역의 단순한 조합이다. 하나는 문제의 감지에 선행하는 기능 기반행위와 관련된 실수(slips)이며, 다른 하나는 규칙기반 행위와 지식기반 행위에 관련된 착오(mistakes)이다. 실수(slips)는 주로 감시(monitors)의 실패에 해당되며, 착오(mistakes)는 문제해결(problem solving)의 실패에 해당된다.

<표3-2> 수행도 수준에 따른 오류현상의 분류

Performance Level	Error-Shaping Factors
Skill-Based Slips	1. Recency and frequency of previous use 2. Environmental control signals 3. Shared schema properties 4. Concurrent plans
Rule-Based Mistakes	1. Mind Set(It's-always-worked-before) 2. Availability(First-come-best-preferred) 3. Matching bias(like-relates-to-like) 4. Over-confidence(I'm-sure-I'm-right) 5. Over-simplification(halo effect)
Knowledge-based Mistakes	1. Selectivity(bounded rationality) 2. working memory overload (bounded rationality) 3. Out-of-sight-out-of-mind(") 4. Thematic vagabonding and encysting 5. Memory-cueing/reasoning-by-analogy 6. Matching bias revisited 7. Incomplete/incorrect mental model

GEMS는 기능, 법칙, 지식기반 수준 등 이들 수준간의 상호 이동을 다음과 같이 정의하고 있다. 기능기반 수준은 친숙한 주위환경에서 고도의 일상화된 작업의 수행과 관련이 있다. GEMS의 주요한 특징은 문제해결과정에서 규칙기반 수준에서의 행위가 가장 먼저 검토된다는 것이다. 만약에 그 편차가 미미하고 적절한 규칙이 쉽게 발견된다면 기능기반 수준으로의 이동이 이루어지며 그렇지 않다면 규칙적용의 과정이 여러 번 반복될 수 있다.

규칙기반 수준에서 지식기반 수준으로의 이동은 작업자가 규칙에 기반한 해결책이 문제해결에 적합하지 않다고 판단함으로써 이루어진다. 즉, 규칙기반 수준에서의 문제해결이 실패로 인정된다면 주관적인 불확실성과 복잡도가 크게 증가한다. 지식기반 수준에서의 진행은 현상상에 해당되는 적절한 유인물이나 진단적 이론의 모색을 수반하는 경향이 있다.

이러한 유사성이 잘 파악된다면 행위의 수준은 다시 규칙기반 수준으로 돌아가게 된다. 지식기반 수준으로 부터 기능기반 수준으로의 이동이 가능하다. 지식기반 수준에서의 행위는 문제에 대한 적당한 해결책이 발견되면 중지될 수 있다. 지식기반 수준의 행위과정에서 익숙한 환경적인 단서가 파악된다면 즉시 기능기반 수준으로의 인지적 통제가 이동된다.

GEMS의 장점은 인적오류의 메카니즘을 설명하고 분류할수 있다는 점이다. 또한 Rasmussen이 제안한 기능, 규칙, 지식기반(SRK) 행위의 골격을 실질적인 오류분석 절차와 연관시켰다는 점에서 의미를 찾을 수 있을 것이다. 이러한 의미는 발생한 오류의 대응방안을 찾는 과정에서 매우 유용하게 활용될 수 있다. 오류의 유형이 어느 수준의 수행도와 관련이 있는가에 따라서 그 개선방안이 차별적으로 제시될 수 있기 때문이다.

다. Rasmussen의 연쇄적 오류 모형 (sequential error model)

Rasmussen(1986)은 인간의 행위를 크게 기능 기반 행위(skill-based behavior), 규칙 기반 행위(rule-based behavior), 지식 기반 행위(knowledge-based behavior)의 세가지 수준으로 나누었다. 작업 수행도 수준에 따른 이러한 인간 행위의 분류는 오류분류 및 분석에 대단히 중요한 의미를 갖는다.

어떤 작업을 수행하는데 있어 인간의 의식적인 행위는 계속된 반복과 숙달을 통해서, 시스템에 대한 기초 원리(first principles)와 구조적 지식(structural knowledge)에 의해 행위가 이루어지는 지식기반 단계와 시스템에 대한 상태 정보를 바탕으로 If_Then_ 과 같은 형태의 규칙에 의해서 행위가 이루어지는 규칙기반 단계를 거쳐서 최종적으로 의식적인 노력없이도 행위가 이루어지는 자동화된 단계인 기능기반 단계에 이르게 된다.

각 행위수준마다 발생하는 오류의 형태와 원인 및 발생 메카니즘이 달라지고, 그에 따른 대응방안이 명확하게 구분되므로 인적오류가 포함된 작업이 인간행위의 어느 수준에서 비롯되었는지를 파악하는 것은 대단히 중요하다. Rasmussen이 제시한 세가지 각각의 행위 수준에서 작업자 행위의 특성은 다음과 같다.

◦ 기능기반수준(Skill-based level)

기능기반수준에서의 인간행위는 미리 인간의 머리속에 계획되어 저장되어 있는 패턴 혹은 행동 스키마에 의해서 이루어진다. 따라서 이와 같은 행동 스키마를 구동시킬 수 있는 단서(cue)를 의식하는 순간, 추후에 의식적인 노력없이도 자연스럽게 행동 스키마에 따른 작업이 수행된다.

이 작업수준에서 발생하는 오류는 인간의 의식적인 의도형성 과정과는 관련성이 적으며 물리적 작업의 수행단계에서 힘의 조절이나 시간 및 공간상의 잘못된 판단 등과 밀접한 관련이 있다. 기능기반수준에서의 오류는 주로 실수(slips)와 밀접한 관계가 있다.

◦ 규칙기반수준(Rule-based level)

규칙기반수준에서의 인간행위는 머리속에 기억되어 있는 규칙의 적용이 가능한 비교적 익숙한 상황에서 이루어진다. 이때 적용되는 규칙은 크게 두가지 형태를 띠게된다. 하나는 시스템의 상태를 파악하는 작업에서 활용되는 규칙으로 시스템 변수들간의 상관관계에 의해서 생성된다. 즉, If (상황X) Then (상황 Y)의 형태를 가지는 규칙으로써, 시스템이 임의의 X라는 상태로 파악된다면 그 시스템은 Y 라는 상태에 있다는 것이다.

또 다른 형태의 규칙은 If (상황 X) Then (행동 Y)와 같은 양식을 가진다. 앞에서 언급된 규칙이 시스템의 상태 파악과 관련된 것이라면 이 규칙은 적절한 수행작업의 내용을 구성하는 단계에서 활용되는 규칙이다. 즉, 증기유량이 급격히 높아지는 상황을 인식하고 증기발생기로 유입되는 주급수의 유량을 줄이기 위해서 주급수의 조절밸브를 조절하는 일련의 작업을 수행하는 것이 그 예이다.

작업자는 이러한 유형의 규칙들을 다양한 경로를 통해서 습득하게 된다. 시스템의 구조에 대한 지식이나 작업과정에서의 경험을 통해서 규칙을 생성하기도 하고 주어진 작업절차에 대한 교육과정을 통해서도 생성이 가능하다. 이 수준에서의 작업과정상의 오류는 상황의 잘못된 인식으로 인한 부적절한 규칙의 적용이나 잘못된 절차의 기억과 깊은 관련이 있다.

◦ 지식기반수준(Knowledge-based level)

지식기반수준에서의 작업은 의식적인 분석적 처리와 시스템의 물리적, 기능적 특성에 대한 지식을 활용해서 행위가 주어진 현상황에서 온라인으로 계획되어야 되는 경험하지 못한 새로운 상황에서 이루어진다. 즉, 발생한 상황에 대한 사전 지식이 전혀 없는 상태에서 시스템에 대한 구조적 지식의 조합과 운용을 통해서 상태파악이 이루어지고 이로부터 적절한 작업내용이 계획되어야 하는 인지적 부하가 높은 작업 형태이다. 여기서 발생하게 되는 오류는 주로 인간의 기억, 주의, 작업기억 장소의 제한 등과 같은 인지적 자원의 한계와 연관이 있다.

이 수준에서의 오류가 발생빈도가 적음에도 불구하고 중요한 이유는 앞의 두 단계와는 달리 오류를 스스로 감지하기가 어렵고 오류로 인한 파급효과가 시스템에 매우 중대한 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 이 수준에서의 오류는 그 특성상 착오(mistakes)와 밀접한 관련이 있다. 원자력 발전소에서는 원자로 작업자가 명백한 절차서가 적용될수 없는 긴급 혹은 새로운 상황에 접하게 되었을 때 취하게 되는 행위가 여기에 포함된다. 앞에서 언급된 두 수준과는 달리 오류의 분석이 상대적으로 어려운 문제가 있다.

부적절한 인간행위의 발생빈도를 정량화하기 위해서는 본질적인 인간의 변동과 자연 발생적인 인적오류를 갖는 작업상황에서 외부 변화에 따른 인간의 정상적인 반응과는 구별되어야 한다. 즉 인적오류를 수행된 작업의 외부적 절차의 관점에서 바라보는 단순한 분류(omission, commission 등)로는 인지적 오류에 대한 적절한 분석이 이루어질 수 없다는 것이다.

따라서 다른 특별한 상황에서 빈도의 추정이 가능하게 하는 범주를 참조할 수 있는 잠재적인 외적원인을 밝히려는 노력이 요구되었다. 결국 오류감소를 위한 작업설계나 시스템 설계를 위해서는 실제 작업현장에서 발생하는 인간의 오류에 대한 보다 기초적이고 인지적인 부분을 이해하는 것이 강조되어야 한다. Rasmussen은 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 다차원을 갖는 오류 분류체계를 제안하였다.

Rasmussen이 제시한 인적 오류에 대한 분류체계는 인적 오류 발생비율에 대한 정량화 시도 뿐만 아니라 인간의 작업환경이나 인간-기계 시스템의 개선을 위한 적절한 정보를 제공함으로써 산업체에서 사용되는 사고나 사건보고서에서 사용할 수 있는 오류 분류방법이다. 이 방법은 원래 원자력 발전소에서 비상사건들의 기록을 지원하기 위한 방법으로 개발되었다.

Rasmussen의 연쇄적 오류모형에서 분류 체계는 7개의 부류; 수행도 형성인자, 상황관련 특성들, 수행작업특성, 오류 원인, 내적 오류 메카니즘, 내적 오류형태, 외적 오류형

태로 나누어지고 있다. 연쇄적 오류모형에서 주요한 부류는 인적오류의 원인(causes of human error), 인적오류의 인지적인 메카니즘(mechanisms of human error), 내적 오류 형태 (internal error mode), 인적오류의 외적 형태 (external mode of human error) 등이며, 나머지 부류인 수행도 영향인자(performance shaping factors), 상황관련 요소(situational factors) 및 수행작업특성(task characteristics) 등은 기본적인 오류 분석의 축을 지원하는 요소들로 생각할 수 있다.

본 장에서는 기존의 HRA 분석방법들을 정량적 HRA방법과 정성적 HRA방법으로 구분하여 설명하였고, 각 방법에서의 인적오류 분류체계, 작업자 모델, 적용 방법 등에 대하여 살펴보았다. 다음 표 2.3은 정량적 분석방법들을 적용방법, 분류체계, 작업자 모델, PSF의 영향 고려라는 측면에서 요약한 것이다.

정량적 분석방법은 적용절차에 대한 설명에 있어 OAT, THERP, SLIM/MAUD, HCR 등의 방법들이 상세한 설명을 포함하고 있다. 또한, 오류 분류체계에 대해서는 대부분 상세하지 못하고 많은 경우는 명백히 정의조차 하지 않고 있는 것을 알 수 있다. 물론, 이러한 현상은 이들 방법들이 모두 오류모드에 대한 구체적 연구결과가 발표되기 이전의 방법들이기 때문에 이후에 연구된 오류모드를 고려하지 못했다고 할 수 있다. 그리고, 작업자의 모델은 대부분의 방법에서 고려하고 있지 않고, PSFs에 대한 고려는 THERP, SLIM/MAUD, HCR의 방법에서 고려하고 있다.

THERP에서는 작업의 스트레스 정도에 따른 몇가지의 수정인자(modifying factors)를 통하여 PSFs의 영향을 고려하고 있다. 하지만, 이 방법은 작업상황에 따른 인적오류확률의 수정문제를 체계적으로 제공하지는 못하였다. 그 내용은 <표 3-4>와 같다.

〈표3-3〉 정량적 HRA방법들의 비교

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 절차 제공	부적절한 진단 (성공, 실패)	단순한 단계모델 이지만 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	합측적 및 정량 적으로만 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 정의 되지 않음	명확히 설명안됨

<표 3-4> 숙련자에 대해 스트레스의 효과를 고려한 추정 HEPs의 수정

Item	Stress level	Modifiers for nominal HEPs
(1)	very low (very low task load)	×2
	optimum (optimum task load):	
(2)	step-by-step	×1
(3)	dynamic	×1
	moderately high (heavy task load):	
(4)	step-by-step	×2
(5)	dynamic	×5
	extremely high (threat stress):	
(6)	step-by-step	×5
(7)	dynamic or diagnosis	.25 (0.05, 1) This is the actual HEP to use with dynamic tasks or diagnosis --this is <u>not</u> a modifier.

그것은 네수준의 스트레스; 매우 낮은 작업부하(very low task load), 최적 작업부하(optimum task load), 과중한 작업부하(heavy task load), 그리고 위협적 스트레스(threat stress)로 구분하여 PSFs의 영향을 고려하는 방법이다. 그러나, 표 2.4에서 볼 수 있는 것과 같이 그들이 언급한 내용은 단지 몇개의 수정인자(modifying factor)만을 제시하고 있고, 또한 체계적이고 상세하지 못하며, 대부분의 PSFs는 고려에서 제외되어 있다는 것을 알 수 있다.

SLIM/MAUD방법에서는 어떤 작업의 성공가능성은 환경, 현재의 연습이나 기술의 상태, 그리고 시간 제한과 같은 PSFs 집단의 결합된 영향에 의존한다고 가정하고 있다. 따라서, PSFs의 영향을 이용하여 오류확률을 추정하고 있다. Gertman, et al.(1992)은 PSF의 개념을 사용함으로써 의사결정 오류에 관한 확률들을 추정하기 위한 방법을 제

안했다. Zimolong(1992)은 SLIM, THERP, Raking Method들을 실험적으로 평가하기 위하여 몇개의 PSFs 집단을 사용하였다.

하지만, 이들 방법에서 PSFs의 고려는 대부분 체계적이지 못하고, 가령 체계적이라 하더라도 PSFs가 작업자의 행위에 어떠한 영향을 미치는가의 정성적 측면에서 고려된 것이 아니라, 단지 정량적 목적으로만 고려되었다. 따라서, 화학공장에서의 재해에 대한 분석에서도 인간의 작업수행에 영향을 주는 요인들에 대한 분석없이 사고나 재해의 궁극적 원인을 찾기는 힘들 것이다.

Swain & Guttman(1983)은 PSFs가 HEP의 주요한 결정자들과 있다고 주장하였다. 또한 Dhillon(1990)은 인적오류 발생의 몇가지 이유들은 작업분야에서의 부적당한 조명, 관련된 인력의 부적당한 훈련이나 기술, 잘못된 장비설계, 작업장에서의 높은 소음 수준, 부적당한 작업배치, 동기결여, 부적절한 도구, 작업복잡성 등 부적절하게 설계된 PSFs들이 인적오류의 주요원인들과 있다고 하였다. 그외에도 여러 연구자들이 인적오류 발생에 있어 PSFs가 많은 영향을 준다고 주장하였다. 따라서, HRA를 위하여 PSFs를 고려하는 것인 분석의 정확성을 기하기 위하여 필수적인 작업이라고 할 수 있다. 또한, PSFs에 대한 체계적 평가 및 분석은 정량적 HRA를 위해서뿐만 아니라, 특정 작업의 수행에 있어 각 PSFs의 상대적 중요도로 부터 인적오류의 원인을 해석하는 데 이용될 수 있고, 또한 시스템의 설계단계에도 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

특정 작업 수행에 있어 PSFs의 영향 및 중요도 평가를 위해서는 여러 가지의 방법이 활용될 수 있겠지만, 평가의 체계성과 정확성을 기하기 위하여 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 같은 방법이 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 분석계층기법은 본래 다기준의사결정기법으로 여러 기준하에서의 대안(alternative)의 선택문제에 적용되었던 방법이다. 분석계층기법을 적용함으로써 구한 각 요인들의 상대적 가중치는 오류분석에서 여러 목적으로 사용될 수 있다. 첫째는 오류 분석을 위해 중요한 요인들을 규명하는 문제에 적용할 수 있다. 높은 가중치를 갖는 요인은 그만큼 분석작업에 중요한 요인으로 고려해야 한다. 둘째는 정량적인 오류확률의 추정문제에 적용할

수 있다. 예를 들어, SLIM(success likelihood index method)기법에서는 요인들의 가중치를 전문가의 절대적 평가에 의존하여 구하였는데, 분석계층기법을 이용함으로써 보다 상대적인 관점에서 각 요인들의 중요도를 구할 수 있다.

셋째는 작업설계의 문제에 적용할 수 있다. 즉, 작업장을 설계하는데 높은 가중치를 갖는 요인들부터 최적화함으로써 보다 체계적인 시스템을 설계할 수 있을 것이다. 그리고, 넷째는 인적오류의 정성적인 분석에 사용할 수 있다. 오류분석에서 높은 가중치를 갖는 요인부터 먼저 고려함으로써 쉽게 오류의 원인을 찾을 수 있는 근거를 제시할 수 있다.

제 4 장 휴먼에러 특성진단 과 평가적용 대책

1. 인간행동 특성 측정 적용 및 평가

가. 인간행동 특성측정

인간육체(물리적면)를 하드웨어 정신(심리적면)은 소프트웨어로 생각하는 경우, 인간전체는 정보처리시스템을 형성하고 있다. 이것이 잘 어울림에 따라 정보처리시스템의 역할이 원활한 기능의 정상여부가 결정된다.

정상과 이상의 인식이 시스템 형성과정에서 나타나고 성격이나 기질에 따라 외계의 자극에 대한 심리적 반응이 일정경향을 갖고 있어 변화작용이 생긴다. 적성관리는 사고를 일으킬 가능성이 높은 자를 체크하여 지도하도록 직접적인 의미를 갖고 있다. 많은 노력과 비용을 드려서 인적사고방지대책이 가해지도록 경영자 자세가 명시되는 것이 현장관리나 일반 종업원들에게 의식적, 영향을 주는 것이다. 경영자의 안전에 대한 적극적 자세로서 12년간 100만 시간당 사고건수가 34.7건에서 0.5건으로 격감한 회사도 있다(Griffith D.K 1985).

1940년 미국 C.A. Drake는 심리학적 발상으로 공장의 재해조사에서 작업자의 소질을 대표하는 판단의 빠르기와 동작의 빠르기를 비교하여 사고지수를 제시하였다 <표 4-1> 참조.

사고지수 = 사고의 중복/ 경험년수

<표 4-1> 판단과 동작 빠르기의 사고지수

(A - B)	사고 지수
18 ~ 60	4.3
- 5 ~ 15	3.4
-15 ~ -6	6.6
-48 ~ -15	18.5

Drake는 지각기능(판단) 빠르기(A)에 비해서 동작기능이 높은자(B)가 사고를 일으키기 쉽다고 제시하고 있다.⁵¹⁾ 이러한 사람은 사태를 잘 파악하기 전에 행동을 먼저하여 실수를 범하기 쉽다. 대상을 인식할 때 그 대상이 일어나는 배경으로부터 영향을 강하게 받는 사람은 배경영향을 받지 않는 사람보다 사고가 많이 발생한다.⁶³⁾

인간의 지적기능이나 성격 등 심리적 제 특성에는 개인차가 있고 사고와 관계가 있다.⁵⁰⁾ 인간-기계계의 작업환경 속에서 정보를 파악하거나 정보를 실행에 옮기는 과정에서 행동에 에러가 발생하고 복합적인 인자의 결합으로 사고가 발생한다. 인간의 불안정한 행동은 각자가 갖고있는 심리작용의 성격과 특성, 습관, 환경 등에 따라 사고 다발자는 사고를 반복 일으키는 자로서 사고의 분포와 사고발생 신뢰도에서 생긴다. 감각 기능면에서 사고 다발자는 조급한 성격자로 허영심이 강하고 쾌락 추구적이며 도덕적, 순벽성, 책임감 등 여러가지 결함상의 특징으로 나타나며, 이러한 잠재성은 외부의 어떤 유인에 의해서 현실적인 사고로 변할 수 있고 사고경향의 기여율도 20~40%로 추정되고, 1%감소에 따라 780명 산재자가 좌우된다. 적성검사 방법 중에서 Kraepelin Test와 인간적응지수 cheek와의 공통적인 인자를 활용코져 한다. 개인별로 Test를 하여 사고가능자의 특성 인자를 찾아낸다. Kraepelin검사는 정형과 비정형으로 시간이 지남에 따라 성격적 심리 건강상태, 작업의 업무처리능력, 의욕, 임기응변 판단처리, 적극성, 침착성, 집중력, 지구력등 인간의 감정변화에 따라 나타나는 특성을 찾아낸다.

인간행동특성 체크는 위기선별능력, 판단력과 동작의 균형성, 정서안전성, 주의력, 민첩성 등을 찾아 인간행동의 에러에 미치는 경향인자를 추출한다. 이 두가지 방법의 공통적인 인자로 인간실수의 주된 사고 가능성요인을 도출하여 보다 효율적으로 사전에 대응하는 사고예방관리가 활용될 수 있도록 할 필요가 있다. Kraepelin검사는 사람의 두뇌움직임의 작태를 정확하게 파악할 수 있는 특징이 있다. 이 테스트방법은 군수공장을 중심으로 도입되어 작업자의 문제, 배치상의 효율 등 노무관리의 과학적인 접근방법의 요구에 대응한 테스트방법으로 채택되어 선진국에서는 41.9%의 기업에서 활용하고 대기업(5,000인 이상) 인사노무에서 70.1%가 활용하고 있다.

나. 측정 특성평가

Kraepelin검사결과 오답이 빈발하는 경우에는 진중하지 못하고 오답이 검사후반부에서

잘 눈에 띄었다면 지구력이 없고, 피로한 것이 가감되기 쉬운 성격의 인간성이다. 또 곡선에 심한 동요가 있으며, 그 사람은 정서불안정, 기분변화가 심하면 반복되는 환경에 영향이 되기 쉬운 경향이 있는 것을 생각하게 된다. 성격 : 자기를 제어하는 것이 어려운 경향이 있다. 머리에 떠오르는 대로 또는 자극에 응하는대로 행동하기 쉬운 타입이라고 할 수 있다. 자신의 의욕에 따라 그 자리의 상황이나 상태에 개의치 않고 행동하거나 사람에 따라서는 요령을 피우거나 허풍 및 과장을 하는 경우도 있다. 또 드물게는 너무 긴장하여 흥분된 나머지 무아지경의 상태가 되어 부적절한 행동을 하거나 지나친 경우에는 제멋대로 행동하거나 싸움, 무절제한 돈의 사용, 난폭한 행동 등 반사회적인 행동으로 이어질 위험도 있다. 오답이 여기저기 산재하고 있는 경우의 성격 : 조급함으로 인해 정신적 변조상태를 유발하기도 한다. 자기자신을 부추기거나 주위로부터 재촉을 당하면 평소의 안정된 마음이 변조상태를 일으키기 쉽게 된다. 인간행동은 장시간 기억되도록 신경지배가 중심이 되어 각자 독특한 행동특성이 4 타입으로 나타난다.

교육원에 입교한 안전관리자와 무재해 과정 수강생 146명을 중심으로 설문조사를 실시하였다. 참여한 사람중에 사고경험이 있는자도 67명(45.8%)이나 있었고, 사람의 적성이 사고와 관련이 있다고 생각하는 긍정적인 대답을 한 사람도 106명으로 64.1 %를 점유하고 있어, 자기의 적성과 사고의 연관성이 있다고 생각하고 있다.

적성이 사고와 관계가 있다면 어떤점에 관계가 있는가라는 질문에 정신적인 면에서 42명(28.8%), 주의력 부족 38명(26%), 행동미스 30명(20.1%), 판단력 미스 24명(16.4%), 주변환경미비 23명(15.7%), 기타순으로 정신적 피로나 스트레스, 주의력이 산만하거나 집중력을 잃어 미스를 일으키는 경우 불안정한 행동이 되고 판단력이 흐려지는 경우를 찾아볼 수 있다.

<표 4-2> 사고빈발자의 성격과 심신특성

- 사고빈발자의 성격(Jenkins 1956)⁵⁶⁾
 - 근심에 잠긴다.
 - 가시돌힌 말을 한다.
 - 자제심이 약함.
 - 정신이 산만하기 쉽다.
 - 독선적이다.
 - 흥분하기 쉽다
 - 무분별한 말을 사용한다.
 - 지레짐작
 - 규칙을 준수치 않음.
 - 심신상태를 잡치게 한다.
 - 자신과잉
 - 비협조적
 - 쓸데없는 것이 많다.
 - 참견하다.
 - 감수성이 둔하다.
 - 심장이 강하다.
- 사고빈발자의 심신특성(豊原 男, 1958)⁵⁰⁾
 - 심신특성
 - . 감각기 불충분
 - . 고혈압, 심장병, 신경질, 탈장, 매독
 - . 중독환자
 - . 피로하기 쉽다
 - . 지견상 결함
 - . 가정환경이 나쁨
 - 정신특성
 - . 지능교양이 낮다.
 - . 정서불안정
 - . 충동적으로 자제심에 결함.
 - . 장시간작업중 동요나 흥분이상, 반응시간이 늦고 불확실
- 사고빈발경향자⁵¹⁾
 - 비협조적(비판적, 완고) 인간관계 불량
 - 정서불안정, 충동적(자극 경우, 욕구불만 경우, 단절), 신경질, 기장과도
 - 긴장과도(억압적, 막연한 불안을 가짐)
 - 경술(동작우선, 유동성, 졸속)
 - 흥분성(감정적)
 - 경신(위험을 느끼지 못함)
 - 자기본위(협조결여, 공감성 결여, 이기적)

<표 4-3> 인간행동 분류

기호	판단	동작	행동	결과 비교	사고경향
I	느리다	둔하다	우둔형	두가지 모두 둔해서 대처능력이 없다	사고
II	느리다	빠르다	경솔형	동작은 빠르나 판단이 느려 실패가 많다	중대
III	빠르다	빠르다	기민형	적절하여 실패가 적다	거의없다
IV	빠르다	둔하다	신중형	실패는 적으나 느리다	약간

L그룹의 경우 Kraepelin테스트 및 적응력조사 결과 특히 비정형군도 12.9%를 점유하고 있으며 중도비정형 9.7%로 사고잠재 사고빈발요인이 되고 있다. 판단력과 유형별 분포에서 판단력이 경솔한자가 19.4%, 준정형도 12.9%이고, 판단이 대단히 빠른자가 정형군에 32.3%를 차지하고 있고 판단력은 좋으나 유형이 준정형은 35.4%, 비 정형군과 중도비 정형군이 행동적응지수 기민이하의 판단력을 유지하면 사고인자가 내재되어 있음을 예측할 수 있다. 현장 개인행동특성진단 테스트 결과는 <표4-3>와 팀 종합결과표는<표4-4>와 같다

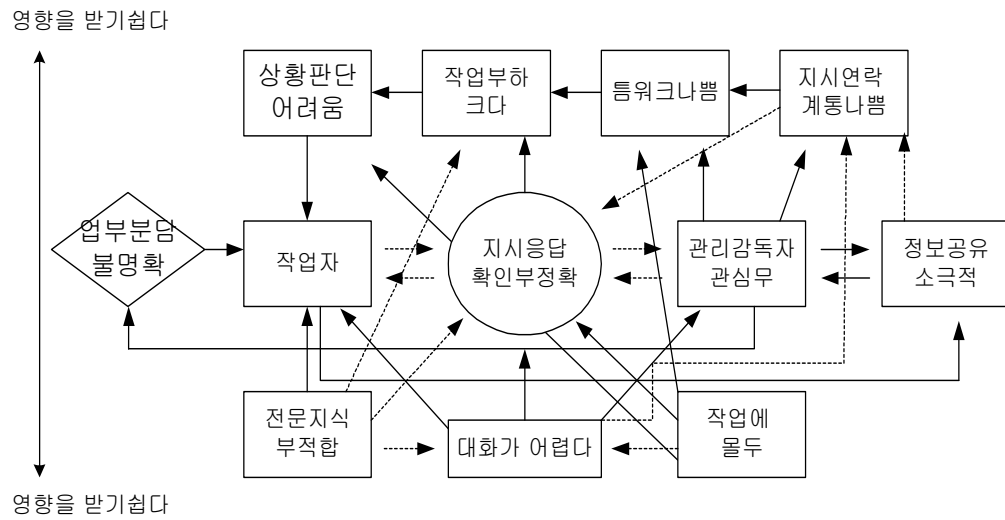
<표4-4>그룹 종합결과표

S사의 105명중 사고자 30명의 판단과 적응지수 군에서 판단이 경솔하고 행동적응성이 경솔한자가 사고발생한 경우는 19.35%였으나, 판단이 경솔하고 행동이 기민한자는 35.5%, 판단력이 빠르고 행동이 기민한자 9.7% ,동작균형과 적응지수와의 관계에서 사고군의 분포는 동작이 거칠고 경솔한 행동을 해서 사고 낸 자는 32.3%이었으며, 동작균형성은 좋은편이나 행동이 빨라 사고 낸 자는 25.8%, 머리회전력은 빠르나 동작이 어색하여 사고낸 자 7.1%, 머리회전은 빠르나 거칠은 행동으로 사고 낸 자 9.7%, 동작균형도 좋고 머리회전도 빠른자가 사고낸자는 16.1%이었다.

사고자의 성격, 태도의 특성에 관해서는 정서의 불안정, 자기 중심성, 충동성이 있는 자는 사고율이 높다. 사고가 발생하는 것은 인간의 과오에서 기인되며 이것은 조사할 때 조사자의 지식과 경험, 성격에 의해서 객관성을 벗어나 주관적인 문제가 연계되면 사고발생 결과의 원인을 엉뚱한 방향에서 결론이 내려져 유사사고가 반복할 수 있는 가능성이 있게 된다. 이 같은 인간과오 인간의 욕구, 대인관계, 작업조건은 사고와 연관성이 있는 인자로 업무실현에 따른 개인적응능력과 적성은 많은 불안전행동의 속성이 될 수 있다는 점을 감안하여 감수성 있는 안전이해와 지도가 요망된다.

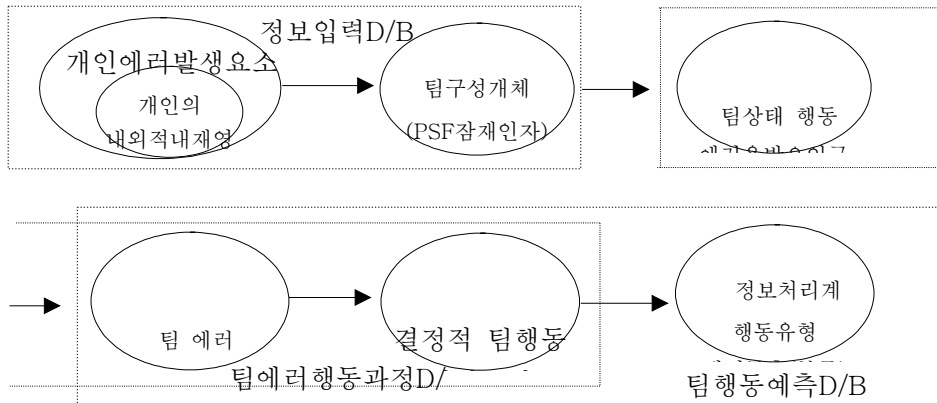
2. 휴먼에러 방지 예측 시스템 적용

관리감독자들이 매년 정기 보수작업시 경험했던 사고 요인들을 상기하면서 알고있는 안전지식을 근로자들에게 주지시키고 보수계획에 따라 팀을 구성 배치하며 업무를 할당하여 수행하고 있다. 그러나, 팀원들이 업무수행중 어떤 에러를 발생할 것인가 예측하기 어려워 신속하게 대처하기 곤란하다. 따라서 현장 실태를 고려하여 적용할 수 있는 예측시스템을 구축하여 관리감독자 경험을 토대로 예측대상작업의 특징 존재여부에 팀 조직 체제구성 정보와 작업정보를 입력하고 팀상태의 PSF요인 , 에러 유발요인 및 발생요소를 통해 팀 행동 에러유형을 예측하도록 구성했다.



팀 에러 저해요인 영향 관계

[그림4-1] 팀에러 저해요인 영향관계



[그림4-2] 팀 휴먼 에러 예측 모델 구조

[그림4-2]는 팀 행동에러를 예측할 수 있는 모델구성으로 각 개인에게 잠재된 에러가 업무수행에 영향을 미치는 특성 요소로 팀 구성체의 잠재된 결정적인 공통인자와 인과관계를 도출할 수 있는 과정을 착안한 것이다.

[그림 4-3] 생산 요원 정보입력 화면 [그림 4-4]개인정보 확인 화면

[그림 4-5] 팀 등록 화면 [그림4-6]팀요원 선택 및 에러화면

개인정보 관리를 위한 메뉴에는[그림4-3]과같이 개인정보 입력 아이템과 개인정보 수정 및 확인 아이템이 존재한다. 아웃룩 바에서 해당 아이템을 클릭하면 해당기능을 수행할 수 있다. 각 개인별로 확인하기 위해 사원번호를 입력한다.

개인 정보 확인 아이템을 누르거나 메뉴에서 개인정보 확인 메뉴를 선택하면 [그림 4-4]과 같은 화면을 볼 수 있다. 여기서는 현재 데이터베이스에 등록된 사원들을 왼쪽의 리스트에 보여주고 여기에서 사원 이름을 선택하면 선택된 사원에 대한 정보가 출력된다. 출력된 정보를 수정하고 수정 버튼을 누르면 데이터베이스가 수정된다.

(다) 팀 등록

팀 등록은 [그림 4-5]와같이 사내의 팀을 등록하기 위한 화면으로 팀 명과 팀장명의 사원번호를 입력하여 팀을 생성하고, 팀원은 리스트 우측의 추가 버튼을 사용하여 팀원 리스트와 개인별 에러를 볼 수 있다. [그림4-6] 추가되거나 삭제된 사원은 리스트에 반영된다. 팀원을 추가할 때는 팀원 정보를 출력해주는 별도의 창이 나오고, 팀원정보 출력 창에는 선택된 팀원이 유발할 수 있는 에러 정보를 출력해 준다.

개인이 행동 과정에 직간접으로 영향을 미치는 인자는 내외적인 PSF 항목(부록참조)가운데서 업무수행 중에 에러를 발생시키는 요소를 축출한다. 각팀원들에 분배된 공통적인 작업 내용, 작업특성 및 작업시간, 작업설비 기구, 작업 배치 환경 과 개개인에게 내재한 잠재 에러요소들이 팀워크로 구성되었을 때 공통적인 어떤 문제가 나타나고 있는가? 각자의 성격, 경험, 지식, 환경 등과 연계해서 에러요소를 찾아야 한다. 특히 현장의 정기보수 작업 중에는 팀 구성체제의 업무분담 분위기에 따라 작업환경, 작업분담의질, 량 , 상호 의사소통, 보고확인체제, 지시정보제공 등 업무수행과 관련된 과정에 어떤 불합리한 문제

요인이 있는가를 찾아내도록 한다.

1) 개인행동과 팀구성 개체요인

그림에서 개인이 행동 과정에 직간접으로 영향을 미치는 인자는 내외적인 PSF 항목가운데서 업무수행 중에 에러를 발생시키는 요소를 추출한다. 각팀원들에 분배된 공통적인 작업 내용, 작업특성 및 작업시간. 작업설비 기구, 작업배치 환경 과 개개인에게 내재한 잠재 에러요소들이 팀워크로 구성되었을 때 공통적인 어떤 문제가 나타나고 있는가? 각자의 성격, 경험, 지식, 환경 등과 연계해서 에러요소를 찾아야 한다. 특히 현장의 정기보수 작업 중에는 팀구성 체제의 업무분담 분위기에 따라 작업환경, 작업분담의질, 량 , 상호 의사소통, 보고확인체제, 지시정보제공 등 업무수행과 관련된 과정에 어떤 불합리한 문제요인이 있는가를 찾아내도록 한다.

2) 팀 상태 특성 및 PSF 파악요인

작업의 특성, 관리, 팀구조 특성, 팀요원 역할분담 등 팀조직 항목과 어떠한 특성요인이 연계되어 팀이 형성되고 있는가
팀의 구성조직 체제의 PSF 특성요인을 업무추진 면과 연계시켜 어떠한 불합리한 잠재 유발요인이 있는가를 찾는다.

3) 팀에러 유발조건 및 행동에러 발생요소

팀상태 파악요인이 어떠한 에러를 유발 할 잠재조건이 팀에 형성되고 에러발생 직전의 내적(심리,생리적)상태를 나타내는 비율이 팀 에러유발 조건 존재여부에 어떻게 작용하는가 조사한다.

4) 팀 행동에러 유형요인 및 정보처리계

팀 구성요원들의 행동에러로 변환되는 정보처리계 과정의 에러인자 전체 예측비율, 팀요원의 결함 요소가 높게 존재하면 팀 전체의 행동에 영향을 미치게 되어 사고로 이행될 가능성이 높은 인간 정보처리계 유형을 감지할 수 있다.

(가) 정보검색 감각에러

팀 요원들이 업무수행에 필요한 역할분담의 정보를 관리감독자로부터 제대로 전달받지 않았거나 받았어도 감각기능에 이상이있다면 팀행동 전체에 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 팀의 개개인은 가장 기본적인 정보제공을 받아들이는 감각기기능이 첫 개시 단계로 에러가 발생이 되지 않도록 모두가 신경을 쓰지 않으면 안되는 단계이다.

(나) 선별인지 에러

적절한 정보를 받아 각자의 임무역할을 수행할 수 있도록 선별할 수 있는 능력이 원활하지 못하면 팀의 업무수행목표에 큰 차질을 가져올 수 있다.

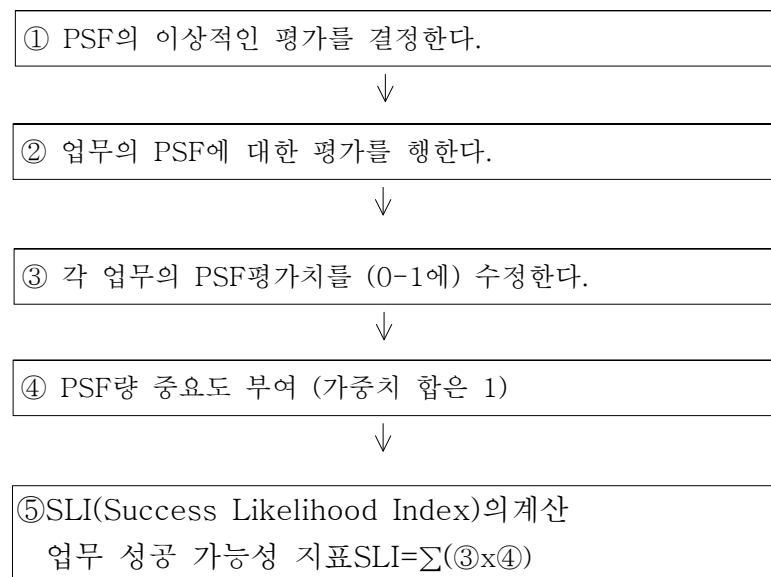
팀 요원각자가 정보를 올바르게 선별하는 능력이 적절하지 않아 생긴 에러를 뜻한다.

(다) 상태인지 에러

팀 전체가 인지하지 못한 상태에서 발생한 에러를 말한다. 변화되고 있는 상황을 잘못 기억했거나 보지못한 상태에서 에러가 발생하여 팀 전체에 영향을 주게되는 현상을 뜻한다.

(라) 의사결정 판단에러

팀 전체의 상호커뮤니케이션의 의사결정이 올바르게 판단되지 않으면 팀 행동에 결정적인 영향력을 미치게 되는 상태로 만약 팀의 역할 분담에서 상호 의사결정이 잘못 판단되거나 혼란 된 행동을 하므로써 에러가 발생할 수 있는 것을 말한다.



[그림4-7] 업무 PSF 의 추출 평가 순서

영향도 요인 평가 절차는 3단계로 크게 구분할 수 있는데, 첫 번째 단계는 인적오류에 영향을 주는 수행도 영향요인의 선별절차이다. 이러한 선별추출 절차를 통하여 인적오류에 영향을 주는 수행도 영향요인들을 대략적으로 선별해 낸다. 두 번째 단계는 분석하고자 하는 인적오류에 대해 선별된 각 수행도 영향요인의 영향도를 평가하는 단계인데, 이 과정을 통하여 수행도 영향요인의 영향도를 0점에서 100점까지의 점수로 부여하고, 각 요인들의 상대적 가중치를

계산해 낸다. 그리고 마지막 단계는 계산된 각 요인들의 가중치에 근거하여 요인들을 세 개의 그룹으로 분류하는 단계인데, 이 과정에서는 파레토 분석방법을 적용한다. 이러한 과정을 통하여 분석된 각 요인들에 대해 그 영향도에 따라 추후의 인적오류 예방을 위한 상세한 분석 및 대응방안을 수립할 수 있을 것이다.

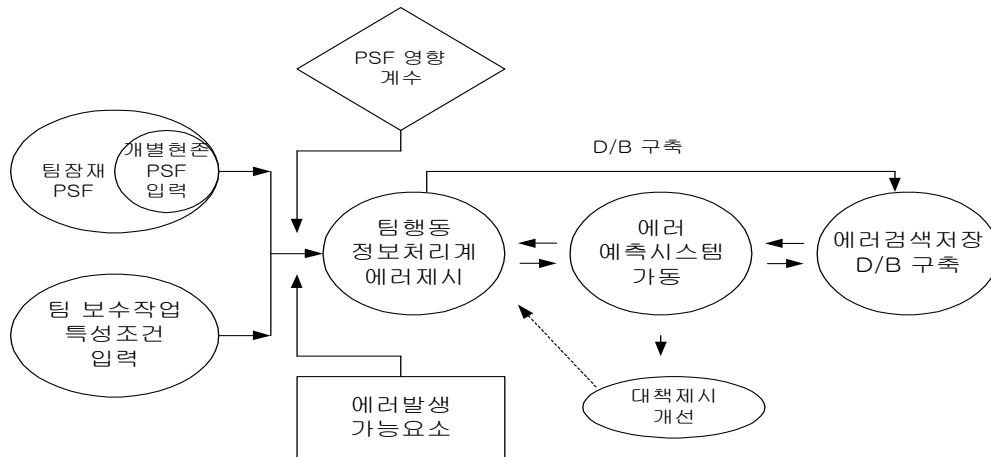
(마) 행동지시 에러

팀원간에 행동한 것이 잘못 연계되어 발생하는 에러를 말한다. 개인이 판단한 것을 행동으로 옮기는 과정에 손발의 순발력이 균형을 잃어 조각이 잘못된 에러 경우와 앞팀의 정비보수작업에서 잘못된 과정이나 혼란스러운 것이 다음 조에 연계되어 행동에러가 유발된 경우 등을 말한다

(바) 조작확인 에러

팀원들에게 지시한 명령이 올바르게 전달되었으나 개인의 행동완료 단계가 어떠한 결과로 실행되었는지 점검확인하지 않아 일어난 에러를 말한다.

이와같은 과정의 각 업무 처리에 안전하고 신뢰성 있는 업무가 성공 되도록 하기 위해서는 각종 업무수행 형성인자(PSF)를 평가하여 개선해야 한다. 업무성공 가능성 지표는 PSF에 대한 전문가 평가로 작업무의 PSF 평가치에 PSF량의 중요도를 부여한 곱의 결과로 인적 과오율을 추정하는 방법이다. 예정된 보수작업의 잠재 가능성 있는 PSF의 존재를 파악하여 입력하고 인간행동 시스템에 미치는 PSF 영향도 계수와 에러발생 요소를 예측시스템의 D/B로 추적하여 인간 정보 처리계의 주된 에러를 찾아낸다.[그림4-8]참조



팀 행동 예측 프로그램 구성

[그림4-8] 팀행동 예측 프로그램 구성

3. 휴먼에러 방지 대책 방안

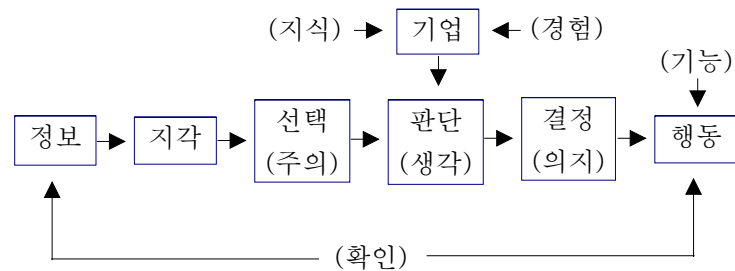
화학공장의 7개사 48건의 사고중 사고 발생 당시 수리중인 기계에서 발생한 사고가 42.85%나 되었으며 인적원인에 해당되는 Human Error는 규칙순서대로 따랐는데도 발생했다가 42.81%로 사전에 안전조치나 규칙기준에 대한 모순점을 재검토하여 개정할 필요가 있다. 특히 이때 작업상태는 단조로웠다가 57.1%를 점유했으며 다음이 「위험도가 높은 작업이었다가 42.9%」로 자동화시설의 최첨단화에 따른 작업양상으로 적절한 관리감독자들의 감독체계와 확인을 강화해야할 필요성이 제기되고 있다. 단조로운 작업에 사고가 높다는 것은 작업자의 심리적인 안전의식이 저조하여 판단이나 행동측면의 생각없이 행동한 앗차경험과 연관성이 깊다는 사실과 일치한다. 이것은 인간에라가 대부분인 오미션에러에 속한다. 특히 유의해야할 점은 사고가 발생했을 때 설비상태를 근로자는 알고 있었다가 85.7%를 차지하고 있다. 즉 설비 상태의 이상 증조인 내압상승(14.3%), 막힘(28.6%), 트러블(14.3%) 등을 경험했으나 작업 정보의 연락상태가 불충분했다(71.4%)로 답하고 있어 상하 동료, 타부서간의 상호 커뮤니케이션이 원활치 못한 조직 구성을 갖고 있다는 사실이다

사람의 행동 결함실패에 의한 산업재해 원인을 생각하면 여러 가지로 분리될 수 있다.

주요요인으로

- ① 위험판단과 안전한 작업을 진행하는 방법에 대한 지식 부족
- ② 안전한 작업을 진행하기 위한 능력 부족
- ③ 안전한 작업을 진행하기 위한 의욕 부족
- ④ 인간 본래의 특성에 기인한 오류

등으로 나눌 수 있다. 이러한 지식 부족이나 기능미숙 등의 문제는 인간의 착각 오 판단 기억 잘못 조작미스 등 각종 착오 현상으로 휴먼에러가 발생하고 있다. 교육훈련 부족으로 인한 실수와 작업순서가 정해지지 않거나 미비한 것 인원이 부족, 작업 연락이나 경보불비 등에 의한 작업자의 행동 실패는 작업 진행상에 개인의 실수도 있으며 작업 시스템상의 운영관리 및 환경조건 상에도 그 원인이 있을 수 있다.



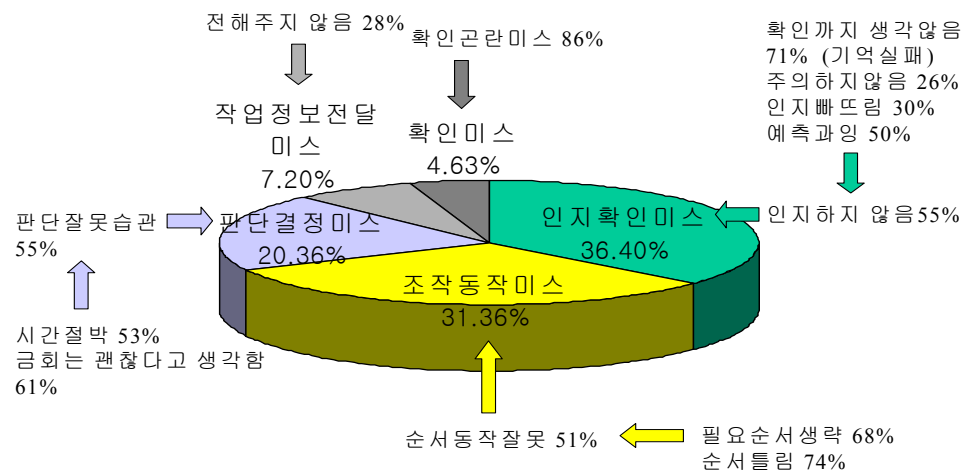
[그림4-9] 인간 정보처리과정

인간의 정보처리과정을 7단계로 나눠 2차 설문조사한 결과를 보면 작업정보제공단계에서 정보가 불비하여 에러 발생이 7.93%, 감각기에 의한 입력시 정보가 생각나지 않은 것이 7.64%, 선택인지 단계에서 정보를 잊었거나 확인 못하고 잘못 감지해서 발생한 에러에 의한 것이 25.45%, 완전인지단계에서 알지 못했거나 잘못 기억했거나 알고 있었으나 즉시 생각나지 않은 데서 발생한 에러가 17.88%였으며, 판단단계에서 판단을 잘못했거나 판단의 혼란, 순서 확인을 잊어서 판단상에 에러가 발생한 것이 18.31%였으며, 행동지시단계에서 동작이 잘못되었던가, 동작의 혼란으로 행동지시가 잘못되어 에러가 발생한 것이 10.38%였으며, 행동으로 옮기는 조작단계에서 조작 행위가 틀렸던가 조작 확인을 하지 않은 에러가 12.41%였다.

[표 4-6] 인간 정보처리 과정의 에러 분류

구분	건수	점유율	5	10	15	20	25	30(%)
작업제공단계	110	7.93	*****					
감각기입력	106	7.64	*****					
선택인지	353	25.45	*****					
인지	248	17.88	*****					
판단	254	18.31	*****					
행동지지	144	10.38	*****					
조작행위	172	12.41	*****					
합	1387	100						

휴면에러 中에는 오관을 통해 入力하여 선택인지, 인지 단계까지 에러가 50.9%를 차지하고 있다.



[그림 3-35] 휴면에러 연쇄과정

[그림 4-10] 휴면에러의 발생 과정

정보제공 전달은 휴먼에러 발생 원에 관한 정보를 충분히 파악하지 않았기 때문이며 인지확인미스는 확인하지 않고 불합리한 상태를 지나쳐버린 상태이며 판단결정은 지금까지도 괜찮다는 잘못된 판단에서, 조작동작은 작업순서를 생략하여 올바른 동작에 결함이 있고 조작확인인 조작을 시작부터 과오를 눈치채지 못함으로 사고나 앗차 사고가 발생했다. 이와 같은 결과는 경험이 있고 작업습관에 익숙한 자가 일으키기 쉬운 휴먼에러 형태를 나타내 주고 있다고 사료된다. 그러므로 사고발생시 정성적인 검증을 시행하는 것이 휴먼에러 분석에 어느 정도 정량성 있는 검증을 가능하게 할 것이다. 이러한 분석 기법을 기반으로 사고 사례를 지속적으로 D/B를 구축하여 활용하면 휴먼에러방지에 기여하게 될 것이다.

휴먼에러를 방지하기 위하여 다음 과정으로 접근하는 것이 바람직하다.

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

본 연구를 추진하기 위한 설문조사 결과 다음 문제점을 도출하였다.

가. 작업자의 개인특성에 따른 지식부족 및 동기부여에 결함이 있다.

나. 작업체제 의사소통 정보제공 상에 문제가 있다.

다. 작업 특성 환경상 판단이나 행동에 복잡한 조건이 얹혀있다.

라. 인간-기계 계에 인간공학적 설계상 결함이 있어 오류를 범하게 된다. 따라

서 상황파악이나 예측이 어려운 편이다. 라는 문제를 도출하게 되어 중소화학 제품 제조업의 재해 특성을 파악할 수 있다.

현실적으로 지식과 경험이 풍부한 숙련자나 전문가도 휴먼에러를 범하고 있어 판단 에러 확인미스로 발생한다. 인간 정보처리 과정에서 외부정보를 입력시키는 감각기에서 지적하고 필요한 것은 선별하여 이것을 확인한다. 이 내용에 대해서 판단하고 행동하도록 결정한 것을 행동으로 옮긴다. 이 경로에서 문제는 판단을 중심으로 한 정보처리가 작업 진행에 각종 에러로 연결될 수 있다는 점이다.

정보처리 회로는 작업의 숙련 도에 따라 신속 정확한 움직임이 요구되며 그러기 위해서는 의식 작용이 충분히 안전하게 활용되도록 대뇌 신경 망의 안전성 유지가 필요하다. 외계 정보로부터 필요정보만 취사 선택되도록 적극적인 주의력이 요구된다. 이 때 여러 가지 지식과 경험에 따른 기억과 선택확인이 되어야 한다. 이 정보를 조회하여 최적의 답을 인출해내는 지능적인 움직임이 있다. 행동이 기계나 환경에 아주 적합하도록 하기 위하여는 숙련과 기능이 크게 관계되어 동작 행동은 관리 조정하는 의지가 필요하다. 정보처리가 진행되는 신뢰성은 그 때의 의식수준에 의존하게 된다. 확인에러는 필요한 정보를 인지하기 위해서 여기에 주의는 두지 않으면 안 된다. 의식이 대상 쪽으로 향하는 것이 전제가 된다. 주의가 한 곳에 집중하면 주변의 것은 보지 못하는 결과가 된다. 작업 동작에 열중하면 특정의 관심을 갖지 않게 되어 주변 위험에 대해 부주의하게 된다. 주의를 상황 변화 중에 이행하므로 한 가지 확인부터 다음 확인으로 주의력을 배분할 필요가 있다. 예측이 선행됨에 따라 주의 선택의 효율이 좋아지게 된다.

판단에러는 기억을 소재로 한 생각 과정에서 생긴다. 대뇌, 피질의 본질적인 활동에 의한 것이 있고, 사람이 숙련되고 판단, 처리가 필요한 요소를 소외하는 착오를 범하게 된다.

동작에러는 판단에 따라서 대응처리 방법이 결정된다. 의지작용에 따라 동작의 지령이 나타나 한 가지 행동으로 나타낸다. 동작이 부분적인 것이 있어도 전신에 조정에 따라서 확실한 것이 된다. 동작에 관여하는 근육 수축 근육조직 내부 기 분포된 근방 추에 따라 감지되고 대뇌 중추에 휘드백 시켜 원활한 동작이 되고 이 것에 따라 대뇌는 동작을 확인하고 기억한다. 동작이나 자세는 시각이나 평형 감각에 따라서 발사 적으로 조정된다. 정확한 동작이나 자세는 이러한 제어와 조정의 것으로 생겨 적응 동작이

나 자세가 되지 않으면 안 된다.

현장에서 사고가 발생했던 사고사례 분석을 휴먼에러 발생별로 추적하여 나타낸 결과, 대책방안을 제시하는 휴먼에러 방지프로그램(HEAS)을 이용하여 개인별 에러D/B를 구축할 수 있다.

<표4-7>사고경위 및 휴먼에러 분석보고서

사고 경위 및 휴먼에러 분석				
☞ 사고 발생 개요				
보고서 번호 : 0-1991-02-01		발생 일시 : 1991-02-08-17:50		
보고서 제목 : 초산에틸 공장 아세트 알데히드 Feed line 확관 작업				
☞ 시간대별 사고 경위 분석		☞ 휴먼 에러		
일시	사고 경위	에러 원인	에러명	
1991-02-08 16:20	용접작업시 용접 불티가 비산하여 보온재에 떨어져 연기가 발생 하는것을	작업 내용이 명확하게 표시되어 있지 않았다.	작업정보 미비	
1991-02-08 16:50	보온 Cover에 용접불꽃이 튀어 연기 발생	상대가 알고 있다고 생각했다.	인지에러	
1991-02-08 17:30	용접작업 불티비산을 조심스럽게 작업 실시	확인 안해도 좋을 것이라 알았다.	선택 인지에러	
1991-02-08 17:45	용접불티비산된것이 보온 Cover에서 연기가 발생 하는것을 화기	주변환경에 혼돈하기 쉬운 정보가 있다.	연기통발견 지연	
1991-02-08 17:50	불꽃제거 등 고소 작업대에서 소화 실시	반사적으로 숨이 나간다.	행동 지시에러	
☞ 개선 대책				
개별 대책 : 1) 작업 순서의 표준화 및 문서화, 개별 분담제시 2) 상대방에 질문 확인, 상화확인 교육 3) 확인 의무감 형식(시각마다 기록확인), 안전규칙 준수(위장 확인) 4) 주변 청리 정돈, 상화지령, 문자화, 선행력 교육 훈련의 생활화 5) 통학의 감행감 교육 훈련, 기능 교육				
작업관리 대책 : 1) 순서의 표준화, 담당자의 지정, 사전, 그림 등을 활용 2) 수시현점확인, 개인 심리확인 3) 책임감 명확 재교육, 습관적인 경우 전원 배치 4) 사전 교육, 표준서 작성 관리				
☞ 휴먼 에러 발생 과정				
정보제공 → 정보입수 → 선택인지 → 인지 → 판단 → 행동지시 → 조작				

개인별 행동특성을 이용한 에러발생 예측을 실례로 검토해보면 김오곤의 행동특성 조사결과에서 적응성이 빈약하고 행동이 경솔하며 정서적으로 불안하여 자기제어가 어렵기 때문에 사고위험이 있음을 지적한 특징을 세밀히 검토 추적해 보면, 김오곤의 행동특성에 나타난 그래프를 보면 오전10경 갑자기 함몰이 있어 순간적으로 인지 선별력에 에러발생 가능성40%가 돌출 갑자기 생각나지 않는 현상의 에러 발생율을 제시해 주고있다. 감지 예측된 사실을 미리 알고 있었다면 에러방지가 자신이나 관리감독자의 지도감독이 가능할 것이다.

적성 진단 기록표

번 호	성 명	관요관	소속	LG MMA M-C-F	경력	7년	측정일	2002-04-1
02-000018	생년월일	1962-10-1	직책					
작업내용								
신체/성격								
동등한 편/								
행동적응 테스트								
선별테스트				동작테스트				
회수	응답	미스	N	회수	응답	미스	N1	1. 적응성
1	14	1	13	1	49	0	49	행동적응자수
2	16	0	16	2	50	0	50	To
3	11	2	9	3				T/T1
	H		16		H		50	3.균형
N	M		13	N1	M		50	Nmin/Nmax
	L		9		L		49	0.57
소셜 평점 $X = 1 / 4 [3(C) + (To) + \{ (T / T1) \} + (Nmin/Nmax)] = 37$								
적 도 령 평점 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 1.적응성 40 2.판단력 35 3.균형성 57 4.정서안정 15 소견 : 적응성이 약간 빈약하고 행동이조금 경솔하다. 정서안정분위기개선요 판단이 부정확하고 사고에 대한 잠재위험이 있다.								
Krapelin								
관찰유형: c'			전체평균: 26.2 (전기: 24.5 후기: 27.8)			표준편차: 3.30		
소견 : 사물처리 느리고낮음비정형기분출어짐경향이있고,C보다조금에러가있음								
전 기 후 기 COMMENT: 전기 후반 후반초창기와 후반이 불안정하여 상태인지에러 40% 경보검색,조작확인 20%임.								

따라서 개인행동특성조사와 에리 예측시스템 프로그램을 연결사용하면 사고예방에 반드시 기여
할 것으로 사료된다.

성명	크레프린 TEST				행동적용 TEST						특징
	미스/전기	미스/후기	Pn	평균	선별	동작	적용성	판단력	균형	정서안정	
조영일	52.4	57.6	4.05	55.0	14	50	2.1	0.51	3.57	0.67	적용성이 극히 좋고,행동이 기민하고 사고력도 뛰어나다.판단과 동작이 둔하며,정서적인 안정감이 적으며,사물처리수준은 높고,사물에 대한 마나 낮고 후반에 능력이 저하됨.
최병철	57.5	63.4	4.71	60.5	17	47	2.8	0.38	2.76	0.89	적용성이 극히 좋고,행동이 기민하고 사고력도 뛰어나다.판단과 동작이 정확하고 활발하고 민첩하며,사물처리 작업속도 수준이 높음.
최수병	60.4	67.5	4.77	64.0	16	61	1.8	0.46	3.81	0.69	적용성이 약간 좋고 행동도 약간은 기민하다.판단이 적고 동작이 먼저 나타나며,균형감이 없고 정서불안정으로 잠재위험가능성이 있으며,사물 작업수준이 높으며,전기후반기에 작업이 증가한다.
서형국	38.1	46.4	5.57	42.3	16	53	1.9	0.44	3.31	0.77	적용성이 약간 좋고 행동도 약간은 기민하다.판단이 적고 동작이 먼저 나타나며,사물처리 작업수준이 보통이며 후반부에 작업능률이 나타난다
최재호	41.5	47.8	5.35	44.7	15	53	1.1	0.48	3.53	0.57	적용성이 약간 빈약하고 행동이 경솔하다.정서적으로 불안하여,판단이 사고에 대한 위험이 있으며,사물처리 작업속도수준은 보통이나 심적 변 많고 주변 환경에 영향을 많이 받는다.
최시종	68.3	76.8	6.42	72.5	15	50	1.9	0.47	3.33	0.71	적용성이 약간 좋고 행동도 약간은 기민하다.판단이 적고 동작이 먼저 순간적인 경서불안이 나타난다.사물처리 작업속도수준은 높으며,행동면 균형적,상황에 따른 임기응변이 가능하나 예리가 종종 있음.
김오곤	24.5	27.8	3.30	26.2	13	50	1.3	0.56	3.85	0.57	적용성이 약간 빈약하고 행동이 경솔하다.균형감이 부족하며 판단이 나 사고에 대한 위험이 있다.정서적으로 대단히 불안정하다.사물처리 작업 수준은 낮으며,실수를 종종한다.성격과 행동의 균형감이 적어 편중되기
문영창	49.6	53.4	4.37	51.5	12	46	1.3	0.62	3.83	0.85	적용성이 약간 빈약하고 행동이 경솔하다.판단이 나쁘고 사고에 대한 ! 있으며,사물처리 작업속도 수준은 높으나 오답이 다발하고 있고,기본에 행동하므로 자기제어가 어려움.

팀 행동시 휴먼에러 보고서		
보고서 번호 :		보고서 작성 일자 : 2002년 05월 09일
보고서 제목 : 팀행동시 휴먼에러 분석 평가		
분석 대상 팀 :	분석 대상자 : 김오곤	책임자 :
에러 유형		
실수 과정	요인	에러발생률
정보 검색 에러	정보의 불비	20%
	알고있으나 생각나지 않음	20%
선택인지에러	정보를 잊었다	0%
	행한것을 확인하지 못함	0%
	정보를 잘못 느낌	0%
상태 인지 에러	알지 못했다	0%
	잘못기억했다	0%
	알고 있으나 생각나지 않음	40%
의사결정판단에러	판단을 잘못했다	0%
	판단의 혼란	0%
	순서 확인을 잊음	0%
행동 인지 에러	동작이 잘못되었다	0%
	동작이 혼란	0%
조작확인 에러	조작이 틀림	20%
	조작미스	0%
전체 에러 발생 카운트		5
요소별 대응 대책 * 정보검색 에러 정보가 불비일 경우, 팀보 인수인계 불분명, 내부용이 불명확해서 틀리기 쉽다. 제 3자를 통해 잘못 전달. !! 관리가 높여 지하여 있다. / 기억 실패, 특별한것을 보고 듣지 못함. * 상태인지 에러 귀찮다는 생각으로 확인을 소홀히 함. 광막 잊어 생각나지 않음 * 조작확인 에러 의도함대로 되지 않음. 성급한 조작으로 순서 불명함		

Human Error 방지대책 지침(안)

인간행동은 무지나 경험부족, 습관, 당황함, 행동생략 등 휴먼에러 요인이되는 각양각색의 특성이 개재되어 있어 이것이 요인이 되어 재해를 일으키는 경우가 많다. 폭발사고나 화재사고의 대부분은 이러한 사람의 행동특성에 기인한 휴먼에러에 따라서 발생하는 현상이 있으므로 이런 것을 근거로 사고방지 대책이 대단히 중요하다.

◎ 실시준수사항

1) 운전작업의 에러방지

- ① 모든 작업은 요령에 따라서 순서를 정하고 그 순서에 따라 실시하도록 사전 지도를 실시한다.
- ② 지시 명령이나 보고 연락상담을 정확히 행하고 인계시나 작업전에 미팅을 통해 빠뜨리는 것이 생기지 않도록 반드시 재확인한다.
- ③ 다른 운전원이나 협력회사 등과 관계있는 자의 작업을 포함해서 각 공정의 확인이나 체크를 확실히 행하여 오판단이나 오조작이 생기지 않도록 한다.

2) 시설환경에 의한 에러방지

- ① 기기, 밸브 등의 배치나 표시·표식류가 오인이나 오조작이 생기지 않도록 고려한다.
- ② 통신설비나 조명설비는 연휴 작업이나 정전시 작업에도 지장을 주지 않도록 연구한다.
- ③ 배선관리구성(Distributed Control System)이나 SI 단위 (Le System International dunties)로 변경할때는 지시치나 경보 등의 오인이나 오판단이 생기지 않도록 유의한다.

3) 응급조치 에러방지 대책

- ① 지휘명령을 정확히 행하여 장치의 정지, 조치나 방재활동, 피난, 관계자 이외 출입금지조치 등의 대응이 원활하도록 한다.
- ② 긴급조치 순서나 조작밸브 등의 식별, 인터록 등을 고안해서 장치의 정지 조치가 확실히 행해지도록 한다.

4) 교육훈련

- ① 작업에 필요한 지식이나 기능을 계획적으로 체득시키는 훈련 시스템을 만들어 조기에 운전원의 능력을 향상시킨다.
- ② 위험에 대한 감수성이나 예지 능력을 높이는 수단을 강구하고 예상되는 훈련을 반복 행하여 긴급시 등에 발생할 에러를 방지한다.

5) 의식계몽

공장 전체의 안전방침을 명확히 하고 톱이나 관리자가 솔선해서 준수하고 의식 계몽활동을 전개하는 밝은 직장 풍토와 전 사원을 안전인이 되도록 한다.

인간행동은 감각계 (5감에 의한 인지), 중추계 (얻어진 정보의 기억과 서로 맞춰 판단), 운동계 (판단에 기발한 행동, 동작)의 3과정이 되는데 각각 한계를 갖고 있다. 이 한계는 인간특성으로 안전대책이 필요하다. 기준은 준수되지 않으면 안되는 것을 의미한다. 지키기 쉽도록 노력하는 것도 소중하며 지키도록 하는 것도 중요하다. 규칙을 지키지 않는 것을 묵인하는 것은 이미 그 기준은 없는 것과 같으므로 지키지 않는 자는 재교육이 필요하다.

화학공장에 있어 오조작 등의 휴먼에라에 기인한 폭발·화재 등의 사고

나 재해 방지를 위하여 운전보수 이상조치 등 장치나 설비에 관계되는 모든 작업을 표준화하여 그 작업표준에 따라서 작업을 실시하는 것이 기본이다. 작업표준은 모든 작업순서를 실시하도록 하는 것이다. 작업표준은 모든 작업순서를 기재하기 위하여 이것저것 많은 분량의 내용을 만드는 경향이 많이 있다. 작업표준을 준수하고 순서대로 작업을 실행시키기 위해서는 활용하기 쉽도록 이해시키는 노력도 대단히 중요하다.

◎ 실시준수사항

- 1) 작업표준은 그 위치의 부여를 정확하게 하고 제정 개폐가 이루어지는 승인 결재 기준을 정한다.
- 2) 작업형태별로 분류를 체계화하여서 목차를 부여하고 작업항목을 검색하기 쉽게 한다.
- 3) 작업순서는 대상이 되는 흐름도 등을 그림으로 넣어서 구체적인 순서에 따라 정량적으로 기재한다.
- 4) 안전보건대책 등 공장 전체에 공통적인 내용의 것은 통일된 작업표준으로서 작성하여 틈이 생기지 않도록 한다.
- 5) 순서에 따라 필요한 곳에서 착용할 보호구 종류나 중요부분 등에 유의할 사항, 과거의 앓차사례나 사고사례 등을 첨부하여 작업의 안전성을 높인다.
- 6) 필요한 곳에 산업안전보건규칙 기준 등 법이나 기타 작업표준, 기기 취급설명서 등과의 연관된 것을 명기한다.
- 7) 설비변경시 및 정기적으로 전원에게 똑바로 보고 행하도록 하는 외에 안전보건교육 계획을 정해서 반복 교육을 철저히 한다.

▶ 알아둘점

사람은 반복작업을 하면 생략하려는 마음을 갖게 된다. 현장에 작업순서를 게시하고 지적확인을 실시하여 체크리스트에 따라 순차작업을 진행하는 등 항상 작업표준을 지키지 않으면 안된다.

작업표준체계화 구체 예

- 1) 작업표준목적, 정의, 개폐, 수속을 기재한다.
- 2) 장치개요
장치목적, 능력, 주요 설계조건, 주요기기 리스트 Flow Sheet 등 총괄적인 것을 기재한다.
- 3) 운전표준은 운전준비, 운전개시, 정상운전, 운전정지 등의 조작순서 방법을 기재한다.
- 4) 기기조작 표준
주요 기기나 인터록 등의 취급요령을 기재한다.
- 5) 점검표준
각 기기나 설비의 점검요령을 기재한다.
- 6) 정비표준
장치의 정비시 작업요령을 기재한다.
- 7) 긴급이상 대책 표준
용역의 이상, 화재, 천재 등 플랜트의 이상현상 등에 대한 적절한 조치 순서 및 통보 기준 등을 기재한다.
- 8) 환경대책 표준
공해발생을 미연에 방지하기 위하여 작업요령 및 이상시 조치순서 등을 기재한다.
- 9) 안전보건대책 표준

종사하고 있는 운전원의 안전보건확보를 위하여 취급물질의 화학 물질 등 안전 DATA Sheet나 보호구 등에 대해서 기재한다.

10) 운전원 작업분담

안전하고 원활한 운전작업을 추진하기 위하여 각 운전원의 작업 분담을 기재한다.

11) 지시, 명령표준

통상시 및 긴급시 지시명령 보고 등의 계통에 대해서 기재한다.

2.2.2 인수인계

※ 중점요약

업무인계인수는 상근 작업으로부터 교체작업시 교체로부터 교체 운전 부문으로부터 보전부문에 등 각종 인계가 있다. 정상, 비정상에 따른 내용이 틀려지지 않도록 하기 위하여 확실한 인계가 행해질 필요가 있다. 인계가 불충분하며 대응이 불비하면 트러블이나 사고가 발생할 가능성이 있다. 인수인계시는 메모지나 노트를 준비하여 간단한 문장, 도해 등을 기록하여 인수 인계하는 사람이 이해하기 쉽도록 한다. 구두에 의한 인수 인계는 금한다.

◎ 실시준수사항

- 1) 인계시 운전작업 기록은 작업의 개시로부터 상황처리 종료 등에 대해서 시계열적으로 기재하고 계기실에 설치하여 이상시 확인이 가능하도록 한다.
- 2) 직교차 인계시 전체대면 형식을 행하고 각 담당장치 운전원과 운전원 직반장과 작반장간에 행한다.
- 3) 특히 중요한 작업이나 계속하고 있는 작업의 인계시는 안전에

대해서 기재한 것으로 현장에서 작업상황을 확인하지 않으면 안 된다.

- 4) 쉬는 기간이 있는 이후 인계시는 쉬는 동안에 경과도 같이 인계를 실시한다.

▶ 알아둘점

프랜트 운전중에 행한 기계·기구 수리는 최소한의 시간에 최대한의 노력을 투입하여 행하지 않으면 안되는 것이 거의 대부분이다. 특히 예비기기는 항상 사용하는 기기의 트러블에 대비해서 항상 운전가능한 상태로 보수 유지하는 것이 필요하며 중요한 인계항목으로서 위치에 있지 않으면 안된다. 트러블이 인계시간 가까이에서 발생하여도 운전원이 취하는 행동은 일반적으로 다음 2가지 케이스가 있다. 한가지는 자신의 근무책임으로서 조치나 수리복귀를 무리하게 행하는 방법이고 한가지는 다음 교대자에게 조치하도록 맡겨 싫지만 아니한 판단으로 인계하는 케이스가 있다. 예를 들면 적절한 판단이나 조치를 행하지 않으면 사고의 위험성이 있고 운전원에게 보고, 연락, 상담과 인계의 중요성을 교육하여 철저를 도모할 필요가 있다.

2.2.3 시업전 미팅

※ 중점요약

시업전에 미팅은 인계 받은후 작업을 안전하고 효율있게 진행하기 위하여 작업 내용, 작업범위, 준비, 마음가짐 등 공유화를 도모하는 것이 중요하다. 작업의 안전 요소 등을 협의하여 작업중요성, 건강확인 등을 받아들인다.

◎ 실시준수사항

- 1) 시업시는 밝고 건강을 유지하도록 작업에 배려한다.

- 2) 인계사항 확인 및 지시 연락을 행한다.
- 3) 작업항목, 작업순서, 역할분담, 안전확인을 행한다,
- 4) 작업에 관계하는 앗차사고나 위험성에 대해서 이야기하고 안전
급소 가운데 행동목표를 정해서 전원에게 복창시킨다.
- 5) 시업전 미팅이나 작업변경 등의 기록은 작업이 끝날 때까지 계
기실에 게시하여 전원이 작업도중에도 확인 가능토록 한다.

▶ **알아들점**

시업시 미팅은 생산활동을 원활하게 진행하게 되고 작업의 내용이나 순서 역할
분담 안전대책 등을 전원에게 공유화하여 휴먼에라를 방지할 수단으로서 대단히
중요한 것이다. 매일 전원이 용기를 갖고 본심에서 울어 나오는 대화를 하므로서
밝은 직장 분위기를 만들게 되고 의견을 실행하므로서 사고나 재해방지에 기여할
수 있다.

2.2.4 지시명령

※ **중점요약**

- 일상운전 업무는 작업표준을 기반으로 하여 실시한다. 작업의 변경이나 이상
사태가 발생할 때 지시명령에 잘못이나 불충분한 점이 있다면 사고가 발생할
가능성이 있다
- 휴먼에라.를 방지하기 위한 지시명령은 5WIH를 활용한 표현과 여러모로 마음
을 쓰는 태도가 중요하다.
- 비정상 작업은 작업의 목적이나 요점을 명확히 하여 작업순서나 역할분담 등을
흑판 등에 열거하여 오판단이나 철저히 못함에 따른 사고나 재해방지를 도모
한다.

◎ 실시준수사항

- 1) 지시명령은 양식화된 작업지시 명령서 등에 발행일시, 장소, 건명, 목적, 내용 등의 항목을 기재하여 행한다. 구두 명령은 가능한 피한다.
- 2) 비정상 작업의 작업지시 명령서는 작업지시자, 감독자, 운전원 등 확인란을 만든다.
- 3) 지시명령서는 전원이 준수하는 것으로 하기 위하여 추상적인 표현은 피하고 읽는 사람의 오해가 생기지 않도록 써서 수치로 나타낸 것은 수치로 나타내도록 한다.
- 4) 안전포인트를 기억한다. 오랫동안 반복하는 작업에 대해서는 감독자 자신도 안전확인을 행하도록 체크항목을 넣는다.
- 5) 기타 날마다 세부지시 또는 전달사항에 대해서도 구두는 피하고 지시 전달메모를 실시한다.

▶ 알아둘점

- 1) 지시명령은 운전원 개개 지식기능 등 노동능력을 생각하여 행한다.
- 2) 관계 직장에서는 작업지시 명령서의 사본을 동시에 발행하는 등 충분한 연락확인을 행하여 오해가 생기지 않도록 한다.
- 3) 작업지시 명령서는 일정기간 보관한다. 필요에 따라 작업표준화한다.

2.2.5 보고, 연락, 의논

※ 중점요약

장치의 운전현장은 사람(의식, 의욕, 감정)과 물(설비기기, 취급물질)이 반반씩 작업형태에 따라 구성되고 있다. 최근 화학공장은 한사람 작업이 주력으로 그 작업이 전체에 영향을 주는 것이 많다. 따라서 세세하게 보고, 연락, 의논이 가장 중요하다. 이러지 않으면 문제가 되어 제멋대로 판단하고 행동하여 생각 없이 사고로 이어지는 가능성을 절대 피하지 않으면 안된다.

◎ 실시준수사항

- 1) 운전작업에 관계 있는 보고, 연락, 의논은 상담 및 책임구분이 되도록 명확하게 실행한다.
- 2) 운전 작업상의 변화는 어떤 작은 것은 것이라도 보고 의논하여 지시의 철저를 도모한다.
- 3) 시운전이나 기기 보존 등의 비정상 작업은 미리 작성해서 순서에 따라 관계자와 면밀한 연락을 취하여 실시한다. 특히 보전작업 등에 관계되는 관계자와의 보고, 연락, 의논은 문서 등으로 확인수단을 강구한다.
- 4) 운전 작업상의 처치나 경과 및 결과는 적절한 기록을 취하여 확실하게 인계를 행하고 책임자 등에 보고하여 확인을 얻는다
- 5) 운전작업 과정에서 체험이나 앗차경험 등은 양식화된 보고서로 기재하여 속히 제출하고 수평 전개를 하는 것도 검토회의를 개최해서 해결을 도모한다.

표식, 표시류

※ 중점요약

인간은 대부분 정보를 시각으로부터 얻어지고, 시각은 인간의 정보인지 베이스다. 오인이나 오판단, 생각이 틀림을 방지하기 위하여는 표시, 표식류를 보기 쉬운 장소에 설치하여서 시각을 활용하는 것이 효율적이다.

◎ 실시준수사항

- 1) 기기 용어를 통일하여 번호를 부착하고 조작이나 작업시에 보기 쉬운 위치에 크게 표시를 하고 오조작 등이 일어나지 않도록 한다.
- 2) 배관은 조작밸브 부근 및 장치내외의 요소에 유체명, 흐름방향, 행선지, 필요사항을 표시한다. 통일된 색깔 밴드나 도료로 한눈에 식별이 가능토록 한다.
- 3) 위험 작업이나 반복작업이 많은 장소에는 위험요소를 설치하고 필요한 대책 등을 표시한다.
- 4) 중요기기 부근을 조작순서나 안전상의 요소 등을 표시하고 기동시나 표식 등을 설치한다.
- 5) 보호구가 필요한 장소에는 그림으로 규정된 보호구 착용을 명시하고 표식 등을 설치한다.
- 6) 운전중이나 보전작업 등에서 조작을 하지 않으면 안되는 기기나 밸브등에는 낱자, 책임자 명을 기입하여 조작금지 등의 표시판을 게시한다.
- 7) 긴급시에 조작을 할 기기나 밸브 등을 야간에도 판별하기 쉬운 형광, 도료 등으로 색깔 표시를 하는 것이 바람직하다.
- 8) 표시, 표식류는 공장에 통일된 규격화로 행하여 공장의 누구라도 이해 할 수 있도록 한다.

<인간의 시각으로 보기 쉬운 범위>

- ① 눈동자의 운동을 수평선 보다 아래로 20도, 좌우 방향은 중심보다 각10도
- ② 머리 범위는 무리하게 움직이지 않는 범위에서 상방15도, 하방50도, 좌우 각20도
- ③ 눈과 머리합성 운동으로 보기 쉬운 범위 상방15도, 하방70도, 좌우 각30도로 하는 이유이다.

색깔별 표시에 대해서는 기업에 따라서 연구해야 할 예이다

- 1) 조작밸브의 색채별 표시에 더해서, 질소 배관이나 계장용 공기배관, 소화용 배관 등 보안상 특히 중요한 배관의 전계통을 색채별로 도장해서 판단하기 쉽게 하여 오조작 등 방지를 도모한다.
- 2) 배관의 폐지판 삽입 후렌지 측면을 그 목적별로 색채별로 도장하여 폐지판에 표시를 명확히 한다.
- 3) 바꿀 예정 배관이나 철거배관을 틀리지 않도록 그 배관시공 부분을 황색 선으로 표시한다.

5. 결 론

Human Error에 의해 반드시 일어났다고 단정짓기는 어렵지만 모든 사고는 직간접적으로 사람이라는 요인이 관여되어 있고 적든 많은 간에 행동하는 과정에서 실수나 오류를 범하게 된것이므로 세밀히 분석하여 대책을 세우고 실시하여 개선되지 않으면 안된다.

사람에게 여유시간이 있으면 심리적으로 Stress를 적게 받아 잊어버릴 확율은 적어지나 여유시간이 길면 다른 일이 끼어들 확율이 많아지게 되어 결국

잊어버릴 확율이 높게 나타나게 된다. 따라서 일상적인 작업에서 발생하는 Error율을 측정하여 비정상 작업시나 긴급시에 예측되는 Error율을 비교하여 방지에 응용할 수 있는 대책을 세운다면 효율적인 안전 추진이 될것이다. 그러기 위해서 ① 현장에서 작업과 관련하여 발생하고 있는 각종 기초적인 Human Error Data를 모두 수집하는 것이 요망되며 ② 불안전 행동을 기본적으로 규제할 수 있는 조건을 찾기 위해서 인간행동 형성 인자를 파악할 필요가 있다. 따라서 Human Error를 방지하기 위한 대책으로

- ① 개인행동특성을 조사하여 안전화가 실현되도록 노력해야 한다
- ② 작업안전의 표준화가 설정되고 개인행동이 안전하게 이행 준수 되도록 습관화가 요망된다
- ③ Human Error 방지를 위한 전문교육훈련이 강화되어야 한다.
Human Error방지를 위한 근본적인 기초연구가 행동개선에 초점을 두고 구체적으로 추진하여 인간공학적 측면에서 산학연이 연계성 있게 연구가 지속되어 공장에 자율 안전의식고취, 잠재위험의 도출과 개선, 안전조직의 신뢰성 향상 등 Human Error의 개선 대책이 활성화되어야 한다.
- ④ 업종별 Human Error의 기법개발 실현 및 정보 교류가 시급히 정립되어야 한다.
- ⑤ Human Error확율의 Data Base화 구축이 적극 추진되어야 한다.

개선 방향

설문실태 분석에서 살펴본 바와 같이 화학공장의 사고 발생원인은 대체적으로 근로자들의 에러에 의해서 발생되고 있음이 증명되었다.

- 가. 근로자들의 습관 지식 경험의 미비에 따라 교육적인 안전개선이 요망된다. 특히 정보자체의 부정확이 인지선별과정과 인지과정에서 에러로 발생 되므로 근로자 측의 영향인자 개선에 노력해야 할 것이다.
- 나. 작업 특성 환경작업관리 상태의 영향인자 관리개선이 요망된다. 작업의 단조로움, 긴장감, 신규반복작업, 작업공간, 위치 등 작업의 정상상태나 비정상상태

에서 기준, 작업표준 등을 만들어 준수하도록 점검, 확인이 필요하다.

- 다. 시설상의 색체표시등 영향인자 개선이 요망된다. 화학플랜트의 밸브, 배관, 계기류등의 색체표시, 스위치류 ON/OFF 위치 방법, 배관내의 흐름방향 계기류의 상한/하한 표시 등 오조작을 일으킬 수 있는 잠재위험이 상존하는것을 개선한다.
- 라. 휴먼에러 방지에 관한 분석기준 지침 작성이 요망된다. 현장 근로자들의 휴먼에러 발생 요인이 산재해 있으나 이 대책을 제시할 구체적인 기준 지침이 작성되어있지 않으면 불안전행동 개선을 위한 방안제시가 세부적으로 실시 되기 어렵다.
- 마. 휴먼에러 분석 D/B 구축에 따른 전문적인 분석을 할 수 있는 인재양성이 요망된다.
휴먼에러가 발생되어 각종 사고로 연결될 때 전문적으로 휴먼에러 발생과정을 추적 분석하여 이에 따른 적절한안전 대책을 강구할 수 있는 요원이 필요하다..

영향도 요인 평가 절차는 3단계로 크게 구분할 수 있는데, 첫 번째 단계는 인적오류에 영향을 주는 PIFs의 선별절차이다. 이러한 스크리닝 절차를 통하여 인적오류에 영향을 주는 PIFs들을 대략적으로 선별해 낸다. 두 번째 단계는 분석하고자 하는 인적오류에 대해 선별된 각 PIFs의 영향도를 평가하는 단계인데, 이 과정을 통하여 PIFs의 영향도를 0점에서 100점까지의 점수로 부여하고, 각 요인들의 상대적 가중치를 계산해 낸다. 그리고 마지막 단계는 계산된 각 요인들의 가중치에 근거하여 요인들을 세 개의 그룹으로 분류하는 단계인데, 이 과정에서는 파레토 분석방법을 적용하였다. 그리고, 이러한 과정을 통하여 분석된 각 요인들에 대해 그 영향도에 따라 추후의 인적오류 예방을 위한 상세한 분석 및 대응방안을 수립할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김두환: “화학플랜트 보수시작 행동분석 평가에 따른 휴먼에러 예측기법개발”, 산업안전보건연구원 연구보고서. 2001
2. 김두환: “중소화학제품 제조업의 인적오류 사고예방 시스템개발”, 산업안전보건연구원 연구보고서. 2000
3. 김두환: “한국 화학플랜트의 휴먼에러 통계해석”, 일본산업안전기술강연회 보고서, 일본동경 중재방 강당. 오사카산업안전기술관 10.16-20, 2000.
4. 김두환: “화학공장의 휴먼에러방지연구” 산업안전보건연구원 연구보고서, 1998.
5. 김두환: “기업의 안전위험 실태분석과 대책방안 연구”, 제27회 한일기술사 심포지움 보고서 1997.
6. 김두환: “근로자행동특성에 의한 사고발생추정연구”, 산업안전보건연구원 연구보고서. 1996
7. 김두환: “기업의 안전 활성화를 위한 휴먼에러방지” 제28회 한일기술사 심포지움(일본지바현 소니국제센터) 11. 1998.
8. 김두환: “화학공장의 인간오류방지 당면 과제에 관한 연구” 인지공학 연구회 하계 워크숍, 산업안전교육원, 9. 5. 1998
9. 과학기술처: “인적행위 분석기법 개발”, 한국원자력연구소, 1995
10. 한국산업안전공단: ‘01 중대사고 사례집, 2001.
11. 노동부: “산업재해 통계분석”, 노동부, 1997-1999
12. 임희남: “인간 신뢰성 공학”, 일본해문당, 1984, pp. 38-41

13. 신승현 : 인간공학, 형설출판사, 1990, pp. 209-214
14. 黒田勲 : “Human Factor를 깊이한다.” 중앙재해방지협회, 1990, pp. 117
15. 日本 中災防 : 安全, 中央災害防止協會, 1991, pp. 16-22
16. 若倉正英: “사고D/B로부터 휴먼에러 사고발생 경향.”安全工學Vol.39,No.1,2000 p.p29-32
17. 稻 恒 莊 司 : “휴먼에러와 기계설비“ 안전, 中災防 ,Vol.47.No.5 1996.pp.11
18. 吉野賢治 : 휴먼에러 예측 인과모델 개요, 휴먼팩터학회지, Vol 21.N0.1,.1997
19. 일본고압가스협회 誤操作防止에 關한 報告書, 高壓Gas保安協會, 1985.
20. 黒田勲 :, ヒュマン・ファターズを 探る、中災防, 1988.
21. 高壓Gas保安協會 : ユンビナート事故事例集, Vol.4, 1991.
22. 官野文友 : Human error 메카니즘, 日科技連, 1980.
23. 井上威恭 : Human error에 의한 災害事故 시스템제어 Vol.32 No.3, 1988.
24. 西浦直志: 個人の 性格이 팀 成績 및 影響에 대한 基礎的研究, 東海大學修士論文. 1997
25. 西浦直志,岡本覺,長坂章彦,吉野賢治 : 개인의 성격이 팀 성적 및 영향에 대한 기초 연구, 日本人間工學會 제26회 關東支部 大會講演集pp.82-83, 1996
26. 行待武生: 플랜트 사고시 팀 행동에 관한 해석 방법의 연구, 인간공학, Vol.25, No.6. pp.357-366,1989
27. A.Norman,Categorizationof action slips Psychological Review 88(10,1-15,1981.
28. J.Rasmussen,O.M.Pedersen,G.Mancini,A.Canimo.M.Griffonand P,Gagnolet : clasiffication System for Reporting Events Involving Human Malifunction Riso-M-2240,1981.
29. J.C.Williams: Resent Developments in Human Error Assesment Technique, Personnel at Practical Technologies Assesing Human Error

in Routine Works, 1989.

30. Vicente K.J, Rasmussen J, The ecology of human machine system II Mediating "Direct perception" in complex work domains, Ecological psychology Vol.2 No.3, 1990.

부 록: 1.PSF의 특성 항목

<표 2-5> PSF 특성항목

항목	PSF 항목		PSF 항목
작업상 황 판 특 단 성 상 부 담 ()	1)짧은 시간에 판단을 요함. 2)동시에 복수 판단이 요구됨. 3)지식이나 이해만으로 안되고 경험에 의한 해석 판단을 요구함. 4)앞을 내다보는 예측이 필요. 5)구체적인 판정기준이 확실치 않음. 6)자신이 추구하고 있는 지능 모델과 차이가 있다.	정 보 확 화 인	23)작업을 할 때는 여러 가지 조작상태 기록이 불완전하여 충분한 정보를 얻기가 어렵다. 24)정보전달이 부정확하여 이해가어렵다 25)작업과 정보량을 파악하기 어렵다. 26)작업결과 휘드백이 나쁘다.
	7)연속적인 작업시간이 길다. 8)정밀한 작업이 있다. 9)숙련된 기술이 필요한 보수작업이 있다. 10)신체 일부에 큰 부담이 있다. 11)중노동이다.		27)작업장 분위기가 싸늘하여 좋지 않다. 29)관리자, 동료와 의사 소통이 나쁘다. 30)팀과 기타 작업그룹 관계가 좋지 않음. 31)협력사와 의사소통이 나쁨. 32)감독자 협력자 규제 담당이 형식적으로 존재하고 있다
작업 상 심 황 리 특 적 성 부 담 ()	12)시간이 급박하여 급히 대응하지 않으면 안된다. 13)빠르고 완전전하게라는 이중 목표가 있다. 14)작업실패가 크면 손해로 연결된다. 15)곧바로 개정 중단이 곤란한작업이있다. 16)좁처럼 일어나지 않는사태가 발생한다. 17)위험성이 높다. 18)똑같은 작업이 연속된다 19)순조롭지 않은 작업이 있다. 20)주의에 벗어난 요인이 있다. 21)작업중에 다른일이 있어 업무 흐름이 중단된다. 22)기록등의 부대 사무처리가 많다.	팀 구 성	33)사람수나 작업자 기량, 연령이 팀의 구성에 적절치 않음. 34)팀내 각자 역할 분담이 불명확하다. 35)책임 소재가 확실치 않음. 36)작업자는 그 장소 운영에 대해서 발언권이 없다. 37)팀내 의사소통이 어렵다.
			39)공수, 일정조정이 어렵고 빡빡하다. 40)작업공정이 중복되어 좋지 않다. 41)준비가 나쁘다. 42)사용기기 설비공구 부품이 불충분하다.

항목	PSF 항목		PSF 항목
육체적요인	43)몸 컨디션이 좋지 않다. 44)육체가 피로해 있다. 45)고통이 있다. 46)숙취가 있다. 47)공복 갈증 상태이다. 49)고집에 의한 시차 멍청한 상태이다. 50)수면부족 이다. 51)연령이 많다.	기기공구	64)기기공구 측정 기구가 적절치 않고 취급이 어렵다. 65)공구 측정기구 등의 수치 표시를 읽기 어렵다. 66)전용 공구 종류가 많다 또는 없다. 67)크레인 호이스트 등 운반용구 취급이 어렵다. 68)작업대상 형태가 다중 다양하다. 69)작업대상 조작 취급이 어렵다. 70)조작이 사회 통념과 모순된다
정신적요인	52)불안, 초조 스트레스등 마음이 쓰이다. 53)자신감이 부족하다. 54)의욕이 없다. 55)작업에 대한 향상심이 없다. 56)업무에 만족하지 못하다. 57)중간 도우미가 없다. 58)가정개인생활에 스트레스가 있다. 59)가정이나 주변 사람들의 영향을받는다.	환경	77)온도 습도 통풍 등이 적당치 않음. 78)조명이 어두워 잘 보기 어렵다. 79)소음, 진동이 크다. 80)부유 분진 유해물질폭로가 많다. 81)방사성 수준이 높다. 82)작업장소 정리정돈 등이 불철저
지시연락	60)필요한 지시나 연락이 틀리거나 없는 경우가 있다. 61)지시나 연락이 정확치 않음. 수시로 변한다 62)지시나 연락 시간이 나뉨. 63)현장이 시끄럽고 전면 마스크 착용으로 지시나 연락이 잘 안 들린다.	작업공간	83)작업공간이 좁아 불편하다. 84)발판이 좁아 작업장소가 위험하다. 85)다른 작업과 작업장소가 중복된다. 86)작업대상에 접근이 나쁘다. 87)신체적으로 무리한 자세가 요구된다. 88)보호구나 안전장비가 방해된다.

항목	PSF 항목		PSF 항목
성 격	89)주의력이 부족하고 번잡한 성격이다. 90)필요한 확인을 하지 않음. 91)협조성이 없다. 92)집중력이 없다. 93)성미가 급하고 괴팍하다. 94)태평스런 성격이다. 95)대담한 성격이다. 96)작업실패나 위험성을 과잉 무서워한다.	경 험	97)작업경험이없다. 98)작업에 필요한 지식이 없다. 부족하다 99)숙련도가 부족하다. 100)작업 위험성이나 사고예측을 인식치 못함

불안전 행동과 종합 휴먼에러 방지 기술

(안전분야-연구자료 연구원 2002-10-31)

발행일 :	2002. 11
발행인 :	산업안전보건연구원 원장 정호근
연구수행자 :	안전공학연구실 수석연구원 김두환
발행처 :	한국산업안전공단 산업안전보건연구원
주 소:	인천광역시 부평구 구산동 34-4
전 화:	(032) 5100-860
F A X	(032) 518-0867
