Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 30, No. 1 pp.151-160, February 2011 DOI:10.5143/JESK.2011.30.1.151

산업 사고 예방을 위한 인적오류의 중요성

이 관 석[1] · 이 영 관[2]

[1]홍익대학교 산업공학과 / [2]도레이 첨단소재 (주)

Importance of Human Error to Prevent Industrial Accidents

Kwan Suk Lee[1], Young Kwan Lee[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791
[2]Toray Advanced Materials Korea, Inc. Seoul, 121-721

ABSTRACT

There have been many efforts to prevent accidents in Korea for the last 25 years. Many measures in the area of hardware sciences including electrical, mechanical, chemical engineering, etc. were applied to eliminate or at least reduce causes of accidents. However, the accidents rate has not been reduced much despite of these measures. This research aimed to find real causes of these accidents and to suggest a comprehensive model that can mainly be applied to industrial fields to find potential or existence of human errors during the pre-installation stage or after an accident. We tried to explain sequences of an operator's information process that might cause human errors on one hand, and life cycle stages of facilities involved when human errors occur on the other hand. With this comprehensive model presented in this research, one can follow up the sequence of human errors caused by operators. Further, errors made at the design stage which could be a main cause of accidents can be tracked. It is recommended that this comprehensive model should be used to prevent human errors in industrial fields since safety personnel can easily find out errors or error potentials through the life cycle stages of man-machine facilities.

Keywords: Human Error, Accident, Unsafe Act, Unsafe Behaviour

1. Introduction

원인이 없는 사고는 없다. 지금은 당장 안 일어나도 사고를 만들 수 있는 요인이 존재하면 언젠가는 사고는 일어나게 되어 있는 것이다. 머피의 법칙은 이런 요인들이 가장 적합하지 않은 시간에 일어난다고 이야기를 하고 있는 것이지만 사고가 일어나기에 적합한 시간이라는 것은 없다. 이러한 사고의 원인이 있을 때 인간 즉 작업자가 연계되어 사고가 일어나는 것이다.

누구든 사고가 일어나기를 바라지는 않는다. 아니, 안 나게 하려고 힘쓴다. 그러나 사고는 그래도 생긴다. 왜 그럴까?

우리나라 산업현장에서는 사고가 일어날 수밖에 없다. 업무나 시설 및 기계들을 포함한 시스템을 만들 때 사고에 대한 고려를 충분히 하지 않고 있는 것이다. 시스템이 잘못 만들어진 다음에 아무리 작업자에게 조심하라고 하는 것은 마치 초등학생에게 날이 시퍼런 칼을 주고 조심하라고 몇 번씩 다짐하면 괜찮을 것이라고 생각하는 것과 같다. 따라서

Corresponding Author: Kwan Suk Lee. Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791.
Mobile: +82-10-3838-1660, E-mail: kslee@hongik.ac.kr
Copyright@2011 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

이 논문에서는 어떻게 하면 시스템을 만들 때 사고에 대한 고려를 할 것인가를 인적오류와 사고의 연관성을 중심으로 논의한다.

2. Causes of Accidents

Heinrich et al.(1959)은 재해 연쇄론에서 사고를 일으키는 직접 원인으로 불안전 상태(Unsafe Condition)와 불안전 행동(Unsafe Act)을 제시하였다. 불안전 상태는 온전치 못하여 사고를 유발한, 인적 요인을 제외한 모든 물리적 요인, 즉 시설이나 설비 혹은 환경 요인을 말한다. 불안전 행동은 사고 당시 피해자 자신 혹은 주변에 있던 동료 혹은 제 3자의 행동 중 결과적으로 사고를 초래한 행위 요인을 말한다. 다음은 불안전 상태와 불안전 행동에 대하여 산업안전보건공단에서 쓰는 분류를 보이고 있다.

2.1 불안전 상태

1. 물적 요인 자체 결함
   - 물적 요인 자체가 필요 이상으로 거침, 미끄러움, 뾰족함
   - 물적 요인 자체 조잡
   - 원료재료 불량
2. 안전방호장치 결함
   - 안전방호장치 미 설치
   - 안전방호장치의 미비
   - 안전방호장치의 부적당
3. 복장, 보호구의 결함
   - 복장의 지정 결함
   - 필요 보호구 미 배치
   - 보호구 필요성능 미비
4. 물(物)의 배치 및 작업장소 결함
   - 기계장치 배열의 잘못
   - 작업장소의 공간 부족
   - 통로 협소 또는 미확보
   - 전도 위험 등 작업장면 불량
5. 작업환경의 결함
   - 부적당한 조명, 온도, 습도
   - 과다한 소음발산
   - 부적당한 배기
6. 생산공정의 결함
   - 위험 작업임에도 조치 불비
   - 위험공정임에도 조치 불비
   - 위험한 상황에 대비한 안전장치 불안전
   - 부적당한 기계장치, 공구, 용구의 사용
   - 작업순서의 잘못
   - 기술적, 육체적 무리
7. 경계표시, 설비의 결함
   - 경계구역의 불명확
   - 경계표시 없음
   - 시건장치 미비

2.2 불안전 행동

1. 위험장소 접근
   - 추락, 전도 협착, 압력, 매몰 비래 위험장소 접근
   - 폐쇄물 내부 접근
   - 위험물 취급장소 접근
   - 기타 경계표시가 있는 지역 등 접근
2. 안전장치의 기능 제거
   - 기능 제거
   - 동작정지 등 잘못 사용
3. 복장, 보호구 잘못 사용
   - 보호구 미착용
   - 보호구 착용 잘못 및 용도착오
   - 지정복장 미착용, 미 준수
4. 기계기구 잘못 사용
   - 기계기구의 잘못 사용
   - 필요기구 미사용
   - 미비된 기구의 사용
5. 운전 중인 기계장치의 손질
   - 운전중인 기계장치의 주유, 수리, 용접, 점검, 청소 등
   - 통전중인 전기장치의 수리, 점검, 청소 등
   - 가압, 가열, 위험물과 관련되는 용기 등의 수리, 용접, 점검, 청소 등
6. 불안전한 속도 조작
   - 기계장치의 과속 또는 저속
   - 기타 불필요한 조작
7. 위험물 취급 부주의
   - 화기, 가연물, 폭발물, 압력용기, 중량물 등 취급시 안전조치 미비

8. 불안전한 상태 방치
   - 기계장치 등의 운전중 방치
   - 기계장치 등의 불안전 상태 방치
   - 적재, 청소 등 정리정돈의 불량
9. 불안전한 자세 동작
   - 불안전한 자세(뜀, 던짐, 뛰어오름, 뛰어내림)
   - 불필요한 동작(장난, 잡담, 잔소리, 싸움)
   - 무리한 힘으로 중량물 운반
10. 감독 및 연락 불충분

이외에도 외국에서는 "경고 실패"와 "위험장소의 접근금지 표시(Tagout)나 폐쇄(Lockout) 실패"도 불안전 행동에 포함하고 있어서 관리자의 책임도 포함하고 있으며 유지 보수를 잘못한 것도 불안전 행동에 포함하고 있어서 보전팀의 책임도 포함하고 있다.

간접적 원인으로는 기술적 원인, 교육적 원인 및 관리적 원인을 들고 있다. 그 내용을 살펴보면 아래와 같다.

2.2.1 기술적 원인

주로 장치, 기계, 건물 등의 설계, 점검, 보전 등의 기술상의 미흡 혹은 불찰 등에 의한 불안전 요인으로서, 구체적으로는 기계장치의 배치, 공장 바닥의 정비, 실내조명 및 환기, 위험장소의 방호 설비 및 경계 설비, 보호구의 정비 등 모든 기술적 결함이 포함된다.

2.2.2 교육적 원인

작업 안전에 관한 지식 및 경험 부족과 관련된 불안전 요인으로서, 작업 수행상의 위험성 및 안전 작업 방법에 대한 무지 혹은 경시, 훈련 미숙, 악습관, 경험 미숙 등이 여기에 포함된다.

2.2.3 관리적 원인

불안전한 행동이나 불안전한 상태에 이르게 한 불충분한 관리 · 감독의 상태를 가리킨다. 예를 들면, 최고관리자가 안전에 대한 책임감이 없다든지, 크레인 운전 등 취업제한 업무에 법정 무자격자를 취업시킨다거나, 부하 작업자가 작업표준을 지키지 않고 불안전한 행동을 하고 있는 것을 간과하는 것이 여기에 해당하며, 또한 이외에도 사업장내 작업기준의 불명, 점검 및 보전제도의 미비, 인사 및 적정 배치제도의 결함, 사업 일정에 쫓긴 재촉, 작업 지연에 대한 추궁 분위기 등이 여기에 포함된다.

그런데 직접적 원인이나 간접적 원인을 살펴보면 모든 원인의 시작점은 인간에게 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 불안전한 상태는 인간이 업무나 시설의 설계나 설치 시에 인간이 사전에 이러한 문제점을 예기하여 조치를 취했으면 생기지 않을 것들이다. 불안전한 행동은 행동이라는 용어 자체가 인간이 주체라는 것을 의마한다. 본 저자들과 사고를 보는데 유사한 시각을 가지고 Kletz(2001)는 그의 저서 An engineer's view of human error에서 대부분의 사고는 인적오류에 기인한다고 했다. 우리는 다음 절에서 인적오류에 대하여 좀 더 살펴보아 인간이 관계된 것이다. 인적오류 인지를 결정함으로써 사고와 인적오류의 연관성을 좀 더 확실히 할 수 있을 것이라 본다.

3. Human Error

위의 영어 제목에서 보듯 인간이 잘못하거나 결과가 잘못 나타나는 경우의 인간의 활동이나 행동을 우리나라에서는 인적오류, 휴먼 에러, 인간과실, 인간과오 등 여러 가지 다른 용어로 말하고 있다. 이 개념 자체가 외국에서 시작했기 때문에 아직은 통일이 안된 상태이다. 이번 특별호에서는 인적오류로 통일하자고 해서 같은 용어을 쓰지만 용어에 대해서는 앞으로 논의가 많이 되어야 할 것이다. 또한 이런 용어를 이용하면 사고는 사고가 일어나거나 일어날 뻔 했던 경우의 사용자나 작업자의 잘못만으로 해석될까 필자들은 우려하고 있다. 우리가 이 논문에서 전체적으로 주장하자고 하는 것은 사용자나 작업자의 활동이나 행동이 설계, 관리, 훈련이나 교육 등에 많은 영향을 받는다는 것이다. 따라서 사고를 예방하려면 시스템이나 제품의 수명 주기 전체에 걸쳐서 일어날 수 있는 사고 요인을 살펴보아 예방하여야 한다는 것이다. 이러한 것을 염두에 두고 우선 분야 별로 정의한 인적오류를 살펴 보기로 하자. 인적오류에 대한 정의는 학자에 따라 매우 다양하다. 우선 심리학자들은 인적오류를 다음과 같이 설명하고 있다.

Reason, J.(1990)은 인적오류는 "인간이 계획하고 실행한 일련의 정신적 · 신체적 활동이 의도한 결과에 이르지 못한 경우 중, 그 실패가 다른 우발적 사상의 개재로 인한 것이 아닌 경우"를 말한다고 하였다. 그는 인적오류를 동작의 실패만이 아니라 판단이나 결정의 실수도 에러의 일부라고 말한다.

Kaiho(1996)는 인적오류를 행위의 관점에서 보아 '잘못(실수)이란 인간의 적극적 행위로서, 그 행위가 무엇인가의 기준에 비추어 보았을 때 기준으로부터 현저히 벗어나 있으면 잘못을 저질렀다고 한다'고 설명하고 있다.

Haga(1993)는 인적오류를 '인간의 결정 또는 행동 중 본인의 의지와는 반대로 사람, 동물, 사물, 시스템, 환경의 기능, 안전, 효율, 쾌적성, 이익, 의도, 감정을 상하게 하거나

파괴하는 것'이라고 정의하고 있다.

한편, Karino(狩野広之)는 심리학적 측면에서 볼 때 부주의 현상은 이상한 것이 아니라, 정상적인 심리 현상이라고 주장하면서 에러나 미스를 발생시키는 외부와의 관련성에 눈을 향하지 못하면 문제해결에 도달하지 못할 것이라고 하였다.

요약해 보면 심리학적 측면에서는 인간의 '의도'를 기준으로 그 의도가 달성되었는가의 여부에 초점을 맞추고 있는데, 이것은 의도의 형성 과정이 어떻게 구성되어 있고 어떻게 기능하는가를 연구하기 위한 심리학 본연의 연구목적에 기인한다고 볼 수 있다.

인간공학에서 다루고 있는 인적오류에 대한 설명으로는 Meister(1966)의 정의가 가장 널리 받아들여지고 있다. 그의 주장에 따르면, 인적오류란 '어떤 시스템에 기대된 기능을 발휘하기 위하여 작업자에게 요구되고 있는 능력으로부터의 치우침(벗어남)'이다. 그 치우침에는 다음 3가지가 있다.

1. 필요한 조작의 누락
2. 정해진 조작을 적절히 실시하지 않음
3. 불필요한 것의 실시

이외에도 다음과 같은 정의들이 일반적으로 통용되고 있다.

Salvendy, G.에 의하면 인적오류란 '시스템에 의하여 정해진 허용한계를 넘은 인간행동 집합의 임의의 한 요소'이다. Sanders와 McCormick(1992)에 의하면 인적오류란 '효율이나 안전성이나 시스템 성능을 저해하는, 혹은 그럴 가능성이 있는 부적절하거나 바람직하지 않은 인간의 결정이나 행동'이다. Siomi(1996)는 Hayashi(1995)의 정의를 이용하여 인적오류를 '부과된 기능을 인간이 완수하지 못하기 때문에 발생하는 것으로서, 그 인간을 포함하는 시스템의 기능을 열화시키거나 그러한 가능성을 가지고 있는 것'으로 정의하였다. 한편 IEC TC 56에서는 인적오류를 '의도하지 않은 결과를 초래하는 인간의 행위(Action). 어떤 허용한계를 벗어난 인간행위 집합의 부분, 즉, 허용 외의 행위(an Out-of-Tolerance Action). 단, 인간행동(Performance)의 한계는 시스템에 의하여 결정된다'고 설명하고 있다.

이상의 내용을 종합하면, 인간공학에서는 인간-기계 시스템(Man-Machine System)이 기능을 발휘함에 있어서 유해한가 아닌가를 기준으로 인적오류를 정의하고 있다. 즉, 시스템 구성요소로서 인간과 기계를 생각하고, 인적 요인으로서 시스템에 기능 이상을 발생시키는 경우를 인적오류라고 부르고 있다.

안전관리 분야의 관점에서 Kasahara(1996)는 인적오류를 '스스로 하려고 의도했던 것은 아니지만, 본래 해야 할 것으로부터 벗어난 사상'이라고 정의하고 있으며 Tanimura(1995)는 그의 저서에서 "잘못(실수)에 의하여 발생하는 에러나 잘못(Mistake)"을 총칭하여 인적오류라고 부르기로 하였으며 인적오류는 '인간이 취한 행동과 행위에 의하여 일어나는 실수의 모든 것'을 말한다."고 지적하고 있다.

이러한 내용을 종합해 보면 인적오류란 '인간이 어떤 목적을 달성하기 위한 의도를 가지고 감지하고 판단하여 행동하는 도중, 본인의 의지와는 관계없이 목표를 달성하지 못한 경우, 그 경우의 의사결정 및 행동'을 통틀어 말한다고 볼 수 있다. 인적오류를 사용자나 작업자의 순수한 개인적 잘못과 시스템이 잘못 설계, 설치 또는 보수 유지되는 경우를 시스템 오류로 나누어 보는 것도 필요하다. 따라서 인적오류가 일어나는 기간은 시스템 설계 및 설치와 시스템 운용 및 폐기의 전 과정으로 보는 것이 타당하다.

결과적으로 이 정의에 따르면, 인간의 의사결정만 잘못된 경우에도 행동여부에 관계없이 인간행동의 원활한 진행을 방해하였다면 인적오류로 간주될 수 있으며, 더욱이 행동으로 나타난 경우에는 물론 인적오류로 분류하여야 한다. 이 정의는 종래의 시스템적 견해에 근거하였던 정의보다 더 원론적이라고 할 수 있으나, 재발하는 인적오류로 인한 사고의 진정한 원인을 찾아내어 제거하기 위한 이 논문의 목적에서 볼 때 불가피하다고 할 수 있다.

사고는 아니지만 인적오류는 우리업무나 생활의 도처에서 일어나고 이에 따라 사고나 생산성 저하나 결함 등의 원하지 않는 결과를 만들어낸다. 콜센터나 114 전화 안내원들 그리고 전력이나 용수 등의 공급망에서의 인적오류가 좋은 예이다. KT에서 원자력 발전소 다음으로 인적오류에 관심이 많은 이유도 많은 안내원들의 인적오류가 사고에 이르지는 않지만 고객 불만으로 나타나기 때문이다.

이 논문은 산업현장에서 발생하는 사고를 예방하는 것이 중요하므로 어디까지가 인적오류인지를 논의하는 것보다는 인간이 관계되는 부분을 제시하고 예방을 통해 반복적인 유사 사고가 일어나지 않게 하는 것이 중요하다고 본다.

4. Relations with Human Errors and Accidents

전통적으로 사고를 분석하는 관점에서 통계한 사고 사례를 원인 별로 분석해 보면 설비제작과 사용관련 원인이 55.2%, 운전관련의 작업자 에러가 44.8%를 차지하고 있다. 이 통계를 다시 살펴보면 작업자의 인적오류에 의한 사고가 거의 절반이 되고 설비제작과 사용관련 원인에 의한 사고도 실상은 인적오류에 의한 사고라는 것을 보면 실제 인적오류에

의한 사고는 전체사고의 대부분을 차지한다고 볼 수 있다. 물론 인간이 관계되었다 하더라도 의도적으로 규칙을 위반한 경우는 엄격한 의미에서 휴먼 에러라고 간주하지 않지만 적어도 휴먼 에러가 대부분의 사고의 원인이라는 데는 이견이 없을 것이다.

이제까지는 일반적으로 운전 '조작자'의 에러만 인적오류라고 간주하여 왔지만 장치 설계자, 관리자, 감독자 등 시스템의 설계와 조작에 관여하는 사람들도 에러를 범하고 그 결과로 앞에서 지적한 불안전한 상태가 생기는 것이라고 볼 수 있다. 따라서 인적오류를 말할 때에는 조작자만 생각해서는 안 되고 시스템 전체를 고려하여야 한다. 설비제작에 따른 사고도 실상은 설계자나 제조자들이 사용자나 작업자들이 실수를 하기 쉽거나 실수를 할 수밖에 없도록 설계하거나 제조해서 생긴 것이라고 보면 이러한 사고의 근본 원인은 설계자나 제조자에 의한 인적오류라고 보아야 하겠다. 또한 불안전한 행동에 의한 사고의 근본 원인도 교육이나 훈련의 부족과 감독이 충분치 못하거나 안전 용구가 미비되어서 생긴다는 것을 현장에 익숙한 사람들은 잘 알 것이다. 이러한 것도 인적오류의 범주에 든다는 것을 인정하면 인적오류는 대부분 사고의 원인이라는 것을 알 수 있다. 이러한 우리의 주장에 대하여 의아하게 생각하는 경영자나 안전 관리자들이 많을 것으로 본다. 이를 위하여 다른 학자들도 인적오류가 사고의 주요 원인이라는 것을 주장하였는데 서방국가와 일본의 산재 조사에서는 45% 이상의 사고 원인이 인적오류라고 결론짓고 있으며 설계와 자재 선택 시의 사고까지 포함하면 인적오류에 의한 사고가 58%에 이른다고 보고하고 있고 화학공장의 사고도 미국에서는 37.2%가 일본에서는 51%가 인적오류에 기인한다고 보고되었으며 Hayashi (1995)는 화학공장의 사고 조사에서 80% 이상의 사고가 인적오류 때문에 생긴다고 주장하였다. 이외에도 항공기 사고를 ICAO가 조사한 바에 따르면 1959년에서 1972년 사이의 항공기 사고 중 53%가 인적오류에 기인한다고 보고하였고 Boeing 항공사는 자사의 항공기 사고 93건 중에 84%가 인적오류에 기인한다고 보고하였으며 국내의 1970년부터 1999년까지의 항공기 관련 사고도 75%가 인적오류에 기인한다고 보고되었다. 이외에도 자동차 사고는 운전자 단독의 인적오류에 의한 사고가 65%, 다른 관계 요인과의 결합의 경우 94.75%가 인적오류에 기인한다고 보고되었다. 따라서 우리는 사고를 예방하는데 가장 중요한 것이 인적오류를 예방하는데 있다고 제시하는 것이다.

5. Current Methods of Accident Investigation

현재에도 사고 예방을 위하여 설계 검토에서 설치 검토, 제조 시에 검사, 그리고 정기점검과 안전 관리자 및 작업자 안전 교육 등 여러 가지 예방책을 가지고 있다. 하지만 법적 사고 보고 시에 이에 따라 직접 원인을 보고하게 되었었는데 얼마 전부터 법적사고 보고 시에 기록이 요구되고 있지 않다.

또한 사고가 일어났을 경우의 원인 조사 기법도 체크리스트, 특성 요인도(Cause and Effect Diagram), 사상수 분석 (ETA), 결함수 분석(FTA), 리스크 수목(Management Oversight and Risk Tree: MORT), 사고 다이나믹스(Accident Dynamics), 근본원인분석(Root Cause Analysis) 및, 변동수 분석(Variation Tree Analysis) 등으로 다양하지만 이 기법들은 실제적으로 사고의 근본 원인, 특히 인적오류를 찾아내는데는 문제가 있다. 사고 조사 기법들의 장단점을 비교하면 인적오류의 진정한 원인을 규명하는 데 있어서 어떠한 문제점이 있는지를 동시에 파악할 수 있다. 바꿔 말하면, '인적오류의 진정한 원인을 규명하기 위해서는 분석 기법이 어떤 특성을 갖고 있어야 하는지를 설명하려 한다.

Table 1. Analysis of accident investigation methods

Method	Time series check	Finding interaction of causes	Flexibility	Inclusiveness	Ease of use	Focus on human error
Checklist	×	×	×	○	◎	×
Cause & effect diagram	△	△	◎	○	○	×
ETA	◎	×	◎	△	○	×
FTA	△	◎	◎	○	×	△
MORT	×	◎	×	◎	×	×
Accident dynamics	◎	○	◎	○	○	×
Root cause anaysis	○	○	◎	○	○	×
VTA	◎	◎	◎	○	△	×

Note) ◎ Very High ○ High △ Possible × Very low or impossible

Table 1은 이러한 목적에서 사고 조사 기법들의 장단점을 비교한 표이다. 인적오류의 원인을 분석할 수 있을 정도의 기법이라면 다음과 같은 성질을 갖고 있는 것이 바람직하다. 즉, 첫 번째 항목은 '시간적 경과의 표현'이다. '사고 발생의 과정을 시각적으로 표현할 수 있는가?'하는 것이다. 인간은 원래 입력 정보의 85% 이상을 눈에 의존한다고 할 만큼 시각적 동물이기 때문에, 사고 발생 과정을 시각적으로 보여 줄 수 있다면 인적오류의 상황을 파악하기 쉽고 그만큼 원인도 파악하기 쉬울 것이기 때문이다. 이러한 성질은 사고 다이나믹스(Accident Dynamics)나 근본원인분석(Root Cause Analysis), 변동수 분석(Variation Tree Analysis) 등의 기법이 뛰어나다.

두 번째 항목은 '사고 요인들 상호 관계를 어떻게 파악할 수 있는가?'이다. 현대적인 사고는 단순 원인에 의하여 발생하는 경우는 별로 없고, 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생하므로, 해당 요인들의 상호 관계를 복합적으로 이해하는 것이 바람직하다. 이런 특성은 FTA나 MORT같은 기법들이 우수하다. 세 번째 항목은 '분석 방법의 융통성'이다. 분석자의 목적과 수준에 따라 다양하고 차별화된 결과를 얻기 위해서는 분석 방법에 융통성이 있어야 한다. 사고 다이나믹스(Accident Dynamics), 근본원인분석(Root Cause Analysis), ETA, FTA 등의 분석 기법은 분석을 시작하는 지점은 어디인가, 분석을 하는 수준은 얼마만큼 정교한가 등에 따라 전혀 다른 결과를 얻을 만큼 융통성이 크다. 네번째 항목은 '사고 요인 적출의 포괄성'이다. 분석하고자 하는 사고의 원인을 모두 추출해 낼 수 있겠는가 하는 성질이다. 이것은 분석자가 시스템에 대하여 얼마나 잘 이해하고 있는가? 하는 관련 지식과 경험에 좌우되는 것이 보통인데, 천여 개 이상의 평가항목을 준비하고 있는 MORT 기법이 단연 우수하다. 다섯 번째 항목은 '분석 기술 학습의 용이성'이다. 분석 기법을 얼마나 쉽게 배울 수 있는가 하는 성질인데, 체크리스트나 특성 요인도, 혹은 사고 다이나믹스(Accident Dynamics) 등의 기법은 전문가가 아니라도 쉽게 배울 수 있어 활용도가 높다. 여섯 번째 항목은 '진정한 인적오류 원인을 추구할 수 있겠는가?'하는 성질이다. 인적오류는 사고를 초래한 인간의 행동이라고 볼 수도 있지만, 실제로 인적오류는 작업 방법과 환경 속에 내제된 여러 요인의 영향으로 초래된 결과로서의 인간의 행위 혹은 행위 누락이라고 이해해야 한다.

기존의 여러 기법들은 앞에서 살펴 본 바와 같이 가시적으로 확인할 수 있는 인간의 행위를 통해 사고 과정을 설명하므로, 인적오류의 진정한 원인을 찾는 데에는 적절치 못하다. 예를 들어, 사고 원인이 '안전 교육 미흡'이나 '작업자 불안전 행동'에 그치고 만다면 진정한 의미에서의 사고 원인을 규명하는 데에는 실패하고 있기 때문에 해당 사고가 재발할 가능성은 언제든 남아 있다. 따라서 '안전 교육 미흡'이나 '불안전 행동'의 원인을 더 파고 들어가 규명할 수 있는가의 여부를 살펴볼 필요가 있는데, FTA가 조금의 가능성을 갖고 있을 뿐 다른 기법들에서 그 가능성을 찾기란 쉽지 않다. 이러한 이유로 모든 안전 프로그램에 포함 된 다양한 종류의 사고 조사가 실제적으로 사고의 근본 원인, 특히 인적오류를 찾아내는데 문제가 있다. 많은 경우에 왜 조사를 하는지 그 목적조차 잘 이해되지 않는 경우가 많다. 사고 조사가 개인의 잘못을 들추어내어 비난하거나, 남의 흠을 끄집어내어 욕하는 것이 되곤 한다. 이렇게 해서는 사고의 진짜 원인을 확실하게 알아 낼 수 없고 문제의 효과적인 해결책을 찾아내는 일을 거의 할 수 없다. 목적을 올바르게 파악하고 있어도, 조사하는 방법이 서투른 사례도 흔히 있다. 이와 같은 문제가 발생하는 가장 큰 원인은 알아야 할 진짜 가치 있는 많은 것을 이해하지 못하고 있기 때문이다. 인적오류의 조사를 효과적으로 실시하면 정말 무엇이 일어났는가를 정확하게 알아낼 수 있다. 이러면 시정조치에 어느 정도 시간과 비용을 들이면 되는가를 결정하는데 중요한 두 가지 요인, 재발의 확률과 큰 손실의 가능성을 판정하는 재료가 얻어진다. 그리고 어떤 문제를 최소한으로 억제하거나 이것을 배제하기 위한 적절한 예방대책은 그 문제의 완벽한 해결로 이어지는 확실한 조사를 실시하여야만 세워지는 것이다. 사고이건 사건이건, 완전하게 제각기 고립된 사건이라고 하는 것은 거의 없다. 많은 경우 거기에는 일정한 경향이 분명히 있어 적절히 대처할 수 있다.

사고 원인 조사는 사고 요인간의 구조적 관계를 이해하고 시간 경과에 따른 사태 진전을 확인하여 사고의 과정을 재구성해 보고자 하는 것이다. 사고에 관련된 요인들은 무엇이며, 그 가운데 무엇과 무엇이 어떻게 사태의 진전에 영향을 미쳤는가를 파악함으로써 사고의 원인을 찾는 한편, 역으로 이 진전을 저지하거나 지연시키려면 어떤 노력을 하면 되겠는가를 자연스럽게 이해하려는 것이다. 그러므로 사고 원인 조사는 형식적으로 흐른다거나, 진정한 원인을 찾기 전에 적당한 선에서 생색만 내고 끝내서는 곤란하다.

6. Prevention of Human Errors

Petersen(1984)은 인적오류가 모든 사고 이면에 존재하는 근본 원인이라고 발표하였으면 앞에서 언급한 Heinrich (1959)는 모든 사고의 약 88%는 불안전 행동에 기인하며, 설계상의 과오까지 포함한다면 모든 사고의 98%는 원칙적으로 예방 가능하다고 하였다. 문제는 현재의 사고 조사 방법이나 안전관리 방법이 인적오류를 집중적으로 조명하고

있지 않다는데 있다. 이러한 이유로 많은 경영자나 안전 관리자들은 그 동안의 많은 노력에도 불구하고 산업 사고가 현장에서 아직도 많이 일어나고 있는 이유에 대해서는 뚜렷이 모르고 있으며 무엇이 산업 사고의 진정한 원인인지도 잘 모르고 있다. 우리는 사고의 전반적인 원인으로 설계 에러와 인간의 불안전 행동에 따른 오동작으로 분류된 인적오류나 불안전 장소 접근 등 관리적 원인의 인적오류를 어떻게 찾을 수 있는지에 대하여 방법을 제안한다.

앞에서 논의한 대로 인적오류란 시스템 설계 및 설치와 시스템 운용 및 폐기의 전 과정에서 정보처리과정이나 행동형성요인으로 인하여 생기는 에러를 말한다. 이러한 에러들은 해당 작업을 하는 인간의 능력과 작업이 요구하는 능력의 차이에서 비롯해 발생되며 이러한 문제점을 해결하는 데 경영진을 비롯한 관리자의 역할이 무척 중요하다. 이들의 역할은 다음과 같은 부분에서 특히 중요하다.

- 공정을 비롯한 여러 프로세스의 파악과 구별
- 이러한 프로세스들을 관리하고 운용하며 보전하는 데 필요한 자원의 제공
- 안전 작업에 중요한 프로세스들을 모니터하기 위한 피드백 시스템 구현

특히 21세기에 와서는 시스템의 대부분이 최첨단화되어 시설기기들을 운전, 보수하는 작업자들이나 관리 감독자들의 의사소통, 개개인의 특성에 따른 정보의 인지, 판단, 행동 과정에서 발생할 수 있는 인적오류의 잠재 위험은 도처에 잠재하고 있다.

특히, 일상적인 반복운전 작업이나 보수 작업은 개인의 특성에 따라 업무 수행 중 실수를 범할 가능성이 많고 이들 실수는 습관화되어 또 다른 중대 사고를 초래할 수 있다고 생각한다.

앞에서 논의된 바와 같이 법적 사고 보고 시에 이에 따라 직접 원인을 적는 보고양식이 사용되어 왔는데 이 양식도 현재의 사실과 작업자의 과실에 초점을 맞추고 있어 시스템 설계 및 설치와 경영자의 관리 문제나 안전 교육과 훈련의 문제 등의 근본적인 사고 원인은 찾기 힘들다. 또한 앞 절에서 설명한 사고 조사 기법을 쓰려해도 이 기법들이 일반적인 안전 관리자들이 사용하기에는 힘들므로 실제적으로 인적오류를 찾지 못하는 것이 일반적이다. 사고가 일어날 뻔한 아차 사고의 경우에는 이 문제는 더욱 심각하다. 이런 이유로 원인 분석이 안되어 예방이나 재발을 막지 못하므로 사고가 반복되곤 한다.

이러한 문제점을 해결하고자 이관석 외 4인(2008)은 시스템 설계 및 설치와 시스템 운용 및 폐기의 전 과정에서 인적오류의 가능성을 검토할 수 있고 사고가 발생했을 경우 원인을 찾을 수 있는 인적오류 통합 모델을 제시하였다. 이 모델은 시스템 설계 및 설치 단계와 시스템 운용 및 폐기 단계를 업무별로 나누어 검토할 수 있게 하였다. 가로축은 업무 별이고 세로축은 휴먼 에러가 발생되거나 발생될 수 있는 요인을 가르킨다.

인간공학적 접근 방법에 따르면, 인적오류는 많은 경우 시스템의 개발자, 설계자, 혹은 살치자의 에러에서부터 기인하며, 그것을 개선함으로써 인적오류를 예방할 수 있다고 생각한다. 이 과정을 체계적으로 고려할 수 있도록 도입된 것이 이 모델이다.

시스템 운용 및 폐기 단계는 인적오류의 발생 원인 중 사용자의 에러에 의해 사고가 생기는 데 인적오류의 발생 시점이 확인되면, 보다 근본적인 원인을 규명하기 위한 노력이 시작된다. 이 단계에서 가로축은 Figure 1에서 인적오류가 발생하는 데 관계된 설비나 기계, 도구를 가리킨다. 이 단계에서 가로축의 공정이 설비나 기계, 도구의 사용 과정이었다면, 시스템 설계 및 설치 단계에서는 가로축이 이들의 개발 과정이고 이 단계에서의 인적오류는 개발자, 설계자 혹은 설치자라는 점, 그리고 세로축의 정보처리과정의 주체는 설비, 기계, 도구 혹은 시스템의 개발자, 설계자, 혹은 설치자라는 점이 다를 뿐이다.

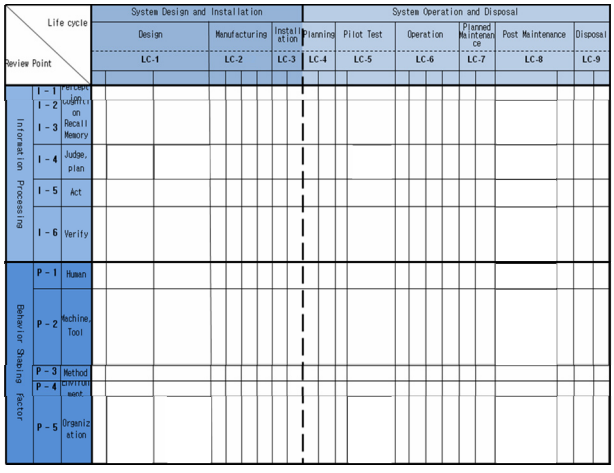

Figure 1. A comprehensive model to detect human errors (Lee et al., 2008)

인적오류의 발생 원인 중 사용자의 에러는 제품생산/서비스를 위한 설비의 가동을 위한 계획에서부터 노후화되어 폐기될 때까지의 과정 중에서 발생한다. 이 단계를 '업무계획 – 시운전 – 운전 – 계획점검 – 사후보전 폐기로 나타냈다.

이 모델의 세로축에는 인적오류가 발생하게 된 요인을 가리킨다. 인적오류가 발생하게 되는 요인으로는 우선 순수하

게 개인적인 요인에 의한 것이 있으며, 다른 한편으로는 이와 상관없이 기업내 조직이나 문화에 의한 것이 있을 수 있다. 그림에서 세로축 위쪽에 표시된 작업자, 관리자, 설계자, 설치자의 정보처리과정은 개인적인 요인을 설명하기 위한 것이며, 세로축 아래쪽에 표시된 관리 조직은 기업의 조직 및 문화를 나타내기 위한 것이다.

따라서, 만약 산업기계를 도입하여 업무계획, 시운전, 운전, 계획점검, 사후보전, 폐기 등으로 이루어지는 과정 중 어딘가에서 인적오류로 인한 산업 안전상의 사고가 발생하였을 경우, 해당 작업자의 정보처리과정 중 어디에서 발생하였는가는 세로축의 인간 정보처리과정을 통하여 파악할 수 있으며, 경우에 따라서 그 근본적인 원인은 행동형성요인에 표시된다.

그러나, 본 연구가 위에서 설명한 바와 같이 산업현장에서 활용될 것을 지향하였기 때문에 단순하게 표현하였다.

본 연구에서 개발된 휴먼 에러 분석 모델의 유용성을 검증하기 위하여 전형적인 산업재해(Maeda, 1988, Lee et al. 2008)를 하나 예로 들어, 분석 과정을 설명하기로 한다.

1980년대 초, 외국의 어떤 기업의 자동차 기어 마무리 가공 라인에서 기어 가공기와 산업용 로봇에 흉부를 협착당하여 작업자가 압사한 사망 사고가 발생하였다. 사고 당시 상황은 다음과 같았다.

4대의 연삭 가공기를 대상으로 프레임 착탈용 로봇이 한 대 설치되어 있었다. 이 로봇의 작업은 4번 연삭 가공기에서 마무리가 끝난 프레임을 취출하여 반출 컨베이어에 실은 후, 그 다음에 3번 가공기로부터 프레임을 취출하여 4번 가공기에 셋트하고, 다시 차례로 2번 가공기로부터 프레임을 취출하여 3번 가공기에 셋트하며, 1번 가공기로부터 프레임을 취출하여 2번에 셋트하고, 마지막으로 반출 컨베이어로부터 가공재료를 잡아 1번 가공기에 셋트하는 식으로 수행되었다.

이 경우, 장애가 발생한 경우의 올바른 표준 작업 수순은 다음과 같았다.

① 로봇 조작반의 스위치를 OFF로 한다.
② 체인을 벗겨낸다(인터록이 OFF 상태로 된다).
③ 장애 발생 가공기에 다가가, 기계 정면 오른쪽의 운전 스위치를 수동으로 전환하고 또한 정면 왼쪽의 연동 스위치를 수동으로 전환하여 로봇과 가공기와의 연동을 끊는다.
④ 가공기 장애 원인을 제거한다.
⑤ 조정 종료 후, 두 개의 스위치를 수동으로부터 자동으로 바꾼다.
⑥ 로봇의 가능범위 밖으로 나와 체인을 걸고(이 때, 인터록이 ON 상태로 된다).
⑦ 로봇 조작반의 스위치를 ON으로 한다.

그런데, 현장 조사에 따르면 이 재해 사고의 경우, ①과 ②의 수순이 생략되었고, 또한 1번 가공기 근처의 로프가 벗겨져 있었다고 한다. 이 상황들로부터 재해 사고의 원인을 분석하자면 다음과 같다. 기기 장애를 나타내는 점멸 경보등을 발견한 작업자는 ①과 ②의 수순을 생략하고 1번 가공기 가까이의 로프를 뛰어 넘어 1번 가공기에 다가가(서고 후 로프가 벗겨져 있는 것을 발견), 두 개의 스위치를 수동으로 전환하여 기계를 조정하고, 그 후 스위치를 자동으로 전환하여 조정의 상황을 점검하고 있었다. 그 때, 체인을 벗겨 놓지 않았기 때문에 로봇과의 연동이 발생하여, 작업자의 배후로부터 로봇의 팔이 그를 가공기 방향으로 눌러버렸다

이와 같은 사항을 종합하여 신모델에 의한 사고 원인 사례를 정리하면 Figure 2와 같다.

절차 1: 작업자의 에러가 '시스템 운용 및 폐기' 과정 중에 기기 장애를 처리하려다 발생하였으므로 수명 주기 상으로는 단계 1에 해당하는 모델의 오른쪽에서 '사후보전' 단계 열에 해당하며, 작업자 정보처리과정에서는 '회상/기억', '판단/계획', '행동', '사후확인' 모두에 걸쳐 에러가 있었으므로 해당 열을 찾아 각각의 란에 관련사항을 기입한다.

절차 2: 에러 행위자의 행동에 영향을 준 행동형성요인들을 '사후보전' 열의 아래쪽 행에서 찾아 해당사항을 기입한다. 이때 해당되는 요인들을 가능한 한 많이 검토하는 것이 휴먼 에러를 예방할 수 있는 좋은 방법이다.

절차 3: 근본적으로 로봇 시스템의 설계 및 구조와 관련된 관계자들의 에러가 있으므로 '사후보전' 이전의 '설계'와 '시운전' 단계에서 찾아 관계자들의 에러 요인을 기입한다. 이때에도 역시 정보처리과정을 기본으로 판단한다.

절차 4: '설계'와 '시운전' 단계에서 관계자들이 시스템의 미흡함을 발견하지 못했던 것은 어떤 이유에서였는지, 영향 요인들을 '행동형성요인' 열에서 찾아 해당 란에 각각 기입한다. 이때에도 절차 2에서와 마찬가지로 가능한 한 많은 기입하는 것이 바람직하다.

이러한 분석 결과에 따르면 그림에서 보는 바와 같이 휴먼 에러에 영향을 미치는 요인들을 시 계열적으로 파악할 수 있는 장점도 있고, 추론 과정의 단순함도 현장에서 사용하기에 적합하다고 판단된다. 다만, 현장의 작업자들이 행동형성요인의 다양성을 이해하고 활용하도록 지도하는 데에는 다소 시간이 걸릴 것이라고 예상되지만, 지침서를 개발하여 교육한다면 길지 않은 시간에 수용할 수 있으리라 생각된다.

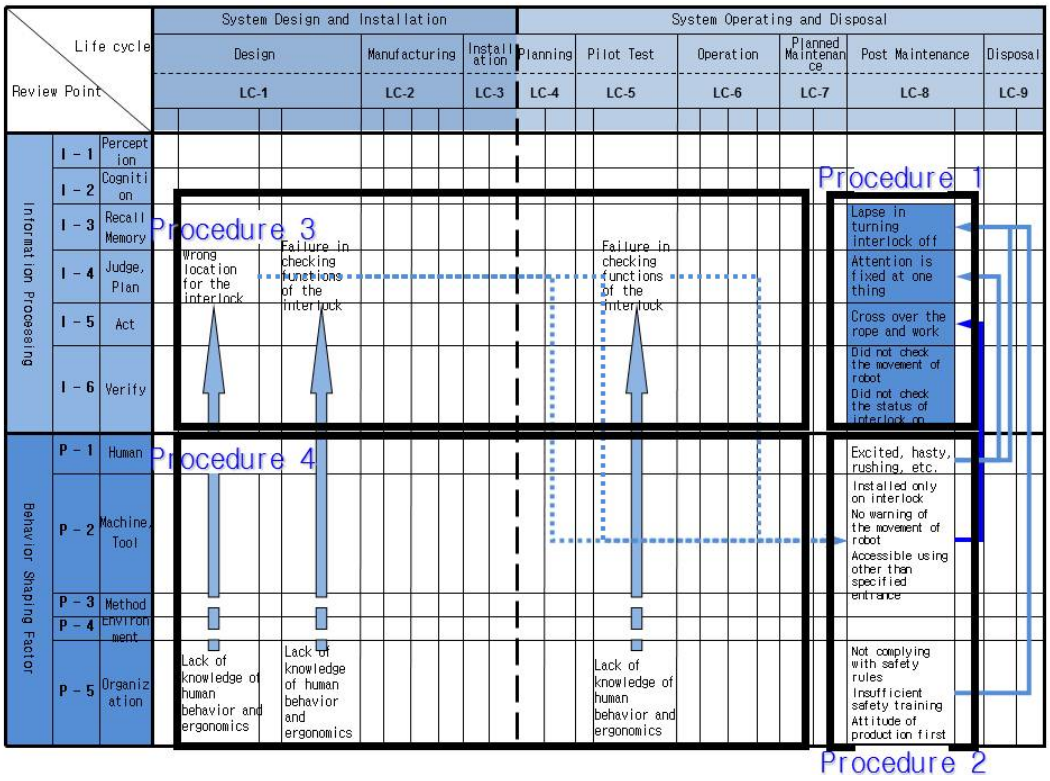

Figure 2. An example of using a comprehensive model(Lee et al., 2008)

7. Conclusion

작업에 관련된 인적오류의 행동이 일으키는 사회적인 사고가 여러 산업에서 발생하고 있다. 병원에서의 환자오인사고, 지하철 화재사고, 가스폭발사고, 타워 크레인 붕궤사고 등 발생빈도는 낮지만, 손해가 큰 중대사고 들이다.

사고는 계속 일어나고 있다. 과거에는 전기, 기계, 화학 등의 기술적인 결함으로 하드웨어에 의한 사고가 많이 일어났지만 이러한 결함들은 과학의 발달로 설비가 개선되고 관련 표준이나 지침서 등이 개발 보급됨에 따라 이러한 요인에 의한 사고는 많이 줄어 들었다. 하지만 어느 정도 줄어든 사고율은 줄어들지 못하고 있다. 이러한 원인은 하드웨어에 의한 사고는 줄었지만 인적오류에 의한 사고는 줄어들지 않았기 때문이다. 아직 우리나라에서는 인적오류에 대한 지식과 대처법이 많이 알려지지 않았다. 현장의 안전 관리자도 인적오류는 새로운 기법이며, 사고의 일부 원인이라고 생각하고 있기 때문에 안전사고가 근본적으로 없애지 못하는 이유가 아닌가 생각한다.

본 논문에서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 인적오류와 사고의 관계성을 논의하였으며 인적오류를 예방하거나 반복적인 사고를 방지하기 위하여 인적오류를 파악하기 위한 모델을 제안하였다. 이 모델은 생산현장에서 발생하는 직접적인 인적오류의 분석을 파악하는 데에도 도움이 되며, 보다 근본적인 요인으로서 소홀히 취급된 시스템의 설계 과정이나 인간공학적 요인들을 파악하는 데에도 도움이 된다. 산업현장이나 사고가 많이 일어나는 데는 인적오류의 중요성을 파악하고 예방할 수 있도록 노력해야 할 것이다.

또한 인적오류는 현장뿐만 아니라 사무실에서도 많이 일어난다. 전화교환원이나 콜센터에서의 인적오류도 매우 중요하다. 이 인적오류는 서비스의 품질을 떨어뜨리고 고객불만족을 만들어 낸다. 이 논문에서 이 부분은 다루지 못했다. 하지만 이 논문에서 제시한 모델은 이용할 수 있으리라고 믿으며 앞으로 이 방면에 맞는 구체적인 모델이 필요하다고 본다.

References

Haga(芳賀繁), リスク·ホメオスタシス說-論爭史の解說と展望, Vol.9, No.1, pp.1-10, 1993.

Hayashi(林喜男), 人間工學, 日本規格協會, 1995.
Heinrich, H. W., Petersen, D. and Roos, N., Industrial Accident Prevention, 5th ed., McGraw-Hill, 1959.
Kaiho(海保博之), 田辺文也, ヒュ-マン·エラ-, 新曜社, 1996.
Kasahara(笠原秀樹), ストップ·ザ·ヒューマン·エラー100, 鹿島出版會, p.140, 1996.
Kletz, T. A., An Engineer's View of Human Error, 3rd ed., Institution of Chemical Engineers, 2001.
Lee, K., Lim, H., Chang, S., Rhie, K. and Kim, Y., "Development of a Comprehensive Model for Human Error Prevention in Industrial Field", J. of Ergonomics Society of Korea, 27(1), 37-43, 2008.
Maeda(正田亘), ヒュ-マン·エラ-, エイデル研究所, 1988.
Meister, D., Methods of Predicting Human Reliability in Man-Machine Systems, In Guidelines or Preventing Human Error in Process Safety, Center for Chemical Process Safety of the AICE, New York, 1966.
Reason, J., Human Error, Cambridge University Press, 1990.
Sanders, M. S. and McCormick, E. J., Human Factors in Engineering and Design, 7th ed., McGraw-Hill, 1992.
Siomi(鹽見弘), ヒューマン·エラー, 日科技連, p.270 1996.
Tanimura(谷村富男), ヒューマン·エラーの分析と防止, 日科技連,, p.140, 1995.

Author listings

Kwan Suk Lee: kslee@hongik.ac.kr
Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, The University of Michigan
Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Hongik University
Areas of interest: Ergonomics, Musculoskeletal Disorder, Biomechanics, Quality Management

Young Kwan Lee: yklee@torayamk.com
Highest degree: MS, Department of International Business, Korea University
Position title: CEO, Toray Advance d Materials Korea, Inc.
Areas of interest: Production Management, Chemical Engineering, Safety, Human Error, Quality Management

Date Received : 2011-01-31
Date Revised : 2011-02-11
Date Accepted : 2011-02-15