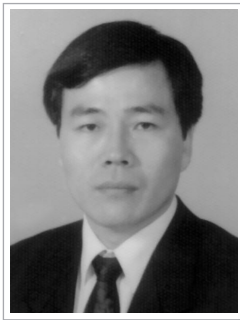


# 가스 산업의 인적 오류 분석 및 예방 대책

박교식 | 한국가스안전공사 공정연구팀장\*



## 서론

어떤 집단의 집단 무의식 혹은 집단 지능을 얘기할 때 ‘101번째 원숭이’라는 표현을 흔히 쓴다. 어떤 영국의 동물학자가 큐슈 지방에서 원숭이를 연구했는데, 처음에 어떤 한 마리가 고구마를 물에 씻어 먹었다. 그걸 보고 주변의 원숭이들이 고구마를 씻어 먹게 되고 점점 물에 씻어 먹는 숫자가 늘어나더니, 100마리가 됐을 때, 저 멀리 홋카이도에 사는 원숭이도 고구마를 물에 씻어먹기 시작했다고 한다.

우리나라에서 인적 오류가 본격적인 관심을 본격적으로 끈 것은 그 역사가 그리 오래되지 않는다.

더군다나 가스 산업에서는 외국에서도 우주 항공, 군사 및 원자력 분야 등에서보다 다소 늦게 본격적인 연구가 시작되었고, 우리나라도 별로 이에 다르지 않다.

2007년 5월에 열린 원자력안전포럼을 계기로 관련 산업에서는 물론 연구계에서도 인적 오류에 관한 주제가 심층 분석·연구되는 기폭제가 되었으면 하는 바람이다.

우리나라의 가스 산업은 크게 석유화학·정유 산업으로 대표되는 고압가스 산업, 도시가스 산업 및 액화석유가스(LPG) 산업 등으로 구분한다.

가스와 유류는 폭발성 및 인화성이 커서 위험성이 높아 한국가스안전공사를 비롯한 관련 기관에서 시설 및 운영에 대한 안전 관리를 수행하고 있다. 1980년부터 2002년까지 지난 20여 년간 발생한 가스 사고 2,900건 중 1,341건이 취급부주의로 인한 사고, 즉 인적 오류(Human Error)에 의한 사고로 나타났고, 이는 전체 사고 발생 비율의 46%에 달하고 있다.

\* 서울대학교 화학공학과, 한국과학기술원(KAIST) 화학공학과 박사, 미국 텍사스 A&M 대학 초빙연구원 / 가스학회 이사, 안전실천시민연합 간사, 국가지정연구실 책임자 역임, 세계장차산업안전학회 사무국장(2007)

<표 1> 석유화학, 정유업체 및 플랜트 현황

구분	정유	석유화학	계
플랜트 수	63	442	505
업체 수	5	103	108

\* 비료 및 철강 플랜트는 석유화학에 포함

더욱이 인적 오류에 의한 사고는 단순한 설비 손상이나, 고장으로 인한 사고보다 대형화되고 있다는 데 보다 큰 문제점이 있다.

최근 들어 작업자 실수에 의한 대형 가스 사고도 증가하고 있는데, 가까이는 2003년 12월에 발생했던 충북 옥천군 LPG 충전소 가스 폭발 사고, 2004년 9월 울산의 모 합성수지 공장 폭발 사고 등에서부터 1994년 12월에 발생한 아현동 도시가스 정압 기지 폭발 사고도 이러한 인적 오류로 발생한 대형 가스 사고이다.

인적 오류는 인간이기에 범할 수 있는 깜빡 실수(Careless miss)라고 할 수 있는데 인간이 범하는 과오, 착각, 망각, 피로, 발작 등의 원인으로 발생한다. 인적 오류에 의한 사고는 시스템이 거대 복잡할수록 그 영향이나 손실이 크다.

공학적으로는 인적 오류(Human error)를 ‘허용 범위를 벗어난 일련의 행동’으로 규정하고 있다.

구체적으로 설명하면, 시스템의 성능, 안전, 효율을 저하시키거나 감소시킬 잠재력을 갖고 있는 부적절하거나 원하지 않는 인간의 결정 또는 행동으로 허용 범위를 벗어난 일련의 인간 동작이다.

본문에서는 석유 화학 산업과 도시가스 및 LPG 충전소의 이러한 인적 오류의 원인, 사고 사례 및 대응책과 인적 오류를 감소시키기 위한 연구 개발, 기술기증 및 저감 대책 등에 대해 살펴보기로 한다.

### 관련 산업 현황

2006년 말 기준으로 우리나라 정유사는 5개 업체 63개 플랜트이며 울산, 여수 대신, 그리고 인천에 위

<표 2> 도시가스와 LPG산업현황

구분	도시가스	LPG
총사용량	17,674,018(천m <sup>3</sup> )	8,168(천톤)
가구수	7,467,564	12,116,369
사업자	33개소*	337개소**

\* 도시가스 사업자수, \*\* LPG 충전소수

치하고 있다.

석유화학은 103개사 442개 플랜트로 2006년 말 에틸렌 생산이 약 596천톤으로 세계 5위의 규모이다.

도시가스의 총사용량은 약 177억 톤으로 33개사가 공급하고 있으며 LPG 충전소는 337개소이다.

### 인적 오류로 인한 사고 사례

#### 1. LPG 충전소 폭발 사고

2003년 12월 15일, 충북 옥천의 한 LPG 충전소에서 발생한 가스 폭발 사고는 LPG 탱크로리에서 저장 탱크로 가스를 충전하던 중 발생한 사고이다.

탱크로리 운전자가 프로판과 부탄 저장 탱크 충전라인을 혼동하여 프로판을 부탄 저장 탱크에 충전한 후 뒤늦게 이를 인지하고 부탄 탱크에 프로판을 다시 회수하기 위해 프로판 탱크 인입 배관에 설치된 역류 방지 밸브를 역류 방지 밸브 후단에 설치된 차단 밸브를 잠그지 않은 채 강제로 분해하려다 가스가 다량 누출되면서 접화원에 의해 폭발한 사고이다.

지하 격납 구조의 부탄 가스 저장 탱크에서 프로판 가스가 누출되었고, 이는 부탄 가스 저장 탱크실과 지하 기계실로 확산되면서 지상으로부터 약143m까지 확산된 것이 화재의 흔적으로 남아 있다.

이는 원인의 수준으로 볼 때 작업자가 배관에 표시되어 있는 가스 명칭이나 흐름의 방향 등을 제대로 확인하지 않은 인지 확인의 오류를 범하였고, 잘못 충전된 후에는 역류 방지 밸브를 제거하여 가스를 회수하려는 판단의 오류와 분해 도중 부주의로 인해 조작의 오류까지 복합적인 오류를 범하게 된 것이다.

심리적인 측면에서는 탱크로리 운전자



<그림 1> 충북 옥천 LPG 충전소 가스 폭발 사고 현장



<그림 2> 사고 원인이 된 역류 방지 밸브

가 충전소 안전 관리자에게 정확한 작업 지시를 받지 않고 작업을 하였다. 또한 배관에 표시되어 있는 가스 명칭 및 흐름 표시를 확인하지 않는 생략 오류를 범하였고, 역류 방지 밸브를 임의로 분해 제거하려한 과잉 행동 오류를 범한 것이다.

인간 행동 과정 측면에서는 감지 및 인식 오류, 정보 처리 오류 및 의사결정 오류를 범했다.

## 2. 도시가스 제조 업소 폭발 사고

1992년 2월 23일, 광주의 한 도시가스 제조 회사에서 LP 가스 운송용 트레일러가 회사에 진입 중 경비원

이 트레일러에서 이상을 발견하고 회사 진입을 중단시키자 트레일러 운전자가 다른 견인차로 교체 중 트레일러의 브레이크가 풀린 상태에서 트레일러가 경사진 내리막 길로 미끄러져 30톤의 LPG 저장 탱크와 충돌하여 가스가 누출되고 폭발했다. 이 사고로 15명이 부상하고 재산 피해 20억원이 발생하였다.

사고의 원인은 트레일러 운전자의 차량 취급 부주의와 저장 탱크와 마주보이는 경사진 비탈 길에 차량 진입로가 있음에도 저장 탱크에 보호 구조물을 설치하지 않는 등 복합적인 요인이 작용했다.

## 3. 아현동 도시가스 정압 기지 도시가스 폭발 사고

1994년 12월 7일, 한국가스공사 아현 정압 기지에서 한국가스기술공업(주) 직원과 도시가스사 직원들의 입회하에 계량기 보증 작업을 하고 있었다.

이 작업을 위해 계량 라인 양측에 설치된 전동 밸브(MOV)를 잠그고, 도시가스 공급 계량 라인에 설치된 퍼지 밸브를 열고 배관 내 잔가스를 옥외로 방출하여야 하나, 이를 무시하고 밸브실 내로 방출 작업을 하였다.

이 과정에서 계량 라인 출구 측 전동 밸브(MOV)가 작동 불량으로 완전히 폐쇄되지 않은 틈 사이로 다량의 가스가 유출되어 원인 불명의 점화원에 의해 인화 폭발했다.

사고 원인은 작업자가 작업 절차서에 따른 사전 준비 미흡 및 안전 관리 감독자 현장 미배치, 이 작업에 대한 정비 운영 통제 부서 간 업무 협조 미흡, 위험 작업에 대한 관리 감독 불철저, 사고 작업 관련 안전 작업 승인서 운영 및 확인 소홀, 정비 보수 인력 부족 및 기술 능력 부족 등으로 대부분 인적 오류가 그 원인이었다.

#### 4. 부천 LPG 충전소 폭발 사고

1998년 9월 11일, 부천의 한 LPG 충전소에서 안전 관리 책임자가 이·충전 작업을 비운 사이에 탱크로리 운전자가 임의로 부탄 탱크로리(39.9톤)로 이·충전 작업을 하기 위해 액체 라인과 기계 라인의 로리 호스 커플링을 체결한 후에 가스 압축기 전원 스위치를 작동시키고, 사무실에서 안전관리자와 함께 있던 중 얼마 후 다량의 액체 가스가 누출되고 화재가 발생하여 탱크로리가 폭발하는 등 인명 및 재산 피해가 발생한 사고이다.

이 폭발 사고로 사망 1명, 중상 6명, 경상 77명의 인명 피해와 부동산 95억7천만원의 재산 피해를 입었다.

이 사고는 인적 오류 최소화가 사고 예방에 얼마나 중요한가를 보여주는 사고였다.

사고 원인은 탱크로리 이·충전 작업을 하기 위하여 로리 호스 커플링을 체결한 후 가스 누출 유무를 확인하지 않고 가스 압축기를 작동시켜 불완전하게 체결된 충전 호스 커플링이 이탈 파손되면서 다량의 액체 가스가 누출됨과 동시에 연무 형태로 확산되던 중 외부로부터 미상의 점화원에 착화된 후 화재가 발생되어 탱크로리 2대가 폭발하여 비등 액체 팽창 증기(BLEVE)가 발생한 사고이다.

이 사고는 조작 오류 및 보전 오류가 원인이 되어 발생한 인적 오류로 인한 사고이다.

#### 5. 울산 합성수지 공장 수소 압축기 폭발 사고

2004년 9월 20일, 울산의 한 합성수지 공장에서 수소 압축기 폭발 사고가 발생하였다. 사고 발생은 #1PP Plant 가동 중 수소 압축기를 교체하기 위해 (PPC-C3702C로 교체하던 중) 압축기 전기 패널을 조작하던 중 폭발 사고가 발생하였다. 이 사고로 사망 2명(교대반장과 운전원)이 발생하였고, 수소 압축기의



<그림 3> 광주 한 도시가스 회사 가스 폭발 사고 현장



<그림 4> 서울 아현 정압 기지 도시가스 폭발 사고 현장

전기 컨트롤 패널이 파손되었다.

사고 원인은 수소 압축기의 수리 보수 등을 위해 설치된 질소 퍼지 배관(3/4")으로 수소 가스가 역류하여 전기 패널 내로 유입되어 폭발이 발생하였다. 이 또한 작업 표준 절차를 준수하지 않은 운전원의 미숙함에 따른 인적오류 사고의 한 예이다.

#### 인적 오류 저감을 위한 연구 개발

한국가스안전공사에서는 가스 산업의 예방적 안전 관리를 위하여 사고의 원인을 설비 결함, 인적 오류 및 이들의 복합적인 원인으로 두고 인적 오류의 정량화를 위한 프로그램을 개발하였다.



<그림 5> 부천 LPG 충전소 폭발 사고



<그림 6> 울산 합성수지 공장의 파손된 조작 패널



<그림 7> 울산 합성수지 파편 비산 흔적

연구 결과로서 개발된 인적 신뢰도 분석 프로그램은 미국 원자력규제위원회(NRC, Nuclear Regulatory Commission)에서 개발하여 정량적 위험성 평가용으로 사용하고 있는 ASEP HRA 방법론을 기본으로 화학 공정 산업의 직무 특성 및 인적 오류 요인의 분류 체계를 분석·반영하여, 인적 오류율의 예측 산정 기능의 정량적 평가는 물론 인적 오류 요인에 대한 정성적 평가도 가능하도록 구성하였다.

이러한 구성은 여전히 불확실성이 존재하는 인적 오류율의 산정을 통해 상대적인 위험도를 파악하는 데 그쳤던 기존의 인적 오류율 계산 프로그램과 달리 인적 오류율의 정량적인 평가와 더불어 인적 오류 사고에 대한 데이터 축적을 통하여 향후 수행 영향 인자 값의 플랜트 환경에 맞는 변경을 통해 인적 오류율 산정의 신뢰도를 제고할 수 있다.

또한 인적 오류의 발생과 관련한 직무 관리 시스템, 작업자 특성, 시설 및 기기, 안전 문화 & 작업 환경 등을 포함하는 전반적인 작업 상황을 평가하여 인간 오류의 발생을 예측 분석하는 데에도 활용할 수 있어 인적 오류 사고의 예방 및 대책을 강구하는 효율을 극대화시킬 수 있는 매우 큰 의미가 있다.

모든 인간의 행위는 주어진 상황 혹은 조건하에서 수행되며, 인적 성능(Human Performance)은 이러한 주어진 상황의 영향을 받게 되어 있다.

인적 신뢰도 분석 방법에서는 인적 성능에 미치는 이러한 직무 상황을 몇 개 혹은 다수의 수행 영향 인자(PIF, Performance Influencing Factor)를 통해서 표현하고 있다. 즉, 수행 영향 인자는 인간이 처한 전반적인 작업 상황 혹은 조건을 나타낸다.

이러한 인자들은 초기 인적 신뢰도 분석 방법들에서는 주로 인간 오류 확률을 얻어내는 데 사용되어 왔으나, 현재 개발되고 있는 방법들에서

는 인간오류 확률의 계산뿐만 아니라 인적 오류의 발생과 관련한 기술적인 요소, 환경적인 요소, 조직적인 요소 등을 포함하는 전반적인 작업 상황을 평가하여 인간 오류의 발생을 예측 분석하는 데에도 활용할 목적으로 분류 체계를 개발하고 있는 추세이다.

일반적으로 수행 영향 인자 분류 체계는 그 특성상 적용 분야 및 사용 목적에 적합한 형태로 개발되어진다.

우주, 항공, 원자력, 화학 공정 등 여러 분야에서 그동안 개발된 인적 신뢰도 분석 방법들에서도 방법들 나름대로 다양한 수행 영향 인자 분류 체계를 사용하고 있는데, 이러한 기존의 수행 영향 인자 분류 체계에는 몇 가지 중요한 문제점을 가지고 있다.

첫째는 몇몇 인간 신뢰도 분석 방법들에서는 데이터의 부족 등을 이유로 인적 오류에 영향을 주는 중요한 수행 영향 인자들을 누락한 채 제한된 수행 영향 인자들만을 고려하고 있다.

이로 인해 인적 오류가 부적절하게 평가되어 전체 시스템의 안전성 평가 중에서 인적 오류의 기여 정도가 실제와는 다른 결과를 산출할 수 있고, 또한 중요한 인적 오류 감소 방안을 누락할 수 있다.

둘째는 수행 영향 인자들에 대한 구체적인 정의 및 평가 내용이 결여되어 있거나 불분명하여서 각 인자들의 평가시 평가자들이 주관적인 기준으로 평가하게 되어 평가자들 간에 평가 내용과 결과에 있어서 비일관성을 유발할 수 있다.

인적 오류 제어 방법은 화학 공정 산업의 대형 사고로 인한 피해를 예방하기 위하여 공정을 제어하고 있는 각종 측정 장치 또는 점검 자료로부터 입력되는 자료를 분석하여 시스템 중에 어느 요소가 결함이 있는지 인지하고, 인지된 결함 요소가 사고 발단의 원인이 되어 중대 사고로 연계될 가능성이 있는지를 시스템에 대한 결함 수목도 분석, 잠재 위험 및 운전성 분석, 고장 모드 및 영향 분석, 원인 결과 분석 등의 자료를 근거로 하여 판단하고, 중대 사고로 연계될 가능성이 있는 결함은 상황을 경고하여 시스템 운전원이 현재 시스템의 위험한 상황을 인지 할 수 있도록 하고, 시스

템의 결함요소와 연계된 인적 오류 유발 요소를 제어하여 주기 위하여 작업의 집중력 감소에 대한 분위기 변경 또는 운전원이 경험하여 보지 못한 비상 사태 발생에 대한 처리 절차를 상기시켜주는 등의 수행 영향 인자를 관리하고, 결함요소가 수리되었을 경우 정상시의 관리 시스템으로 복귀하고, 만약 결함 요소가 아직 수리가 되어 있지 않을 경우 단순히 인적 오류에 영향을 미치는 수행 영향 인자를 변경시킴으로써 위험을 수용할 수 있을 정도로 감소시키기 어려운 경우에는 제 3자에 의한 작업 과정의 점검을 추가한다든지 작업에 대한 스트레스 정도를 감소시키기 위하여 업무를 일부 분산한다든지 등의 작업 조건 변경을 통하여 인적 오류를 더욱 감소시키는 일련의 과정을 거쳐 기존의 화학 공정 산업의 위험을 상당히 감소시킬 수 있다.

따라서 기존의 화학 공정 산업에 안전성을 향상시키기 위하여 새로운 안전 장치를 추가한다든지 하는 추가 비용을 투자하지 않고 사람에게 의하여 발생할 수 있는 오류를 저감시키기 위한 인적 오류 제어로 시스템의 총체적인 위험을 효율적으로 관리할 수 있다.

수행 영향 인자들은 크게 4개의 그룹으로 나눌 수 있고 그에 따른 세부 인자들을 분류하면 <표 3>과 같다.

- 직무 관리 시스템 : 작업 절차서 및 작업 수행 중 요구되는 직무의 특성과 관련된 인자들
- 작업자 특성 : 작업자 개인의 특성 및 작업 능력 등과 관련된 인자들
- 시설 및 기기 : 작업이 이루어지는 작업장에 설치된 시설의 설계 오류 및 기기들의 정상 작동 여부
- 안전문화 & 작업환경 : 팀워크 및 작업자간의 의사소통, 안전 문화 등과 관련된 인자들

주요 수행 영향 인자 선정은 직무와 공정 조건에 따라서 변하게 된다. 예를 들어 화학 플랜트의 비상 직무 상황에서의 직무 상황의 특성을 기술하고 이것을 바탕으로 인적 오류 및 인적 성능에 영향을 주는 주요 수행 영향 인자를 선정할 수 있다.

비상 직무 상황에서 작업자에게 요구되는 직무의

특성을 간략히 기술하면 다음과 같다.

첫째, 비상 직무 상황에서 작업자의 직무는 관찰, 정보 수집 등과 같이 단순한 행위 수준뿐 아니라 인지적인 기능을 요구하는 직무들로 구성된다. 때문에 이러한 직무들에는 운전원의 훈련과 경험에 바탕을 둔 지식과 기술이 중요한 요소가 되며, 적절한 정보의 제공과 절차서 등이 직무 수행의 성공에 중요한 기여를 할 것이다.

둘째, 비상 직무시에 현장은 시간에 따라 시스템의 특성이 변하는 유동적인 상황이 발생할 수 있으며, 여러 사건들이 동시 다발하는 복잡한 상황이 전개될 수 있다. 그러므로 유동적인 상황에서 작업자에게 요구되는 시간의 특성 등이 인적 성능에 중요한 영향을 미친다.

셋째, 비상 직무시는 정상 상태시와 같은 단순한 작업자 개인의 직무 수행을 넘어서 팀 내 외부간의 협력과 조직의 정책 및 빠른 의사 결정이 요구된다. 때문에 의사 결정의 체계, 조직의 정책, 안전 문화 등이 중요한 영향을 미칠 것이다.

넷째, 비상 직무시는 열악한 작업 환경 등의 발생이 가능하며 이러한 환경 특성이 작업 수행의 성공 여부에 영향을 끼칠 수 있다.

이에 따라 수행 영향 인자의 주요 선정 요건으로 요구되는 사항은 다음과 같다.

첫째, 비상 직무 상황에 발생할 수 있는 인적 오류에 영향을 미치는 모든 중요한 상황 인자들을 누락시키지 않도록 선정한다.

둘째, 인자들 간에 의미가 중복되지 않도록 선정한다.

셋째, 오류 분석에 실제 반영 가능하며 평가 가능한 인자들을 선정한다.

위와 같은 방법에 의하여 선정된 주요 수행 영향 인자를 인적 오류 제어 시스템에 활용하여 시스템의 안전성을 향상시킬 수 있다.

화학 공정 산업의 안전 관리는 사고를 방지하기 위한 근원적 차원의 접근이 필요하고, 점점 첨단화되어 가는 산업 시설에 대하여 인적 오류를 배제한 안전 관리는 한계에 직면하고 또한 경쟁력을 갖춘 기업으

<표 3> 수행영향인자 분류체계

직무관리시스템	작업자 특성	시설 및 기기	안전문화&작업환경
<b>작업절차서</b> 절차서의 설명 수준 절차서 지시의 명확성 절차서 활용도 동시작업 유무 <b>작업특성</b> 작업의 특징 작업의 친밀도 작업의 반복성 작업의 위험성 작업의 복잡도 작업상황의 심각성 시간 긴급성 상위조직 의사결정 필요여부 교육훈련과 실제작업의 일치 여부 보조 장비 사용 필요 여부	<b>인지능력</b> 해당 직무에 대한 교육 · 훈련 수준 사전조치 및 사고이력 정보속지 해당 직무 작업경험 유무 <b>육체적/정신적 요소</b> 작업시 집중 여부 나이 작업시 시력/청력장애 여부 업무에 대한 부담감 질병치료를 위한 약물 복용 여부 <b>개인 및 사회적 특성</b> 입사경력 작업시간 스트레스 수준	<b>설계</b> 제어/디스플레이 적절여부 부적절한 지시계 여부 자동화 수준 적절 여부 <b>시스템</b> 에러감지시스템적절여부 에러복구시스템적절여부 유지보수체계적절성 일상 및 수시점검 활동 적정성	<b>물리적 작업 상태</b> 소음, 조도, 온도 등의 적절여부 보호 장구의 적절성 여부 작업장의 정리정돈 상태 작업 공간의 안전성 여부 작업도구의 적절성 여부 환기상태 <b>팀웍</b> 지시전달 정확성 여부 역할 및 업무에 대한 충분한 설명 작업분배의 적절성

<표 4> 가스의 유통 단계별 인적 오류 방지 기준 예

가스의 유통 단계	인적 오류 방지 기준
가스 제조 저장 판매 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 용기 등의 표시</li> <li>- 사업소의 경계 표지 및 경계책</li> <li>- 독성 가스의 식별 조치 및 위험 표시</li> <li>- 긴급 차단 장치</li> </ul>
가스 제조 저장 판매 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스 설비의 점검 · 수리 · 청소 및 철거 요령</li> <li>- 충전 용기의 넘어짐 등에 의한 충격 및 밸브 등의 손상을 방지하는 조치</li> <li>- 밸브 등의 조작에 관한 적절한 조치</li> <li>- 배관의 보호판</li> </ul>
가스운반시설 및 운반 과정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경계 표지</li> <li>- 독성 가스의 식별 조치 및 위험 표시</li> <li>- 고압 가스 운반 기준</li> </ul>
가스 저장 소비 시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사업소의 경계 표지 및 경계책</li> <li>- 독성 가스의 식별 조치 및 위험 표시</li> <li>- 긴급 차단 장치</li> <li>- 가스 설비의 점검 · 수리 · 청소 및 철거 요령</li> <li>- 충전 용기의 넘어짐 등에 의한 충격 및 밸브 등의 손상을 방지하는 조치</li> <li>- 밸브 등의 조작에 관한 적절한 조치</li> <li>- 배관의 보호판</li> </ul>

로 성장하기 위하여 관리 가능한 모든 요소를 적절히 제어하여 시스템의 위험을 최소화하고 이윤을 최대한 창출할 수 있도록 하여야 한다.

대형 사고는 인적 오류와 안전 장치의 기계적 결함이 동시에 발생하여야 되며, 일반적으로 안전기기의 결함 상태를 운전자나 작업자가 알고 있는 상태가 대다수 차지하고 있으므로 이때 인적 오류에 영향을 미치는 요소를 적절히 관리함으로써 별도의 추가의 비용을 투자하지 않고 대형 사고가 발생할 가능성을 획기적으로 저감시킬 수 있다.

### 인적 오류 방지 기준

가스관계법에서는 인적 오류를 예방하기 위한 최소한의 기술 기준을 규정하였다. 이 기술 기준은 대부분 인지 오류 및 조작 오류 예방에 초점이 맞추어져 있다.

인적 오류 예방 기준을 가스의 유통 단계에 따른 시설 및 작업기준을 살펴보면 <표 4>와 같다.

### 인적 오류 최소화 방안

#### 1. 원인 분석

인적 오류를 최소화하는 방안은 인적 오류의 원인을 파악하여 제거하는 방법이 최선의 방법일 것이다.

인적 오류의 원인은 개인 특성, 직장의 성격상의 문제, 설비나 장치의 인간공학적 설계상의 문제 등으로 분류할 수 있다.

개인 특성은 불충분한 지식과 능력, 불충분한 경험과 훈련, 성격, 기호, 습관의 문제, 적합하지 못한 신체적 조건, 동기 유발 부족, 사기 저하 등을 들 수 있다.

교육 훈련의 문제로는 직장에서의 훈련 부족(조작 훈련, 윤리 교육, 창조능력 훈련, 위험 예지 훈련 등), 입문서, 작업절차서, 체크리스트 등의 부족, 상호주의와 정보 · 의견 교환의 부족, Mannerism의 극복 한계 등이 있다.



직장 성격상의 문제는 무리한 또는 부자연스러운 작업 시간대(초과 근무, 휴식 시간, 교대제 여유 등의 문제), 부족한 작업 계획(스케줄상의 무리, 작업 간의 불균형, 작업 Team 내의 불균형 등), 높은 직장 이직률, 낮은 연대 의식 및 분쟁 등이다.

작업 특성 환경 조건은 작업자에게 육체적 부하가 계속되는 작업, 낮은 자율성, 혼동되는 신호의 탐색 검출, 긴장과 주의력을 지속적으로 요구하는 작업, 불쾌, 부적당한 물리적 환경(소음, 조명, 진동, 분진, 악취), 자주 교체되는 인간 - 기계 시스템이다.

인간 - 기계 시스템의 인간공학적 설계상의 문제들은 의미를 알 수 없는 신호 형태, 변화와 상태를 식별하기 어려운 표시수단과 조작기구, 공간적으로 여유가 없는 배치, 출입이 불편한 작업 대상, 가끔 틀리는 측정 기기, 표시 기기 등이다.

이같은 원인은 작업자를 고생시키고 그 결과로써 오류의 기회를 증가시킨다. 따라서 인적 오류를 최소화하기 위한 방안은 안전 의식 제고, Fool Proof System 구축, 인적 오류 분석에 바탕을 둔 기술 기준의 규격화, 허용 한계의 명확화, 교육 훈련의 강화 및 안전 감사(Audit) 활성화를 들 수 있다.

## 2. 안전 의식 제고

직장 내에 안전 문화를 정착시켜 안전에 대한 철학을 확고히 하고 임직원 모두가 안전을 최우선시하며 업무를 수행하여야 한다.

이를 통하여 불안정한 행동을 최소화할 수 있고, 자기 안전은 자기가 책임을 지는 책임 의식이 고취되고, 작업의 성과만을 중요시하는 결과 제일주의와 안전의 최대적인 '괜찮겠지' 하는 적당주의도 없앨 수 있다.

이는 최고 경영자에게 절대적으로 요구되는 사항이다. 가스관계법에서도 안전 관리 규정 종합 평가를 통해 최고 경영자의 안전 마인드, 안전 경영 철학을 측정하도록 하고 있다.

## 3. Fool Proof System 구축

Fool Proof System은 실수를 방지하는 아이디어나 자동 장치를 말한다. 자칫 잘못하여 범하는 실수나 과실을 방지하는 혹은 그로 인해 일어나는 불이익을 줄이기 위한 연구·실수 예방 장치로 흔히 FP라고 한다.

원래는 설비의 파손이 생기지 않는 Fail-Safe, Fail-Soft등의 구성을 뜻했으나 현재는 품질 불량 방지나 신뢰성 향상 면에서도 인적 실수로 인한 불이익을 철저히 없애기 위해 많은 생산 현장에서 사용되고 있다.

기본적인 사고 방식으로는 다음의 2가지가 있다.

① 누가 하더라도 절대로 잘못되는 일이 없는 자연스러운 작업으로 한다.

② 만일 잘못되어도 그것을 깨닫도록, 그리고 영향이 나타나지 않도록 한다.

예를 들어 표준화된 작업 매뉴얼을 작성하고 이를 철저히 지키는 것이 전자에 해당하고, 생산 조업 중 가스가 누출되었을 때 이를 검출해서 경보기가 울리거나 자동으로 가스를 차단하는 것이 후자에 해당한다.

주의하고 있으면 실수는 줄어들겠지만 힘드니까 실수를 범하는 것은 어쩔 수 없다는 사고 방식을 갖는다면 실수는 줄지 않는다. 철저한 Fool Proof의 실시로 인적 오류의 재발을 확실히 방지해야 한다.

## 4. 허용 한계의 명확화와 교육 · 훈련 강화

허용 한계의 명확화는 근로자 개개인에게 작업시 허용할 수 있는 한계를 명확히 설정하고 이를 주시시켜 허용하지 않는 행동, 즉 금지된 행동을 하지 않도록 의식화시키는 일이다. 허용 한계의 설정은 일반적으로 다음과 같은 방법으로 설정한다.

① 접근 제한 : 물리적으로 에러 방지(안전 장치 설치)

② 명확한 제한 : 명확한 약속 표시(용기 등의 내용물 식별 표시 사항)

③ 경험적 제한 : 측정 가능

④ 참고 기준 제한 : 기준과 비교됨(검사 직무)

⑤ 주의 제한 : 간헐적 경고(경계 표시 및 위험 표

지)

⑥ 전통적 제한 : 교육 훈련, 습관(우측, 좌측 통행)

교육 훈련은 인적 오류를 최소화하는 매우 중요한 요소이다. 교육 훈련은 기본 교육, 업무 교육 등을 포함하고, 기본 교육에는 안전 철학을 가르치고, 업무 교육서는 운전 에 필요한 조작과 운전 조건에 대하여 교육한다.

안전 훈련은 종업원 전체에게 반복 교육이 중요하고, 안전 작업 교육 등을 실시하며, 긴급 훈련은 직장 긴급 훈련, 소화 훈련, 재해 훈련을 주기적으로 실시하여야 한다.

### 5. 안전 감사(Audit) 활성화

안전 감사의 목적은 안전에 관하여 최고 경영자가 안전 관리, 안전 활동 점검, 안전 장치와 소화 설비의 작동에 이르는 모든 사항을 점검하고 이를 평가하는 것이다. 이를 통하여 전반적인 근로자의 안전 의식을 고취시켜 인적 오류를 최소화 할 수 있다.

#### 맺음말

앞서 살펴보았듯이 많은 대형 가스 사고가 작업자의 사소한 부주의나 인지 조작 오류에 의한 어처구니 없는 인적 오류로 인해 발생했다.

인적 오류를 줄이기 위해서는 인적 행위에 관한 오류 확률의 계산 및 확률론적 인간 신뢰도 분석(HRA : Human reliability analysis)과 같은 정량적 분석을 통해 근본적인 해결책을 강구하여야 한다.

그러나 아직 국내에서는 관련 산업에 대한 이러한 분석이 거의 이루어지지 않고 있는 형편이다. 그 이유는 많은 사업장에서 사고가 발생하면 숨기기 급급하여 제대로 된 통계나 분류가 이루어지지 않아 기초 자료가 축적되지 않았기 때문이다.

따라서 우리와는 작업 환경이나 안전 의식이 다른 외국의 자료를 이용할 수밖에 없다 보니 명확한 허용

한계를 제시하기 어렵다.

사고에 대한 철저한 통계 관리와 분석 및 사고의 저감 대책과 효율적인 연계를 위하여 한국가스안전공사 연구개발원은 국가 지정 연구실 연구의 일환으로 장치 산업의 예방 안전 기술을 개발하였다.

개발한 기술은 석유화학·정유 및 가스 시설 등 중대 위험이 있는 국가 기간 산업인 장치 산업 시설에 대한 재난 예측 및 관리 시스템과 관련 세부 프로그램 모듈이다.

즉 석유화학·정유 산업의 시설 및 해당 공장과 가스 시설에서 손실을 최소화할 수 있도록 인적·물적 손실을 유발하는 재난의 가능성을 예측하는 사고 경위 모델링 기술을 개발하였고, 사고의 원인을 크게 설비와 인적 요인으로 구분하여 이를 분석할 수 있게 설비 신뢰도 분석 기술 및 인적 신뢰도 분석 기술을 개발하였다.

이 중 인적 신뢰도 분석 기술은 기존의 수행 영향인자(PSF, Performance shaping factor)를 가스 산업에 알맞게 항목 및 가중치를 개선·보완하여서 데이터 베이스를 작성하였다.

이를 바탕으로 동 산업 분야의 인적 오류를 정량화하고 이 기술을 활용함으로써 사고를 줄이기 위한 노력이 계속될 전망이다.

또한 반복되는 사고를 예방하기 위해 하드웨어적인 보완, 즉 Fool Proof System 구축 등이 고려되어야 한다.

물론 경제적으로 고려해야 할 사항도 있겠지만 안전에 대한 투자는 사고로 인한 손해를 보전하고도 남는다. 종업원에 대한 교육 훈련과 사업장 점검도 강화하여야 한다.

결국 이를 해결하기 위해서는 안전 관리 투자가 필요하다. 따라서 무엇보다도 최고 경영자의 안전 문화 정착 의지가 급선무라고 할 수 있다.

서두에도 밝혔듯이 이 포럼이 100번째 원승이로서 역할을 수행하여 이를 계기로 보다 본격적인 연구가 저변 확대되기를 간절히 바란다. 