

## 화학공장의 공정안전관리(PSM) 개요에 관한 소개

하 정 호\*

### 1. 서 론

화학공장에 재해가 발생되면 그 피해가 막대하고 지역사회에 큰 환경피해를 가져다줌으로써 회사자체가 도산하는 경우가 자주 발생되고 있다. 따라서 최근에는 화학공장을 중심으로 재해예방을 보다 근본적인 차원에서 접근해야 한다는 원칙과 더불어 보다 적극적인 기법으로 공정안전관리(Process Safety Management, PSM)제도를 법적으로 제정하여 시행하는 방향으로 세계적인 움직임이 일고 있다.

경제발전속도가 점점 가속화됨에 따라 재해위험은 더욱 확대되고 복잡다양되어 그 위험을 관리하기도 점점 어려워지며 또한 산업체들이 무인자동화되어 모든 시설이 하나의 시스템으로 연결되어 있기 때문에 화재폭발 등 일단 재해가 발생되면 그 복구에 많은 기간이 소요되게 됨으로써 재해로 인한 직접 손실보다는 복구하기 위한 기업휴지 등에 따른 손실들이 더욱 커서 재해예방의 비중이 점점 중요시되어 가는 경향이다.

일반안전분야도 세분하여 보면 교통안전, 환경안전, 산업안전, 화재안전 등 여러 분야로 나누어 생각할 수 있으나 일반 교통안전이나 산업안전 등의 피해 등은 국가별로 경제가 발전할수록 점점 그 피해율이 감소하는 경향이나 화재안전분야는 세계적으로 경제가 발전될 국가일수록 그 피해액이 상대적으로 크며 또한 한 국가의 경우로 보더

라도 경제발전의 속도보다 화재피해의 증가속도가 일반적으로 더욱 크게 나타나는데 그 심각성이 대두되고 있는 것이다.

따라서 화재예방면에서 재해 잠재위험이 특히 높은 화학공장에서는 체계적으로 보다 근본적인 대책으로서 공정안전관리(PSM)제도를 채택하여 예방대책을 강구하는 경향으로 되고 있다.

### 2. 공정안전관리제도의 세계적 동향

화학공업기술의 본거지로 여겨지는 미국에서는 1984년 인도 보팔에서 MIC사고로 인해 2,500여명이 사망하고 200,000여명이 부상당한 대형참사를 계기로 하여 산업체 존립의 근본적인 의미를 재정립해야 한다는 여론이 일기 시작하였으며 그러던 중에도 1989년 휴스턴에서 폴리프로필렌 반응기가 폭발하여 24명이 사망하는 대형재해가 발생하자 국가적 차원에서의 특별대책수립이 절실히 요구되게 되었다.

따라서 미국 의회에서는 1986년 대형사고 비상계획을 주요 골자로 하는 SARA(Superfund Amendments and Reauthorization Act) 법안을 통과시켰다. 그러나 민간전문기관인 미국화학물질제조협회(CMA) 등에서 관련된 모든 학자 등을 총동원하여 근본적인 재해예방을 위해서 공정에서부터 안전관리를 해야한다는 이른바 공정안전관리(PSM)를 주장하면서 이의 세부적인 법제화를 검토하게 되었다.

이를 계기로 1990년 7월 미국산업안전보건청

\* 한국산업안전공단 산업안전연구원 화학연구실장/기술사  
한국화재·소방학회 총무이사

(OSHA)에서 PSM을 입법 예고하게 되었고 각계의 의견을 충분히 수렴하여 1991년 11월 법안이 확정되어 1992년부터 시행되게 되었다.

한편 유럽에서는 1976년 이탈리아 세베소에서 화학공장이 폭발하여 많은 피해를 입은 것을 계기로 하여 독일 등을 중심으로 하여 대형 재해예방을 위한 중대산업사고 예방 규정인 EC Directive (일명 Seveso directives)를 채택하게 되었으며 이를 유럽연합(EU)이 각 국별로 기준을 제정하여 시행토록 규정하고 있다. 한편 EU연합 내에 대형 재해예방을 위한 대처방안으로써 위험물과 관련된 모든 정보 및 표기 등을 제정하여 정보를 교환하도록 하였다.

그 후 1987년과 1988년에 계속보안 개정되어 일정 규모이상의 위험물을 사용하는 사업체에서는 그 위험물 시설을 관리하기 위한 구체적 안전기준 및 계획서를 사전에 승인을 받도록 하고 그 후에도 계속 정기적인 검사를 실시하며 비상시 조치계획을 수립하여 훈련토록 하는 공정안전관리 제도를 확립하고 있는 것이다.

또한 우리의 산업구조와 경제발전형태가 거의 비슷한 대만에서는 '92년도에 행정원 노공위원회 내에 공정안전관리제도 도입을 위하여 정부 및 관련전문가들로 구성된 특별위원회를 구성하여 유럽과 미국의 운용실태를 참조하여 공정안전관리 워크샵을 실시하여 제도 도입 및 시행에 따른 준비를 하여 '93년 8월에 공정안전관리제도를 법제화하여 시행을 시작하였다. '94년 5월에 세부시행세칙을 마련하여 금년부터 공정안전관리제도 심사평가 업무를 개시하고 있다.

그 내용으로서는 미국 OSHA의 경우는 14가지 요소인데 반하여 9개의 요소를 실시하고 있으며 또한 공정안전평가를 위한 전문가를 확보하기 위하여 산업기술연구소(TRIT)에 안전평가훈련과정을 개설하고 있으며 여기서 배출된 전문가가 일정 자격을 수여하고 이들로 하여금 공정위험성 평가를 실시하고 있다.

아울러서 국제노동기구(ILO)에서도 위험물의 사용량이 크게 증대되고 대형사고가 빈번하게 발생됨에 따라 국제적인 예방대책수립의 필요성이 대두되어 1985년도에 중대산업사고 예방을 위한

범국가적 차원의 체계적인 조치가 필요하다는 결의안을 채택하고 '89년에 협약(안)을 제정하기 위한 전문위원회를 구성하여 주요 위험의 예방에 관한 규칙을 정하도록 결정하였다. 이를 "중대산업사고예방"(Prevention of Major Industrial Accident)이라 정하고 이에 대한 매뉴얼을 UN 산하 국가들에게 보급하였다. 또한 '92년도에 총회에서 정식의제로서 채택하여 1993년 6월 ILO 총회에서 "중대산업사고예방"제도가 국제협약(ILO 협약 제174호)으로서 정식 채택하였다.

이의 주요한 내용은 우선 각 정부에서 위험설비에 관한 행정적·기술적인 사항을 협의 조정할 수 있도록 사업체와의 연락 체계를 가져야 하며 또한 위험관리를 위한 충분한 전문지식을 습득하고 필요시에는 외부전문가가 참여할 수 있도록 규정하고 있다. 또한 정부는 '주요 위험설비에 대한 대상을 규정하여 공표하도록 하고 있다.

한편 사업주는 주요설비에 대한 안전성을 전문적인 기법으로 분석하도록 하고 있다. 또한 정부는 비상시에 대처할 수 있는 비상계획을 수립하여 일반국민에게도 홍보토록 하고 사업장내의 비상조치계획과 사업장 밖의 비상조치계획이 연계되도록 소방관서, 의료기관, 교통기관, 경찰기관 등 여러 기관과 협의하여 작성토록 규정하고 있다.

이 밖에도 정부는 주요 위험설비와 인근주민 또는 인구가 밀집 가능한 공공장소와 충분한 안전거리를 확보하기 위한 부지선정과 토지이용 계획을 수립 시행해야 하며 또한 정기적인 설비 등의 검사를 실시하고 중대산업사고 발생시에는 이로 인한 단기적 또는 장기적인 영향을 조사하여 대책을 수립토록 하였다.

또한 사업주의 의무로서 기존의 설비나 신규설비에 대한 안전성 평가를 실시하여 안전보고서를 작성하고 이를 정부기관에 제출토록 하고 있다. 이 안전성평가는 위험물 시설에 대한 잠재위험성을 파악하고 그 위험성으로부터 재해로까지 연계될 수 있는 확률과 사고가 발생할 경우에 이 사고의 결과가 어느 정도까지 영향을 미칠 것인지를 예측하여 이를 종합해서 공정의 변경 등의 조치를 하도록 하고 있다.

### 3. 우리나라의 PSM추진현황

우리나라도 정부의 강력한 중화학공업 육성정책에 따라 이제 석유화학공업이 세계 5위를 자랑할 정도로 발전되었으며 이제는 10년 이상된 위험물 시설의 비중이 점점 높아지고 있어 화재폭발의 잠재위험도 점점 높아지고 있다. 그러므로 외국재보험회사들도 재보험 인수를 기피할 정도로 화재폭발의 위험이 높은 것으로 평가되고 있는 반면 우리의 안전관리 수준도 매우 낮은 것으로 평가되고 있는 것이다.

따라서 보다 과학적이고 합리적인 위험을 평가하고 관리하여 기업들의 잠재위험을 공공에게도 알리고 안전을 통한 기업의 경쟁력 제고를 위해 1992년부터 국제노동기구와 합동으로 중대산업사고 예방에 관한 워크샵을 개최하는 등 많은 준비기간을 거쳐 1994년 12월에 산업안전보건법에 반영, 일부위험업종 공장과 일정량 이상의 유해위험한 물질을 사용하는 설비를 보유하는 화학공장에 대하여 공정안전관리보고서를 1996년 1월부터 작성 제출토록 하였다. 그리고 신설되는 공장에 대하여는 전면 시행토록 하되 기존 운전되고 있는 공장들은 매년 사업장내에 설치되어 있는 단위제조공정 총수의 25%씩을 평가하여 공정안전보고서를 제출토록 하고 있다. 또한 모든 공정안전보고서는 5년을 주기로 하여 갱신보완하여 다시 제출토록 하고 있다.

### 4. PSM의 개요

PSM은 현재로서는 화학공장 같은 위험성이 높은 장치 산업에 주로 적용토록 발전되어 있으며 여기에는 위험의 분석평가가 진행되어야 한다. 위험의 분석평가를 위해서는 먼저 위험을 발견하고 이를 정량적으로 평가하여야 한다. 이러한 위험의 정량적 평가에는 위험의 발생빈도와 재해발생시 최대예상피해를 정량적으로 산출하여 서로 곱하여 얻은 값이 소위 정량적 위험(RISK)이라고 할 수 있다.

이렇게 산출된 위험은 어떻게 감소시키고 분산시키며 관리해야 하는나 하는 분야가 우리가 흔히

말하는 위험관리(Risk Management)기법이라고 할 수 있다. 이 분야의 기법은 수많은 정보와 사고 사례 및 관련 데이터가 요구되고 있기 때문에 매우 어려운 분야로 인정되고 있으며 앞으로 많은 연구와 발전이 기대되는 분야이기도 하다.

이런 일련의 위험성평가 기법에는 여러 가지 평가기법이 활용되고 있으며 주로 많이 사용하는 기법은 다음과 같다.

- Checklist Analysis
- What-if Analysis
- What-if /Checklist Analysis
- Hazard and Operability(HAZOP) Studies
- Failure Mode and Effect Analysis(FMEA)
- Event Tree Analysis(ETA)
- Fault Tree Analysis
- Cause Consequence Analysis
- Human Reliability Analysis

위험성평가 기법의 적용방법은 각 기법마다 특성이 있으며 경우에 따라서는 몇 개의 기법을 동시에 병행하여 사용하면 더욱 효과적인 경우도 많다.

각 기법들의 적합한 대표적인 사용 예는 다음과 같다.

〈위험성평가 기법의 대표적인 사용예〉

공정단계	정성적 기법				정량적 기법			
	안전점검	체크리스트	What-if	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	CCA
연구·개발			▲					
개념설계		▲	▲					
파이롯 플랜트운전		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
상세설계		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
건설/시동	▲	▲	▲					
일상적운전	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
수정	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
사고조사			▲	▲	▲	▲	▲	▲
해체	▲	▲	▲					

〈장치 및 활동에 의한 위험성평가 기법〉

공정단계	정성적 기법				정량적 기법			
	안전점검	체크리스트	What-if	HAZOP	FMEA	FTA	ETA	CCA
공정장치			A	M			A	
배관			A	M	A			
기기, 공동체, 전력			A		M	A		
안전시스템			M		A	A		
유틸리티			A	M	A	A	A	
절차			M	A				
건축물과 다른자산	A	A	M		A			

A=적당, M=가장 적당, 공란=사용되기는 하지만 효율적인 적용이 아님

1) What-If 분석

공정에 잠재하는 사고를 확인하여 그 위험의 결과, 또 위험을 줄이는 방법 등을 제시하기 위해 주로 사용되며 적용시기는 현재 건설 중에 있는 공장에 대해서 공정의 개발단계나 초기 시운전시에 적용한다.

또한 결과의 형태는 잠재적인 사고의 시나리오와 그 영향, 위험을 줄일 수 있는 방법이다.

2) 공정/시스템 체크리스트(Process/System Check List)

일반적인 위험요소들을 확인하거나 기준절차에 따라 일이 진행되는가를 확인하기 위해서 주로 사용되며 적용시기는 설계의 모든 단계에서 위험요소들을 빠르고 간단하게 확인하고 그것들을 다루는 적당한 방법을 확인하는데 사용될 수 있으며 건설시 작업의 질을 확인하거나 설계조건에 따라 작업이 진행되는지를 확인하기 위해서도 주로 사용된다. 시운전이나 운전중 또는 운전 정지시에도 사용된다.

결과 형태는 일반적으로 위험요소를 확인시켜주고 기준 절차가 지켜지는지를 확인시켜 주며 또한 상세한 평가가 필요한 사항이나 기본 정보가 부족한 것에 초점을 맞출 수 있다.

3) HAZOP

설비의 위험요소와 운전상의 문제점을 알아내는 기법으로서 적용시기는 새로운 공장에 대해서는 설계도면이 거의 완성된 시점에서 실시하는 것이 좋고, 기존 공정에 대해서는 재설계가 계획되

는 시점에서 실시하는 것이 좋다. 기존 설비에 대해서도 할 수 있다.

결과 형태는 발견한 위험요소, 공정운전상의 문제, 안전성을 향상시키기 위한 설계나 운전절차의 수정에 관한 추천, 정보의 부족 때문에 생긴 미진한 결과를 보완하기 위한 후속 연구제안으로서도 널리 활용된다.

4) FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

장치/시스템의 실패에서 생기는 각 실패양식의 영향 등을 나타낸다. 적용시기는 설계시에 쉽게 부가할 수 있는 부가적인 보호장치를 확인하는데 사용되며 건설시는 현장에 수정했을 때 생기는 장치 변경의 평가에 사용된다.

또한 운전시는 HAZOP나 FTA와 같은 상세한 위험평가 분석법을 보충하기도 하고 기존 설비를 평가하고 가능한 사고를 나타내는 단일 이상을 확인하는데 사용한다.

결과 형태는 시스템/공장 장치의 실패양식과 그들의 결과를 나타내는 체계적인 참고목록이다. 설계변경이나 시스템/공장의 수정에 용이하다.

5) Fault Tree 분석

사고를 일으키는 장치 이상이나 운전자 실수의 조합을 나타내는 기법이다. 적용시기는 장치 이상의 조합으로부터 발생하는 감춰진 실패양식을 발견하기 위하여 공장의 설계단계에서 사용될 수 있으며 운전시는 운전자와 절차 특성을 포함한 FTA는 특정한 사고에 대한 이상의 가능한 조합을 확인하기 위하여 운전중인 공정을 대상으로 적용될 수 있다.

6) Event Tree 분석

사고를 유발하는 초기사건과 후속사건의 순서를 알아내는 기법으로 추천되고 있다. 적용시기는 설계 단계의 가정된 초기 사건으로부터 발생하는 가능한 사고를 평가하기 위해 설계단계에서 적용될 수 있다. 이 결과는 공장설계에 통합될 안정장치를 정의하는데 유용하다.

결과 형태는 초기사건의 발생에서부터 연속

되는 사고를 가져오는 사건순서를 제공한다.

### 5. 공정안전관리(PSM) 추진 구성요소

공정안전관리 제도의 추진기법 및 항목에는 나라별로 다소차이가 있으나 새로 시작되는 우리나라의 경우는 아래 그림에서 보는 바와 같이 크게 12가지로 대별하여 항목이 구성되어 있으며 각 항목별 개요를 설명하면 다음과 같다.

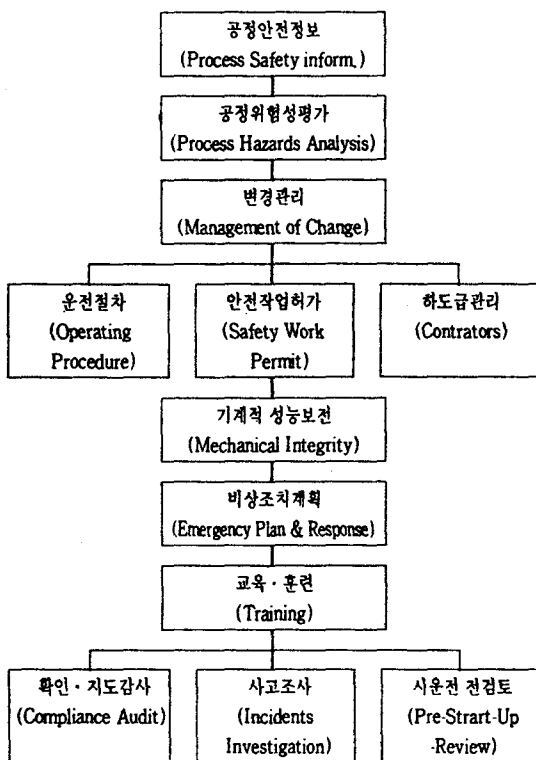


그림 PSM의 추진요소

#### 1) 공정안전자료(PSI, Process Safety Information)

공정안전자료는 사용되는 모든 화학물질의 양, 종류, 물리화학적 특성과 공장을 설계제작, 건설하고 안전하게 운전하는데 필요한 설계자료로써 공정안전관리를 하는데 필요한 기본적인 자료들이다. 이 자료들의 내용이 현장과 맞지 않는다면 사업장에서는 이들 자료를 보완하는데 많은 노력

과 비용이 소요되더라도 먼저 이들 자료부터 보완하는 것이 아주 중요하다. 왜냐하면 틀린 자료를 기초로 하여 아무리 위험성평가를 잘했다 하더라도 평가결과의 신뢰도는 떨어지게 되기 때문이다. 따라서 모든 자료들이 현장과 일치하도록 보완하는 작업이 선행되어야 한다.

#### 2) 공정위험성평가(PHA, Process Hazard Assessment)

위험성평가라 함은 사고의 잠재 위험요소들을 파악하여 이로 인한 사고의 발생빈도와 사고가 발생할 경우에 피해가 어느 정도일 것인지를 예측하여 대책을 수립할 수 있도록 위험들을 계량화하는 것을 말한다.

위험성평가기법에는 체크리스트, HAZOP, FTA 등 앞에서 언급한 여러가지 방법들이 있는데 이 기법들은 각각의 특성이 있기 때문에 어느 한가지 기법만을 획일적으로 적용해서는 안되며 기법의 특성과 공정의 특성 및 사업시행단계 등을 고려하여 선정하여야 한다.

#### 3) 변경관리(Management of Change)

공정의 변경이나 사용물질의 변경사항이 있을 경우에 위험성을 평가하여 관리하는 것으로 공정안전보고서에는 변경관리를 어떻게 하겠다는 회사의 규정을 제시하고 이 절차에 따라 사업장이 스스로 시행하게 된다.

#### 4) 운전절차(Operation Procedure)

공장의 안전한 운전을 위하여 운전자들을 위한 운전절차를 작성하여 충분한 교육 등을 실시하기 위한 것이다.

#### 5) 안전작업허가(Safety Work Permit)

용접·용단 등 화기작업이나 밀폐된 용기내의 작업 등을 작업요청부서, 작업시행부서 및 안전부서가 서로 Cross Check한 후 허가서를 발부하고 허가서의 지시된 내용대로 안전조치를 한 후 작업을 함으로써 작업시의 사고를 예방하는 것이다.

#### 6) 하도급관리(Contractors)

공장내에서 작업하는 하도급자들을 체계적으로 관리하여야 하며 하도급자에 소속된 근로자들의 교육이나 안전상 필요한 모든 사항들이 공장의 근로자와 같은 수준으로 이루어지도록 해야 한다.

#### 7) 기계성능보전(Machanical Integrity)

설비 등의 성능이나 기계적으로 완전한 정도가 처음 제작되었을 때와 같은 정도로 유지되도록 철저한 시험이나 검사를 통해 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

#### 8) 비상조치계획 수립 시행(Emergency Plan)

아무리 잘 설계된 설비라 할지라도 작업자의 실수나 그 밖의 다른 요인에 의해서 사고가 발생할 수 있는데 이때 피해를 최소화하기 위해 사업장내나 외부 유관기관의 조직적인 대응체계의 확립과 훈련을 실시하여 유사시에 대비하는 것이다.

#### 9) 교육훈련(Training)

인간이란 시간이 경과하면 모든 것을 망각하기 때문에 주기적으로 반복교육이 필요하고 인사 이동이나 보직 변경시 새로운 업무에 대한 교육이 이루어져야 한다.

#### 10) 확인지도감사(Compliance Audit)

안전보고서에 제시된 모든 계획들이 계획서의 내용대로 이행되고 있는지를 사업장 자체의 확인팀들이 확인하는 것으로 지금까지 설명된 다른 어느 요소 못지않게 중요하다. 왜냐하면 아무리 잘 짜여진 계획일지라도 시행되지 않으면 아무 소용도 없기 때문이다.

#### 11) 사고조사(Incidents Investigation)

앗차 사고를 포함한 모든 사고들은 사업장에서 조사하고 그 결과를 기록유지하는 등 조치를 해야

하며 사고사례를 타산지석의 교훈으로 삼아 동종의 사고를 예방할 수 있도록 근로자들의 자체교육 자료 등으로 활용하는 사고조사, 활용 및 홍보계획이 수립되어 시행되어야 한다.

#### 12) 시운전검토(Pre Start up Operation)

공장의 건설이 완료되었거나 변경시설이 완료되어 시운전을 하기 전에 건설기간 동안 설계내용의 변경은 없었는지 현장의 시공상태가 설계사양과 일치하는지의 여부 등을 검토하여야 한다.

## 6. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 PSM기법은 보다 근본적인 대책으로서 공정관리의 기본에서 부터 출발하여 근로자의 의식전환까지 종합적이고 포괄적으로 포함되어 있다.

최근에 대형재해가 세계적으로 계속 빈발하게 되고 그 피해가 해당 사업장뿐만 아니라 일반국민 및 인접국가에 까지 미치게 됨에 따라 산업체의 근본 존립의 개념부터 재정립해야 한다는 의견이 일기 시작하고, 이와 더불어서 재해위험을 근본적이고 과학적으로 예방해야 한다는 결론이다.

그러므로 선진외국이나 국제적 동향이 이의 과학적 예방은 위험한 물질을 제조·취급하는 공정 별로 안전성을 정량적으로 평가하고 이에 따른 대책을 수립해야 한다는 PSM 기법으로 의무화해야 한다는 것이다.

PSM 제도가 우선은 위험물을 다량 저장 사용 취급하는 사용하는 화학공장에서 부터 법제화되고 있으나 삶의 질이 높아가고 보다 안정화를 추구하는 추세에 비추어 볼때 화학공장 뿐만 아니라 전산업으로 확대 발전될 것으로 추측되며 우리는 이러한 세계화 추세에 만반의 대비를 하여야 할 것이다.