

## 공정안전관리 대상 사업장의 화재·폭발, 누출 사고원인 분석

이근원, 하정호\*

한국산업안전공단, 한국산업안전공단 의정부지도원\*

### Incident Cause Analysis of Fire, Explosion and Release in Industries for Process Safety Management

Keun-Won Lee, Jeong-Ho Ha\*

Occupational Safety & Health Institute, KOSHA

#### 1. 서론

화학공정산업은 장치산업으로 다량의 위험물질 사용으로 잠재위험성이 크며, 사고 발생 시 인적, 물적 손실이 크다. 또한, 사고의 발생형태가 화재, 폭발 또는 독성물질의 누출로써 환경에 막대한 영향을 미치고 재해의 강도가 크다. 국내의 경우 유해·위험 설비로부터의 위험물질의 누출·화재·폭발 등으로 인하여 사업장내 근로자에게 즉시 피해를 주거나 사업장 인근 지역에 피해를 줄 수 있는 사고를 중대산업사고로 정의하고 있다. 이러한 중대산업사고 예방을 위해 우리나라에서는 산업안전보건법 제49조 2항에 의거 1996년부터 공정안전관리(Process Safety Management, PSM)제도를 시행하고 있다. 국내외에서 매년 수만 건의 중대산업사고가 발생되고 있으며, 이러한 중대산업사고를 예방하기 위해서는 과거에 발생한 사고사례를 수집, 분석하여 사고특성 등을 파악하여 동종 혹은 유사사고 예방에 활용하는 것이 중요하다. 한국산업안전공단에서는 국내의 중대산업사고를 수집·가공하여 데이터베이스화하여 사업장에서 활용할 수 있도록 중대산업사고 정보관리 시스템(K-ADB)를 개발하여 운영하고 있다. 이러한 중대산업사고 정보관리시스템은 현재도 사고사례를 수집하여 데이터베이스(DB)를 구축하고 있으나 사업장이나 연구기관에서 DB의 활용이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 중대산업사고사례 데이터베이스를 근거로 1996년 이후에 발생한 중대산업 사고사례 175건을 재분류하여 통계적 방법에 의해 화재, 폭발, 누출 등 중대산업사고의 원인 분석을 수행하였다. 연대별, 계절별, 요일별 사고건수와 사고형태, 발화원, 시기별 평균 사망자수 및 사상자수의 분포특성 등을 고찰하여 화재·폭발 등 중대산업사고 예방 대책 수립의 기초 자료로 제공하고자 한다.

## 2. 조사 및 분석 방법

본 연구에서 선정된 중대산업사고는 KOSHA NET 오픈커뮤니티의 종합위험관리체제(IRMS)에서 제공하고 있는 국내 중대산업사고사례 데이터베이스를 기초로 하였다. 중대산업사고사례 데이터베이스는 현재 1964년부터 2003년까지의 사고사례를 750여건 중 중대산업사고 원인분석을 위해 선정된 사고사례는 PSM 시행 이후 175건 이었다. 선정된 사고사례는 산업안전보건법 제49조의2에 의해 유해·위험설비를 보유하고 있는 사업장과 위험물 규정수량 이상을 취급 사용하는 사업장으로 공정안전관리 대상사업장으로 하였다. 중대산업사고사례 데이터베이스에서 제공하는 자료를 이용하여 중대산업사고로 판단하기 어려운 것은 사고조사보고서 참고하였으며, 사고사례를 출력하여 분석에 필요한 항목을 추출하기 위해 전수조사 하였다.

중대산업사고 통계 분석을 위해 중대산업사고 데이터베이스를 근거로 사고명, 사고년월일, 요일, 사고발생공정, 운전상황, 발화원, 사고물질, 사고형태, 사고발생설비 및 사상자수를 재분류하였다. 분류된 중대산업사고사례를 데이터시트 작업(worksheet)파일로 만들어 통계프로그램(SPSS Version 10.0)을 이용하여 각 항목별로 분석하였다. 중대산업사고 발생 원인 상관관계를 알아보기 위하여 연도별, 계절별 사망자와 사상자수의 분포특성에 대한 통계적 검정도 수행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 시기별 중대산업사고 발생 분포 특성

중대산업사고 발생 특성을 알아보기 위해 사고의 연대별, 계절별, 요일별 사고 발생건수를 분석하였다. 연대별 사고발생 건수를 Fig. 1에 나타내었다. 공정안전관리 제도 도입 이후 연간 중대산업사고 발생건수를 비교해보면 1996년부터 2000년까지의 연간 평균 27건, 2000년 이후 연간 평균 13건의 중대산업사고가 발생한 것으로 나타났다. 사고발생 건수만 비교하면 2000년 이후부터는 연간 사고발생 건수는 감소하는 것으로 나타났다.

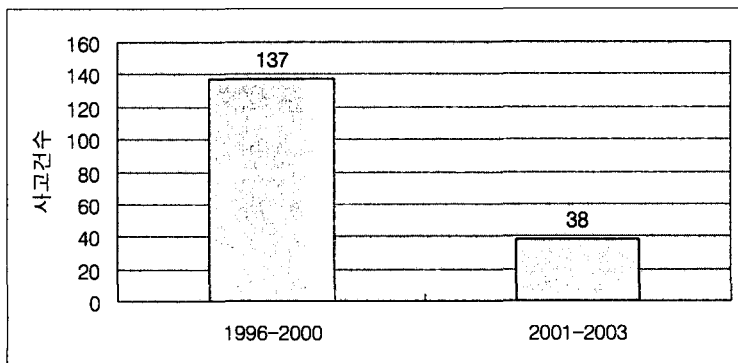


Fig. 1. 연대별 중대산업사고의 발생분포

계절별 중대산업사고 발생 분포를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는바와 같이 중대산업사고 발생 분포를 살펴보면 계절에 따라 어떤 경향성을 볼 수 없으며 연중 고르게 나타나는 것으로 나타났다. 따라서, 특정한 계절별 예방대책 수립 보다는 연중 지속적인 관리가 요구된다.

요일별 중대산업사고 발생 분포를 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 요일에 따라 중대산업사고 발생 건수는 어떤 특정한 경향성을 보이지 않았다. 다만, 다른 요일과 비교하여 일요일에는 사고발생 건수가 가장 낮았다. 일요일에는 수리 혹은 보수작업이 주중보다는 적어 사고발생 건수가 낮은 것으로 사료된다.

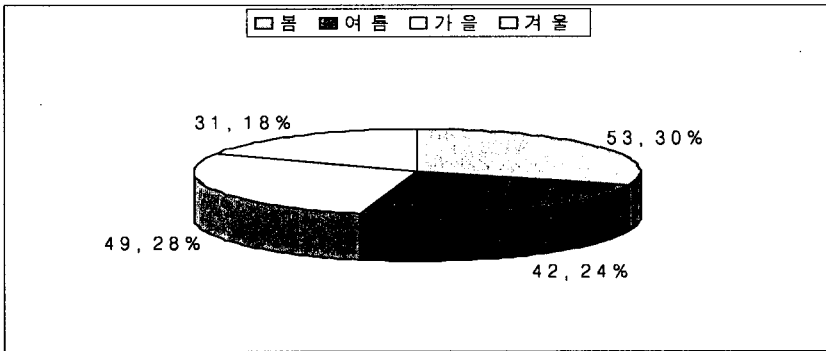


Fig. 2. 계절별 중대산업사고의 분포

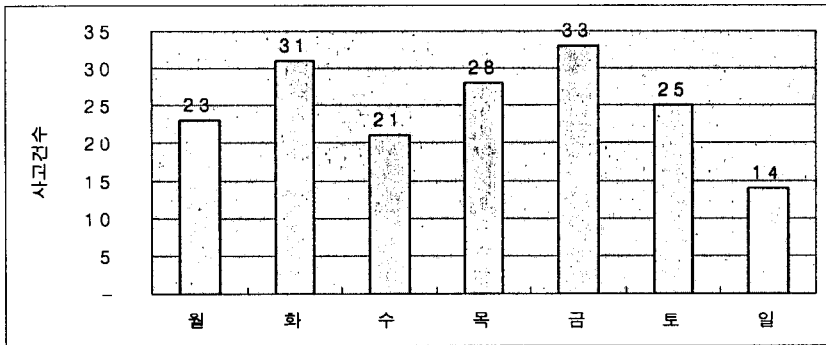


Fig. 3. 요일별 중대산업사고 추이

### 3-2. 발화원 및 운전상황별 중대산업사고 특성

중대산업사고 원인을 분석하기 위하여 발화원별 사고발생 건수를 Fig. 4에 나타내었다. PSM 시행 이후의 발화원별 사고발생 건수는 전기스파크, 정전기, 마찰·충격 및 직화 순으로 나타났다. 따라서 작업장에서는 이들 발화원에 대한 특별한 관리와 주의가 요망된다. 그림에서 「해당 없음」은 독성물질 누출, 질식, 화상 등 화재·폭발과 직접적인 관계가 없는 것을 의미한다. 또한, 발화원의 원인불명이 상당한 건수를 차지하고 있어 중대산

업사고 조사 시 철저한 발화원의 규명이 필요한 것으로 판단된다.

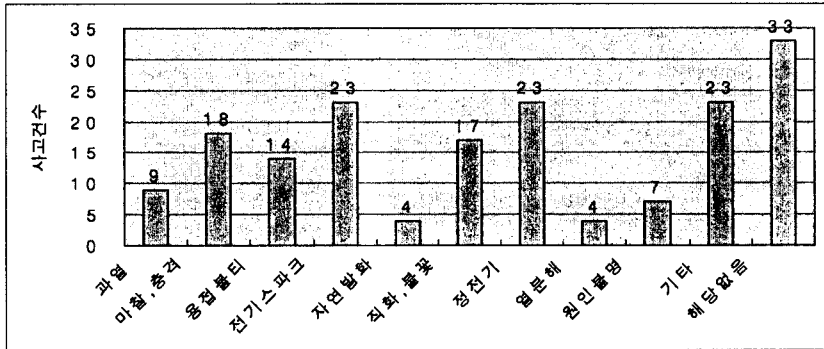


Fig. 4. 발화원별 사고건수

운전상황별 사고건수를 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 정상운전은 운반 작업을 포함하며, 비정상운전은 건설중, 실험중의 사고를 포함한다. 또한, 정비보수 중은 검사 및 Shut down 중의 사고를 포함한다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 정상운전 중 사고건수가 가장 크며, 이는 화학물질의 누출 등으로 인한 정상운전 중에 일어난 사고이다. 다음은 정비보수 중의 사고로서 20% 이상을 차지하고 있으며 생산설비의 연차정기 보수기간이나 설비의 정비보수 기간 중 도장, 세척, 용접 등 여러 종류의 작업을 행하는 동안 중대산업사고가 많이 발생한 것으로 나타났다.

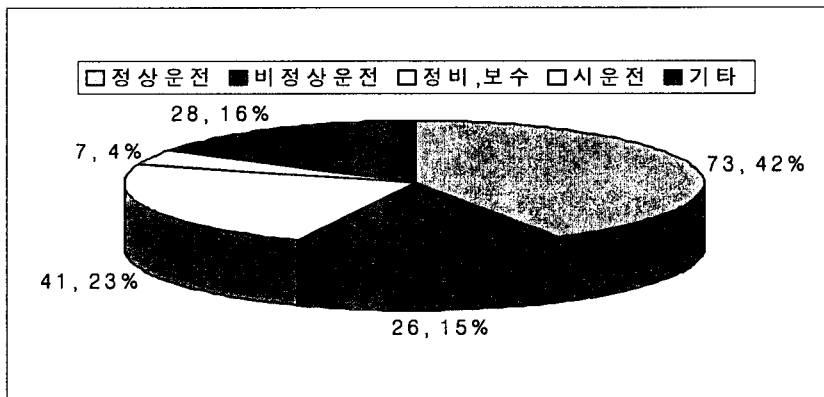


Fig. 5. 운전상황별 사고건수

### 3.3. 시기별 평균 사망자 및 사상자수의 분포 특성

연대별, 계절별 재해자의 분포 특성을 알아보기 위하여 사고 1건당 평균사망자수와 부상자를 포함한 평균사상자수를 분석하였다. 연대별 사망 강도율을 알아보기 위해 연대별로 평균 사망자수 및 사상자수의 분포를 Table 1에 나타내었다. 평균사망자수는 사고 1건

당 1명에서 1.5명 정도 사망하는 것으로 나타났다. 연대별 사망과 부상자수를 포함한 평균 사상자수의 분포를 살펴보면 사고 1건당 4 - 5명 정도 사상자가 발생하는 것으로 나타났다. 평균 사망자나 사상자수에 대한 통계검정의 유의확률을 살펴보아도 연대별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

계절별 평균 사망자 및 사상자수의 분포를 Table 2에 나타내었다. 계절별 평균사망자수는 계절에 관계없이 사고1건당 1.5명 이하 이었다. 계절별 평균사상자수의 분포를 분석하면 여름, 겨울철 보다는 봄, 가을철에 사고1건당 평균사상자수가 많음을 알 수 있다. 따라서 봄, 가을 사고1건당 강도율이 큰 것으로 보아 봄철 해빙기와 가을철에 화재·폭발 사고의 예방대책과 함께 사고시 인명피해를 최소화하는 대피훈련이나 비상대비책이 필요한 것으로 판단된다. 그러나 통계검정에서 계절별 유의성은 차이가 없는 것으로 보아 중대산업사고는 계절에 관계없이 계절특성에 맞게 안전관리 대책이 필요한 것으로 판단된다.

Table 1. 연대별 평균 사망자 및 사상자수의 분포

구분	연대	평균	표준편차	T-값	유의확률(P)
평균 사망자수	1996~2000	1.15	1.40	-0.975	0.331
	2001~2003	1.46	1.28		
평균 사상자수	1996~2000	5.51	8.81	0.626	0.533
	2001~2003	4.21	4.02		

Table 2. 계절별 평균사망자 및 사상자수의 분포

구분	년도	계절	평균	표준편차	T-값	유의확률(P)
평균 사망자수	1996~2003	봄	1.27	1.24	0.460	0.711
		여름	1.23	1.26		
		가을	1.32	1.90		
		겨울	0.91	0.51		
평균 사상자수	1996~2003	봄	5.46	7.51	1.568	0.203
		여름	4.30	5.59		
		가을	7.72	11.93		
		겨울	2.53	1.84		

#### 4. 결론

본 연구에서는 중대산업사고 예방대책 수립을 위한 기초 연구로서 한국산업안전공단에서 제공하고 있는 중대산업사고 데이터베이스를 근거로 공정안전관리 대상 사업장 175건의 사고사례를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

중대산업사고의 연대별, 계절별, 요일별 사고 발생건수를 살펴보면 1996년부터 2000년까지의 연간 평균 27건, 2000년 이후 연간 평균 13건의 중대산업사고가 발생한 것으로 나타났다. 계절에 따라 어떤 경향성을 볼 수 없으며 연중 고르게 나타나는 것으로 나타났다. 또한, 요일에 따라서도 중대산업사고 발생 건수는 어떤 특정한 경향성을 보이지 않았다. 중대산업사고 원인의 발화원별 사고건수로서 전기스파크, 정전기, 마찰·충격 및 직화

순으로 나타났다. 운전상황별 사고건수는 정상운전 중 사고건수가 가장 크며, 다음은 정비보수 중 중대산업사고가 많이 발생한 것으로 나타났다.

연대별, 계절별 재해자의 분포 특성을 살펴보면 평균사망자수는 사고 1건당 1명에서 1.5명 정도 사망하는 것으로 나타났다. 연대별 사망과 부상자수를 포함한 평균 사상자수의 분포를 살펴보면 사고 1건당 4 - 5명 정도 사상자가 발생하는 것으로 나타났다. 평균 사망자나 사상자수에 대한 통계검정의 유의확률을 살펴보아도 연대별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 계절별 평균사망자수는 계절에 관계없이 사고1건당 1.5명 이하 이었다. 통계검정에서 계절별 유의성은 차이가 없는 것으로 보아 중대산업사고는 계절에 관계없이 계절 특성에 맞게 안전관리 대책이 필요한 것으로 판단된다.

이상과 같은 중대산업사고 분포 특성을 분석한 결과 화재·폭발, 누출 등 중대산업사고 예방을 위해서는 현장의 안전관리 감독의 철저와 공정안전 전문기술 인력의 양성이나 유해·위험설비 보유 사업장의 화재·폭발 예방에 관한 집중관리와 사고 시 인명피해를 최소화하는 피난훈련 혹은 비상 대응조치가 필요한 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 한국산업안전공단, 산업안전보건법령집, 2003.
2. 이근원 외, 국내 중대산업사고 데이터베이스에 근거한 화재폭발 원인 분석, 추계학술 발표회 발표 논문집, 한국화재소방학회, 2004.
3. 이영순 외, 중대산업사고 사고사례데이터베이스 구축(II), 연구원 2000-62-303, 2000(5).
4. H. Itagaki, Statistical Charts and Frequency-magnitude Curves of Labour Accidents concerning Explosion and Fire, NIIS-SD-NO.15, Safety Document of the National Institute of Industrial Safety of Japan, 1997.
5. Yang Lizahong, "Fire Situation and Fire Characteristic analysis based on Fire Statics of China", Fire Safety Journal, Vol. 37, pp.785~802, 2002.
6. Alison Collins and Deborah keeley, Loss of Containment Incident Analysis,