

석유정제공업의 공정별 사고사례분석을 통한 안전대책 연구

A Study of the Safety Management in Refinery Process through Analysis of Accident Data

윤동현, 이원근, 서현곤, 김창은

한국산업안전공단, 순천제일대학, LG화학(주), 명지대학교

1. 서론

우리 사회가 경제적으로 급속히 발전됨에 따라 공업화, 도시의 밀집화, 생활양식의 다양화 등으로 인하여 각종 위험물의 사용이 급증하게 되었으며, 이로 인하여 잠재위험성도 함께 증가되어 각종 위험물 취급 부주의에 따른 폭발화재사고가 급증하고 있다. 한 건의 사고가 인적·사회적·경제적으로 막대한 피해와 손실을 가져오게 되는 것을 과거 재해사례에서 명백하게 경험할 수 있었다.¹⁾

이러한 사고의 근원인 위험물을 가장 많이 취급하며, 저장하고 있는 석유정제공업의 공정별 사고사례와 안전대책에 대해 분석한 보고서 등이 국내에는 전무한 상태이다. 국내에는 정유회사가 5개사 있지만 사고사례에 대한 공유의 정신이 적고, 기술적인 상호지원이 공식적으로 이루어지는 것이 없을 뿐만 아니라 사고가 외부로 알려질 경우에 매출의 타격을 받고 있는 등의 문제로 사고에 대해 은폐를 시도함으로써 유사·동종의 사고가 계속적으로 발생되고 있다. 가까운 일본은 정유회사 26개사를 보유하고 있으며, 석유컴비나트지역의 재해방지법에 의거하여 사고사례를 발굴하고, 재해예방에 최선을 다하고 있다.²⁾ 국내의 정유 5사는 이러한 사고사례를 공유할 생각은 없고, 오직 자신의 기업 이익을 위하여 타사의 중대사고를 도굴하는 정도로 거치고 있어 재발방지대책에 어려움이 많은 실정이다.

석유정제공업의 공정별 사고사례를 수집 및 분석하여 위험을 도출하고, 사고사례를 공유함으로써 공정의 안전을 확보하며, 품질과 환경오염의 방지에 기여하여 기업의 생산성을 높이고, 근로자의 안전보건 확보, 기업의 경쟁력뿐만 아니라 국가의 경쟁력을 향상시키고자 함을 그 목적으로 한다.

2. 분석결과와 고찰

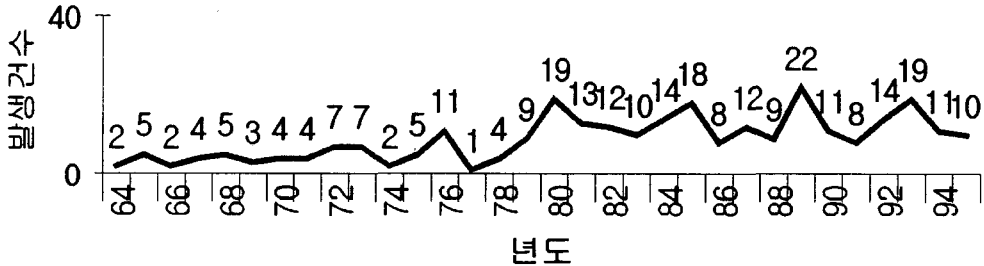
(1) 사고의 개요

국내 정유공장의 5사에서 1964년부터 1995년까지 발생한 사고사례 285건^{3)~7)}을 수집하여 발생년월일, 사고장소, 사고물질, 피해현상, 사고원인, 사고가 발생한 설비 및 공

정 등으로 정리하여 이를 토대로 연도별, 월별, 요일별, 시간대별, 사고원인별, 설비별 및 공정별 사고발생건수의 분석 및 고찰하여 정유공장에서의 사고 예방대책을 연구하였다.

(2) 연도별 사고발생건수의 분포

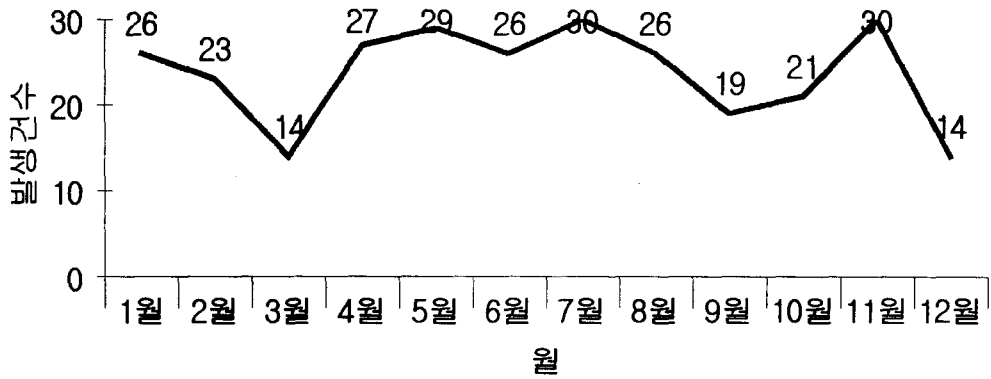
국내 정유공장에서 발생한 사고의 연도별 사고발생건수의 추이를 <그림-1>에 나타내었다. 사고발생건수를 보면, 1989년이 22건(7.7%)으로 가장 많이 발생하였고, 그 다음이 1980년과 1993년으로 각각 19건(6.7%)이고, 1985년이 18건(6.3%) 순으로 나타났으며, 연간 평균 8.9건의 사고가 발생되었고, 1993년 이후에는 감소하는 경향을 보였다. 이들 사고중에 가장 많이 발생한 1989년도의 사고 22건은 서산지역에 C정유(주)의 S공장이 신증설 공장을 운전개시함에 의해 증가된 것으로 보이며, 1980년의 19건은 울산지역 E정유(주)가 신설공장을 운전개시함에 의해 증가된 것으로 추정되고, 이는 신증설공장의 초기의 고장률을 나타내는 욱조곡선(bathtub curve)⁹⁾을 입증되었다.



<그림-1> 연도별 발생건수의 추이

(3) 월별 사고발생건수의 추이

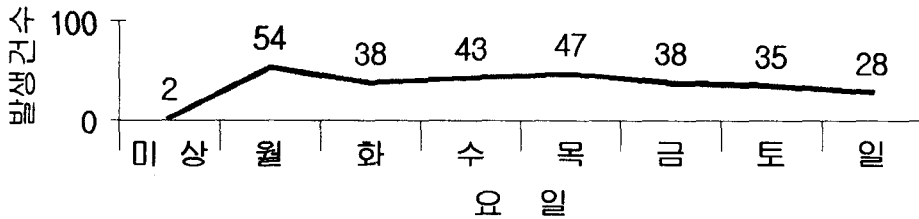
국내 정유공장에서 발생한 사고 285건에 대하여 월별 사고발생건수의 추이를 <그림-2>에 나타내었다. 월별 사고발생건수의 추이를 보면, 7월과 11월이 각각 30건(10.5%)으로 가장 많았고, 그 다음으로 5월이 29건(10.2%), 4월이 27건(9.5%) 순으로 나타났다. 7월이 많이 발생하는 것은 하기휴가철이기 때문에 안전관리적인 측면에 인적인 요인(감독불비, 오조작, 오판단 등)에 의한 것으로 사료되고, 11월에 많은 사고가 발생한 것은 정기보수작업을 마치고, 석유류의 성수기를 위해 가동률을 높임에 따라 설비적인 및 기술적인 요인에 의한 것으로 보인다.



<그림-2> 월별 사고발생건수의 추이

(4) 요일별 사고발생건수의 분석

정유공장에서 발생한 사고 285건에 대하여 요일별 사고발생건수의 추이를 <그림-3>에 나타내었다. 정유공장의 사고를 요일별 사고발생건수의 추이를 보면, 월요일이 54건(18.9%)으로 가장 많았고, 그 다음이 목요일로 48건(16.8%), 수요일이 43건(15.1%), 금요일이 39건(13.6%) 순으로 나타났으며, 평균 40.7건으로 나타났다. 정유공장에서도 심리적인 요인인 월요일병이 적용되고, 사고를 방지하기 위해서 월요일 아침에는 가능한 안전교육을 실시하거나 안전점검의 날로 정하여 실시하는 것이 사고예방의 하나가 될 수 있다.

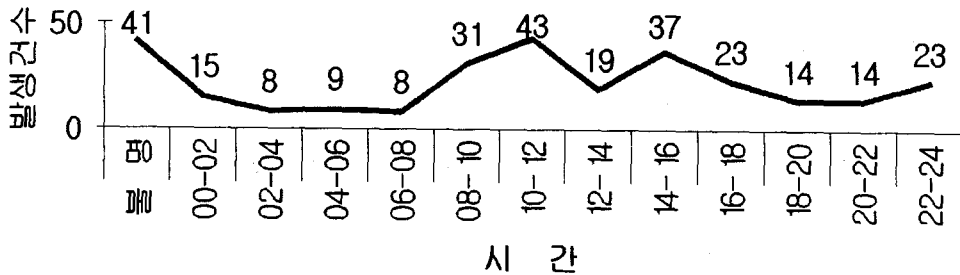


<그림-3> 요일별 사고발생건수의 추이

(5) 시간대별 사고발생건수의 추이

정유공장에서 발생한 사고 285건을 하루의 시간대별 사고발생건수의 분포를 <그림-4>에 나타내었다. 시간대별 사고발생경향은 작업을 가장 많이 하는 10:00~12:00 사이에 43건(15.1%)으로 가장 많이 발생하였고, 그 다음이 14:00~16:00 사이로 37건

(13.0%), 08:00~10:00 사이로 31건(10.9%) 순으로 나타났다. 사고가 가장 많이 발생하는 시간대는 모든 작업이 시작되는 오전시간(08:00~12:00)에 74건(26%)이 발생하는 것은 인적요인이 많은 것으로 추정된다.



<그림-4> 시간대별 사고발생건수의 추이

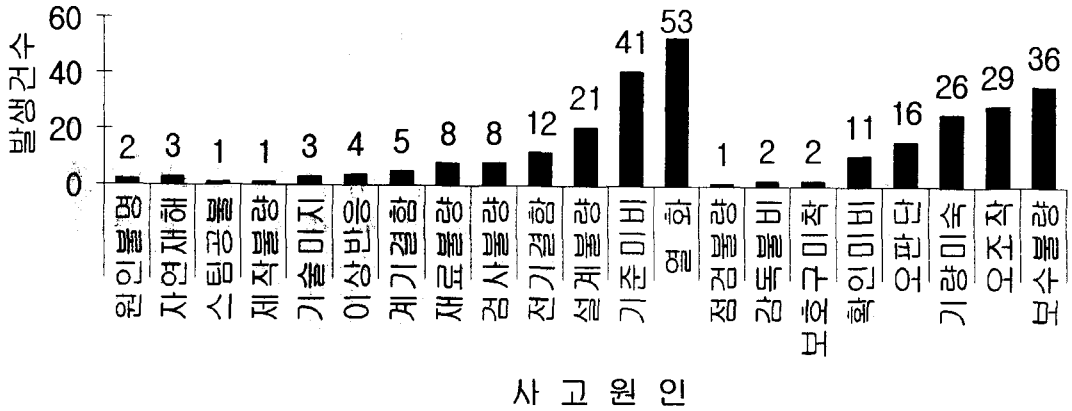
(6) 사고원인의 분석

(가) 사고의 직접원인 분포

정유공장에서 발생한 285건의 사고에 대하여 직접원인의 분포를 <그림-5>에 나타내었다. 이들 사고의 직접원인은 기술적인 측면이 157건(55.1%), 안전관리적인 측면이 123건(43.2%)이고, 자연재해와 원인불명이 각각 3건, 2건 순이다. 기술적인 측면에서는 열화(부식과 노후화를 포함)가 53건(18.6%)로 가장 많았고, 그 다음으로 기준미비와 설계불량이 각각 41건(14.4%), 21건(7.4%) 순이며, 안전관리적인 측면에서는 보수불량이 36건(12.6%)으로 가장 많이 발생하였으며, 그 다음으로 오조작이 29건(10.2%), 기량미숙이 26건(9.1%) 순으로 나타났다. 사고를 예방하기 위해서 기술적인(설비적인) 측면에서 열화(부식 및 노후화), 기준미비, 설계불량 등의 사고부위에 대하여 공정 위험성 평가를 실시하고, 개선사항을 실행하므로써 공정 위험성을 제거하여야 하며, 안전관리적인 측면에서는 보수불량, 오조작, 기량미숙, 오판단 등의 원인이 근로자의 심리적인 요인에 의해 발생하는 사고임으로 안전교육·훈련 및 기능에 대한 교육을 주기적으로 실시함과 동시에 인간공학적인 표기·표시를 실시하는 것이 바람직하다.

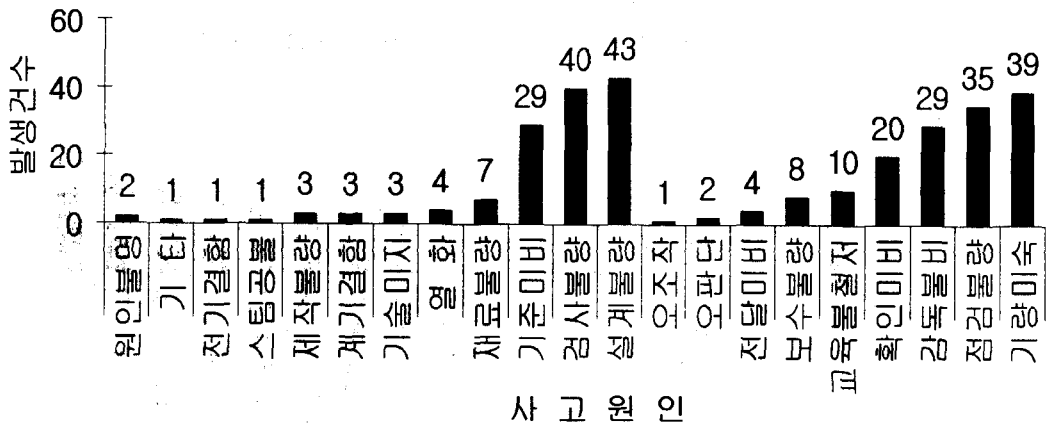
(나) 사고의 간접원인 분포

정유공장에서 발생한 사고 285건에 대한 사고의 간접원인 분포를 <그림-6>에 나타내었다. 간접원인은 기술적인 원인과 안전관리적인 원인으로 보면, 직접원인과 반대로 기술적인 측면이 134건(47.0%), 안전관리적인 측면이 148건(51.9%)이고, 원인불명이 2건으로 나타났다. 간접원인의 기술적인 측면은 설계불량이 43건(15.1%)으로 가장 많았고, 그 다음이 검사불량으로 40건(14.0%), 기준미비가 29건(10.2) 순으로 나타났으며, 안



<그림-5> 사고의 직접원인별 사고발생건수의 분포

전관리적인 측면은 기량미숙이 39건(13.7%)으로 가장 많았고, 그 다음으로 점검불량이 35건(12.3%), 감독불비가 29건(10.2%) 순으로 나타났다. 사고의 예방을 위해서 간접원인을 보면, 기술적인 측면에서는 정유공장내 기술자의 기술향상이 요구되고 있으며, 안전관리적인 측면에서는 직접원인과 동일하게 안전과 기능 향상을 위해 교육·훈련이 주기적으로 실시하도록 하는 것이 바람직하다.



<그림-6> 사고의 간접원인별 사고발생건수의 분포

(7) 설비별 사고발생건수의 분포

정유공장에서 발생한 사고 285건에 대하여 설비별 사고발생건수의 분포를 <그림-7>에 나타내었다. 설비별 사고발생건수의 분포를 보면, 배관에서 71건(24.9%)으로 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로 회전기기가 36건(12.6%), 가열로가 28건(9.8%), 열교환

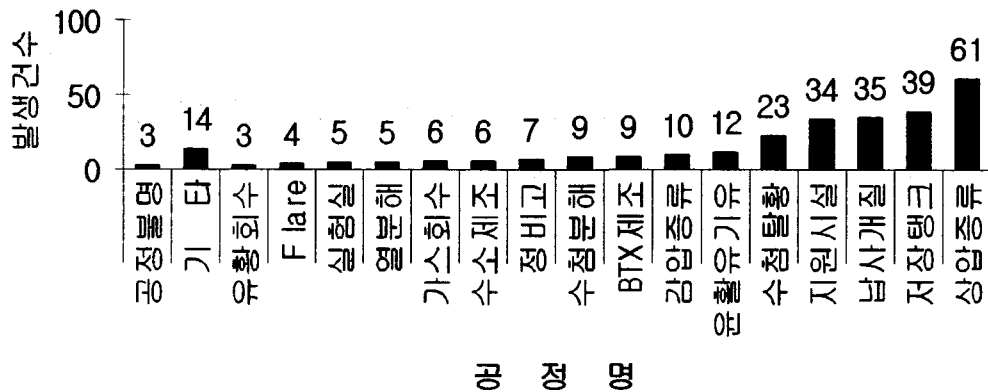
환기가 26건(9.1%), 전기설비가 24건(8.4%) 순으로 나타났다.



<그림-7> 설비별 사고발생건수의 분포

(8) 공정별 사고발생건수의 분포

정유공장의 공정별 사고발생건수의 분포를 <그림-8>에 나타내었다. 공정별 사고발생건수의 분포를 보면, 상압증류공정(CDU)이 61건(21.4%)으로 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로 저장탱크시설(OFF)이 39건(13.7%), 납사개질공정(PLT)이 35건(12.3%), 유틸리티지원시설(UTL)이 34건(11.9%), 수첨탈황공정(HDS)이 23(8.1%), 윤활유기유제조공정(LUB)이 12건(4.2%), 감압증류공정(VDU)이 10건(3.5%) 순으로 나타났다.



<그림-8> 공정별 사고발생건수의 분포

3. 결론

1964년부터 1995년까지 국내 정유공장의 사고사례 285건을 연도별, 월별, 요일별, 시

간대별, 사고원인별, 설비별 및 공정별 사고발생건수의 분석·고찰하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연도별로 분석한 결과는 신증설공장에서 고장률을 나타내는 욕조곡선(bathtub curve)처럼 초기의 고장 또는 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 신증설의 설계 시에는 필히 공정 위험성 평가를 실시하여 위험을 감소시키고, 운전개시전에 가동전 점검을 실시하여 설계도서와의 차이점을 확인하고, 위험성 평가의 조치사항이 반영되었는지의 여부를 확인하는 것이 매우 중요하다.
2. 월별로 분석한 결과는 7월이 하기휴가철이기 때문에 안전관리적인 측면에 인적인 요인(감독불비, 오조작, 오판단 등)에 의한 것이고, 11월에 많은 사고가 발생한 것은 정기보수작업을 마치고, 석유류의 성수기를 위해 가동률을 높임에 따라 기술적인(설비적인) 요인에 의한 것으로 설계용량대로 운전하여야 한다.
3. 요일별로 분석한 결과는 정유공장에서도 심리적인 요인인 월요일병이 적용되고, 사고를 방지하기 위해서 월요일 아침에는 가능한 안전교육을 실시하거나 안전점검의 날로 정하여 안전의식을 고취토록 하는 것이 바람직하다.
4. 시간대별로 분석한 결과는 사고가 가장 많이 발생하는 시간대는 모든 작업이 시작되는 오전시간(08:00~12:00)에 74건(26%)이므로 이를 방지하기 위해서는 작업전에 안전에 관련된 안전교육 등을 실시하는 것이 바람직하다.
5. 사고원인별로 분석한 결과는 기술적인(설비적인) 측면에서는 열화(부식 및 노후화)가 많이 발생하는 부분이나 기준미비, 설계불량 등에 대해서 특히 공정내의 사고부위에 대하여 공정 위험성 평가를 실시하여 위험을 도출하고, 가장 경제적이고, 과학적인 방안의 개선사항을 작성하여 이를 실행함으로써 공정 위험성을 제거하여야 하고, 안전관리적인 측면에서는 보수불량, 오조작, 기량미숙, 오판단 등의 원인이 근로자의 심리적인 요인에 의해 발생하는 사고임으로 그 원인을 제거하기 위해 안전교육·훈련 및 기능에 대한 교육을 주기적으로 실시함과 인간공학적인 표기·표시를 실시함으로써 사고를 감소시킬 수 있다.
6. 설비별로 분석한 결과는 배관의 열화, 검사불량, 설계불량 등임으로 사고부위에 대해서는 공정 위험성 평가를 실시하여 위험을 도출하고, 그 개선사항을 실행함으로써 많은 사고를 감소시킬 수 있다.
7. 공정별로 분석한 결과는 다음과 같다.
 - 가. 상압증류공정(CDU)은 중대산업사고의 예방을 위해서는 사고가 발생한 부분의 사고사례를 기초로 하여 공정 위험성 평가를 실시하고, 그 위험성을 도출하여 사고가 재발하지 않도록 개선사항을 작성하여 실행하며, 이를 설비적으로 개선하고, 또한, 이를 운전과 정비요원에게 교육하여 기능을 향상시켜 동일사고의 재발이 방지될 것이다.

- 나. 저장탱크시설(OFF)은 저장탱크시설에서 사고를 예방하기 위해서는 운전 및 작업기준(SOP)을 정확히 작성하여 운전 및 정비요원에게 주기적으로 교육·훈련함으로써 기능을 향상시켜 많은 사고를 미연에 방지할 수 있다.
- 다. 납사개질공정(PLT)은 철저한 공정 위험성 평가를 실시하고 개선권고사항을 실행함으로써 사고를 미연에 방지할 수 있다.
- 라. 유틸리티지원시설(UTL)은 열화가 발생한 부위에 대해서는 공정 위험성 평가를 실시하여 위험을 도출하고, 개선사항을 실행함으로써 사고를 감소할 수 있을 뿐만 아니라 본 평가서를 운전요원에게 교육시켜 기능을 향상시킴으로써 사고를 미연에 방지할 수 있다.

이상과 같은 결과를 토대로 사고예방을 위해서는 공정 위험성 평가를 실시하여 위험을 도출하고, 가장 경제적이고, 과학적인 개선사항을 설비 등에 개선 및 반영하여 공정의 위험을 제거하여야 한다. 이 평가서를 기본으로 운전요원 및 정비요원을 교육시킴으로써 기능을 향상할 수 있어 중대산업사고의 예방에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국산업안전공단, 위험물 안전관리 개선방안(KDI주관 '97년 국가정책개발사업), 1997. 9.
2. 일본 콤비나트재해방지법, 고압가스취제법 및 안전위생법
3. A정유(주), 사고일지 및 조사자료
4. B정유(주), 사고일지 및 자료
5. C정유(주), 사고일지
6. D정유(주), 사고일지
7. E정유(주), 사고일지
8. D정유(주), 공정설명 및 개요(SOP)
9. 원저-Frank P. Lees(번역- 최상복), 장치산업에서의 손실방지공학 : 한국산업안전공단 발행, 1996. 5.
10. 일본 고압가스보안협회, 고압가스보안총람(평성 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8년), 1990년~1996년
12. 노동부, 산업안전보건법 : 한국산업안전공단, 1998
13. 쌍용정유(주), 사고사례집(정유공장) : 쌍용정유발행
14. 한국산업안전공단의 사고속보
15. 한국산업안전공단 위험설비안전센터, IRMS의 보고서, 1998년
16. Trevor A. KLETZ, Plant design for safety : A user-friendly approach,