

유류화재 사고 · 사례 분석 Case Analysis of Oil Fire Accidents

Yeong Jin Chung*, Ji Sun You, Du Seok Bang

Dept. of Fire Protection Engineering, kangwon National University

Abstract

According to latest results by the National Emergency Management Agency(2007-2012), based on the National Fire Information System, it shows that oil fire is 2019 cases, accounting for 4.4% of all fire, causing casualties including 299 human lives and property damage estimated at 15,795,120 thousand won at an annual average, followed by 13.2% and 5.6% respectively. In this study, the cause and the process of oil fire accidents are investigated and measures for this accidents are proposed by classifying oil fire into oil tank fire, gas station-car fire, kitchen-stove fire and factory fire which are likely to break out and analyzing the examples of accidents. Compared to other fire Oil fire is rapidly expanding from the first and an explosion is a high risk to cause a large fire. Especially dealing with a large amount of oil in oil tank and plant showed a much more human and material damage. It is considered that these accidents are mostly caused by workers' neglecting of management, carelessness and static electricity or sparks by ignition. through safety education, we should make effort to prevent oil-caused conflagration by safety education enhancing people' awareness.

Key words: oil, oil fire, accident case

국문초록

최근 6년간(2007-2012)의 소방방재청 국가화재정보시스템을 통하여 통계 자료를 분석해 본 결과 전체 화재 중 유류화재는 2019건으로 4.4%를 차지하며, 인명피해는 연평균 299명으로 13.2%, 재산피해는 연평균 15,795,120천원으로 5.6%의 재산손실이 발생하였다. 본 연구에서는 유류화재가 많이 일어날 가능성이 높은 유류탱크 화재, 주유소·자동차 화재, 일상 화재, 그리고 공장 화재로 분류를 해 사고사례의 분석을 통해 사고의 원인과 과정을 조사하고, 이에 대한 대책방안을 제시하였다. 유류화재는 초기부터 화재가 빠르게 확대되고, 폭발의 위험이 커 다른 화재에 비해 대형화재를 일으킬 가능성이 높다. 특히 유류탱크와 공장에서 유류의 양을 많이 취급하고 있어 훨씬 더 인적·물적 피해가 나타났다. 이와 같은 대부분의 사고 원인은 많은 사고사례에서 보여준 바와 같이 작업자의 관리 소홀과 부주의 그리고 정전기 또는 스파크가 유증기에 착화되어 발화해 일어나는 것으로 판

* Corresponding author. Tel. +82-33-540-3119. Fax: +82-33-540-3219. E-mail. yjchung@kangwon.ac.kr.

Submission & Publication Process

Received: Jan. 5, 2014 / Revised: Feb. 02, 2014 / Accepted: Feb. 22, 2014

단된다. 따라서 국민들의 안전교육을 통해 주의 및 안전의식을 높여 유류화재의 예방에 힘써야 한다.

주제어: 유류, 유류화재, 사고사례

1. 서론

우리나라는 1960년 초만 해도 주종 에너지원이 석탄이었는데 경제개발을 위한 산업의 동력원으로서 석유 소비가 급증함에 따라 1962년에 9.8%에 불과하던 석유 소비는 1971년에 50.6%를 차지하여 국내 에너지 소비의 절반 이상을 담당하게 되었다. 1978년 최고 63.3%까지 이르렀던 석유소비 비중은 차츰 낮아져 2007년 기준 43% 수준에 머물고 있지만 석유에 천연가스를 포함시키면 주요 에너지 수요구성 중에서 차지하는 비중은 50% 이상으로 현재까지도 주종 에너지원으로 쓰이고 있다[1]. 석유는 자동차, 항공기 등의 내연기관의 추진력을 얻는 연료, 팬히터, 온풍기, 석유난로 등 가정에서 쓰이는 난방기구, 유회체의 종류나 용도에 따라 선택적으로 사용하고 있듯이 일상생활에 밀접하게 접해 있다. 그러나 사업장에서 화재·폭발·중독 사고가 많이 발생하고 있어 사고의 위험성이 커 인체 등의 생명체에 독성을 나타내기도 하며, 화기 등에 의한 인화, 폭발의 위험이 크다.

석유나 제4류 위험물을 연료로 사용함으로써 일으킬 수 있는 유류화재는 초기부터 빠르게 화재를 확대해 대형화재로 이어질 가능성이 커 다른 화재에 비해 10% 넘는 인명피해와 2배인 재산피해가 나타나고 있다[2]. 이런 화재 및 재해를 예방해 국민의 재산과 신체를 보호하기 위해 유류화재 사고분석은 반드시 필요하다.

대표적인 사고로 손꼽을 수 있는 사고사례는 2003년 02월 18일에 일어난 대구지하철화재[3]로 페트병에 휘발유를 담아 방화로 일어난 사고로 사망자 200여명과 부상자 146명이 일어나 모든 국민들에게 커다란 충격을 주었던 사고이며, 또 다른 하나는 2008년 01월 07일에 일어난 경기도 이천 냉동 창고 화재[4]이다. 이 사고는 점화원에 의한 유증기 폭발로 사망자 40명, 부상자 17명을 낸 안타까운 사고였다. 두 사건으로 알 수 있듯이 유류화재는 언제나 우리의 생명을 앗아가고, 많은 재산피해를 낼 수 있는 대형화재로 일어날 가능성이 높다.

또한, 유사석유제품[5]이나 식용유[6], 유류탱크에 관한 연구[7] 등 유류화재의 연구가 일부 이루어져 왔다.

유류화재는 인화되기 쉽고(인화성 액체), 착화온도가 낮아 재연소의 우려가 있으며, 증기는 공기와 약간 혼합되어도 연소의 우려가 있다. 연소는 물질이 산소와 화합할 때 많은 빛과 열을 내는 현상으로 연소가 되어 화재로 이어질 때 화재 시 단위 시간당 소비되는 고체·액체 연료의 질량으로 연소속도를 구하는 것은 매우 중요하다.

이에 적용되는 연소속도 식은 아래와 같다[8].

$$\dot{m}'' = \frac{q}{L} \quad (1)$$

\dot{m}'' : 질량연소유속(단위면적당 질량연소속도)

q'' : 연료표면에 대한 순수 열유속(화염으로부터 나오는 실제 열유속)

L : 기화열(heat of gasification: Latent heat)

이 식은 각 지점이 어떻게 연소하는가를 설명하는 식으로, 각각의 표면에 상응하는 m'' 은 전체 연소속도가 된다. 대기 중 산소의 증가는 공기 중과 비교하여 폭발 하한계(Lower Explosive Limit: LFL)는 거의 영향이 없으나, 상한계(Upper Explosive Limit: UFL)는 크게 증가하여 전체적인 폭발범위는 넓어지게 된다. 산소의 증가는 화염온도의 증가로 연결되고, 온도가 높아지면 폭발 하한계(LEL)는 감소하고 상한계(UFL)는 증가하여 전체적으로 온도로 인한 폭발범위가 넓어지게 된다. 온도변화에 따른 폭발 한계 계산식은 아래와 같다.

$$LFL_t = LFL * (1 - 0.08 \Delta T / 100) \tag{2}$$

$$UFL_t = UFL * (1 + 0.08 \Delta T / 100) \tag{3}$$

LFL_t, UFL_t: t°C 에서의 폭발 하한계, 상한계(vol%)

LFL*, UFL*: 25°C에서의 폭발 하한계, 상한계(vol%) $\Delta T = t^\circ C - 25^\circ C$

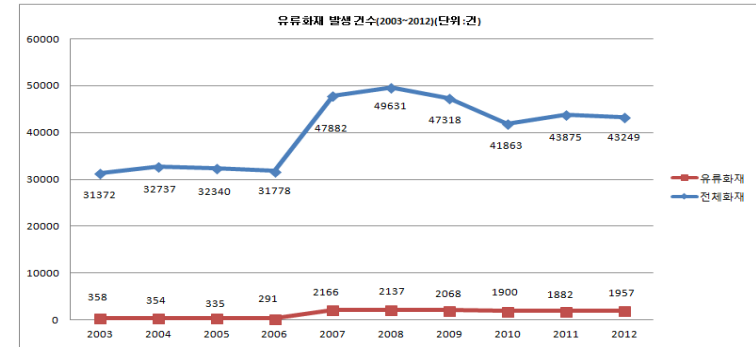
연소범위는 폭발범위가 넓거나 폭발하한계가 낮을수록 위험한데, 유류화재의 착화온도가 낮은 점과 공기가 약간 혼합되어도 연소의 우려가 있는 성질상 화재의 질량연소속도가 매우 빨라 초기진화가 매우 어려워 다른 화재에 비해 대형화재로 이어질 수 있어 위험성이 매우 높다.

그러나 유류화재 사고 사례가 많이 발생됨에도 불구하고 전체적으로 다룰 때 일부분으로 언급할 뿐, 다른 화재사고 사례 분석에 비해 유류화재에 대한 사고 사례분석에 관한 연구는 아직 많이 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 유류화재가 자주 발생할 수 있는 사례들을 다양한 관점으로 분석하여 유사한 유류화재의 사고를 방지하고 예방대책의 자료 및 교육 자료로 활용하고자 한다. 또한, 앞으로 유류화재로 인한 주의 및 안전의식을 높이고 법적·현실적인 예방대책을 세워 재산과 신체를 보호하기 위함이다.

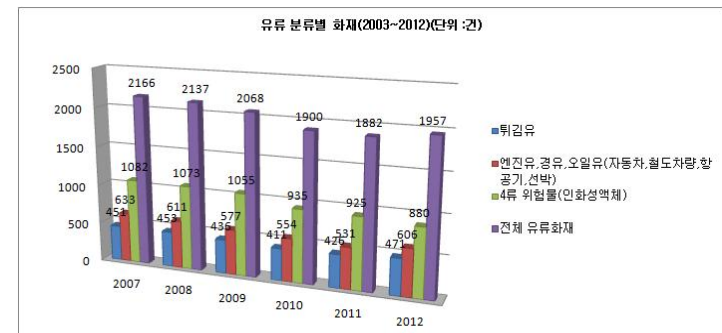
II. 유류 화재 통계치 분석

국가화재분류체계 혁신안 시행 이전에는 화재의 원인을 전기, 방화, 가스, 담배 유류, 불장난 불티, 기타로 분류했으나 국가화재분류체계 혁신안이 시행되면서 2007년 이후부터는 전기적 요인, 기계적 요인, 화학적 요인, 가스누출, 교통사고, 부주의, 자연적 요인, 방화, 방화의심, 기타, 미상으로 좀 더 넓고 자세히 분류했고, 재산피해가 없는 경우도 화재건수로 포함시키게 되면서 급격히 증가하게 되었다[9]. 따라서 <Fig 1>, <Fig 2>에 보여준 바와 같이 2006년도와 2007년도 사이가 가파른 모양이 된다는 것을 알 수 있다.



<Fig 1> 2003~2012 Years Statistical Analysis of an Oil Fire: Generation Number[9].

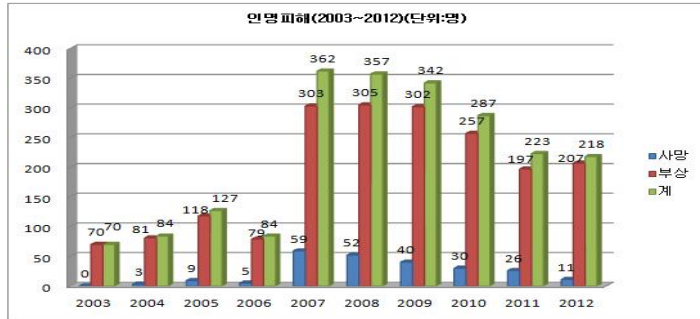
<Fig 1>은 2003년~2012년간 유류화재 발생건수를 나타내었다. <Fig 1>에 나타난 바와 같이 2003~2006년 가스(LNG, LPG), 무연탄, 원자력 등 대체 에너지의 등장으로 유류의 소비가 감소되면서 유류화재의 발생건수도 감소하게 되었다. 또한 2007년도부터 국제유가가 급등하기 시작했고, 2008년부터 국내 경기침체로 인해 유류사용량이 감소해 화재발생건수도 적어졌다. 유류화재는 현대사회가 지속적으로 발전함에 따라 감소추세에 있을 것으로 판단된다. 2007년 이전에는 화재의 원인에 유류를 따로 분류했지만 2007년 이후에는 단독으로 분류되었던 유류가 분류에서 없어지고 세부적으로 위험물 등으로 구분했다. 그래서 본 연구에서는 아래 분류별에 따라 유류화재의 범위를 정했다.



<Fig 2> 2003~2012 Years Statistical Analysis of Classified Oil Fire: Generation Number[9].

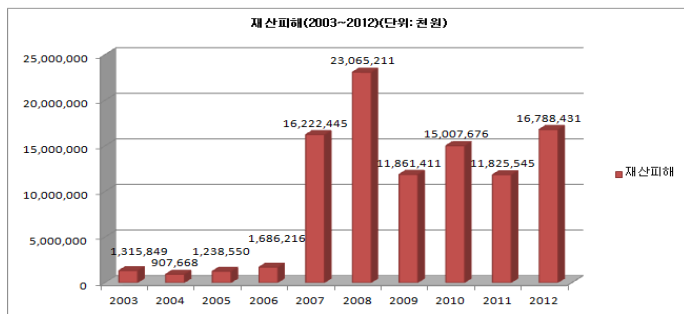
<Fig 2>는 2007년 시행한 국가화재분류체계 혁신안에 따라서 유류화재를 전체 범위로 정하고 제4류 위험물, 운송수단에 쓰이는 엔진유, 경유, 오일유 그리고 튀김유로 분류하여 나타내었다. 제4류 위험물이 제일 많이 발생했고, 그 다음으로는 엔진유, 경유, 오일유이며, 마지막으로 튀김유였다. 제4류 위험물은 인화성 액체로서 화기 등에 의한 인화, 폭발의 위험이 크며 화재의

확대 위험이 있어 발생빈도가 다른 분류보다 더 많다는 것을 알 수 있다. 튀김유는 다른 분류보다 위험성이 잘 알려지지 않았지만, 연도별로 400건이 넘게 발생하는 것으로 보아 언제든 화재로 이어질 수 있는 위험한 식물성 기름이란 것을 알 수 있다.



<Fig 3> 2003~2012 Years Statistical Analysis of An Oil Fire: Casualties[9].

<Fig 3>은 2003년~2012년간 유류화재에 의한 인명피해를 나타내었다. <Fig 3>에 나타낸 바와 같이 2003~2006년까지는 비슷한 수치를 기록하지만 2005년만 다른 해에 비해 높은 수치를 기록하고 있다. 그 이유는 대구광역시 수성구 사우나에서 발생한 화재로 볼 수 있는데, 이 사건은 보일러실의 경우 보일러가 폭발해 사망5명, 부상 53명으로 2005년 발생한 사망자와 부상자의 50%정도로 차지한 큰 사건이다. 이처럼 유류화재는 위험물로 폭발을 하고, 유독가스를 방출시켜 피난자의 피난에 많은 어려움을 주기 때문에 다른 화재에 비해 사망자가 10%나 차지하는 등 인명피해가 많다. 또한 앞에서 설명했듯이 2007~2012년까지는 화재발생률의 감소에 따라 점차 감소하고 있는 양상을 볼 수 있다.



<Fig 4> 2003~2012 Years Statistical Analysis of An Oil Fire: Property Damage[9].

<Fig 4>는 2003년~2012년까지 유류화재에 의한 재산피해를 나타냈다. <Fig 4>에서 보여준

바와 같이 재산피해의 증가와 감소를 반복하고 있는 불규칙한 패턴으로 나타났고 그 중 2008년도는 다른 해와 다르게 가장 높은 수치를 기록하고 있다. 2008년 2월 10일에 발생한 인화성 액체 시너를 이용하여 방화로 인한 승려문 화재로 볼 수 있는데, 이 화재는 10,000,000천원 정도의 재산피해를 냈고 국보 1호를 앗아간 가장 큰 피해 사건이었다. 유류화재로 인한 재산피해를 줄이기 위해서 유류취급에 관한 법적 사항을 더욱 강화하고 취급 시 안전사항을 준수하고 따라야 한다.

III. 사고사례 분석

1. 유류탱크 화재

사례1. 옥외저장탱크 경유 화재[10]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2008. 9. 1(월) 10시 43분 경
- ② 사고장소: 인천광역시 남동구(Figure 5, 6)
- ③ 사고원인: 용접기 불티로 인한 발화 추정
- ④ 사고과정: 보일러 기름배관을 산소용접기(토오치)로 가열하던 중 배관이 풀리면서 기름이 유출, 산소용접기 불꽃에 의한 인화 발화되어 보일러 열매순환장치 및 보일러 내부일부가 소실됨.

2) 위험물 시설 현황 및 피해현황

① 위험물 시설 현황

설치장소		위험물시설			
구분	구조/규모	시설구분	저장-취급 위험물	수량	비고
저장소	철근콘크리트 구조 3층 5동 연면적 8,442m ²	옥외저장소 옥외탱크저장소(3기)	제4류 제2석유류 등 6종	18,400 L	
			제4류 제2석유류	50,000 L	
			제4류 제4석유류(DOP)	50,000 L	
			제4류 제3석유류	2,000 L	

② 피해현황

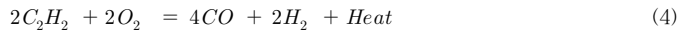
인명피해	재산피해
부상 2명	10,997천원(부동산 6,722천원, 동산 4,275천원)

3) 사고분석

보일러는 고온(350 ℃이내)공정에서 밀접하게 사용되는 시스템으로 석유, 석탄, 도시가스 등의 연료를 연소시켜 그 연소열을 물에 전하여 온도와 압력이 높은 증기를 발생시키는 장치로서,

일상생활뿐만 아니라 각종 산업에서 쓰이고 있다. 난방 등의 연료에 관계가 있는 것은 제4류 위험물에 해당하므로 보일러 관계에서 사용하는 액체 연료도 마찬가지로 제4류 위험물이다. 이 사고의 위험물 시설에는 제4류 위험물 중 인화점이 21℃ 이상~70℃ 미만인 제2석유류, 인화점이 70℃ 이상~200℃ 미만인 제3석유류, 인화점이 200℃ 이상~300℃ 미만인 제4석유류인 위험물들을 저장·취급 한 시설의 보일러 기름배관을 산소용접기로 가열을 했다.

이처럼 산소용접기(토오치)는 산소와 아세틸렌을 섞은 가스에 불을 붙이면 높은 열을 내면서 타게 되므로 이 불꽃을 녹이고자 하는 급속에 대고 용접을 한다. 이 불꽃의 온도는 3,500℃나 되며, 산소수소의 불꽃보다도 높은 온도이다. 또한 아세틸렌은 분해성 가스의 대표적인 것으로 반응 시 발열량이 크고 산소와 반응하여 연소 시 3000℃의 고온이 얻어지는 물질로서 급속의 용융절단, 용접에 사용된다[11].



공기가 약간 혼합되어도 연소의 우려가 있는 특성상 산소가 더해져 폭발 범위가 넓어지고 앞에서 설명한 (1)식에서 휘발유는 기화열이 0.33(kJ/g)이므로 질량연소유속이 빠르게 진행된다[8]. 따라서 이 사고는 산소용접기(토오치)로 가열하던 중 배관이 풀리면서 고온의 기름이 유출되어 3500℃인 온도의 불꽃에 인화 발화되어 <Fig 5>, <Fig 6>에서 보여준 바와 같이 보일러의 열매순환장치 및 내부일부가 소실된 사고이다.

4) 문제점 및 대처방안

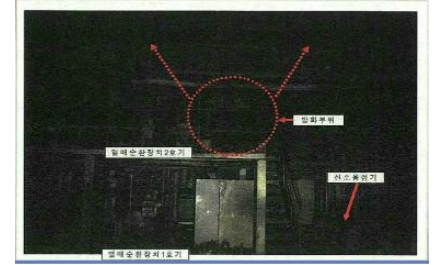
용접작업은 단기간에 고열을 수반하기 때문에 사고가 많이 발생할 수 있는 작업 중의 하나이므로 작업자가 사고에 대한 주의를 항상 기울여야 한다. 산업장에서는 작업자의 부주의나 관리소홀로 인해 사고가 자주 발생하고 있다. 제일 중요한 대책은 가연물을 발화원으로부터 이격 또는 차단시키고[12], 용접 시 작업 지침을 따라야 하는 것이다. 그 밖에도 안전감독자를 선임해 지정관리를 하고, 작업자들을 교육시키고, 소방시설, 전기, 가스시설 등을 미리 점검해 안전에 대비해야 한다. 작업자들은 용접작업 전·후 작업도구를 점검하고 불티가 침투할 수 있는 틈새 등 수시로 철저한 확인을 해야 한다. 작업 시 안전거리를 확보해야 하며, 용접장갑과 보안면을 반드시 착용해야 한다. 용접불씨가 비산되거나, 용접, 용융부위로부터 흘러내리지 않도록 석면포를 씌우는 것도 좋은 방법 중의 하나이다. 또한, 산소-아세틸렌 용접장치는 용기를 이동시킬 때에는 손수레를 이용하고, 넘어지지 않도록 잘 고정한다. 그렇지 않으면 쓰러지거나 압력조정기 등을 손상시켜 사고가 발생하는 경우가 있다. 마지막으로 작업장에서는 충분한 수량과 용도에 맞는 소화기를 배치해 화재 시 대비해야 하며, 화재정보기도 주기적으로 시험해보고 정상적으로 작동하는지 확인해야 한다[12].

사례 2. 유류저장탱크 경유 화재[13]



<Fig 5> Upon Arrival at the Whole Accident Site.

※ Source: [10].



<Fig 6> Heat Transfer Circulation System in the Boiler Room that had been Destroyed by Fire.

※ Source: [10].

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2013. 03. 07(목) 08시 20분 경
- ② 사고장소: 경북 구미시 오태동 한국광유(<Fig 7>, <Fig 8>)
- ③ 사고원인: 충격에 의한 스파크가 유증기에 착화하여 폭발했을 것으로 추정
- ④ 사고과정: 병커 C유를 저장하고 있던 20만 L 규모의 옥외 저장탱크에 사고 당시 저장탱크에 4,000리터 정도의 기름이 남아있어 탱크 내에 있던 병커유가 옮겨지는 과정에서 유증기가 발생 했고 어떤 충격에 의해 스파크가 일어나 병커 C유 저장탱크가 폭발 하면서 불이 난 것으로 추정[14].

2) 위험물 시설 현황 및 피해현황

① 위험물 시설 현황

설치장소		위험물시설			
구분	구조/규모	시설구분	저장·취급 위험물	수량	비고
저장소	확인불가	옥외탱크저장소(4기)	제4류 위험물 2석유류(경유)	23,000 L	
		등유 20만L 2기	제4류 위험물 2석유류(등유)	27,000 L	
		경유 20만L 1기 중유 20만L 1기	제4류 위험물 3석유류(중유)	20,000 L	

② 피해현황

인명피해	재산피해
없음	900만원

3) 사고분석

병커-C는 점착도가 50℃ 이상으로 점착성이 강한 중유로서, C중유라고도 한다. 에너지기본법 시행규칙의 에너지열량 환산기준에 의해 병커-C는 9,900kcal/L이며, 병커-A의 총 발열량은 9,300kcal/L, 병커-B는 9,650kcal/L로써, 병커-C의 발열량이 가장 높다는 것을 확인할 수 있다.

또한, 벵커-C는 증유의 기화열인 0.5(kJ/g)로써, 질량연소유속이 빠르다는 것을 알 수 있다[8]. 하지만 점도가 높고 상온에서 유동성이 좋지 않아 연료 공급 및 취급이 어려운 단점이 있으나, 발열량이 높고 가격이 저렴하여 증유 가운데 가장 많은 소비가 이루어지고 있으며, 대형 보일러, 대형저속 디젤 기관 등의 연료로서 예열보온설비가 갖추어진 연소장치에 쓰인다. 옥외탱크 저장소 4기 중에 증유 200,000L 2기, 경유 200,000 L 1기, 증유 200,000L 1기가 설치되어 있었는데, 증유의 화학식은 탄소수: C9~C18이며, 인화점은 40~70℃, 발화점은 220℃, 연소범위는 1.1~6%이며, 경유의 화학식은 탄소수: C15~C20으로, 증기 비중은 4.5, 인화점은 50~70℃, 발화점은 200℃, 연소범위는 1~6%이다. 증유는 인화점 60~150℃, 발화점 254~405℃이다.

사고 당시 저장탱크에 4,000L 정도의 기름이 남아있어 탱크 내에 있던 벵커유가 옮겨지는 과정에서 유증기가 발생 했다. 이처럼 유증기는 연료유, 윤활유, 유압기유 등이 고압으로 미세한 틈으로 분사되어 생성되거나, 기기 혹은 배관 등으로부터 유출되어 액체 상태로 존재하다가 고열의 장비에 접촉함으로써 기화된 후 보다 낮은 온도의 공기와 만나서 생성되는 것으로 유증기의 발생 원인을 들 수 있다[15][16].

따라서 이 사고에서는 옥외탱크저장소와 같은 밀폐된 공간 내에 존재하게 된 유증기의 농도가 폭발 하한점(Low Explosive Level: LEL)에 이르게 되어 발화점보다 높은 스파크(정전기에 의한 불꽃)에 접촉하여 <Fig 8>에서 보여준 바와 같이 옥외저장탱크 지붕이 폭발하면서 불이 난 것으로 볼 수 있다.

4) 문제점 및 대책방안

위험물이 대용량일수록 더 경제적인 옥외탱크저장소를 설치하고 있는데 옥외에 설치되기 때문에 기타 탱크저장소보다 위험에 노출될 확률이 높고, 유류수급 조절을 위한 비축기지 등이 군집형태로 모여 있어 사고 발생 시 연쇄적으로 영향을 받을 수 있기 때문에 위험성이 더 크다.

따라서 위험물 시설을 정기적으로 점검하는 제도를 개선해야 한다. 주로 형식적으로 육안에 의한 점검을 실시하는데, 이러한 형식적인 육안 점검은 탱크 조실과 같은 외부는 땅에 묻혀 있기 때문에 눈으로 확인하기 힘들다. 이렇듯이 정확하고 자세한 위험요소를 발견하지 못하고 방치되어 나중에는 큰 사고로 직결될 수 있기 때문에 장비와 전문적인 지식을 갖춘 인력으로 구성된 위험물 진단기구를 형성해 점검하는 제도를 설립해야 한다. 그리고 옥외탱크저장소는 설비 자체가 지상에 있어 자연적인 영향으로 인해 부식 등 많은 취약성을 갖고 있기 때문에 피뢰설비의 접지부분의 부식상태를 주기적으로 점검해 정상적인 기능을 할 수 있도록 해야 한다. 또한, 위험물 안전 관리자들의 교육에 대한 품질도 더 높아져야 하며, 소방펌프를 주기적으로 작동시켜 배관세척을 실시하고, 방유제 내부의 배수로는 이물질이 없도록 관리하고 배수구의 밸브는 상시 밸브를 닫아두어야 한다.

2. 주유소, 자동차 화재

사례 1. 유사 석유제품 적재 차량 유사석유 화재[17]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2007. 05. 23(수) 12시 01분 경
- ② 사고장소: 대전광역시 동구 소재 OO터널(<Fig 9>, <Fig 10>)
- ③ 사고원인: 펌프의 정전기 또는 스파크에 의해 유증기에 착화되어 발화
- ④ 사고과정: OO터널 출구부분 도로가에 주차한 차량 적재함에서 위험물을 혼합하기 위하여 적재함 내에서 펌프를 가동하던 중 발화한 것으로 추정.



<Fig 7> Exploded Oil Tank's Agency.

※ Source: [13].



<Fig 8> Roof of Exploded Outdoor Storage Tank.

※ Source: [13].

2) 피해현황

인명피해	재산피해
없음	동산 705만원

3) 사고분석

2004년 3월 개정된 석유사업법 6조에서는 석유제품이나 석유화학제품에 탄소와 수소를 함유한 물질을 혼합한 것 등으로 유사휘발유의 정의를 세부적으로 규정하고 있다[18].

또한, 앞서 다른 연구[5]에서는 휘발유와 유사휘발유의 성분분석 비교를 통해 유사휘발유의 유증기가 차량에 미치는 위험성과 유증기 배출장치가 설치되지 않아 폭발 가능성이 있다는 것을 관찰하였다.

유사휘발유의 유형은 용제 + 톨루엔 + 메탄올(5 : 4 : 1, 6 : 3 : 1)의 함량을 조절한 것으로 어떤 제품의 유효성분을 녹이기 위하여 사용되는 제조 원료인 용제와 제1석유류에 포함되는 톨루엔의 화학식: C6H6CH3로, 인화점 4℃, 발화점 552℃, 연소범위 1.4~7.1%이며, 메탄올의 화학식: CH3OH, 인화점 11.1℃, 발화점 470℃(공기 중)의 위험물을 혼합해서 사용하고 있는 유사석유를 만들기 위해 적재함 내에서 펌프를 가동하던 중 정전기 또는 스파크에 의해 유증기에 착화 되어 발화한 사고로, 이송배관 및 용기마찰로 축적된 정전기의 스파크가 유증기에 접촉하여 화재가 발생하였을 가능성과 유사휘발유를 이송하는 과정 중 모터 펌프에서 발생한 스파크가 유사휘발유의 유증기에 접촉하여 점화가 이루어져 화재·폭발하였을 가능성이 있다.

4) 문제점 및 대책방안

정상휘발유보다 높은 증기압으로 인해 휘발성이 높은 유사휘발유는 엔진에 노크현상을 발생시키기 때문에 진동과 소음이 발생하고, 엔진에서 연소하면서 수분이 발생해 엔진오일의 윤활 성능이 저하되고, 증기폐쇄상이 발생하여 출력저하와 불균일한 엔진작동을 유발한다. 또한 엔진계통의 금속재질의 부식과 고무부품의 팽윤 및 열화를 발생시킨다. 유사휘발유 저장탱크는 유증기 배출장치가 설치되지 않아 폭발 가능성이 높다. 운반하는 과정에서 적재된 유사휘발유는 차량의 사고발생시 마찰 스파크나 화재 등으로 2차 화재 폭발사고의 위험성이 커진다[5]. 유사휘발유를 만들거나 운송하는 사람들의 행동이 개선될 수 있도록 교육을 실시해 안전의식을 높이고 위반 행동 시 대처하기 위 해 법을 강하게 제정해야 한다.

사례 2. 셀프주유소 휘발유 화재[19]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2012. 03. 16(금) 08시 20분 경
- ② 사고장소: 부산 기장군 정관면 J셀프 주유소(<Fig 11>, <Fig 12>)
- ③ 사고원인: 주유기가 바닥에 닿으면서 일어난 스파크가 유증기와 기름에 착화
- ④ 사고과정: 20대 여성이 탄 SM5 승용차가 주유소에서 주유를 하기 위해 주유기를 꼽은 채 운전석에 앉아 기다렸다. 주유가 완료 된 후 운전자는 승용차 주입구에 꽂혀 있던 주유기를 뽑지 않고 매단 채 그대로 출발했고, 주유기에 호스가 뿔히면서 바닥에 부딪쳐 스파크가 일어나며 유증기와 기름에 착화됨[20].



<Fig 9> The Burned Vehicle Carrying Dangerous Materials.

※ Source: [17].



<Fig 10> Burned up Mixture Installation and Container.

※ Source: [17].

2) 피해현황

인명피해	재산피해
없음	2000만원

3) 사고분석

휘발유는 끓는점 범위가 약 30~200℃이며, 발화점이 300℃인 휘발성 경질 석유 제품으로 가솔린 이라고도 한다. 스파크 점화 엔진용 연료(자동차용 휘발유, 비행기용 휘발유), 세척, 추출 등의 용제(각 공업용 휘발유) 등으로 많이 쓰인다. 이 사고는 밀폐된 공간인 주유기 내에 존재하게 된 유증기의 농도가 점점 높아지면 최저 폭발 농도에 이르게 되어 있는 상태에서 <Fig 12>와 같이 휘발유를 넣은 SM5 승용차 한 대가 주유호스를 매단 채 출발하자, 이때에 주유호스가 바닥에 부딪쳐 불꽃(발화점보다 높은 열원)을 일으키면서 기름과 유증기가 가득 찬 주유기 근처에 점화되어 <Fig 11>과 같이 화재를 일으킨 사고이다.



<Fig 11> The Scene Firing of Fire in Lubricator.

※ Source: [19].



<Fig 12> The Scene Separated Hose with Lubricator Start by Departure of the Car.

※ Source: [19].

4) 문제점 및 대책방안

주유소는 항상 위험물이 비치되어 있어 많은 주의를 요하는 장소 중 하나이므로 주기적으로 주유소만의 안전 관리 방법을 제정하고 안전 교육 자료를 배포해 주유소 관계자의 안전의식을 향상시킨다. 그리고 주유호스의 파단 또는 주유기전도 등을 예방하기 위해 Safety Coupling이 부착된 주유호스를 사용하는 것이 좋다. 또한, 건물 내 화기관리 및 전기설비를 보완해야 한다.

3. 일상 화재

사례 1. 다세대주택 식용유 화재[21]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2013. 06. 22(토) 21시 15분 경
- ② 사고장소: 제주도 노형동 다세대주택<Fig 13>
- ③ 사고원인: 식용유 과열
- ④ 사고과정: 음식을 하는 도중에 조리 기구에 있던 식용유가 가열 되 가스레인지에서 시작된 불이 번지면서 주방 9.9 m²가 불에 타고 거실 6.6 m²에도 그을음이 발생함.



<Fig 13> Kitchen Images where the Fire Took Place.

※ Source: [21].

2) 피해현황

인명피해	재산피해
없음	부동산 214만원 상당

3) 사고분석

식용유는 15℃에서 완전히 액상이 되는 식물성 기름으로, 식물의 씨앗·견과류·열매 등으로부터 얻어진 지방산의 글리세리드이다. 식용유 화재는 일반 유류화재와 달리 인화, 발화의 온도차가 적으므로 식용유가 인화하여 화재가 발생되면 재발화하기 쉽고, 발화점이 300~400℃로 높지만, 일반 유류와는 다르게 일정온도에서 스스로 발화할 수 있는 연소특성이 있기 때문에 NFPA(미국방화협회)에서 식용유 화재를 K급 화재로 분류하고 있고, UL(미국보험협회 안전시험소)에서는 F급 화재로 분류되어질 만큼 위험성을 갖고 있다.

또한, 앞서 다른 연구[6]에서는 시중에 판매되고 있는 식용유를 온도측정(인화점, 발연점, 연소점)실험을 통해 자연발화온도가 상승함에 따라 발화 지연 시간은 짧아지는 경향을 관찰한 바 있다.

4) 문제점 및 대처방안

팬 안의 식용유가 부족하거나 다른 내용물이 섞여있을 경우 발화점이 낮아져 순식간에 화재가 발생할 수 있다. 식용유를 이용해 요리를 할 경우엔 불을 과도하게 과열시키지 않는 것이 가장 중요하다. 끓기 시작한 후에는 불세기를 낮추고 무엇보다 가열 도중 자리를 뜨지 말아야 한다[22]. 만약, 불이 났을 경우에는 튀김 냄비보다 훨씬 큰 수건, 시트 또는 방석을 물에 적서 냄비를 덮으면 냉각작용으로 인해 소화가 가능하다.

그러나 주의할 점은 방석은 재발화할 위험이 있으므로 화염이 없어지면 방석위에 충분한 물을 뿌려 기름을 냉각시킨다[23]. 식용유에 물을 뿌리면 더 큰 화재를 불러일으킬 수 있으므로 강화액 소화기나 질식소화기를 사용해야 한다. 또 간이 자동 소화 장치 하방 방출형을 주방화재에 설치하는 것도 좋은 방법이다.

사례 2. 간이난로 시너화재[24]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2007. 01
- ② 사고장소: 부산 OO자동차 정비공장 옥외작업장(<Fig 14>)
- ③ 사고원인: 용접기 토치의 불꽃이 시너에 착화
- ④ 사고과정: 난방을 위해 엔진오일 캔으로 제작한 간이난로에 나무를 집어넣고 쉽게 착화시키기 위해 LPG 용접기 토치로 불꽃을 발생시킨 상태에서 시너를 붓다가 화재가 발생함.



<Fig 14> Temporary Stove Made of Engine Oil Can.

※ Source: [24].

2) 피해현황

인명피해	재산피해
사망 1명	없음

3) 사고분석

토치는 토치랩프와 같은 말로 금속 따위의 절단이나 용접에 사용하거나, 연관 및 연피 케이블 등을 납땜하는 작업을 위해서 설계된 일종의 가스버너이며, 가솔린 증기를 연속 분사시켜 연료로 이용해 간단히 고열을 얻는 것이 특징이다. 이 사고를 살펴보면, 시너는 페인트를 묽게 하거나 희석, 자동차제조업의 도장 공정 등 자동차 정비공장에서 광범위하게 사용되고 있는 유기화합물질로, 시너를 쉽게 사용할 수 있는 장소였다. LPG 용접기 토치의 불꽃으로 <Fig 14>와 같은 간이난로 안에 젖어있는 목재(점화원)를 넣고 착화를 시키는 과정에서 불을 더 확산시키기 위해 시너를 부어 시너 표면의 인화성 증기를 타고 급격히 화재가 확산되어 재해자가 사망한 사고이다.

4) 문제점 및 대처방안

이 사고와 같이 엔진오일 캔으로 제작한 간이난로에 나무를 집어넣어 만든 화목난로는 공사

장이나 작업장, 야외에서 손쉽게 만들 수 있어 많이 이용하고 있다. 화목난로는 주로 뚜껑이 없는 채 사용하는 경우가 많아, 불티가 나와 가연물에 붙어 화재로 이어질 가능성이 높다. 여기서 가연물은 나무인데 나무를 많이 넣으면 화력이 강해져 연통까지 가열되어 연통과 주변 가연물이 접촉해 불이 나가거나 난로 주위에 가연물이 있어 복사열로 인해 화재가 날 수 있다[25]. 또한 나무연료는 불완전 연소상태의 불티가 발생하기 쉬어 위험하다. 또 이 사고에서 젖은 상태의 목재를 사용했는데, 이처럼 건조가 불완전한 나무를 연료로 사용하는 경우 목초액 등이 연통에 그을음 형태로 누적되어 연통의 과열을 초래하여 화재의 위험이 될 수 있다.

또한 시너는 휘발성이 강해 유증기가 쉽게 발생되는데 유증기 상태가 되면 시너의 폭발력은 커지게 된다. 따라서 안전한 구조의 난방 기구를 구비해 작업자들의 안전성을 높이고, 점화원이 있는 상태에서 시너를 붓지 말고 소량의 시너를 뿌린 상태에서 점화원을 접촉시키는 올바른 착화방법으로 개선해야 한다.

4. 공장 화재

사례 1. EP공장 유증기 화재[26]

1) 사건개요

- ① 사고일시: 2011. 08. 17(수) 14시 53분 경
- ② 사고장소: 울산시 남구 부곡동 OO EP 울산공장(<Fig 15>, <Fig 16>)
- ③ 사고원인: 유류가스가 미상의 점화원에 의해 폭발
- ④ 사고과정: 가전제품 케이스원료 폴리스틸렌을 생산하는 공장으로 8월 12~16일까지 공장 설비를 정비한 후 재가동하는 과정에서 폭주반응(Runaway reaction)이 발생해 상부에 설치된 파열판이 작동하였고 탱크의 반응열을 제대로 식히지 못해 스티렌모노머 가스가 공정 외부로 새어나와 외부물질과 마찰을 일으키면서 폭발함.



<Fig 15> The Scene that Handle the Fire of Building.

* Source: [26].



<Fig 16> A Burned-out Building and Car.

* Source: [26].

2) 피해현황

인명피해	재산피해
7명(3명 사망, 4명 중경상)	11억 8천만 원

3) 사고분석

냉각속도가 반응에 의한 열 방출 속도보다 낮다면, 반응기 내의 온도는 상승하게 되어 온도가 높을수록 반응 속도는 더 빨라지므로 열 방출 속도는 증가할 것이다. 이는 앞서 언급한[8] 질량 연소유속을 들 수 있는데, 온도가 높아지면 폭발범위가 넓어지고, 휘발유의 질량연소유속은 다른 연료보다 빨라 반응에 의한 열 방출 속도는 지속적으로 증가하지만 반응기의 냉각용량은 직선적으로 증가하기 때문에 냉각용량은 충분하지 않게 되어 반응기 내의 온도가 상승하게 될 때 발생되는데, 즉, 발열반응이 일어나는 반응기에서 냉각 실패로 인해 반응 속도가 급격히 증대되어 용기 내부의 온도 및 압력이 비정상적으로 상승하는 이상반응을 말한다[27].

이처럼 2차반응기내부온도와 압력이 급격히 상승하며 이상반응조짐이 발생 즉, 폭주반응이 일어났고 이 반응으로 인해 상부에 설치된 3.5 kg에서 작동되는 파열판이 작동하였고 플라스틱 원료를 혼합하는 탱크의 반응열을 제대로 식히지 못해 인화성이 큰 무색 액체인 인화물질 스티렌모노머 가스가 공정 외부로 새어나와 외부물질과 마찰을 일으키면서 폭발한 사고이다.

4) 문제점 및 대처방안

내부온도와 압력이 급격히 상승해서 발생한 이상반응조짐 등을 방지하기 위해서는 우선 위험물 취급설비는 설치목적, 공정의 운전조건과 취급물질이 가지고 있는 성질, 사용재료의 특성, 내압, 내열성, 내부 식성을 고려해 설계해야 하며[28], 취급물질의 조건에 적합한 재료의 개스킷을 사용하고 접합면을 상호 밀착시키는 등 적절한 조치로 접촉부를 관리해주어야 한다. 공장에서 취급하는 위험물은 잘 설계된 취급설비에서 벗어나지 않도록 관리해주고 소각처리 등 안전하게 배출되도록 해야 한다. 그리고 폭주반응 발생이 방지된 공정조건과 폭주반응 영향을 최소화한 보호 장치 등을 사용한다.

인화성 물질인 스티렌모노머의 증기가 지하 저장탱크 내에 존재하면 폭발할 수 있는 조건이 형성되므로 증기제거를 위해 통풍, 환기 등을 반드시 해주고 안전담당자를 선임해 관리감독으로 지정하여 수시로 점검해주어야 한다. 불꽃 또는 스파크가 발생하는 핸드그라인더 작업 시 등과 같은 작업은 금지해 위험을 막아야 한다.

사례 2. 정유공장 경유 화재[29]

1) 사고개요

- ① 사고일시: 2011. 04. 26 15시 17분 경
- ② 사고장소: 인천시 서구 원창동 SK에너지 인천 콤플렉스 정유 제2공장(<Fig 17>, <Fig 18>)
- ③ 사고원인: 유류 누유에 의한 화재
- ④ 사고과정: 반응기와 열교환기 이음새부분이 고압으로 인해 틈이 벌어져 그 틈으로 누유되면서 화재가 발생 하였고 불이 난 곳은 등유 또는 경유의 유황 성분을 제거하는 경유탈황설비에서 남[30].



<Fig 17> The Scene Brought a Fire Under Control.

※ Source: [29].



<Fig 18> The Scene Brought a Fire Under Control.

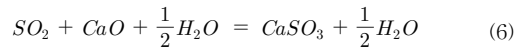
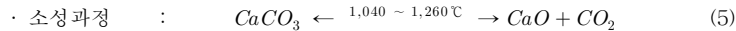
※ Source: [33].

2) 피해현황

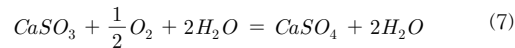
인명피해	재산피해
없음	1억1천만 원

3) 사고분석

탈황은 물질에 함유되어 있는 황 또는 황 화합물을 제거하는 일을 말하며, 경유탈황설비는 유황 성분이 있는 등유·경유에 수소를 첨가해 유황과 질소를 제거하는 시설로 건식 탈황법을 사용했는데, 이는 석탄이나 중유를 연소할 때 생기는 SO₂는 석회석의 소성에 의해서 생긴 생석회와 반응하여 황산칼슘이 되어 건조한 분말로 제거된다[31][32].



SO₂ 생성과정:



이 사고는 온도가 높은 유체로부터 온도가 낮은 유체에 열을 전달하는 열 교환기와 화학반응을 진행시키기 위한 반응기의 이음새부분에서 고압이 발생해 틈이 벌어져 파이프라인의 사고로 인해 누유가 되면서 발생했다.

4) 문제점 및 대처방안

대형 화재 및 폭발이 일어날 수 있는 위험성이 큰 공장은 공장별 자체 소방력을 보장하며, 소방 안전점검 체계를 구축해야 한다. 또한 종사원에 대한 소방안전 교육훈련을 실시하고 공장의

방화환경 조성도 해야 한다. 폭발화재 발생 즉시 연소라인에 연결된 밸브를 차단하고 잔류 가스를 모두 소진해 위험성을 낮추고, 배관 내 감압조치, 주변공작물 냉각조치 등 2차 폭발 방지에 노력해야 한다. 경유탈황설비의 특성상 기름을 저장해 두는 저유소와는 분리되어 더 큰 피해를 막을 수 있었다.

이처럼 저유소를 단독으로 설치하거나, 단독으로 설치할 수 없는 경우엔 작은 벽이나 안전설비를 설치해 2차 피해를 막는 것도 하나의 방법이라 할 수 있겠다. 또한, 위험설비 및 물질의 위험성을 파악해 집중관리하고 반응기류, 증류탑, 흡수탑 등에는 자동온도조정 설비를 필수적으로 설치한다. 또, 위험장치의 용접부위에 대한 균열 유무를 실시하고, 주위 배관이나 밸브 전기설비가 기준대로 설치되어 있는지 확인해야 한다.

5. 사례분석 종합정리

앞에서 분석한 사례들을 다음과 같이 하나의 표로 정리하였다.

유류화재 사고는 작업자의 관리 소홀과 부주의의 문제점이 매우 두드러지게 나타났고, 그로 인해 스파크가 유류에 착화하는 경우가 주를 차지했다. 다른 분류에 비해 특히 유류탱크와 공장에서 유류의 양을 많이 취급하고 있어 훨씬 더 인적·물적 피해가 많이 나타났다. 그리고 여기서 주목할 점은 공장 사례1에 나타난 바와 같이 7명이 사망하고, 11억 8천만원이라는 큰 재산피해가 나타난 점으로 보아 유류화재는 앞에서 언급했듯이 화재의 질량연소속도가 매우 빨라 초기 진화가 어려워 다른 화재에 비해 대형화재로 이어질 수 있다는 점이다.

	연번	발생일	사고원인	사고 물질	피해현황	문제점
유류 탱크	사례 1	2008. 9. 1	산소용접기 불꽃에 의한 발화	휘발유	2명/ 10,997천원	작업자의 부주의
	사례 2	2013. 3. 7	충격에 의한 스파크가 유증기에 착화	벵커 C유	900만원	작업자의 관리 소홀
주유소·자동차	사례 1	2007. 5. 23	펌프의 정전기 또는 스파크에 의해 유증기에 착화되어 발화	유사석유제품	705만원	석유사업법 위반
	사례 2	2012. 3. 16	주유기와 바닥과의 마찰열이 휘발유에 착화	휘발유	2,000만원	운전자의 부주의
일상	사례 1	2013. 6. 22	식용유가 과열되며 화재 발생	식용유	214만원	조리자의 부주의
	사례 2	2007. 1.	용접기의 불꽃이 시너에 착화	시너	사망1명	작업자의 부주의
공장	사례 1	2011. 8. 17	미상의 점화원에의해 유류가스의 폭발	휘발유	7명/11억8천만원	공장설비 정비 소홀
	사례 2	2011. 4. 26	유류누유에 의한 화재	경유	1억1천만원	공장설비 정비 소홀

V. 결론

최근 6년간(2007-2012)의 소방방재청 국가화재정보시스템을 통하여 통계 자료를 분석해 본 결과 전체 45,637건 중 2,019건으로 전체화재 중 유류화재는 4.4%를 차지하며, 인명피해는 전체 인명 약 2,266명 중 연평균 299명(13.2%), 재산피해는 전체 282,706,349천원으로 연평균 15,795,120천원(5.6%)의 재산손실이 발생하였다.

이런 대부분 유류화재의 사고 원인은 작업자의 관리 소홀과 부주의 또는 정전기·스파크가 유증기에 착화되어 발화해 일어나는 것으로 판단된다. 유류화재에서는 인화성·가연성 물질을 발화원으로부터 이격 또는 차단시키고 소방·전기·가스시설 등 미리 점검해 안전에 대비해야 하는 것이 매우 중요하다.

또한 상황에 따라 유류화재가 났을 경우 불을 끄는 방법을 국민들이 정확하게 인식할 수 있도록 교육 및 홍보를 하고, 안전교육을 통해 시민의식이 향상되어 불안정한 구조의 난방기구 사용이나 유사취발유 제조 등으로 인한 사고를 막을 수 있도록 해야 한다. 그리고 위험물을 취급하거나 저장하는 시설에 종사하는 종사자 및 관계자에게도 교육을 시켜 화재 예방에 힘쓰도록 해야 한다.

법적으로는 안전관리 방법을 제정하고 방화에 대비할 수 있도록 강력한 법적 조치가 필요하다. 유류화재를 대량으로 저장 및 취급하는 장소인 공장에서는 대형화재로 일어날 위험성이 매우 크기 때문에 전문적인 지식과 장비를 갖춰 점검할 수 있는 위험물 전담기구를 설립해야 한다.

또한 유류화재는 초기진화가 어려워 대형화재로 이어질 수 있기 때문에 항상 안전의식을 가지고 작업을 해야 하며, 시설을 상시 점검하고 정확한 방법으로 취급 및 사용하는 예방이 필요하다.

References

- [1] The Petroleum Institute. 2013. *Evolution of Oil*. <http://www.petroleum.or.kr/>.
- [2] Hwang, T. Y. 2011. *A Study on the Fire Investigation Techniques of Flammable Liquids*. Kyungwon University Graduate School of Environment Dept. of Fire Protection Engineering.
- [3] NEMA. 2003. *Arson of Jungangro Station in Daegu Subway*. NEMA.
- [4] NEMA. 2008. *Fire of Cold Storage in Icheon*. NEMA.
- [5] Yun, J. G. and H. S. Go. 2012. Discussions on the Problems and the Analysis of Accidents by Illegally Processed Gasoline. *Journal of the KOSOS*. 27(4): 1-6.
- [6] Song, Y. H., S. S. Go., D. M. Ha, and G. S. Jeong. 2009. *Combustion Characteristics of Edible Oils*. Korea Institute of Fire Science. Presentation of Academic Papers in Fall. 460-466.
- [7] Sun, B. J. 2011. *A Study on Improvement Measures of Safety Management of Outdoor Hazardous Material Storage Tank*. Kyonggi University Construction: Industrial Graduate

- .School Fire and City Disaster Major.
- [8] James G. Quintiere. 1998. *Principles of Fire Behavior*. N.Y.: Delmar Publishers.
- [9] NEMA. 2013. *National Fire Data System in National Emergency Management Agency*. (<http://www.nfds.go.kr/index.jsf>)
- [10] NEMA. 2009. *Casebook of Dangerous Substance*. NEMA.
- [11] Bhatia. A. 2013. *Fundamentals of Gas Cutting and Welding*. CED Engineering. Com
- [12] Hall, J. Jr. M. Ahrens. and B. Evarts. 2012. *Home Fires Involving Heating Equipment*. National Fire Protection Association.
- [13] Sohn, D. S. 2013. *Explosion of HK Oil's Outdoor Tank in Gumi ... No Fatalities*. Yonhapnews. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0006133594>
- [14] Kim, J. S. 2013. *Fire of HKoil's Outdoor Storage Tank in Gumi*. TNT News. <http://www.tntnews.co.kr/news/view.html?category=7&no=6053§ion=1>
- [15] Kangwon Fire Service Academy. 2013. *Oil Mist That Full-scaled Fire of Re-enact Experiment in Supreme Public Prosecutor's Office*. <http://gfsa.gwd.go.kr/board/view.w.sko?boardId=BDSLAE14&boardSid=381&dataSid=108027&menuCd=AB07002000000>.
- [16] International Maritime Organization. 2002. *Guidelines for the Manufacture and Installation of Oil Mist Detectors*. Sub-Committee on Fire Protection 47th Session Agenda Item 9. International Maritime Organization.
- [17] NEMA. 2008. *Casebook of Dangerous Materials*. NEMA.
- [18] Park, M. G. 2013. *Cenox*. Common Sense Dictionary of Pmg Knowledge Engine Institute.
- [19] Kang, S. W. 2012. *Start That Stuck in Gas Pumps in Gijang-self Gas Station Be careful Fire*. KBS News. http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2451364&retRef=Y&source=http://search.naver.com/search.naver?sm=tab_hy_top&where=nexearch&ie=utf8&query=Fire of self-gas station in Busan gijanggun&x=39&y=15
- [20] Sohn, J. H. 2012. *Fire of Self-gas Station in Busan Gijanggun*. YTN & Digital YTN. http://www.ytn.co.kr/_ln/0115_201203161737416165
- [21] Kim, J. H. 2013. *Successively Fire of Cooking Oil in Jeju Don't Spraying Water*. Jejudominilbo. <http://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=130906>
- [22] Wijayasinghe, M. S. and T. B. Makey. 1997. Cooking Oil: A Home Fire Hazard in Alberta, Canada. *Fire Technology*. 33(2): 140-166.
- [23] KFMA. 2013. *Fire Prevention Sense in Kitchen Fire*. http://www.kfpa.or.kr/data/da_01_01_10.asp

- [24] Korea Occupational Safety & Health Agency. 2007. *Fire Occupied Temporary Stove in Outdoor Workings*. Korea Occupational Safety & Health Agency.
- [25] Korea Consumer Agency Consumption Safety Administration Life Safety Team. 2010. *Fire Safety Investigation of Firewood Boiler*. Fire Safety Investigation of Firewood Boiler.
- [26] Kim, G. J. 2011. *Damage of Explosion Accident: 450 Million Won in HyundaiEP Ulsanplant*. Yonhapnews. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0005216845>
- [27] Lee, G. W. 2013. *A Optimization Study of Methods Process Condition for Runaway Reaction Prevention in Detailed Chemical Reaction Process*. National Institute for Occupational Safety and Health Safety Incheon Summer Trend.
- [28] Cholanmandalam MS Risk Services. 2013. *Run Away Reactions*. www.cholarisk.com/files/RunAwayReactions.doc
- [29] Yoo, S. G.. 2011. *SK Energy's Plant Fire in Incheon*. Yonhapnews. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0005032691>
- [30] Kim, D. W. 2011. *Oil Refining Plant Fire in Incheonsi Wonchangdong SK Plant*. YTN News. http://www.ytn.co.kr/_ln/0103_201104261810347824
- [31] Lee, D. G., S. W. Jeon, and H. J. Han. 1995. *A Study II on the Reduction of Acid Rain Caused Substance: Focused on Sulphur Dioxide Reduction Model Development*. Korea Environment Institute.
- [32] Sargent & Lundy, 2007. *Flue Gas Desulfurization Technology Evaluation Dry Lime vs. Wet Limestone FGD*. National Lime Association.
- [33] Hong, B. J. 2011. *An Oil Reservoir Fire of SK Energy in Incheon Evolved in an Hour*. Moneytoday. <http://www.mt.co.kr/view/mtview.php?type=1&no=2011042618332478907&out-link=1>

참고문헌 (References in Non-roman Script)

- [1] 대한석유협회. 2013. 석유발전사(<http://www.petroleum.or.kr/>).
- [2] 황태연. 2011. 유류화재 감식기법에 관한연구. 경원대학교 환경대학원 소방방재공학과 소방연구 논문집.
- [3] 소방방재청. 2003. 대구 지하철 중앙로역 방화. 서울: 소방방재청.
- [4] 소방방재청. 2008. 인천 냉동창고 화재. 서울: 소방방재청.
- [5] 윤재건, 고범석. 2012. 유사취발유 관련 사고사례 분석 및 문제점 고찰. 한국안전학회지. 27(4):

- 1-6.
- [6] 송영호, 고상섭, 하동명, 정국삼. 2009. 식용 유류의 연소특성. 한국화재소방학회 춘계학술 논문발표회.
- [7] 선병주. 2011. 위험물 옥외탱크저장소 안전관리 개선방안에 관한 연구. 경기대학교 건설·산업대학원 석사학위 논문.
- [9] 소방방재청. 2013. 국가화재정보시스템(<http://www.nfds.go.kr/index.jsf>).
- [10] 소방방재청. 2009. 위험물 사례집 2009. 서울: 소방방재청.
- [13] 손대성. 2013. 구미 한국광유 옥외탱크 폭발 인명피해 없어(종합 2보). 연합뉴스. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0006133594>
- [14] 김정석. 2013. 구미 한국광유 옥외 저장탱크 화재. TNT뉴스. <http://www.tntnews.co.kr/news/view.html?category=7&no=6053§ion=1>
- [15] 강원소방학교. 2013. 대검찰청 유증기 실물화재 재연실현. <http://gfsa.gwd.go.kr/board/view.sk?boardId=BDSLAE14&boardSid=381&dataSid=108027&menuCd=AB0700200000>.
- [17] 소방방재청. 2008. 위험물 사례집 2008. 서울: 소방방재청.
- [18] 박문각. 2013. 유사취발유. pmg 지식엔진연구소 시사상식사전. 서울: 박문각.
- [19] 강성원. 2012. 기장셀프주유소 주유기 쫓은 채 출발 화재 조심!. KBS 뉴스 http://news.kbs.co.kr/news/NewsView.do?SEARCH_NEWS_CODE=2451364&retRef=Y&source=http://search.naver.com/search.naver?sm=tab_hy_top&where=nexearch&ie=utf8&query=기장셀프주유소화재&x=39&y=15
- [20] 손재호. 2012. 부산 기장군 셀프주유소 화재. YTN & Digital YTN. http://www.ytn.co.kr/_ln/0115_201203161737416165.
- [21] 김정호. 2013. 제주서 식용유 화재 잇달아 '물 뿌리면 안돼. 제주도민일보. <http://www.jejusori.net/news/articleView.html?idxno=130906>
- [23] 한국화재보험협회. 2013. 화재예방상식 주방화재. http://www.kfpa.or.kr/data/da_01_01_10.asp.
- [24] 한국산업안전공단. 2007. 옥외작업장에서 간이난로 사용 중 화재. 인천: 한국산업안전공단.
- [25] 한국소비자원 소비자안전국 생활안전팀. 2010. 화목(火木)보일러 화재 안전성 조사. 서울: 한국소비자원.
- [26] 김근주. 2011. 현대EP 울산공장 폭발사고 피해액 4억5천만원. 연합뉴스. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0005216845>.
- [27] 이근원. 2013. 정밀 화학반응 공정에서 폭발반응 예방을 위한 공정조건 최적화 방법연구. 인천 산업안전보건연구원 안전보건 여름동향.
- [29] 유선근. 2011. SK에너지 인천공장에서 화재. 연합뉴스. <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0005032691>
- [30] 김도원. 2011. 인천시 원창동 SK 정유공장 화재. YTN뉴스. http://www.ytn.co.kr/_ln/0103_201103161737416165.

104261810347824

[31] 이동근, 전성우, 한화진. 1995. 산성비 원인물질 저감방안에 관한 연구Ⅱ: 아황산가스 저감모형 개발을 중심으로. 서울: 한국환경정책평가연구원.

[33] 홍봉진. 2011. SK에너지 인천 저유소 화재 1시간 만에 진화. 머니투데이. <http://www.mt.co.kr/view/mtview.php?type=1&no=2011042618332478907&outlink=1>.

정영진: 인하대학교에서 박사학위를 취득하고, 현재 강원대학교 소방방재학부 소방방재공학과 교수로 재직중이다. 주요 논문으로는 "Comparison of combustion properties of native wood species used for fire pot in Korea(2010)" "Flame Retardant Properties of Polyurethane Produced by the Addition of Phosphorous Containing Polyurethane Oligomers(II)(2009)" 등이 있으며, 관심 분야는 화재위험성 평가, 유해 위험물안전 등이다(yjchung@kangwon.ac.kr).

유지선: 강원대학교에서 소방방재학부 소방방재공학과 재학중이다(vjsmeto@hanmail.net).

방두석: 강원대학교에서 소방방재학부 소방방재공학과 재학중이다(bds2194@naver.com).