

가스화재사고 사례 분석

홍지훈, 정영진*

연료로서 가스는 폭발성 및 가연성의 위험한 성질을 지니고 있기 때문에 심각한 대형 재난을 유발시킬 수 있는 위험한 물질이기도 하다. 본 연구에서는 석유 대체 에너지원으로서 점차 그 사용량이 늘어나고 있는 가스사고에 의한 화재분석을 하였다. 최근 5년간(2007-2011)의 소방방재청 국가화재정보시스템을 통하여 통계 자료를 분석해 본 결과 가스사고로 인한 화재가 연평균 4,243건으로 전체 화재의 9.2%를 차지하고 있으며, 인명피해는 연평균 282명(12.4%), 재산피해는 연평균 26,555백만원(9.4%)의 피해가 매년 발생하였다. 이와 같은 대부분의 가스화재 사고의 원인은 많은 사고사례에서 밝혀졌듯이 취급자의 부주의로 판단된다. 본 조사에서는 이를 예방하기 위해 최근에 발생했던 이러한 특징적인 가스화재 사고사례를 분석하여 사고 발생 배경 및 원인, 그 사건과 관련된 기타 정보를 제공할 것이며, 가스 위험성에 대한 경각심을 일깨우게 하는 동시에 가스화재 사고 예방 및 대비에 도움이 되고자 한다.

주제어: 가스, 가스화재, 가스폭발, 사고사례

1. 서론

우리나라에서 최초로 가스공급이 시작된 1909년 이후 가스는 석유를 대체할 수 있는 편리한 에너지 원으로서 점차 그 활용범위가 확대되고 있다. 1980년 민영 도시가스 회사 설립으로 공급량, 사용량이 현재까지 급격히 증가하고 있고 과거 중산층 이상의 가정에서만 사용되어오던 가스는 현재 전국의 97%이상의 가정에서 사용되고 있다. 또한 현재 가스사용 가구 수는 연평균 약 10%로 증가하고 있으며 LP가스사용 가구는 소폭 감소하는 반면 도시가스사용 가구 수는 근 10년간 약 20%의 꾸준한 증가 추세에 있다(한국가스안전공사, 2012). 이처럼 대중화된 생활 연료로서 우리생활에 밀접하게 다가온 가스는 깨끗하고 가벼워 사용하기 편리할 뿐더러 열량이 높고 공해가 적어 가정이나 직장 등 많은 곳에서 주 에너지 원으로서 사용된다. 하지만 가스 자체에 잠재하고 있는 가연성, 높은 에너지와 압력의 특성 때문에 유해하며 한번 가스 누출로 인한 화재, 폭발, 중독 및 기타 심각한 사고를 일으킬 가능성이 높다. 이러한 위험성이 사용자의 순간방심과 안전의식 결여 문제와 만나면 폭발을 동반한 화

* 교신저자.

재로 인해 순식간에 실로 엄청난 인명피해와 사회적 손실을 가져올 수 있는 대형화재를 유발시킬 수 있다. 이것은 지역주민들의 안전을 위협하는 위험한 요소이므로 가스화재의 위험성을 분석하고 평가하는 것은 주민들의 안전한 생활환경 개선을 위해 반드시 필요하다(Huang, *et al.*, 2012).

가스화재로 인한 화재사고의 대표적 사례로 1971년 LPG가스 폭발사건인 대연각 호텔 화재 대참사가 있었다. 세계최대 호텔 화재로서 사망 163명, 부상 63명, 재산피해 약 8억4천만원의 인적 물적 피해를 준 사고로서 우리에게 커다란 충격을 주었다(Willy, 1972). 또한 대표적인 도시가스 폭발사고로는 대구 상인동 공사장 가스 폭발 사고를 말할 수 있다. 이 사건은 1995년 대구광역시 상인동 70번지 영남중고교 앞 네거리 지하철 1호선 제 1~2구간 공사장에서 발생한 사건이며 이로 인해 사망 101명, 부상 202명, 재산피해 약 600억 원의 대규모 인적 물적 피해를 주었고 역대 세계지하철 참사 가운데 사상자 규모에서 3위에 해당하는 엄청난 대참사로 기록됐다(국가기록원 나라기록, 2006). 이러한 대형 화재를 겪고 많은 교훈을 받은 국민들은 정부에게 안전관리 소방체계에 대한 우려의 목소리를 높였고 정부도 이에 반응하여 여러 대책 법안을 제정 및 개정하였고 대책기구를 설립하였다.

가스폭발 화재는 이처럼 큰 대참사를 일으킬 수 있는 위험한 잠재력을 가지고 있으며 주로 겨울철에 발생하는 가스화재는 매년 늘어나는 가스 사용량과 비례하여 그 위험성이 증가 하고 있는 추세이다.

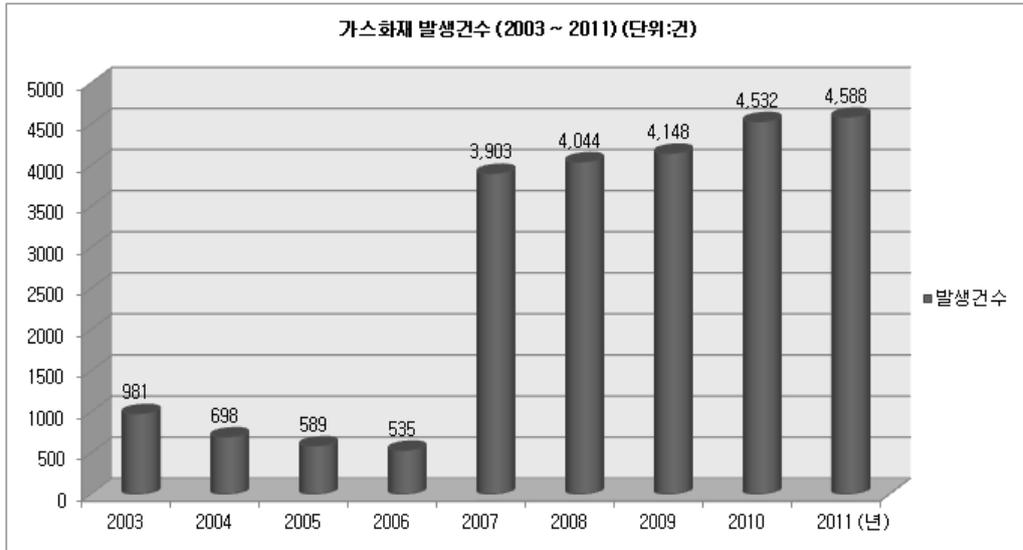
그러나 일반적으로 대규모 천연가스의 제트화재는 어느 정도 상세하게 연구하여왔다(Cook, *et al.*, 1987; Hankinson, *et al.*, 2000). 또한 프로판가스, 부탄가스 그리고 등유와 다른 탄화수소를 가지고 천연가스 혼합물을 평가하여왔다(Bennet, *et al.*, 1991; Davenport, 1994a,b). 그리고 이 data들과 다른 data를 이용하여 제트화재(화염크기, 복사특성, 그리고 열하중)의 특성에 대한 산업 가이드가 발전되어왔다(Energy Institute, 2003; Oil & Gas UK/HSE, 2007). 또 Lowesmith, *et al.*(2007)에 의하여 그들의 발전을 뒷받침하는 실험적 Data들을 수집해왔다.

최근 수소가스의 제트화재들이 더욱 연구되어 왔다. 그러나 이들의 많은 연구들은 고압의 수소차량 연료탱크로부터 누출과 관련되는 연구이다. 여기서 강조되는 것은 매우 고압에서 누출되는 매우 작은 직경에서 누출되는 것에 관한 것 등 대부분 산업에 관한 것들이다(Mogi & Horiguchi, 2009).

따라서 본 연구에서는 전술한 것들과는 차별되는 대부분의 부주의로 인한 우리 주변에서 발생했던 갑작스런 폭발 및 화재에 대하여 2007년부터 2011년 동안 가스화재 사고사례를 분석하여 사고원인을 살펴보고, 주요 가스화재 발생사례에 대하여 원인과 대책을 제시하였다.

II. 가스화재 통계치 분석

1. 발생건수



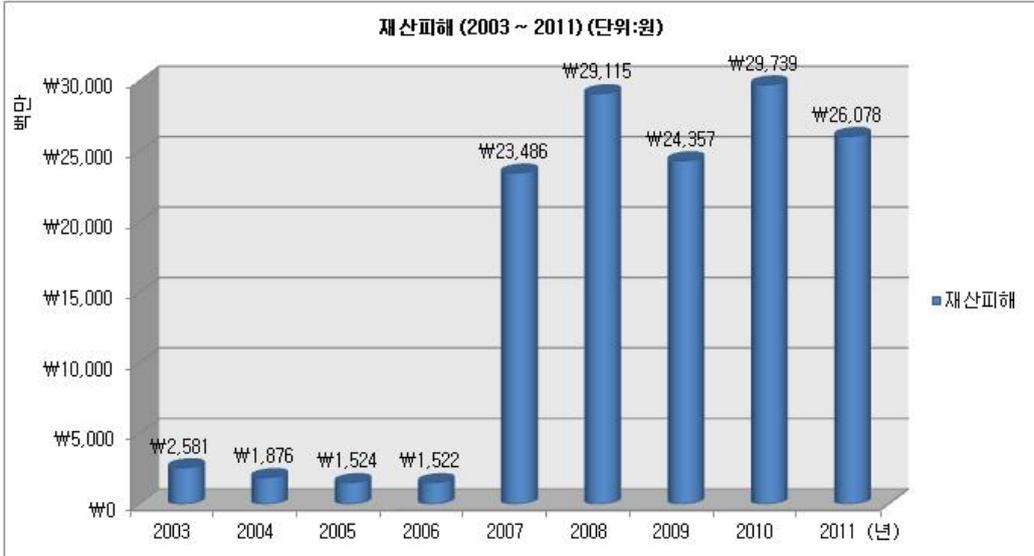
<그림 1> 2003년-2011년 가스화재 현황 통계 분석: 발생건수(자료: 소방방재청 국가화재정보시스템, 2012)

화재사고에 따른 인명·재산 피해를 최소화하기 위해 화재와 관련된 자료를 체계적으로 수집하기 위한 목적으로 2007년 국가화재분류체계를 개편하여 시행하였다. 2007년 국가화재분류체계 혁신안이 시행되기 이전에는 가스화재 세부원인으로 폭발, 과열, 누설, 전도, 기타항목으로 구분하여 포함시켰으며 국가화재분류체계가 개편된 이후인 2007년 이후 가스화재는 가스누출(폭발), 기계적요인, 화학적요인의 이전에 포함시키지 않은 항목을 추가하였다. 그 결과로 <그림 1>에서 처럼 2007년도 이후의 가스화재 발생건수는 연평균 4,233 건으로서 2003-2006년 동안의 연평균 700 건수와 비교하면 연평균 3,543 건의 가스화재가 급격히 증가하였다.

국가화재분류체계가 개편되기 전 <그림 1>을 보면, 2002년 이후 가스 세금제도 변경 등으로 가스 수요 정체 현상과 매년 경제가 점차 회복되고 동시에 위험인자도 줄어들게 되어 매년 발생 건수가 줄어들고 있는 것을 알 수 있다.

그러나 2007-2011년까지 살펴보면 국내 경제는 위기에서 벗어났지만 2007년 급등하기 시작하는 국제유가로 인해 가스 수요 증가, 2008년부터 시작된 국제 경기침체로 인한 천연가스 도입량 증가와 함께 증가하는 가스사용량으로 인한 위험인자 증가로 사고 발생 건수가 증가하는 것으로 결국 가스화재 발생률은 국내·외 경제상황과 매우 밀접한 관련이 있는 것을 알 수 있다.

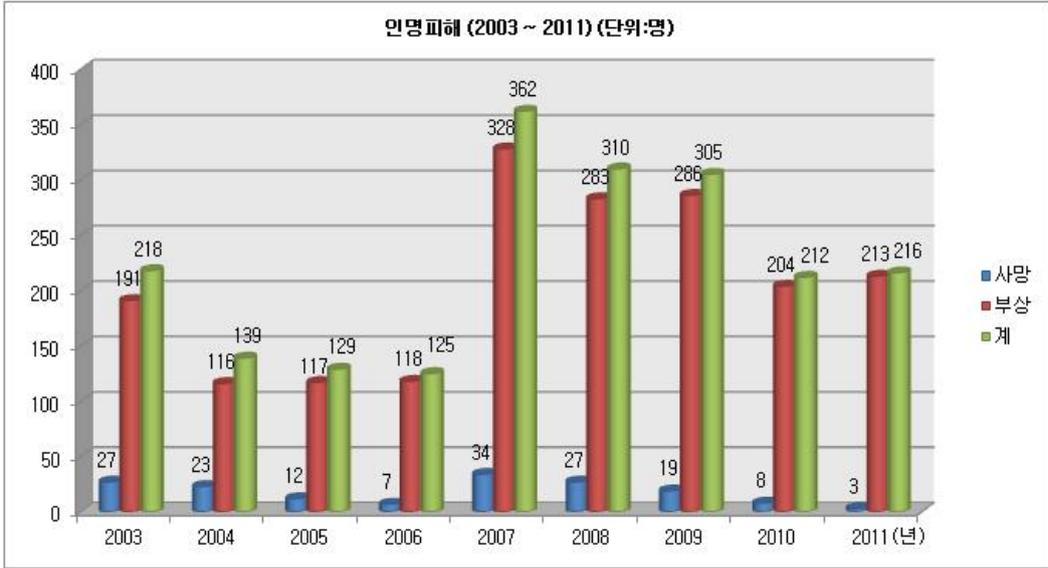
2. 재산피해



<그림 2> 2003년 ~ 2011년 가스화재 현황 통계 분석: 재산피해(자료: 소방방재청 국가화재정보시스템, 2012)

위 <그림 2>에서는 2003년부터 2011년까지 재산피해를 나타내고 있다. 가스화재 분류가 비교적 단순한 국가화재분류체계가 개편되기 전의 가스화재로 인한 재산피해액인 2003-2006년까지 살펴보면 점차 감소하는 것을 확인할 수 있는데 이는 가스 사고발생률 감소에 따른 감소로 판단되며 비교적 가스화재 분류가 다양한 시각에서 이루어지기 시작한 시기인 국가화재분류체계가 개편된 후 2007년 이후로부터는 가스 화재 발생원인의 다양화로 인해 경우의 수 증가로 가스화재 발생률과 비례하지 않고 양상이 일정하지 못한 것을 확인할 수 있다. 이것은 가스화재가 발생하게 되면 그 피해액을 가늠하기 힘들음을 뜻하므로 각별한 주의가 필요한 것을 알 수 있다. 다시 말하면 2008년부터 시작된 국내 경기 침체로 인해 유류보다는 비교적 저렴한 가스의 사용량이 증가하여 가스를 취급하는 주거, 다용도 건물, 공장 등이 많아지고 2차, 3차 가스폭발과 같은 여러 불규칙적이고 불확실한 요소들로 인해 피해액 편차가 생겨 재산피해액을 예상하기 힘든 것이다. 대부분의 가스화재사고는 이렇게 상당히 높은 위험성을 잠재하고 있으며 취급자들은 이를 항상 유념하여 예방 및 대비를 해야 가스폭발 사고로 인한 재산 피해액을 최소화 할 수 있다.

3. 인명피해



<그림 3> 2003년 ~ 2011년 가스화재 현황 통계 분석: 인명피해(자료: 소방방재청 국가화재정보시스템, 2012)

위 <그림 3>에서는 2003년부터 2011년까지 인명피해를 보여준다. 인명피해를 살펴보면 2003-2006년까지 사고 발생률 감소에 따른 인명피해 감소를 확인할 수 있으며 2007년 이후로도 가스화재 분류가 다양화됨에 따라 국가화재분류체계 시행 전과 비교하면 총 인명피해 수는 증가하지만 가스화재 발생률증가와 반대로 점차 감소하고 있는 양상을 나타낸다. 이것은 국민들이 안전한 가스사용을 위하여 가스예방사고 예방에 대한 노력을 기울인 결과와 2007년부터 정부의 대대적인 가스사업법 및 공사법 개정에 따른 결과로 보이며 소방당국의 적극적인 대외적 대비·예방 활동과 홍보 등으로 인한 비교적 좋은 실적이라고 볼 수 있다. 하지만 여전히 노후화된 가스설비에 의한 사고와 함께 취급자들의 안전 불감증에 의한 사고들이 많이 발생하고 있으며(Ko, 2012) 언제 어디서 발생할지 모르는 가스폭발 대참사를 예방하기 위해 취급자들은 철저한 사고 예방 활동을 해야한다.

4. 종합분석

1998년 IMF이후 경기 침체로 인해 석유사용량보다는 석유 대체 에너지원인 가스의 사용량이 많았으며 업무증가로 인한 가스사용량 증가와 많은 경제활동 및 국민들의 안전 불감증이 증가되었으나, 시간이 지남에 따라 점차 국내 경제가 회복되었으며 그와 함께 위험인자도 함께 줄어들게 되었다. 그 결과로 2003년부터 2006년까지의 사고발생건수, 재산피해, 인명피해가 꾸준히 감소한 것을 알 수 있다.

이후 2007년 국가화재분류 체계 확립으로 이전에는 분류하지 않았던 기계적요인과 화학적 요인이 추가되면서 이전에 비해 발생건수, 재산피해, 인명피해가 기하급수적으로 늘었다.

앞에서 살펴본 바와 같이 가스화재 사고발생건수는 고유가 시대로 인한 가스사용량의 증가와 국내

경기침체로 인해 가스 도입량이 많아짐으로써 위험요인이 증가하였다. 하지만 대대적인 가스사업법 및 공사법법이 개정되고 소방당국의 대대적인 예방 활동 등으로 인명피해는 줄어들고 있는 반면 재산 피해는 일정한 양상을 보이고 있지 않다. 이것은 가스화재 시 한 순간에 큰 물적 손실을 가져올 수 있는 위험한 잠재력을 가지고 있기 때문에 우리는 가스를 취급함에 있어서 그 위험성을 깨닫고 주의 를 기울여야 한다.

현재 우리나라는 GDP 15위, 경제순위 10위의 경제 대국으로 발전하였지만 이에 따른 가스에 대한 안전의식발달은 아직은 그에 못 미치는 수준이다. 한국가스공사와 같은 공공기관과 많은 도시가스업 체에서는 가스의 편리하고 좋은 점만 홍보하고 권유할 것이 아니라 가스에 대한 위험성과 가스화재에 따른 피해현황도 함께 사용자들에게 전파하여 가스 취급 시 충분한 주의가 필요함을 알려야 한다. 그 리고 정부는 가스화재 사고사례를 통해 법적 문제점들을 파악하여 더욱 체계적으로 가스사업 법 및 공사법 개편으로 피해 발생률을 줄여나가야 할 것이다. 하지만 이러한 법적 조치보다 중요한 사항은 사용자 스스로가 취급시설을 철저히 점검하며 신중을 가하는 것이다. 경기 침체와 고유가 시대에 따 른 가스사용량의 증가는 가스화재 실제 사고발생률을 증폭시켜주기 때문에 경제가 어려운 시기일수록 사용자는 직접 가스를 취급함에 있어서 혹은 주변가스 취급 시설에 대해 충분히 안전조치를 취하며 주의를 기울여야한다.

가스화재에 대한 예방 교육·홍보를 담당하는 기관이나 단체가 없던 과거와는 달리 현재는 한국가 스안전공사와 같은 거대한 예방 교육·홍보기관과 단체가 있으므로 대상자들은 가스화재에 대한 경각 심을 인지하고 이러한 기관이나 단체를 이용하여 충분히 예방·대비 대책을 세운다면 가스화재발생을 억제 할 수 있을 것으로 판단된다.

1) 가스화재 사고 사례

(1) 사례 1



※ 자료: 이형섭(2012)

<그림 4> 사고 발생 건물 지하1층과 지상 1층



※ 자료: 이형섭(2012)

<그림 5> 사고 발생 건물 인근구역 피해 상황

① 장 소: 강원도 삼척시 남양동 55-48번지

② 발 생 일: 2012년 8월 17일(金)

③ 인명피해: 중상 4명, 경상 31명 등 35명의 인명피해.

④ 재산피해: 인근 건물 8개 동 37개 점포와 주택 5채의 창문이 파손 및 외벽도 크게 훼손. 주변에 주차돼 있던 차량 13대도 불에 타거나 파손, 정확한 피해액 미발표(이형섭, 2012).

⑤ 원 인: 강원 삼척경찰서는 노래타운에서 발생한 가스폭발사고와 관련해 LPG가스 누출로 인한 폭발사고였다.

⑥ 사고분석 및 대책: LPG는 이처럼 공장용 외에도 일반 상가용으로도 많이 사용한다. LPG(Liquefied Petroleum Gas)는 액화석유가스라고도 하며 비교적 액화천연가스보다 액화하기 쉬워 일정한 용량의 가스 용기를 이용하여 사용처로 수송되는 경우가 많다. 액화석유가스가 액화가 잘되는 이유는 LNG의 주성분 메탄(Methane, CH_4)의 분자량(16.042 g/mol)보다 LPG의 주성분인 프로판(Propane, C_3H_8)과 부탄(Butane, C_4H_{10})의 분자량이(44.1g/mol, 58g/mol) 더 크기 때문이다. 또한 LPG는 분자량뿐만 아니라 비중도 LNG와 차이가 있다. LNG는 비중 0.55 이고 프로판과 부탄 각각 1.52, 2.01 이다. 그러므로 LPG가스가 누출하게 되면 지면에 체류하게 된다.

이 사고 현장은 LPG를 취급하는 상가이다. 지하 1층의 식당이 운영되던 시기 가스용기를 연결하여 사용하던 가스 배관과의 이음부분 막음처리 미흡, 관리 소홀로 그곳에서 미량의 LPG가스가 새어나와 점차 지하 바다에 깔리게 되었고 시간이 흐르다가 바닥에 침전되어있던 LPG가스의 폭발성 혼합가스와 원인 미상의 발화원이 접촉하여 발화, 폭발이 일어난 사고이다.

이처럼 LPG가스는 오목한 곳에 체류하여 폭발성 혼합가스를 형성하는 경향이 높으며 폭발하한 값이(프로판: 2.1 ~ 9.5%, 부탄: 1.8 ~ 8.4%) 낮아 소량 누출 되더라도 점화될 잠재 위험이 매우 크다(안전공학협회, 2006).

이 사고에서는 부실한 가스용기 철거 공사를 주된 문제점으로 들 수 있다. 처음부터 철거 후 확실한 가스 배관 막음 조치를 하여야 하지만 그 후에 사용하지 않는 가스배관 일지라도 다른 배관과 연결되어있는 가스배관에 대해서는 주기적인 점검이 필요하고 가스 누출을 우려해야 한다는 점을 알 수 있다.

또한 이 사고에서 알 수 있는 가스의 위험성으로 폭발 풍에 의한 위험성과 2차, 3차 가스폭발을 야기할 수 있는 잠재위험성을 말할 수 있다. 발화 시 가스의 폭발력으로 인해 발화가 일어난 상가 외에도 다수의 차량 또는 인근 건물까지 폭발풍의 피해를 입었으며 사고건물은 건물전체가 LPG 용기의 배관으로 연결되어 있었기 때문에 1층과 2층에서 2차, 3차 폭발이 일어나 전체적으로 주변건물에 까지 피해가 확산되는 대규모 폭발화재가 발생한 것이다. 이것으로 가스를 취급하는 시설이 밀집되어있는 건물이나 주변에 그러한 건물이 있다면 더욱 가스 취급에 주의를 기울여야 하며 정확한 가스 누출 장치 설치와 철저한 공사, 주기적인 치밀한 점검이 이루어져야 한다.

(2) 사례 2



※ 자료: 김지섭(2012)

<그림 8> 가스폭발 사고현장



※ 자료: 김지섭(2012)

<그림 9> 완파된 가스폭발사고 공장 내부

- ① 장 소: 경기도 화성시 팔탄면 울암리 접착제 제조공장 ‘아미코트(AMICOAT)’
- ② 발 생 일: 2012년 06월 18일(月)
- ③ 인명피해: 중상 8명, 사망 4명
- ④ 재산피해: 공장 4개동 중 1개동 완파, 3개동 반파, 반경 50m반경내의 공장 및 사무실 등 10개 건물 유리창 대부분 파손, 인근 차량 수십여대 파손, 정확한 피해액 미발표
- ⑤ 원 인: 접착제와 페인트용 수지를 만들기위해 용제(접착제)와 용매(Solvent · toluene)를 혼합하는 과정에서 발생한 가스가 미상의 점화원(기계마찰불꽃, 정전기)과 반응 폭발(연슬기, 2012)
- ⑥ 사고분석 및 대책: 이 가스 폭발사고 발생장소는 인화성 · 발화성 등의 위험성을 가지는 위험물을 원료로 접착제를 제조하는 위험물제조소이다. 위험물제조소에는 다른 공장과는 달리 언제나 화재위험에 노출되어 있으므로 항상 위험물안전관리자의 감독 하에서만 작업이 이루어져야 한다. 하지만 사고발생 당시 위험물안전관리자가 공장 외부에 있었으며 작업장 내에 위험물안전관리자가 없는 상황에서 작업이 이루어진 것으로 밝혀졌다. 또한 이 제조공장은 2010년 8월 불법 대형 위험물 운반용기 단속에 적발되는 등 안전관리에 대해 매우 부실했던 것으로 드러났으며 평소 부실했던 안전관리자가 결국 이러한 인재로 연결된 것이다(연슬기, 2012).

이 사고의 원인은 접착제를 제조하는 공정에 사용되는 각종 인화성 원료(용제)와 톨루엔(Solvent, $C_6H_5CH_3$)을 혼합하면서 발생하는 발열반응에 의해 반응탱크가 과열됐고 작업장 내의 환기가 부족하여 각종 휘발성물질의 폭발성 혼합 유증기와 반응해 일어난 산업재해이다.

소방법에 의한 위험성물질 구분에서의 톨루엔($C_6H_5CH_3$)은 상온에서 인화성 액체인 제 4류 위험물질 중 1석유류(인화점 $21^{\circ}C$ 미만의 것)에 해당하며 페인트, 접착제 제조의 용매로 주로 사용하는데

물질 자체는 안정하지만 인화점이 4℃로 인화성이 높으며 톨루엔의 증기(증기압 28.4mmHg(25℃))는 증기비중(공기=1) 3.14로 공기보다 무겁고 공기와 매우 잘 혼합되어 폭발성 혼합물을 생성하기 쉽다 (한국산업안전공단, 2008). 또한 톨루엔은 폭발범위 1.2~7.1%로 매우 낮은 농도의 유증기가 실내에 존재해도 폭발하므로 작업장내의 예방대책이 매우 중요하다.

작업장 내에 상주해야 하는 위험물안전관리자는 용매와 용제를 혼합하는 작업을 수행할 때에는 유증기가 최대한 새어나오지 않도록 하기 위해 밀폐된 공간 내에서 혼합 작업되는지 감독해야 하며 지속적으로 실내 환기가 항상 이루어지는가에 대해, 혼합용기가 과열되는지에 대해 감독해야 한다. 또한 정전기에 의한 화재예방조치로서 위험물 운송 시 모든 배관은 도전성 재질을 사용하고 배관 및 이송된 위험물을 저장하기 위한 용기는 상호 등전위가 이루어지도록 접지클립을 사용하여 접지를 해야 한다. 또 위험물이 배관으로부터 용기에 투입될 때 마찰 정전기 및 유증기 발생을 줄이기 위해 유속 및 낙차를 최소화하여 작업을 실시하도록 교육 및 관리 감독하여야 한다. 그리고 작업장내의 근로자들이 상주하는 장소를 설치하는 경우 가스폭발사고 발생 시 인명 피해를 최소화하기 위해 위험물 저장·취급하는 설비가 있는 작업장과 격리된 장소에 설치하는 등 최소한 20m이상의 안전거리를 확보해야 한다. 위험물안전관리자는 접지클립 등 방호 장치의 사용, 밸브 등의 조작, 비상사태 발생 시의 행동요령, 위험물 누출시의 조치 등을 포함한 안전작업 표준서를 작성하여 이에 따라 작업을 실시할 수 있도록 관리·감독하여야 한다. 뿐만 아니라 화재 또는 폭발 등 긴급한 위험이 발생하였을 경우 근로자들이 신속하게 안전한 장소로 대피할 수 있도록 평상시에 초기대응·대피훈련 등을 정기적으로 실시하여야 한다(한국산업안전공단, 2007).

이 가스 폭발사고의 주요한 원인은 위험물안전관리자의 태만과 공장주의 안전 불감증의 공장 운영이며 그로인해 안타까운 다수의 인명피해를 낳았다. 항상 화재·폭발의 위험성이 존재하는 환경에서 일하는 근로자들은 위험물안전관리자의 예방 대책을 충실히 숙지·수행해야하고 모두의 안전을 위해 취급 물질의 위험성 또한 파악하여 그에 따른 예방책을 세우는 노력이 필요하다.

(3) 사례 3



※ 자료: 연합뉴스(2012)

<그림 10> 가스 폭발 사고가 발생한 난지물재생센터 건물



※ 자료: 연합뉴스(2012)

<그림 11> 폭발 지점인 발전기동과 무너져내린 외벽

① 장 소: 경기도 고양시 덕양구 현천동 난지물재생센터

② 발 생 일: 2012년 3월 16일(金)

③ 인명피해: 5명 중경상, 1명 사망

④ 재산피해: 건물 외벽 400m²가 무너지고 창문이 모두 파손, 난지물재생센터의 2개 처리장 가운데 제 1처리장의 가동 중단, 정확한 피해액 미발표

⑤ 원 인: 비상용발전기 철거 작업 중 밸브를 잘못 건드려 메탄가스가 누출되고 있는 상황 에서 이를 모르고 가스 배관 절단 용접작업을 하다 불꽃이 튀면서 가스폭발 발생.

⑥ 사고분석 및 대책: 난지물재생센터는 그 지역에서 발생하는 생활하수를 정화시키는 환경시설이 다. 이 사고 사례는 물을 다루는 시설이라 하여 화재에 대한 경계심과 안전의식 수준이 낮은 반면 그 러한 곳에서도 가스 폭발화재가 충분히 발생할 수 있다는 것을 알려주는 대표적인 가스 폭발사고의 정확한 예라고도 할 수 있다. 이 사례의 사고원인은 난지물재생센터의 발전기동의 사용하지 않는 비 상용 발전기를 철거하던 중에 누군가 밸브를 건드려 메탄가스가 유출되고 있었으나 용역을 나온 인부 들이 이를 모르고 가스 배관 절단 용접 작업을 하다 불꽃이 튀면서 폭발한 것으로 밝혀졌다(서인정, 2012). 용접작업과 같은 불꽃이 발생할 만한 작업을 수행하는 작업장이라면 가스화재를 예방하기 위해 서 주변의 위험한 가스밸브 점검은 필수적이다. 하지만 작업인부들이 용접작업을 수행하기 전 주변 가스배관 가스누출여부와 같은 작업장 화재 위험요소 존재 여부를 판단하는 것을 생략하고 빠르게 작 업을 수행하다가 발생한 가스 위험성을 간과한 안전불감증의 결과이기도 하다.

메탄(Methane, CH₄)은 가장 간단한 탄소화합물로서 상온에서 기체 상태인 가연성 가스이다. 주로 천연가스(LNG)의 주성분으로 사용되며 유독성은 없지만 밀폐된 공간에서 질식을 유발시킬 수 있다. 또한 메탄가스의 폭발 한계는 4.8~16vol%이다. 메탄가스와 같은 파라핀족탄화수소의 폭발한계의 온 도 의존성을 살펴보면 Zabetakis는 Burgess-Wheeler 법칙을 적용하여 온도 의존식을 식(1)과 같이 제 시하였고 폭발하한계의 온도의존성 고찰을 위해 연소열, 폭발한계, 비열 그리고 폭발 하한계에서의 화 열온도를 이용하여 식(2) 와 같은 온도의존식을 나타내었다(Ha *et al.*, 1999).

$$L_i(t) = L_{25} [1 - 7.21 \times 10^{-4} (t - 25)] \quad (1)$$

$$L_i(t) = L_{25} \left[1 - \frac{t - 25}{t_{lim} - 25} \right] \quad (2)$$

위 식에서 폭발하한계($L_i(t)$)의 변동에 영향을 미치는 인자는 상온(25°C)에서의 폭발하한계(L_{25}), 화염온도(t_{lim})와 계의 온도(t)임을 알 수 있으며 물질이 가지고 있는 상온에서의 폭발 하한계와 화염 의 온도가 일정한 값이라 고려한다면 식(2)로부터 결국 계의 온도(t)와 폭발하한계($L_i(t)$) 사이 관계 가 반비례 관계가 됨을 알 수 있다. 이것은 계의 온도가 증가할 경우 물질의 폭발하한계는 작아지고 결과적으로 폭발범위가 넓어지는 결과를 초래하는데 그 이유는 온도가 증가함에 따라 분자간 인력이 약화되어 운동이 활발해짐으로 반응이 용이하기 때문이다. 이것이 주변 환경의 온도가 비교적 높은 작업장 내이거나 겨울철보다 비교적 기온이 높은 여름철에 메탄가스와 같은 가연성가스의 잠재위험성

이 더 큰 이유이며 이것으로부터 우리가 얻을 수 있는 사실은 온도가 높은 작업장 내이거나 여름철에 가스를 취급하는데 있어서 더욱 주의가 필요하다는 것이다.

또한 메탄가스는 가스 밀도 $0.68\text{kg}/\text{m}^3$ 로 공기보다 가벼워 공기 중 상부로 상승하므로 누출 시 화재 예방을 위하여 창문 환기만으로 외부로 배출시킬 수 있다. 순수한 메탄가스는 무색·무취·무미의 특성을 지니고 있어 인간이 감지할 수 없지만 산업용·가정용으로 사용할 때에는 재실자가 가스누출 인식을 할 수 있게 하기 위해 부취제로 섞은 달걀 냄새가 나는 유기황 화합물인 메르캡탄(Mercaptan)을 첨가한다. 이러한 부취제로 인해 공기 중 혼합비율 1/1000이하에서도 가스누출을 감지할 수 있으며 그에 따른 예방 활동을 할 수 있는데 LNG가스를 예를 들어 재실자가 가스 누출을 인지하면 신속하게 콕크와 중간밸브, 용기밸브(도시가스 메인밸브)를 잠그고 실내의 가스가 나가도록 창문과 출입문을 열어 환기시킨 후 부채나 방석등을 사용해 밖으로 쓸어내야 한다. 또한 주변의 점화원이 될 만한 물질을 멀리하고 전기기구는 스파크가 발생할 수 있으므로 절대 켜거나 끄지 않도록 해야한다(한국가스안전공사, 2012). 그러므로 가스를 취급하거나 가스배관이 설치된 곳에서 용접작업과 같은 점화원을 만들어야하는 작업을 수행할 때에는 작업장 내에 가스가 체류하고 있는지 가스 냄새 유무를 판단하고 충분한 환기를 시킨 후 작업을 수행해야한다.

(4) 사례 4



※ 자료: NEUMAN(2012)
 <그림 12> 사고발생 정유소 화염에 영향을 받은 인접 탱크의 BLEVE에 의한 Fire ball



※ 자료: NEUMAN(2012)
 <그림 13> 가스폭발화재로 3일간 지속된 정유단지 내 저장탱크 불기둥

- ① 장 소: 베네수엘라 북부 파라과나 정유단지 내 Amuay 정유공장
- ② 발 생 일: 2012년 8월 25일(土)
- ③ 인명피해: 150명이상 부상, 41명 사망
- ④ 재산피해: 공장 주변가옥 200여채와 11기업 손실, 인근 국방초소 피해(정확한 피해액 미발표), 베네수엘라 관계당국에서는 원유 및 제품 수출에는 영향을 미치지 않을 것으로 예상함.

⑤ 원 인: 가스누출에 의한 증기운 폭발(Unconfined Vapor Cloud Explosion, UVCE)로 추정, 시설투자 부족에 따른 노후화된 시설문제와 위기상황에서 PDVSA측의 대응 미흡

⑥ 사고분석 및 대책: 이 사고 사례 지역과 같은 정유단지 내 공장에서는 석유 정제 공정과 함께 석유 제품도 생산해낸다. 석유 제품으로는 일반적으로 LPG(액화석유가스), 휘발유(Gasoline), 나프타(Naphtha), 등유(Kerosene), 경유(Diesel Oil, Gas Oil), B-C유(Bunker-C Oil), 아스팔트(Asphalt)가 있다(대한석유협회, 2012). 이 제품들은 원유를 정류탑으로 보내어 가열시켜 기화시키고, 다시 그 기화된 기체를 냉각한 다음 액체로 만드는 방법으로 각 물질이 지니는 고유한 비점에 따라 증류하여 분해, 개질과정을 거쳐 생산한다. 이 생산 제품 대부분의 물질은 가연성이며 기화하면 폭발성 혼합가스를 만드는 위험물에 해당한다. 정류탑과 저장탱크의 배관에는 증류된 가스의 이동경로가 되는데 부실한 관리와 노후화된 배관의 문제가 만나면 이 사고 사례와 같이 그 배관을 통해서 가스 누출이 발생할 수 있다. 사고 발생지역인 Amuay 정유공장은 하루에 90만 배럴의 원유와 20만 배럴의 휘발유를 정제하는 정유시설이다. 원유저장구역에서 안전관리 부실로 인해 폭발성 혼합가스가 누출, 공기와 혼합하여 증기운이 형성·성장하였고 원인 미상의 발화원에 의해 예혼합화염의 형태로 폭발을 일으켰다. 폭발 후 약 200m떨어진 지점에 있는 휘발유 저장 탱크에 불이 붙고 바람의 영향으로 인해 인접한 탱크까지 영향을 미침으로 화재의 규모가 확대되었다.

예혼합화염(Pre-mixed Flame)은 연료가스와 공기가 발화되기 전 미리 혼합된 연소과정의 화염으로 가솔린 엔진에서의 스파크에 의한 발화, 디젤엔진에서의 단열압축에 의한 자연발화 등에서도 같이 증기운 폭발에서도 발생한다. 이 예혼합화염은 밀폐공간에서는 급속한 압력 증가를 초래하고 충분한 압력 축적으로 화염전면에 충격파가 형성되어 폭발이 발생하는 특성을 지닌다. 예혼합화염이 형성되는 증기운 폭발은 대개 개방계에서 진행되며 보통 연소 전파속도가 비교적 낮은 폭연을 일으키는 증기운 연소에서 화염전파가 너무 빨라 심각한 과압이 형성되는 경우에 발생한다. 이러한 과압을 형성하는 요소로서 난류 혼합, 제한물이나 방출물, 폭굉이 있는데 이는 곧 증기운 폭발의 발생에서는 항상 난류성이 존재한다는 사실을 알 수 있다.

또한 증기운 폭발 과압 형성조건은 방출물질이 가연성이고 압력 및 온도가 폭발에 적합한 조건이며 발화하기 전 충분한 크기의 구름이 형성되어 확산상태에 있고 충분한 양의 구름이 연소범위내로서 강한 과압 형성의 원인이 되는것이 있다. 이 사고에서 이와 같은 조건으로 형성된 과압으로인해 폭굉과 각종 난류 혼합 폭발이 발생하였고 충격파와 폭발 반응 연소열을 포함하는 폭굉파의 영향으로 폭발 발생지역에서부터 600m거리에 있는 국립경비대까지 피해를 주었다.

이와같은 피해를 야기할 수 있는 가스폭발로 발생하는 폭굉파는 충격파가 압력파에 의해 발화원으로부터 반응면을 따라 이동하며 가스폭발반응이 끝난 후에도 압력파의 운동은 지속되며 폭굉파는 압력파와 계속 운동하는 바람으로 구성된다는 특성을 지닌다. 이러한 폭굉파로 인한 폭굉피해는 양압부의 충격파에 관계되는 대기압 이상에서의 순 최대압력인 피크과압 $\Delta p(kgf/cm^2)$ 을 적절히 이용하며 폭굉파의 특성은 일반적으로 환산거리 λ 의 함수로 표시한다(한국소방기술사회, 2006).

$$\lambda = \frac{R}{\sqrt[3]{Q}} \tag{3}$$

$$R = \frac{0.39670KQ^{1/3}}{\left[1 + \frac{1.0082 \times 10^7}{Q^2}\right]^{1/3}} \tag{4}$$

식(3)은 Scaling 법칙이라고도 하며 환산거리 $\lambda(m/kg^{1/3})$ 는 폭심으로부터의 거리 $R(m)$, TNT의 질량 $Q(kg)$ 로 결정되는 것을 말한다. 식(3)에서는 설계되어있는 피크과압 Δp 에 따른 환산거리 λ 자료를 이용하여 TNT의 질량 Q 에 따른 폭심으로부터의 거리 R 을 산정할 수 있다.

식(4)는 폭풍압의 크기와 시간을 고려한 물리량인 임펄스를 고려한 영국의 거리 구하는 식이며 파괴정도 지수 K 가 포함되어있으므로 식(3)으로 산정한 폭심으로부터의 거리 R 를 이용하여 폭심으로부터의 거리 R 에 따른 파괴정도를 파악할 수 있다. K 값이 낮을수록 피해가 큰 것을 의미하며 이 지수로부터 피해 구조물의 주거·수리 가능 여부를 알 수 있는데(안전공학협회, 2006) 연료가 되는 물질, 즉 탱크에저장하는 물질을 TNT 질량으로 환산하여 그 물질이 폭발하였을 때 피해 반경을 추정할 수 있으므로 가스 폭발화재가 발생했을 경우 다른 시설과 안전거리를 확보하는데 활용할 수 있다. 이 사고사례의 총 사망자 수 절반이 인근 국립경비대 소속 군인들인 것을 고려하면 안전거리 확보의 중요성을 실감할 수 있다.

이 사고의 폭발재해 유형은 누설과괴형으로 이를 예방하기 위해서는 위험물의 누설을 방지하고 밸브 오조작 방지, 누설물질의 감지경보, 발화원의 관리해야한다. 지식경제부에 따르면 2012.1~9월 우리나라 석유제품 수출액은 415억 4천만 달러를 기록하여 현재 석유제품이 국가 최대 수출 품목으로 자리 잡았다. 인간의 생명을 지키기 위해서 뿐만아니라 우리나라 석유제품의 이러한 위상을 지키기 위해서도 공정 플랜트 관계자들은 이 사고사례에서 볼 수 있듯이 부실한 안전관리는 곧 대규모 재난을 불러일으킬 수 있음을 명심하여 항상 지속적이며 치밀한 안전관리를 수행해야 한다.

III. 결론

최근 5년간(2007-2011)의 소방방재청 국가화재정보시스템을 통하여 통계 자료를 분석해 본 결과 가스사고로 인한 화재가 연평균 4,243건으로 전체 화재의 9.2%를 차지하고 있으며, 인명피해는 연평균 282명(12.4%), 재산피해는 연평균 26,555백만원(9.4%)의 피해가 매년 발생하였다. 이와 같은 대부분의 가스화재 사고의 원인은 많은 사고사례에서 밝혀졌듯이 취급자의 부주의로 판단된다.

따라서 LPG 등의 가스 배관을 철거하는 공사를 하는 등 가스배관을 공사 할 때는 확실한 마무리와 사후처리를 해야하며 가스를 취급하는 상가나 복합건축물에서는 주기적인 점검과 가스를 취급함에 있어서 주의를 기울여야한다. 그리고 천연가스 시설과 정유공장과 같은 가스 관련 플랜트에 종사하는 작업자들은 플랜트 내 가스 폭발화재는 대규모 인적·물적 피해를 야기하므로 가스배관을 치밀하게

관리해야 하는 것은 물론이며 작업이 까다로워 가스누출을 인식하지 못하는 경우가 있으므로 각종 작업함에 있어서 점화원 생성을 절대 회피해야 하는데 노력해야한다.

또한 위험물제조소 등과 같은 작업장에 인화성물질이 항상 존재하는 장소에서 위험물안전관리자는 철저한 감독을 수행해야하며 감독 소홀과 태만은 곧 대형 사고를 불러일으킬 수 있음을 항상 명심하고 근로자들 뿐만아니라 공장주는 위험물안전관리자의 예방대책을 충분히 숙지·수행해야 한다. 또한 사고를 예방하기 위해서는 가스 공급자 및 취급자의 철저한 안전의식이 뒷받침되어야 한다.

참고문헌

- 국가기록원 나라기록. 2006. 사건/사고 대구 상인동 지하철공사 가스폭발사고(<http://contents.archives.go.kr/next/content/listSubjectDescription.do?id=001926>).
- 김지섭. 2012. 경기도 화성 접착제공장 가스폭발사고...4명 실종·8명 부상(http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2012/06/18/2012061801299.html).
- 대한석유협회. 2012. 석유산업(<http://www.petroleum.or.kr/>).
- 소방방재청 국가화재정보시스템. 2012. 화재현황 통계분석: 화재통계연감 분석자료(<http://www.nfds.go.kr>).
- 서인정. 2012. 난지물재생센터 사고 원인은 메탄가스 폭발... 1명 사망, 5명 중경상. CEO들이 보는 시사 CEO저널(http://sisa.sbsonline.tv/sub_read.html?uid=2318§ion=sc1§ion2=사건사고).
- 안전공학협회. 2006. 방폭공학. 동아기술.
- 이형섭. 2012. 삼척 가스폭발 '아수라장'...부상자 35명 속출. 아시아뉴스통신(<http://www.anews.com/detail.php?number=382456&thread=09r03>).
- 연슬기. 2012. 우리나라 여전히 '안전후진국'. 대한민국대표안전전문지'안전저널'(<http://www.anjunj.com/news/articleView.html?idxno=5635>).
- 연합뉴스. 2012. 난지물재생센터 폭발 원인은 '공사감독 소홀'(http://news.sbs.co.kr/section_news/news_read.jsp?news_id=N1001121484).
- 한국가스안전공사(<http://www.kgs.or.kr/kgsmain/gaslife/basic>). 2012.
- 한국산업안전공단. 2007. 필름 점착액 제조과정 중 인화성 물질에 의한 화재. 한국산업안전공단 중대재해사례 교육용 교안 M-207-H105-A20(중대재해(제조) 파워포인트 교육자료).
- 한국소방기술사회. 2006. 화재 및 폭발이론.
- Ha, Dong-Myeong and Su-Kyung Lee. 1999. Temperature Dependence of Explosive Limit of Paraffinic Hydrocarbons. 화학공정안전 한국화학공학회지. 5(1): 429-434.
- Willy, A. Filwood. 1972. 大然閣호텔 火災分析. 미국방화협회(NFPA) 화재기록부.

- Bennett, J. F., L. T. Cowley, and J. J. Rowson. 1991. Large Scale Natural Gas and LPG Jet Fires. Final Report to EC. *Shell Report TNER*. 91: 22.
- Cook, D. K., M. Fairweather, J. Hammonds., and D. J. Hughes. 1987. Size and Radiative Characteristics of Natural Gas Flares. Part I.-Field Scale Experiments. *Chem. Eng. Res. Des.* 65: 310-317.
- Davenport, J. N. 1994a. Large Scale Natural Gas/Butane Mixed Fuel Jet Fires. *Final Report to EC* EC Contract STEP-CT90-0098(DTEE).
- Davenport, J. N. 1994b. Large Scale Natural Gas/Kerosene Mixed Fuel Jet Fires, Final Report to the API. *Shell Report TNER*. 94: 61.
- Energy Institute. 2003. *Guidlines for the Design and Protection of Pressure Systems to Withstand Severe Fires*. Energy Institute. London. UK. ISBN 978-0-85293-297-7.
- Hankinson, G. and B. J. Lowesmith. 2011. A Consideration of the Method of Determining the Radiative Characteristics of Jet Fires. *J. Combust. Flame*. doi: 10.1016/j.combutflame.2011.09.004, in press.
- Huang Zhenghua and L. I. Jianhua. 2012. Assessment of Fire Risk of Gas Pipeline Leakage in Cities and Towns. 2012 International Symposiumon. *Safety Science and Technology*.
- Ko, Jae-Sun. 2012. *Study on Probabilistic Analysis for Fire · Explosion Accidents of LPG Vaporizer with Jet Fire*. Dept of Fire Service Administration. HowonUniv.
- Neuman, William. 2012. At Least 39 Killed in Blast at Refinery in Venezuela. *The New York Times*. (<http://www.nytimes.com/2012/08/26/world/americas/explosion-at-venezuela-refinery.html>)
- Lowesmith, B. J., G. Hankinson. M. R. Action, and G. Chamberlain. 2007. An Overview of the Nature of Hydrocarbon Jet Fire Hazards in the Oil and Gas Industry and a Simplified Approach to Assessing the Hazards. *Trans. I Chem E, Part B*. 85: 207-220.
- Mogi, T. and S. Horiguchi. 2009. Experimental Study on the Hazards of High-Pressure Hydrogen Jet Diffusion Flames. *J. Loss Prevent. Process Ind.* 22: 45-51.
- Oil & Gas UK/HSE. 2007. *Fire and Explosion Guidance*. part 2: Avoidance and Mitigation of Fires. HS025. Oil & Gas UK.

鄭榮振 인하대학교에서 박사학위를 취득하고, 현재 강원대학교 소방방재학부 소방방재공학과 교수로 재직중이다. 주요 논문으로는 “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).

洪智勳: 강원대학교에서 소방방재학부 소방방재공학과를 졸업하였다(knmds@naver.com).

투 고 일: 2013년 04월 13일

수 정 일: 2013년 06월 25일

게재확정일: 2013년 06월 28일

Case Analysis of Gas Fire Accidents

Ji Hoon Hong, Yeong Jin Chung

The gas as a fuel is a dangerous substance that can cause serious major disaster because this substance has hazardous properties: explosive and flammable. Fire occurs due to gas whose usage gradually has increased as an alternative energy source for oil, as analyzed in this study. As a results of the analysis of the statistics of the last five years(2007–2011) through the National Fire Information System of the National Emergency Management Agency(NEMA), fire due to an accident of gas has accounted for 9.2% of the entire fire: the annual average was 4,243 cases and the casualties was 282 persons(12.4%) in average. Its property damage was 26,555 million won in average(9.4%). Most of the causes of the gas fire accident are the negligence of operators as shown in many accident cases. To prevent these careless practices, this study will provide the information about the circumstances that may trigger accidents by analyzing characteristics of gas fire accident cases that have occurred in recent, and at the same time to raise awareness about the potential dangers that gas might cause in hopes that it would be helpful for precaution.

Key words: gas, gas fire, gas explosion, accident cases