

폭발사고 사례와 이해

머리말

폭발의 파괴력은 광범위해서, 단순히 창문이 깨지는 것부터 지붕을 날리거나 건물 전체가 산산조각이 나 치명적인 피해를 내기도 한다. 얼마 전까지 우리나라는 폭발 후 화재가 진행되지 않은 경우, 화재로 할 것인지 단순한 사고로 할 것인지 모호성을 가지다가 2006. 12. 27 소방의 화재개념에 화학적 폭발을 포함^{주1)} 시켜 보다 체계적인 관리를 하게 되었다.

폭발의 정의는 문헌에 따라 차이가 있으나 본질은 ‘급격한 압력상승’이다. NFPA Code 921에서 폭발(explosion)은 “일정압력 하에서 가스의 방출과 생성에 의해서 잠재적(화학적 또는 기계적)에너지가 갑작스럽게 운동에너지로 변화되는 것”으로 정의된다. 폭발이란 단어는 급격한 압력상승의 전체적인 연속체를 묘사하는 데 사용하기 때문에, 혼란을 줄이기 위해 미국주류·담배 및 화기폭발물관리국(ATF : Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosive)에서는 연소와 폭연, 폭굉을 정의하여 사용한다.

- 연소(combustion)
빛과 열을 발생시키는 빠른 산화지만 압력파를 생산할 만한 충분한 가스를 발생해내지 못한다.
- 폭연(deflagration)
주변에 파괴적인 효력을 보일 수 있는 압력파와 빛, 열을 발산하는 아주 빠른 산화로 가연물의 표면에서 발생하는 산화과정이다. 이 과정은 1,000m/s에 이른다.
- 폭굉(detonation)
격렬한 파괴적 작용을 만들어내는 강렬한 압력/충격파와 고온을 발생시키는 아주 빠른 반응으로 충격파가 초음속으로 퍼지기 때문에 1,000m/s를 넘는 속도로 물질이 반응하면서 이런 과정이 발생한다.

〈표 1〉 최근 주요 화학적 폭발사고의 예

일시	사고개요	피해현황	
		인명피해(명)	재산피해(만원)
2008년 5월 19일 20:23	경기 의정부시 아파트, 공사 중 도시가스 배관 가스 누출 폭발	사망1, 부상	156,500
2008년 7월 29일 17:15	울산 중구 정밀화학센터 연구실, 실험 중 발생가스 폭발	사망1, 부상2	7억2,098
2008년 8월 24일 10:11	인천 남동구 금속분말 취급공장, 용접작업 중 금속분진 폭발	부상4	1억4,124
2008년 9월 22일 22:14	경기 여주시 지하 1층 일반음식점, LP가스 누출 폭발	사망2, 부상18	5,000
2008년 10월 9일 10:02	전남 여수시 선박계류장 폐유운반선(183톤), 용접작업 중 폭발	사망2, 부상2	미상
2009년 2월 24일 09:48	경기 부천시 오정구 공장, 구조물 설치 중 LPG용기 폭발	사망1, 부상5	3,040
2009년 4월 16일 22:02	경기 화성시 화학제조 작업장, 화학원료 취급부주의로 폭발	부상2	9,000

모든 화학적 폭발은 성질에 의해서 열과 가스를 발생하며, 연소된 가스는 큰 부피를 차지하고 생성된 열은 팽창의 주 원인이 되어 폭발효과가 일어난다. 여기서 폭발효과는 밀폐조건과 같은 물리적 또는 공기와 혼합된 환경 등에 따라 좌우된다.

화학적 폭발은 여러 조건에서 나타나지만, 본고에서는 건물에서 가장 흔한 가스 확산과 증발기체(인화성 유증기)의 폭발사례를 들어 폭발화재에 대한 이해를 돕고, 사례별 시사점을 언급하고자 한다.

주1) 소방방재청 훈령 「화재조사 및 보고규정」(용어의 정의) “화재”란 사람의 의도에 반하거나 고의에 의해 발생하는 연소현상으로서 소화시설 등을 사용하여 소화할 필요가 있거나 화학적인 폭발현상을 말한다.

폭발사고 사례와 실태

사례1

서울 구로구 연구소 폭발사례

가. 증발기체에 의한 폭발 사례

휘발유와 같은 증발기체의 특성은 화재조사관에 의해 완전히 이해되어야 한다. 유류 가연물로 인한 증기의 발화로 생긴 폭발은 가스로 인한 폭발 때보다 폭발 후 더 쉽게 화재가 일어나며, 폭발 시 발생한 열은 남은 가연물을 휘발시키고 증발된 기체에 대한 발화원을 제공한다. [사례 1]과 [사례 2]에서 폭발 당시 부상자가 폭발지점에 있었다. 부상자는 폭발 순간을 “밝은 빛과 약한 소리를 듣고 곧 화재에 휩싸였다.”고 표현하고, ‘땡’ 하는 폭발음은 안에 있는 사람보다 밖에 있던 사람들에게 더 잘 들렸다고 하였다. 이는 폭발 시 화염 앞쪽의 표면이 확장되면서 연소속도가 커지기 때문에 폭발 지점에서 약간 떨어진 곳에서 가장 큰 피해가 발생한다.

① 일반사항

- 발생일시 : 2007. 7. 24. 11:36 ~ 19:53(화재 완전)
- 발생장소 : 서울 구로구 가산동 ○○화학 연구소
- 폭발원인 : 전기아크에 의한 인화성 유증기 폭발 추정

② 폭발개요

폭발장소는 고분자 융합 등을 통한 신약개발 연구소로서 화재 당일 실험실에 2명, 사무실에 2명이 근무하였다. 폭발이 발생한 폐기물 창고는 인화성 액체 폐용기 및 연구에 사용된 폐용제를 보관하는 장소로 폐기물 수거가 이루어지지 않아 평소보다 많은 양의 폐기물이 보관되었다. 연구원 2명은 사용하였던 폐용제통을 들고 창고로 가 형광등 스위치를 켜는 순간 내부에 채류된 인화성 유증기가 폭발을 유발하는 현상 없이 돌발적으로 연소하여 화상을 입고 피난하였으며, 사무실 2명이 이를 인지, 초기진화에 나섰으나 실패 후 밖으로 나갔을 때 폭발이 일어났다.

③ 피해상황

창고로 폐기물을 운반하던 연구원 2명(안면부 및 팔 2도 화상)과 지나가던 행인 1명이 비산된 파편에(안면부 및 팔꿈치 열상) 부상당하였다. 화재로 연구소 917㎡ 중 165㎡가 소실되었으며, 폭발로 인해 내부 구획물과 실험기구 등이 파손되고 벽면 일부가 붕괴되었다. 발코니로 진행된 압력파로 창문틀이 반대편 건물까지 날아가 충돌하였고, 바닥에 떨어진 잔해에 차량 5대가 파손되어 총 5,850만 원의 피해를 냈다.

④ 건물 현황 및 폭발 조건

건물의 구조는 양식 S/C조 지상 14층 지하 2층 건물로서 7층 13호 6,723㎡ 중 4호 917㎡를 사용하여 고분자 중합장치를 이용하는 연구소로 내부에 중합실, 합성정제실, 원료보관실, 폐기물 창고가 있다. 폐기물 창고에는 고분자를 중합하는 과정에서 사용된 벤젠, 에테르 등에 희석을 위하여 물을 약 80% 채운 철재 탱크가 있고, 사용된 테트라히드로퓨란(C₄H₈O-Tetrahydrofuran), 벤젠 등 사용한 시료보관용기 등이 적치되었다.

5 소방활동사항

- 인 원 : 126명(소방 116, 경찰 10)
- 장 비 : 32대(펌프 4, 탱크 5, 고가 5, 화학 2, 구조 4, 구급 8, 기타 4)

소방대는 화재진화 시 폐기물 창고에서의 연소가 가장 심하였으며, 진화 중에도 폐기물 용기 등에서 폭발이 일어났다고 하였다.

6 사례로 본 문제점

폭발장소는 인화성 및 휘발성이 강한 에테르, 테트라히드로푸란, 벤젠 등이 포함된 폐기물 및 폐용기를 저장하는 장소로서 유증기의 발생 및 체류가 가능한 곳인데, 형광등은 방폭형이 아닌 일반 형광등이고 스위치가 창고 내부에 설치되어 전기아크에 의한 점화원의 제공이 가능하였다. 사고 당시 폐기물 수거업체가 여름휴가 중으로 폐기물이 수거가 되지 않아 평소보다 많은 양을 보관하였고, 유증기 등을 걸러주는 설비는 폭발 시 파손되어 확인이 어려웠으나 발생 유증기의 제거에는 충분치 못하였다. 그리고 위험물 사용·취급자의 폭발에 대한 안전성 인식이 부족하였다.



〈사진 1〉 바닥에 떨어진 폭발 잔해



〈사진 2〉 폭발 장소 및 떨어진 잔해물(좌), 건너편 피해건물(우)

〈사진 3〉 파괴된 건물 내부 상황(상), 폐기물 창고 소실 상황(하)



〈사진 4〉 옆 건물 CCTV에 촬영된 폭발 당시의 상황

사례2

서울 양천구
주유소
폭발사례

① 일반사항

- 발생일시 : 2008. 3. 26. 11:26 ~ 11:33(화재 완전)
- 발생장소 : 서울 양천구 신정동 ○○주유소
- 폭발원인 : 정전기에 의한 인화성 유증기 폭발 추정

② 폭발개요

폭발장소는 고정식과 현수식 주유기를 사용하는 주유취급소로서, 화재 당일 현수식 주유설비 재고 손실에 의한 배관 가압검사를 대행업체에서 10:30경부터 시작하였다. 현수식 주유설비 펌프를 정지시키거나 배관을 잠그지 않은 채 검사 작업 중, 1층 사무실 내에 있는 기계실에서 휘발유가 누출되었다. 유증기가 기계실 및 사무실에 체류된 상태에서 직원들이 기계실 물건을 꺼내 옮기던 중 정전기로 추정되는 점화원에 의해 폭발하였고 이후 화재로 진행되었다.

③ 피해상황

주유소 직원 3명(전신 2도와 3도 화상)과 점검원 2명(안면부 2도 화상)이 부상하였다. 폭발 및 화재에 의해 주유소 1층 170㎡ 중 33㎡가 소실되어 250만 원의 피해를 입었고, 폭발로 구조물의 붕괴 및 균열은 없었으나, 사무실 전면 유리창이 약 20m 앞 도로까지 비산되는 등 유리로 된 창문 및 출입문은 모두 파괴되었다.

④ 건물 및 주유설비 현황

건물의 구조는 지상 2층 지하 1층 총면적 340㎡로 1층에 사무실 및 현수식 주유기 기계실과 창고가 있다. 주유기 설치 상태는 고정 주유설비 3대와 펌프 2대로 연결된 현수식 주유기 4라인이 설치되었으며 위험물 현황으로는 휘발유 40,000ℓ, 경유 120,000ℓ를 취급하였다.

5 소방활동사항

- 인 원 : 105명(소방 90, 경찰 10, 가스 2, 한전 3)
- 장 비 : 32대(펌프 5, 탱크 7, 고가 1, 굴절 1, 화학 7, 구조 5, 구급 3, 기타 3)

119안전센터가 주유소 바로 옆에 위치하여 폭발 즉시 화재진압 및 유류탱크 안전조치를 실시하여 다행히 큰 사고는 막을 수 있었다.

6 사례로 본 문제점

검사업체의 검사 매뉴얼에 의하면 책임자와 안전조치사항 협의요청 및 안전구획설정이 있으나 전원 차단, 펌프 밸브 차단 등의 조치가 없었다. 그리고 안전관리자 및 점검업체 직원은 휘발유 유출 당시 상존해있는 폭발 위험성을 인식하여야 하는데, 유출장소 안전조치 및 관계자 대피유도 등이 이루어지지 않았다. 향후 정전기 방지용 작업복을 사용하고, 유증기 체류 시 물건의 이동과 충격, 마찰, 전기스파크 등의 점화원 제거에 노력해야 하며, 기계실과 사람이 상주하는 사무실을 별도 출입문 등으로 구획하여 폭발 및 연소 피해에 대한 방지 대책이 요구된다.



〈사진 5〉 화재 초기진화 후 촬영된 주유소



〈사진 6〉 압력파에 의해 파괴된 사무실 창문

나. 가스 확산에 의한 폭발 사례

건물에서의 가장 흔한 예는 LNG 또는 LPG가스가 제한된 공간에 누출되어 공기와 혼합된 후 점화되어 생기는 폭발이다. 누출된 가스와 공기가 혼합 조건이 희박할 때 섬광화재(Flash Fire)와 같이 압력파가 경미하고 가연물이 점화되지 않을 수 있고, 프로판 가스가 밀

사례3

서울 성동구
LP가스 누출
폭발사례

폐된 실내 공기 중에 9.5%의 질은 혼합기를 만들면, 폭발보다는 연소로 분류될 수 있으므로 폭발 환경과 조건을 완벽히 이해하여야 한다.

① 일반사항

- 발생일시 : 2008. 4. 25. 18:13 ~ 18:24(화재 완전)
- 발생장소 : 서울 성동구 금호동 ○○빌딩(상가)
- 폭발원인 : 미상의 점화원에 의한 LP가스 폭발

② 폭발개요

폭발장소는 상가건물 1층의 약 1개월 전 폐업한 음식점으로, LP가스 취급상황은 건물 뒤 LP가스 집합장소(용기 8개)에서 배관을 통하여 점포 및 음식점에 공급하는 상태로, 폭발 발생 약 10분 전 주민들이 가스냄새가 난다고 해서 점포주 등 2명이 사고 장소로 들어가 가스누출 여부를 확인하던 중 폭발하였고 이후 화재로 진행되었다.

③ 피해상황

가스누출을 확인하던 점포주 등 2명(안면부 2도 화상 및 열상)과 건물 앞 노점상 주인(안면부 2도 화상), 행인(안면부 2도 화상) 등 4명이 부상하였다.

폭발 및 화재에 의해 30㎡가 소실되어 358만 원의 피해를 냈으며, 전면 창문이 파괴되고 옆 점포와의 구획이 일부 붕괴되었다.

④ 건물 및 주유설비 현황

건물의 구조는 지상 4층 지하 1층 총면적 4,323㎡ 중 1층 40㎡ 음식점으로 사용하던 장소이다. 가스 누출 과정을 조사한 바, 폭발 전 누군가 LP가스배관 중간 밸브를 열었고, 음식점 철거 시 주방 대형 연소기에 사용하던 배관 끝 부분을 마감처리하지 않아 가스가 누출된 상태였다.

중간 밸브에 연결된 가스계량기의 지침은 2,777㎡로 철거 시보다 약 14㎡가 누출된 것으로 확인되었다.

⑤ 소방활동사항

- 인 원 : 58명(소방 50, 경찰 5, 가스 2, 전기 1)
- 장 비 : 13대(펌프 4, 탱크 4, 굴절 1, 구조 1, 구급 2, 기타 1)

⑥ 사례로 본 문제점

LP가스 누출에 의한 주된 원인은 LP가스 배관의 마감(막음조치)^{주2)}을 하지 않고 음식점 대형연소기를 철거한 것이고, 사용하지 않는 가스 배관의 중간 밸브를 '사용금지' 등의 표시 없이 누군가

주2) 가스의 마감조치 시공자는 「건설산업기본법 시행령」 별표 1 '건설업의 업종과 업종별 업무내용 24. 가스시설 시공업 제2종'의 업무자격을 갖추어야 한다.

열 수 있는 상태로 놓은 것이다. 그리고 가스 누출이 의심되면 관련된 밸브를 잠그고 환기를 시키는 등 안전조치 후 가스를 공급한 판매업소에 연락하여 점검을 받아야 했으나 이러한 조치 없이 내부로 들어간 것이 위험요인이었다.



〈사진 7〉 폭발사고 건물(좌), 마감처리가 안된 배관 연결부(우)

다. 확산가스 폭발과 유증기 폭발 비교

구조물의 가스 폭발과 유증기 폭발장소에서 느낄 수 있는 큰 차이점은 바닥면의 특징이다. 유류는 액체 성질에 따라 바닥에 흐른 독특한 연소흔적(패턴)과 유류에서 연소되어 확산된 흔적이 관찰되고, 가스 폭발은 쉽게 탈 수 있는 가연물부분을 제외하고 공기와 잘 혼합된 부분은 전체적으로 소실 정도가 비슷하게 나타나며 바닥의 소실이 적은 특징을 볼 수 있다.



〈사진 8〉 휘발유 유증기에 의한 폭발장소(좌), LP가스 누출에 의한 폭발장소(우)

맺음말

화재를 진압하는 소방관이나 화재조사관이 현장에서 마주칠 수 있는 폭발의 두 가지 유형은 크게 화학적 폭발이고 다른 하나는 기계적(물리적) 폭발이다. 이러한 폭발은 화재발생 전, 진행 중 또는 화재 후에도 발생하며 화재와 관계되어 발생 원인이 되기도 하고, 심각한 피해를 더하기도 한다. 화재조사관은 빈번히 일어나는 폭발과 관련된 화재를 조사, 해석하려면 폭발의 이론과 속성을 심도 있게 고려해야 할 것이다. ☞

[참고문헌]

1. John D. De Haan, "Kirk's Fire Investigation"(6th Edition), Chapter 12 Explosion, 2006
2. NFPA 921, "Guide for Fire and Explosion Investigations"(2006 Edition), Chapter 3 Definitions, 2006