

LPG BLEVE 사고조사 분석 개요

1998년 4월 9일, 아이오와주 앨버트시 근교의 농장에서 18,000갤론 LPG 탱크의 비등액체 팽창증기폭발(BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)로 2명의 소방대원이 사망했다. 본 고에서는 앨버트시에서 발생한 사고를 요약하고 문제점을 검토함으로써 LPG 탱크가 화재에 노출되었을 때의 위험을 소방대원 및 일반인들에게 인식시키고자 한다.

1. 사고내역

1998년 4월 9일 화요일 밤 11시 10분경 아이오와주 앨버트시 근교의 칠면조 농장에서 18,000갤론(68,220리터) LPG 탱크에서 기화기로 연결되는 2개의 이송배관에 차량이 충돌하여 화재가 발생하였다. 충돌 후 생성된 증기운에 부근의 점화원이 닿아 발생한 것으로 추정되는 이 화재가 발생하기 전에 운전자는 피신하여 911에 신고하였다.

LPG 탱크 주변 서쪽으로 60ft(18m) 떨어진 사무실과 창고건물, 동쪽으로 100ft(30.5m) 떨어진 칠면조 우리, 북쪽으로 45ft(12m) 떨어진 창고 등 3동의 건물은 목재골조에 금속 및 목재 벽널구조였고, LPG 탱크 남쪽으로 65ft(19.8m) 정도 떨어진 곳에 자갈길 도로가 있었다.

밤 11시 21분에 소방대가 도착했을 당시 불

은 LPG 탱크 아래에서 타고 있었으며 탱크 상부의 릴리프밸브로 가스가 방출되고 있었다.

소방대가 진화작업을 하는데 그 지역에 급수원이 없어 급수차가 이동식 탱크를 현장에 남겨두고 물을 보충하기 위해 2마일 떨어진 시내까지 되돌아가야 했다. 남은 소방차 2대와 구조대는 LPG 탱크의 북쪽에서 진화작업을 했다.

LPG 탱크의 북서쪽에서 2명의 소방대원이 호스를 이끌고 전진하여 LPG 탱크의 북쪽에 있는 창고건물의 서쪽편에 이르렀을 때 소방팀장이 현장을 감독하기 위해 합류했고 이 팀은 LPG 탱크로부터 100ft(30.5m) 정도 떨어져 있었다. 다른 소방대원 2명은 탱크의 북동쪽에 위치한 소방차로부터 호스를 끌고 창고와 칠면조 우리 사이로 전진했다. 이들은 LPG 탱크로부터 90ft(27.4m) 정도 떨어져 있었다.

밤 11시 28분경 소방팀장이 탱크 내 LPG가 모두 타서 자연 소화되도록 하고 연소확대만 방지하는 진화계획을 지시하였고, 이어서 엄청난 폭발이 발생하여 LPG 탱크가 4조각이 나며 날아갔다.

길이가 24t(7.3m) 정도인 탱크의 가장 큰 파편은 무려 300ft(91.4m)나 날아가 칠면조 우리 옆에 떨어졌다. 다른 파편은 북쪽으로 날아가 LPG 탱크의 북쪽에 위치한 2명의 소방대원들을 가까스로 비껴나간 후 북쪽 건물을 뚫고 지나가

150ft(45.7m) 떨어진 사일로(Silo) 옆에 떨어졌는데, 이 파편이 스쳐 지나간 충격으로 소방대원 중 1명이 부서진 건물 안으로 밀려 들어갔으나 치명적인 부상은 입지 않았다. 또 다른 파편은 LPG 탱크의 북서쪽으로 날아가 북쪽 건물의 서쪽 모퉁이에서 진화작업을 하던 소방대원 2명을 덮쳐 그 자리에서 즉사하였고, 바로 옆에 있던 소방팀장과 파편이 스쳐 지나가면서 심한 화상을 입었다.

큰 불길은 폭발 후 곧 꺼지고 잔불은 즉시 진화되었으나, 폭발로 인해 2명의 소방대원이 사망하고 소방팀장과 소방대원 5명이 부상을 당했다.

NFPA의 화재조사자가 현장에 대한 사고원인을 조사한 분석자료를 보면, 다음과 같은 요인들이 폭발과 사망에 대한 직접적인 원인인 것으로 결론을 내리고 있다.

- LPG 탱크와 주변 장치들의 방호시설 부족으로 차량이 배관을 파손하게 되었다.
- 화염에 의한 열충격이 탱크동체를 약하게 하여 결국 폭발에 이르렀다.
- LPG 탱크에 화염이 직접 닿는 위험한 순간 소방대원들이 탱크에 너무 가까이 있었다.
- 화염에 노출된 LPG 탱크를 냉각하기 위한 충분한 급수원이 없었다.
- LPG 탱크에 열충격이 직접 가해질 때 사람들을 안전한 장소로 대피시키지 않았다.

2. 사고분석

가. BLEVE

비등액체팽창증기폭발(BLEVE) 현상은 대기압 상태에서 탱크내 액체의 온도가 비등점 이상으로 상승하여 탱크를 파열시키는 것이다. BLEVE

는 LPG 탱크동체의 액위 이상의 부분에 열충격이 가해질 때 발생할 수 있다. 열충격은 금속의 강도를 떨어뜨리고 그 내부압력으로 탱크가 파괴된다.

BLEVE는 운반기차의 탈선, 교통사고, 기타 물리적 충격 등의 기계적 손상으로 인해 발생할 수도 있다. BLEVE가 발생하면 파편은 폭발력에 의해 수백피트를 날아가고, 방출된 연료가 발화하여 Fireball을 일으킬 수도 있다.

탱크의 파괴를 수반하는 대부분의 액화가스 BLEVE는 화재에 노출된 경우지만 간혹 다른 원인 즉, 부식이나 외부로부터의 충격에 의한 탱크의 파괴로 인해 BLEVE가 발생하기도 한다. 운반용 철도차량 및 트럭의 교통사고 시 특히 충격에 의한 파괴에 주의해야 한다. 이 경우 BLEVE는 거의 충격과 동시에 발생한다. 그러나 30,000갤론(113.5m³)의 LPG 탱크 차량이 전도되어 충격을 받았지만 40시간 후에 BLEVE가 발생한 경우도 있다. 탱크차가 들어올려져 이동되는 동안에도 사고는 발생하지 않았으나 주위온도가 상승함에 따라 내부압력이 증가하여 결국 파열된 것이다.

BLEVE의 위력은 탱크파편의 무게와 탱크가 파열될 때 기화된 가스량에 따라 다르다. 탱크파편의 추진력은 여러 면에서 로켓의 특성과 유사하다. 대부분의 액화가스 BLEVE는 탱크에 액체가 1/2~3/4 정도 들어있을 경우에 발생한다. 탱크파편에 작용하는 액체기화로 인한 팽창에너지는 파편이 1/2마일(0.8km) 정도의 거리까지 날아갈 수 있게 한다. 대형 탱크로부터 800ft(244m) 이내에서는 날아온 파편에 맞아 사망할 수 있다. 직경 수백피트의 Fireball은 흔치 않으며, 대형 탱크로부터 250ft(76m) 이내에서는 화상으로 인한 사망이 발생할 수 있다.

화염에 노출되어 BLEVE가 발생하기까지의

시간은 매우 다양한데, 그 이유는 탱크 자체의 결함 또는 손상뿐만 아니라 화재의 크기 및 특성의 변화가 다양하기 때문이다. 단열처리하지 않은 지상탱크는 화재시 수 분내에 물로 냉각시키지 못하면 BLEVE가 발생할 수 있다.

나. 소방대 진화작업

LPG 화재의 진화작업시에는 많은 변수들을 고려하여 대응하여야 한다.

(1) 훈련

소방대원은 LPG의 기본적인 특성을 잘 알고 있어야 한다. LPG의 특성에 대해 잘 알고 있는 소방대원은 그 위험성과 대피해야 할 상황을 결정할 수 있다.

소방대원은 LPG의 누설 또는 탱크의 열충격으로 인한 위험을 알고 있어야 한다.

(2) 진화작업

LPG 누설 또는 화재를 진압하기 위해서는 다음 세 가지 방법을 사용해야 한다.

(가) 화재가 발생하지 않은 상태에서 누설되고 있다면 제어장치를 작동할 줄 아는 사람이 누설속도를 늦추거나 막아야 한다.

(나) 가스의 농도가 연소농도범위에 들지 않도록 환기시키거나 물을 뿌려 가스를 분산시킨다.

(다) 화염에 노출된 탱크와 장치에 물을 뿌려 냉각시킴으로써 탱크의 과열과 BLEVE가 발생하지 않도록 해야 한다. 여기서 가장 중요한 점은 노출된 장치에 장시간 일정한 주수를 할 수 있는 충분한 급수원이 있어야 한다는 것이다. 필요수량은 누설량 또는 화재의 크기 및 발생위치에 따라 변동될 수 있다.

○ 급수량은 주수를 계속할 수 있는 충분한

양이어야 한다.

- 연못, 호수, 강과 같은 자연급수원에서 취수한다면 추운 날씨에도 급수가 가능한지 판단해야 한다. 또한, 현장이나 인근에 적절한 급수원이 있는지 확인한다.
- 현장으로부터의 거리를 고려하여 급수장치를 설치하는데 소요되는 시간을 추정한다.

탱크가 화염에 노출된다면 탱크에 직접 주수해야 한다. 대형 탱크일수록 BLEVE 위험이 더 커진다. 탱크의 냉각을 위한 급수량은 화염이 닿는 각 부분당 500gpm 이상이어야 하며, 소방대원이 위험에 노출되지 않도록 원격작동장치로 급수해야 한다.

탱크가 화염에 의한 열충격을 받고 있는 경우 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 시간이다. 탱크의 건조한 부분에 강렬한 화염이 닿아 10분 정도 경과하면 BLEVE가 일어날 수 있는 심각한 위험상태가 된다. 이 정도의 시간은 소방대가 출동하여 현장을 파악하고 진화작업을 겨우 시작할 시간에 불과하다. 바뀐 말해 안전하게 진화작업을 할 수 있는 시간이 없다는 것이다. 앨버트시 사고의 경우 신고를 받고 18분 후, 소방대가 도착하고서 8분 후에 BLEVE가 발생했다.

소방팀장 또는 소방대원의 최종 선택은 계속해서 방출가스(가스가 발화하지 않은 상태)를 제어할 것인지, 화염에 노출된 탱크에 물을 뿌릴 것인지, 안전한 지역으로 대피하여 가스가 모두 타 버리거나 BLEVE가 일어나도록 내버려 둘 것인지를 결정하는 것이다.

소방대를 안전한 지역으로 이동시키고 일반인들을 대피시키는 것은 내리기 어려운 결정이다. 소방대원은 본능적으로 화재를 진압하거나 방출되는 가스를 제어하려고 할 것이다. 소방팀장 또

는 소방대원은 위험에 대한 실질적인 정보에 비중을 두어 주어진 상황에서의 위험에 대한 분석을 해야만 한다. 대부분의 BLEVE 사고시 최선의 행동요령은 안전한 장소로 후퇴하여 일정한 거리를 두고 상황을 주시하는 것이었다.

다. 탱크설비의 물리적 방호

앨버트시 사고에서 탱크와 기화기설비에는 차량 충돌 등 외부의 충격에 대한 방호조치가 없었다. 탱크와 부속장치들은 100ft × 100ft 크기의 풀밭에 설치되어 있었다. 이 지역은 포장도로와 자갈 도로에 3면이 접하고 있다.

NFPA 58 - Standard for the Storage and Handling of Liquefied Petroleum Gases(1995)의 3-2.4.1에는 LPG 탱크 또는 그 부속설비가 차량에 의한 손상을 입을 가능성이 있는 경우에 대한 예방조치가 기술되어 있다. 그 지역을 운행하는 차량 종류에 따라 방호형태(울타리, 콘크리트 방호책 등)를 결정해야 한다.

3. 결론

BLEVE 위험에서의 진화작업을 수행하는 소방훈련 프로그램이 강조되고 있다. 이런 사고들로부터의 교훈이 유사한 사고에 대한 진화작업의 계획과 절차 수립에 도움이 된다.

본 사고에서 소방대가 도착했을 때는 이미 릴

리프밸브가 작동하고 있었고, 탱크동체의 약한 부분이 파열되어 각 방향으로 파편이 날아가 부근의 건물, 장치 및 사람들에게 피해를 입혔다. 그러므로 릴리프밸브가 작동하면 BLEVE가 발생하지 않는다고 가정할 수는 없다. BLEVE가 발생하면 모든 방향으로 파편이 날아가므로 접근가능한 안전한 방향이란 없다. LPG 탱크의 기체 공간 부분에 화염이 직접 닿는 경우 탱크내 압력 상승을 릴리프밸브로 완전히 방출하기는 어려우므로 항상 BLEVE 발생가능성을 염두에 두어야 한다. 비상상황에서 압력이 제대로 방출되고 있는지 확인하기 어렵기 때문에 BLEVE 발생가능성을 항상 고려해야 하는 것이다.

BLEVE 발생가능성을 줄이는 최선의 방법은 탱크를 냉각시킬 수 있는 충분한 양의 물을 탱크에 주수하는 것이다. 이 방법은 다량의 물을 장시간 사용할 수 있는 급수원을 필요로 한다. 또한 원격작동되는 소화전 또는 모니터 장치도 필요하다. 이런 장치는 폭발로부터 인명을 보호할 수 있다.

충분한 양의 물을 탱크에 안전하게 주수할 수 없다면 소방대원들을 안전한 장소로 이동시키고 연료가 모두 타 없어지도록 내버려두어야 한다. 또한, 운반용 철도차량의 탈선이나 기타 대형사고가 발생한 경우에는 접근금지지역을 설치하여 소방대원과 일반인들에 대한 안전을 도모해야 한다.

우유진 / 위험관리정보센터 사원

"NFPA Alert Bulletin(98.12)"에서 발췌