

가스의 연소특성과 안전대책



곽 병 운
(위험관리정보센터 부장)

1. 머리말

90년대 들어 광주시 해양도시가스사업소의 LPG 저장탱크 폭발사고, 서울 아현동의 도시가스 공급기지 폭발사고 및 대구 지하철 공사장에서 도시가스 폭발사고 등 엄청난 인명과 재산 피해를 낸 대규모 재해를 비롯하여 크고 작은 가스사고가 급격하게 증가하고 있다.

이러한 원인은 경제발전과 더불어 가스에너지의 편리성, 저공해성, 고효율성 때문에 가스사용량이 연평균 19%씩 급속하게 증가하고 있어 그만큼 더 가스사고발생 위험이 높아지고 있으나 사용자의 안전의식은 이에 미치지 못하고 있기 때문이다 (<표 1>, <표 2> 참조).

90년대 가스사고 통계를 보면, 사고가스의 종

류는 LPG 및 도시가스사고가 전체 사고의 94.8%, 사고발생장소는 주택과 음식점에서 전체 사고의 55.5%, 원인별로는 취급부주의가 53%를 각각 차지하고 있다.

따라서 가스사고의 대다수는 안전의식이 결여되기 쉬운 주택 등에서 연료용 가스의 취급부주의에 의해 일어난다고 할 수 있다.

이 원고에서는 연료용 가스를 중심으로 하여 사용상의 안전에 대한 이해를 돕기 위하여 기본적인 연소특성과 안전대책 등에 관하여 언급하기로 한다.

2. 가스의 성상

가. LPG(Liquefied Petroleum Gas)

일반가정용 LPG의 성분은 주로 프로판으로 부

<표 1> 국내 에너지중 가스사용량의 증가 추세 (단위: 천톤)

구 분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	연 평 균 증가율(%)
총 에너지 사용량	93,192	103,622	116,010	126,879	137,235	137,549	8.2
가 스 사 용 량	5,349	6,330	8,278	9,420	11,127	12,692	19.0
가 스 구 성 비 (%)	7.1	7.6	8.7	7.7	10.2	11.0	-

<표 2> 가스종류별 사고 현황 (단위: 건)

구 분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	계	구성비(%)
계	64	91	103	97	136	577	1,068	100.0
L P G	46	60	78	68	85	288	625	58.5
도 시 가 스	12	27	22	22	41	264	388	36.3
기 타	6	4	3	7	10	25	55	5.2

탄, 프로필렌, 부틸렌 등이 일부 포함되어 있고 상온에서는 기체이나 약간의 가압 또는 냉각으로 쉽게 액체로 되며 용기에는 가압된 액상으로 충전되어 있다.

1kg의 액체 프로판(액 밀도 0.5kg/ℓ)은 약 0.5m³, 부탄은 약 0.4m³의 가스로 된다. 따라서 액화 프로판이 기화하면 그 용적은 약 250배로 된다.

LPG의 발열량은 24,000~31,000Kcal/m³로 타 연료에 비하여 아주 높다. 가스 비중은 공기의 약 1.5~2배 정도로 무겁기 때문에 누설되면 낮은 곳에 체류하기 쉽다. 따라서 환기에 주의하여야 하며 가스경보기 또는 가스누설자동차단장치를 설치할 때 검지부는 바닥으로부터 30cm 이내에 설치하여야 한다.

나. 도시가스

현재 우리나라의 도시가스는 32개의 일반 도시가스사업자가 도시가스를 제조하거나 가스도매사업자(한국가스공사)로부터 액화천연가스를 공급받아 일반에게 공급하고 있다.

도시가스는 수도권을 비롯한 대다수 지역에 LNG(Liquefied Natural Gas)를 공급하고 있고 창원, 마산, 진해, 목포, 순천, 여수 및 춘천 등 일부지역에 LPG를 공기와 혼합하여 공급하고 있으나 앞으로 전국이 LNG로 공급될 전망이다.

LNG는 메탄(CH₄)가스를 주성분(86% 정도)으로 하며 발열량은 11,000Kcal/m³로 LPG보다 낮다.

LNG의 가스비중은 공기의 0.66배 정도로 가볍기 때문에 누설 가스는 천정으로 상승하게 된다. 따라서 가스경보기 또는 가스누설자동차단장치의 검지부는 LPG와는 반대로 천정으로부터 30cm 이내에 설치하여야 한다. LPG/Air 혼합도시가스는 제조회사별로 다소 차이가 있으나 프로판을 주성분(61% 정도)으로 하며 가스비중은 1.24~1.33 정도로 공기보다 약간 무겁다. 발열량은 11,000~15,000Kcal/m³이다.

3. 가스의 연소 특성

가. 인화와 자연발화

가연성 가스의 발화를 대별하면 인화와 자연발화로 구분된다. 인화는 가스와 공기의 혼합기가 다른 착화원에 의해 발화하는 것을 말하며 자연발화는 가스와 공기 혼합기가 서서히 가열되어 어느 온도 이상이 되면 착화원이 없어도 스스로 발화하는 경우를 말한다. 어느 경우이든 가스가 발화하기 위해서는 공기 또는 산소와 혼합되고 발화 에너지가 주어져야 한다.

나. 연소범위(폭발 범위)

가연성 가스와 공기(또는 산소) 혼합기의 연소 가능한 농도 범위를 연소 범위(또는 폭발범위)라 한다. 연소범위의 최저 농도를 하한계, 최고 농도를 상한계라 하고 이 한계는 혼합기 내의 가연성 가스의 용량 %로 나타낸다. 가스의 인화 위험성을 평가할 때 연소범위 하한이 낮을수록 하한과 상한의 폭이 클수록 위험한 가스이다.

프로판가스의 연소범위는 2.4~9.5%로 다른 가스에 비해 폭이 아주 좁으나 하한 농도가 낮아 소량의 가스가 누설되어도 곧 연소범위내에 들어가기 쉽다.

LNG의 연소범위는 5.0~14.0%로서 프로판가스에 비하여 안전한 가스이다.

다. 연소에 필요한 공기량

1m³의 프로판을 완전 연소시키는데 필요한 이론 공기량은 24m³이며 각종 가스의 이론 공기량은 발열량 1,000Kcal/m³ 당 1m³로 거의 일정하다.

이론 공기량만으로는 노즐로부터 가스가 분출하여 연소하기까지 공기와 가스가 완전히 혼합되지 않기 때문에 완전 연소를 위하여 20~50%의 과잉 공기가 필요하다.

이와 같이 LPG는 연소시 다른 가스에 비해 다량의 공기를 필요로 하며 그렇지 못한 경우에는

불완전 연소되어 연소가스 중에 일산화탄소 등의 유독 성분이 다량 발생되어 중독 사고의 원인이 되는 일이 많다.

가스 소비량이 많은 연소 기구를 사용할 때는 신선한 공기의 공급과 배기에 세심한 주의를 기울여야 한다. 실제 통계상으로 일산화탄소 중독 및 질식사고가 전체 가스사고의 약 7%를 차지하고 있다.

라. 연소 속도

가스의 연소는 발열반응이므로 일단 착화하면 연소열에 의해 주위의 혼합기를 가열하여 연소가 계속된다. 가연성 혼합기의 일단에 점화했을 때 화염 전면에서 직각 방향에 있는 미연소 혼합기 쪽으로 화염이 전파하는 속도를 연소속도라 한다. 연소 속도는 혼합기의 농도, 온도, 압력, 물질에 따라 다르지만 일반적으로 온도와 압력이 높아질수록 빨라진다.

4. 가스화재와 폭발 현상

가. 가스화재 현상

배관이나 용기로부터 누설된 가스에 착화하여 연소가 지속되는 상태. 즉, 가스 공급이 차단되지 않은 상태에서 착화된 경우를 가스화재라 한다. 가스화재시는 소화하여도 가스공급이 차단되지 않고 화원이 있다면 바로 재착화되어 버려 소화 활동이 어려운 특성이 있으며 가스 화염이 타 가연물에 쉽게 착화할 위험이 큰 화재이다.

나. 가스폭발 현상

가스폭발 과정은 연소범위 내의 혼합기 형성, 착화(발화), 화염 전파 및 압력 상승, 압력과 발생, 화재로의 전이 순으로 이루어진다.

공간이 개방되어 있는 경우 반경 수 미터 정도의 범위에 연소범위 내의 혼합기가 형성되었다 해도 주위 공기와의 사이에 확산 등에 의해 단시간에 가스 농도가 하한계 이하로 되어 버리기 때문에 착화하여도 압력파의 강도는 크지 않다. 그러

나 LPG와 같은 가연성 혼합기의 반경이 수 십미터 이상에 미치게 된 상태에서 일어나는 폭발(UVCE : Unconfined Vapor Cloud Explosion)은 피해가 크며 열방사, 압력과 강도 또는 폭굉 발생 유무 등의 피해 강도는 혼합기의 종류, 량, 착화원의 에너지 양 등에 따라 달라진다.

가스폭발중 가장 빈번하게 일어나는 경우는 거주 공간과 같이 주위가 막힌 폐쇄 공간에서의 폭발이다. 폐쇄 공간의 가로, 세로, 높이중 임의의 2방향의 길이가 비슷한 거주공간 또는 장치에서의 가스폭발 형태는 공간 내에서의 가스농도분포, 공간을 구성하고 있는 벽면 중의 취약부(창, 문 등) 강도와 면적에 따라 달라지며 취약부의 면적이 클수록 천정, 벽, 바닥 등의 피해는 적어진다.

가스폭발의 또 다른 형태는 LPG와 같은 액화 가스탱크의 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)현상이다. 탱크 외부로부터의 화재에 의해 탱크가 가열되면 내부 압력이 급격히 상승, 탱크가 파열되어 고압 상태에 있던 액화 가스가 대기압 상태로 되면서 급격히 팽창, 분출하고 기화하여 증기운이 생성된다. 이 증기운이 착화하여 공중으로 상승하면서 커다란 “버섯형 화재” 즉 Fire ball을 만들게 된다. BLEVE가 일어나면 폭발압력에 의한 파편의 비산 위험 뿐만 아니라 화염 온도가 1500°C에 이르는 Fire ball의 방사열에 의한 위험성이 크며 프로판 3,000kg 폭발시 인체에 대한 안전거리는 약 90m 정도이다.

'92년 광주 해양도시가스의 LPG탱크 폭발시에도 탱크 6기중 2기가 BLEVE를 일으켜 방사열과 폭풍압에 의해 공장 내부 및 주변지역 건물이 화재와 파손 등의 큰 피해를 입었다.

통계상으로 '70년부터 '95년까지의 총 가스사고 1,457건중 가스폭발이 588건(40.4%)으로 가장 많고 누설사고 445건(30.5%), 화재사고 247건(17.0%)의 순으로 발생하고 있다.

5. 안전대책

안전대책으로는 사고가 일어나지 않도록 하는 대책(예방 대책)과 사고가 일어나기 바로 직전 또는 진행 중에 있을 때 사고의 저지 또는 확대 방지를 위한 대책(처리 대책)이 있다. 여기서는 구체적인 안전시책이나 행동기준보다는 그것을 결정하는데 있어 참고가 되는 기본개념을 기술한다.

가스화재나 폭발은 가스가 누설하지 않거나 누설하더라도 가연성 혼합기에 착화되지 않으면 일어나지 않는다. 따라서 예방 대책으로써 우선 생각할 수 있는 것은 배관계를 강화하여 누설을 방지하고 착화원이 될 수 있는 것을 두지 않는 것이다. 그러나 전기 스위치류 등과 같이 전기불꽃이 발생할 가능성이 있는 것을 완전히 철거할 수는 없으며 또한 정전기에 의한 방전이 예기치 않은 장소에서 발생할 수가 있기 때문에 착화원의 완전 제거라는 예방대책은 불가능하다.

상시 화기에 의해 누설가스의 농도 상승을 억제하여 연소범위 내의 혼합기 형성을 방지하는 것. 가스에 첨가한 냄새나 가스검지장치로 가스누설이 검지되면 환기를 강화하여 가연성 혼합기 형성을 저지하는 것. 보통의 전기스위치 대신 방폭스위치를 사용하는 것도 유효한 예방대책이다.

가스폭발에서는 가스누설이 검지된 경우의 대책은 이 점에 유의할 필요가 있다. 즉, 차단밸브 등으로 가스누설의 중단, 실 환기 보강, 화기 사용 금지 등의 예방대책과 아울러 폭발시 창이나 문의 파괴, 유리 등 파편의 비산, 폭발이나 화염의 영향 등을 고려하여 피해를 받지 않도록 하는 대책을 세워둘 필요가 있다.

가스폭발의 특징을 고려하면 예방대책과 처리대책은 밀접하게 연계되어야 한다. 예를 들면 예방대책으로, 가스검지장치를 설치한다면 그에 의하여 누설을 검지할 경우에 처리대책을 고려하여 처리에 필요한 시간을 감안한 농도에서 가스를 검지하도록 하여야 하며, 일반적인 안전기준상 연소범위 하한의 25% 농도에서 검지되도록 하고 있다.

가스화재의 소화는 밸브를 폐쇄하여 가스공급을

차단하는 것이 최선의 방법이다. 만약 차단밸브가 원거리에 위치하여 소화 후 즉시 밸브를 폐쇄할 수 없는 상황이라면 누출된 미연소가스의 축적에 의해 폭발을 초래할 위험도 뒤따른다.

아주 소규모의 가스화재는 분말소화기로 소화할 수 있으나 한번에 소화하지 못하였을 경우 재착화해버리는 가스화재의 특성을 고려하여 약제량이 8kg 이상인 분말소화기를 사용하여야 하고 소화기는 가스저장소와 사용처에 각각 비치하도록 한다. 화재에 노출된 가스저장탱크의 가열로 인한 폭발방지대책으로서는 탱크간의 이격거리를 충분히 하고 탱크 냉각과 연소 제어를 목적으로 하는 물분무설비와 고정식 모니터 노즐을 설치하거나 탱크를 단열피복하도록 한다.

6. 맺는 말

편리하고 풍부한 생활을 유지하기 위하여 가스 사용이 증가하는 것은 불가피한 일이며 서두에서도 언급하였듯이 대다수의 사고가 가스소비자의 안전의식 결여의 결과로 나타나고 있으나 급속하게 증가되고 있는 수 많은 소규모 소비 시설의 안전관리까지 국가나 전문방재단체에서 직접 관여한다는 것 또한 사실상 불가능한 일이다. 소비자 스스로가 가스의 위험성과 안전에 대한 이해와 안전 기준 준수 및 생활화된 안전관리의 실천을 통한 자율안전관리만이 가스사고를 줄일 수 있는 최선의 방법으로 보여진다. 이를 위해서는 지속적인 국민 계몽과 더불어 우리나라도 선진 외국과 같이 어릴 때부터 가정에서나 학교 교육에서 안전의식을 심어 주어 안전이 습관화 되도록 하고 산업체에서도 실제로 안전을 생산이나 다른 그 무엇보다도 제일로 우선하는 안전문화가 정착되어야 할 것이다. ☹