

LCNG 충전 시스템의 위험요인 분석

윤재건 · 신동현*

한성대학교 산업시스템공학부 · *한국가스공사

1. 서론

최근 들어 환경문제, 특히 대도시 대기오염으로 저공해자동차의 보급에 관심이 대두되고 있는 가운데 전세계적으로 많이 활용되고 있는 천연가스자동차(Natural Gas Vehicle)가 국내에서 높은 관심과 함께 서울을 비롯한 대도시를 중심으로 보급이 추진되고 있다. 현재 정부는 심각한 대기오염을 줄이기 위해 월드컵이 열리는 2002년에는 5000대, 그리고 2007년까지는 서울, 부산 등 7대 도시에서 운행되고 있는 시내버스 2만여대를 천연가스 연료로 전환할 계획을 세우고 있다.

천연가스자동차의 연료는 고압으로 압축된 압축천연가스(Compressed Natural Gas, CNG)를 사용하고 있으며, 이러한 천연가스 자동차의 보급에는 연료의 공급시설, 즉 충전소의 설치가 동시에 진행되어야 하며, CNG의 경우 천연가스를 고압으로 압축, 저장하였다가 자동차에 충전하므로 압축에 따른 압축일, 고압의 가스를 저장하는 저장용기 등의 사용에 따라 충전소의 설치 및 유지에 많은 비용이 든다. 따라서 최근 들어 저온, 저압의 LNG를 액체펌프로 가압한 후, 기화기에서 상온, 고압(25MPa)의 CNG로 기화시켜 디스펜서를 통해 천연가스 자동차(NGV)에 탑재된 연료 용기에 충전하는 시스템의 개발이 진행중이다. 이러한 LCNG충전시스템은 도시가스 배관 망이 연결되어 있지 않은 지역에서의 충전소 건설을 가능하게 해주고 또한 현재 설치되고 있는 CNG충전소의 몇 가지 문제점을 해결해 줄 수 있어 향후 압축천연가스 충전시스템의 Back up용 등으로 활용이 기대되고 있다. LCNG 충전시스템은 LNG 와 CNG를 동시에 취급하는 설비이므로 기존의 CNG충전설비와는 다른 새로운 위험요인이 추가된다.

2. LCNG충전시스템 구성과 위험요인

LCNG충전시스템의 구성은 그림1.과 같다. 기존의 CNG충전설비와 다른 점은 압축기 대신에 펌프와 기화기가 있고, 도시가스 배관 망에 연결되는 것이 아니라 LNG 저장탱크에서 시스템이 시작된다. 펌프는 초저온용 액체질소펌프를 개조하여 사용하고, 기화

기는 전기히터를 이용한 물중탕방식이 선호된다. 그러나 이 LCNG 시스템의 장점이 적은 전기 에너지의 사용이므로 전기히터 보다 가스 보일러 등의 대체 열원 개발이 바람직하다. LNG저장탱크는 보통 입상의 액체산소 및 액체질소탱크와 대동소이하고 LNG의 운반 및 이송도 초저온액체운반용 탱크로리를 이용한다.

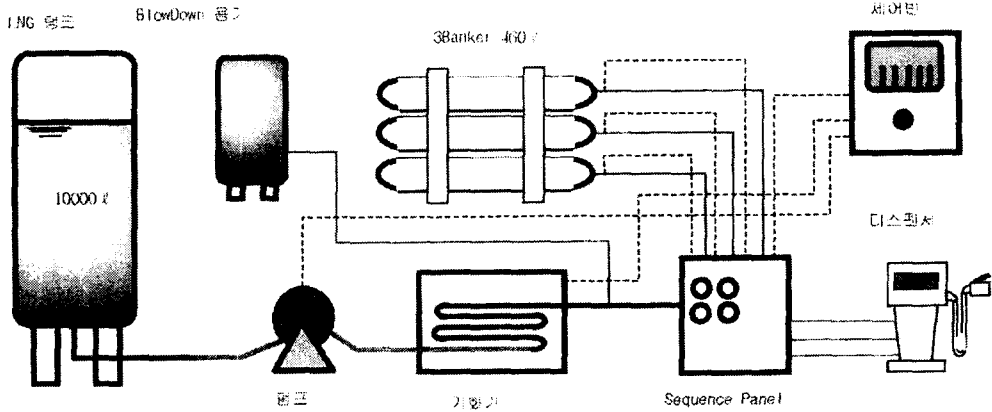


그림1. LCNG충전 시스템 개요도

기존의 CNG충전시스템에 비하여 위험요인이 증대하리라 예상된다. 우선 첫 번째로 LNG저장탱크의 존재다. 이는 LPG충전소의 LPG저장탱크의 위험요인과 거의 동일하게 간주해야 한다. 부천 LPG 충전소폭발사고의 경험에 비추어 볼 때, 저장탱크는 지하에 설치하는 것이 위험요인을 획기적으로 감소시킨다고 판단된다. 또한 LPG충전소의 경우 저장탱크를 지하에 매설한 경우 안전거리를 30% 경감시켜주는 시설기준의 타당성이 LNG저장탱크에도 적용될 수 있다고 본다. LPG충전소에 비해 추가되는 위험요인은 BOG(Boil-off gas)의 발생이다. 완벽한 단열탱크란 존재하지 않기 때문에 발생하는 BOG의 안전한 처리가 요구된다. 입상 탱크 상부에서의 대기방출은 안전상 문제가 없다하더라도 지구온난화 기여지수가 높은 메탄을 대기 중에 방출한다는 것이 큰 부담이 될 수 있다. 따라서, 적절한 연소기구에 의해 연소시키거나 재활용을 고려해야 한다. 압축기로 압축하여 CNG로 전환하거나 냉동기로 재액화시켜야 한다.

두 번째는 LNG탱크로리의 운용이다. 부천 LPG충전소폭발사고가 충전소저장탱크의 폭발이 아니고, 지상에 정차중인 LPG탱크로리의 폭발임을 고려할 때 탱크로리의 운용

이 안전측면에서 큰 부담이 됨을 간과할 수 없다. 또한 LNG탱크로리는 이중단열구조를 갖고 있어야 하고, BOG의 적당한 처리를 요구함으로 LPG탱크로리에 비해 운영의 문제점을 많이 갖고 있다고 보인다.

3. 액화석유가스 저장탱크의 위험요인

국내의 고압가스 안전관리법과 액화석유가스의 안전 및 사업관리법은 일본의 관련 법규를 국내 실정의 고려 없이 거의 그대로 적용한 것이 대부분이다. 특히 국내의 경우 시설간 Domino 현상만을 대상으로 Layout을 구성하고 있으나, 선진국의 경우 주변의 인구밀도에 의한 규제를 적용하고 있다. 그러나, 국내 기존의 대부분 충전소는 주변 지역이 도시화되기 이전에 설치되었으나, 도시지역 인구의 과밀화로 현재는 거의 도심지역에 위치하고 있다. 따라서, 도심에 위치한 충전소 주변의 정주민구 및 유동인구, 토지이용에 대한 다각적인 접근을 동시에 수용할 수 있는 시도가 요구된다. 표1. 은 외국 충전소의 안전거리와 국내의 것을 비교하고 있다. 부천과 익산의 사고 이전의 안전거리는 일본의 안전거리와 같았으나, 사고 이후에는 세계에서 가장 긴 안전거리를 요구하고 있어 많은 문제점으로 지적되고 있다.

표 1. 저장탱크의 안전거리 비교 (지하 설치시) <단위 : m>

저장 능력 (톤)	한국	일본		미국	호주		이태리	
	충전소	충전(저장) 설비		저장 탱크	충전(저장) 설비		저장 탱크	탱크 로리
	사업소 경계까지	제1종 보안 물건	제2종 보안 물건	건물과의 안전 거리	보호 시설	공공 장소등	건물과의 안전거리	
10	24(16.8)	17	11.3	15(15)	8	4.5	25	15
20	27(18.9)	20.8	13.9	15(15)	8	4.5	25	15
30	30(21)	24	16	15(15)	8	4.5	30	15
40	33(23.1)	26.9	17.9	15(15)	8	4.5	30	15
50	36(25.2)	29.4	19.6	23(15)	8	4.5	30	15
100		30	20	30(15)	15	8	30	25
200		30	20	38(-)	15	8	40	25
400	39(27.3)	30	20	122(-)	15	8	40	25

LCNG 충전시스템의 LNG저장탱크의 운용개념을 LPG충전소에서 찾는다면 위 표의 안전거리를 LNG저장탱크에도 적용해야 할 것이다.

4. LPG탱크로리의 위험요인

LNG 탱크로리의 위험요인을 확인하기 위하여 LPG탱크로리의 사고사례를 살펴보았다. 사고 빈도를 살펴보기 위해서 서울의 주요 LPG 충전소, 인천의 LPG저장 및 탱크로리 충전기지, LPG 탱크로리 용역업체를 방문하여 탱크로리의 운행실태(총운행거리, 왕복 횟수, 충전능력등)를 조사하여 정리한 결과가 있는데^[1], 총 40대의 탱크로리의 운행실태를 조사한 바는 표.2와 같다.

표. 2 LPG탱크로리 평균 운행 조건

1년간 평균 운행거리	1일 운행시간	1일 왕복횟수	1달 왕복 횟수	평균 속도	충전능력
88,000km	7.66	1.95	53.60	65km/h	12.16ton

LPG탱크로리의 최근 3년간 평균등록대수는 832대이다. 1년 평균운행거리가 88,600km이므로 3년동안의 총운행거리는 2.21×10^8 km 이다. 3년 동안 LPG탱크로리의 사고건수가 총 23건이므로 사고발생빈도는 $23/2.21 \times 10^8 = 1.04 \times 10^{-7}$ 회/km이다.

탱크로리사고 사례를 통한 사고빈도를 계산해 보면 크게 우려할 만한 수치는 보이고 있지는 않다. 그러나 부천 LPG충전소사고를 탱크로리의 폭발사고로 간주할 경우 앞에서 의 빈도계산은 의미가 없어진다.

감사의 글

본 원고의 작성을 지원한 한성대학교 안전과학기술연구소에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

1. 장우정, 윤재건, "LPG탱크로리 위험분석", '98추계학술발표회 논문집, 한국산업안전학회, pp 53~58, 1998.
2. Daniel A. Crowl & Joseph F. Louvar "Chemical Process Safety", Prentice-Hall, 1990.
3. LCNG 충전시스템개발 중간보고서, 한국가스공사, 1999.
4. 김기동, 신동현, 최동수, 유석진, 한규석, 윤재건, "LCNG충전시스템개발", 2000년도 추계학술발표회 논문집, 한국가스학회, pp 244~247, 2000.
5. Jae-Kun Yoon, "Risk in CNG & LNG Refueling Stations", Proceedings of 7th Intl. Conference on NGV, pp 609~614, Yokohama, 2000.