

위험성 평가를 이용한 CNG 충전소와 가솔린 주유소 병설의 안전거리에 관한 연구

이수경, 유상빈, 김래현*

서울산업대학교 안전공학과, 서울산업대학교 화학공학과*

A Study on the Safety Distance of CNG Station Establishment with Gasoline Station by Using Risk Assessment

Su-kyung Lee, Sang-bin Yoo and Lae-Hyun Kim*

Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

Dept. of Chemical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

1. 서론

천연가스자동차는 자동차 연료로 쓰이는 석유의 대체에너지 도입 촉진과 도심지에서의 자동차에 의한 대기오염 저감에 기여하기 위한 방안으로 현재 인천과 안산 지역에서 시내버스 4대, 수도권 지역에서 승용차형 천연가스 자동차 9대의 시범운행이 진행 중에 있다. 그러나, 근년에 발생한 LPG 충전소의 폭발사고로 인하여 고압가스에 대한 국민들의 불안감이 증폭되었고 그로 인하여 고압가스 물질에 대한 고려 및 정확한 위험성 평가 없이 안전거리의 확대로 말미암아 경제적 부담이 더욱 가중되었다.

이에 본 논문에서는 CNG 충전소와 가솔린 주유소와 병설할 경우에 대한 정량적 위험성 평가를 실시하고, 안전거리에 대한 정확한 개념을 도입하여 CNG 충전소의 경제적 안전거리를 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 안전거리의 정의⁶⁾

안전거리는 사고발생시 원활한 방재활동과 피해확산을 방지하기 위하여 시설과의 일정한 이격거리를 말한다. 따라서 안전거리를 벗어난 지역은 사고시 안전한 지역을 의미하는 것이 아니라 적절한 방재활동에 의하여 인명과 재산 피해를 방지할 수 있는 지역을 의미한다. 그러므로 안전거리는 사고 시나리오에 따라 이론적 계산에 의한 피해거리를 산정하는 방법과 지금까지 사고의 경험으로 결정하는 방법이 있지만 후자의 경우가 일반적이다.

2.2 국가별 천연가스 처리설비의 안전거리 비교

천연가스 충전소에서 안전거리 규정은 천연가스를 압축, 저장 및 처리하는 가스처리설비와 주변에 위치하는 건물, 화기 취급시설, 도로, 천연가스 이외의 가연성 물질과의 이격거리에 대하여

규정하고 있다. 또한 이격거리 산정시 국가에 따라 처리설비의 외면으로부터 보호시설까지의 거리 또는 사업소 경계까지의 거리로 구분하며 저장량에 따라 이격거리를 달리하기도 한다.

주요 국가별 가스처리설비와 보호시설과의 안전거리를 비교하면 아래의 표와 같다.

Table 1 Comparison with safety distance of developed countries

구분	한국 (산자부고시 제1998-35)	일본 (고압가스취체법)			미국 (NFPA52)
		구법	신법(1997. 4.)		
			방화벽 설치시	방호벽 설치시	
보호시설(방호벽 설치시)	20m(10m)	8√2m	6m	--	3m
화기(점화원)	8m	8m	4m	--	3m
철로	30m				15m
도로	5m	5m	5m	5m	3m
가연성 액체	8m				6m

2.3 화재 모델링

본 논문에서 살펴보는 화재 모델링은 CNG 충전소와 가솔린 충전소의 병설의 경우 발생될 수 있는 화재 모델이다. CNG 충전소에서 발생할 수 있는 화재는 Gas Jet Fire로 나타나며, 가솔린 충전소에서의 화재는 초기 누출로 인한 Pool Fire와 증기운 화재, 증기운 폭발을 가정할 수 있다. 그러나, 외국 문헌과 비교할 때 보통 증기운 화재, 증기운 폭발을 고려하여 안전거리를 제안하지 않았으므로 본 논문에서도 CNG 충전소의 Gas Jet Fire와 Pool Fire만을 고려하기로 하였다. Gas Jet의 방출이 순간방출인지 연속방출인지에 따라 모델이 달라진다.

또한 순간방출 후 Gas가 Dense Gas인지 Light 가스인지에 따라 다르며 전 차원이 있을 경우 Projectile 형태의 Fire가 형성된다. 연속 방출 후 폭발이 일어날 수 있으며 Jet Flame의 형태로 나타날 수 있다.

Pool Fire에 대한 Event Tree에서 액체의 저장탱크 또는 와이폰에서 누출 후 Pool을 형성한다. Pool을 형성 후 즉시 점화원이 있는 경우 Pool Fire를 형성하며 점화원이 없는 경우 증기운을 형성한다. 형성된 증기운이 점화원이 있는 경우 증기운 폭발, 증기운 화재 등으로 특징 지워진다.

3. 위험성 평가

3.1 주유취급소에서의 사고 발생건수

주유취급소의 사고는 크게 나누면 화재사고와 누설사고로 나눌 수 있다. 1992년에서 1996년까지 5년간의 발생건수 추이는 Table 2와 같은데, 화재사고는 매년 31건 내지 43건, 누설사고는 47건 내지 69건이 발생하고 있다. Table 2에 주유취급소의 사고 발생건수를 나타냈다.

Table 2. Accident number of gasoline station

	1992	1993	1994	1995	1996
화재사고	31	31	43	35	38
누설사고	62	57	63	69	47

3.2 CNG 충전소의 사고사례 분석

지난 85년부터 97년까지 뉴질랜드에서 일어난 CNG 충전소와 관계된 자료를 정리하면 Table 3과 같다. 충전소의 구성요소를 크게 3가지로 나누면 Dispenser, Compressor, Storage vessel로 대별할 수 있다.

Table 3 An account of accidents for CNG station

	Dispenser	Compressor	Storage vessel	기타
사고건수	20	12	7	4

3.3 사고시나리오 작성

앞에서 살펴본 주유 취급소의 사고사례 분석과 CNG 충전소의 사고사례 분석을 통하여 발생 가능한 사고를 상정하여 시나리오를 작성하였다.

1) CNG 충전소의 사고시나리오

- ① 용접불량 및 기기의 편홀이 발생하여 가스 연속누출이 발생한다.
- ② Dispenser기에서의 호스가 마모되어 호스에서 순간 누출이 일어난다.

2) 가솔린 주유 취급업소의 사고시나리오

- ① 가솔린 주유 취급소에서의 사고 사례 분석을 한 결과 계량기가 파손되어 가솔린의 연속누출이 발생한다.

3.4 Simulation 결과

3.4.1 시나리오 1의 결과

누출공의 직경을 각각 0.2mm, 0.4mm, 0.8mm로 각각 주었으며, Simulation을 위한 프로그램으로는 Arthur D. Little사에서 개발한 Super-Chem 모델을 사용하였다. 기상조건에서 가장 큰 변수를 차지하는 풍속에 관해서는 1.5m/s를 적용하여 계산하도록 하였다. CNG 충전소의 hole에서의 누출 결과에서 고려할 수 있는 변수는 제트화염의 길이와 연소하한농도(LFL)의 도달거리, 그리고 순간 점화로 인한 복사열 영향이다.

Simulation 결과는 다음과 같다.

Table 4 The Result of heat radiation of jet flame for CNG release(m)

	복사열(kw/m ²)	0.2mm	0.4mm	0.8mm
복사열 영향	4	0.6208	1.235	2.44
	12.5	0.4145	0.8274	1.643
	37.5	0.3081	0.6167	1.23

Table 5 The Result of flame length for CNG release(m)

Hole size	Flame length
0.2mm	0.2213
0.4mm	0.4426
0.8mm	0.8852

3.4.2 시나리오 2의 결과

디스펜서 약 8mm 호스에서 순간적으로 누출되는 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

Table 6 The Result of CNG release at 8mm hole(m)

Hole Size	Flame length	Heat Radition	Effect Distance
8mm	8.66m	4kw/m ²	23.12m
		12.5kw/m ²	15.81m
		37.5kw/m ²	11.93m

3.4.3 시나리오 3의 결과

가솔린 주유소에서 30mm hole에서 10분간 연속적으로 누출되었을 때 주변의 위험물질에 영향을 주어 2차 재해를 일으킬 수 있는 변수는 Flame length와 pool지름 및 복사열이 큰 영향을 미칠 수 있다. 앞에서 살펴본 주유취급업소 사고의 분석에서 계량기의 파손이 가장 큰 원인으로 나타났다. 그러므로 본 연구에서는 주유 취급업소에서 계량기의 파손으로 약10분간 연속 누출되었을 때 pool의 지름과 시설물에 영향을 주어 2차 재해를 줄 수 있는 37.5kW에 해당하는 거리가 어느 정도인지를 Super-Chem을 통하여 나타내었다. 그 결과는 다음 Table 7과 같다.

Super-Chem Model의 결과 화염길이는 수직상방향으로 최대 18.35m에 이르며 최대 Pool의 지름은 2.928m에 이른다. 풍속이 증가할수록 복사열에 의한 영향거리는 더욱 커지고 있다. 또한 시설에 피해를 줄 수 있는 복사열 피해인 37.5kw/m²에 영향을 미치는 거리는 풍속 5.0m/s일 경우 최대 6.49m로 나타났다.

Table 7 The Result of Gasoline station pool fire

풍속(m/s)	최대 pool 지름(m)	화염길이(m)	복사열(kw/m ²)	영향거리(m)
1.5	2.918	18.25	4	17.62
			12.5	7.62
			37.5	3.19
3.0	2.928	18.31	4	22.3
			12.5	12.04
			37.5	4.96
5.0	2.92	17.72	4	23.8
			12.5	14.99
			37.5	6.492

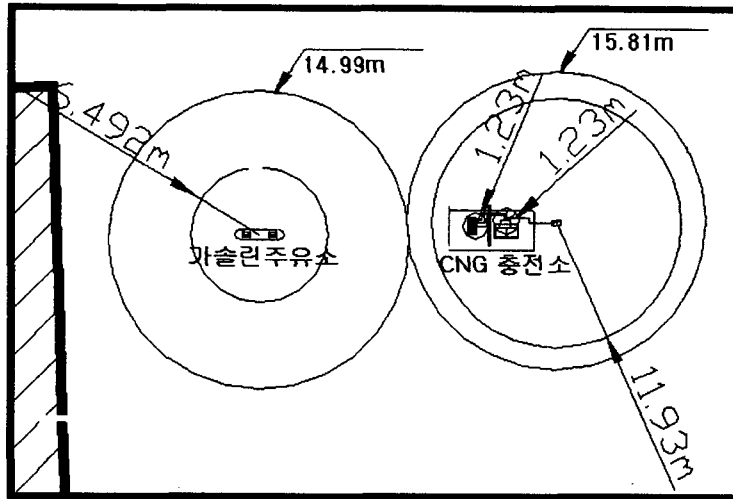


Fig.1 Heat radiation of CNG station and Gasoline station

4. 결 론

본 연구에서는 CNG 충전소 가솔린 충전소와 병설하였을 경우 안전성을 파악하기 위하여 위험성 평가를 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. Super-Chem 모델을 사용하여 평가한 결과 0.2mm, 0.4mm, 0.8mm, hole에서 누출되었을 경우 건물에 영향을 미칠 수 있는 범위인 37.5kW에 이르는 거리는 최대 1.23m 임을 알 수 있었다.
2. 또한 디스펜서 호스에서 순간 누출 되었을 경우 미치는 범위는 Flame length의 경우 8.66m에 이르며 이 때의 복사열은 12.5kW의 경우 최대 15.81m임을 확인하였다.
3. 가솔린 주유 취급소에 대한 영향 평가 결과 maximum pool 지름이 2.928m에 이르렀으며, 이 때 37.5kW 복사열에 의한 결과는 최대 6.492m로 나타났다.
4. CNG 충전소와 가솔린 주유소의 병설의 경우 CNG 충전소의 최대 위험요소는 디스펜서에서의 순간 누출로 인한 Jet 화염과 가솔린 주유소의 Pool Fire에 의한 복사열이다. 이 두 가지를 고려하였을 때 각각의 주유기에서 15m의 거리를 제언한다.

이상과 같이 CNG 충전소와 가솔린 주유소의 위험성 평가를 통한 안전거리를 제언하였다. 그러나 이 안전거리는 방호벽 또는 방화벽에 대한 고찰을 하지 않았으므로 방어시스템을 설치할 경우 안전거리는 더욱 짧아 질 것이다. 또한, CNG 충전소와 가솔린 주유소의 기하학적 위치에 따른 안전거리에 대해서도 더 많은 고찰이 필요하리라 본다. 현행법으로 실시하고 있는 CNG 충전소의 안전거리는 위험성 평가를 거치지 않은 것으로 판단되며, 본 논문과 같은 위험성 평가를 통한 안전거리의 고찰 및 실험을 통한 기술확보가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경부, “자동차 공해절감을 위한 CNG 보급활성화 workshop”, 1995.
2. “NGV 연구중간결과 및 공청회 발표자료”, 한국가스공사, 1997.7.
3. 통상산업부, “압축 천연가스 차량 보급 확대 방안 연구에 관한 최종 보고서”, 1996.
4. 산업자원부, “CNG 자동차 관련 규격 및 제도개선 방안에 관한 최종 보고서”, 1998. 8.
5. “天然ガス自動車の實用化 に向けて”, (社)日本ガス協會, 199.7.
6. “Loss Prevention in the Process Industries”, Vol.1, Butter Worths, Lodon, Boston, 1980.
7. NFPA 52 : Standard for Compressed Natural Gas(CNG) Vehicle Fuel System, NFPA, 1995.
8. Center for Chemical Process Safety, “Guidelines for Safe Storage and Handling of High Toxic Hazard Materials”, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), New York, NY, 1988
9. Center for Chemical Process Safety, “Workbook of Test Cases for Source Characterization and Dispersion Models for Vapor Clouds”, American Institute of Chemical Engineers (AIChE), New York, NY, 1988
10. “Industrial Explosion Prevention and Protection”, McGraw-Hill, New York, 1980
11. Briggs.G.A., “Plume Rise Buoyancy Effects.”, Technical Information Center, 1984
12. EPA, “Technical Guidance for Hazards Analysis”, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1987
13. Fauske, H.K., “Flashing Flows or Some Practical Guidelines on Emergency Releases”, Plant/Operations Progress 4(3, July), pp132-134, 1985