

## 위험성 분석에 따른 CNG 충전소와 가솔린 주유소 병설의 안전거리에 관한 연구

노삼규\* 정태호\*\*

\*광운대학교 건축공학과 교수, \*\*광운대학교 건축공학과 석사과정

### A Study on the Safety Distance Establishment of CNG with Gasoline Station through Risk quantification

Sam-Kew Roh\* Tae-Ho Jung\*\*

\*Dept of Architecture Engineering, Kwangwoon University

\*\*Dept of Architecture Engineering, Kwangwoon University

#### 1. 서론

##### 1.1 연구목적 및 배경

자동차 공해저감과 지구온난화에 대한 세계적 관심이 고조되고 있는 상황에서 우리나라의 자동차 대수는 97년을 기점으로 1,000만대를 넘어서면서 큰 폭으로 증가하고 있다. 특히 서울시를 포함한 7대 광역도시 지역에 전체 자동차의 절반 이상이 집중되어 있으며, 이들 자동차에서 발생하는 배기가스가 대기오염의 주요 원인으로 지적되고 있다. 이에 대한 근본적인 관리대책 마련으로 천연가스는 대도시의 조속한 대기질 개선을 위하여 매연이 전혀 없고 오존생성물질(70%이상)과 소음(50%)을 획기적으로 줄일 수 있는 최적 대안으로 평가되고 있어 범 정부적 차원의 보급확대에 대한 계획을 갖고 있다. 천연가스 시내버스 보급의 범 정부적 차원의 시점에서 천연가스자동차가 보급된 대부분의 국가에서는 대체 에너지 사용과 토지이용의 극대화를 위하여 일반적으로 가솔린 주유소에 CNG 충전소를 병설하여 운영하고 있다. 우리나라와 같이 토지 가격이 높은 경우 CNG 충전소의 설치비용중 토지 확보에 상당부분을 차지하기 때문에 도심권내에 독립적으로 CNG 충전소를 유치하기에 무리가 따른다. 또한 세계적으로 석유 의존도가 날로 심화되어 가고 있고, 특히 우리나라는 원유 전량을 수입에 의존하고 있는 실정으로 차량 수송분야의 경우 석유 의존도가 절대적으로 높아 이를 줄이기 위해서는 대체 연료 차량 개발이 절대적으로 필요한 시점이다. 본 연구에서는 천연가스 자동차의 실용화 시대에 대비하기 위하여 현재 운영중인 가솔린 주유소에 CNG 충전소를 병설할 경우 그에 따른 위험성 평가를 실시하고 위험성 평가에 따른 안전거리를 제시하고자 한다.

#### 2. 각 설비별 구성요소 및 특성 분석

##### 2.1 CNG 충전소의 구성요소

###### (1) 압축기

압축기는 도시가스배관으로 공급된 천연가스를 약 360kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 압축한

다, 일반적으로 압축기는 왕복동식(reciprocating type)과 회전식(rotary type)이 있다. 왕복동식은 전동이나 가스엔진에 의해서 작동하는 피스톤의 왕복운동에 따라 실린더내의 기체를 압축하는 방식이며 통상 3단 혹은 4단으로 요구되는 압력까지 압축한다. 로타리식은 로타의 회전을 이용해서 가스를 압축하는 것이다. 로타리식 압축기 중에는 스크류식이 대표적이다.

## (2) 가스저장용기

저장용기는 크게 ASME Type과 DOT Type으로 구분할 수 있다. 차량탑재용 연료저장용기는 복합재료용기, 금속제 liner에 복합재료로 보강한 용기 및 강제용기 등 세 가지가 주로 사용된다. 그러나 충전시스템의 저장용기는 강제용기만을 사용한다.

## (3) 가스주입기 (Dispenser)

디스펜서는 연료를 차량에 탑재되어 있는 연료용기에 충전하기 위한 설비로 가솔린의 주유기에 해당된다. CNG 디스펜서는 호스의 수에 따라서 Single 또는 Double Hose 형이 있다.

그 외의 충전소 안전장치로서 가스저장용기, 가스주입기의 각 유니트 및 가스가 누설될 경우 가스가 체류할 우려가 있는 장소에는 가스 검지기를 설치하고, 경보발생과 연동되어 긴급 차단밸브를 자동으로 구동한다. 또한 긴급 정지용 스위치를 작동할 경우 설비를 자동적으로 긴급 정지하는 긴급 정지 장치를 설치한다.

## 2.2 Gasoline 주유소의 구성요소

### (1) 주유기

자동차에 유류를 주입하는 계량기를 지칭하며 계량법상의 분류로는 부피계에 해당하며, 일명 연료유미터라고 칭한다. 주유기는 토출속도와 노즐의 수, 펌프의 종류, 기능등의 차이로 인하여 여러가지 Model로 나누어 진다. 대표적인 분류로는 일반형주유기, 디스펜서형(액중형)주유기, 천정식주유기로 나뉘고 각 분류마다 고속과 저속,초고속과 벌크 ,단식과 복식등으로 세분된다.

### (2) 지하저장탱크

위험물 저장 시설에 사용되는 지하저장 탱크는 두 가지 종류가 있다. 그 하나는 일반탱크로서 일명 알탱크라고 부른다. 또하나는 이중벽탱크로서 일반 탱크 표면에 FRP 등으로 코팅을 한 탱크를 말한다.

### (3) 4단 유수분리조

4단유수분리조는 주유기등에서 누출된 유류가 주유소 공기 외부로 누출되지 않도록 유류와 물을 분리하여 물만이 배수되도록 여과하는 장치이다.

## 3. 사고사례 분석

### 3.1 CNG 충전소의 사고사례

CNG 충전소의 사고 사례는 일본에서는 보고된 바 없고, LPG의 경우 1966년부터 1993년사이 34건의 보고는 폭발 5건, 화재 8건, 누출 21건이 있었고 가장

높은 사고는 충전호스의 차량 충전중 이탈 건수가 약 1/3, T/L로부터 저장조로의 수입중 사고가 5건, 영업중 관리소홀 및 점검중 사고등이 각각 있었다. 한편 이때 CNG 충전소 사고의 사례는 미국에서 차량 탑재용 CNG 탱크에서의 용기파열이 있었으나 충전소의 축압용 저장용기의 사고는 어디에서도 보고된 바 없다. 뉴질랜드의 경우 비교적 많은 사고가 있었으나 대체로 취급자의 오조작, 충전중의 자동차 오발진, 압력방출변의 사고, 호스 파열등이 대부분으로 일부 Hardware의 2중 안전장치의 부재와 대부분 사용자, 취급자의 부주의가 문제가 되었다. 이때 검토해야 할 대상으로는 방화 및 장난에 의한 충전호스로부터의 가스분출, Pipe나 설비의 용접부의 용접불량에 의한 Pin Hole로부터의 가스누출에 대한 사고 가능성 검토가 상정되었다.

### 3.2 Gasoline 주유소의 사고사례

#### (1) 화재사고

일본에서 급유취급소 화재사고는 매년 거의 10건에서 20건으로 추이되고 있다. 화재 총 수는 5년간 77건이다. 그리고 이들 화재사고 건수 중에는 급유취급소의 건물 등에 관계되는 것은 포함되어 있지 않다. 위험물 관련 시설에 관한 화재뿐이다. 이들 화재의 발생기기별 건수는 계량기가 반을 차지하는데, 그 외 지하탱크, 간이탱크, 차량 등에서 발생한 것도 많다. 주원인으로는 교통사고, 정전기, 확인 불충분 등이 많을 경향을 나타내고 있다.

#### (2) 누설사고

급유취급소의 위험물 누설사고 건수의 추이는 매년 약 66건 전후의 건수이다. 위험물 누설사고의 총 수는 5년간 296건이다. 이들 누설사고의 화재발생기기별 건수는 화재사고와 같이 계량기에 의한 것이 가장 많고, 다음으로 지하매설 배관, 지하탱크의 순으로 되어 있다. 주원인으로는 부식등 열악화, 확인 불충분, 차량의 충돌 등이 원인으로 많은 경향에 있다.

## 4. 위험성 평가 Modelling

### 4.1 사고 시나리오 작성

#### 4.1.1 CNG 충전소 사고 시나리오

현재 은평구 수색동 공영차고지에 설치된 CNG 충전시스템의 제원으로 사고시나리오를 작성한다.

은평구 수색동 공영차고지에 설치된 CNG 충전시스템은 천연가스버스의 대당 1일 충전가스량 170m<sup>3</sup> 및 충전설비를 1일 15시간 가동한다는 가정하에 120 버스의 정상운영이 가능하도록 설계되었다. 이를 만족하기 위한 CNG 충전시스템은 약 690m<sup>3</sup>/h 토출능력을 갖는 압축기 패키지 2set, ASME 41,000scf Storage 1set, Single Hose Dispenser 1set, Priority Panel 1set, MOLD TR 800kVA 옥외용 수변전 설비 1set, card Reader 및 원방감시시스템 등으로 구성된다.

본 논문에서는 편홀로부터 누출되는 CNG착화시에 발생하는 복사열이 미치는 영향을 고려하여 안전거리를 산출한다.

- 시간당 처리능력 : 690m<sup>3</sup>/h
- 저장용기 압력 280kg/cm<sup>2</sup>
- 부피 1300 ℓ
- CNG의 발열량 8556kcal/m<sup>3</sup>

$$\sqrt{(시간당처리능력 [Nm^3/h] \times CNG발열량[kcal/Nm^3]) \div (인체에 미치는복사강도[kcal/m^2h] \times 2\pi)}$$

국내시설의 경우 보호시설에 미치는 복사열을 10~20초의 노출후에 고통을 느끼는 강도인 4,000kcal/m<sup>2</sup>h을 기준으로 적용하였을 때 압축기 용량 690m<sup>3</sup>/h의 경우 15.297m가 요구된다.

#### 4.1.2 Gasoline 주유소 사고 시나리오

##### (1) 시나리오 가

주유차에서 지하 탱크로 급유하는 과정에서 조작 실수로 휘발유가 누유되어 15평방미터의 풀(pool)을 형성하여 화재가 발생한 경우. 여기서 풀 면적을 15m평방미터로 가정한 것은 일본에서 주유소의 실제 화재실험 자료에서 제시한 10~15평방미터의 큰 값을 토대로 하였다.

##### (2) 시나리오 나

주유기 배관, 호스 또는 노즐이 완전 파열되어 휘발유가 주유펌프의 펌핑량인 분당 40리터로 10분간 주유소 바닥으로 누유되어 화재가 발생한 경우.

##### (3) 시나리오 다

주유기 배관, 호스 또는 노즐이 완전 파열되어 휘발유가 주유펌프의 펌핑량인 분당 40리터로 계속 주유소 바닥으로 누유되어 화재가 발생한 경우. 선정한 3가지 사고 시나리오에 대한 화재 형태와 인근지역에 미치는 영향을 평가하기 위해서 다음의 자료가 필요하다.

#### 휘발유의 물성자료

비중	= 0.8(물=1)	연소열	= 43,510kj/KG
정압열용량	= 2.1 kj/kg°C	비점	= 100°C
증발열	= 300kj/kg	전체열 중 Pool Fire 복사열	= 0.13

#### 기상 조건

대기온도 = 21°C 포화수증기압 = 2450 N/m<sup>2</sup> 상대습도 = 80%  
 대기온도 = 0°C 포화수증기압 = 600 N/m<sup>2</sup> 상대습도 = 40%  
 대기온도 = 29°C 포화수증기압 = 3950 N/m<sup>2</sup> 상대습도 = 90%  
 이들 3개 사고 시나리오와 위의 자료를 토대로 Pool Fire Modelling을 이용하여 화염높이, 발생열량, 연소속도, 거리에 따른 복사열 전달량을 산정한후 Effect Modelling에 적용하여 위험성을 평가한다.

World Bank(1988)에서는 대규모 화재를 조사하여 다음의 손실영역을 제시하였다.

**World Bank의 손실영역**

복사열 강도		손실유형
(Btu/hf.ft <sup>2</sup> )	(KW/m <sup>2</sup> )	
11,890	37.5	공정장치와 같은 철구조물 파손
7,930	25.0	무한정 노출시 목재 착화 최소 에너지
3,960	12.5	화염에 의한 목재 착화나 플라스틱 튜브가 녹을 수 있는 최소 에너지

**복사열 중심으로부터 화재 안전 이격거리(m)**

상해구분	복사열 노출시간 (분)	고온다습기후(여름)   저온건조기후(겨울)   평균기후(봄, 가을) 시나리오								
		가			나			다		
		가	나	다	가	나	다	가	나	다
1도화상	1	14	8	8	16	10	10	15	9	9
	5	29	-	20	30	-	20	29	-	19
	10	38	-	23	41	-	26	39	-	24
2도화상	1	7	5미만	5미만	9	6	6	8	5미만	5미만
	5	18	-	11	20	-	13	19	-	12
	10	24	-	15	27	-	17	25	-	16
사망	1	7	5미만	5미만	8	5	5	9	5미만	5미만
	5	17	-	11	19	-	12	18	-	11
	10	23	-	14	26	-	17	24	-	15

결론적으로 주유소의 화재 위험성 평가에서는 주유소 화재시 발생하는 복사열에 의해 인간이 상해를 입지 않을 최적의 안전거리는 15m로 판단되며 일반적인 구조물의 경우 복사열로 인한 손상은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

**5. 결론**

본 연구에서는 CNG 충전소와 가솔린 주유소를 병설하였을 경우에 안전성을 평가하기 위해 위험성 평가를 실시하였다. 그 결과는 다음과 같다. CNG 충전소의 사고 시나리오는 압축장치의 처리량 690m<sup>3</sup>/h 에 따른 핀홀로부터 누출되는 CNG착화시에 발생하는 복사열이 미치는 영향을 고려하였을 때 15.297 m의 안전거리를 산출하였고 가솔린 주유소의 경우 발생할 수 있는 가능성이 높은 Pool 화재를 중심으로 15m의 안전거리를 산출하였다. 이 두가지를 고려하여 CNG충전소의 압축기와 가솔린 주유소의 주유기에서 15m의 안전거리를 제안한다.

**참고문헌**

1. CNG버스 차량기지 충전시설에 관한 안전성 조사, 노삼규, 정태호, 손승인, 김희성, 1999.
2. 자동차 공해절감을 위한 CNG 보급활성화 workshop, 환경부, 1995.
3. NGV 연구중간결과 및 공청회 발표자료, 한국가스공사, 1997.

4. 압축 천연가스 차량 보급 확대 방안 연구에 관한 최종 보고서, 통상산업부, 1996.
5. CNG 자동차 관련 규격 및 제도개선 방안에 관한 최종 보고서, 산업자원부, 1998.
6. GUIDELINES FOR CHEMICAL PROCESS QUANTITATIVE RISK ANALYSIS
7. CNG自動車用燃料供給施設を給油所に併設等する場合の安全性に関する調査検討報告書 (平成6年 3月, 危険物保安技術協會)
8. CNG自動車燃料供給施設を給油取扱所に併設等する場合の安全性に関する調査検討報告書 (平成7年 3月, 危険物保安技術協會)