

# CNG 충전소의 누출·확산에 대한 위험성 평가

유상빈, 이수경, 이동춘\*

(The Risk Assessment of Release and Dispersion for CNG Service Station)

Sang-bin Yoo, Su-kyung Lee, Dong-chun Lee

: 서울산업대학교 안전공학과

\* : 한국전력공사

## 1. 서론

세계적으로 산업 각 분야에서 석유 소비가 증가하면서, 석유 의존도가 날로 심화되고 있다. 특히 우리 나라는 원유 전량을 수입에 의존하고 있는 실정으로 수송분야의 경우 석유 의존도가 절대적으로 높아 이를 줄이기 위해서는 대체 연료 차량 개발이 절대적으로 필요하다. 또한 자동차 배출가스로 인한 대기 오염이 심화되면서 청정 연료 차량 개발의 필요성 또한 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있다. 이를 위해 CNG(Compressed Natural Gas) 차량에 대한 검토가 적극적으로 이루어지고 있으며 차량에 공급할 연료를 위한 충전소 시스템에 대한 개발연구가 한창 진행 중에 있다. 그러나 천연가스에 대한 대 국민 불안을 떨쳐 버릴 수 없는 것이 현실이다. 이에 본 연구에서는 CNG 차량 개발에 즈음하여 CNG 충전설비에 대한 누출·확산 및 화재에 의한 복사열 영향평가를 실시하여 CNG 충전소의 위험성을 평가하고자 하였다. 또한, 고압법에 의해 이미 설치되어 있는 LPG 충전소에 대하여 누출 및 화재에 의한 복사열 영향평가를 실시하여 서로 비교 분석하였다.

## 2. CNG 충전소 개요

### 2.1 충전소의 분류

CNG 충전시스템은 NGV(Natural Gas Vehicle) 차량에 연료를 충전하기 위한 설비로 NGV의 보급촉진을 위한 기반의 구축에 필수적인 시스템이다. CNG 충전소가 설치되어 있지 않으면 NGV가 연료를 공급받지 못하게 되어 운행이 불가능하고, NGV가 보급되지 않으면 CNG 충전소의 설치의미가 상실되기 때문이다. 따라서 CNG 충전소와 NGV는 동시에 서로의 요구조건을 만족하는 수준으로 보급되지 않으면 안된다. CNG 충전소의 충전방법에 따라 보통 6가지로 분류되며 Table 1과 같다.

Table 1. Methods of refuel of CNG service station

종 류	주 요 내 용	장 단 점
Fast/Quick Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· NG를 고압으로 저장용기에 저장 후 충전하는 방법</li> <li>· 수요자 요구시 즉시 공급 가능토록 설비 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비가격 높음</li> <li>· 충전시간 짧음(2-5분)</li> <li>· 상업용 대상</li> </ul>
Slow/Time Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저장설비없이 압축 설비만으로 충전하는 방법</li> <li>· 단거리 업무용 차량이용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비가격 낮음</li> <li>· 충전시간 길다(6-7hr)</li> <li>· 소규모, 개인대상</li> </ul>
Home Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가정에서 개인용으로 사용할 수 있는 설비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 개인만 사용 가능</li> </ul>
Mother-Daughter Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· NG가 공급되지 않는 지역에서 차량 (Mother)을 이용 충전설비(Daughter)에 충전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 투자비 높음</li> </ul>
Mobile Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 충전통을 탑재한 차량이 충전소가 없는 곳에서 차량에 공급하는 설비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 투자비 높음</li> </ul>
Combination Fill	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Slow와 Quick를 조합하여 동시에 운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설비가격 및 공간 큼</li> </ul>

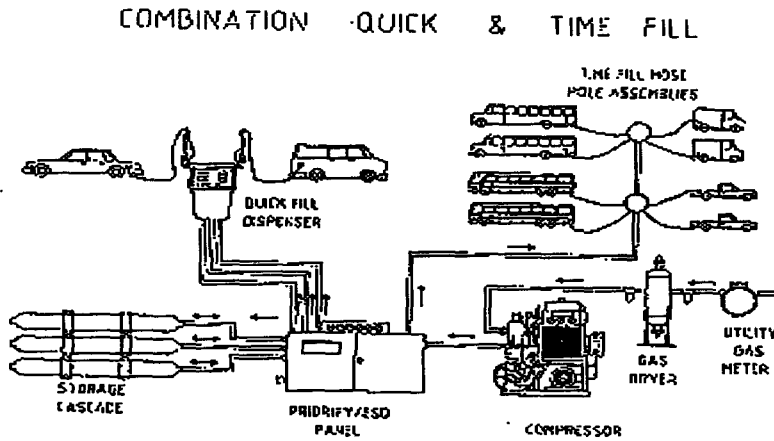


Fig. 1. Draw for CNG refuel system(Combination Quick & Time Fill)

### 2.2 구성기기의 특성분석<sup>(1)</sup>

패키지형 CNG 충전시스템에는 압축기, 저장용기, 디스펜서, 제어장치, 드라이어 및 부속기기로 나뉘어 진다.

가스 배관망을 통하여 공급 받은 가스는 설비의 가동율을 향상시키고 수요자의 요구에 유연하게 대응하기 위하여 가스의 수요가 없는 시간대에 가스 압축기를 작동시켜 용기에 저장해 둔다. 연료의 충전은 차량에 탑재되어 있는 연료 용기와 축압기의 차압에 의해 충전되는데 저압 축압기의 충전압이 규정 충전압을 채우기에 부족한 경우에 부족분은 고압 축압기에서 보충한다. 가스 압축기로 축압기에 가스를 충전하는 경우 먼저 고압 축압기에 충전하고 고압 축압기의 압력이 설정값에 도달하면 밸브가 자동으로 절체되어 저압 축압기에 가스를 충전한다.

### 3. CNG 및 LPG 조성

본 연구에서 사용한 CNG와 LPG의 물질조성은 Table 2와 같다. LPG의 경우 용도별, 제조업체별, 계절별로 다른 물질 특성을 보이고 있으나 LPG 차량 충전용의 경우 80%이상의 물질을 부탄이 차지하고 있다. 또한, 기상 시나리오를 Table 3과 같이 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 2 Properties of CNG and LPG

분 류	CNG	LPG
조성비	메 탄 0.8909	프로판 0.2
	에 탄 0.0955	부 탄 0.8
	프로판 0.0187	
	부 탄 0.0045	
분자량	18.2532	55.2
색/냄새	무색무취	무색무취
가스밀도(kg/m <sup>3</sup> )	0.80244	2.508
$\gamma$ (C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> )	1.24	1.1221
연소한계(%)	4.51 ~ 14.38	1.68 ~ 8.599

Table 3. Meteorological data

		CNG	LPG
Atmospheric Information	Wind	1.0m/sec, 1.5m/sec 3.0m/sec	1.0m/sec, 1.5m/sec 3.0m/sec
	Stability Class	B	B
	Relative Humidity	25%	25%
	Air Temperature	13℃	13℃
	Ground Roughness	0.5	0.5
	Cloud Cover	1	1

#### 4. 시나리오 설정

본 연구에 앞서 국내 LPG 충전소의 사고사례와 이미 CNG 충전소를 설치하여 NGV가 운행중인 선진 외국의 15년간 42건의 사고사례를 분석하여 충전소에서 일어날 수 있는 사고를 가정하였다. 가정한 사고는 다음과 같이 분류된다.

- (1) CNG 충전소의 펌프 쉘 또는 저장용기의 안전밸브를 통하여 가스가 연속적으로 분출한다.
- (2) 디스펜서의 충전 호스가 파열되어 충전호스를 통하여 가스가 연속적으로 분출한다.

#### 5. 누출 및 확산모델의 적용

대기확산에 대한 예비해석으로 기존에 개발되어온 상업용 소프트웨어를 활용하여 분석에 필요한 기초자료의 구축 및 확산현황분석이 필수적이라 하겠다. 이를 위하여 우수한 소프트웨어인 PHAST를 각기 활용하여 누출물의 대기확산도 및 화재와 폭발에 대한 해석을 실시하였다.

본 연구에서는 CNG 충전소와 LPG 충전소 대한 실제적인 영향 평가를 실시하기 위하여 축적(1:1000) 지도를 이용하여 그 영향 범위를 산출하였다. 누출 hole의 크기가 2mm, 4mm, 8mm일 경우 CNG 및 8mm hole에서의 누출에 대해 LPG 확산영역에 대하여 시뮬레이션 하였다. 실제 CNG 충전소에서 누출이 발생할 경우 어느 방향으로 누출되는지 알 수 없으므로 다음과 같은 3가지 Case를 가정하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 각각의 Case에 대한 결과를 실측 지도를 사용하여 관심거리인 누출지점으로부터 각각 2m, 5m, 10m 주변의 복사열에 대한 영향평가를 하였다.

##### 5.1 CNG 충전소의 확산 영향 평가

###### 1) First Case

Horizontal Type : 가스의 누출에 있어서 여러 방향으로 누출되는 것을 고려하여 우선 수평 방향을 가정하여 시뮬레이션 하였다.

###### 2) Second Case

45 Degree Type : 여러 방향의 누출이 있을 수 있겠으나 대표적인 모델로 수직방향에서 45도 방향으로의 누출을 가정하여 시뮬레이션 하였다.

###### 3) Third Case

Vertical Type : 수직 상방향으로 누출을 가정하여 시뮬레이션 하였다.

Table 4에서 볼 수 있듯이 누출공의 크기에 따라 연소하한계에 도달하는 거리는 점점 커짐을 볼 수 있으나 풍속에는 관계가 없는 것으로 계산이 되었다. 이것은 CNG 충전소에서 가압된 가스의 압력이 250bar의 고압이기 때문에 누출되었을 경우 속도가 음속을 초과할 정도의 빠른 속도로 누출되므로 생기는 현상이다.

Table 4. Distance of LFL

누출공 (mm)	농도(mole%)	풍 속(m/s)			
		0.5m/s	1.5m/s	3.0m/s	
Horizontal Type	2	4.5 mole%	4.22	4.22	4.22
	4	4.5 mole%	5.31	5.31	5.32
	8	4.5 mole%	5.02	5.02	5.02
45 Degree Type	2	4.5 mole%	2.64	2.52	2.24
	4	4.5 mole%	3.52	3.16	2.93
	8	4.5 mole%	3.16	2.88	2.58
Vertical Type	2	4.5 mole%	0.04	0.09	0.15
	4	4.5 mole%	0.05	0.13	0.20
	8	4.5 mole%	0.06	0.14	0.22

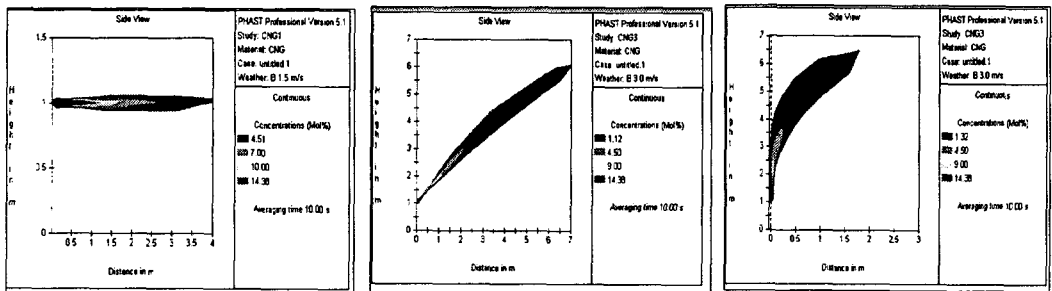


Fig. 2 a) Horizontal Type

b) 45 Degree Type

d) Vertical Type

## 5.2 LPG 충전소의 확산 영향 평가(Horizontal Type Release)

CNG 충전소의 누출로 인한 확산영향 평가를 상대적으로 비교하기 위하여 이미 고압가스법에 의해 설치되어 있는 LPG 충전소를 대상으로 비교평가 하였다. LPG 충전소의 누출은 모두 수평 방향을 대상으로 하였으며 풍속을 고려하여 시뮬레이션을 실시하였다.

LPG 충전소의 경우 8mm의 hole에서 누출될 경우 기액상 누출을 하고 바닥으로의 누출을 고려하여 시뮬레이션을 실시한 결과 연소하한계에 도달하는 거리는 CNG에 비하여 짧으나 Jet Flame 뿐 아니라 Pool Fire에 의한 복사열 영향이 심각한 것으로 나타났다.

Table 5. Distance for LFL

누출공 (mm)	농도 (mole%)	풍 속(m/s)		
		0.5m/s	1.5m/s	3.0m/s
8	1.68 mole%	3.76	3.26	3.12

## 5.3 CNG 충전소 및 LPG 충전소의 복사열 영향 평가

CNG 충전소 및 LPG 충전소에 대하여 화재가 발생할 경우에 대하여 복사열 영향 평가를 실시 하였다. 그 결과를 본 연구에서는 실측 지도에 나타내었다. CNG 충전소의 경우 본 연구에서 준비한 주유소 지역의 일부에서 복사열에 대한 피해가 있었으나 LPG의 경우 주유소 지역 외부에 까지 그 피해를 주고 있음을 알 수 있었다.

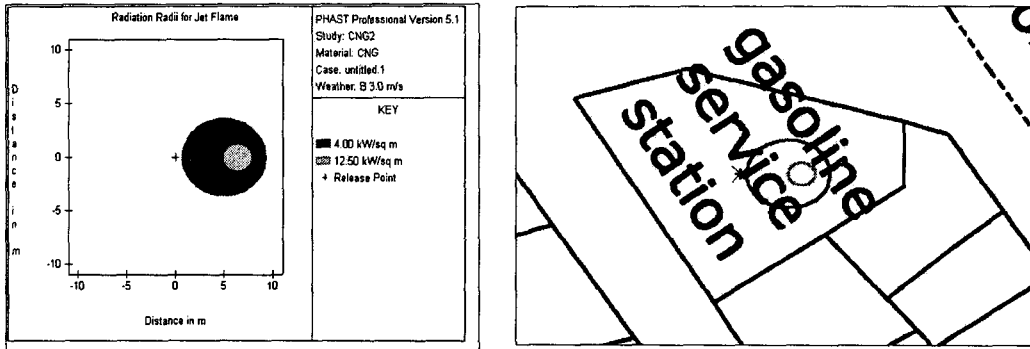


Fig.3 Radiation heat effects of Jet Flame(CNG, Horizontal Type)

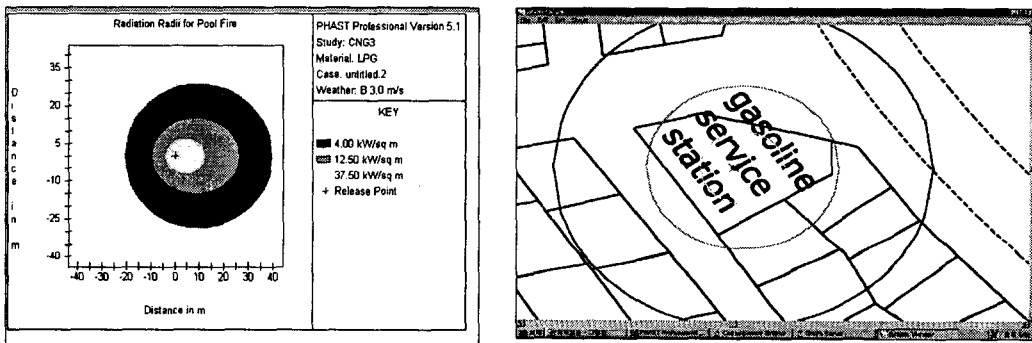


Fig.4 Radiation heat effects of Pool Fire(LPG, Horizontal Type)

## 6. 결론

본 논문에서는 최근 개발중인 CNG 충전소의 누출 및 확산에 대한 위험성 평가를 실시하였다. CNG 충전소의 누출 및 확산정도를 비교하기 위해 LPG 충전소에 대한 평가도 병행하였다. 이것을 위하여 상용 소프트웨어인 PHAST를 적용하여 각각에 대한 결과를 평가하였다.

### 1. PHAST 모델 적용 결과

3가지 경우 즉, 수평형, 45° 방향, 수직상방형 누출에 관하여 고찰한 결과 누출 각도가 수평형으로 기울어질수록 누출거리가 길어지고, Jet Flame 에 의한 복사열 영향범위가 넓어짐을 알 수 있다.

### 2. LPG 충전소의 누출

같은 hole에서의 누출의 경우 연소하한계에 도달하는 거리는 CNG보다 짧으나 Jet Flame에 의한 복사열 영향과 Pool Fire에 의한 복사열영향은 인근 주변상가 뿐 아니라 그 외의 지역에도 영향을 미쳤다.

## 참고문헌

1. "패키지형 CNG 충전시스템 개발에 관한 중간보고" 한국가스공사 연구개발원, 효성중공업(주) 기술연구소, 1997. 7.
2. "NGV 연구중간결과 및 공청회 발표자료", 한국가스공사, 1997. 7.

3. " 가스안전 " 한국가스안전공사, 1996.
4. Hanna, S. R. and Drivas, P. J. : "Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models"  
CCPS/AIChE, 345E. 47th St. New York, NY 10017, 177(1987)
5. DNV Technica, "PHAST 5.00 Manual", 1995.
6. 74TH EDITION " Handbook of Chemistry and Physics " 1993, pp 6.20-6.27