

프로판, 부탄, LNG 연소특성에 관한 연구

최용찬, 안정진, 김승중, 하동명, 김태환*, 오해진**

세명대학교 안전공학과, *용인대학교, **동국대학교 환경토목공학과

A Study on Combustion Properties for Propane, Butane and LNG

Y.C. Choi, J.J. Ahn, S.J. Kim, D.M. Ha, T.H. Kim* and H.J. Oh**

Dept. of Safety Engineering, Semyung Univ., Jecheon 390-711, Korea

**Dept. of Security, Yongin Univ., Yongin 449-714, Korea*

***Dept. of Civil & Environmental Eng., Dongguk Univ., Seoul 100-715, Korea*

1. 서론

최근 가스 소비증가로 인해 가스 산업은 다른 산업 분야보다 발전 속도가 빠르며, 또한 이 분야에 대한 연구 및 기술 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 가스 산업의 기술 인력 수요도 급증하고 있다. 그러나 우리 나라는 기술개발에 따른 기초적인 연구는 최근 여러 문헌을 고찰해 보았을 때 외국의 연구에 비하여 많이 부족한 실정이다.

가스를 취급하는 공정에서 가연성가스의 화재 및 폭발 위험성 파악은 공정의 안전 확보에 가장 중요한 문제이다. 화재 및 폭발 위험성 파악은 가연성가스를 취급하는 공정에서 취급, 처리, 수송에 있어 부주의로 인해 누출되어 주위에 공기와 혼합하게 되면 화재 및 폭발이 발생할 수 있는 잠재적 위험성을 평가하는 데 있어 무엇보다 중요하다.

최근 우리 나라뿐만 아니라 전 세계적으로 LPG와 LNG가 자동차 연료로 사용됨에 따라 이들 물질에 대한 위험성 평가에 많은 관심을 갖고 있다. 최근 환경 정책으로 환경문제를 고려한 CNG버스 운행 추진을 시도하여 CNG버스가 운행에 들어갔다. 그 동안 우리나라는 LPG를 연료로 소형 및 중형 자동차에 사용하였으나, 일부 기업에서 LPG 버스를 개발하여 버스 운행을 시도하고 있다.

CNG 및 LPG를 사용한 운송 수단으로 급증 할 것으로 예측됨에 따라 이들 취급하는 연료인 CNG와 LPG 연소 특성의 고찰이 필요하다.

그 동안 여러 자료^{1,2,3,4)}를 검토한 결과 LNG와 가솔린에 대한 연소 특성 비교 연구는 많이 있었으나, 또한 LPG와 CNG(LNG)의 위험성 평가 연구는 많지 않은 편이다.

본 연구에서는 기존의 연구들을 근거로 LPG와 LPG를 구성하는 프로판, 부탄 및 CNG(LNG)의 폭발 안전 특성치를 고찰하여 이들 물질의 취급, 처리, 수송, 저장에 있어서 안전성을 확보하고자 하는 데 목적이 있다.

2. 화재 및 폭발 특성치 고찰

그 동안 청정연료로서 LPG와 CNG 사용이 급증하고 있는데도 불구하고 이들 물질에 대한 위험성 평가의 정량적 연구가 충분히 이루어지지 않고 있었다. 따라서 LPG와 LNG의 위험성을 고찰하기 위해서는 이들 물질과 이들 물질을 주로 구성하고 있는 순수물질 뿐만 아니라 현재 연료로 널리 사용되고 있는 가솔린에 대해 물리적, 화학적 특성뿐만 아니라 중요한 화재 및 폭발 특성치 고찰이 필요하다.

각 물질의 특성을 일부 요약하여 Table 1에 나타내었다^{5,6,7}.

Table 1. Comparative of individual combustion characteristics

Properties	Methane	Propane	Gasoline	Natural gas
Autoignition point (F)	1,000 - 1,350	874	365	
Autoignition point (C)	538 - 732	468 - 494	185	
Flammability limits vol percent	5 - 15	2.1 - 9.5	1.4 - 7.6	
Stoichiometric A/F (Kg/Kg)	17.3	15.3	14.7	
Stoichiometric A/F (m3/m3)	9.7	24.6		
Research octane number	130	112 - 125	91 - 95	
Calorific value	35.9	93.2		31.7
Air required (m3/m3)	9.67	24.65		8.53
Energy content (Mj/m3)	3.36	3.63		3.32
Energy density ratio to gasoline	0.26	0.74	1.0	
Tank volume for 20 GGE (gal)	76.9	27.0	20	

각 물질의 화재 및 폭발 특성치로는 폭발한계, 인화점, 자연발화점, 최소발화에너지, 연소속도, 연소열, 폭발에너지, 최대폭발에너지, 압력증가속도, 최소산소농도 등 여러 인자를 들 수 있으며, 이들 인자들을 종합적으로 평가하여 각 물질의 위험성을 평가하는 것이 바람직하다.

일반적으로 가연성 물질은 낮은 자연발화점, 작은 발화에너지, 낮은 인화점, 큰 연소열, 높은 연소속도, 큰 폭발에너지, 큰 폭발압력, 높은 폭발압력 상승속도의 특성을 가질 때 위험성이 크다.

CNG(주성분 메탄)와 LPG(주성분 프로판 또는 부탄)의 끓는점과 자연발화점의 비교를 Table 2에 나타내었다. CNG의 자연발화점은 휘발유나 경우보다 상당히 높으나, LPG와는 차이를 보이지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 CNG의 발화점이 100℃ 정도 높은 이유로 위험성이 작다는 것은 위험성 평가로 바람직하지 않다고 본다. CNG와 LPG의 자연발화점에 대해 발화원을 전면 가열이 아니고, 고온가스(Hot gas) 혹은 고온표면(Hot surface)로 한 경우 약 1000℃ 이상으로 비슷한 결과를 나타내고 있다^{8,9}.

Table 2. The autoignition temperature of several reported data for methane, propane and butane

Compound	Tb[°C]	AIT[°C]								
	CRC	NFPA	Sigma	Hilado	SFPE	Scott	Kong	Smyth	Zabetakis	Wolfhazd
CH ₄	-162	537	536.7	537	540	632	640	1040	1040	1190
C ₃ H ₈	-42	450	467.8	493	450	493	500	960	-	1010
C ₄ H ₁₀	0	287	345	327	288	408	-	938	910	1025

- Kong : Bombe
- Smyth : Hot surface
- Zabetakis & Wolfhazd : Hot gas

CNG와 LPG의 폭발 압력과 압력증가속도의 비교와 최대연소속도와 최소발화에너지를 비교를 Table 3에 나타내었다.

CNG와 LPG의 폭발 압력과 압력증가속도를 비교해 보면 최대폭발압력은 메탄과 프로판은 각각 비슷한 결과를 보이고 있으며, 압력증가속도는 장치별로 약간의 차이는 있으나, 프로판이 메탄 보다 약 1.5배에서 2배정도 빠르게 나타나고 있다¹⁰⁾.

최대연소속도는 각각 비슷한 값을 보이고 있으며, 또한 최소발화에너지 경우도 메탄과 프로판, 부탄 각 각 위험성은 비슷하다.

Table 3. Comparison of hazard properties for methane, propane and butane

	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Maximum Pressure [bar]	7.9(Calc.)	8.6	8.6
	7.3±0.1(20L)	-	-
	7.56±0.1(120L)	8.2±0.2	-
	6.6±0.1(25m ³)	7.8±.5	-
Maximum Rate of Pressure Rise(KG) [bar · m/s]	66±2(20L)	96	92
	92±3(120L)	150±20	-
	110(25m ³)	400±100	-
Maximum burning velocity in NTP air(cm/s)	36.4	45	40.5
Minimum energy for ignition in air (mJ)	0.29	0.25	0.25

CNG, LNG, LPG, 메탄올, 에탄올 등에 대해 높은 압력과 낮은 온도의 위험 순위 비교하여 Table 4에 나타내었는데, 이들 조건에서는 각 물질을 비교하면 CNG(LNG)가 LPG보다 위험할 수도 있다.

Table 4. Comparison high pressure hazard ranking and low temperature hazard ranking for alternative fuels

High pressure hazard ranking	Low temperature hazard ranking
CNG	LNG
Propane	CNG
LNG	Propane
Methanol	Methanol
Ethanol	Ethanol
Biodiesel	Biodiesel

3. 충전소 저장설비 위험성고찰

도시가스(CNG 혹은 LNG)의 배관 내압의 (200~250)배로 압축하여 차량에 충전해야 한다. 여기서 고압의 압축기를 사용하여 위험 요소가 발생 그리고 저장 및 충전을 위하여 고가의 설비투자가 필요하며 충전탱크의 대형화로 인하여 작업자의 시야와 취급이 어려워 위험요소 가중된다. LPG와 CNG(LNG)차량 충전소의 비교를 Table 5에 나타내었다^{11,12)}.

Table 5. Comparison between LPG and CNG filling station

		LPG 차량 충전소	CNG 차량 충전소
제 반 설 비	저장탱크	용량 : 10~20 ton 저장위치 : 지하저장 저장압력 : 2~3 bar	용량 : 2~5 m ³ 저장위치 : 지상저장 저장압력 : 220~250 bar
	긴급차단 밸브	LPG 누출사고시 저장탱크로부터 가스의 대량 누출을 차단하는 밸브	CNG 누출사고시 저장탱크로부터 가스의 대량 누출을 차단하는 밸브
	가스이송/ 압축장치	액중펌프	고압 Compressor
	충전기 (Dispenser)	2~4 대	2~4 대
	배관	고압탄소강관	스테인레스강관

4. 결론

최근 환경오염 문제로 인해 대체 연료사용이 급증하고 있는 가운데 LPG와 CNG(LNG)가 운송 수단의 연료로 증가하고 있는 추세에 있다. 따라서 이들 물질의 취급, 처리, 수송, 저장에 있어 안전성 검토의 필요성이 대두되고 있다. 이들 물질의 위험성평가에 대해 기존의 자료와 본인의 연구 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) CNG가 공기보다 가벼우므로 안전성은 있으나, CNG가 LPG보다 누출 속도가 빠르므로 경우에 따라 더 위험 요소를 가질 수도 있다.
- 2) CNG와 LPG가 기체상인 경우 폭발최고압력은 서로 비슷하고, CNG의 자연발화점은 휘발유나 경우보다 상당히 높으나, LPG와는 차이를 보이지 않고 있다. CNG와 LPG의 자연발화점에 대해 발화원을 전면 가열이 아니고, 고온표면 혹은 고온가스인 경우 약 1000℃로 비슷한 결과로서 인화성이 낮다.
- 3) 외국에서는 CNG, LPG, 에탄올, 전기, 수소 등의 모든 형태의 자동차에 대해 제한 없이 개발이 수용되고 있다.
- 4) CNG 및 LPG에 대한 위험성은 보다 많은 안전특성 고찰 후 평가하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 이수경, “CNG충전소와 LPG충전소의 안전성 고찰” 가스안전, 7월호, 17(2001).
2. 이수경, “천연가스 충전소와 LPG충전소의 안전성 비교”, 보고서
3. 윤재건, “LPG충전소와 천연가스 충전소의 사고사례”, 보고서
4. 안문수, “천연가스버스 보급 추진방향”, 보고서
5. Lide, D.R., “CRC Handbook of Chemistry and Physics”, 75th ed., CRC Press(1994).
6. Lenga, R.E. and Votoupal, K.L., “The Sigma Aldrich Library of Regulatory and Safety Data, Volume I”, Sigma Chemical Company and Aldrich Chemical Company Inc.(1993).
7. Lewis, B. and von Elbe, G., “Combustion, Flame and Explosion of Gases”, 2nd ed., Academic Press(1961).
9. 하동명, 최용찬, “메탄가스의 폭발한계 및 자연발화온도예측”, 한국화재소방학회, 추계학술대회논문집, 26(2001).
9. 하동명, 이수경, “프로판가스의 자연발화온도 및 폭발한계 예측에 관한 연구”, 한국산업안전·위생학회공동학술대회, 61(2001).
10. Cashdollar, K.L., J. of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 13, No. 3, 183(2000).
11. 고재욱, “LPG/CNG 안전성 비교 연구”, 보고서, 한국가스학회(2001).
12. Ha, D.M. et al., “A Study on the Safety Distance of CNG Station Establishment with Gasoline Station by Using Risk Assessment”, Proceedings of the 1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, pp.180-183, Kyongju, Korea(1999).