

## HCNG 가스공급을 위한 고압혼합 충전방안

김상민 · 이증성<sup>†</sup> · 한정옥 · 이영철 · 김용철 · 채정민 · 홍성호

한국가스공사 연구개발원

(2013년 11월 21일 접수, 2014년 2월 17일 수정, 2014년 2월 17일 채택)

## High Pressure Refueling Method for HCNG Gas Supply

Sang-Min Kim · <sup>†</sup>Joong-Seong Lee · Jeong-Ok Han · Yeong-Cheol Lee

Yong-Cheol Kim · Jeong-Min Chae · Seong-Ho Hong

KOGAS R&D Division New Energy Technology Center, Ansan 426-790, Korea

(Received November 21, 2013; Revised February 17, 2014; Accepted February 17, 2014)

### 요약

수소와 압축천연가스의 혼합연료 HCNG의 가스공급 및 충전을 위해 혼합장치 제작 및 충전실험을 수행하였다. 비율제어방식 개념으로 수소와 압축천연가스는 30 : 70의 비율로 혼합된다. HCNG 충전방법으로는 탱크의 압력을 이용하여 충전할 수 있는 FULL충전, 일정량을 충전할 수 있는 정량충전 방식이 있다. Full충전과 정량충전 결과 모두 혼합비율 30 : 70에 오차 제한범위인 수소 $30\pm 2\%$  조건을 만족시켰다. 탱크에 충전된 HCNG의 조성을 Gas Chromatography로 분석한 결과도 오차제한범위를 만족시켜 충전탱크에서도 30 : 70의 비율을 확인하였다.

**Abstract** - Mixture of hydrogen and natural gas HCNG mixing equipment production and refueling experiment were performed for supply and product. Hydrogen and CNG in 30 : 70 ratio is mixing of HCNG was performed using ratio control. HCNG refueling method was calculated after reading the pressure of tank for full refuel, amount refuel. Both full refuel and amount refuel results mixed ratio 30 : 70 in the error limits of  $H_2\pm 2\%$  met the criterion. HCNG composition analysis result in refueling tank using gas chromatography is satisfying the error limits in refuel tank 30 : 70 ratio were confirmed.

**Key words** : HCNG mixing equipment, refueling, dispenser, mixing ratio, gas chromatography

### 1. 서 론

수송용 연료의 대부분을 수입에 의존하는 국내의 경우 석유계인 수송용 에너지원의 다변화 차원에서 천연가스를 활용하여 석유계 에너지 위기 시 고유가 충격을 흡수할 필요가 있다. 천연가스는 옥탄가가 높아 소형부터 대형 엔진까지 광범위하게 사용될 수 있고 삼원촉매를 사용하는 이론공연비 연소는 물론이고 희박연소만으로도 현 자동차 배기가스 규제 EURO-V의 배기규제를 만족시킬 수 있을 만큼 자동차

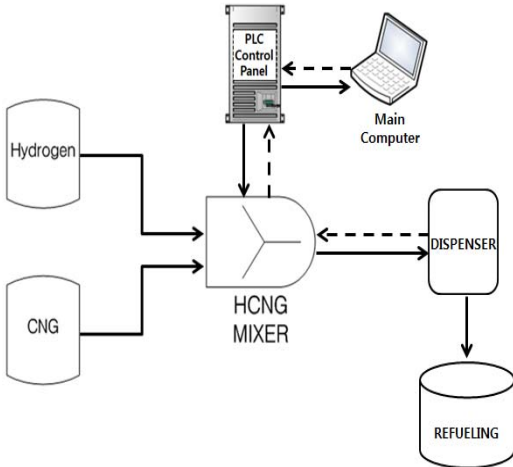
연료로서 매우 우수한 연료이다. 그러나 천연가스 엔진의 배기가스 온도가 디젤엔진에 비해 높아 대형 엔진에서는 터빈 등 배기계의 열 부하를 줄이기 위해 희박연소[1]를 많이 사용하는데 국내 천연가스 시내버스가 이에 해당된다. 차세대 자동차 배기가스 규제인 EURO-VI부터는 Table. 1에 나타난 것처럼 NO<sub>x</sub>의 배출 허용기준(EURO-V의 20%)이 매우 엄격해져서 천연가스엔진의 경우 더 이상 희박연소만으로는 NO<sub>x</sub>에 대한 규제를 만족시킬 수 없다. 디젤엔진의 경우는 별도의 후처리 장치인 고가의 De-NO<sub>x</sub> 촉매를 장착해야한다. 이로써 EURO-VI규제 적용 시기부터 천연가스엔진은 전, 후처리 장치 개발을 통해서 대응해야 하며 인프라와 연비가 불리한 천연가

<sup>†</sup>Corresponding author: jslee@kogas.or.kr

Copyright © 2014 by The Korean Institute of Gas

**Table 1.** Exhaust gas emission regulation comparison

	DATE	NOx(g/kWh)	PM(g/kWh)
EURO-V	2008'~2013'	2.0	0.02
EURO-VI	2014'~	0.4	0.01



**Fig. 1.** HCNG mixing system conceptual diagram.

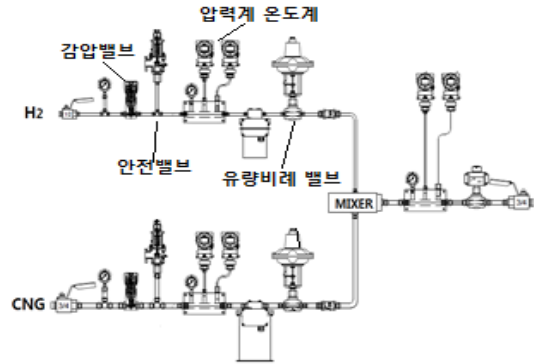
스엔진으로서 EUO-VI규제를 만족하는 저공해 기술개발이 필요한 실정으로 천연가스에 수소를 혼합하여 연료 특성을 높이고 배출가스 저감에 유리한 HCNG가 도입될 필요가 있다.

본 연구에서는, 앞으로 시행될 EUO-VI의 조건 충족을 위해 수소와 천연가스를 고압으로 압축하여 일정한 비율(30:70)로 혼합한 연료인 HCNG[2]를 제조하는 시스템에서 공급연료인 수소와 천연가스의 혼합유량 제어방법과 충전 탱크의 압력을 이용하여 충전량을 계산하여 충전하는 방법을 연구하였다. 혼합시스템은 아래 Fig. 1과 같이 수소와 천연가스의 공급부와 혼합장치 및 충전장치인 디스펜서와 이들을 제어하는 PLC 제어장치 및 메인 컴퓨터로 구성되어 있다.

## II. 실험장치 및 방법

### 2.1 혼합 및 충전장치

Fig. 2는 Fig. 3의 HCNG혼합장치의 구성을 평면으로 나타낸 개략도이다. 상부는 H<sub>2</sub>, 하부는 CNG의



**Fig. 2.** HCNG mixing device schematic diagram.



**Fig. 3.** HCNG mixing equipment.

공급부이다. 각 공급부의 가스는 이물질 제거를 위한 필터를 거쳐 압력 조정기로 일정한 압력이 유지된다. H<sub>2</sub>배관(내경15 mm)과 CNG배관(내경 20 mm)에는 각각 압력 및 온도를 검침하기 위한 압력계와 온도계가 설치되어있다. 또한, 가스의 유량을 점검하여 투입되는 가스의 순시 유량과 적산 유량으로 비율점검을 위한 질량 유량계와 충전 속도 및 비율 제어 조절을 위한 컨트롤 밸브가 설치되어 있다. 각 상, 하부에서 공급되는 H<sub>2</sub>와 CNG는 혼합 주입기를 통해 혼합되어 ON/OFF 밸브를 통해 다음의 Fig. 4 충전장치인 디스펜서로 공급된다.

Fig. 5는 혼합장치와 충전장치에 대해 실시간으로 H<sub>2</sub>와 CNG의 압력, 유량, 충전량 및 컨트롤 밸브의 개도를 정보를 확인하는 동시에 제어가 가능한 Programmable Logic Controller(PLC)장치의 화면을 나타낸다. 충전 시 왼쪽 하단의 충전방식으로 사용자가



Fig. 4. Refueling equipment for HCNG.



Fig. 5. HCNG HMI display.

지정하는 만큼의 정량을 충전할 수 있는 정량충전방식, 충전탱크의 잔량을 제외한 빈 공간을 한 번에 모두 충전시킬 수 있는 Full 충전방식 및 기기 장치의 충전기능 이상 여부를 확인할 수 있는 TEST 모드를 선택하여 운전을 할 수 있다.

## 2.2 비율제어

비율제어[3]는 2개의 관로 속의 유량 비율을 제어하여 HCNG혼합을 위한 H<sub>2</sub>와 CNG의 혼합비율을

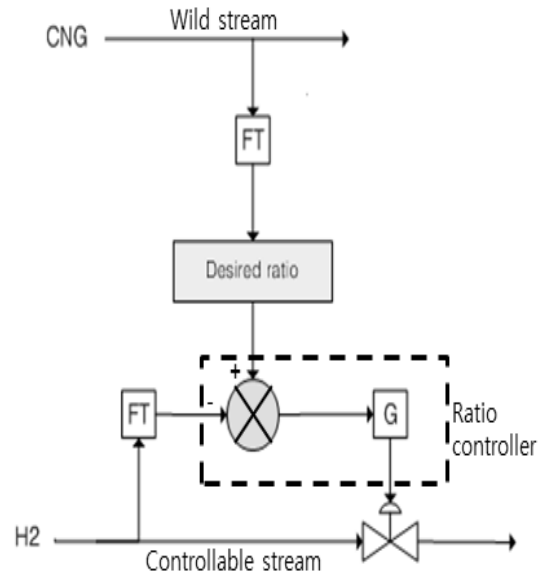


Fig. 6 Ratio control for H<sub>2</sub> and CNG.

목표 값과 다른 변화 값과 비율을 일정하게 유지하게 해주는 형태의 피드포워드 제어방식이다. 이때 H<sub>2</sub>와 CNG의 두 유속이 모두 측정되지만 단지 한 가지만 제어 될 수 있다. 제어하지 않는 흐름을 일반적으로 원시흐름(wild stream)으로 간주하는데 본 연구에서는 CNG가 이에 해당된다. Fig. 6은 H<sub>2</sub>와 CNG 두 흐름에 대한 두 가지의 비율제어 형태를 나타낸다.

## 2.3. FULL충전 계산방식

충전탱크의 압력 값을 읽어 제어할 수 있도록 알고리즘을 개발한 자동 FULL충전 방식으로 Fig. 7에 나타났다. PLC 컨트롤 장치에서 목표 충전 스펙을 설정한 다음 디스펜서 핸들 조작 후 모두 열린 CNG 컨트롤 밸브로 공급되는 CNG 유량에 따라 H<sub>2</sub> 공급을 위한 H<sub>2</sub> 컨트롤 밸브의 비율제어가 이루어진다. 충전탱크의 압력이 정밀제어 설정 압력 이상이 되면 식(1)의 비율로 CNG를 제어하여 HCNG로 충전되는 탱크압력 증가에 따라 컨트롤 밸브가 닫히면서 종료제어 시작점 압력 이상의 충전탱크압력과 H<sub>2</sub>와 CNG의 30 : 70 비율로 CNG 및 H<sub>2</sub>의 컨트롤 밸브가 완전히 닫히고 충전이 종료된다.

$$1 - \frac{(P_C - P_K)}{(P_X - P_K)} \quad (1)$$

## 2.4. 시험방법

충전 탱크에 디스펜서 주입기를 장착한 후에 고압가스 공급을 위해 Tube Trailer에 고압으로 저장되어 있는 H<sub>2</sub>와 CNG 밸브를 열어 배관에 공급한다. PLC컨트롤 장치에서 Full 충전모드, 정량충전(10 Nm<sup>3</sup>)중 한 가지 충전모드를 설정한 다음 충전장치의 핸들을 작동 시킨다. 디스펜서에서 충전탱크의 압력을 읽기위한 CNG 1차 shot이 순간적으로 일어나고 2초정도 정지 후 본격적인 비율제어로 인한

HCNG연료 충전이 시작된다. CNG공급에 따라 H<sub>2</sub>가 조절되면서 H<sub>2</sub> : CNG = 30:70의 비율을 유지되면서 충전이 된다. HCNG 혼합 및 충전장치의 모든 신호는 PLC에서 수집하여 HMI 디스플레이 화면에서 모니터링이 이루어진다. 충전은 정밀제어와 종료 제어 단계가 순차적으로 진행된 후 종료된다. 혼합의 오차 허용범위는 FULL 충전 계산방식을 알고리즘 (Fig. 7)에 표기한 것과 같이 ±2% 이내로 제한한다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. HCNG 충전 시험결과

#### 3.1.1. Full 충전 결과

Fig. 8은 어느 정도의 HCNG잔량이 남아있는 충전탱크에 HCNG의 Full충전 시 사용된 H<sub>2</sub>와 CNG를 포함한 HCNG의 충전시간에 따라 적산된 충전유량을 나타낸 그래프이다. 충전결과 HCNG 48.95 Nm<sup>3</sup>가 충전되었고 이 중 H<sub>2</sub> 14.41 Nm<sup>3</sup>와 CNG 34.54 Nm<sup>3</sup>가 사용되었다. Table 2에는 Full충전 결과

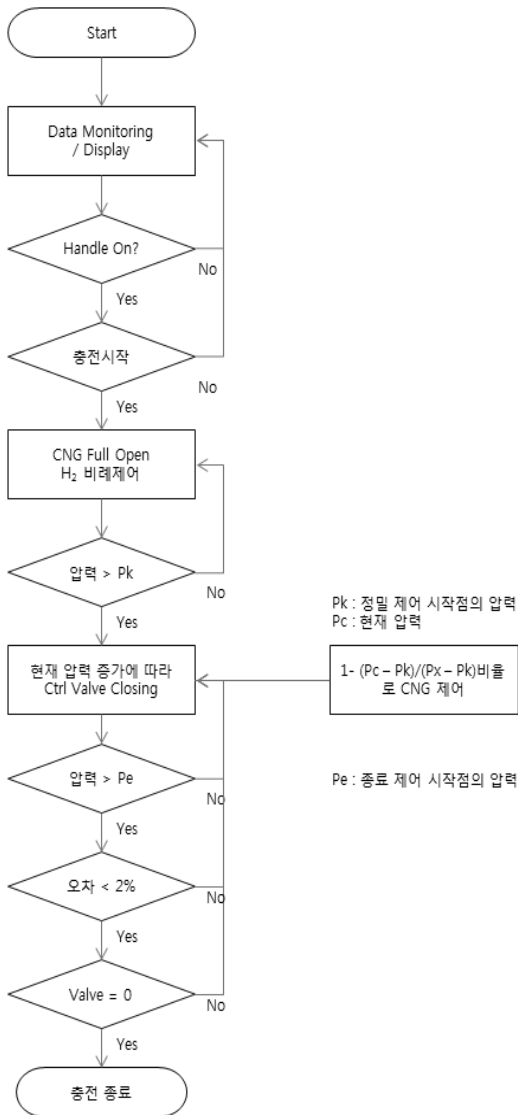


Fig. 7. Refueling algorithm by pressure.

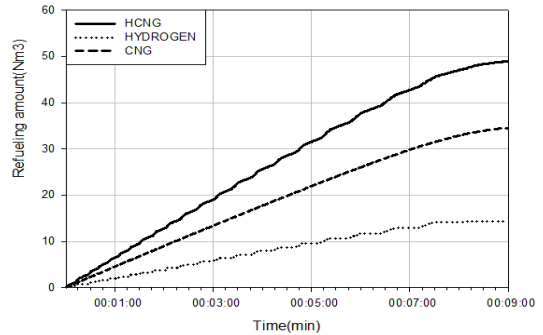


Fig. 8. H<sub>2</sub>, CNG, HCNG integrating flowrate of full refueling.

Table 2. Theoretical and experimental value comparison of full refueling

	HCNG	H <sub>2</sub>	CNG
이론비(%)	100	30	70
측정비(%)	100	29.4	70.6
이론유량(Nm <sup>3</sup> )	48.94	14.69	34.27
측정유량(Nm <sup>3</sup> )	48.94	14.41	34.53
오차(Nm <sup>3</sup> )	-	-0.28	0.26
오차율(%)	-	-0.57	0.53

의 이론값과 실험값의 비교 및 오차율을 정리하였다.

**3.1.2. 정량 충전 결과**

Fig.9은 10 Nm<sup>3</sup>의 HCNG 충전 시 사용된 H<sub>2</sub>와 CNG를 포함한 HCNG의 충전시간에 따라 적산된 충전유량을 나타낸 그래프이다. 충전결과 HCNG 10.16 Nm<sup>3</sup>가 충전되었고 이 중 H<sub>2</sub> 3.03 Nm<sup>3</sup>와 CNG 7.13 Nm<sup>3</sup>가 사용되었다. Table 3에는 정량충전결과와의 이론값과 실험값의 비교 및 오차율을 정리하였다.

**3.2. Gas Chromatography 분석 결과 및 비교**

Full 충전 방법과 정량충전 방법으로 충전한 HCNG 연료가 충전탱크 내부에서 HCNG를 구성하는 H<sub>2</sub>와 CNG가 30 : 70의 비율로 균일한 상태로 혼합되어있는지를 확인하기 위하여 충전탱크의 충전된 HCNG를 별도의 용기에 sample gas를 채취하여 Gas Chromatography(G.C)를 이용하여 성분을 확인하였다. Fig. 10의 영린기기 6500GC 모델 분석 장

치를 이용하여 성분 및 조성을 확인한 결과 Full 충전 방식의 sample gas는 H<sub>2</sub> 30.68%와 CNG 69.32%, 정량충전(10 Nm<sup>3</sup>) 방식의 sample gas는 H<sub>2</sub> 30.76%, CNG 69.24%의 조성결과가 확인되었다.

Table 4에 각 충전 방식에 따른 성분을 나타내었고 Table 5에 앞에서 살펴본 충전 실험 실시간 HCNG 조성과 G.C 분석 결과를 정리하였다.



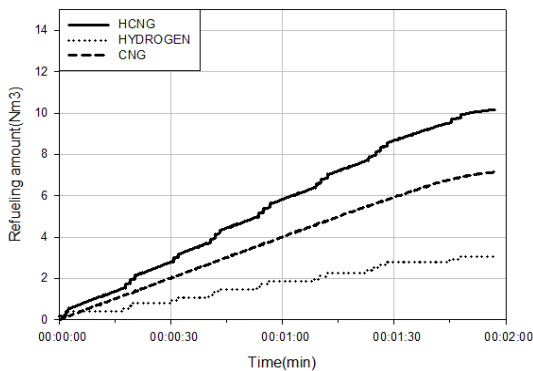
**Fig. 10.** Gas Chromatography equipment.

**Table 3.** Theoretical and experimental value comparison of amount refueling

	HCNG	H <sub>2</sub>	CNG
이론비(%)	100	30	70
측정비(%)	100	29.9	70.1
이론유량(Nm <sup>3</sup> )	10	3	7
측정유량(Nm <sup>3</sup> )	10.16	3.03	7.13
오차(Nm <sup>3</sup> )	0.16	0.03	0.13
오차율(%)	1.8	0.29	1.28

**Table 4.** Gas Chromatography analysis result

Unit	%	FULL충전	정량충전
Hydrogen	H <sub>2</sub>	30.68	30.763
	CNG		
CNG	CH <sub>4</sub>	60.9	61.069
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.82	3.858
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.02	1.048
	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.2	0.454
	N <sub>2</sub>	0.03	0.058
	ETC	3.35	2.75
Total		100	100



**Fig. 9.** H<sub>2</sub>, CNG, HCNG integrating flowrate of amount refueling.

**Table 5.** Experiment VS G.C data comparison

		Experiment	G.C
Full충전	CNG	70.6	69.32
	H <sub>2</sub>	29.4	30.68
정량충전	CNG	70.1	69.237
	H <sub>2</sub>	29.9	30.763

#### IV. 결 론

H<sub>2</sub>와 CNG를 30 : 70의 일정비율로 혼합된 HCNG 공급하기 위해서 HCNG 혼합장치를 제작하였고 충전장치인 디스펜서로 Full충전과 정량충전을 수행하였다. 일정비율의 혼합을 위해 비율제어방식으로 유량제어를 하였다.

1. 실시간으로 충전에 사용된 H<sub>2</sub>와 CNG의 유량을 확인하여 HCNG 유량 및 조성을 확인하였고, 충전된 HCNG연료가 충전탱크 내부에서 H<sub>2</sub> : CNG의 비율이 30 : 70의 일정비율이 유지되어 있는지 확인하기 위해서 충전된 HCNG의 sample gas를 별도의 용기에 채취하여 Gas Chromatography장치를 이용하여 조성을 확인하였다.

2. 충전탱크를 대상으로 HCNG Full충전과 정량충전을 실시한 결과 모두 H<sub>2</sub>와 CNG 가 30 : 70의 비율로 오차 제한 범위  $\pm 2\%$  미만으로 충전이 되었다. Full충전 방식과 정량충전 방식으로 각각 충전된 HCNG를 채취한 sample gas의 G.C 분석 결과 모두 충전 오차가 1% 미만으로 H<sub>2</sub>와 CNG의 비율이 30 : 70으로 유지되어있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 친환경자동차기술개발 사업단의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

#### 사용기호

P<sub>K</sub> : precision control start pressure(bar)  
P<sub>C</sub> : present pressure(bar)  
P<sub>X</sub> : objective refueling pressure(bar)

#### 참고문헌

- [1] Sin,Yong-Sik, *Car electronics engineering*, KUH MINSAs, (2005)
- [2] A. Del Toro, M. Frailey, F. Lynch, S. Munshi, S. Wayne, *Development and Demonstration of Hydrogen and Compressed Natural Gas(H/CNG) Blend Transit Buses*, NREL, (2005)
- [3] DALE E.SEBORG *Process dynamics and control* WILEY, (2010)