

천연가스 조성 변화에 따른 CNG 엔진 성능 및 배기가스 특성

하영철* · 이성민* · 김봉규* · 이창준**

* 한국가스공사 연구개발원, ** (주) 엔진텍 친환경엔진연구소

Performance and Emission Characteristics of a CNG Engine Under Different Natural Gas Compositions

Young Cheol Ha^{*†}, Seong Min Lee^{*}, Bong Gyu Kim^{*} and Chang Jun Lee^{**}

^{*} Gas Quality and Flow Measurement Lab, R&D Division, Korea Gas Corporation,

^{**} Eco-Friendly Engine Research Institute, EngineTech Co., LTD

(Received March 18, 2011 ; Revised April 25, 2011 ; Accepted April 26, 2011)

Key Words: CNG(압축천연가스), CNG Engine(CNG 엔진), Emission(배기가스), Thermal Efficiency(열효율), Power(출력), Ignition Timing(점화시기)

초록: 현재 상용되고 있는 CNG(Compressed Natural Gas) 엔진에서 천연가스 조성만 변경했을 때 엔진 성능 변화를 실험적으로 규명하였다. 실험에 사용된 엔진은 6606 cc, 희박 연소, 공기 과급기가 장착된 타입이며, 점화 시기는 발열량 10454 kcal/Nm³의 가스에 최적화하여 고정시켰다. 실험결과 LNG 발열량이 10454 kcal/Nm³에서 9811 kcal/Nm³과 9523 kcal/Nm³으로 낮아질 때 출력의 경우 평균 3.2, 3.4 %(공연비 미 제어시 3.4, 4.7 %) 각각 낮아지고 열효율은 평균 1.1, 1.5 % 포인트(공연비 미 제어시 1.5, 2.1 % 포인트) 낮아지는 것으로 관찰되었다. 배가스의 경우, 발열량 저하에 따라 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물의 배출 농도는 모두 감소하는 것으로 나타났으나 THC(Total Hydrocarbon)의 경우에는 일정한 경향이 보이지 않았고 변화량은 크지 않았다.

Abstract: The performance and emission characteristics of a CNG (compressed natural gas) engine were experimentally investigated under different natural gas compositions. The engine specifications were as follows: 6606 cc, turbo, lean-burn-type; its ignition timing was fixed for the fuel gas with a HHV (higher heating value) of 10454 kcal/Nm³. The experimental results showed that when the HHV of the fuel gas was changed from 10454 kcal/Nm³ to 9811 kcal/Nm³ and 9523 kcal/Nm³, the average power reductions were 3.2 % and 3.4 % (1.5 % and 2.1 %, respectively, with A/F control switched off), respectively, and the average thermal-efficiency reductions were 1.1 % and 1.5 % (1.5 % and 2.1%, respectively, with A/F control switched off), respectively. The emissions of CO₂, CO, and NO_x decreased as the HHV of the fuel gas was lowered. On the other hand, the emissions of THC (total hydrocarbon) were not consistent, and the extent of change in their emissions was small.

1. 서론

2000년대 중반부터 우리나라로 도입되는 신규 계약 LNG(Liquefied Natural Gas)의 발열량이 크게 낮아지고 있으며 향후에는 37.8 MJ/Nm³(9500 kcal/Nm³)을 밀도는 shale LNG, CBM(Coal Bed Methane) LNG도 대량으로 도입될 예정에 있다.

이러한 중·장기적 천연가스 발열량 저하 문제 때문에 지난 3년간 정부 주도로 5개 연구기관이 참여하여 ‘중·장기 천연가스 열량 및 품질제도 연

구(06.9~09.6)⁽¹⁾가 수행되었으며 그 결과 천연가스 품질의 최소 안전 기준을 의미하는 국가품질 기준과 천연가스 고압 배관망 가스 품질기준(이하 공급 규정)이 도출되었다. 우리나라의 천연가스는 거의 대부분이 가스공사 고압 배관을 통하여 공급되므로 실질적인 천연가스 품질 기준은 공급규정이 되고 이에 따르면 고위 웨버지수 범위는 52.6~56.1 MJ/Nm³(12900~13400 kcal/Nm³)이고 고위발열량(이하 발열량) 범위는 41.0~45.2 MJ/Nm³ (9800~10800 kcal/Nm³)이다. 이는 중·단기적으로는 충분한 발열량·웨버지수 범위이며 새 공급규정의 시행 시기는 2012년 1월로 예정되어

[†] Corresponding Author. fractals@kogas.or.kr

있다.

새 공급규정을 도출하기 위해 가정/업소/발전/차량/산업용 가스기에 대한 광범위한 연구가 '05~'09년 초까지 수행되었는데 당시 CNG 엔진 실험은, 막대한 실험가스 제조비용 문제로 대형 린번 엔진 대신 이론 당량비에서 연소를 하는 2500 cc급 소형 엔진으로 실험하였다.⁽¹⁻³⁾ 실험결과는 발열량 41 MJ/Nm³(9800 kcal/Nm³, 새공급규정안의 최저 발열량)까지 출력이 3 % 미만으로 저하되는 것 외에 열효율, 배출가스 문제는 없었고 열효율은 저열량으로 갈수록 약간 증가하는 것으로 나타났다(가스별 최적 점화시기 조정). 그러나 2009년 11월 새공급규정안에 대한 공청회시 이론 당량비 연소를 하는 CNG(Compressed Natural Gas) 엔진으로는, 천연가스 버스와 열병합 발전에 사용되는 대형 린번 엔진을 대표할 수 없다는 반론이 제기됨에 따라 보완실험이 필요하게 되었다.

열병합 발전과 천연가스 버스에 사용되는 CNG 엔진은, 일부 소형 엔진과 달리 점화 시기 최적화 기능이 없다. 또한 열병합 엔진은, 국산 엔진을 제외하고는 모두 린번 타입이고 공기 과급장치(Turbo Charger)가 장착되어 있으며 램다(당량비의 역수) 제어를 하지 않는다. 버스와 열병합 엔진과 유사하나 램다 제어하는 것이 열병합과 다르다.

따라서 본 연구에서는 이러한 CNG 엔진의 특성을 고려하여 대형 급의 6606 cc, 터보, 린번 엔진을 선정하였고 기준 발열량(10454 kcal/Nm³)에서 엔진의 최적 점화시기를 맞춘 후 저열량 가스에 대해서는 점화시기 조정을 하지 않았으며 램다 제어 모드는 ON/OFF로 하여 열병합과 대형 차량의 엔진 성능을 함께 실험하였다. 측정 항목은 엔진 성능 시험에서 일반적으로 요구되는 토크, 출력, 배가스 및 열효율 등이다.

2. 가스조성과 관련된 엔진 성능 인자

동일한 CNG 엔진(오토사이클)에서 천연가스 조성 변화와 관련된 인자만으로 엔진 출력을 나타내면 식 (1)과 같다.

$$W = C \cdot f(\theta) \cdot Q \left[1 - \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{\kappa - 1} \right] \quad (1)$$

식 (1)에서 f(θ)는 점화시기(크랭크 각) 영향을 나타내는 함수이고, Q는 열입력량, κ는 등엔트로피지

수(Isentropic exponent), ε는 압축비(일정)를 나타낸다. C는 가스 조성과 거의 무관한 나머지 항을 나타내는 상수로서 블로우다운 손실, 펌프 손실, 연소시간 손실, 공연비 등을 포함한다. 여기서 공연비가 일정하다고 가정한 이유는, 차량용 엔진의 경우 배가스 내 산소 농도를 기준으로 램다(공연비) 제어를 하고, 열병합 엔진은 주입되는 공기량이 부하별로 정해져 있고 세팅 출력을 내기 위해 발열량 변동에 따라 가스가량이 자동으로 가감되기 때문에 공연비가 유의미한 수준으로 변할 개연성이 낮기 때문이다.

점화시기를 제외한 등엔트로피지수와 열입력량 영향을 확인하기 위해 발열량이 서로 다른 Gas A, B, C 대하여 등엔트로피지수, 공기연료 혼합기의 웨버지수를 계산하여 Table 1에 정리하였다. 계산을 정확하게 하기 위해 연료 가스의 등엔트로피지수는 Ha⁽⁴⁾의 방법을 따랐으며 발열량, 비중 등은 ISO 6976⁽⁵⁾에 따라 계산하였다.

먼저 연료가스의 등엔트로피지수를 살펴보면 발열량이 낮아질수록 값이 커지는 것을 알 수 있고 이에 따라 공기연료 혼합기의 등엔트로피 지수도 미미하지만 커지는 것을 확인할 수 있다. 등엔트로피지수 변화가 엔진 출력에 미치는 영향을 확인하기 위해 등엔트로피지수 변화에 따른

Table 1 Isentropic exponent and Wobbe index of air/fuel gas mixture with gas

Component	Composition (mol %)			
	Gas A	Gas B	Gas C	
CH ₄	90.80	97.0	100.0	
C ₂ H ₆	5.85	2.0	-	
C ₃ H ₈	2.06	1.0	-	
iC ₄ H ₁₀	0.53	-	-	
nC ₄ H ₁₀	0.56	-	-	
N ₂	0.20	-	-	
HHV [†] , MJ/Nm ³ (kcal/Nm ³)	43.769 (10454)	41.075 (9811)	39.872 (9523)	
Specific gravity	0.6204	0.5743	0.5549	
Theoretical air to fuel ratio (vol)	10.45	9.81	9.52	
Isentropic exponent	fuel	1.2485	1.2670	1.2757
	lambda=1.5	1.3909	1.3915	1.3919
Wobbe index of air/fuel mixture lambda at 1.5	1.0	0.9983	0.9974	

[†] Higher heating value ; reference temperature for combustion/volume is 15/0 °C
[‡] Condition is 11 bar(abs), 100 °C

출력변화의 상대감도⁽⁶⁾를 계산해보면 등엔트로피 지수 1 % 증가시 엔진 출력이 3.9 % 증가(압축비 11 기준)하는 것을 알 수 있다. 이로부터 Gas A(기준가스) 대비 Gas B, C일 때의 엔진 출력 증가는 0.17, 0.28 % 임을 추정할 수 있다.

엔진으로 유입되는 열입력량은, 혼합기 발열량을 혼합기 비중의 제공근으로 나눈 값 즉, 혼합기의 웨버지수에 비례한다. 따라서 기준가스 대비 저열량가스 혼합기의 웨버지수 비만 알면 열입력량 변화를 알 수 있게 된다. Table 1에는 Gas A를 기준으로 Gas B, C 혼합기의 상대 웨버지수가 계산되어 있는데 이로부터 Gas B, C의 열입력량은 Gas A에 비해 0.17, 0.26 % 각각 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 식 (1)의 형태로부터 이 열입력량 감소율은 그대로 출력 저하율로 나타나는 것도 알 수 있다.



상기 두 가지 이론적 고찰로부터 발열량 저하에 따른 등엔트로피지수와 열입력량 변화가 출력에 미치는 영향은, 그 크기가 거의 동일하고 방향이 서로 반대이어서 거의 상쇄되는 것을 알 수 있다. 따라서 발열량 저하에 따라 엔진 출력의 변화가 유의미하게 나타난다면 이는 나머지 영향인자인 점화시기와 관련되어 있을 개연성이 매우 높다.

3. 실험

3.1 실험장치

본 연구에서는 6606 cc, 직렬 6기통 HMC D6DA 디젤엔진을 개조한 CNG 엔진을 사용하였다. CNG 엔진으로 개조하기 위해 각 실린더 헤드의 연료분사 노즐을 제거하고 점화플러그를 장착하였으며 노킹 방지와 연소 시간이 긴 CNG 엔진의 특성을 고려하여 압축비를 변경하였다. Table 2는 개조된 엔진의 제원을 나타낸다. Fig. 1은 실험에 사용된 CNG 전소 엔진시스템의 개략도로서 연료계, 점화계, 제어계로 구성되어 있다. 연료계에는 연료 공급 압력을 0.8 MPa(gage)로 일정하게 유지하기 위해 압력조절기를 장착하였고 흡기 압력에 따른 기계적 보상이 가능하도록 하였다. 또한 감압시 연료의 온도 저하를 보상하기 위해 열교환기와 가스용 자동 온도조절기(thermostat)를 장착하였다. 점화계에는 각 기통별 제어가 가능하도록 독립 점화코일 방식을 적용하였고 CNG 전용 점화플러그를 장착하였다. 제어

Table 2 Specification of CNG engine

Item	Diesel engine	CNG engine
Model	HMC D6DA	HMC D6DA
Type	6 cylinder, In-line, OHC	6 cylinder, In-line, OHC
Displacement	6606 cc	6606 cc
Firing order	1-4-2-6-3-5	1-4-2-6-3-5
Compression ratio	17.6 : 1	11 : 1
Aspiration	Air cooling T/C	Air cooling T/C
Shape of piston		

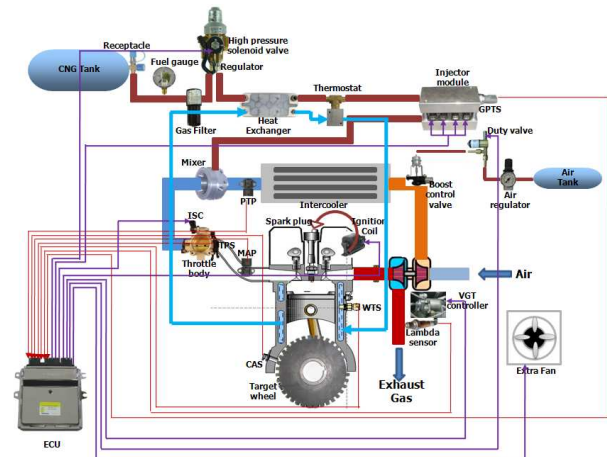


Fig. 1 Schematic of CNG engine system

계에는 엔진상태를 측정하기 위한 센서 모듈과 각 센서의 신호로부터 미리 정해진 로직대로 계산하는 ECU, 계산값에 의해 실제 엔진이 작동하도록 하는 액추에이터 모듈을 설치하였다.

3.2 실험방법

LNG 발열량 저하에 따른 엔진 토크, 출력 그리고 배가스 변화를 확인하기 위해 3종의 가스를 선정하였고 각 가스의 성분 농도는 Table 1에 나타낸 Gas A, B, C와 동일하다. Gas A는 실험 당시 공급된 CNG 조성을 나타내며 발열량 저하에 따른 엔진성능 실험의 기준이 되는 가스이다. Gas B는 새공급규정안의 최저발열량에 해당하는 가스 조성을 나타내고, Gas C는 발열량 저하에

Table 3 The physical properties of test gases

Properties	Composition (mol %)		
	Gas A	Gas B	Gas C
HHV ⁺ , MJ/Nm ³ (kcal/Nm ³)	43.769 (10454)	41.075 (9811)	39.872 (9523)
HHV, MJ/kg	54.564	55.340	55.573
Wobbe Index	55.568	54.194	53.525
Methane number	74.4	89.8	100.0
Reactive H/C ratio(atom)	3.7657	3.9231	4.0000

Table 4 The condition of test

Engine speed	1000, 1500, 2000, 2500 rpm
Load	WOT(Wide Open Throttle)
Excess air ratio, lambda	For 1000, 1500, 2000, 2500 rpm, 1.353, 1.379, 1.467, 1.518 respectively
Ignition timing	Optimum tuning for Gas A only

따른 엔진 성능 변화의 경향을 확인하기 위해 추가된 실험 가스로서 LNG 최저발열량 근방에 해당하는 가스조성이다. 실험 정확도를 높이기 위해 Gas B는 KOLAS 인증기관에서 발열량 불확도 0.3 %급으로 제조하였고 Gas C는 순도 99.95 %의 메탄이 사용되었다. Table 3에는 각 실험가스의 물성이 기술되어 있는데 메탄가는 Kubesh⁽⁷⁾ 모델로 계산하였고 나머지 물성은 ISO 6976에 따라 계산하였다.

실험에 소요되는 B, C 가스의 연료 소비량을 최소로 하기 위해 엔진 예열은 시판되는 CNG인 Gas A로 하고 엔진이 안정되면 B, C 가스로 교체하는 방식을 사용하였다. Table 4에는 실험 조건이 요약되어 있는데 부하 조건은 WOT (Wide Open Throttle)로 하여 각 엔진회수 별로 최대 부하 조건에서 실험하였다. 엔진 회전수는 아이들링 회전수보다 약간 높은 1000 rpm을 시작점으로 하여 1500, 2000 rpm 그리고 최대 출력이 나오는 2500 rpm으로 총 4 포인트이며 람다(공연비) 제어시(천연가스 차량 모사시)에는 4 포인트 모두에 대해서 실험하였고, 미 제어시에는 열병합 엔진의 회전수 1000 rpm 내외를 고려하여 1000, 1500 rpm에서만 실험하였다. 람다 제어는 ECU 맵핑(KK-엔진)을 그대로 사용하였으며 엔진 회전수에 따라 1.353~1.518 범위의 값을 갖는다. 최적 점화시기는 현 공급가스인 Gas A에 고정하였으며 Gas B, C에 대해서는 점화시기 조정을 하지 않았

Table 5 Power of CNG engine with gas

(a) Lambda control = ON

rpm	Power	Deviation(%), (x/GasA-1)*100	
		Gas A	Gas B
1000	57.8 kW	-3.7	-5.0
1500	97.6 kW	-2.6	-3.1
2000	131.3 kW	-3.2	-4.1
2500	158.4 kW	-3.3	-4.7
Average		-3.2	-4.2

(b) Lambda control= OFF

rpm	Power	Deviation(%), (x/GasA-1)*100	
		Gas A	Gas B
1000	58.9 kW	-3.7	-5.7
1500	99.3 kW	-3.1	-3.7
Average		-3.4	-4.7

다.

토크와 출력을 측정하기 위해 EC 동력계(GE사 ET EC-250, 235 kW)를 사용하였고 배가스는 배기분석계(Horiba Mexa 8120 D)로 측정하였다. 가스의 질량유량은 코리올리 유량계 (Emerson CMF-025)로, 공기의 부피유량은 유량비가 100:1인 부피식 유량계(Onsokki LEF -2000)로 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 출력 및 효율

Table 5는 엔진 회전수 별로 Gas A 대비 B, C의 출력 변화를 나타낸 것으로 (a)는 천연가스 차량량(NGV)과 같이 람다 제어를 한 경우이고 (b)는 열병합 엔진처럼 람다 제어를 하지 않은 경우이다. 표를 살펴보면 각 회전수 모두에서 발열량이 가장 높은 Gas A의 출력이 가장 높고 Gas B, C 순으로 출력이 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. Gas B, C의 평균 출력 감소율은 람다 제어시에는 각각 3.2, 4.2 %이고 미 제어시에는 3.4, 4.7 %이다. 출력이 낮아지는 원인을 추적하기 위해 람다 값과 엔진으로 유입되는 열입력량을 정리해 보면 Table 6, 7과 같다. 먼저 람다 값을 살펴보면 Gas A 대비 B, C의 값이 0~0.4 % (람다 미 제어시 0~1.2 %) 정도의 미소한 차이만 보이고 있어서 람다 변화는 출력에 거의 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 열입력량도 최대 회전수인 2500 rpm에서 Gas A 대비 B, C 값이 각각 0.76,

Table 6 Lambda value under test condition

rpm	Lambda	Deviation(%), (x/GasA-1)*100	
	Gas A	Gas B	Gas C
1000	1.353	-0.2/-0.8 [†]	-0.2/0.0 [†]
1500	1.397	-0.2/1.2 [†]	-0.2/0.0 [†]
2000	1.467	-0.4	-0.3
2500	1.518	-0.1	0.0

[†] Lambda control is OFF

Table 7 Heat input under test condition

rpm	Heat input	Deviation(%), (x/GasA-1)*100	
	Gas A	Gas B	Gas C
1000	595.3 MJ/h	1.59	1.91
1500	1014.7 MJ/h	0.68	1.33
2000	1419.0 MJ/h	-0.72	-0.93
2500	1772.2 MJ/h	-0.76	-1.17

1.17 % 정도만 낮고 회전수 1000과 1500 rpm에서는 오히려 Gas B, C의 열입력량이 더 높아 지는 것을 관찰 할 수 있어서 최대 5.0 % (람다 미 제어 시 5.7 %)에 이르는 출력 저하의 주원인이 되지 못한다. 따라서 남은 것은 점화시기 문제인데, 메탄 성분이 많을수록 연소속도가 느리기 때문에 Gas A대비 B, C의 경우 출력을 올리려면 점화시기를 앞당겨야 하는 것을 알 수 있다. 실제로 Han⁽⁸⁾이 실험한 가스 조성에 따른 엔진성능 실험결과 보면 최적 점화시기를 맞추지 않을 경우 출력이 8 % 이상까지 저하되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 LNG 발열량 저하에 따른 출력 저하의 주원인은 점화시기 문제인 것으로 보인다.

Table 8은 CNG 엔진 회전수 별로 Gas A대비 B, C의 열효율을 나타낸 것이다. 열효율 변화의 경향을 살펴보면 엔진 회전수가 증가할수록 난류 증가에 의해 연소특성이 좋아짐으로 열효율 감소량이 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. Gas B, C의 평균 효율 감소는, 람다 제어시 각각 1.1, 1.5 % 포인트, 람다 미 제어시에는 1.5, 2.1 % 포인트이다. 넓은 회전수 범위에서 운전되는 NGV(Natural Gas Vehicle)의 경우 실제 열효율 감소는 rpm 평균값과 유사하거나 더 작을 개연성이 높으나 1000 rpm 내외에서 운전되는 열병합 엔진의 경우

Table 8 Thermal efficiency of CNG engine with gas

(a) Lambda control = ON

rpm	Thermal efficiency	Deviation(% point) (x-Gas A)	
	Gas A	Gas B	Gas C
1000	34.9 %	-1.8	-2.3
1500	34.6 %	-1.1	-1.5
2000	33.3 %	-0.7	-1.1
2500	32.2 %	-0.8	-1.1
Average		-1.1	-1.5

(b) Lambda control= OFF

rpm	Thermal efficiency	Deviation(% point) (x-Gas A)	
	Gas A	Gas B	Gas C
1000	35.0 %	-1.8	-2.5
1500	34.7 %	-1.2	-1.7
Average		-1.5	-2.1

에는 평균값이 아닌 1000 rpm에서의 열효율 감소량인 1.8, 2.5 % 포인트에 근접할 것으로 보인다. 향후 LNG 발열량이 수년에 걸쳐 점차적으로 감소하여 42.7 MJ/Nm³(10200 Nm³)내외로 수렴할 것으로 전망되는데 NGV의 경우에는 발열량 저하에 따라 맵핑이 새로 될 것이고 차량의 교체 주기도 비교적 빨라 문제될 것으로 보이지 않으나 열병합 엔진의 경우에는 효율 감소량이 너무 크고 교체 주기가 매우 길기 때문에 엔진 효율 저하의 주원인으로 추정되는 점화시기를 조정해야 할 것으로 보인다.

4.2 배기가스

Fig. 2~Fig. 5는 Gas A, B, C에 대해 엔진 회전수 별로 배가스 농도를 비교한 것이다. 여기서 람다 제어 유무로 구별하여 나타내지 않은 것은 람다 제어에 따른 배가스 농도 차이가 거의 나타나지 않아 엔진 회전수 별로 배가스 농도를 모두 측정한 람다 제어시의 값만 나타내었다.

먼저 이산화탄소(CO₂)와 일산화탄소(CO) 농도를 살펴보면 Gas A 대비 B, C가스의 배출 농도가 모두 감소하는 것을 관찰할 수 있다. Gas B, C의 CO₂ 감소율은 연소반응식으로 계산한 이론 감소율인 1.8, 2.7 %와 거의 유사함을 알 수 있고 이로부터 Gas B, C의 연소 상태가 Gas A에 비해 악화되지 않은 것으로 추정할 수 있다. 그리고

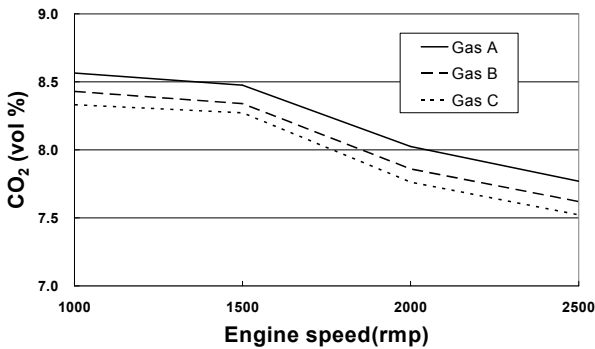


Fig. 2 Emission concentration of CO₂ with gas

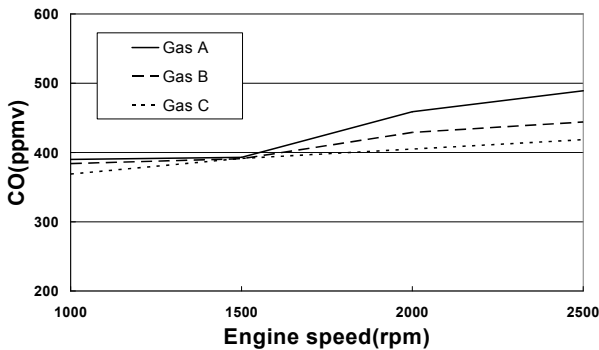


Fig. 3 Emission concentration of CO with gas

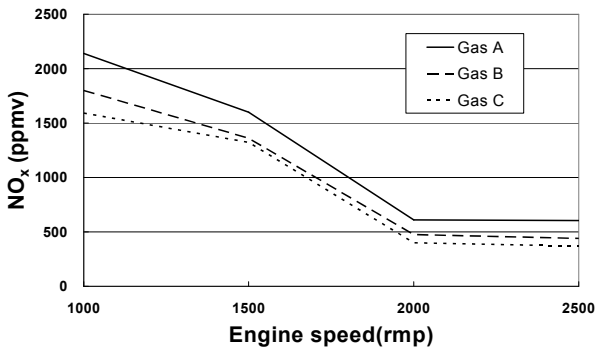


Fig. 4 Emission concentration of NO_x with gas

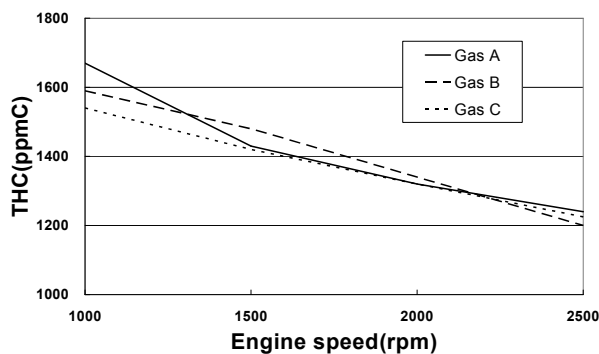


Fig. 5 Emission concentration of THC with gas

Table 9 Incomplete combustion quotient with gas

rpm	CO/CO ₂		
	Gas A	Gas B	Gas C
1000	0.046	0.046	0.044
1500	0.046	0.046	0.046
2000	0.057	0.055	0.052
2500	0.063	0.058	0.056

동일한 열입력량일 때 Gas A 대비 B, C의 탄소 수 비는 각각 0.980, 0.971이므로 연소상태가 동일할 경우 CO 농도도 감소하게 된다. 실제로 연소 상태가 동일한지 확인하기 위해 불완전연소지수인 CO/CO₂비를 실험결과로부터 계산하면 Table 9와 같은데 이를 살펴보면 Gas B, C의 불완전연소지수가 Gas A와 동일하거나 약간 감소하는 것을 알 수 있어서 발열량 저하에 따른 불완전연소는 없는 것으로 판단된다. 질소산화물(NO_x) 배출 농도도 발열량 저하에 따라 감소하는 것을 관찰할 수 있는데 이는 메탄 농도가 증가하면서 연소 온도가 낮아지는 데서 비롯된 것으로 판단된다. THC(Total Hydrocarbon) 농도 변화는 일정한 경향을 보이지 않았는데 각 rpm에서 가스 조성변화에 따른 변동률이 크지 않으므로 발열량 저하에 따른 THC농도의 변화는 미미하다고 판단할 수 있다. CNG 엔진에서 THC 발생은 주로 메탄에 의한 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 메탄 농도 증가에 따른 뚜렷한 THC 농도 변화가 관찰되지 않았다.

5. 결론

본 연구에서는 열병합발전과 천연가스 대형 차량에 사용되는 CNG 엔진에서 가스의 조성만 변경했을 때 엔진의 성능 변화를 확인하고자 하였다. 이를 위해 LNG 발열량 별로 현 공급 도시가스인 Gas A, 새공급규정안의 최저발열량 가스인 Gas B, LNG 최저발열량 가스인 Gas C를 선정하고 Gas A 대비 Gas B, C에 대한 CNG 엔진의 출력, 효율, 배가스 특성을 비교 실험하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Gas A 대비 B, C의 출력은, 램다 제어시(천연가스 차량) 평균 3.2, 4.2 % 정도 각각 낮아지고 램다 미 제어시(열병합엔진)에는 3.4, 4.7 % 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 열효율은 램다 제어시 평균 1.1, 1.5 % 포인트 낮아지는 것으로 나타났다. 램다 미 제어시에는 평균 1.5, 2.1 % 포인트 정도 낮아지는 것으로 관찰되었으나 열병합 엔진이 1000 rpm 내외에서 운전되는 점을 감안할 때 1.8, 2.5 % 포인트 까지도 낮아질 수 있는 것으로 추정된다.

(3) 이산화탄소, 일산화탄소, 질소산화물의 배출 농도는 LNG 발열량 저하에 따라 모두 감소하는 것으로 나타났다.

(4) LNG 발열량 저하에 따른 연소상태는, 불완전연소지수(CO/CO₂)가 거의 일정한 것으로 보아 변화가 없는 것으로 판단된다.

(5) THC 배출 농도는 일관성 있는 경향이 관찰되지 않았으나 배출 농도 변화는 미미하였다.

참고문헌

- (1) Korea Ministry of Knowledge Economy, 2009, "A Study on the Mid and Long-Term System for Calorific Value Range and Quality of Natural Gas."
- (2) Lee, S., Her, J., Lee, S. and Ha, Y., et al., 2008, "A Countermeasure Study for the Impacts on KOGAS's Production/Transmission-Supplying System and Gas Consumer Caused by Low Caloric Natural Gas(LNG/PNG)," KOGAS Report No. 05-PA-GF-Plan-010-31, Korea Gas Corporation.
- (3) Kim, B., Lee, S. and Kim, Y., 2007, "Combustion and Performance Characteristics of Natural Gas Engine retrofitted from Decrepit Diesel Engine," *KSAE Spring Conference Proceedings*, KSAE07-S0088, pp. 574-579.
- (4) Ha, Y., Lee, C., 2001, "Calculations of Sonic Velocity, Specific Heat, Enthalpy for Natural Gas," *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 39, No. 6, pp. 678-684.
- (5) International Organization for Standardization, 1995, "ISO 6976 : Natural Gas — Calculation of Calorific Values, Density, Relative Density and Wobbe Index from Composition," ISO, Geneva.
- (6) International Organization for Standardization, 1998, "ISO/TR 5168 : Evaluation of Calculation Uncertainties," ISO, Geneva.
- (7) Kubesh, T. J., 1992, "Effect of Gas Composition on Octane Number of Natural Gas," GRI-92/0150, Gas Research Institute(USA).
- (8) Han, J., Lee, J., Yu, H., 1998, "Establishment of D/B of Combustion Characteristics with Varied Natural Gas Composition for NGV," KOGAS Report No. 96-E-TR02-P-39, Korea Gas Corporation.