



## 천연가스 열량 변화에 따른 GHP 엔진의 성능 및 배출가스 특성

이중성 · 유현석 · †최정환 · 최의광\* · 이경호\* · 이병대\*\*

한국가스공사 연구개발원, \*(주)엔진텍 친환경엔진연구소, \*\*LG전자 Ghiller 사업부  
(2014년 8월 20일 접수, 2014년 12월 22일 수정, 2014년 12월 23일 채택)

### Performance and Emission Characteristics of GHP Engine at Different Natural Gas Heating Value

Joongseong Lee · Hyunseok You · †Jeonghwan Choi  
Euikwang Choi\* · Kyungho Lee\* · Byungdae Lee\*\*

R&D Division, Korea Gas Corporation, Ansan, Korea

\*Enginetech, Hwasung, Korea, \*\*LG Electronics, Jeonju, Korea

(Received August 20, 2014; Revised December 22, 2014; Accepted December 23, 2014)

#### 요약

가스엔진구동 히트펌프(GHP: Gas Engine Driven Heat Pump)의 연료인 천연가스의 열량이 감소함에 따라 국내에서 생산되는 GHP에 미치는 영향을 평가하였다. 저열량가스(9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>)를 연료로 사용하여 엔진 단계 실험 및 GHP 현장평가를 실시한 결과 약간의 출력감소가 확인되었으나 시동성, 운전안정성, 배출가스 특성 등은 거의 변화가 없음을 확인하였다. 따라서 천연가스 열량이 9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>까지 감소하여도 별도의 조정없이 GHP가 정상운전될 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** - In general, natural gas is used as GHP(Gas Engine Driven Heat Pump) fuel. On this study, the influences of different natural gas heating value on GHP were evaluated. As a result of engine test & field test using low heating value gas(9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>) as fuel, the engine power was reduced slightly, however the performance of start-up, the stability of operation and the characteristics of emission gas were almost similar. So it is considered that the normal operation of GHP is possible without any tuning when the low heating value(9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>) of natural gas was used as fuel.

**Key words** : GHP, heating value of natural gas, gas engine

#### 1. 서론

LNG(Liquefied Natural Gas) 수입선의 다변화로 국내 공급되는 LNG의 평균 발열량은 지속적으로 감소될 전망이다. 도시가스를 연료로 사용하는 GHP(Gas Engine Driven Heat Pump)는 엔진에 유입되는 연료의 발열량에 따라 엔진 성능이나 배출가스

특성에 직접적으로 영향을 받는다. 특히 현재 국내에 보급되어 있는 국산 GHP 엔진은 공연비 제어를 하지 않고 있기 때문에 발열량의 변화는 곧바로 엔진 성능의 변화로 이어진다. 저발열량의 연료가 유입되면 엔진 출력이 감소하여 GHP 시스템의 운전 성능이 악화될 수 있다.

본 연구에서는 2015년부터 적용될 천연가스 열량 범위제에 따른 최저발열량(9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>)의 천연가스를 적용하여 국산 GHP에 적용된 엔진의 단계 성능 및 배출가스 특성을 파악하여 문제점 여부

†Corresponding author:jhchoi@kogas.or.kr

Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

를 확인하고, 실외기 조건에서 직접 저발열량의 가스를 적용하여 운전 상태의 이상 유무를 파악하고자 하였다.

## II. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 실험연료의 조성 및 발열량

시험연료는 '14년 현재 공급 중인 천연가스(Gas A, 10,373kcal/Nm<sup>3</sup>)와 '15년 1월부터 적용되는 최저 발열량으로 제조된 가스(Gas B, 9,800kcal/Nm<sup>3</sup>)를 적용하여 실험하였다. Table 1에 실험에 사용된 연료의 특성을 나타내었다.

### 2.2. 실험장치 및 방법

국산 GHP 엔진으로는 현대자동차에서 개발하여 공급한 BETA 엔진과 엔진텍이 개발하여 공급 중인 EH23-N 엔진의 2기종이 있다. 실험은 이 2기종의 엔진을 대상으로 진행하였으며 실험엔진의 제원은 Table 2와 같다. 이 엔진들은 공연비 제어를 하지 않기 때문에 연료공급압력이 변할 경우 엔진성능에 직접적인 영향을 미치므로 안정적인 상태의 연료 공급 압력 유지는 무엇보다 중요하다. Fig. 1의 실험장치를 보면 Gas A, B 모두 고압용기에 9.0MPa로 충전 후 1차 및 2차 레귤레이터에서 각각 0.8MPa, 3kPa로 감압한 후 이를 다시 3차 레귤레이터에서 0.1MPa

로 감압하여 사용하였다. 연료 공급량을 측정하기 위해 연료 공급라인에 질량유량계(Emerson CMF010M)를 설치하였으며, EC동력계(MEIDEN EC-80)를 사용하여 엔진 출력을 측정하였다. 배출가스는 배기분석계(MUR Delta1600V)를 사용하고 공연비 측정을 위해 공연비메타(ETAS LA4)가 사용되었다.

Field에 가동 중인 GHP에 저발열량 가스가 공급되는 상황을 구현하기 위해 GHP 설치 시 제공되었던 ECU 데이터를 그대로 사용하였으며 두가지의 Gas

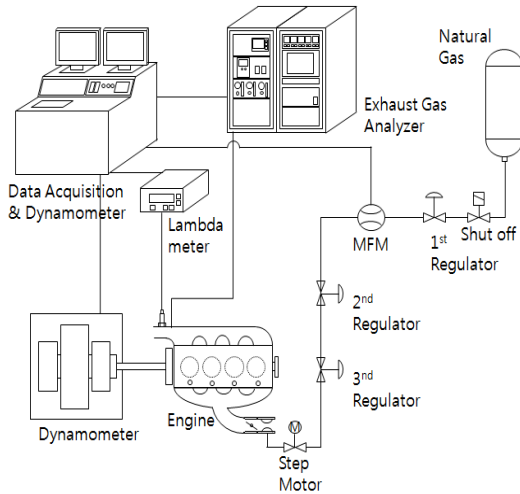


Fig. 1. Schematic diagram of engine experimental setup.

Table 1. Compositions and properties of test gases

Components	Gas A (공급가스)	Gas B (저열량 가스)
CH <sub>4</sub>	91.33	96.97506
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	5.87	2.00
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1.84	0.98
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.37	0.004945
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.42	-
i-C <sub>3</sub> H <sub>12</sub>	0.02	-
n-C <sub>3</sub> H <sub>12</sub>	0.00569	-
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> +	-	-
CO <sub>2</sub>	-	-
N <sub>2</sub>	0.14	0.04
Wobbe Index (kcal/Nm <sup>3</sup> )	13235.5	12936.2
HHV(kcal/Nm <sup>3</sup> )	10373	9805
LHV(kcal/Nm <sup>3</sup> )	9367.3	8837
H/C Ratio	3.7851	3.9235
A/F Ratio	10.37	9.80

Table 2. Specification of engine

Engine Model	BETA	EH23-N
Engine Type	NA, OHV	NA, OHV
No. of Cyl.	4	←
Displacement(cc)	1,975	2,311
Bore×Stroke(mm)	82×93.5	88×95
Rated Power (PS/rpm)	38/2,300	40/2,200
Max. Torque (kg.m/rpm)	13/1,700	13.5/1,600
Fuel	Natural Gas	←
Emission(CO)	-	2800ppm ↓
Comp. Ratio	-	14.8:1 (Miller Cycle)
Engine Management	ECU (현대오토넷)	ECU (엔진텍)

를 각각 공급하여 엔진의 성능과 효율을 확인하고 배출가스 특성을 비교하였다.

### III. 실험결과

#### 3.1. 출력 및 효율

##### 3.1.1. 전부하 조건

BETA 및 EH23-N 엔진에 대해 표준조건의 가스(Gas A)와 저열량 가스(Gas B)를 각각 적용하여 전부하 영역에서 출력 및 효율변화를 확인하였다. Fig. 2와 Fig. 3에 전부하(WOT, Wide Open Throttle) 조건에서 출력과 효율의 변화를 나타내었다.

두 엔진 모두에서 저열량 가스(Gas B)를 적용한 조건에서 전반적으로 출력이 감소되는 경향이 나타나고 있음을 확인하였다. BETA 엔진은 평균 1.78%, EH23-N 엔진은 평균 3.61%의 출력이 감소되었다.

효율은 BETA 엔진이 미소하게 증가(평균 0.59%)

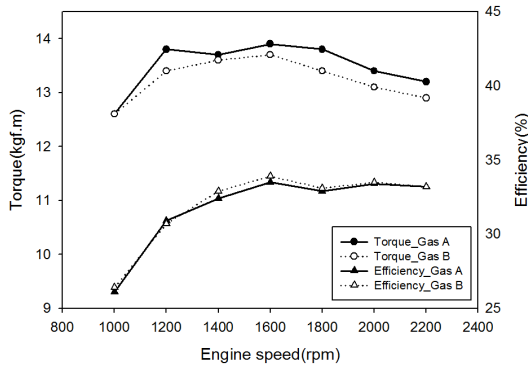


Fig. 2. Performance and efficiency of BETA engine at full load.

한 반면 EH23-N 엔진은 평균 1.17% 감소하였다. 이런 상반된 변화는 전부하 영역에서 공연비가 농후하게 설정되어 있던 BETA 엔진이 저열량 가스로 공기과잉률이 증가하면서 이론공연비 영역으로 접근한 결과로 판단된다.

##### 3.1.2. 부분부하 조건

엔진의 출력이 부족하면 시스템에서 요구하는 회전수를 충족하지 못할 수 있고 심할 경우 엔진의 시동이 꺼질 수 있다. 상용운전영역 중 사용빈도가 높은 800mbar의 MAP(Manifold absolute pressure) 압력 조건에서 출력과 효율 특성을 실험하였다. Fig. 4와 Fig. 5에 BETA 엔진과 EH23-N 엔진의 부분부하 출력 및 효율 특성을 나타내었다.

부분부하 영역에서도 저열량 가스를 적용할 경우 BETA, EH23-N 엔진에서 각각 평균 8.58%, 10.08%의 출력감소와 5.19%, 6.57% 효율이 감소됨을 확인

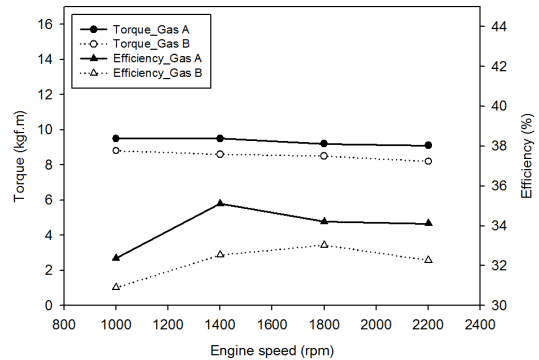


Fig. 4. Performance and efficiency of BETA engine at partial load.

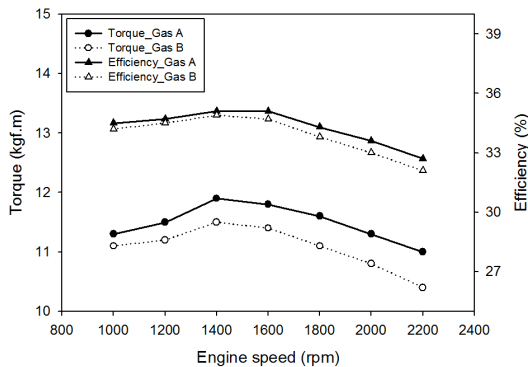


Fig. 3. Performance and efficiency of EH23-N engine at full load.

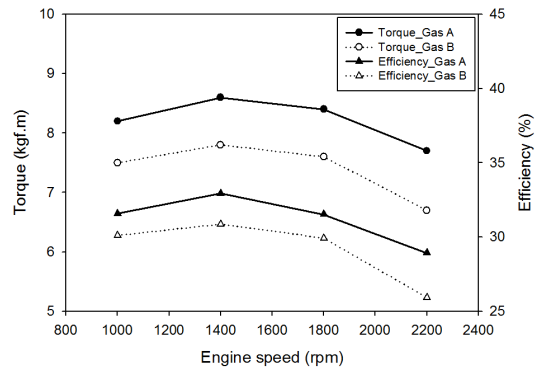


Fig. 5. Performance and efficiency of EH23-N engine at partial load.

하였다. 전부하 영역보다 부분부하 영역에서 감소폭이 큰 것은 전부하영역의 경우 농후하게 공연비가 맵핑되어 있어서 저발열량 가스에 의해 공기과잉률이 증가하여도 출력과 효율의 감소폭이 크지 않지만, 부분부하 영역은 희박한 공연비로 맵핑되어 있어서 상대적으로 출력 및 효율의 감소가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

### 3.2. 배출가스 및 공연비 변화

#### 3.2.1. 전부하 조건

Fig. 6, Fig. 7에 전부하 조건에서 CO 배출농도와 공연비 특성을 엔진별로 나타내었다. BETA 엔진은 전 구간에서 이론공연비보다 농후하게, EH23-N 엔진은 희박하게 맵핑되어 있음을 알 수 있다. 저발열량 가스의 적용으로 BETA 엔진은 공기과잉률이 1.49%, EH23-N 엔진은 2.84% 증가하였다.

BETA 엔진은 전 회전수 구간에서 CO가 규제치

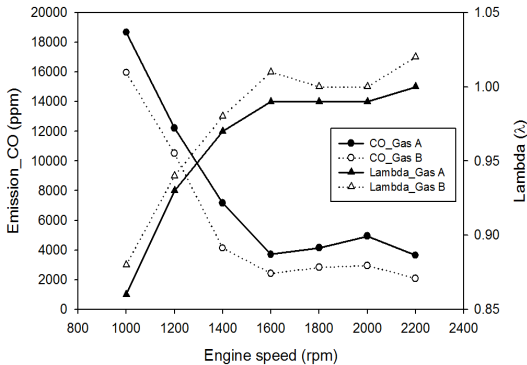


Fig. 6. CO emission and lambda of BETA engine at full load.

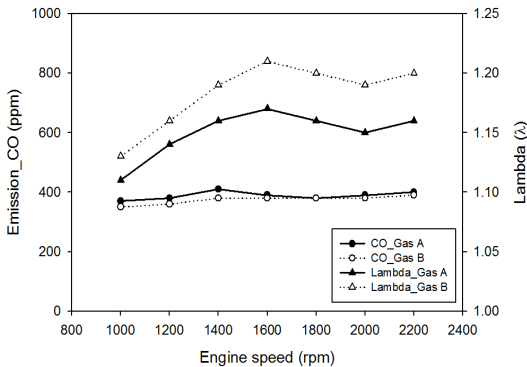


Fig. 7. CO emission and lambda of EH23-N engine at full load.

2800ppm을 만족하지 못하고 있으나 EH23-N 엔진은 전 구간에서 규제치를 만족하고 있다.

두 엔진 모두 저발열량 가스의 적용으로 공기과잉률이 증가하고 CO는 감소하는 경향을 보이고 있다. EH23-N 엔진의 경우 전 구간이 희박연소 조건으로 맵핑되어 있기 때문에 표준가스에서 배출농도가 기본적으로 낮은 수치를 보여주고 있어 저발열량 가스에 의한 배출가스 감소폭이 크지 않은 것으로 판단된다.

#### 3.2.2. 부분부하 조건

Fig. 8, Fig. 9에 나타난 바와 같이, 부분부하 영역에서 표준가스 적용 시 공연비는 BETA 엔진과 EH23-N 엔진 모두 이론공연비보다 희박한 조건에서 운전을 하였고 Gas A, B 적용조건 모두 CO의 배출농도가 규제치(2800ppm 이하)를 만족하였다. 전부하(WOT) 조건과 동일하게 저열량 가스 공급 시 표준가스 대비

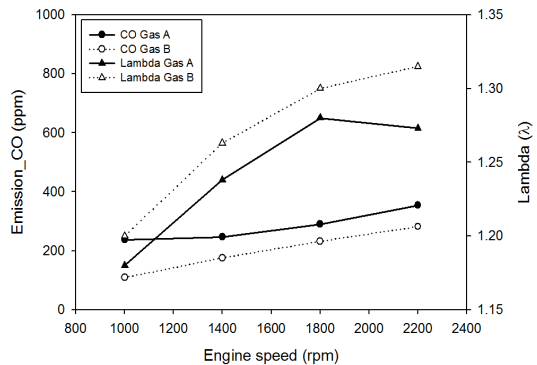


Fig. 8. CO emission and lambda of BETA engine at partial load

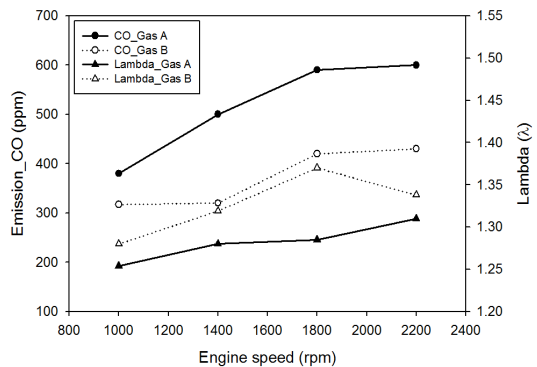


Fig. 9. CO emission and lambda of EH23-N engine at partial load.

공기과잉률이 증가하였고 이에 따라 CO 배출농도는 감소하였다.

저발열량 가스를 적용할 경우 표준가스 대비 공기과잉률은 BETA 엔진에서 2.14%, EH23-N 엔진에서 3.46% 증가하였다. 또 CO 배출농도는 BETA 엔진의 경우 표준가스 대비 30.77%, EH23-N 엔진은 27.43% 감소하였다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 국내 공급되는 LNG의 발열량이 지속적으로 감소되고 있는 추세를 고려하여 2015년 기준의 열량제도하에서 허용하는 최저발열량(9,800 kcal/Nm<sup>3</sup>)의 가스가 GHP 시스템에 사용되는 가스엔진의 성능에 어떤 영향을 미치는지를 평가하고 이를 현재 공급 중인 천연가스를 사용한 경우와 서로 비교하였다.

(1) 저발열량 가스를 적용할 경우 표준가스에 비해 전부하 조건(WOT)에서 평균 1.78%(BETA), 3.61%(EH23-N)의 출력 감소가 나타났고, 부분부하 조건(흡기압력 800mbar 조건)에서 평균 8.58%(BETA), 10.08%(EH23-N)의 출력 감소와, 평균 5.19%(BETA), 6.57%(EH23-N)의 효율이 감소됨을 확인하였다.

(2) 저발열량 가스를 적용할 경우 표준가스에 비해 전부하 조건(WOT)에서 공기과잉률이 평균 1.49%(BETA), 2.84%(EH23-N) 증가하였으며, CO 배출농도는 BETA 엔진이 평균 31.45%, EH23-N 엔진이 평균 3.65% 감소하였다. 또 부분부하 조건에서는 공기

과잉률이 평균 2.14%(BETA), 3.46%(EH23-N) 증가하였으며, CO 배출농도는 BETA가 평균 30.77%, EH23-N 엔진이 평균 27.4% 감소하였다.

(3) 전부하 시험 조건에서 저발열량 가스를 적용할 경우 엔진 출력감소가 4% 미만 수준으로 GHP에서 요구되는 엔진출력을 충분히 충족할 만한 범위이며, 엔진 시동성 및 운전 안정성에서는 변화가 없기 때문에 저발열량 연료가 적용된다 해도 GHP 실외기에서의 엔진의 정상적인 운전에 별다른 영향이 없을 것으로 판단된다.

또한 CO 배출농도는 저발열량 가스가 적용될 경우 오히려 그 수준이 감소되는 경향을 보이고 있으므로 배출가스 규제에 따른 문제도 없을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] Hyungmin Kim, The Effect of Fuel Composition on Emissions and Combustion of CNG Engine at Partial Load, 2006
- [2] Young Cheol Ha, Performance and Emission Characteristics of a CNG Engine Under Different Natural Gas Compositions, The Korean Society of Mechanical Engineers, B.2011.35.7. 749-755
- [3] Cheolwoong Park, Effect of Low Calorific Natural Gas on Performance and Emission Characteristics of Engine, The Korean Society of Mechanical Engineers, B.2013.37.12.1129-1135