

## CNG 혼소율 변화에 따른 디젤엔진의 성능 및 연소 특성에 관한 연구

장형준<sup>1</sup>, 이선엽<sup>2</sup>, 김창기<sup>2</sup>, 조정권<sup>3</sup>, 임종한<sup>4</sup>, 윤준규<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>가천대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>한국기계연구원, <sup>3</sup>교통안전공단, <sup>4</sup>가천대학교 기계공학과

### A Study on the Performance and Combustion Characteristics with CNG Substitution Rate in a Diesel Engine

Hyeong-Jun Jang<sup>1</sup>, Sun-Youp Lee<sup>2</sup>, Chang-Gi Kim<sup>2</sup>, Jeong-Kwon Cho<sup>3</sup>,  
Jong-Han Lim<sup>4</sup>, Jun-Kyu Yoon<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Gachon Univ.

<sup>2</sup>Korea Institute of Machinery and Materials, KIMM

<sup>3</sup>Transportation Safety Specialist, TS

<sup>4</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Gachon Univ.

**요약** 전 세계적으로 천연가스 시장에서는 천연가스의 저열량화 추세로 뚜렷하게 변화되고 있다. 이러한 추세는 국내의 천연가스 열량기준에 변화를 가져왔으며, 낮은 열량의 천연가스 도입으로 인해 현재 사용되고 있는 가스기기의 성능에도 변화가 있을 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 혼소엔진의 연소특성을 파악하기 위해 CNG 혼소율 변화를 이용하여 열효율, 도시평균유효압력 변동계수 및 열방출 특성을 고찰하였다. CNG 혼소율은 투입되는 연료의 총합 대비 공급되는 천연가스연료의 에너지로 계산하여 천연가스연료가 디젤연료를 대체하는 비율로 정의하였다. 엔진 실험조건으로는 공급되는 천연가스의 발열량은 10,400 kcal/Nm<sup>3</sup>이며, 1800 rpm/500 N·m의 엔진 운전조건에서 디젤연료의 분사시기는 BTDC 16°CA, 분사압력은 85 MPa로 설정하여 엔진의 성능 및 연소 실험을 진행하였다. 엔진 실험결과로 CNG 혼소율이 변화함에 따라 공급되는 디젤 연료량 역시 변화하고, CNG 혼소율이 증가할수록 디젤 연료량이 감소함으로써 점화에너지가 줄어들어 점화 지연 시간이 길어지는 연소특성을 나타내며, 이로 인해 엔진의 열효율과 출력도 감소하는 경향을 보였다. 그러나 연소안정성은 5% 미만으로 안정적인 엔진의 연소상태를 보여 실험의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

**Abstract** In the international natural gas market, natural gas has markedly low calories. The domestic calories standard of natural gas was changed and the performance and efficiency of many industrial machines using natural gas were affected because of low caloric natural gas. Therefore, in this study, a dual fuel engine fueled with natural gas and diesel was tested to examine the effects of the CNG substitution rate on the combustion characteristics, such as thermal efficiency, COVimep and heat release rate. The CNG substitution rate was defined as the ratio of CNG instead of diesel, which was calculated as the total energy. The conditions of the tested engine were fixed 1800 rpm/500 N·m. In addition, diesel fuel was injected at 16°CA BTDC and the fuel pressure was fixed at 85 MPa; the lower heating value of CNG was 10,400 kcal/Nm<sup>3</sup>. The results of the engine test showed that the amount of diesel fuel was changed according to the CNG substitution rate. Therefore, when the substitution rate was increased, the amount of diesel fuel was decreased, which affected the energy for ignition. In addition, the ignition delay duration was increased, which affected the thermal efficiency and torque. On the other hand, the COVimep was less than 5% and a stable combustion state of the engine was shown.

**Keywords** : CNG Substitution Rate, Combustion Characteristics, COVimep, Dual Fuel Engine, Thermal Efficiency

\*Corresponding Author : Jun-Kyu Yoon (Gachon Univ.)

Tel: +82-31-750-5651 email: jkyoon@gachon.ac.kr

Received February 7, 2017

Revised March 10, 2017

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

## 1. 서론

세계 각국에서는 화석연료 사용으로 인해 배출되는 온실가스를 저감하기 위한 연구가 중요한 관심사로 대두되고 있으나, 바닥을 드러낼 것이라는 예상과 달리 시추와 탐사기술의 발전은 화석연료의 의존도를 상당기간 연장시켰다[1]. 하지만 최근 북미를 중심으로 가격이 저렴하고 친환경적인 셰일가스 개발이 활성화되면서 석유나 원자력 중심의 에너지를 대체할 신재생에너지 자원으로 떠오르고 있다. 셰일gas와 더불어 천연가스 역시 메탄이 주성분으로 탄소대비 수소비가 높은 저탄소연료이므로 유해 배기가스를 적게 배출하는 청정연료로 각광받고 있다. 이처럼 천연gas는 국내 에너지소비 중 약 10%를 차지하고 있으며 가정용, 산업용 및 발전용 등에 이용되는 산업분야도 다양하다[2,3]. 특히 종래의 발전 방식보다 배 이상의 효과를 거둘 수 있는 열병합 발전용 엔진의 경우 천연gas를 주 연료로 사용한다[3]. 현재 현장에서 사용되고 있는 열병합 발전용 엔진은 전소엔진(Dedicated Engine)과 혼소엔진(Dual-Fuel Engine)으로 나눌 수 있다[4,5]. 전소엔진의 경우는 점화플러그에서 발생하는 불꽃으로 점화를 하는 불꽃점화방식으로 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas, LPG)와 천연가스(Compressed Natural Gas, CNG)와 같은 한 가지 연료를 사용한다. 또한 열효율을 높이기 위해 희박연소 운전이 가능하다는 장점이 있다. 반면에 혼소엔진의 경우는 경유와 다른 연료를 혼합하여 사용하며, 디젤엔진을 기반으로 소량의 디젤연료를 점화원으로 이용하는 압축착화방식(Compression Ignition, CI)으로 CNG 등의 또 다른 연료를 연소시킨다. 전소엔진과 다르게 소량의 디젤연료를 사용하므로 유해 배기가스의 배출량이 증가할 수 있다는 단점이 있지만, 점화플러그보다 강력한 점화에너지가 발생하므로 매립지 가스나 바이오연료와 같이 발열량이 낮은 연료를 사용하더라도 안정적인 운전이 가능한 장점이 있다. 천연gas는 연료 특성상 휘발유와 같이 높은 옥탄가를 갖기 때문에 압축착화가 어려워 가솔린엔진에 적용하는 것이 적합하다. 하지만 혼소엔진에 적용하는 경우 포트를 통해 공급되는 천연gas는 공기와 예혼합하여 실린더내로 공급되어 연소시키는 가솔린엔진의 특징과 디젤연료가 실린더내로 직접 분사되어 압축을 통해 연소되는 디젤엔진의 특징을 모두 가지고 있다. 또한 강력한 점화원인 디젤연료를 이용하므로 빠른 연소과정

으로 열효율이 높은 것으로 알려져 있다[6-8]. 또한 국내 연구에 의하면 혼소엔진은 기존의 디젤엔진에 대한 개조 비용과 개조시간을 절감하고 디젤 연료분사시기에 따라 착화가 이루어지기 때문에 착화시기제어가 용이한 장점이 있으며, CNG 공급량을 조절하여 기존의 디젤엔진과 동등한 수준의 성능을 만족시키고 전 운전영역에서 평균 90% 이상의 디젤연료를 절감할 수 있는 결과를 보고한 바가 있다[9,10].

따라서 본 연구에서는 디젤연료를 대체하는 천연gas의 비율을 증가시켜 CNG 혼소율변화에 따른 실험을 수행하는 것으로 공연비제어가 이루어지지 않는 혼소율 범위 내에서 혼소엔진의 성능 및 연소 특성을 고찰하여 안정적인 엔진 운전조건을 확인하고 타당성 여부를 검토하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 엔진은 CRDI(Common Rail Direct Injection) 시스템이 적용된 5.9 ℓ 직접분사식 디젤엔진으로 그 상세 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Specifications of experimental engine

Description	Specifications
Engine type	4-stroke, 6-cylinder
Type of fuel	Diesel
Displacement	5,899 cc
Bore × Stroke	103 mm × 118 mm
Compression ratio	17.0
Maximum power	187.5 kW / 2,500 rpm
Maximum torque	932 N·m / 1,400 rpm
Type of injection	Common rail direct injection

CRDI 시스템은 독립적인 연료공급제어장치를 통해 연료압력, 연료량 및 연료분사시기의 조절이 가능한 장점이 있으며 디젤연료를 연소실 내로 직접 고압분사가 가능하기 때문에 혼소엔진 실험 중 연료조건이 변하더라도 안정적인 착화가 가능한 장점이 있다[4].

Fig. 1은 본 연구에 필요한 전반적인 혼소엔진의 실험장치 개략도를 나타낸 것이다. 혼소엔진을 구동하기 위해 점화원으로 사용되는 디젤연료는 연료탱크의 저압펌

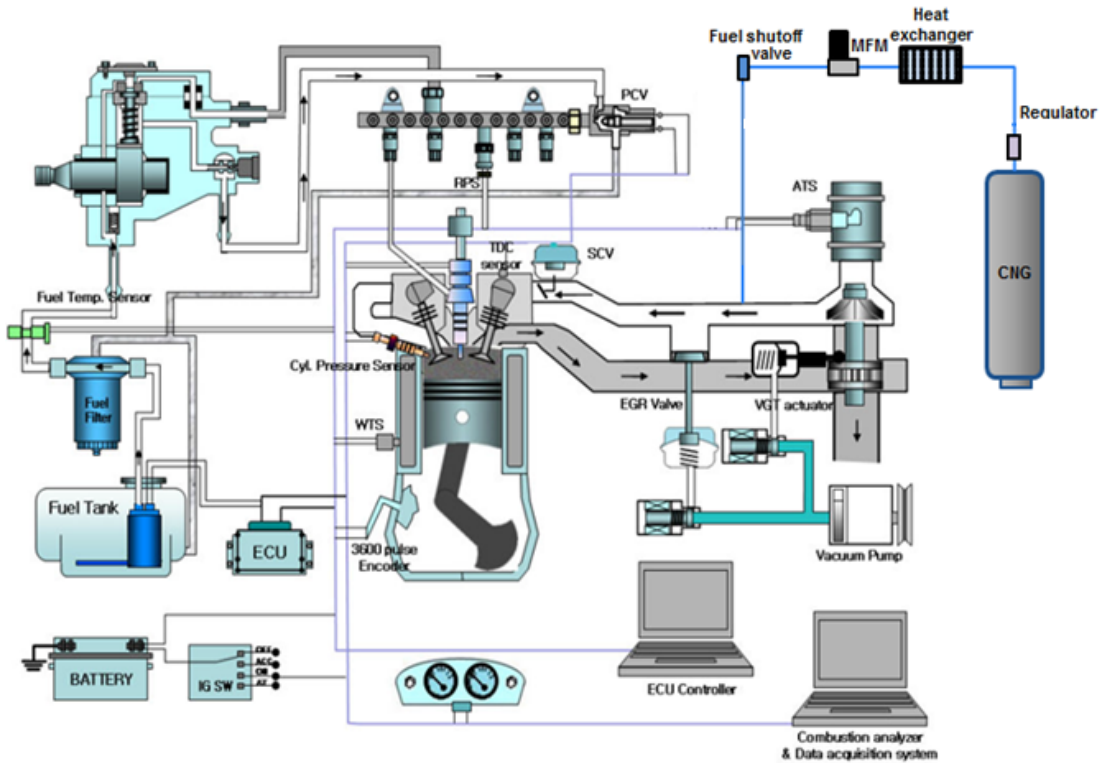


Fig. 1. Schematic of engine experimental equipments

프를 거쳐 연료유량계( FM-257, Onosoki Co.)를 지나 고압펌프에서 가압되어 커먼레일과 인젝터를 통해 실린더 내부로 고압 분사된다. 또한 공기는 스로틀밸브를 통해 흡입되는 공기는 터보차저의 압축기를 지나며 가압되어 인터쿨러와 흡기매니폴드를 지나 연소실 내부로 공급된다. 혼소엔진 운전에 필요한 CNG 연료는 MFC(Mass Flow Controller)를 설치하여 정밀한 제어를 통해 공급 가능하도록 하였다. 하지만 CNG 탱크에서는 도시가스 공급압력보다 높은 10 MPa 이상의 공급압력을 유지하기 때문에 0.8 MPa 이하로 감압시키기 위한 정압기를 추가로 설치하였으며, 열교환기를 설치하여 정압기에서 급격한 부피 팽창으로 인한 온도강하를 보상하여 가스연료의 온도를 상승시켰다. 이러한 과정을 거친 가스연료는 인터쿨러 후단에서 공기와 만나 혼합기를 형성하여 실린더로 공급된다. 그리고 혼소엔진의 연소특성을 고찰하기 위해 추가적으로 다음과 같이 측정시스템을 구성하였다. 1번 실린더에 고압압력센서(6052C31, Kistler Co.)를 설치하고 센서 신호는 Charge Amplifier(Kistler Co.)

를 지나 엔진회전수와 상사점(Top Dead Center)위치를 인식하기 위한 Encoder(Automatics Co.) 신호와 함께 연소 해석기(DEWE-800, Dewetron Co.)로 보내져 크랭크각도에 따른 연소압력을 측정하도록 하였다. 이 측정결과로부터 엔진의 지시평균유효압력 및 질량연소율(Mass Fraction Burned, MFB) 등이 산출되어 연소의 안정성을 평가하는 변동계수( $COV_{Imep}$ )를 확인할 수 있다. 여기서 변동계수는 다음과 같은 식으로부터 얻어진다.

$$COV_{Imep} = \frac{\sigma_{Imep}}{IMEP} \times 100 (\%) \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{Imep}$  는 각 사이클의 지시평균유효압력의 표준편차,  $IMEP$  는 지시평균유효압력이다.

또한 본 연구에서는 디젤 전소엔진을 디젤-CNG 혼소엔진으로 개조하여 사용했기 때문에 원하는 혼소조건을 구현할 수 있도록 디젤 연료분사압력과 분사기간, 분사시기를 원활하게 제어하기 위하여 별도 인젝터 드라이버

와 혼소엔진용 범용 ECU를 조합하여 계측시스템을 구축하였다.

### 2.2 실험 방법

Table 2는 혼소엔진의 실험조건을 나타낸 것이다. 본 연구에서 CNG 혼소율은 투입되는 연료의 총 에너지 대비 가스연료로 공급되는 에너지의 비율로 정의하며, 다음과 같은 식으로부터 산출된다.

$$\text{Substitution rate} = \frac{m_{CNG} \times H_{L_{CNG}}}{m_{Diesel} \times H_{L_{Diesel}} + m_{CNG} \times H_{L_{CNG}}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서  $m_{Diesel}$ ,  $m_{CNG}$ 는 디젤 및 CNG의 연료유량이고,  $H_{L_{Diesel}}$ ,  $H_{L_{CNG}}$ 는 디젤 및 CNG의 연료저위발량이다. 이는 천연가스연료가 디젤연료를 대체하는 비율을 의미한다.

Table 2. Experimental conditions of dual fuel engine

Experimental condition	Description
Type of fuel	Diesel / CNG
Engine speed (rpm)	1,800
Torque (N·m)	500
Diesel injection pressure (MPa)	85
Diesel injection timing (BTDC, °CA)	16
Lower heating value of CNG (kcal/Nm <sup>3</sup> )	10,400
Substitution rate (%)	80, 85, 90

엔진실험은 열병합발전용 가스엔진으로서 활용할 수 있는 실험조건을 고려하여 1,800 rpm의 회전수에서 토크 500 N·m를 설정기준으로 실험을 수행하였다. 디젤연료의 분사압력과 분사시기는 각각 85 MPa과 BTDC 16°CA로 고정하여 분사압력이나 점화시기 변화에 따른 영향을 최소화하였다. 여기서 천연가스연료(CNG)는 현재 시중에서 유통되고 있는 10,400 kcal/Nm<sup>3</sup>의 저위발열량을 갖는 연료를 적용하였으며, 안정된 실험을 수행하기 위해 냉각수의 입구온도는 70°C, 인터쿨러의 출구온도는 40°C로 유지할 수 있도록 온도조절을 하였고, 스로틀밸브는 완전 전개된 상태인 WOT(Wide Open Throttle)로 제어하였다.

## 3. 결과 및 고찰

혼소엔진에서는 디젤연료의 분사시기와 분사량은 연소특성에 영향을 미치는 중요한 요인이 된다. 스파크플러그를 이용해 점화를 시키는 CNG 전소엔진과 달리 혼소엔진의 경우 CNG를 주 연료로 사용하지만 소량의 디젤연료의 압축을 통해 자기착화가 이루어지기 때문이다. 본 연구에서는 CNG 혼소율에 따라 공급되는 디젤과 CNG 연료의 양이 변화하므로 다른 변수인 디젤 연료분사시기에 대한 영향을 최소화하고 최대 토크를 나타내는 MBT(Minimum injection advance for Best Torque) 지점을 BTDC 16°CA로 고정하였다.

### 3.1 엔진성능 및 연소특성

Fig. 2와 Fig. 3은 CNG 혼소율에 따른 열효율 및 토크의 특성을 나타낸 것이다. 열효율은 공급한 에너지 대비 출력으로 계산하였으며, 혼소율이 증가할수록 열효율은 감소하는 경향을 보였고 80% 혼소율에 비해 90% 혼소율 조건에서 약 1.5% 가량 낮게 나타났다. 토크 역시 열효율과 유사한 경향을 나타냈으며, 혼소율에 따라 약 1.8% 가량 차이를 나타냈다. 이러한 원인으로서는 점화원으로 이용되는 디젤연료가 분무되어 미립화된 액적의 수에 비례하게 증가하게 되는데, 이때 발생하는 점화에너지는 점화플러그를 이용할 때보다 크며 더 넓은 범위에서 화염이 발생하기 때문이다. 따라서 디젤연료량이 감소할 경우 점화에너지가 감소하고 초기 화염발생 면적도 감소하여 착화 후 천연가스 예혼합기로 확산되는 시간이 더 필요하게 되므로 열효율과 토크가 감소하는 것으로 판단된다.

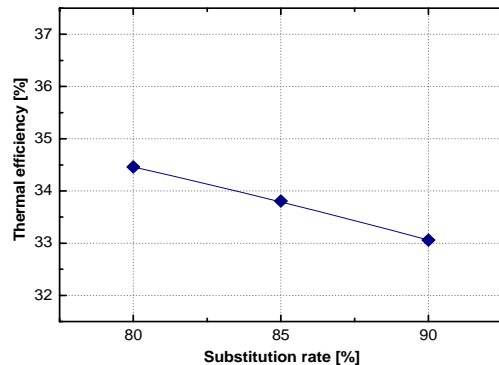


Fig. 2. Thermal efficiency characteristics according to CNG substitution rate

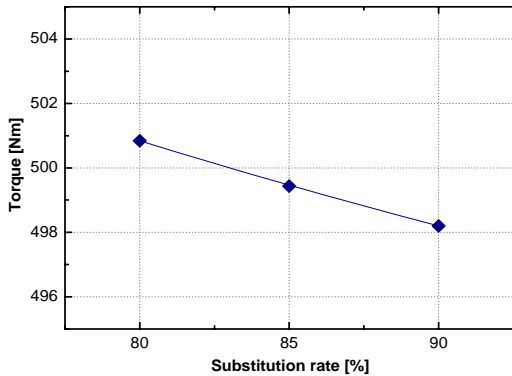


Fig. 3. Torque characteristics according to CNG substitution rate

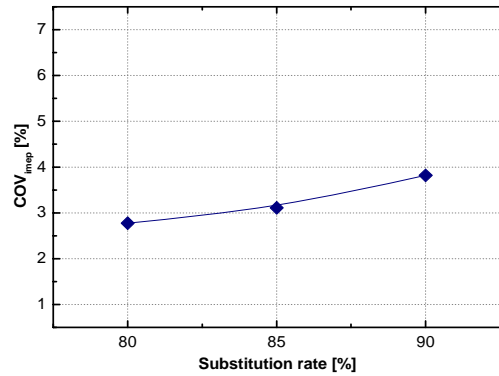


Fig. 4. COVimep characteristics according to CNG substitution rate

Fig. 4는 CNG 혼소율변화에 따른 연소안정성을 나타낸 것이다. 연소의 안정성을 평가하는 변동계수 ( $COV_{Imep}$ )는 식 (1)로부터 산출되며, 일반적으로  $COV_{Imep}$  5% 이하일 때 안정적인 연소상태로 판단할 수 있다. 그 결과로 CNG 혼소율에 따라  $COV_{Imep}$  가 약 1.2% 가량의 변화가 발생하였으나 5% 이하의 값을 나타내므로 디젤연료량의 증감은 혼소엔진의 운전에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 CNG 혼소율변화에 따른 연소특성을 나타낸 것이다. 실린더 압력특성은 분사시기 BTDC 16°CA에서 분사가 시작(SOI, Start Of Injection)된 후 약 BTDC 4°CA 부근에서 급격한 압력상승이 일어났으며, 혼소율 80%에서 실린더 최고압력이 가장 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 열방출율특성은 1차 열방출율이 발생하는 구간인 디젤 연소구간과 2차 열방출율이 발생하는 구간인 CNG 연소구간으로 구분할 수 있으며, 1차 열방출율이 발생할 때 혼소율 80%에서 최대열방출율을 나타냈다. 1차 최대열방출은 점화원으로 이용되는 디젤 연료량의 차이로 기인한 것으로 혼소율이 감소할수록 디젤연료량은 증가하게 되어 압축을 통해 착화될 때 더 많은 에너지를 발생시키기 때문에 혼소율 80%에서 가장 높게 나타나며 실린더압력 역시 가장 급격하게 상승한다. 또한 실린더 최고압력은 혼소율 80%에서 가장 높게 나타나지만 CNG 연소구간에서의 열방출율 최고점은 유사하게 나타남을 알 수 있다.

구체적인 연소특성을 살펴보기 위해 Fig. 6과 Fig. 7에 질량연소율(MFB)과 이를 바탕으로 계산한 착화지연 시간 및 연소기간을 각각 나타내었다. MFB은 실린더 내에서 발생하는 열이 방출되는 정도를 이용하여 연료의

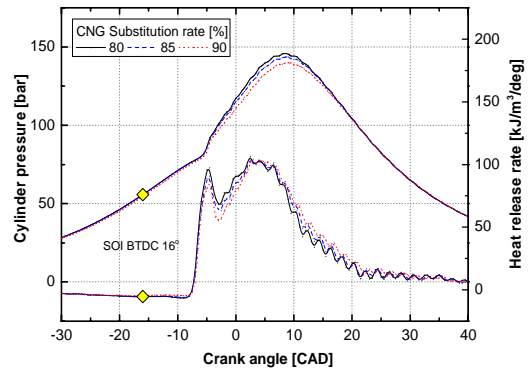


Fig. 5. Combustion characteristics according to CNG substitution rate

연소가 이루어지는 정도를 파악하는 지표로, 일반적으로 연료분사시기로부터 연료가 10% 연소되는 MFB 10까지를 착화지연시간, MFB 10에서 MFB 90까지를 연소 시간으로 정의한다. 혼소율이 증가할수록 CNG 연료량이 증가하고 디젤연료량이 감소하기 때문에 착화지연시간이 증가할 것으로 예상되었으며, 실제로 MFB 10지점은 약 1~2°CA의 차이를 나타냈으나 큰 차이를 나타내지는 않았다. Fig. 5를 통해 나타난 것처럼 BTDC 4°CA 부근에서 급격한 압력상승과 1차 최대열방출율이 발생하였다. 하지만 MFB 90 지점의 경우 80% 혼소율일 때에 비해 90% 혼소율에서 약 2~3°CA 가량 앞당겨져 연소기간이 상대적으로 3~5°CA로 짧아지는 것을 확인할 수 있다.

이러한 연소특성은 혼소율이 증가할수록 착화지연시간이 다소 길어지고 디젤연료에 의해 발생하는 화염면적이 상대적으로 적어 CNG 예혼합기로의 화염전파가 팽창행정에 가깝게 일어나기 때문에 연소기간이 다소 짧아

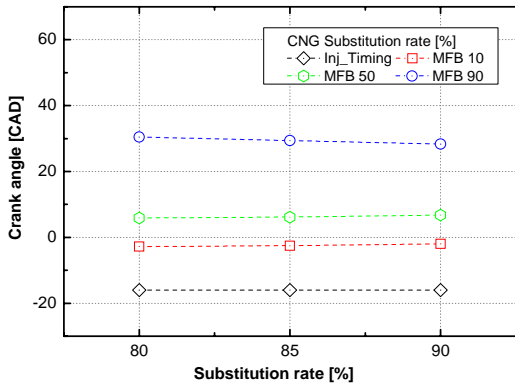


Fig. 6. Relationship between combustion duration and MFB points according to CNG substitution rate

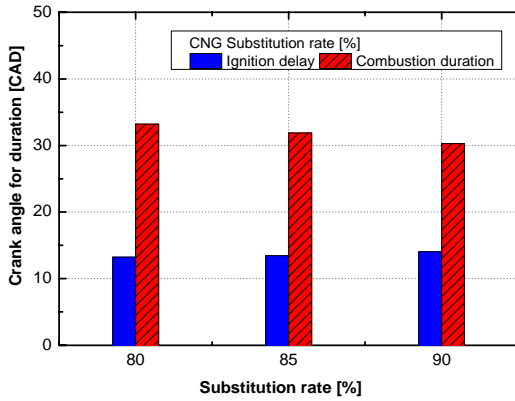


Fig. 7. Characteristics of ignition and combustion duration according to CNG substitution rate

지는 것으로 판단된다. 이상과 같은 결과로부터 혼소율 변화에 대한 연소특성을 고찰해봤을 때, 혼소율에 따른 디젤연료량의 차이로 인해 발생하는 점화에너지 및 화염 발생 면적의 차이는 실린더내의 최고압력 및 열방출율에 영향을 미치지만 이상연소와 같은 엔진의 연소현상에는 심각한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 이는 연소 안정성에서 확인할 수 있었으며, 혼소율에 따른 일부의 열효율과 토크의 감소는 디젤연료의 분사시기 최적화나 스로틀개도량 변화를 통한 공연비제어를 이용하여 최소화할 수 있을 것으로 판단된다[4],[5].

### 3.2 배출가스 특성

Fig. 8은 CNG 혼소율에 따른 배출되는 THC와 CH<sub>4</sub> 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로 THC와 CH<sub>4</sub> 모두 혼소율이 증가함에 따라 배출량이 혼소율 80%일 때에 비해 혼소율 90%에서 각각 약 21.5%와 22.8% 정도로 높

게 증가하여 배출됨을 확인하였다. 이는 혼소율이 증가할수록 CH<sub>4</sub>의 배출량이 증가하여 THC 배출량이 증가하는 원인은 실린더내의 천연가스연료가 불완전한 연소를 하게 되어 미연탄화수소의 형태로 배출되기 때문이라 사료된다.

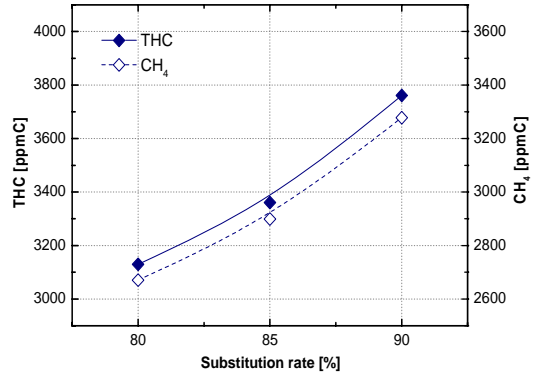


Fig. 8. Effects of CNG substitution rate on THC and CH<sub>4</sub> emission

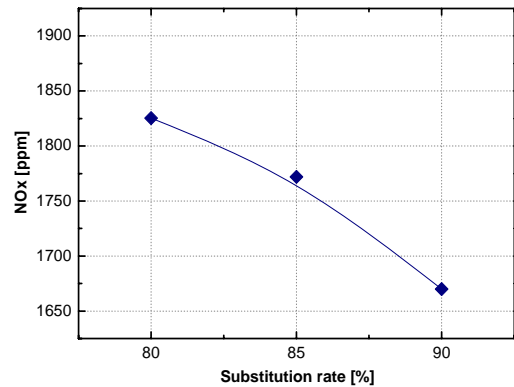


Fig. 9. Effects of CNG substitution rate on NOx emission

Fig. 9는 CNG 혼소율에 따른 NOx 배출특성을 나타낸 것으로 혼소율이 증가할수록 NOx 배출량이 감소한다. 일반적으로 NOx의 생성은 연소 최고온도와 밀접한 관련이 있으며, 연소 최고온도가 높을수록 배출량은 기하급수적으로 비례하여 증가한다. 따라서 디젤 연료분사량이 적고 혼소율이 높을수록 디젤유의 착화에 의한 가스연료의 착화 및 화염전파 효과가 감소하므로 Fig. 5에서 볼 수 있는 것처럼 연소압력이 낮고, 열방출율 특성이 늦게 지연됨으로써 연소 최고온도가 낮아져 NOx 생성이 억제됨을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 디젤-CNG 혼소엔진에서 CNG 혼소율 변화에 따른 성능 및 연소 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

- (1) CNG 혼소율이 증가할수록 디젤연료량이 감소하여 착화에너지가 감소하고 초기 발생화염면적 역시 감소하여 성능이 감소하였다.
- (2) 디젤연료량이 증가할수록 1차 열방출율이 더 높게 나타나며 실린더압력 역시 가장 급격하게 상승한다. 따라서 혼소율 80%에서 실린더압력의 최고점이 나타난다.
- (3) MFB 10 지점의 경우 1~2°C 이내의 큰 차이를 보이지 않았지만, MFB 90 지점의 경우 혼소율 90%에서 약 2~3°C 가량 앞당겨진 것을 확인하였다.
- (4) CNG 혼소율이 증가할수록 착화지연기간이 다소 길어지고 디젤연료에 의해 발생하는 화염의 면적이 상대적으로 적어 CNG 예혼합기로 확산화염이 이루어지기 때문에 연소기간이 짧아지는 것을 알 수 있었다.
- (5) CNG 혼소율이 증가할수록 THC 배출량은 증가하고 NOx 배출량을 감소하는 배출가스특성을 나타내었다.

## References

- [1] C. Schwarz, E. Schunemann, B. Durst, J. Fischer, A. Witt, "Potentials of the spray-guided BMW DI Combustion System", SAE, 2008-01-1285, 2008.  
DOI: <http://doi.org/10.4271/2006-01-1265>
- [2] H. T. Kim, J. G. Park, Y. J. Kim, "Technology development trend of shale gas and oil", Journal of the KSME, Vol. 54, No. 11, pp. 46-51, 2014.
- [3] D. S. Oh, J. W. Sung, S. J. Lee, "The application and development of the evaluation indicators in accordance with the planning stages of low-carbon city", Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 9, pp. 4560-4571, 2013.  
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4560>
- [4] Y. R. Kim, H. J. Jang, C. G. Kim, "Effects of CNG heating value on combustion characteristics of a diesel-CNG dual-fuel engine," KIGAS, Vol. 19, No. 6, pp. 28-33, 2015.

DOI: <http://doi.org/10.7842/kigas.2015.19.6.28>

- [5] H. J. Jang, J. K. Yoon, S. Y. Lee, Y. R. Kim, J. H. Kim and C. G. Kim, "Effect of CNG heating value variations on emissions characteristics in a diesel-CNG dual-fuel engine", KIGAS, Vol. 21, No. 6, pp. 43-49, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.7842/kigas.2016.20.6.43>
- [6] C. W. Park, S. H. Park, Y. G. Lee, C. G. Kim, S. Y. Lee and Y. Moriyoshi, "Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific bio gas blended with hydrogen", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, No. 16, pp. 10080-10088, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.05.018>
- [7] B. J. Jun, M. H. Park, "An experimental study on engine performance of LPG/gasoline bi-fuel", Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 10, No. 7, pp. 1433-1438, 2009.
- [8] Wagemakers A. M. L. M, Leermakers C. A. J, "Review on the effects of dual-fuel operation, using diesel and gaseous fuels, on emissions and performance", SAE, 2012-01-0869, 2012.  
DOI: <http://doi.org/10.4271/2012-01-0869>
- [9] O. T. Lim, "Study on performance and emission characteristics of CNG/diesel dual-fuel engine", KSME, Vol. 35, No. 9, pp. 869-874, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.3795/ksme-b.2011.35.9.869>
- [10] G. H. Choi, O. T. Lim, "The Engine Performance and emission characteristics of CNG/Diesel dual-fuel engine by CNG mixing ratio," KSAE, Vol. 19, No. 3, pp 38-43, 2011.

장형준(Hyeong-Jun Jang)

[준회원]



- 2015년 2월 : 가천대학교 기계-자동차공학과 (공학학사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

열유체공학, 내연기관

**이 선 엽(Sun-Youp Lee)**

[정회원]



- 2006년 2월 : Stanford University 기계공학 (공학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국기계연구원(KIMM)

<관심분야>  
내연기관

**임 종 한(Jong-Han Lim)**

[정회원]



- 1986년 2월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1992년 8월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>  
열유체공학, 자동차공학

**김 창 기(Chang-Gi Kim)**

[정회원]



- 1999년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국기계연구원(KIMM)

<관심분야>  
내연기관

**윤 준 규(Jun-Kyu Yoon)**

[정회원]



- 1987년 8월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 명지대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>  
열유체공학, 자동차공학

**조 정 권(Jeong-Kwon Cho)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2016년 8월 : 가천대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 교통안전공단

<관심분야>  
내연기관, 자동차공학