

(논문) SAE NO. 97370093

# 혼합연료의 천연가스량이 디젤기관의 배기가스에 미치는 영향

## Effects of the Amount of Natural Gas in Fuel Blends on the Exhaust Gas of the Diesel Engines

박 명 호\*, 김 성 준\*  
M. H. Park, S. J. Kim

### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate how the natural gas in fuel blend influences the pollutant emission of diesel engine. Four stroke cycle single cylinder engine is used for this experiment and four kind of fuel blends were made. Fuel blends show four different torque ratios between diesel oil and natural gas, which are 4 : 0, 3 : 1, 2 : 2 and 1 : 3. The constituents of exhaust gases of engine are analyzed for every fuel blend. The experimental results say that the mixing of natural gas into diesel fuel is an very effective way to reduce the amount of soot in the exhaust gas.

주요기술용어 : Diesel Engine(디젤엔진), Natural Gas(천연가스), Ignition Delay(착화지연), Exhaust Gas(배기가스), Dual Fuel(다상연료)

### 1. 서 론

최근 석유자원의 고갈 및 자동차 배기가스에 의한 환경오염이 매우 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 따라서 종래의 석유계 연료로부터 탈피, 환경에 부드럽고 장기적으로 안정하게 공급될 수 있는 저공해 에너지로, 천연가스가 자동차용 대체연료로 주목을 모으고 있다. 천연가스는 단위 발열량당 이산화탄소의 발생이 적고, 배기가스가 깨끗하며 공급의 안정성이 좋고 석유와 다르게 세계각지에 넓게 분포되어 있다는 연료로서의 많

은 장점을 가지고 있다.<sup>1)</sup>

천연가스를 엔진용 연료로 이용하는 한 방법으로, 디젤기관에 예혼합시켜 불꽃점화시키는 방법이 시도되고 있으나, 이 방법을 사용하면 배기가스의 정화는 실현되지만 노킹을 피하기 위하여 압축비를 낮추어야 하고 또한 펌프손실이 발생하기 때문에 디젤기관이 갖는 고효율을 잃어 버릴 수가 있다.<sup>2)</sup>

디젤기관의 배출가스에서 특히 문제로 지적되고 있는 것은 NOx와 흑연으로, 이들은 서로 트레이드오프(Trade Off)의 관계에 있기 때문에 동시에 저감시킨다는 것은 어렵다고도 볼 수 있고, 이 이외에 CO, HC 등을 예로 들 수 있으나,

\*정회원, 강원대학교 기계공학과

가솔린기관과 비교하여 배출량이 아주 적으므로 문제시 되지는 않는다고 볼 수 있다. 이에 비하여 천연가스는 CO, HC뿐만 아니라 NOx, 흑연 등도 그다지 배출되지 않는 저공해 연료라 말할 수 있다.

그러나, 천연가스를 디젤기관에 이용할 경우 직접 압축착화하는 것이 불가능하기 때문에 경유를 착화제로 하는 연료분사 방식을 채택하고, 경유와 천연가스 두가지 연료를 혼합하여 사용하기 때문에 이중연료방식(Dual Fuel Method)이라 하였다.<sup>3),4)</sup> 본 방식은 다수의 점화원을 갖는 다점착화이기 때문에 연소속도가 느리다는 천연가스의 단점을 보완할 수 있고, 또한 압축비를 크게 할 수 있다는 디젤기관의 장점을 살리고 공해물질의 배출량을 줄일 수 있다는 점에서 많은 잇점을 갖고 있다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대체연료의 개발 및 배기가스의 저감을 목적으로 천연가스를 경유와 혼합한 이중연료시스템(Dual Fuel System)을 이용, 운전실험을 행하여 연료의 혼합비 및 회전수의 변화가 NOx, 흑연등의 배기가스에 미치는 영향에 관하여 비교 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 엔진 본체, 동력계(Unipulse株式會社, F-360形), 공기량 측정장치, 연료량 측정장치(愛知時計電氣株式會社, FLI5-21), 흑연농도 측정장치(光明理化學株式會社, ST-100N形), NOx 측정장치(島律製作所, NO 305形), CO 및 HC 측정장치(株式會社best 測器, BIR-400)로 구성되어 있으며, 실험장치의 개략적인 구성은 Fig.1과 같다. 엔진 본체는 4사이클 단기동 특수와류실식 디젤엔진으로, 배기량 276cc, 압축비 24.5이다. 실험엔진의 제원을 Table 1에 나타내었다.

이중연료시스템은 기존의 디젤엔진에 천연가스 연료공급장치를 추가 설치한 것으로, 기본적으로 엔진 본체는 일체의 가공을 하지 않았고, 흡기계

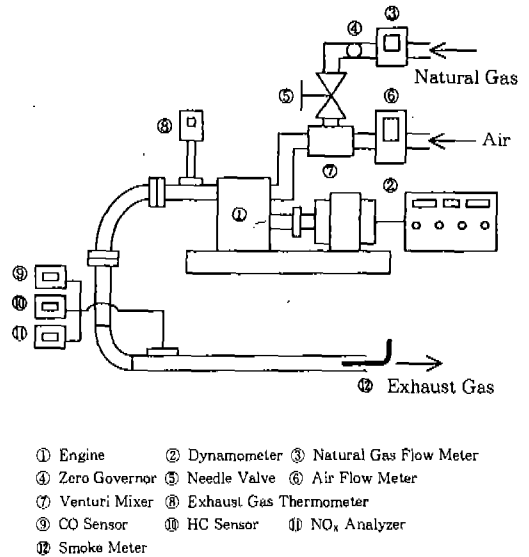


Fig.1 Schematic Representation of the Experimental Apparatus

Table 1 Test Engine Specifications

Type(KUBOTA)	OC62D
Engine Type	Swirling Injection
Displacement	0.276L
Bore × Strok	72mm × 69mm
Compression Ratio	24.5

및 배기계에 약간의 측정기구 추가만을 하였다. 흡기계에는 엔진이 공기를 흡입할때 천연가스를 부압을 이용 흡입시키도록 벤츄리 혼합기를 설치하였고, 천연가스 유량을 조절하기 위하여 거버너와 니들밸브를 설치하였다. 배기가스 분석장치에는 NOx분석기, 스모그 측정기, CO 및 HC센서를 사용하였다. 이 이외에 엔진 크랭크축에 와전류식 전기동력계를 연결하여, 회전수와 토크의 제어 및 측정이 이루어 지도록 하였다.

### 2.2 실험방법

실험방법은 경유와 천연가스의 혼합비율이 배기가스에 미치는 영향을 알아 보기 위하여, 전부하 운전시에 있어서 회전수를 설정하여 이때 발

생한 토크값을 기준으로 하였다. 즉 연료의 분사량을 조절하여 전부하시의 3/4, 2/4, 1/4의 3종류의 토크를 발생시키고, 이 상태에서 토크 값이 다시 전부하 운전시의 토크 값이 되도록 엔진의 흡기측에 천연가스를 공급하였다. 위와 같은 방법으로 경유와 천연가스 혼합비율을 4종류로 설정하였다. 또한 이중연료기관(Dual Fuel Engine)의 경우 경유는, 연료로서의 역할이외에 천연가스의 착화제 역할도 하기 때문에, 경유의 분사시기가 천연가스의 연소상태에 영향을 미치리라 생각된다.<sup>5)~7)</sup>

또한 엔진속도의 변화에 의한 영향을 관찰하기 위해서 회전수는 1500, 2000, 2500 및 3000rpm으로 하였고, 이때의 엔진의 분사시기는 혼합연료 사용시 배출가스 저감효과가 가장 큰 것으로 밝혀진 11.5°로 설정하였는데 이 값은 경유만을 사용할 때의 연료분사시기로부터 4.5° 늦추어진 값이다. 이렇게 하여 연료의 혼합비 및 회전수의 변화를 조사시켜 배기가스에 미치는 영향을 살펴보았다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 NOx에 관하여

Fig.2는 BTDC 11.5°에 있어서 경유와 천연가스비율을 변화시켜 얻어진 NOx의 측정결과를 나타내었다. 특히 질소는 안정된 원소로 간단히 산화되지는 않지만, 고온, 고압이 존재하는 환경에서는 산화하여 NOx가 된다. 엔진의 연소실은 NOx의 발생조건을 충분히 갖추고 있다고 볼 수 있으며 NOx의 발생은 연소온도의 상승과 함께 증가하는 경향이 있고, 일반적으로 연소온도가 2000℃를 넘으면 급격히 늘어난다는 보고가 있다. 이번 실험의 경우 천연가스비율이 증가할수록 NOx는 증가하는 경향이 확인되었다. 이것은 NOx는 온도의 영향을 많이 받고, 천연가스가 디젤 엔진에 흡입되면 스스로의 압축착화성이 나빠서 연소되지 않고 대기 상태로 있다가 경유가 착화되는 시점에 착화되면서 그 때 까지 증발 혼합된 경유와 거의 동시적으로 연소하기 때문에 질소산화물 생성이 증가되었다고 추정된다. 또한,

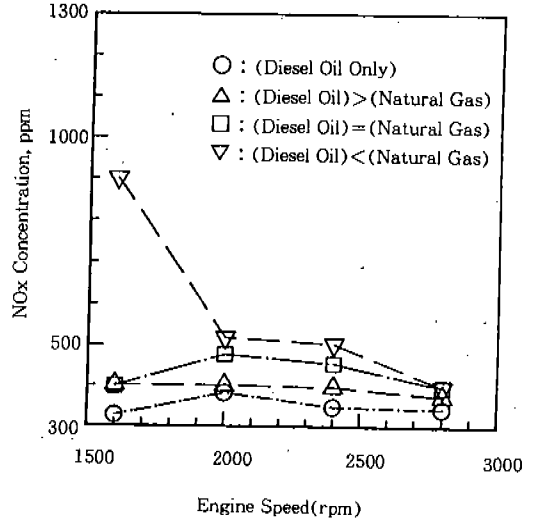


Fig.2 Result of NOx Concentration Measurement

연료비율에서 천연가스량을 많이 첨가했을 경우, 1600rpm부근에서 노킹이 확인되었고 이 경우도 NOx가 증가함을 확인 할 수 있었다.

착화지연시간이 긴 연료를 사용한 경우와 초기에 다량의 연료를 연소실내에 분사한 경우 노킹이 주로 발생한다. 이번 실험의 경우 착화지연시간이 긴 천연가스를 사용했기 때문에 노킹이 발생하였다고 사료된다.

#### 3.2 흑연에 관하여

Fig.3도 분사시기 BTDC 11.5°에 있어서 각 연료비에서의 흑연농도의 변화를 나타낸 것이다. 이번 실험에서는 천연가스 비율이 증가할수록, 흑연량이 감소함이 확인되었다. 흑연은 산소가 적은 분위기에서 액체연료의 탄화수소분자가 화학반응을 거쳐 대부분의 수소가 제거된 200~300Å의 검댕입자가 되고, 이들이 0.5~2.0m의 덩어리로 되는 것으로 과농혼합기의 경우와 연소실온도가 흑연의 양을 결정한다고 되어 있다. 즉, 흑연량이 감소한것은 액체연료인 경유의 분사량을 줄이고 균일하게 예혼합된 천연가스 비율을 증가시켰기 때문이라고 보여진다.

또한, 천연가스량을 증가시켰을 경우(그림에서 ▽표시) 1600rpm부근에서 흑연농도가 증가함을

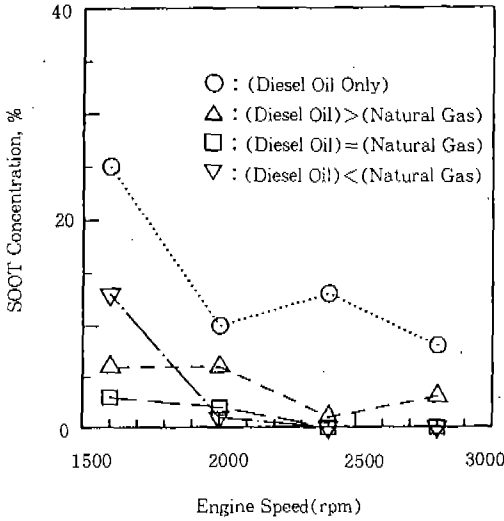


Fig.3 Result of Soot Concentration Measurement

볼 수 있었는데, 이것은 혼합연소시 공연비가 높아진 결과라 사료된다.

지금까지의 실험에서는 천연가스를 엔진용 연료로 이용하기 위하여 예혼합연료로서 메탄을 사용하였고, 그 결과 배기중의 유해배출물 농도가 감소함을 확인 할 수 있었다. 그러나, 메탄비율을 증가시킨 경우와 회전수가 낮은 영역에서는 노킹이 발생되었고, 이것은 실영역이 아니기 때문에 큰문제는 아니라 생각되지만, 발생원인은 메탄의 연소속도가 느리다는데 그 원인이 있다고 볼 수 있다. 따라서 구형용기<sup>9)</sup>에서 연소속도의 증가와 그 정도가 확인된 메탄에 의한 혼합연료가 흑연의 배출농도에 미치는 영향에 관해서 살펴보기로 하였다. 그 결과를 Table 2에 나타내었고, 운전조건은 BTDC 16°, 토크 16N·m 및 회전수는 2000rpm이다.

경유/메탄의 경우 흑연농도가 완전히 정화되지 않을 정도로 연료의 혼합비율을 조절함으로써 배출가스 중 흑연농도 차이가 현저하게 나타나도록 하였고 배출 가스를 분석한 결과 경유/메탄의 경우 흑연 배출량이 현저하게 낮아짐을 확인 할 수 있었다.

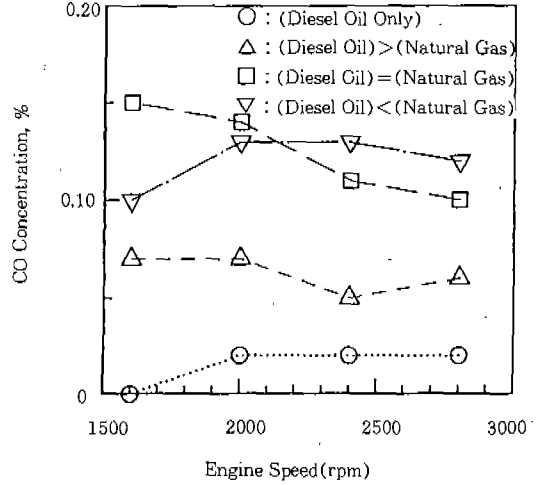


Fig.4 Result of CO Concentration Measurement

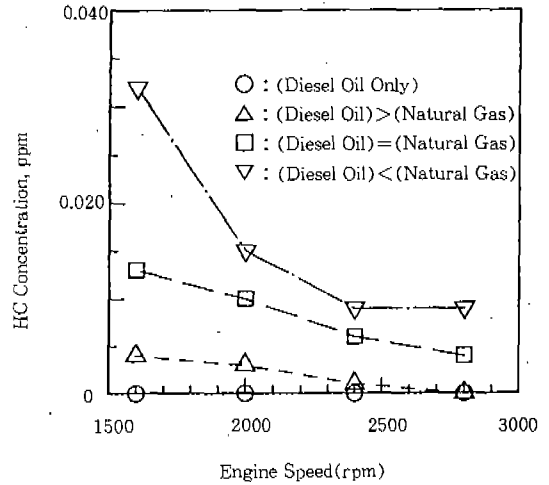
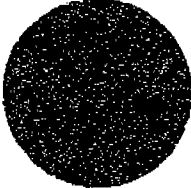
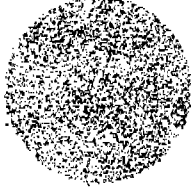
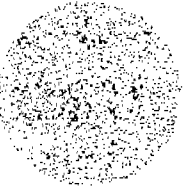


Fig.5 Result of HC Concentration Measurement

### 3.3 CO, HC에 관하여

Fig.4는 CO농도를 Fig.5는 HC농도의 측정결과를 나타내었다. 실험결과 CO, HC의 배출농도가 모두 낮아짐을 알 수 있었다. 디젤기관에서는 보통 이론공연비를 넘어서 운전되기 때문에, 연소실내에서는 충분한 공기가 존재하고 희박연소가 되기 때문에 CO, HC의 배출은 적어진다. 그

		Diesel	Dual Engine by CH <sub>4</sub>	Dual Engine by CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>
Torque Ratio by each Fuel	Diesel Oil	16	15	15
	CH <sub>4</sub>	—	1	—
	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	—	—	1
Soot Concentration(%)		58.0	21.5	14.0
Sampling Filter				

〈Operating Conditions〉 Inj.Timing BTDC 16 DED  
 Torque 16N·m  
 Engine Speed 2000rpm  
 \*CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>(80/20(% Vol))

러나, 미량이지만 CO, HC가 배출되는 것은, 디젤기관은 확산연소로 연소실내에 불균일한 혼합가스가 생겨 국부적으로 혼합기가 과농 혹은 희박상태가 되기 때문이라 생각된다. 국부적으로 산소부족 상태가 되면 CO가 발생하고, 천연가스로써 HC도 배출된다.

천연가스를 첨가하였을 경우 CO, HC배출농도가 증가됨이 확인되었으나, CO에 관해서는 일부 공기대신 천연가스를 흡입시켰기 때문에 국부적으로 산소부족이 현저하게 됨으로써 발생되었다고 사료된다. HC의 농도 또한 천연가스량을 증가시킬수록 비례하여 증가하는 경향을 볼 수 있었는데, 이것은 천연가스를 흡입할 때, 밸브가 오우버랩 되어 연료가 미소량 그대로 배출되었기 때문이라 생각된다. 즉, 흡기측으로의 역류의 가능성도 있으나 배기측을 통한 연료의 배출도 무시할 수 없으므로 그만큼 발열량의 저하가 일어나고 이로인한 온도강하가 HC의 농도를 증가시켰다고 볼 수 있다. 이것은 HC배출량이 회전수가 낮을때 증가한다는 사실로 부터도 입증이 된다고 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통해 디젤기관에 천연가스를 이용함으로써 NOx의 배출농도는 증가하는 경향이 나타났으나, 흑연의 배출농도는 크게 저감됨을 확인할 수 있었다. 반대로 CO, HC의 배출농도는 증가하였으나 문제가 될 정도는 아니리라 생각된다.

이상과 같이 본 연구에서는 미래의 대체연료로 주목을 받고 있는 천연가스가 디젤기관의 배기가스에 미치는 영향에 관해서 살펴 보았다. 이들 결과가 앞으로의 천연가스의 이용확대에 크게 기여할 수 있으리라 사료된다.

#### 후 기

본 연구를 수행하는데 있어 협력하여 주신 규승공업대 연소실험실 여러분께 감사사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 仲棟一郎, 莊司不二雄共著：“가스燃焼の理論

- と實際”, 省エネルギーセンター, pp.9~29, 1992.
2. 佐藤, 齋藤, 大聖: “デュアルフューエルガスディーゼル機関の燃焼, 自技會講演前刷集, No.934, pp.21~24, 1993.
3. Naber, J. D. and Siebers.: “Effects of natural gas composition on ignition delay under diesel conditions”, Combustion and Flame 99, pp.192~200, 1994.
4. 夏目浩司, 新井 實, 石田史郎: “CNGエンジンの開發”, 内燃機關, Vol.32, No.399, pp.31~34, 1993.
5. 大道寺 達: “ディーゼル機関燃焼室設計の理論と實際”, 内燃機關, Vol.25, No.321, pp.81~86, 1986.
6. 橘 武史: “天然ガスエンジンの稀薄燃焼化”, 内燃機關, Vol.32, No.399, pp.25~29, 1993.
7. 平島繁紀, 橘 武史: “内燃機關の點火方式變更による燃焼改善”, 内燃機關, Vol.29, No.367, pp.83~87, 1990.
8. Park, M. H. and Tachibana, T.: “Combustion Characteristics of Methane/Hydrogen-Air Mixtures”, Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting '95, pp.744~749, 1995.