

## 직분식 디젤기관의 메탄올 흡기분사에 의한 기관성능과 배기배출물에 관한 연구

김명수 · \*라진홍 · \*\*안수길

부경대학교 교육대학원 · \*부경대학교 탐양호 · \*\*부경대학교

(2000년 7월 15일 접수)

## A Study on the Engine Performance and Exhaust Emission with Intake Port Methanol Injection in a DI Diesel Engine

Myoung-Soo Kim, \*Jin-Hong Ra and \*\*Soo-Kil Ahn

Graduate school of Education, Pukyong National University,

\*Chief Engineer of Tam-yang-ho, Pukyong National University,

\*\*Pukyong National University

(Received July 15, 2000)

### Abstract

In order to investigate the effectiveness of methanol, which has high latent heat of evaporation and oxygen contents, for DI diesel engine performance and exhaust emission, the methanol was injected at the suction port of DI diesel engine. The injector used for test was conventional gasoline engine injector and controlled the quantity of methanol per cycle by the power supply controller which designed specially for injector.

The results shown that the maximum pressure point was delayed, the value of maximum pressure was decreased, and the concentrations of both NOx and Soot were decreased, as the methanol injection quantity increased, and also the thermal efficiency of engine injected methanol under the high load condition was similar to no methanol injection but under the medium load condition was decreased within the experimental conditions.

Key Words : Methanol(메탄올), DI Diesel Engine(직분식 디젤엔진), Exhaust Emission(배기 배출물), Injector(분사기), NOx(질소산화물), Soot(그을음)

### 서 론

지구온난화의 주 요인으로 지목되는 CO<sub>2</sub>는 주로 화석에너지의 연소로부터 생성되며, 1997년 도

교협약에서 차후의 CO<sub>2</sub>배출량 규제에 대한 논의 가 진행되었다<sup>1)</sup>. 이에 따라 향후 소형 자동차 등에도 가솔린기관보다는 효율이 높은 디젤기관의 사용이 점차 증가하리라 예측된다. 그러나, 디젤기

관은 배기 성분 중 유해성분인 질소산화물(NOx)과 그을음(soot) 등의 배출이 많아, 이의 저감을 위한 기술의 개발이 당면 과제이다.

디젤연소에 있어서 NOx는 연소온도가 높은 연소장에서 많이 생성되므로, 이를 줄이기 위해서는 실린더 내에서의 연소온도를 낮추고 고온 상태의 유지시간을 짧게 하여야 한다. 이는 예혼합연소 부분을 줄여 초기온도를 낮게 하고 확산연소를 촉진시켜 연소시간을 짧게 함으로써 달성 할 수 있다. 이를 위한 방법으로 초고압 분사<sup>2)</sup>, 연료 분사 시작시기 지연, EGR의 적용, 흡기구 물분사 등 다양한 방법들이 제안되고 있다<sup>3,4)</sup>.

이 중 연료의 분사 시작시기 지연법은 지나치게 지연시켰을 시 출력 저하, 매연 증가 등을 유발하므로 극히 제한적이며, EGR을 디젤기관에 적용하면 고부하 운전 영역에서 신기의 부족으로 매연의 배출이 증가한다. 흡기구 물 분사법은 그을음의 배출과 연료 소비율의 증가 없이 NOx를 저감할 수 있다고 보고하고<sup>5)</sup> 있으나, 사용 연료에 비해 물의 소요량이 지나치게 많기 때문에 EGR과 물 분사를 혼용하는 방법에 대한 연구가<sup>6)</sup> 진행되고 있다.

본 연구에서는 상기와 같이 시도되고 있는 종래의 여러 방법들과 함께 간단한 장치와 적은 비용으로 배기의 유해성분을 줄일 수 있는 한 방안으로, 청정 연료이면서 증발 잠열이 큰 메탄올을 직분식 디젤기관 흡기구에 분사하는 방법을 시도하였으며, 흡기구에 메탄올을 분사하였을 경우의 기관 운전 조건에 따른 기관성과 연소특성 및 유해 배출 상태를 파악함으로써, 유해배출 저감을 위한 메탄올 사용의 타당성을 검토하였다.

### 메탄올의 특성

분자식 CH<sub>3</sub>OH의 메탄올은 가장 간단한 구조의 알코올로서 메틸알코올(methyl alcohol)이라고도 하며, 목재의 건류로 얻어진 목초액에서 얻어지기 때문에 목정(wood spirit)이라고도 한다. Table 1은 메탄올과 디젤유, 가솔린의 특성 비교이다<sup>7)</sup>.

메탄올은 상온에서 운송, 저장 및 유량제어 등이 비교적 용이하며, 옥탄가가 높고 희박연소한계

Table 1. Comparison of fuel properties.

Properties	Methanol	Disel	Gasoline
Fomula	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>N</sub> H <sub>1.8N</sub>	C <sub>N</sub> H <sub>1.87N</sub>
Oxgen Content (wt%)	50.0	0	0
Lower Heating Value(kJ/kg)	20093	42823	43953
Stoich. Mixture Ratio	6.45	14.5	14.6
Boiling Point (°C)	64.4	180~350	30~200
Heat of Vaporization(kJ/kg)	110.	272	350
Cetane Number	3	45~55	14
Ignition Temperature(K)	470~530	250~350	380~460
Ignition Limit (% by Vol. of Gas in Air)	5.5~26.0	0.6~6.5	0.6~0.8
Max. Burning Speed (cm/s)	55	37	38

가 넓어 고압축비 희박연소기관을 실현할 수 있다. 그리고, 메탄올은 증발잠열이 크기 때문에 기존의 가솔린 기관에 사용하면 흡기 온도의 강하가 크게 일어나므로 흡기의 밀도가 증가될 뿐만 아니라 연소속도가 빠르고, 희박연소 한계도 넓기 때문에 열효율을 향상시킬 수 있다. 그러나, 압축착화 기관인 디젤기관의 경우 착화가 불가능하여 착화보조장치가 필요하며, 디젤기관에 직접 사용할 수 없으므로 석유계와 Blending하거나 Fumigation하는 방법이 이용된다.

Blending할 경우, 가솔린과의 혼합성은 양호하나, 디젤기관 연료인 경유와는 잘 혼합되지 않는 것으로 알려져 있다. 강제 혼합하여 디젤기관에 사용할 때에도, 분사펌프의 윤활과 같은 기계적 문제뿐만 아니라 착화성에 문제가 있으며, 연료공급 부품 중 아연 또는 알루미늄 등과 같은 재질에 대해서는 부식 작용이 석유계보다 현저하고, 고무계 등의 비금속 재료에 대해서도 경화, 균열 등 재료 열화를 촉진시킨다<sup>8)</sup>. 그러나, 흡기구(吸氣口)에 Fumigation을 할 경우, 연료의 분사가 저압 하에서 이루어지므로, 고압연료 공급에 필요한 재질 및 윤활 상의 문제점은 어느 정도 극복 할 수 있다.

메탄올의 흡기구 분사는 증발잠열에 의한 흡기 온도를 저하시키며, 메탄올 공급량이 과대할 경우, 실린더 내 압축온도의 저하로 착화되지 않을 수도 있다. 따라서, 흡기구에서 메탄올을 분사시킬 때 실화(misfire)를 일으키지 않는 최대 공급량

을 이론적으로 계산해 볼 필요가 있다.

메탄을 기관 흡입구에 분사할 경우, 메탄의 증발에 의한 흡입 혼합기의 강하 온도는 다음 식에서 구해진다.

$$T_i = T_A - \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{h_{fg}}{(A/F)C_{PA} + C_{PF}} \quad (2)$$

여기서,

- $T_i$  : 흡입 혼합기 온도
- $T_A$  : 흡기구로 흡입되는 공기온도(K)
- $A/F$  : 공기의 몰수/ 연료의 몰수
- $C_{PA}$  : 공기의 정압비열(kJ/kmolK)
- $C_{PF}$  : 연료의 정압비열(kJ/kmolK)

$h_{fg}$  = 메탄올의 증발잠열(=33780 kJ/kmol)

그리고, 흡입과정에서 강하된 흡입 혼합기 온도  $T_i$ 가 피스톤에 의해 단열압축될 때, 압축행정 중 각 크랭크 각도에서의 혼합기 온도  $T_f$ 는 이상기체 방정식에서 다음과 같이 개략적 계산이 가능하다.

$$T_i V_i^{k-1} = T_f V_f^{k-1}$$

$$T_f = T_i \left( \frac{V_i}{V_f} \right)^{k-1} \quad (3)$$

여기서,

- $V_i$  : 실린더 체적( $m^3$ )
- $V_f$  : 크랭크 각도에서의 체적( $m^3$ )
- $k$  : 비열비

한편, 현재 일상생활에서 소비되고 있는 에너지의 대부분은 석유, 석탄, 천연가스 등의 탄화수소가 주성분인 화석연료이다. 이 연료들이 연소할 때 생성되는 연소생성물은 환경, 특히 대기오염에 심각한 영향을 끼친다. 탄화수소(CmHn)가 완전연소하면  $H_2O$ 와  $CO_2$ 가 생성되지만, 실제 연소에서는 불완전 연소에 의한 일산화탄소(CO), THC(total hydrocarbon), PM(particulate matter) 및 고온에 의한 질소산화물(NOx)의 생성과 함께 저질유 사용시 황산화물(SOx) 등이 생성되기도 한다.

특히, 디젤기관 연소시 다량 생성되는 NOx는 환경오염의 주범인 유해물질이며, 그 대책을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

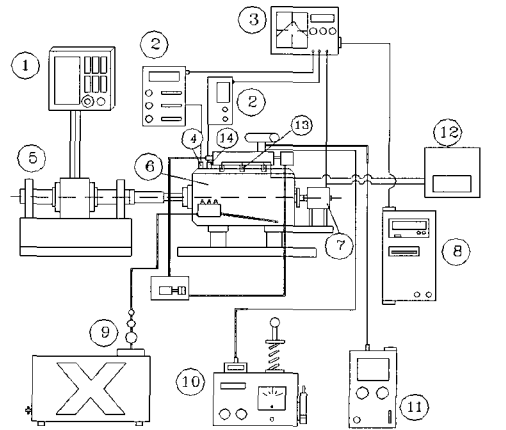
## 실험장치 및 실험방법

### 1. 실험 장치

본 실험에 사용한 기관의 주요 재원은 Table 2와 같이 직분식 소형 3기통 디젤기관이다. 그리고, 이 기관을 대상으로 행한 실험장치는 Fig.1과 같이 구성하였다. ⑥이 시험하고자하는 기관이며, ⑤의 와류식 동력계와 그의 컨트롤러①에 의해 부

Table 2. Engine specifications

Type	4 Stroke naturally-aspirated
Combustion chamber	Star shape deep bowl type
Number of cylinder	3
Bore × Stroke	100 × 110
Compression ratio	17.6
Injection nozzle	Multihole nozzles (Φ0.26mm, 5 hole)
Power	35kW(2600rpm)
Injection pressure	190kgf/cm <sup>2</sup>



- ① Dynamometer controller
- ② Amplifier
- ③ Oscilloscope
- ④ Cylinder pressure sensor
- ⑤ Dynamometer
- ⑥ Test engine
- ⑦ Rotary encoder
- ⑧ Computer
- ⑨ Fuel flow meter
- ⑩ Smoke meter
- ⑪ Exhaust gas analyzer
- ⑫ Power supplier of methanol injector
- ⑬ Methanol injector
- ⑭ Valve lift sensor
- ⑮ Methanol tank & pump

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

하와 회전수가 제어된다. 운전 중 기관의 TDC 및 크랭크 각도를 감지하는 엔코더⑦와 연소실의 압력을 감지하는 피에조 압력센서④의 신호는 ③의 디지털 오실로스코프로 수집한다. 그리고, 유량계⑨, 보쉬식 스모그미터⑩, 가스분석기⑪는 각각 연료소모량, 그을음농도, NOx와 CO농도 등을 측정하는 계측기이다.

한편, 흡기구에 공급하는 메탄올은 승용차용 가솔린 분사시스템에 사용하는 연료 인젝터를 사용하였으며, ⑬과 같이 각각의 실린더 흡입구에 1개씩 설치하였다. 메탄올의 분사는 크랭크축 1회전마다 1회씩 행해지며, 분사량은 인젝터의 솔레노이드 여자 기간을 0.1ms단위로 조정 가능한 전원 제어장치에 의해 제어된다.

메탄올 인젝터의 전원 제어에 의한 분사량을 알기 위해 전원 공급 시간인 분사시간에 따른 분사량을 100회씩 분사하여 질량 평균한 결과, Fig.2와 같이 나타났으며, 분사시간에 대한 분사량이 선형적으로 증가함을 확인할 수 있다.

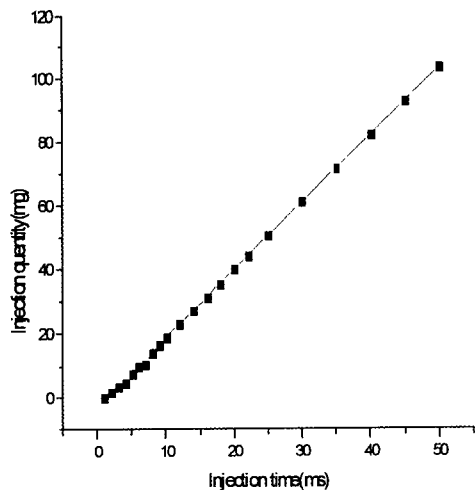


Fig. 2. Calibration curve for injection quantity.

Table 3. Engine test conditions

Engine speed (rpm)	Torque (kgf-m)	Methanol (mg/cycle)
1400	0	0
1800	5	22.2
	10	60.6
2200		99.6

## 2. 실험방법

실험은 Table 3과 같이 각각의 회전수, 부하 및 메탄올 분사량에 대한 기관의 각 계측치를 수집하였다. 즉, 운전은 주 분사인 경유의 기계적 분사시기를 17° BTDC로 일정하게 한 상태에서, 경유만으로 시동한 후, 각기 주어진 회전수 및 부하에서 안정된 운전 상태가 되었을 때, 주어진 양의 메탄올이 분사되도록 하여, 연소압력, 연료소모량, 배기가스 등을 측정하였다.

## 실험 결과 및 고찰

### 1. 연소 특성 및 기관 성능

#### 1) 착화 지연

메탄올 분사량에 따른 착화지연 변화를 Fig.3에 나타내었다. 모든 실험조건인 회전수, 부하에서 메탄올 분사량이 증가하면 착화지연이 길어지는 경향을 보이고 있다. 이는 메탄올의 증발잠열에 의한 흡기온도의 저하에 기인한 것으로 보여진다. 또한 같은 메탄올 분사량에서 부하별로 살펴보면 부하가 증가할수록 지연시간이 짧아진다. 이것은

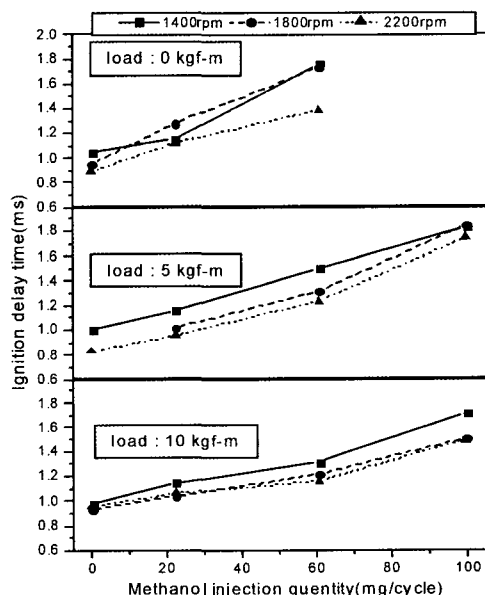


Fig. 3. Correlation of ignition delay with variation of methanol injection quantity and load.

부하의 증가에 따라 경유의 분사량이 상대적으로 증가함과 동시에, 흡기관, 피스톤 및 실린더 내벽 등을 포함한 기관 각부의 온도가 상승하기 때문에 판단된다. 그리고, 무부하에서 메탄올을 99.6mg/cycle 분사한 경우는 실화 등 대단히 불안정한 운전 상태를 보였다. 이는 흡기온도의 과도한 저하로 착화지연이 지나치게 길어져 팽창행정 중에 착화가 일어났거나, 연소실 내 분위기 온도가 착화온도에 도달하지 못했기 때문으로 판단된다.

2) 최고압력

메탄올 분사량에 따른 최고압력점의 변화를 Fig.4에 나타내었다. 모든 실험조건의 회전수, 부하에서 메탄올 분사량이 증가하면 최고압력점이 지연되는 경향을 보이고 있으며, 이는 메탄올이 증가할수록 착화지연이 길어지기 때문으로 판단된다.

그리고, 동일 회전수에서 부하별로 살펴보면 부하가 증가할수록 최고압력점이 전체적으로 빨라지는 경향을 보이고있다. 이 또한 부하가 증가함에 따라 경유의 분사량이 상대적으로 증가하고 기관 각부의 온도 상승으로 인해 분위기 온도가 상승하였기 때문이다.

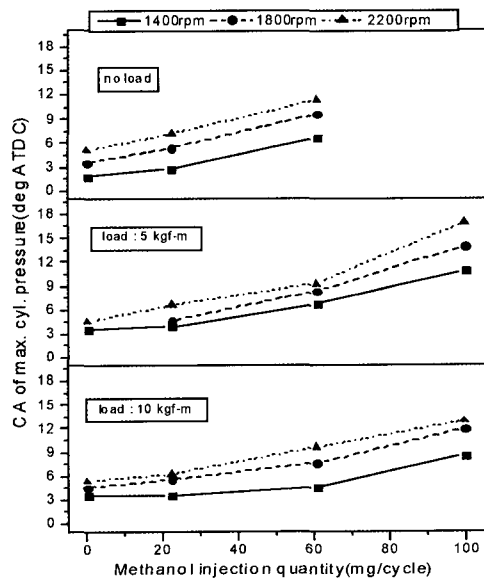


Fig. 4. Correlation of maximum cylinder pressure point with variation of methanol injection quantity and load.

메탄올 분사량에 따른 최고압력값의 변화를 Fig.5에 나타내었다. 메탄올의 분사량이 증가할수록 회전수 변화에 따른 최고압력값의 편차가 크게 나타나며, 특히, 메탄올 분사량 99.6mg/cycle에서는 회전수가 증가할수록 최고압력값이 크게 감소하고 있다.

무부하의 경우, 메탄올의 분사가 없는 상태에서는 약 55bar였으나 메탄올 분사량이 증가함에 따라 최고압력값이 감소하여 메탄올 분사량 60.6mg/cycle의 고 회전수에서는 최고압력값이 10bar정도 낮은 약 45bar를 나타내었다.

중부하의 경우, 메탄올 분사량이 없는 상태에서 최고압력값이 약 70bar이고, 메탄올의 분사량이 증가함에 따라 최고압력값이 낮아지는 경향을 보이는 가운데, 회전수가 증가할수록 감소의 폭이 크게 나타났다.

고부하의 경우, 메탄올 분사량이 60.6mg/cycle까지는 약간 증가하는 경향을 보이나, 이후 99.6mg/cycle에서 급격히 감소하고 있다.

이상에서, 메탄올 분사량의 범위를 회전수 변화에 따른 최고압력값의 편차가 적은 60.6mg/cycle으로 하고, 이 범위에서 부하와 회전수 변화에 따

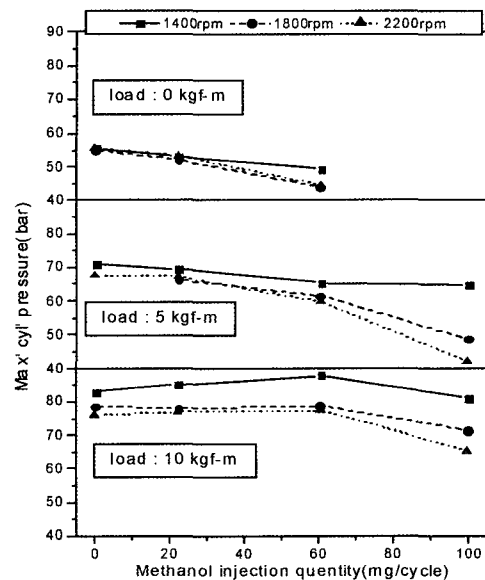


Fig. 5. Correlation of maximum cylinder pressure with variation of methanol injection quantity and load.

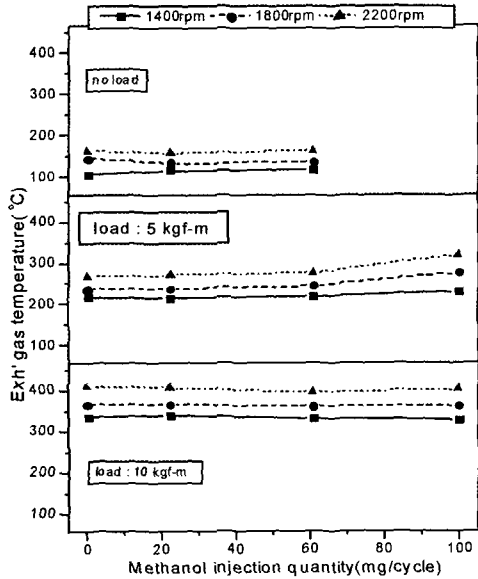


Fig. 6. Correlation of exhaust gas temperature with variation of methanol injection quantity and load.

른 분사량을 적절히 선택할 경우, 양호한 기관 성능 특성을 갖는 운전 영역을 찾을 수 있음을 확인할 수 있다.

### 3) 배기가스온도

메탄올 분사량에 따른 배기가스온도 변화를 Fig.6에 나타내었다. 모든 부하와 회전수 영역에서 메탄올 분사량에 따른 온도 변화는 미미하다. 이로 보아 흡기구로의 메탄올 분사는 배기가스 온도에는 큰 영향을 주지 않고 있음을 알 수 있다.

### 4) 기관 정미효율

흡기구에서의 메탄올 분사량과 실린더 내 경우 분사량을 합한 총 발열량(kcal/cycl)과 사이클당 행한 정미일량(kcal/cycl)과의 비를 나타낸 정미효율을 Fig.7에 나타내었다. 정미일량이 나타나지 않는 무부하의 경우를 제외하고, 중, 고부하에서의 각 회전수와 메탄올 분사량에 따른 열효율의 경향을 나타낸다. 중부하의 경우, 메탄올 분사량이 60.6mg/cycle까지는 정미효율 감소폭이 적었으나, 그 이상에서는 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 메탄올에 의한 착화 지연으로 인하여 최고압력점이 늦어지면서, 최고압력값이 저하하였기 때문

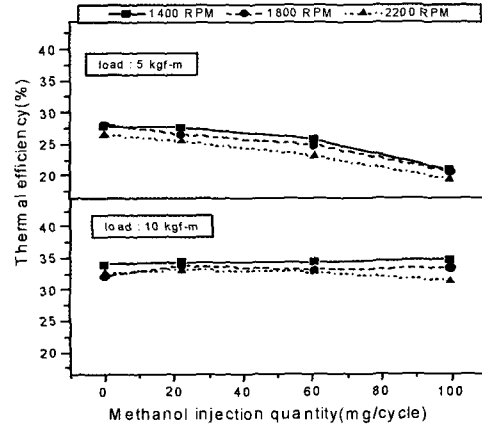


Fig. 7. Correlation of brake thermal efficiency with variation of methanol injection quantity and load.

으로 판단된다. 고부하 영역에서는 메탄올 분사량 증가에 따른 열효율 감소 현상은 미미하다.

이에 따라, 메탄올 분사량을 중부하인 5kgf-m에서 효율 감소폭이 둔한 60.6mg/cycle 이내로 제한할 경우, 기관 열효율의 감소가 없는 양호한 기관 성능 특성을 갖는 운전 영역을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

## 2. 배기배출물

### 1) 질소산화물(NOx)

메탄올 분사량에 따른 NOx의 변화를 Fig.8에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 모든 회전수와 부하에서 메탄올 분사량이 증가함에 따라 NOx가 감소하였다. 특히, 저회전수 영역에서 크게 감소하고, 감소 폭은 메탄올을 최소 분사한 22.2mg/cycle에서 최대이며, 메탄올 분사량이 증가할수록 NOx 감소 효과가 둔화되는 경향을 보이고 있다. 그리고, 고부하인 10kgf-m에서는 저회전수인 1400rpm에서 메탄올 분사량이 최대인 99.6mg/cycle까지도 지속적으로 감소하였다.

이로써, 흡기구를 통한 메탄올 분사는 NOx 저감에 크게 기여하고 있으며, 기관의 회전수와 부하에 따라 메탄올의 분사량을 적절히 제어하면 NOx 배출량을 크게 개선시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 앞 절에서 확인한 기관 효율과 비교하여, 효율이 저하되지 않는 범위 내에서 메탄

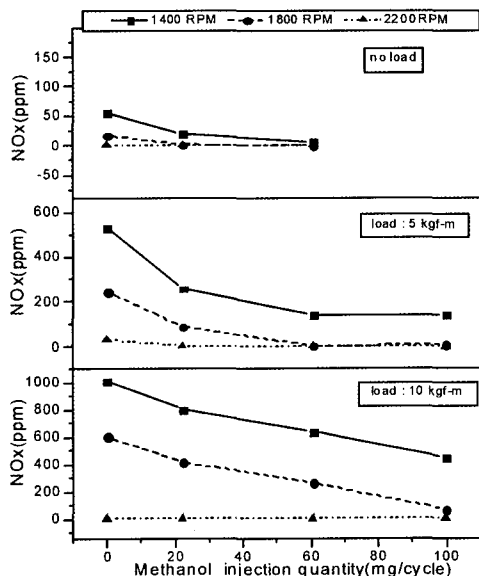


Fig. 8. Correlation of NOx concentration with variation of methanol injection quantity and load.

올의 분사량을 가감할 경우, 기관 성능 저하 없이 NOx 배출량을 상당량 억제시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

예로써, 5kgf-m 부하에서 흡기구에 22.2mg/cycle을 분사시키면, NOx는 회전수 1400rpm에서 약 530ppm이 250ppm으로 내려가며, 10kgf-m 부하에서 60.6mg/cycle의 메탄올을 분사시킬 경우, NOx는 회전수 1800rpm에서 약 600ppm이 250ppm으로 내려간다.

## 2) 일산화탄소(CO)

메탄올 분사량에 따른 CO 발생량의 변화를 Fig.9에 나타내었다. 메탄올 분사량 증가와 더불어 CO의 농도가 증가하였다. 메탄올 분사량 60.6mg/cycle까지는 회전수와 관계없이 일정한 증가율을 보이는 반면, 99.6mg/cycle에서는 회전수가 높을수록 CO의 농도가 높게 나타나는 경향을 보이고 있다. 그리고, 메탄올 분사로 인한 CO의 증가 양상이 메탄올 분사가 없을 때는 100ppm order에서 60.6mg/cycle 분사시에는 1000ppm order로 상승하는 것으로 보아, 메탄올 분사로 인해 실린더 내 전체 공연비가 낮아지고, 이에 따른 산소 결핍으로 이러한 현상이 나타나는 것이라 추

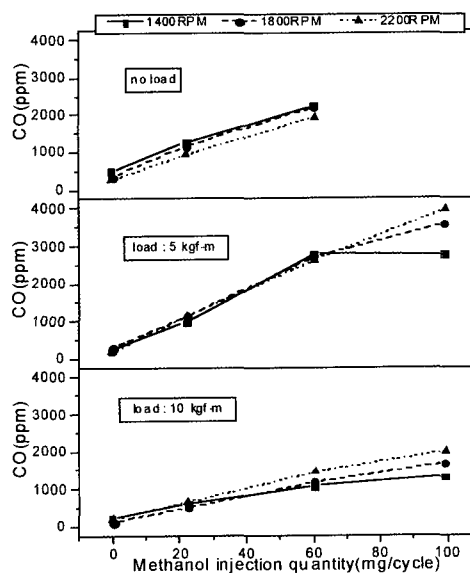


Fig. 9. Correlation of CO concentration with variation of methanol injection quantity and load.

정할 수 있다. 이의 해소책으로는 기관을 과급하는 등으로 개선할 수 있을 것으로 판단되나, 이에 대해서는 보다 깊은 검토가 있어야 할 것으로 생각된다.

한편, 고부하일수록 저부하에 비해 메탄올 분사량 증가에 따른 CO의 증가량이 적게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉, 5kgf-m 부하 운전의 경우 60.6mg/cycle 분사시 약 2500ppm을 나타내었으나, 10kg-m 분사시에는 1000ppm~1500ppm을 나타내고 있다.

## 3) 그을음(soot)

Fig.10은 메탄올 분사량에 따른 그을음의 배출량을 나타낸다. 중저부하에서는 메탄올의 영향이 적으나 고부하의 경우는 메탄올 분사량이 증가함에 따라 그을음의 농도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 즉, 메탄올 분사량 60.6mg/cycle까지는 감소의 경향이 뚜렷하나, 그 이상에서는 변화의 경향이 미미하다. 이와 같이 고부하의 경우 메탄올의 분사량이 증가함에 따라 그을음의 농도가 낮게 나타나는 현상은 앞 절에서 논의한 CO의 농도와는 대비되는 현상이다. 이는 그을음의 경우 국소적인 혼합성에 주로 기인하여 생성된다는 특성에 비추

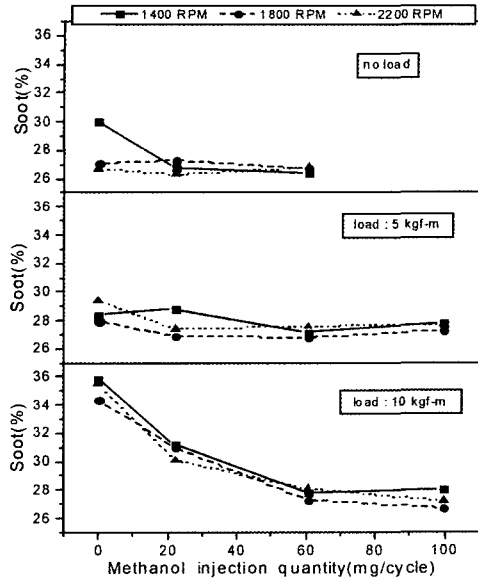


Fig.10. Correlation of soot concentration with variation of methanol injection quantity and load.

어 불 때, 흡입구에 메탄올을 분사함으로써 전체적인 공연비는 감소하나, 분사되는 경유 분무의 분포 상태를 개선시키는 효과가 있음을 간접적으로 확인시켜 주고 있다. 이와 같이 CO와 그을음의 농도가 대비되는 현상에 대해서는 실린더 내의 경유 분사에 대한 분무의 발달 상황을 가시화 기법 등과 같은 방법을 통하여 연소실 내 분무의 거동을 직접 확인하는 등, 보다 적극적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 결 론

직분식 디젤기관의 흡입구에 메탄올 분사용 인젝터를 설치하여, 메탄올 분사량에 대한 기관의 성능, 연소특성 및 유해배출물과의 관계를 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 흡입구에 메탄올을 분사하면 착화지연이 길어져 최고압력점이 늦어지고 최고압력값이

저하하였다.

- (2) 기관정미효율은 메탄올의 분사량을 증가시킴에 따라, 중부하의 경우 감소하는 경향을 보였으나, 고부하의 경우 실험 범위 내에서는 감소 현상이 나타나지 않았다.
- (3) NOx와 그을음의 농도는 기관회전수와 부하에 관계없이 메탄올 분사량 증가와 함께 감소하였으며, 기관 효율이 저하하지 않는 범위 내에서 메탄올의 분사량을 적절히 제어할 경우(본 연구의 경우 메탄올 분사량 60.6mg/cycle에서), NOx와 그을음 모두 크게 개선할 수 있다는 것을 확인하였다.

## 참고문헌

- 1) 현충헌 · 김세영 · 최규훈(1999) : 대형 디젤기관의 연료소비율 및 유해배출가스 저감 기술, 自動車工學會誌, 10월호, 23~32.
- 2) Ganser, M. A(2000) : Common Rail Injectors for 2000bar and Beyond, SAE 2000-01-0706.
- 3) 김철순 · 김기형 · 박태인 · 류정인(1999) : 흡기포트 내 물 분사에 의한 디젤기관의 배기 유해물 배출 및 기관 성능변화에 관한 실험적 연구, 韓國船舶機關學會誌, 23권(1), 25~32.
- 4) Posta, M. A(1997) : Water injection effects on NOx emissions for engines utilizing diffusion flame combustion, SAE 971657.
- 5) Fukuda, M., et al(1995) : Reduction of Nitrogen Oxides of diesel engines by Exhaust-water-selective recirculation, JASME, No.94~1496.
- 6) Matsuo Odaka, et al(1991) : Effects of EGR with a supplemental manifold water injection to control exhaust emissions from Heavy-Duty diesel powered vehicles, SAE 910739.
- 7) Yoshio et al(1997) : Combustion and NOx emission characteristics in a DI diesel engine using supercharging with EGR, SAE 971647.
- 8) 김홍식(1986) : 자동차 연료, 石油와 潤滑, 3월호, 48~59.