

〈논 문〉 SAE NO. 96370031

## 직접분사식 디젤기관에서 함산소연료 첨가에 의한 매연과 NOx 동시 저감에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on the Simultaneous Reduction of Smoke and NOx by Oxygenated Fuel Additives in DI Diesel Engine

오 영 택,\* 近久 武 美\*\*  
Y. T. Oh, T. Chikahisa

#### ABSTRACT

Extensive experiments were conducted to investigate the emission of DI diesel engine by using DMC(dimethyl carbonate) as an oxygenated fuel additives. The results indicate that smoke reduces almost linearly with fuel oxygen contents. Reductions of HC and CO were attained noticeably, while a small increase in NOx was encountered concurrently. The effective reduction in smoke with DMC was maintained with the the presence of CO<sub>2</sub>, which suggested a low NOx and smoke operation could be obtained in combination of using oxygenated fuel and EGR. Further experiment was conducted a thermal cracking set-up for mechanism studies.

주요기술용어 : Diesel Engine(디젤 기관), Exhaust Emissions(배기 배출물), DMC(디메틸카본네이트), Oxygenated Fuel(함산소 연료), Fuel Additives(연료 첨가제), EGR(배기 재순환 가스), Thermal Cracking(열분해)

#### 1. 서 론

지구 온난화, 산성비 및 도시의 열섬(thermal island)현상 등의 주 원인이 내연기관의 배기 배출물에 의한 것으로 나타나, 지구 규모의 환경오염 문제가 매우 심각한 상황에서 디젤기관에서 중요한 연구 과제중의 하나가 배기 배출물의 저감이라 함은 재론의 여지가 없다. 그러나, 연소

실내에서 배기 유해성분중 매연, HC 및 CO와 NOx는 그 생성특성이 서로 상반된 관계(trade-off)에 있어 근본적인 연소 시스템 변화 없이는 일반적인 단순한 방법으로는 이들을 동시 저감시키는 것은 매우 어려운 문제이다.<sup>(1)</sup> 현 단계에서 유효 방안으로 생각할 수 있는 것은 NOx와 매연의 동시 저감을 위하여 보다 양호한 trade-off 관계를 수행하는 것으로, 매연 생성을 억제하기 위하여 산소를 충분히 이용하는 것이 매우 중요한 방안이라고 생각된다. 이와 같은 방안중의 하나는 연료가 액체나 기체에 관계없이 연료 속에

\* 정회원, 전북대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 일본 홋카이도대학 공학부

산소를 함축시키는 것 즉, 합산소 연료(oxygenated fuel)을 이용하므로서 연료 속에서 부터 매연의 생성 가능성을 억제시키는 것이다.

Liotta<sup>(2)</sup>와 Johnson<sup>(3)</sup>들은 합산소 연료를 적당히 사용하는 것이 디젤기관에서 배출물을 저감시키는 실질적인 방법이라고 하였다. 합산소 연료로는 석유계 합산소 연료, 동·식물계 합산소 연료, 알콜계 합산소 연료 및 물-에틸전계 합산소 연료 등으로 구분할 수 있으며, 석유계 합산소 연료를 제외하고는 여러 연구자들에 의하여 경유의 대체연료로서 어느 정도는 결과가 도출된 상태이나, 석유계 합산소 연료는 현 석유계 연료가 고갈되지 않는 한 해결하지 않으면 안되는 매우 중요한 것으로 생각된다. 석유계 합산소 연료 중에서 Table 2에 표시한 바와같이 DMC는 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>의 분자구조로 약 50%의 산소를 연료자체에 포함하고 있어 연료를 완전연소시키는데 필요한 공기량이 충분하여 연료속에서 부터 매연 생성 저감에 매우 유효한 첨가제로 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 기존 연료인 경유와 합산소 연료의 일종인 DMC(dimethyl carbonate)의 혼합연료를 사용한 여러 실험을 통하여 직접분사식 디젤기관의 배출물 저감을 시도하였다. 한편, EGR방법은 디젤기관에서 NOx저감의 가장 유효한 방법으로 알려져 있어<sup>(4),(5)</sup> EGR실험은 DMC연료를 사용하는 경우에 배기 배출물 저감의 복합적인 효과를 얻고자 함에 목적이 있으므로 배기 재순환(EGR : exhaust gas recirculation)방법과 DMC와의 조합 실험을 실시하였으며, DMC를 포함한 이들 혼합연료의 화학적 구조를 조사하기 위하여 열분해(thermal cracking) 실험도 실시하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치 및 측정방법

실험에 사용된 기관은 단기통, 수냉식, 4행정 직접 분사식 디젤기관이며 그 제원을 Table 1에 표시하였다. 기관의 연료 분사시기는 임으로 조정할 수 있도록 하였으며, 연소실내 압력 및 연료 분사시기를 오실로스코프를 통하여 모니터하

면서 컴퓨터에 기록하여 지압선도 및 열발생 등을 계산하도록 하였다. EGR실험장치는 배기관에 설치한 나비밸브와 EGR관으로 구성되어 있으며, 나비밸브의 개도면적을 조절하여 배기관의 배압(back pressure)을 이용하여 EGR실험을 실시하도록 하였다.

NOx, HC 및 CO등 배기 배출물은 배기 분석기(MEXA-8120)를 이용하여 배기가스가 통과하는 전 부분을 가열하면서 측정하였으며, 매연의 측정은 스모크미터(Bosch type)를 이용하여 실시하였다.

### 2.2 실험방법

본 실험에 사용된 연료는 기존의 경유와 DMC를 체적비로 0%에서 20%까지 혼합한 연료를 사용하였다. 기관 회전속도는 1500 rpm과 1800 rpm의 두 경우와 부하는 모든 부하에서는 물론 주로 배기 배출물이 다량 배출되는 고부하 영역에서 실시하였다. 연료 분사시기는 4°C A에서 17°C A BTDC까지 변화시켰으며, 실험 조건에 따라 최적 분사시기를 정하여 실시하였다. DMC 연료를 사용하는 경우 매연과 NOx등 배기배출물 동시저감의 복합적인 효과를 얻기 위한 실험은 불활성 가스 CO<sub>2</sub>를 이용하는 방법과 실제 EGR방법을 사용하여 실시하였으며, CO<sub>2</sub> 이용 방법은 기관의 흡입관내에 불활성가스 CO<sub>2</sub>가스를 주입하는 방법으로서 이산화탄소는 압축행정 후 연소실 전체 온도를 저감시키는데 매우 유효한 물질로 NOx생성의 한 방법인 thermal NOx를 저감시키는 것으로 알려져 있다<sup>(6)</sup>. 그러나, 이 방법은 실제 EGR을 사용하는 경우와 연소실

Table 1 Specifications of the test engine

Engine Type	Direct Injection(DV-9)
Bore * Stroke	100 * 105 mm
Displacement	826 cm <sup>3</sup>
Swirl Ratio	3.2
Compression Ratio	18.5
Combustion Chamber	Toroidal Type
Injection Nozzle	φ 0.28 mm, 5 hole
Niddle Opening Pres.	21.3 MPa

내의 열역학적 특성은 재현할 수 있을지언정 산소농도의 측면에서는 실제 EGR만큼 혼합기를 희석할 수 없을 것으로 생각된다.

따라서, 다음 단계는 실제 EGR 실험을 실시하였으며, EGR의 온도는 냉각시킨 상태에서만 실시하였다. 이는 흡기관 하류의 온도 상승을 방지하기 위한 것으로, 재순환되는 고온의 배기가스를 냉각시키기 위하여 물 탱크를 설치하였다. EGR은 Fig.1에 표시한 바와같이 기관의 배압(back pressure)을 이용하여 EGR관에 설치된 나비 밸브로 조절하였다.

합산소제의 선택은 첨가제로서의 용해도, 혼합연료의 인화점, 동점도, 합성할 경우의 물과의 상용성 등을 충족해야 하는데<sup>(2)</sup>, 본 실험에서 사용한 DMC를 첨가한 합산소 연료는 이와 같은 요구사항을 충분히 만족하며, 특별히 강한 냄새도 없고, 장기간 사용하여도 연료계통에 전혀 손상이 없으며 특히 기본연료인 경유와는 상용성이 매우 양호하여 합산소 연료의 첨가제로서 적절함을 확인하였다. DMC의 특성을 Table 2에 나타내었다.

물에 대한 DMC의 용해도가 매우 높기 때문에 혼합연료로부터 추출되는 경향을 지적하기도 하지만 본 실험에서는 이와 같은 현상을 발생하지 않았다. DMC의 세탄가는 직접 측정은 하지 않았지만 Fig.2에서와 같이 DMC를 혼합하므로써 혼합연료의 세탄가는 약간 저하하는 것으로 보고되고 있지만, Fig.10에서 알 수 있는 바와 같이 12% 정도 DMC를 혼합한 경우에도 착화지연기간은 거의 변화하지 않는 것으로 판단할 때 혼합연료의 착화성은 DMC의 혼합량에 민감하지 않

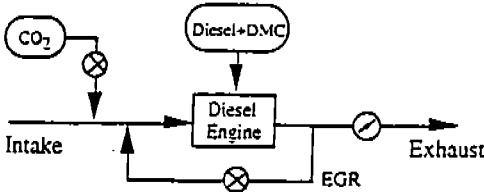


Fig.1 Diesel engine experimental setup for studying the combined effects of DMC and EGR

음을 알 수 있다.

실험 조건이 변경될 때마다 경유와 DMC의 혼합의 경우 일정한 온도 유지, 연료 공급 계통과 필터, 연료 탱크 속의 모든 연료를 완전히 교체하도록 하였으며, 윤활유도 교체하였다. 또한, 중부하에서 4시간동안 기관을 운전하여 앞 실험 조건의 연료의 영향을 받지 않도록 충분히 검토하였다. DMC의 미립자 형성 과정을 조사하기 위한 열분해 실험은 대기압 상태의 爐에서 실시하였으며, 실험 방법은 Tosaka<sup>(7)</sup>이 실시한 방법 등을 이용하였다. 실험은 2단계로 분리하여 저비등점 탄화수소와 고비등점 탄화수소를 각각 분리하여 실시하였다.

Table 2 Properties of DMC

Dimethyl carbonate	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>
C : H : O by mass	6 : 1 : 8
Stoichiometric DMC air ratio	1 : 3.51
Molecular weight	90.1
Density	1.07 m <sup>3</sup> /kg
Heating value	15,780 kJ/kg
Flashing point(closed cup)	17°C
DMC purity	99.9%
Solubility	13.9 g/100 g with water, in any proportion with organic alcohol, esters, and ketone

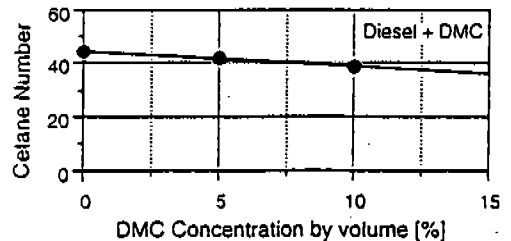


Fig.2 The effect of DMC concentration on fuel cetane number

### 3. 실험 결과 및 고찰

합산소 연료의 이론 공연비는 경유의 것과는 차이가 있으며, 경유에 10%의 DMC를 첨가하므로써 이론 공연비는 6% 정도 저하한다. 따라서, 연료의 에너지 밀도 즉, 혼합연료의 발열량이 적기 때문에 기준 출력을 유지하기 위해서는 공급될 연료량을 증가시켜야 한다.

#### 3.1 DMC첨가에 의한 실험결과

Fig.3~Fig.6은 DMC를 혼합한 경우 각종 운전조건에 따라서 배기 가스량의 변화를 나타낸 것으로, 이들 그림에서 알 수 있는 것처럼 8~12%의 DMC를 혼합함으로써 35~50%의 배연저감은 물론 HC과 CO도 현저하게 감소하나 반대로 NOx는 약간 증가함을 알 수 있었다.

Fig.3은 경유와 12% DMC 혼합연료를 사용하여 회전수 1800rpm, 연료 분사시기 10°C A BTDC의 경우 부하 변화에 따른 배연과 NOx 농도를 나타낸 것으로, DMC 12%를 혼합한 경우가 부하가 증가할수록 현저한 배연저감과 NOx의 전반적인 증가 현상을 나타내고 있다.

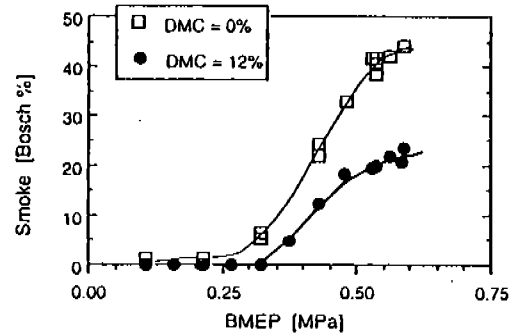
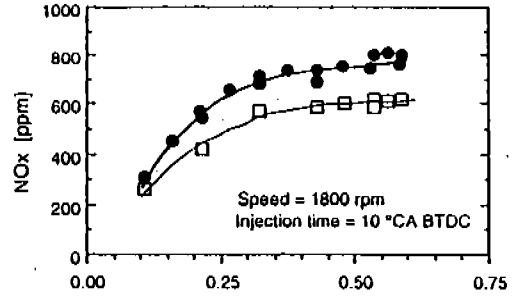


Fig.3 Load characteristics on NOx and smoke emissions for DMC=0% and 12% at 1800 rpm

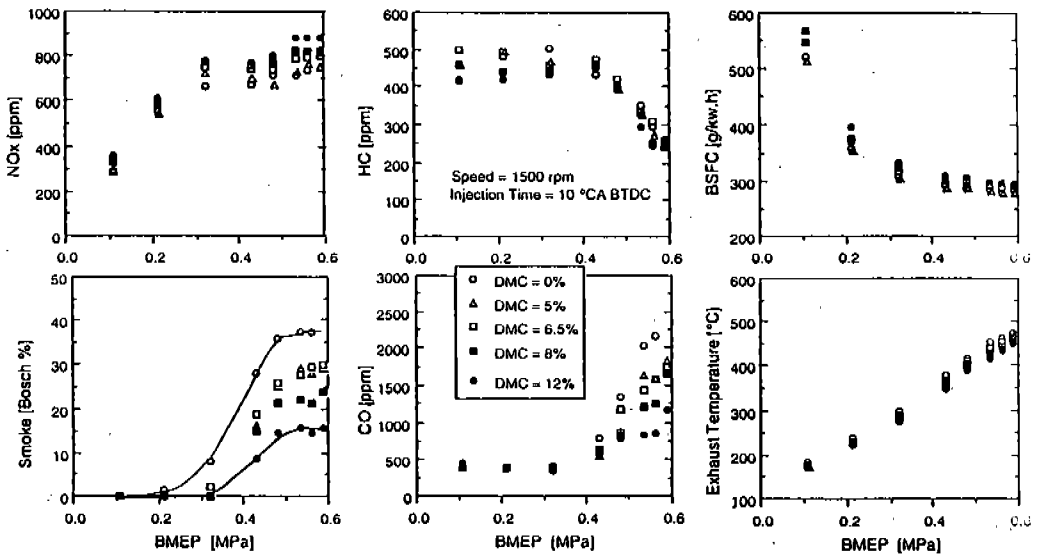


Fig.4 The effects of DMC addition on load characteristics with a 1500 rpm and an injection time of 10°C A BTDC

한편, Fig.4는 회전 속도 1500rpm, 연료 분사 시기 10°CA BTDC의 경우 기관의 부하 변화에 따른 배기가스의 농도, 배기 온도 및 연료 소비율을 DMC의 혼합량의 변화에 따라 나타낸 것으로, 고부하 영역에서 DMC량의 증가에 따른 매연 및 CO의 현저한 저감과, 전부하 범위에서 배기가스 온도와 연료 소비율은 거의 변화가 없고 약간의 HC의 저감 및 NOx가 증가함을 알 수 있다.

Fig.5는 연료의 분사시기 변화에 의한 매연과 NOx의 변화를 DMC량을 변수로 하여 나타낸 것으로, 매연은 DMC양이 증가할수록 연료 분사 시기가 전진될수록 감소되는 것으로 볼 때 매연은 DMC의 양에 직접적으로 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 연료에 함산소 연료를 첨가하여 분사시기를 전진시킬수록 현저히 매연이 저하하였으며, NOx는 약간 증가하는 현상을 나타내었다. 함산소 농도는 연료 속의 산소 농도로 나타낼 수 있어 매연은 연료의 산소 농도가 증가함에 따라 거의 직선적으로 감소함을 뒤에서 언급한 Fig.7에서도 확인할 수 있었다.

Fig.6은 기관 회전 속도 1800 rpm 및 고부하 (0.535 MPa)인 경우에 분사시기 변화에 따른

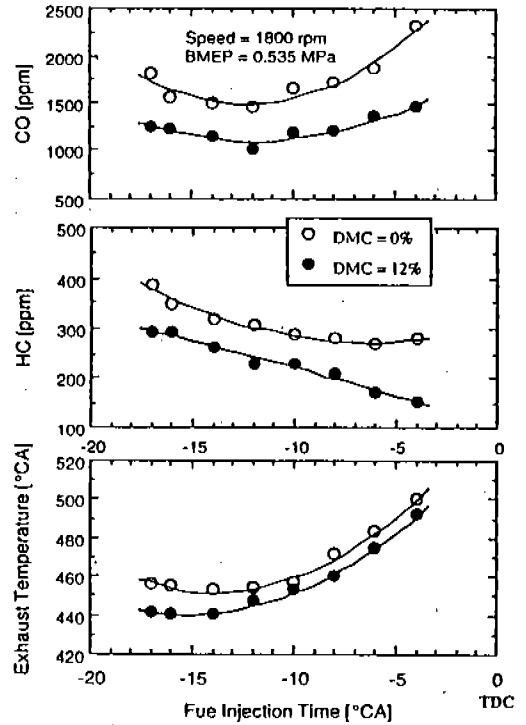


Fig.6 The effects of DMC on CO, HC, and exhaust temperatures with injection timing variations

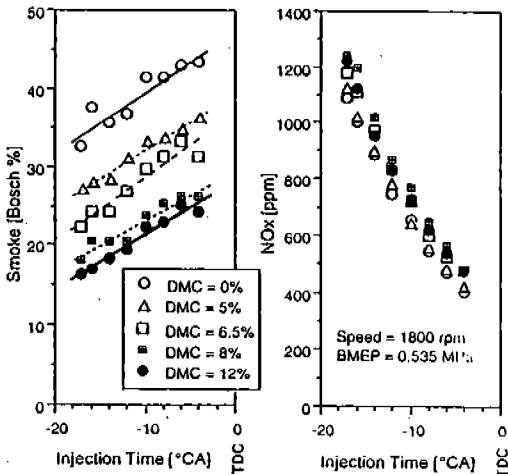


Fig.5 The effects of fuel injection timing on NOx and smoke emissions for different DMC concentrations

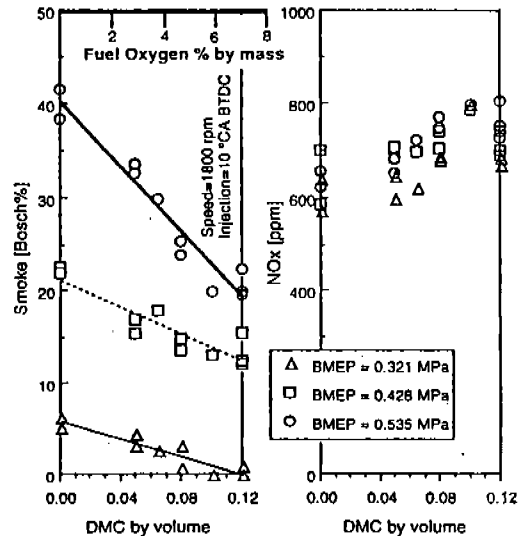


Fig.7 The effect of DMC concentration on smoke and NOx emissions

배기가스 온도, HC 및 CO의 변화량을 나타낸 것으로, DMC 12%을 혼합한 합산소 연료의 경우가 전 분사 범위에 걸쳐서 CO와 HC이 현저히 감소하였으며 배기 온도도 저하하였다. 한편, Fig.7은 연료 속의 합산소량의 변화가 매연과 NOx의 생성에 미치는 영향을 기관의 부하를 변수로 하여 나타낸 것으로, 저부하(0.321MPa)의 경우보다 고부하(0.535MPa)의 경우가 DMC의 첨가 목적인 매연의 감소폭이 현저하였으며, NOx는 전반적으로 증가함을 알 수 있어 앞에서 설명한 바와 같이 매연의 생성은 DMC의 양에 직접적인 관계가 있음을 재확인할 수 있다.

Fig.8은 연료속의 산소량에 따라서 NOx와 매연과의 관계를 나타낸 그림으로, 그림에서 알 수 있듯이 DMC를 첨가함으로써 NOx는 약간 증가하는 반면 매연은 현저하게 감소하였다. 한편, 이같은 상반된 관계를 개선하기 위하여 연료분사시기 조절을 시도하였다. Fig.9는 매연과 NOx와의 관계를 나타낸 것으로, 연료 분사시기를 적절히 조절함으로써 NOx와 매연 생성의 상반된 관계를 보다 확실히 개선할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 원인을 규명하기 위하여 DMC 변화량에 의한 열발생을 관계를 조사하여 보았다. Fig.10은 합산소량과 분사시기 변화에 따른 열발생 관계를 나타낸 것으로, 연료 분사시기 10°C A BTDC, DMC를 12% 혼합한 경우는 DMC의 첨가로 세탄가는 약간 저하하였지만, 착화지연기간의 변화는 거의 없었으나 예혼합 연소량은 증가하였고, 연료 분사시기가 이보다 진전되어 12°C A BTDC, DMC량이 20%로 증가되었을 경우에는 착화 지연기간이 약간 길어져 예혼합 연소량이 증가되어 NOx량이 전반적으로 증가된 것으로 생각되며, 매연의 현저한 감소는 합산소 연료속의 산소의 영향으로 연소가 양호하게 진행되어 전반적으로 연소 기간이 단축되었기 때문으로 생각된다.

Johnson<sup>(3)</sup> 등의 연구에 의하면 DMC가 비록 미립자를 저감시키기 위한 확실한 방법이라고 제한을 하였지만 NOx, CO나 HC에 대한 효과를 명쾌하게 밝히지는 못하였다. 또한 다른 연구자들도 연료에 합산소 첨가물을 혼합함으로써 NOx

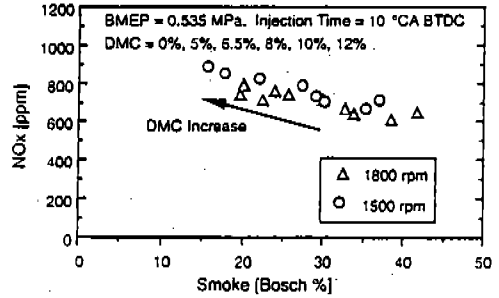


Fig.8 The trade-off between NOx and smoke when DMC concentration increases.

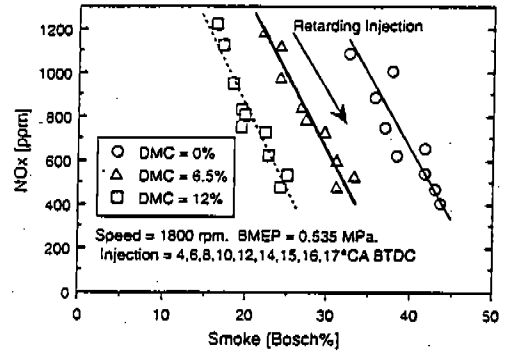


Fig.9 The trade-off between NOx and smoke when fuel injection retards for DMC=0%, 6.5%, and 12%

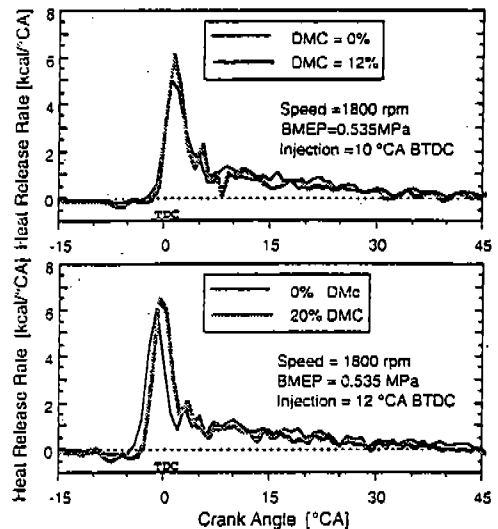


Fig.10 DMC concentration on heat release rate

가 대개 2%정도 증가함을 제시하였으며, CO는 거의 변화하지 않음을 보고하였다. 그러나, 본 연구에서는 DMC를 첨가함에 따라서 Fig.4와 6에서 알 수 있듯이 매연 및 CO와 HC가 현저히 감소하는 반면 Fig.8에서와 같이 NOx의 증가는 10~20%정도 증가하였다. 이는 DMC를 첨가함에 따라서 착화 지연기간은 거의 변화하지 않지만 Fig.10에서와 같이 예혼합 연소량이 명확히 증가하여 NOx를 증가시킨 것으로 생각된다.

3.2 배기 재순환(EGR) 실험결과

앞에서 언급한 것처럼 배기 재순환 실험을 하기 위하여 2가지 방법을 택하였으며, 하나는 EGR효과를 얻기 위하여 흡기관에 CO2가스를 주입하는 방법과 다른 하나는 실질적으로 배기가스의 일부를 흡기관에 주입시키는 방법을 사용하였다. 흡기관에 CO2가스를 주입하는 실험은 열역학적으로 작동유체가 실질적인 EGR 상태가 되도록 0~7vol% 정도로 제어하였다.

Fig.11은 경유와 DMC 10%의 혼합연료의 경우 흡기관내에 주입하는 CO2량의 변화에 따른 NOx의 변화를, Fig.12는 매연의 변화를 각각 나타낸 것으로 CO2의 주입량이 증가할수록 2가지 연료 모두 NOx는 전반적으로 감소하는 반면 매연은 거의 변화하지 않아 앞에서 언급한 DMC의 첨가에 의한 매연의 현저한 감소는 CO2에 의해서 억제된 것으로 생각한다.

Fig.13은 경유(DMC 0%)와 DMC를 10% 혼합한 연료에 각각 실질적인 EGR방법을 병용한 경우의 결과로서, 배기 재순환량에 따라 NOx를 50% 정도 저감시킬 수 있었으며, 배기 재순환율은 고부하의 경우 약 20% 정도였다. DMC를 첨가함으로써 더욱 높은 배기 재순환 운전할 수 있지만 본 연구에서는 배기 재순환량은 그 이상 증가시키지 않았다. 고부하의 경우 완전 연소를 위하여 산소의 유효 이용은 매우 중요하며, 배기 재순환 가스가 증가할수록 산소 농도는 감소하므로 확산 연소는 전반적으로 악화되는 것으로 생각된다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 EGR방법과 DMC를 조합하여 사용하므로써 서로 상반된 배출 특성 때문에 trade-off 관계에 있는 NOx와 매연

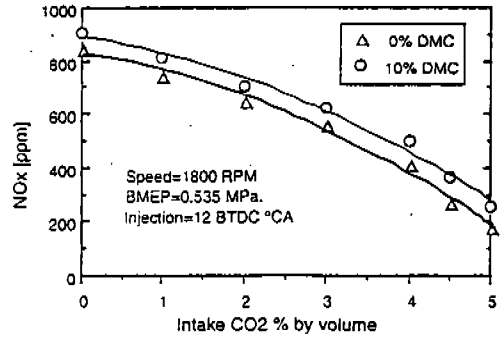


Fig.11 The effects of CO2 addition on NOx reduction

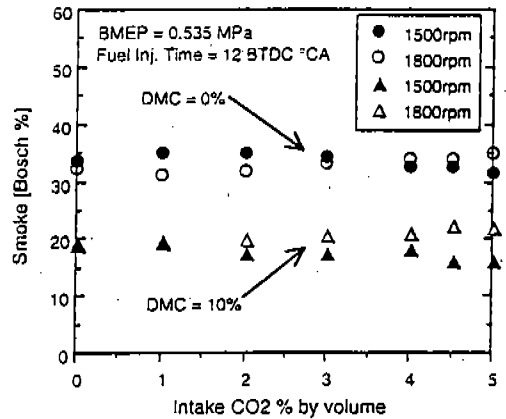


Fig.12 The effects of CO2 addition on smoke emission for DMC=0% and 10%

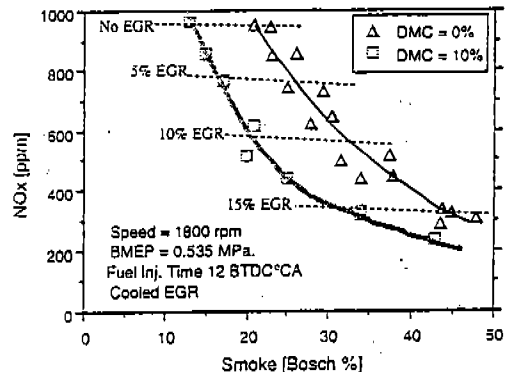


Fig.13 The combined effects of EGR and DMC on NOx and smoke

을 동시에 상당히 저감시킬 수 있었다. 더욱이 배기가스를 재순환시키므로 밖으로 배출되는 배기가스의 절대량을 감소시켜 다른 배기 배출물의 저감 효과도 얻을 수 있다. CO<sub>2</sub> 가스 주입 실험과는 달리 실질적인 EGR 실험에서는 매연 생성량이 증가하는 것이 특히 사항이며, CO<sub>2</sub> 가스 주입 실험의 경우가 실질적인 배기 재순환 방법보다 산소 농도가 조금 감소되기 때문에 낮은 매연 값을 유지하는 것으로 생각된다.

### 3.3 열분해 실험결과

지금까지 언급한 바와 같이 경유에 DMC를 첨가함으로써 NOx는 약간 증가하지만 매연, HC 및 CO는 현저히 저감되며 특히 매연의 저감 방법으로 DMC의 첨가는 매우 유용한 방법임을 확인하였다. 이 같은 효과의 원인을 알아 보기 위하여 고온 분위기 상태에서 연료의 열분해 과정에 대하여 조사하여 보았다.

Fig.14와 15는 공기 및 질소 분위기 상태에서 연료의 온도 변화에 따른 벤젠과 多環 방향족 탄화수소(PAH)의 생성량을 나타낸 것이다. 질소 분위기 상태(O<sub>2</sub>: 0%)에서 실시한 예비 실험의 결과 순수한 DMC의 열분해 실험은 약간의 CO와 CO<sub>2</sub>가 발생한 반면 에틸렌의 생성은 억제되었는데, 이같은 에틸렌의 감소는 Fig.14의 결과와 같

이 벤젠의 생성을 억제한 것으로 생각된다. 더욱이, 에틸렌의 생성이 저감되어 벤젠 생성이 억제되는 효과는 공기 분위기 상태(O<sub>2</sub>: 21%)에서도 관찰할 수 있었으며 이같은 경향은 Fig.15에서와 같이 고리가 2개 또는 그 이상의 방향족 탄화수소(PAH)를 억제한 것으로 생각된다. 산소 성분이 연료로부터 확산되기 전 즉, 열분해 초기 단계에서 DMC안의 산소 부분이 혼합연료가 분리와 중합되는 동안에 산화되어 에틸렌과 같은 불포화 분해 성분의 형성을 감소시킨다. 그래서, 벤젠과 다환 방향족 탄화수소가 억제되어 매연 생성을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다. 열분해 실험을 통하여 매연의 생성을 억제하는 DMC의 효과를 설명하였으나, 실제 기관의 운전상태 그리고 로(furnace)내의 상태 등의 여러 가지 다른 조건에서도 설명되어질 수 있어야 할 것이다.

기관을 이용한 DMC실험과 EGR실험은 연소 기초와는 관계가 적고, 기관의 종류에 따라서 결과가 차이가 있을 수 있지만, 배기 배출물을 저감시킬 수 있는 DMC의 확실한 효과를 입증하였다. 또한, 열분해 실험은 연소 과정에 관련된 화학적 기구를 알 수 있었으며, 그 결과로 실제 기관 안에서 매연의 생성과 직접적인 관계가 있는 DMC의 효과를 설명할 수 있다. 더욱이, 열분해

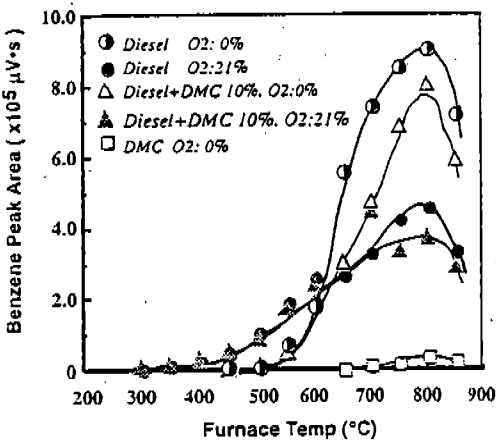


Fig.14 The formation of benzene with DMC addition.

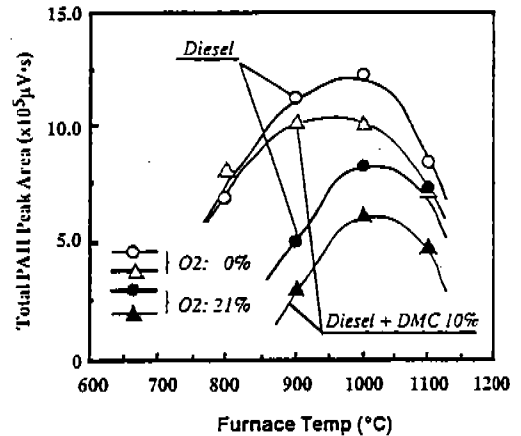


Fig.15 The formation of total PAH with DMC addition.



조건이 실제 기관의 상태 즉 압축과정, 비정상 과정 및 혼합과정 등과 여러 차이가 있음에도 불구하고 각각의 실험은 DMC의 전반적인 효과를 입증할 수 있었다.

#### 4. 결 론

직접분사식 디젤기관에서 배기 배출물을 저감시키기 위하여 기존연료와 DMC 혼합연료를 이용한 실험과 CO<sub>2</sub> 가스를 흡입관내에 주입하는 방법, 실질적인 배기 재순환 방법 및 열분해 실험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 매연은 연료 속의 산소농도와 직접적인 관계가 있으며, DMC의 농도가 증가할수록 직선적으로 감소하며, 10%의 DMC를 첨가함에 따라서 35~50%의 매연 저감효과 및 DMC의 증가에 따라 NO<sub>x</sub>는 약간 증가되는 반면 HC와 CO는 현저히 감소되었다.
- 2) DMC 혼합연료를 이용하여 흡입관내 CO<sub>2</sub> 가스를 주입한 실험 결과 매연의 증가없이 전반적으로 NO<sub>x</sub>를 현저히 저감시킬 수 있었다.
- 3) 배기 재순환 방법과 DMC를 조합한 실험에서 NO<sub>x</sub>와 매연을 동시에 저감시킬 수 있었고, 열분해 실험 결과에서 DMC가 대부분의 매연 생성을 억제함을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. Murayama, T. : "Simultaneous Reduction

of NO<sub>x</sub> and Smoke of Diesel Engines without Sacrificing Thermal Efficiency", JSAE International Journal, Series B, Vol. 37, No. 1, 1994.

2. Liotta, F. J. and Montalvo, D. M. : "The Effect of Oxygenated Fuels on Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Engine", SAE paper 932734(SP-994), 1993.
3. Johnson, J. H., Bagley, S. T., Gratz, L. D. and Leddy, D. G. : "A Review of Diesel Particulate Control Technology and Emissions Effects-1992 Horning Memorial Award Lecture", SAE paper 940233(SP-1020), 1994.
4. Uchida, N., Daisho, Y., Sito, T. and Sugano, H. : "Combined Effects of EGR and Supercharging on Diesel Combustion and Emissions", SAE paper 930061, 1993.
5. Plee, S. L., Ahmad, T. and Myers, J. P. : "Flame Temperature Correlation for the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Particulate and Nox Emissions," SAE paper 811195, 1981.
6. Herzog, P. L., Burgler, I., Winkhofear, E., Zelenka, P. and Carteleri, W. : "NO<sub>x</sub> Reduction Strategies from DI Diesel Engines", SAE paper 920470, 1992.
7. Tosaka, S., Fugiwara, Y. and Murayama, T. : "The Effect of Fuel Properties on Diesel Engine Particulate Formation", SAE paper 890421, 1989.