디젤기관의 배기 배출물에 미치는 스크러버형 EGR 시스템 재순환 배기의 영향에 관한 연구

배 명 환* · 하 정 호**

(2000년 3월 29일 접수)

A Study on the Effect of Recirculated Exhaust Gas with Scrubber EGR System upon Exhaust Emissions in Diesel Engines

Myung-whan Bae and Jung-ho Ha

Key Words : Exhaust Gas Recirculation(EGR : 배기 재순환), NO_x and Soot Emissions(NO_x 및 매연 배출물), Scrubber EGR System(스크러버형 EGR 시스템), Intake Oxygen Concentration(흡입산소농도), Exhaust Oxygen Concentration(배기산소농도), Equivalence Ratio(당량비)

Abstract

The effects of recirculated exhaust gas on the characteristics of NO_x and soot emissions under a wide range of engine load have been experimentally investigated by a water-cooled, four-cylinder, indirect injection, four cycle and marine diesel engine operating at two kinds of engine speeds. The simultaneous control of NO_x and soot emissions in diesel engines is targeted in this study. The EGR system is used to reduce NO_x emissions, and a novel diesel soot removal device with a cylinder-type scrubber for the experiment system which has 6 water injectors(A water injector has 144 nozzles in 1.0 mm diameter) is specially designed and manufactured to reduce the soot contents in the recirculated exhaust gas to intake system of the engines. The intake oxygen concentration and the mean equivalence ratio calculated by the intake air flow and fuel consumption rate, and the exhaust oxygen concentration measured are used to analyse and discuss the influences of EGR rate on NO_x and soot emissions. The experiments are performed at the fixed fuel injection timing of 15.3° BTDC regardless of experimental conditions. It is found that NO_x emissions are decreased and soot emissions are increased owing to the drop of intake oxygen concentration and exhaust oxygen concentration, and the rise of equivalence ratio as the EGR rate rises.

1. 서 론

디젤기관은 다른 열기관에 비하여 열효율이 높기 때문에, 에너지자원의 이용면에서 유효할 뿐만 아니라, 지구온난화 방지의 차원에서도 적합한 것으로 알려져 왔다. 그러나 현상태에서는 질소산화물(NO_x) 및 매연 배출물이 많기 때문에, 기관성능을 저하시키지 않고 배기 배출물을 저감시킬 수 있는 대책이 강하게 요구되고 있다.[1,2]

NO_x 및 매연의 생성 혹은 저감대책 조건은 서로 동시에 만족시킬 수 없는 관계이기 때문에, 현재의 상태에서는 기관자체의 개량만에 의해 동시에 저감시키는 것은 무리이다. 따라서 전처리, 후처리, 연소개선 등의 기술을 조합시킨 방법을 채용하지 않으면 안 된다. 디젤기관은 가솔린기관에 적용되는 삼원촉매와 같은 결정적인 배기 배출물 저감대책을 갖고 있지 못하기 때문에, 특히 NO_x을 저감시키는 대책을 확립하기 위한 방법으로서 연소기술, 연료성상 개선 등에 의한 연구가 활발하게 진행되고 있다.[3]

NO_x을 저감시키는 대표적인 대책으로서 EGR의 방법이 있는데, 디젤기관의 적용에 대한 많은

* 회원, 경상대학교 수송기계공학부, 생산기술연구소
E-mail : mwbae@nongae.gsnu.ac.kr
TEL : (055)751-6071 FAX : (055)762-0227
** 회원, 경상대학교 대학원

연구가 외국에서 이루어져 소형기관에는 이미 실용화되었고, 현재, 중· 대형기관의 실용화를 위한 신뢰성 및 내구성을 확립하는 단계에 있다. 중· 대형기관의 실용화가 늦은 이유는 연비가 악화되고, 매연 등의 배기 배출물이 증가하기 때문으로 알려져 있다.[4,5]

국내에서는 저자 등이 디젤기관에 EGR 시스템을 채용하여 재순환 배기가 연료소비율, 질소산화물 및 매연 배출물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 EGR율의 증가에 따라 변화하는 흡입산소농도, 배기산소농도 및 당량비에 의해 고찰해 보았다.[6] 최근, 저자 등은 재순환되는 배기에 물을 분사시켜 매연을 제거시킨 후 서지탱크에 보내 신기와 혼합시켜 연소실내로 보내는 새로운 스크러버형 EGR 시스템을 창안하였는데, 동방법은 NO_x 저감을 위한 EGR과 매연제거를 위한 스크러버형 물분사 시스템을 동시에 병행하는 실험으로, 디젤기관의 부하 및 회전속도를 파라미터로 해서 EGR율을 변화시켰을 경우, 재순환 배기가 기관내부의 마모, 연료소비율, 열발생률 및 배기 배출물에 미치는 영향에 대하여 현상론적으로 조사한 연구[7~9]이다.

본 연구에서는 스크러버형 EGR 시스템이 흡입산소농도, 배기산소농도 및 당량비에 미치는 연소특성을 파악하고, EGR율에 따른 이들 인자의 변화가 배기 배출물에 미치는 영향을 고찰하는 것이 목적이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 장치 개략도를 나타낸 것인데, 연구에 사용된 실험기관은 국내에서 생산되는 박용으로 수냉· 4기통 간접분사식 4행정 디젤기관이며, 주요 제원은 Table 1과 같다.

직류형 전기동력계를 사용하여 기관의 출력을 측정하였고, 연소실내 압력을 측정하기 위하여 첫 번째 실린더에 압전식 압력변환기를 설치하였다. 연료소비율은 유량계내 단위연료가 소비되는 시간을 계측하여 소비량을 환산하는 체적식 방법을 채용하였고, 흡입공기량 측정은 오리피스에 의한 디지털식 공기유량계를 이용했다. 또한 배기 배출물의 측정은 배기 분석기(Horiba Mexa-8020D)와 보쉬(Bosch)식 스모크 측정기를 이용하였다.

기관 흡기측에는 서지탱크를 설치하여 맥동현상을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 신기와 재순환

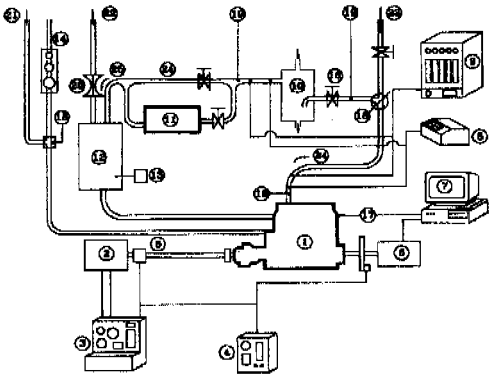

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Type	4 Cylinder, Water-Cooled, 4 Cycle, Indirect Injection, Natural Aspiration
Piston Displacement(cc)	3260
Bore(mm)× Stroke(mm)	95 × 115
Max. Power	29.4 kW / 1800 rpm
Fuel Injection Timing	BTDC 15.3°
Compression Ratio	20 : 1

배기가 잘 혼합될 수 있도록 하였고, 디지털식 습도계를 설치하여 흡입 혼합물(신기 + 재순환 배기)의 습도를 계측하였다. 또한, 재순환 배기를 적절하게 공급시키고, 매연제거장치로 인한 기관 배압을 최소화할 수 있도록 루트식 송풍기를 스크러버의 출구쪽과 서지탱크의 입구사이에 연결하여 설치하였다.

2.2 물분사식 매연제거장치(scrubber)

Fig. 2는 재순환되는 배기중 매연을 제거시킬 목적으로 설계하여 제작된 물분사식 매연제거장치의 개략도이다. 기관에서 배출된 배기가 측면 하단의 입구관으로 들어와 교란용의 링과 부딪치

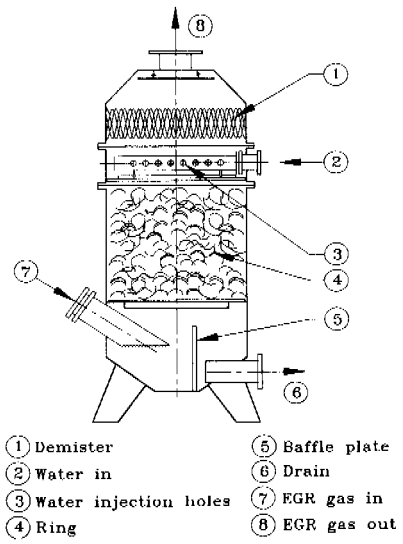

Fig. 2 Assembly of a novel diesel soot removal system with a cylinder-type scrubber

며 통과된 후, 직경 1 mm인 114개의 노즐구멍에서 분사되는 물에 의해 매연이 제거된다. 이 때 분사되는 유량은 솔레노이드 밸브 유량계에 의해 EGR율에 따라 자동적으로 조절된다. 이렇게 매연이 제거된 배기는 수분분리장치(demister)를 통과하면서 수분이 제거되고, 상부의 출구관을 통하여 송풍기에 의해 서지탱크내로 들어가 흡입된 신공기와 혼합된다.

2.3 실험 방법

본 연구에서는 기관회전속도, 부하 및 EGR율을 파라미터로 하여, 기관회전속도 1400 및 1600 rpm에서 부하를 25%에서 100%까지 25% 간격으로, EGR율을 0에서 25%까지 5% 간격으로 변화시키면서, 3개의 파라미터중 2개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키는 실험을 하였다. 본 실험에서는 동일 조건에서 이루어졌을지라도 EGR율의 변동률은 ± 2.5 % 이하이고, 부하의 변동률은 ± 5% 이하이다. 고EGR율에 대한 영향을 조사해 보기 위하여 EGR율 30% 이상인 경우의 실험도 시도해 보았지만, 매연의 과다배출과 기관출력의 저하로 정상적인 운전이 어려웠을 뿐만 아니라, 얻어진 데이터의 신뢰성도 문제가 되어 본 연구에서는 제외시켰다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 이용하여 기관의 냉각수와 윤활유에 대한 온도를 조절하고, 기관의 작동 및 연소 상태를 수시로 점검하기 위하여 기관의 각 부위(배기관, 스크러버 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 서지탱크)에 J 열전대(IC)를 삽입하여 온도를 측정하였다.

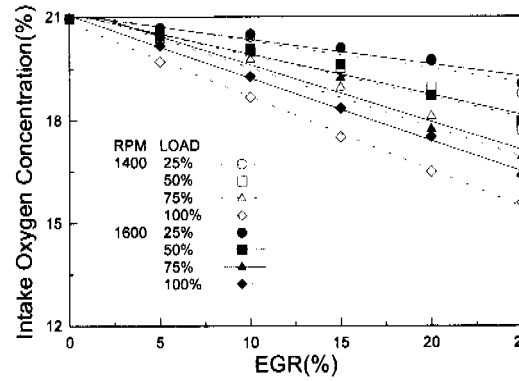

Fig. 3 Correlation between EGR rate and intake oxygen concentration as parameters of engine speed and load

본 연구의 재순환 배기에 대한 실험시, EGR율은 흡기관 및 배기관에서 CO_2 농도를 측정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.[10]

$$\text{EGR Rate}(\%) = \frac{[CO_2]_{EGR} - [CO_2]_{w/oEGR}}{[CO_2]_{EXH}} \times 100$$

여기서, $[CO_2]_{EGR}$은 EGR시 흡기의 CO_2 농도, $[CO_2]_{w/oEGR}$은 EGR을 하지 않았을 경우 흡기내의 CO_2 농도, $[CO_2]_{EXH}$는 EGR시 배기관내의 CO_2 농도를 나타낸다. EGR의 연구에 있어서 연료분사시기도 실험에 대한 파라미터중의 하나가 되지만, 본 연구에서는 연료분사시기를 BTDC 15.3°로 고정해서 실험을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 흡입산소농도

EGR에 의해 NO_x 배출물이 감소하는 이유로서 열용량 증가로 인해 연소가스온도가 저하하기 때문이라는 설[3]과 급기중의 산소농도가 감소하기 때문이라는 설[11]이 있는데, 본 연구에서는 EGR율 증가에 따라 흡입산소농도의 변화를 파악하기 위하여 나타낸 것이 Fig. 3이다. 그림에서 흡입산소농도는 기관회전속도 및 부하에 관계없이 EGR율이 증가할수록 거의 직선적으로 감소하고, 동 EGR율인 경우에는 기관회전속도가 증가할수록 또한 부하가 적을수록 큼을 알 수 있다. 이러한 실험결과는 디젤기관에 EGR을 적용한 이전의 연구결과[6,12]와 정성적으로 잘 일치하고 있다. 이하

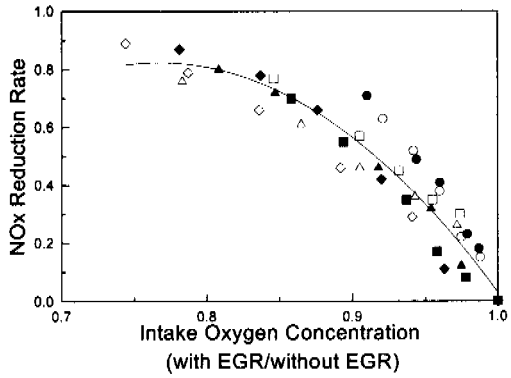

Fig. 4 Effect of intake oxygen concentration(with EGR/without EGR) on NO_x emissions

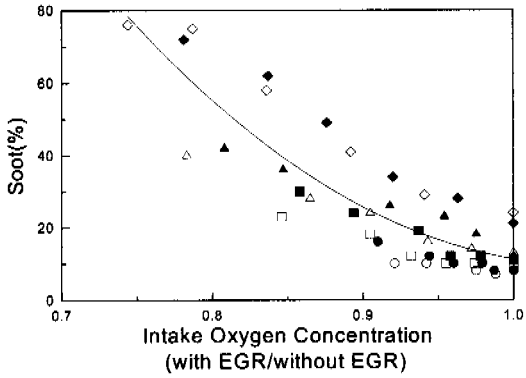

Fig. 5 Effect of intake oxygen concentration(with EGR/without EGR) on soot emissions

본 논문에 대한 그림의 기호는 Fig. 3과 같다.

Fig. 4에는 EGR시와 비EGR시 흡입산소농도의 비에 따른 NO_x 배출물의 감소율을 나타내고 있다. 여기서 NO_x 감소율이라 함은 동일 기관회전속도 및 부하에서 EGR율 0%일 때의 NO_x 배출물과 각 EGR율에 있어서 NO_x 배출물에 대한 감소량과의 비값을 말한다. 그림에서 흡입산소농도가 감소할수록 기관회전속도나 부하에 관계없이 NO_x 배출물의 감소율이 현저하게 증가함을 알 수 있다. Fig. 3에서 흡입산소농도는 EGR율이 증가할수록 직선적으로 감소하고 있기 때문에, 결국은 EGR율이 증가할수록 NO_x 배출물이 현저하게 감소하고 있음을 의미한다.

Khan 등[13]은 EGR율이 증가하면 흡입산소농도가 감소하고 연료과농 영역이 증가하여 NO_x 생성영역의 연소온도가 저하하기 때문에, NO_x 생성이 감소되어 배출물도 감소하게 된다고 했다. 한편, EGR율이 증가하면 흡입산소농도가 감소하는데, 흡입산소농도의 감소는 착화지연의 증가를 일으키고, 결국 이 때문에 NO_x 배출물이 감소하게 됨을 저자의 연구[8] 및 다른 연구[14,15]에서 보고되고 있다.

흡입산소농도가 스크러버형 EGR 시스템의 매연 배출물에 미치는 영향을 알아보기 위하여 기관회전속도와 부하에 관계없이 전데이터를 정리해서 나타낸 것이 Fig. 5인데, 가로축은 EGR시와 비EGR시 흡입산소농도의 비를 나타내고 있다. 그림에서 흡입산소농도가 감소할수록 매연 배출물의 증가가 현저함을 알 수 있는데, 여기서 흡입산소농도가 감소함은 EGR율의 증가를 의미한다. 이러한 정성적인 경향은 EGR만에 의한 이전의 연구결과[6,11]와도 잘 일치하고 있다.

본 연구에 사용된 물분사식 매연제거장치가 기관부하에 따라 다르기는 하지만, 30 ~ 50%의 매연제거 효율[16]이 있음에도 불구하고, EGR율의 증가에 따라 매연이 상당히 많이 배출되고 있음을 알 수 있다. 이것은 디젤기관에 EGR만을 적용하는 것이 극히 제한되는 EGR율뿐임을 의미한다. 따라서 디젤기관의 전운전 범위에 걸쳐서EGR만을 적용하는 것은 현 단계에서는 무리라고 생각된다.

EGR율의 증가에 따라 매연 배출물이 증가하는 이유로서, 흡입산소농도의 감소를 들고 있는데, 이것은 연소 전 분사된 연료와 예혼합시키기 위하여 필요한 산소량이 감소되기 때문으로, 감소된 산소는 매연증가에 기여한다고 했다. 또한, 흡입산소농도의 감소는 팽창행정중 매연의 산화에 필요한 산소량을 감소시키기 때문에, 매연이 급격하게 증가되어 디젤연소 시스템의 고부하에서 운용될 수 있는 EGR량에 제한을 받게 되는 경향이 있다고 했다.[17,18]

매연특성은 착화지연, 연소가스온도, 열발생률(예혼합 및 확산 연소의 최고값), 연소기간 등에 의해서도 지배를 받고 있는데, 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 EGR율이 증가할수록 흡입산소농도가 낮아지고, 결과적으로 착화, 혼합 등의 연소특성에 악영향을 초래하게 된다. 착화지연이 증가되면 예혼합 연소기간중 연소되는 연료량이 증가될 것 같지만, 흡입산소농도의 감소 때문에 연소에 이용되는 산소농도의 감소로 인하여 예혼합상(premixed phase)에서 연료의 연소속도가 감소된다. 또한, 연소가스온도도 저하되고, 연소기간이 단축되어 결국은 매연 배출물이 증가하게 될 것으로 예상된다.[8,15]

3.2 배기산소농도

Fig. 6은 EGR율 증가에 따른 배기산소농도의

측정값을 나타낸 것이다. 기관회전속도 1400 및 1600 rpm에서 부하가 증가할수록 배기산소농도는 감소하고, EGR율이 증가하면 부하에 관계없이 배기산소농도는 감소하는데, 부하가 증가할수록 감소폭이 큼을 알 수 있다.

이 그림에서 기관회전속도에 대하여 비교하기는 어렵지만, 이전의 EGR 연구에 의하면 기관회전속도의 증가에 따른 배기산소농도가 저부하 영역에서는 거의 변화가 없지만, 고부하 영역에서는 약간 감소하는 경향을 보이고 있다.[6]

Fig. 7은 EGR시와 비EGR시 배기산소농도의 비에 따른 NO_x 배출물에 대한 감소율의 관계를 나타낸 그림인데, 배기산소농도비 0.6을 중심으로, 0.6 ~ 1 사이에는 거의 직선적으로, 0.6 이하에서는 완만하게 감소율이 증가하고 있음을 보여주고 있다. 배기산소농도는 EGR율만이 아니고 부하, 기관회전속도 등의 기관성능하고도 관계가 있지만, Fig. 7에 의하면 결과적으로 배기산소농도와 NO_x 배출물도 관계가 있음을 시사하고 있다.

小高[19]는 급기산소농도가 18% 이상인 경우에는 배기산소농도의 감소에 따른 NO_x 배출물 증가가 현저하지만, 급기산소농도가 18% 이하로 떨어지면 NO_x 배출물에 대한 배기산소농도의 의존성이 아주 약해진다고 설명하고 있다. 이것은 이전의 EGR 연구[6] 및 본 실험결과와도 정성적으로 일치하고 있다.

Fig. 8은 EGR시와 비EGR시 배기산소농도의 비에 따른 매연 배출물을 나타내고 있다. 그림에 의하면 배기산소농도의 증가에 따라 매연 배출물이 직선적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이러한 데이터는 실용화를 위해 앞으로 배기산소농도에 따라 EGR 시스템 제어기구를 구축하는데 긴요하게 활용될 것이다.

3.3 당량비

Fig. 9는 EGR율의 변화에 따른 당량비의 변화를 나타낸 것인데, 여기에서 당량비는 실린더내에 흡입되는 산소량과 연료량에 의해 계산된 평균값이다. 그림에 의하면 EGR율이 증가할수록 당량비가 증가하고 있는데, 부하가 클수록 증가폭이 큼을 알 수 있다. 기관회전속도에 따른 당량비의 변화는 저부하 영역에서는 거의 변화가 없지만, 고부하 영역에서는 기관회전속도가 증가할수록 당량비가 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 앞에서 고찰한 것처럼 EGR율이 증가하면 흡입산소농도가 감소하고, 또한 부하가 증가하거나 기관회전속도가 증가하면 연료량이 증가하므로 당량비는 당연하게 증가한다. 이러한 경향은 이전의 EGR만에 의한 연구와 정성적으로 일치하고 있다.[6]

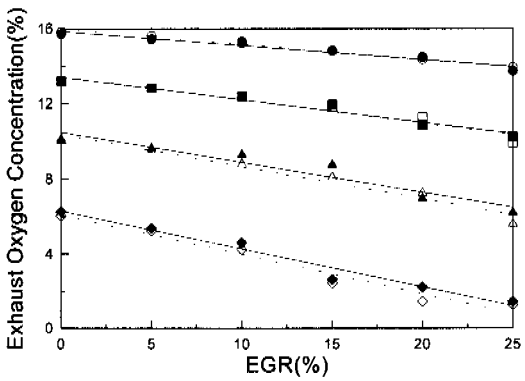

Fig. 6 Correlation between EGR rate and exhaust oxygen concentration as parameters of engine speed and load

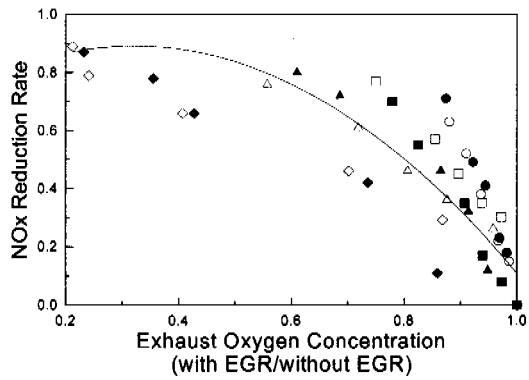

Fig. 7 Effect of exhaust oxygen concentration(with EGR/without EGR) on NO_x emissions

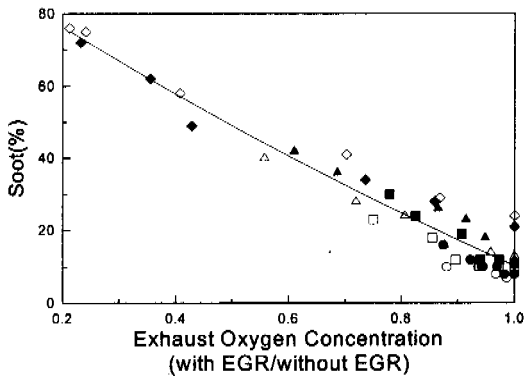

Fig. 8 Effect of exhaust oxygen concentration(with EGR/without EGR) on soot emissions

당량비와 NO_x 배출물 감소율과의 관계를 표시하기에는 데이터가 너무 흩어져 있어 당량비만으로는 데이터를 정리할 수가 없기 때문에, 각 기관회전속도 및 부하별로 데이터를 정리한 것이 Fig. 10이다. 그림에 의하면 부하가 증가할수록 당량비의 폭도 넓고, 당량비 증가에 따른 NO_x 배출물 감소율의 증가가 완만해짐을 알 수 있다.

이전의 연구[6]에서 NO_x 배출물 감소율이 0인 최대 당량비가 대략 0.8 부근이었는데, 본 연구에서는 이 값이 0.74 정도됨을 알 수 있다. 이것은 이전 연구의 이론계산에서와 정성적으로 일치하는데, EGR율이 증가하면 당량비가 증가하여 상대적으로 연료과농이 되기 때문에, 산소부족으로 반응온도가 저하되어 NO_x 배출물이 감소된다.

당량비와 매연 배출물과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 11인데, 당량비 0.6 이하인 희박연소 영역에서는 매연 배출물의 농도가 30% 이하이지만, 그 이상에서는 거의 직선적으로 증가되어 이론혼합비를 넘어서면 매연 배출물의 농도가 80% 이상으로 현저하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

배[20]의 예혼합기 연소 연구에 의하면 매연생성에 미치는 당량비의 영향이 아주 큰데, 그 이유로서 당량비가 증가하면 저분자량 탄화수소이온보다는 매연의 전구물질(precursor)인 고분자량 탄화수소이온이 증가하기 때문이라고 했다. 디젤연소는 확산연소이지만, 국소적으로 보면 예혼합연소의 집합으로 간주할 수 있기 때문에, 같은 현상을 나타내리라 예상된다. 이러한 정성적인 경향은 다른 연구결과[11,17,21]와도 아주 잘 일치하고 있다.

대부분의 매연은 압축행정중의 고온연소에 의한 착화지연의 감소로 확산연소기간이 늘어나기 때문에 생성되는데, 잔류가스중의 산소농도는 매연의 재연소에 아주 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구와 같이 EGR율의 증가에 따른 당량비의 증가는 산소농도의 상대적인 부족으로 매연의 생성과정에 기여하여 매연 배출물이 증가한다고 생각된다.

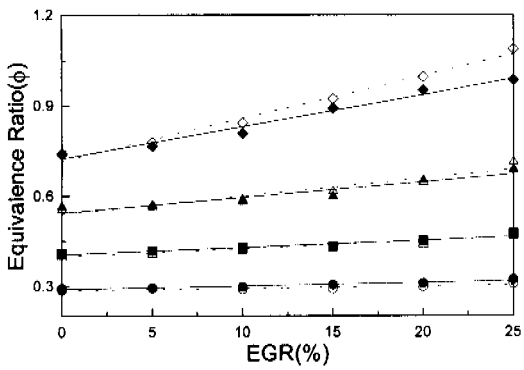

Fig. 9 Correlation between EGR rate and equivalence ratio as parameters of engine speed and load

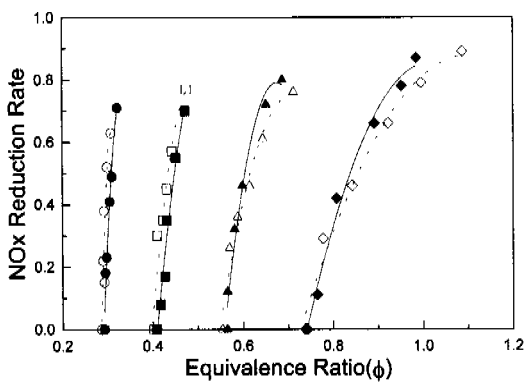

Fig. 10 Effect of equivalence ratio on NO_x emissions

4. 결 론

수냉 4기통 간접분사식 4행정 스크러버형 EGR 시스템 디젤기관의 회전속도 1400 및 1600 rpm에서 부하를 파라미터로 하여 EGR율 변화시에 재순환 배기가 NO_x 및 매연 배출물에 미치는 영향을 실험적으로 조사하고, 흡입산소농도, 배기산소농도 및 당량비와의 관계를 고찰하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

(1) EGR율이 증가할수록 흡입산소농도와 배기산소농도는 감소하고, 부하가 클수록 감소폭도 커진다.

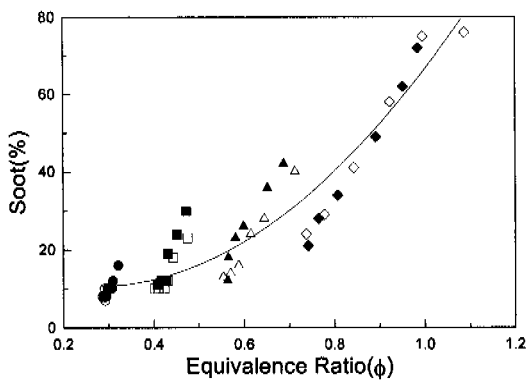

Fig. 11 Effect of equivalence ratio on soot emissions

(2) EGR율이 증가할수록 당량비는 증가하는데, 저부하 영역보다는 고부하 영역에서의 증가폭이 크다.

(3) 흡입산소농도가 감소할수록 NO_x 배출물은 현저하게 감소하지만, 매연 배출물은 증가한다.

(4) 배기산소농도가 감소할수록 NO_x 배출물은 감소하지만, 매연 배출물은 직선적으로 증가한다.

(5) 당량비의 증가에 따른 NO_x 배출물 감소율은 현저한데, 특히 저부하 영역인 희박 연소영역에서 당량비의 영향이 크다. 매연 배출물은 당량비가 증가할수록 많다.

후 기

본 연구의 수행중 많은 자료를 제공해 주시고, 격려해주신 東海大 神本 武征 교수(東京工大 명예교수) 와 明治大 土屋 一雄 교수에게 감사드립니다.

참고문헌

(1) 下出正敏, 鹽崎忠一, 1995, "ヘビ-デュ-デイデイ-ゼルエンジンの排氣淨化," 內燃機關, Vol. 34, No. 430, pp. 50～59.

(2) 小林伸治, 1996, "自動車用デイ-ゼルエンジンの排出ガス規制に對するアプローチ方法," 自動車技術, 第50卷, 第1號, pp. 71～77.

(3) 池上 詢, 1996, "デイ-ゼルエンジン燃燒の課題," 燃燒の科學と技術, Vol. 3, pp. 151～157.

(4) 鹽崎忠一, 土橋敬市, 1997, "ディーゼルエンジンのEGR技術について," 自動車技術, Vol. 51, No. 9, pp. 75～80.

(5) 横田治之, 中島 大, 掛川俊明, 1998, "低公害ディーゼルエンジンの燃燒コンセプト(續報:EGR, 含酸素燃料による燃燒改善)," 自動車技術, Vol. 52, No. 5, pp. 70～75.

(6) Bae, M. W., Jeon, H. J., and Choi, J. S., 1999, "The Effects of Recirculated Exhaust Gas on Fuel Economy and Exhaust Emissions in Marine Diesel Engines," *The Proceeding of International Symposium on Internal Combustion Engine - CIMAC DAY 1999 Shanghai*(Chinese Society for Internal Combustion Engine), pp. 91～105.

(7) 裵明煥, 河正鎬, 2000, "舶用 디젤機關 NO_x 및 煤煙 排出物에 미치는 스크러버型 EGR시스템 再循環 排氣의 影響에 관한 硏究," 韓國舶用機關學會誌, 第24卷, 第3號, pp. 330～338.

(8) Bae, M. W., 1999, "A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas on NO_x and Soot Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System," *SAE* 1999-01-3266, pp. 78 ～ 87.

(9) Bae, M. W., Ha, H. J., and Tsuchiya, K., 1999, " Effect of Recirculated Exhaust Gas on Wear of Cylinder and Piston in marine Small Diesel Engines," *The 63rd Annual Autumn Conference on Marine Engineering*(The Marine Engineering Society in Japan), pp. 39～42.

(10) Fujimoto, H., Senda, J., Shibata, I., and Matsui, K., 1995, "New Concept on Lower Exhaust Emission of Diesel Engine," *SAE* 952062, pp. 65～77.

(11) Tsunemoto, H., and Ishitani, H., 1980, "The Role of Oxygen in Intake and Exhaust on NO Emission, Smoke and BMEP of a Diesel Engine with EGR System," *SAE* 800030, pp. 132～140.

(12) 內田 登, 菅野秀昭, 大聖泰弘, 齊藤 孟, 1993, "ディーゼル機關におけるEGRと過給の組み合わせによる排出特性の改善," 自動車技術會論文集, 第24卷, 第4號, pp. 41～46.

(13) Khan, I. M., Greeves, G., and Wang, C. H. T., 1973, "Factors Affecting Smoke and Gaseous Emissions from Direct Injection Engines and a Method of Calculation," *SAE* 730169, pp. 687 ～ 709.

(14) Daisho, Y., Uchida, N., Morita, K., Saito, T., and Shimogata, S., 1994, "Effects of Supercharging and EGR on Diesel Combustion and Emissions," *International Symposium COMODIA 94*, pp. 281～286.

(15) Ladommatos, N., Abdelhalim, S. M., Zhao, H., and Hu, Z., 1998, "Effects of EGR on Heat Release in Diesel Combustion," *SAE* 980184, pp. 77～95.

(16) 朴泰仁, 金兌權, 裵明煥, 崔在星, 1994, "船用 디젤機關의 排氣 排出物에 미치는 스크러버型 排氣 再循環器의 影響," 1994年度 韓國舶用機關學會 春季共同學術講演會 抄錄集, pp. 42～47.

(17) Wade, W. R., 1980, "Light-Duty Diesel NO_x-HC-Particulate Trade-off Studies," *SAE* 800335, pp. 1379～1398.

(18) Plee, S. L., Ahmad, T., and Myers, J. P., 1981, "Flame Temperature Correlation for the Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Particulate and NO_x Emissions," *SAE* 811195, pp.

75～91.
(19) 小高松男, 1989, "大型ディーゼル車のEGRによる實用運轉時NO_x抑制方策とその效果," 內燃機關 28, pp. 17～23.
(20) Bae, M. W., and Kim, K. S., 1994, "A Study on Soot Formation in Premixed Constant-Volume Propane Combustion(Effects of Pressure, Temperature and Equivalence Ratio)," *KSME Journal*, Vol. 8, No. 2, pp. 175～182.
(21) 松岡 洉, 櫻井 茂, 中谷 茂樹, 1987, "渦室式ディーゼル機關のパティキュレート低減手法(斷熱渦室におけるEGR及び噴射時期の最適化)," 第6回內燃機關合同シンポジウム講演論文集, pp. 137～142.