

스크러버형 EGR시스템 디젤기관의 성능 및 배기 배출물에 미치는 재순환 배기온도의 영향

배명환* · 하태용** · 류창성** · 하정호*** · 박재윤****

* 경상대학교 기계항공공학부, ** 경상대학교 대학원 기계설계학과
*** 경상대학교 대학원 기계공학과, **** 경남대학교 전기전자공학부

Effect of Recirculated Exhaust Gas Temperature on Performance and Exhaust Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System

Myung-whan Bae, Tae-yong Ha, Chang-sung Ryu, Jung-ho Ha, Jae Yoon Park

Abstract

The effects of intake mixture temperature on performance and exhaust emissions under four kinds of engine loads were experimentally investigated by using a four-cycle four-cylinder, swirl chamber type, water-cooled diesel engine with scrubber EGR system operating at three kinds of engine speeds. The purpose of this study is to develop the scrubber exhaust gas recirculation(EGR) control system for reducing NO_x and soot emissions simultaneously in diesel engines. The EGR system is used to reduce NO_x emissions. And a novel diesel soot-removal device with a cylinder-type scrubber which has five water injection nozzles is specially designed and manufactured to reduce soot contents in the recirculated exhaust gas to the intake system of the engine. The influences of cooled EGR and water injection, however, would be included within those of scrubber EGR system. In order to study the effect of intake mixture temperature, a intake mixture heating device which has five heating coils is made of a steel drum. It is found that the specific fuel consumption rate is considerably elevated by the increase of intake mixture temperature, and that NO_x emissions are markedly decreased as EGR rates are increased and intake mixture temperature is dropped, while soot emissions are increased with increasing EGR rates and intake mixture temperature.

Key words : Intake Mixture Temperature(흡입혼합기 온도), Diesel Engine(디젤기관), Scrubber EGR System(스크러버형 EGR시스템), Exhaust Gas Recirculation(EGR : 배기 재순환), NO_x and Soot Emissions(질소산화물 및 매연 배출물), Cooled EGR(냉각 EGR), Intake Mixture Heating Device(흡입혼합기 가열장치)

1. 서 론

디젤기관은 현존하는 열기관중에서 열효율이 가장 높아 박용 저속 대형 2행정에서는 열효율이 50%를 초과하고 있고, 버스, 트럭 등에서도 최고 열효율이 45%를 초과하고 있다. 그러나 질소산화물 및 매연 배출물이 많기 때문에, 현재 디젤기관의 최대과제는 높은 열효율을 유지하면서, 유해 배기 배출물을 줄일 수 있는 대책을 강구하

는 점이다. 유해 배기 배출물중에서도 NO_x와 매연 배출물은 서로 만족시킬 수 없는 조건들 때문에 동시저감이 간단하지는 않지만, 최근에는 고압분사, 중간냉각 터보과급, 냉각EGR, 산화촉매 등에 의한 조합기술의 대응이 진행되고 있다. 그러나 이러한 기술은 저유황, 산소함유 등 연소기술의 개선을 전제로 하고 있고, 희박연소(Lean Burn) 촉매, DPF(Diesel Particulate Filter Trap) 등 후처리 기술도 동시에 개발되어야 한다.^(1 ~ 5)

스크러버형 EGR시스템 디젤기관의 성능 및 배기 배출물에 미치는 재순환 배기온도의 영향

EGR은 복잡한 장비의 설치나 개조를 하지 않고도 NO_x 배출물을 대폭적으로 저감시킬 수 있는 대표적인 방법으로 잘 알려져 있지만, 매연 등의 배기 배출물을 증가시키는 문제점이 있다. 그러나 제어 EGR의 방법을 선택하여 최근에는 소형 디젤기관에 폭 넓게 사용되고 있고, 현재, 중·대형기관의 실용화를 위한 신뢰성 및 내구성을 확립하는 단계에 있는데, 중·대형기관의 실용화가 늦은 이유는 매연 등의 배기 배출물이 증가하기 때문이다.^(6 ~ 13)

저자 등은 디젤기관에 단순 EGR시스템을 채용하여 EGR율의 증가에 따라 변화하는 흡입산소농도, 배기산소농도 및 당량비를 파라미터로 하여 재순환 배기가 연료소비율, 질소산화물 및 매연 배출물에 미치는 영향을 조사했다.^(14, 15)

최근, 저자 등은 재순환되는 배기에 물을 분사시켜 매연을 제거시키는 스크러버형 EGR시스템을 창안하였는데, 동방법은 NO_x 저감을 위한 EGR과 매연제거를 위한 스크러버형 물분사 시스템을 동시에 병행하여 EGR율을 변화시켰을 경우, 재순환 배기가 기관내부의 마모, 연료소비율, 열발생을 및 배기 배출물에 미치는 영향을 조사했다.^(16 ~ 18) 그러나 스크러버형 EGR시스템의 재순환 배기에 매연을 제거시키기 위하여 물을 분사시켰을 경우에는 의도와는 관계없이 수분이 함유되고 재순환 배기도 냉각되어 서지탱크에서 신기와 혼합하여 연소실 내로 들어가는 재순환 배기가 수분 및 냉각EGR(Cooled EGR)의 효과가 나타나리라 예상되고 있기 때문에, 순수한 EGR의 영향만은 아닐 것으로 판단된다.

본 연구에서는 디젤기관에 스크러버형 EGR시스템을 적용하는 경우에 수분 및 냉각EGR의 효과를 알아보기 위하여 재순환 배기와 혼합되는 흡입혼합기를 히터로 가열하여 수분을 제거하고 고온EGR(Hot EGR)을 만들어 흡입혼합기의 온도변화가 연비, 연소 및 배기 특성에 미치는 영향을 조사하는 것이 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용된 장치의 개략도는 Fig. 1과 같고, 기관은 수냉, 4기통, 와류실식의 4행정 디젤기관으로 국내산 자동차용을 사용하였고, 주요 제원을 Table 1에 나타내고 있다. 와류형 전기동

력계에 의해 기관출력을 측정하였고, 1번 실린더 헤드부에 압전식 압력변환기(Kistler 6061B)를 설치하여 연소실내 압력을 측정하였다.

중량식 유량계(HF-2000GD)를 사용하여 단위 시간에 소비되는 연료를 계측하여 연료소비율을 계산하였고, 흡입공기량은 층류 유량계를 설치하여 측정하였다. 또한, CO, CO₂ 배출물은 NDIR 배기 분석계(CGT-7000), O₂ 배출물은 지르코니아(Zirconia)법에 의한 O₂ 분석계, NO_x 배출물은 화학발광법 NO_x 분석계(Signal 4000VM), THC 배출물은 HFID THC 분석계(Signal 3000 HM), 매연은 광반사식 디젤 매연측정기(DST-210)를 사용하여 측정하였다.

기관의 흡기측에는 서지탱크를 설치하여 맥동 현상을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 신기와 재순환 배기의 혼합이 잘 이루어지도록 하였고, 흡입혼합기(신기+재순환 배기)의 온도 및 습도를 계측할 수 있도록 디지털식 온·습도계를 설치하였다. 재순환 배기가 적절하게 공급되고, 매연제거장치의 설치로 인한 기관배압의 영향이 최소화될 수 있도록 송풍기를 스크러버의 출구쪽과

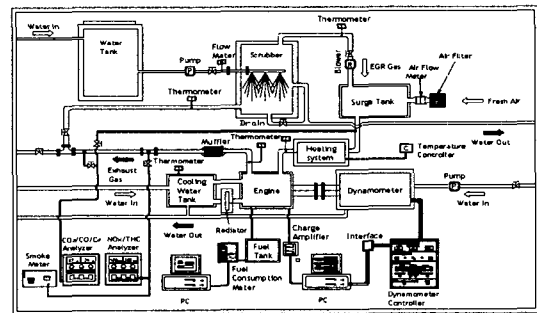


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Type	4 Cylinder, 4 Cycle Water-cooled, Swirl, chamber, Natural aspiration
Piston Displacement (cc)	2476
Bore (mm)× Stroke (mm)	91.1 × 95
Max. Power	58.82 kW/4200 rpm
Fuel Injection Timing	ATDC 4°
Compression Ratio	21 : 1

서지탱크의 입구사이에 연결하여 설치하였다.

2.2 물분사식 매연제거장치 및 흡입혼합기 가열장치

본 연구에서는 기관에서 배출되는 매연을 저감시킬 목적으로 Fig. 2와 같은 물 분사식 매연제거장치를 설계하고 제작하여 배기관과 서지탱크 사이에 설치하였다. 기관에서 배출된 배기가 스크러버 측면 하단에 설치된 입구관으로 들어와 교란용 물질과 부딪치면서 5개의 원추형 노즐에서 분사되는 물에 의하여 매연이 제거된다. 연속적이고 일정한 유량이 공급되도록 하기 위하여 분사되는 물은 물탱크(5 ton) 및 펌프를 설치하여 유량조절밸브에 의해 조정하였고, 오리피스 유량계를 설치하여 이를 확인하였다. 매연이 제거된 배기는 분사노즐 상부에 설치된 수분분리장치를 통과하면서 수분이 제거되고, 상부의 출구관을 통하여 송풍기에 의해 서지탱크내로 들어가 흡입된 신공기와 혼합되어 실린더내로 들어가도록 되어있다.

매연을 제거하기 위하여 사용된 물분사는 재순환 배기를 냉각시키는 냉각EGR의 효과를 나타낼 것으로 예측되며, 일반적으로 NO_x 배출물을 저감시키기 위해서 사용되는 물분사의 영향도 일부 가미되었을 것으로 판단되어, 본 연구에서는 이들의 영향을 조사하기 위하여 흡입혼합기를 가열시켰는데, 구조는 850 mm × ø 560 mm 원통형 강판제로 제작된 내부에 등간격의 ø 340 mm, 코일직경 ø 40 mm인 원형 가열코일(전류 6.7 A)을 병렬로 5개 설치하였다. 서지탱크에서 혼합된 재순환 배기와 신기는 ø 100 mm 관을 통하여 히터가 들어있는 원통에 들어가 가열되어 ø100 mm 관을 통하여 흡기 다기관으로 들어가도록 되어있다. 본 실험에서는 정상운전에서 80℃까지 가열이 가능하였는데, 그 이상의 온도로 가열시키는 것은 본 장치로서는 무리임을 확인하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도가 1800, 2800 및 3800 rpm인 경우에 대해, 기관부하를 전부하까지 25%씩 증가시키고, EGR율은 0, 10, 20%의 3 조건에 대하여, 가열시키지 않고 스크러버를 통과하여 서지탱크에서 혼합된 흡입혼합기의 온도

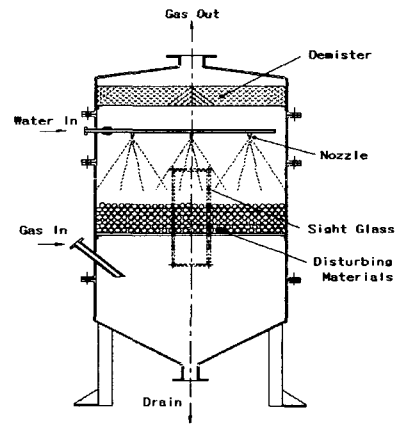


Fig. 2 Cross-section of a novel diesel soot-removal system with a cylinder-type scrubber

인 25℃를 기준으로 40, 60, 80℃로 가열시키면서 실험하였다. 단, 3800 rpm 인 경우에는 온도를 40℃ 이상 가열시키면 흡기충진효율이 나빠져서 운전이 불안정해지기 때문에, 40℃를 초과시켜 가열시키는 실험은 하지 않았다. 이렇게 하여 기관회전속도, 기관부하, EGR율, 흡입혼합기 온도의 4 개 파라미터 중, 3 개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 하였지만, 데이터수가 너무 많고, 또한 기관회전속도의 경우에는 대체적으로 유사한 경향을 나타내고 있으므로 실험결과의 고찰에 있어서는 대표적으로 2800 rpm의 경우만을 나타내고 있다. 본 실험에서는 동일 조건에서 이루어졌을지라도 EGR을 변동률은 ± 3% 이하, 부하 변동률은 ± 5% 이하, 흡입혼합기 가열온도 변동률은 ± 1℃ 이하를 나타내고 있다.

실험기간중, 수냉식 열교환기를 사용하여 냉각수와 윤활유 온도를 조절하였고, 기관 및 각 부위(배기관, 스크러버 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 서지탱크)에 K형 열전대를 삽입하고 온도를 측정하여 기관의 작동 및 연소 상태를 수시로 점검하였다. 매연제거장치의 물 분사량은 30 ℓ/min으로 고정하였다.

본 연구에서 배기를 재순환시키는 실험을 하는 경우, EGR율은 흡기관 및 배기관에서 CO₂ 농도를 측정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.^(16 ~ 18)

$$\text{EGR Rate(\%)} = \frac{[\text{CO}_2]_{\text{EGR}} - [\text{CO}_2]_{\text{w/o EGR}}}{[\text{CO}_2]_{\text{EXH}}} \times 100$$

스크러버형 EGR시스템 디젤기관의 성능 및 배기 배출물에 미치는 재순환 배기온도의 영향

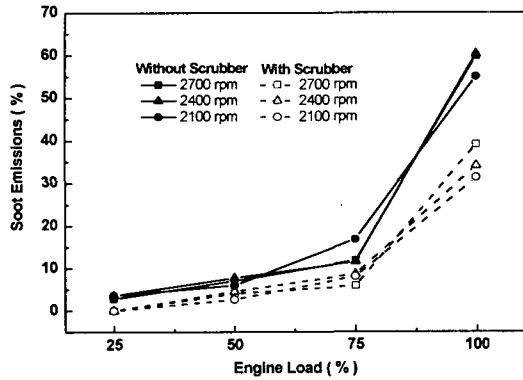


Fig. 3 Comparison of the soot reduction rate between without and with scrubber in a given engine speed 2100, 2400 and 2700 rpm

여기서, $[CO_2]_{EGR}$ 은 EGR시 흡기중의 CO_2 농도, $[CO_2]_{w/o EGR}$ 은 EGR을 하지 않을 경우의 흡기내 CO_2 농도, $[CO_2]_{EXH}$ 는 EGR시 배기중의 CO_2 농도를 나타내고 있다. EGR 연구에 있어서는 연료 분사시기도 실험조건에 하나가 될 수 있지만, 본 연구에서는 연료분사시기를 Table 1에 나와 있는 것처럼 ATDC 4°로 고정하여 실험을 했다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 매연제거장치 효율

매연제거의 성능을 조사하기 위하여 본 연구의 원통형 물분사식 매연제거장치인 스크러버에 대하여 기관회전속도를 1200 rpm에서 3900 rpm 까지 300 rpm 간격으로, 기관부하를 25% 간격으로 하는 조건하에서 매연제거 효율을 측정했다. Fig. 3에서는 대표적으로 기관회전속도 2100, 2400, 2700 rpm인 경우의 실험조건에 대해서 기관부하에 따라 배출된 매연 농도의 전량이 스크러버를 통과한 경우와 통과하지 않은 경우에 대하여 측정된 값을 나타내고 있다. 두 경우를 비교한 결과, 기관회전속도 및 부하에 따라 다르기는 하지만, 배기 배출물의 전량을 스크러버로 통과시키면 본 연구의 기관회전속도 범위에서 매연 배출물은 부하 100%인 경우에는 30 ~ 44 % 정도, 부하 75%에서 40 ~ 70% 정도, 부하 50%에서 40 ~ 100% 정도, 부하 25%에서 100% 정도 저감되었다. 여기서 100% 저감이라는 것은

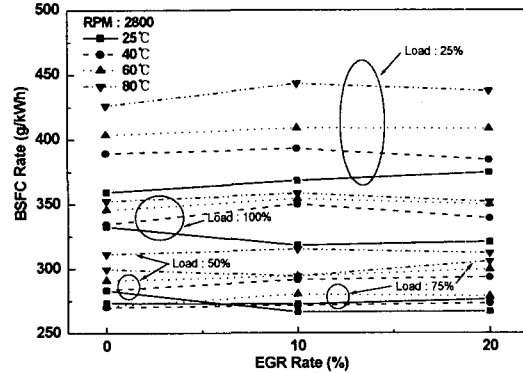


Fig. 4 Effect of EGR rate on brake specific fuel consumption rate as a parameter of intake temperature at an engine speed of 2800 rpm

매연 제척기상에 매연농도가 전혀 검출되지 않음을 의미한다. 이와 같이 스크러버를 통 과시키므로써 배기 배출물중 매연 배출물이 30% 이상 저감되었는데, 부하 25%에서는 실험조건 범위의 어느 기관회전속도에서나 전량이 제거되었고, 고 회전속도에서는 부하가 낮을수록, 저회전속도에서는 부하에 관계없이 매연제거효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

3.2 연료소비율

본 연구의 실험조건인 기관회전속도 1800, 2800 및 3800 rpm에 있어서 각각 기관부하, 흡입 혼합기 온도, EGR율의 변화에 따른 연료소비율을 측정된 결과에 대하여 대표적으로 기관회전속도 2800 rpm인 경우를 나타낸 것이 Fig. 4이다. 동일 기관회전속도와 부하에서 EGR을 20%까지는 EGR율의 증가에 따른 연료소비율의 증가 및 감소폭이 크지 않고, 그 변동폭은 평균 2 ~ 3% 이내로 환경오염의 심각성에 비하면 미미하였다.

흡입혼합기 온도의 증가에 따라 같은 조건에서는 거의 대부분 고온EGR이 냉각EGR보다 연료 소비율이 증가하고 있으며, 25°C에서 80°C까지 흡입혼합기를 가열시켰을 경우에는 부하 25%에서 최고 20.3% 정도, 부하 50%에서 최고 18.4% 정도, 75%에서 최고 10.7 % 정도, 부하 100%에서 최고 13. 8% 정도까지 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이와 같이 흡입혼합기를 가열시키면 EGR을 증가에 의한 영향이 거의 나타나지 않고 있는 것

같았다.

3.3 연소특성

본 연구의 실험조건인 기관회전속도 1800, 2800 및 3800 rpm에 있어서 각각의 부하에 대한 EGR율과 흡입혼합기 온도 변화가 디젤기관의 연소특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실린더내의 연소압력을 측정하였고, 측정연소압력을 이용하여 열발생률을 계산하였는데, 기관회전속도 2800 rpm, 기관부하율 100%, EGR율 0 · 10 · 20%, 흡입혼합기 온도 25 · 40 · 60 · 80℃인

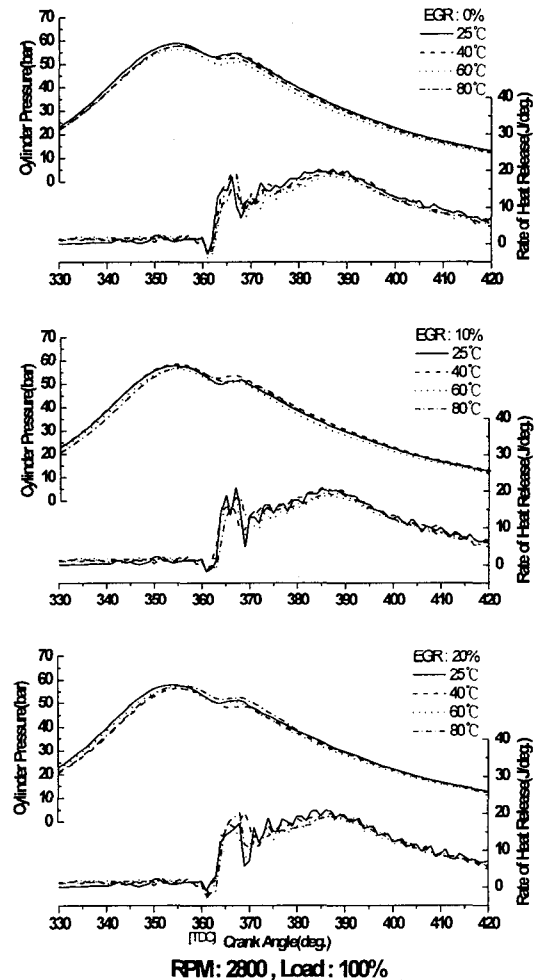


Fig. 5 Comparisons of cylinder pressure and rate of heat release as a parameter of intake mixture temperature at an engine speed of 2800 rpm and an engine load of 100%

경우에 대한 결과를 대표적으로 나타낸 것이 Fig. 5이다. EGR율 이외의 다른 조건이 같을 경우, EGR율이 증가할수록 착화지연이 약간 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한, 열발생률은 예혼합연소 최고값이 EGR율 20%에서 흡입혼합기 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향이 있고, 착화지연도 약간 증가하고 있음을 알 수 있다.

3.3 배기 배출물

3.3.1 질소산화물(NO_x) 배출물 본 연구에서는 기관회전속도 1800, 2800 및 3800 rpm에서 기관부하, 흡입혼합기 온도, EGR율을 파라미터로 하여 NO_x 배출물을 측정하여 비교하였는데, 대표적으로 기관회전속도 2800 rpm인 경우를 Fig. 6에 나타내고 있다. 그림에서 동일 기관부하 및 동일 흡입혼합기 온도에서는 EGR율이 증가할수록 NO_x 배출물이 감소하고, 특히 기관부하가 높을수록 EGR율의 증가에 따른 NO_x 배출물의 감소율이 큼을 알 수 있다. 동일 기관부하에서는 고온EGR이 될수록 흡입혼합기 온도가 상승하여 화염온도도 증가되므로, NO_x 배출물은 증가되고 있다.

3.3.2 매연 배출물 실험조건인 기관회전속도 1800, 2800 및 3800 rpm에 있어서 각각의 기관부하에 대한 흡입혼합기 온도, EGR율 변화에 따른 매연 배출물을 측정하였는데, 여기에서는 대표적으로 2800 rpm인 경우에 대해서 Fig. 7에 보여주고 있다. 동일 기관부하에 있어서는 EGR

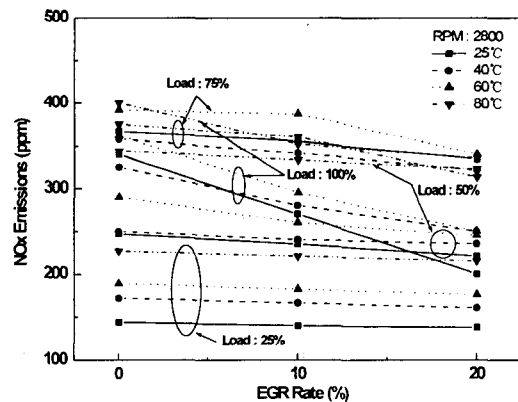


Fig. 6 Effect of EGR rate on NO_x emissions as parameters of intake mixture temperature and engine load at an engine speed of 2800 rpm

스크리버형 EGR시스템 디젤기관의 성능 및 배기 배출물에 미치는 재순환 배기온도의 영향

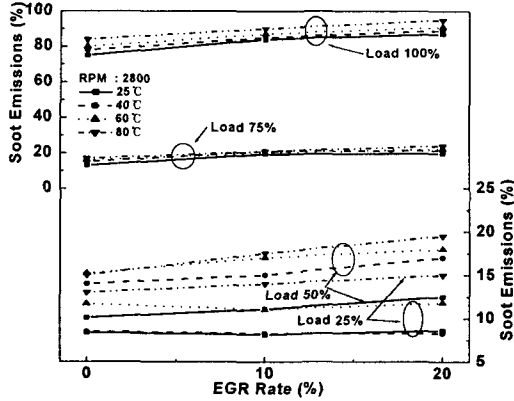


Fig. 7 Effect of EGR rate on soot emissions as parameter of intake mixture temperature and engine load at an engine speed of 2800 rpm

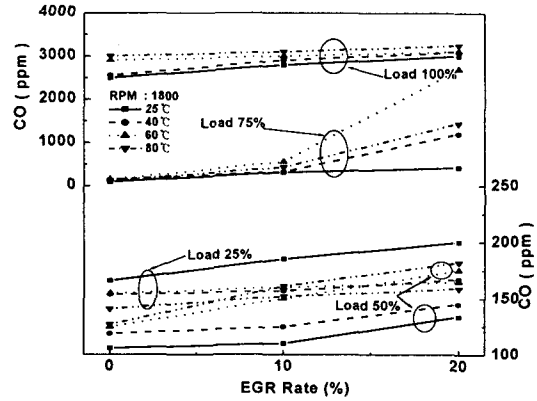


Fig. 8 Effect of EGR rate on CO emissions as parameters of intake mixture temperature and engine load at an engine speed of 2800 rpm

율이 증가할수록 매연 배출물이 증가하였는데, 기관부하 75% 이하의 영역에서는 EGR율에 의한 영향이 별로 크지 않지만, 기관부하 100%에서는 EGR율의 영향이 상당히 큼을 알 수 있다. 또한 동일 EGR율에서는 기관부하가 증가할수록 매연 배출물이 증가하고, 기관부하 100%에서는 급격히 증가하고 있다.

Fig. 7에는 흡입혼합기 온도의 영향에 대해서 실험한 결과도 보여주고 있는데, 기관부하 100%에서 EGR율 0, 10, 20%에 대하여 흡입혼합기 온도를 25°C에서 80°C로 증가시켰을 경우, 기관회전속도 1800 rpm에서 매연 배출물은 35.8%, 31.7%, 21.1% 정도로, 기관회전속도 2800 rpm에서 12%, 7.1%, 9.2% 정도로 증가하고, 3800 rpm에서 흡입혼합기 온도를 25°C에서 40°C로 증가시켰을 경우, 매연 배출물이 7.5%, 3.3%, 4.5% 정도로 증가하여 동일 기관부하에서는 고온EGR이 될수록 매연 배출물이 증가하고 있다. 그러나 그러한 경향은 EGR율이 증가할수록 증가폭은 감소하고 있음도 알 수 있다.

3.3.3 일산화탄소(CO) 배출물 본 연구에서는 지금까지의 연구^(17, 19)와는 다르게 흡입혼합기 온도의 가열로 인해 불완전연소 등에는 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위하여 일산화탄소 및 총탄화수소 배출물도 측정하여 고찰했다. 이들 배출물도 실험조건인 기관회전속도에 대한 데이터를 측정했지만, 여기에서는 2800 rpm에 대한 경우만을 Fig. 8에 나타내고 있다.

Fig. 8에서는 동일 기관부하에서 EGR율이 증

가할수록 CO 배출물도 증가하고, 기관부하에 대해서는 저속에서 불완전연소로 인하여 배출량이 증가하지만, 기관부하 50% 전후에서는 감소한 후, 다시 부하가 증가되면서 CO 배출물이 급격하게 증가하다가 전부하에서는 배출량이 상당히 증가됨을 알 수 있다.

Fig. 8에는 흡입혼합기 온도의 영향에 대해서 나타내고 있는데, 흡입혼합기 온도를 25°C에서 80°C까지 증가시켰을 경우, 1800 rpm의 기관부하 100%에서는 EGR율 0, 10, 20%에 대하여 CO 배출물이 29.5%, 27.6%, 30% 정도 증가하였지만, 기관부하 25%에서 41.8%, 40.6%, 38% 정도로 오히려 감소하였다. 2800 rpm의 기관부하 100%에서는 EGR율 0, 10, 20%에 대하여 CO 배출물이 20%, 11.2%, 8.3% 정도 증가하였지만, 기관부하 25%에서는 15%, 17.8%, 20.5% 정도로 감소하였다. 또한, 3800 rpm의 기관부하 100%에서 흡입온도를 25°C에서 40°C로 증가시켰을 경우, EGR율 0, 10, 20%에 대하여 CO 배출물이 0.3%, -1.8%, 1.5% 정도 증가하였지만, 기관부하 25%에서는 9.1%, 8.7%, 12.2% 정도로 감소하였다. 즉, 기관부하 25%에서는 냉각EGR이 될수록 CO 배출물이 증가하였지만, 기관부하 50% 이상에서는 고온EGR로 갈수록 CO 배출물이 증가하고 있음을 알 수 있다.

3.3.4 총탄화수소(THC) 배출물 실험조건인 기관회전속도 1800, 2800 및 3800 rpm에 있어서 기관부하, 흡입혼합기 온도, EGR율을 파라미터로 하여 THC 배출물을 측정하여 대표적으로

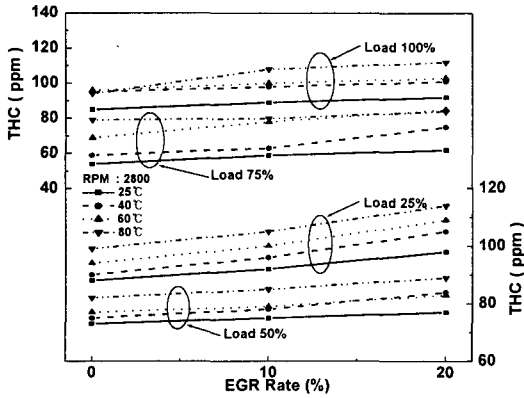


Fig. 9 Effect of EGR rate on THC emissions as parameters of intake mixture temperature and engine load at an engine speed of 2800 rpm

2800 rpm에 대한 결과를 Fig. 9에 나타내고 있다. 그림에서 동일 기관부하에 있어서는 EGR율이 증가할수록 THC 배출물이 증가하고, 고온 EGR로 갈수록 THC 배출물이 증가하는 경향이 있지만, 이러한 경향은 저부하에서 증가폭이 큼을 알 수 있다.^(20, 21)

Fig. 9에는 흡입혼합기 온도의 영향도 고찰할 수 있는데, 본 연구의 실험조건에 대한 실험결과 데이터를 종합하여 보면, 기관부하 100%에서 EGR율 0, 10, 20%에 대하여 흡입혼합기 온도를 25°C에서 80°C로 증가시켰을 경우, 1800 rpm에서 THC 배출물이 16.3%, 15.4%, 16.6% 정도로 증가하고, 2800rpm에서는 10.5%, 21.3%, 21.7% 정도로 증가하였다. 또한, 3800 rpm에서 흡입혼합기 온도를 25°C에서 40°C로 증가시켰을 경우에는 THC 배출물이 0.5%, 11.2%, 2% 정도로 증가하였다.

4. 결 론

수냉, 4기통, 4행정, 와류실식 디젤기관에 스크러버 EGR시스템과 흡입혼합기 가열장치를 사용하여 기관회전속도, 기관부하, EGR율 및 흡입혼합기 온도를 파라미터로 하여 실험한 연소성능 및 배기 배출물 특성을 비교하고 분석하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1) 스크러버에 의한 전체 매연제거 효율은 기관 회전속도 및 부하에 따라 다르지만, 대체적으로 30 ~ 100% 정도였다.

2) 연료소비율은 EGR율, 가열 흡입혼합기 온

도에 따라 변화하였지만, EGR율 증가에 의한 변동폭은 3% 미만이고, 흡입혼합기 온도의 증가에 의한 증가폭은 최대 20.3% 정도로 상당히 영향이 컸다.

3) 열발생률은 EGR율 및 흡입혼합기 온도가 증가할수록 착화지연이 약간 증가하였다.

4) NO_x 배출물은 EGR율이 증가할수록 감소하였지만, 고온EGR이 될수록(흡입혼합기 온도가 상승할수록) 증가하였다.

5) 매연 배출물은 EGR율이 증가할수록, 또한 고온EGR이 될수록 증가하였다.

6) CO 배출물은 EGR율의 증가에 따라 증가하였지만, 기관부하 25%에서는 냉각EGR이 될수록, 기관부하 50%에서는 고온EGR이 될수록, CO 배출물이 증가하였다.

7) THC 배출물은 EGR율이 증가할수록, 또한 고온EGR이 될수록 증가하였는데, 특히 저부하에서 증가폭이 증대하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : R01-2000-00370), 2002년도 BK21사업, 공학연구원 및 항공기부품기술연구센터의 지원에 의하여 수행된 것으로 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드리며, 수행중 많은 자료를 제공해 주시고, 토론해 응해 주신 토카이대 神本 武征교수(TIT 명예교수), 메이지대 土屋 一雄교수, 치바대 森吉 泰生교수에게 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 神本 武征, "21世紀の自動車と大氣環境," Kuramae Journal, No. 941, pp. 17 ~ 22, 1999
- 2) 鹽路 昌宏, "各種内燃機關における排ガス淨化技術," 自動車技術, Vol. 52, No. 9, pp. 4 ~ 10, 1998
- 3) Girard, J. W., Gratz, L. D., Johnson, J. H., Bagley, S. T. and Leddy, D. G., "A Study of the Character and Deposition Rates of Sulfur Species in the EGR Cooling System of a Heavy-Duty Diesel Engine," SAE Paper No. 1999-01-3566, pp. 1 ~ 12, 1999
- 4) Larsen, C., and Levendis, Y. A., "An Integrated Diesel Engine ART-EGR System

- for Particulate/NOx Control Using Engine Sensory Inputs,” SAE Paper No. 970477, pp. 183 ~ 201, 1997
- (5) Psaras, D., Summers, J. C., Das, P. K., Ceynow, K., Khair, M. K. and DiSilverio, W., “Achieving the 2004 Heavy-Duty Diesel Emissions Using Electronic EGR and a Cerium Based Fuel Borne Catalyst,” SAE Paper No. 970189, pp. 1 ~ 7, 1997
- (6) 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 No. 811195, pp. 75 ~ 91, 1981
- (7) 배명환, 하정호, “디젤기관의 배기 배출물에 미치는 스크러버형 EGR시스템 재순환 배기의 영향에 관한 연구,” 대한기계학회논문집 B, 제24권, 제9호, pp. 1247 ~ 1254, 2000
- (8) Khair, M., Lemaire, J. and Fischer, S., “Integration of Exhaust Gas Recirculation, Selective Catalytic Reduction, Diesel Particulate Filters, and Fuel-Borne Catalyst for NOx/PM Reduction,” SAE Paper No. 2000-01-1933, pp. 1 ~ 7, 2000
- (9) Suresh, A., Johnson, J. H., Bagley, S. T. and Leddy, D. G., “A Study of the Effect of a Catalyzed Particulate Filter on the Emissions from a Heavy-Duty Diesel Engine with EGR,” SAE Paper No. 2001-01-0910, pp. 1 ~ 19, 2001
- (10) Richards, K. J., Subramaniam, M. N., Reitz, R. D., Lai, M. C., Henein, N. A. and Miles, P. C., “Modeling the Effects of EGR and Injection Pressure on Emissions in a High-Speed Direct-Injection Diesel Engine,” SAE Paper No. 2001-01-1004, pp. 1 ~ 12, 2001
- (11) Schubiger, R., Bertola, A. and Boulouchos, K., “Influence of EGR on Combustion and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI-Diesel Engines Equipped with Common-Rail Injection Systems,” SAE Paper No. 2001-01-3497, pp. 1 ~ 10, 2001
- (12) Dürholz, M., Eifler, G., and Endres, H., “Exhaust-Gas Recirculation - A Measure to Reduce Exhaust Emissions of Diesel Engines,” SAE Paper No. 920725, pp. 151 ~ 158, 1992
- (13) Daisho, Y., Uchida, N., Morita, K., Saito, T. and Shimogata, S., “Effects of Supercharging and EGR on Diesel Combustion and Emissions,” COMODIA 94, pp. 281 ~ 286, 1994
- (14) 임재근, 배명환, 김종일, “소형고속 디젤기관의 배기 배출물에 미치는 배기 재순환율의 영향에 관한 실험적 연구,” 한국박용기관학회지, 제16권, 4호, pp. 252 ~ 269, 1992
- (15) Bae, M. W., Jeon, H. J. and Choi, J. S., “The Effects of Recirculated Exhaust Gas on Fuel Economy and Exhaust Emissions in Marine Diesel Engines,” Proceedings of International Symposium on Internal Combustion Engine, pp. 91 ~ 105, 1999
- (16) 배명환, 하정호, “스크러버형 EGR시스템 디젤기관의 배기 배출물 특성에 관한 연구,” 한국박용기관학회지, Vol. 22, No. 4, pp. 481 ~ 489, 1998
- (17) Bae, M. W., “A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas on NOx and Soot Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System,” SAE Paper No. 1999-01-3266, pp. 78 ~ 87, 1999
- (18) Bae, M. W., Tsuchiya, K. and Kim, K. S., “A Study on Effects of Recirculated Exhaust Gas upon Engine Wear in Diesel Engines,” Proceedings of the 6th International Symposium on Marine Engineering, ISME TOKYO 2000, pp. 987 ~ 994, 2000
- (19) 배명환, 김형만, 박재윤, “디젤기관의 스크러버형 EGR시스템에 의한 매연 및 NOx 배출물 동시저감 기술,” 2001년도 한국자동차공학회 「내연기관 배기 배출물 저감 및 성능개선 대책기술」 WORKSHOP 논문집, pp. 3 ~ 19, 2001
- (20) 池上 詢, “燃焼改善の展望,” 日本機械學會誌, Vol. 95, No. 882, pp. 47 ~ 50, 1992
- (21) Kamimoto, T. and Bae, M. W., “High Combustion Temperature for the Reduction of Particulate in Diesel Engines,” SAE Paper No. 880423, pp. 1 ~ 10, 1988