

직접 분사식 소형 과급 디젤엔진의 운전조건이 배기 배출물에 미치는 영향

An Effect of Operating Conditions on Exhaust Emissions in a Small Turbocharged D.I. Engine

장세호 · 고대권 · 안수길

S. H. Jang , D. K. Koh and S. K. Ahn

Key Words : D.I. Diesel Engine(직접분사식 디젤엔진), Exhaust Emissions(배기배출물), BSFC(제동연료 소비율), Excess Air Ratio(공기과잉율), Net Thermal Efficiency(정미열효율), EGR(배기 재순환), NO_x (질소산화물)

Abstract : Recently, the world is faced with very serious problems related to the air pollution due to the exhaust emissions of the diesel engine. So, many of researchers have studied to reduce the exhaust emissions of diesel engine. This study was investigated for various exhaust emissions according to operating conditions in a turbocharged D.I. diesel engine. As a result of experiments in a test engine, the CO₂ and NO_x increased with increasing load, the CO₂ and CO decreased with increasing charge air pressure in manifold, the CO decreased with increasing cooling fresh water temperature, and the NO_x decreased with warming cooling fresh water before engine start.

1. 서 론

디젤엔진은 높은 열효율과 여러 종류의 연료를 사용할 수 있을 뿐 아니라 내구성 및 신뢰성도 탁월하여 널리 사용되고 있다. 하지만 디젤엔진으로부터 배출되는 유해가스에 의한 대기오염 오존층 파괴, 지구온난화, 산성비, 광화학스모그 문제가 날로 심각해지고 있는 상황에서 세계 각국은 자동차의 배출가스 배출규제를 대폭 강화하고 있는 것은 이미 주지의 사실이다.

또한 최근에는 지구 온난화에 대한 우려가 전 세계적으로 높아지면서 온실효과 유발의 주원인으로 지목되고 있는 이산화탄소(CO₂)의 배출량을 줄이기 위해 연비저감기술과 점차 엄격해지는 배출가스 규제 대응기술을 중심으로 현재 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다.

한편, 디젤엔진의 배기 대책으로는 고압분사에 의한 연소개선과 배출물 저감, 촉매에 의한 NO_x의

저감, 배기 재순환(EGR), 연소실 형상 변화로 스웰과 텀블에 의한 NO_x와 매연의 동시 저감 등 많은 방법이 있으며, 특히 배기 배출물은 엔진의 운전조건에 큰 영향을 받기 때문에 엔진의 운전조건을 최적화하려는 연구가 진행되고 있다. 최근에는 전자제어 기술의 발달로 인해 엔진 운전조건에 따라 연료분사시기, 연료분사율 등을 엔진 운전조건에 따라 최적제어를 할 수 있는 전자제어 엔진 시스템을 구성하고 있다.

따라서 엔진의 운전조건에 따른 배기 배출물의 특성 파악은 배출물 저감 및 고출력의 엔진을 개발하기 위한 기초 자료라 할 수 있다.

본 연구에서는 3기통 직접분사식 과급 디젤엔진을 사용하여 급기 압력, 냉각수 온도 등 엔진의 운전조건이 배기 배출물에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

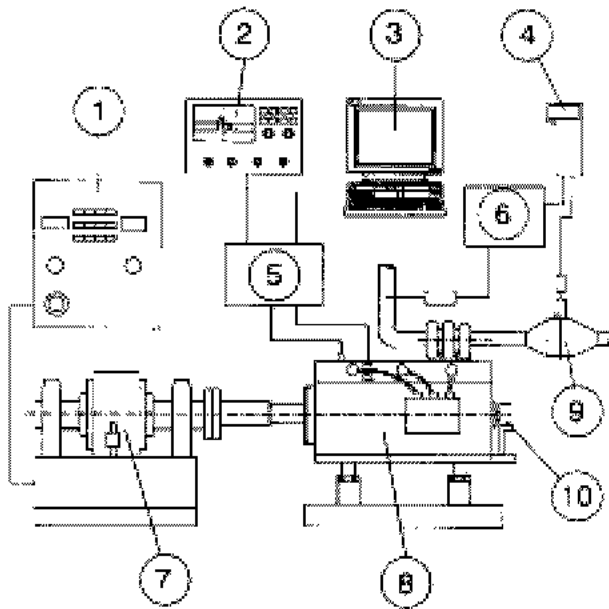
본 연구에 사용된 실험장치는 엔진, 동력계, 배기 분석기, 측류 유량계, 디지털 오실로스코프등이

접수일 : 2002년 1월 15일

장세호 : 강원전문대학 동력기계시스템과

안수길, 고대권 : 부경대학교 기계공학부

며, Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 전체 개략도를 나타낸 것이다.



1. Dynamometer controller
2. Digital Oscilloscope
3. Computer
4. Exhaust gas hand-held instrument
5. Pressure sensor Amplifier
6. Exhaust gas analyser box
7. Dynamometer
8. Test engine
9. Laminar flow meter
10. Rotary encoder

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of the test engine

Item	Specification
Model	KUKJE 3D100T
Type	3 cylinder 4 stroke direction injection Diesel engine with exhaust T/C
Compression ratio	18.4 : 1
Power	40kW at 2600rpm
Bore(mm)	100
Stroke(mm)	110
Piston speed(m/s)	9.53
Fuel injection time	BTDC 17+1
Fuel injection pressure	19.61MPa

본 실험에 사용된 엔진은 과급 3기통 4행정 직접 분사식 디젤엔진으로 엔진 사양은 Table 1에 표시한 바와 같고, 동력계는 와전류식(eddy current type, Absorption capacity:132kW)동력계이며, 배기 분석기(model : testo 350)는 정전위 전해법을 이용한 배기 분석기로써 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Specifications of exhaust gas analyzer

Item	Measuring range
Model	Testo 350
O ₂ (%)	0~21 %
CO (ppm)	0 ~ 10000 ppm
CO ₂ (%)	0 ~ CO ₂ max
NO (ppm)	0 ~ 3000 ppm
NO ₂ (ppm)	0 ~ 500 ppm
SO ₂ (ppm)	0 ~ 5000 ppm
Exhaust gas temperature	40 ~ 1200 °C

흡입 공기량을 측정하기 위하여 층류 유량계(Laminar flow elements, model : 50MC2 6)를 과급기 입구측에 설치하였으며, 층류 유량계 입구와 흡기 매니폴드 및 배출가스의 온도를 측정하였다.

그리고 엔진 흡기 매니폴드의 압력 즉 급기 압력을 측정하기 위하여 매니폴드에 압력센서(abs 0~5bar)를 설치하였다. 또한 급기 압력을 조절하기 위하여 과급기의 출구측과 매니폴드 사이에 과급의 대기방출용 밸브를 설치하여 급기 압력을 조절하였다.

2.2 실험방법

실험은 엔진 운전상태를 일정하게 유지하기 위하여 냉각수 입구 온도를 75~80 °C로 일정하게 유지하고, 시동 후 측정하고자 하는 운전조건에서 5분이상 운전하여 운전상태가 안정된 후 배출가스의 배출농도를 측정하였으며, 배출가스 측정은 배기관에 설치된 가스 샘플링 프로브(Probe)를 통해 들어온 배출가스를 수분 제거기(dryer)에서 수분을 제거한 후 가스분석기에서 5초 간격으로 가스를 분석하여 데이터를 연속 수집하였다.

실험조건은 엔진의 회전수와 부하변화, 급기 압력의 변화, 냉각수 온도 변화 등 엔진의 운전조건에 따른 배출가스의 농도를 각각 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

먼저 실험에 사용한 K사의 농업용 디젤엔진 (40kW, 2600rpm)의 엔진 성능곡선을 구하기 위하여 회전수를 2600rpm으로 일정하게 유지하고 부하를 변화시켰을 때의 연료소비량, 제동마력, 흡입공기량 등을 측정하였으며, 그에 따른 엔진 성능곡선을 Fig. 2에 나타내었다.

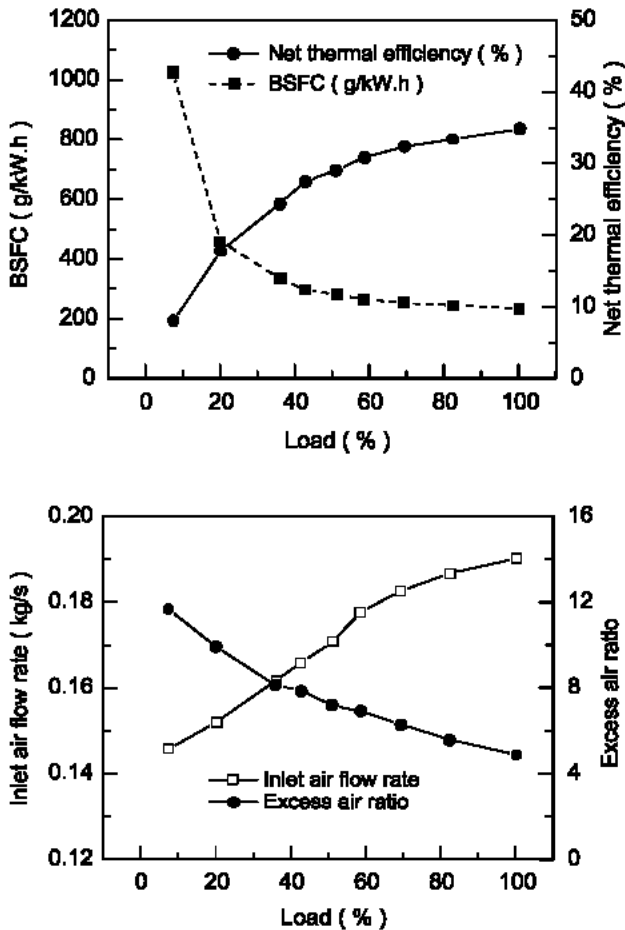


Fig. 2 Load characteristics curve of the tested engine

그림에서 보는 바와 같이 연료소비율은 저부하에서는 매우 높게 나타나지만 부하가 40% 이상이 되면 거의 일정하게 나타나고 있다. 100% 부하에서의 연료소비율은 235.23g/kW·h로 비교적 양호한 연료소비율을 보이고 있다. 그리고 공기과잉율(λ)은 부하 7.4% 일 때 11.67 이며, 부하가 증가될수록 점차 감소하여 부하 100% 일 때는 4.881 이었다. 따라서 실험에 사용된 엔진의 공기과잉율이 전반적으로 매우 높음을 알 수 있다.

Fig. 3은 회전수(2200, 2400, 2600rpm)와 부하를 변화시켰을 때의 배출가스의 농도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 일산화탄소

(CO)의 양은 동일한 부하에 있어서 회전수의 변화에는 그다지 차이가 없으며, 다만, 회전수에 관계없이 부하가 증가할수록 배출량은 급격히 감소하였다.

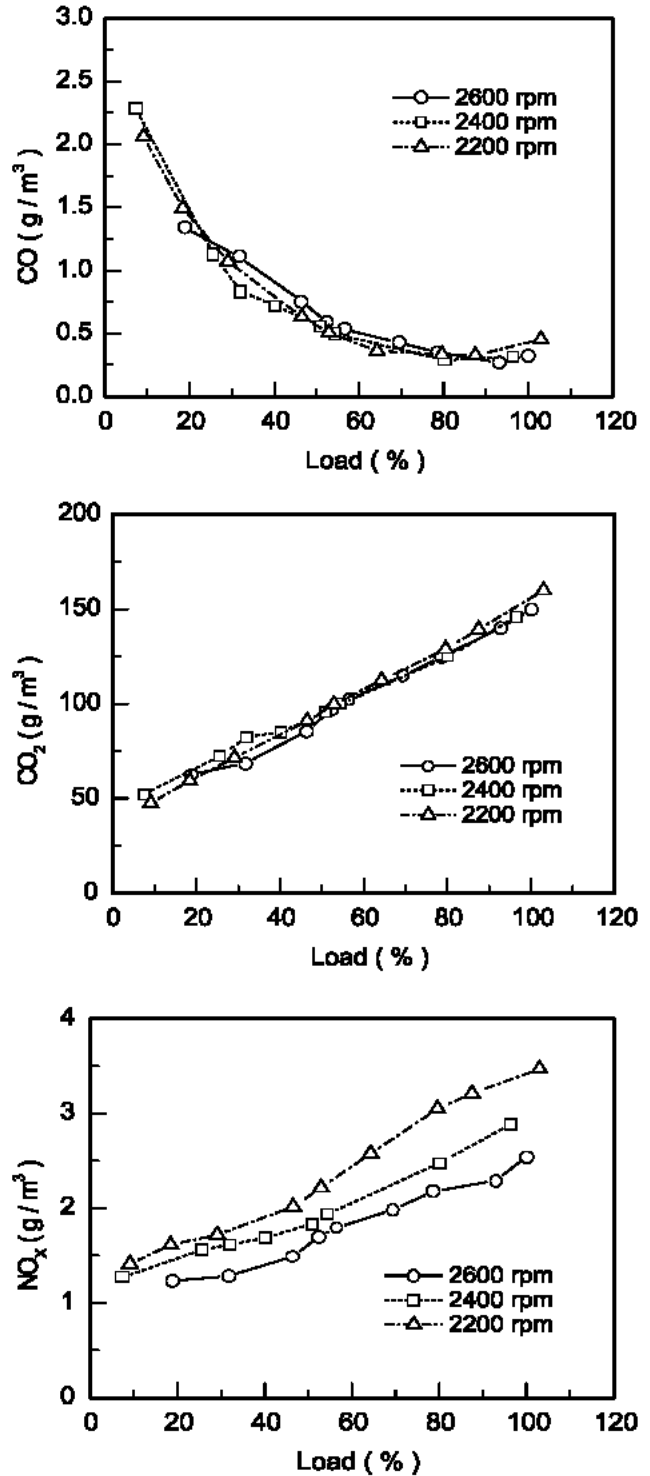


Fig. 3 Variation of CO, CO₂ and NO_x concentration in the exhaust gases according to engine load

디젤엔진에서 CO의 생성량은 공기과잉율과 연소온도 그리고 국소적으로 연료과농 여부에 의하여 좌우된다. 저부하 운전영역에서 성능곡선에 나타나 있는 바와 같이 공기과잉율이 높음에도 불구하고 일산화탄소(CO)의 배출량이 높게 나타나는 것은 저부하 운전에서는 낮은 연소 온도로 인한 불완전 연소 때문에 CO의 배출이 높게 나타나며, 부하가 증가하면 연소 온도가 높아지고 연소상태도 양호해지기 때문에 CO의 배출량은 점차적으로 적어진다고 생각된다.

그리고 이산화탄소(CO₂)의 배출량은 회전수에 관계없이 부하가 증가할수록 연료의 연소효율이 개선됨으로써 배출량이 점차적으로 증가함을 알 수 있다.

NO_x의 배출량은 회전수가 낮을수록 높게 나타나며, 부하가 증가할수록 높게 나타난다. 디젤엔진에서 NO_x의 생성량의 대부분은 연소과정 중에 생성되는 Thermal NO_x이다. 따라서 저부하 영역에서 NO_x의 배출량이 적게 나타나는 것은 연소효율의 저하로 연소온도가 낮기 때문이며, 부하가 증가할수록 연소효율의 개선으로 화염온도가 높아지기 때문에 NO_x의 배출량이 증가되는 것으로 생각된다. 그리고 동일한 부하에서 회전수가 낮을수록 NO_x의 배출량이 높은 것은 회전수가 낮을수록 1회 연료 분사량이 많기 때문에 연소 압력과 연소 온도가 높아져 NO_x의 배출량이 증가되는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 냉각수 온도 변화에 따른 배출가스의 배출량을 나타낸 것이다. 냉각수 변화에 따른 배출가스의 배출량의 변화는 그다지 크지 않으나 CO의 배출량은 냉각수 온도가 높아지면 낮아짐을 알 수 있다. 이는 냉각수 온도가 높으면 연소온도도 다소 높아지기 때문에 CO의 배출량이 적어지는 것으로 생각된다. 그리고 NO_x의 배출량은 냉각수의 온도가 높으면 다소 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5는 시동전 엔진의 예열 여부가 배기배출물의 배출량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 회전수 1000rpm, 무부하 상태에서 시동시킨 후 10분이 경과할 때까지 배출가스의 배출량을 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 시동전에 충분히 예열한 후 시동하면 연소온도의 상승으로 인해 CO의 배출량은 매우 감소되고, 시동초기에는 불완전 연소로 인하여 CO의 배출량이 높게 나타났다가 점차적으로 감소하여 일정하게 됨을 알 수 있다.

CO₂는 시동전에 예열을 함으로써 연소온도의 상

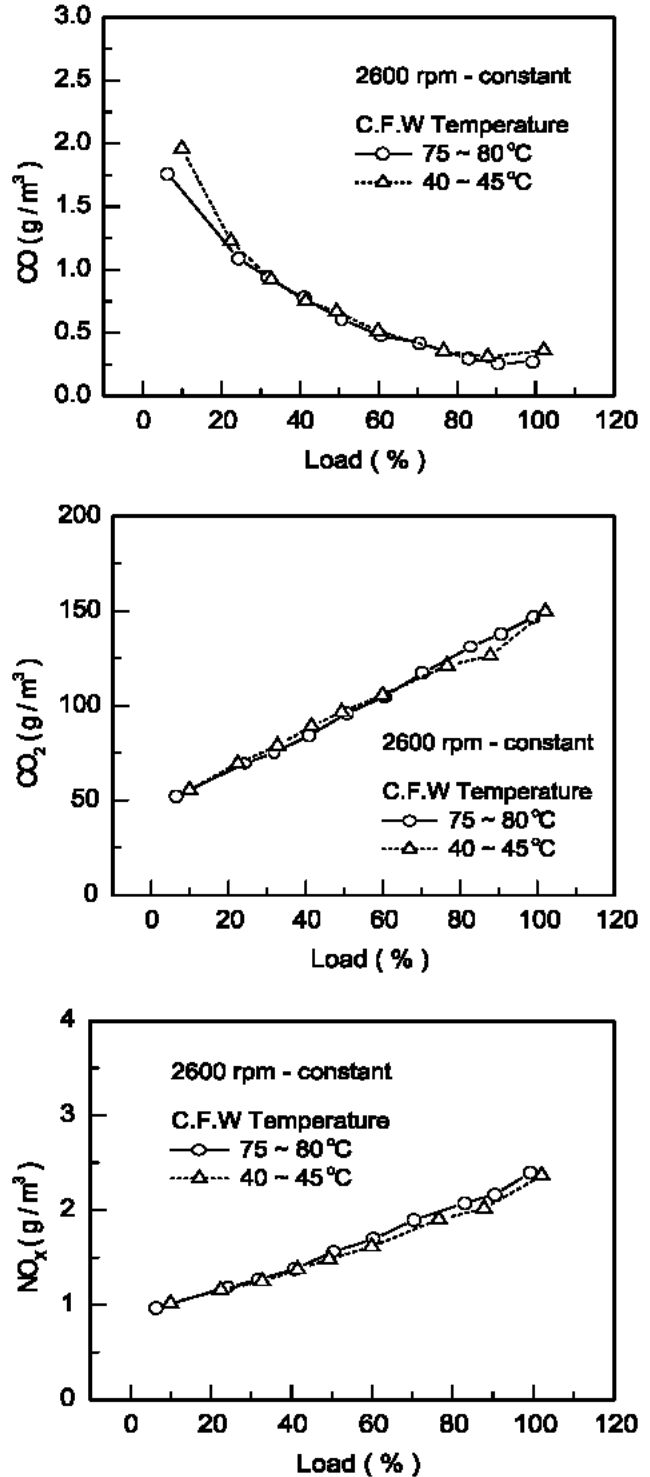


Fig. 4 Variation of CO, CO₂ and NO_x concentration in the exhaust gases according to cooling fresh water temperature

승으로 인해 연소효율이 다소 좋아지기 때문에 배출량이 약간 높게 나타나고 있다. 그리고 NO_x의 배출량은 예열을 함으로써 오히려 증가하고, 시동 초기에는 낮게 나타나다가 점차적으로 증가하여 일정하게 배출됨을 알 수 있다.

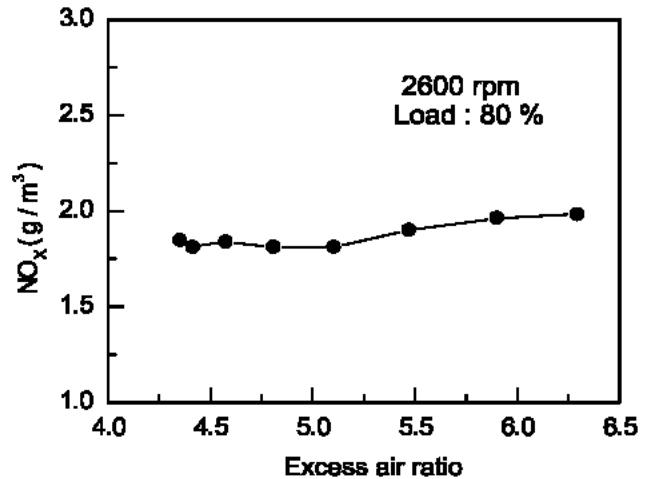
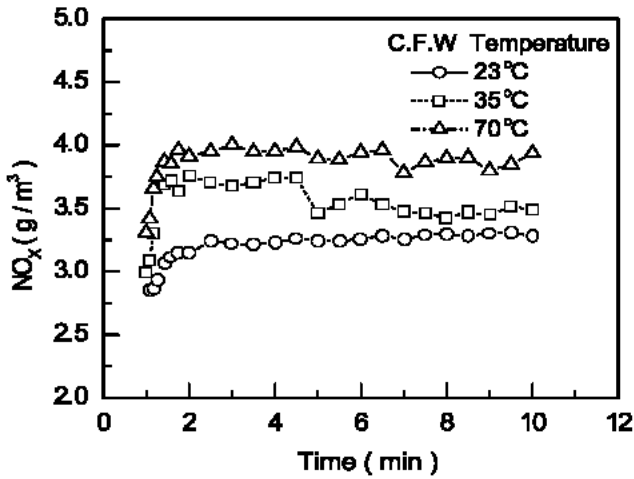
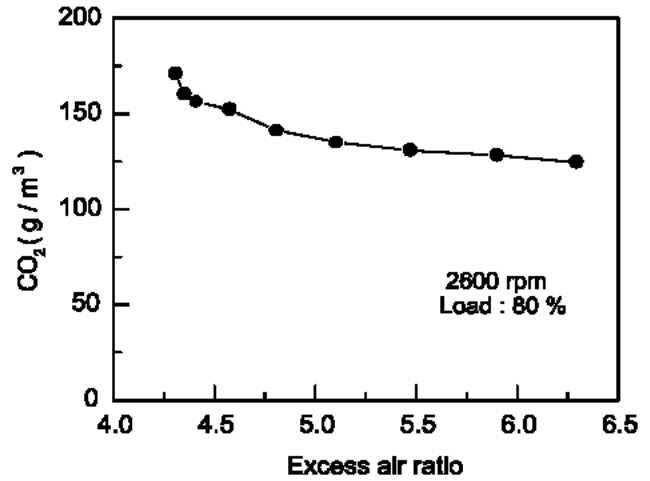
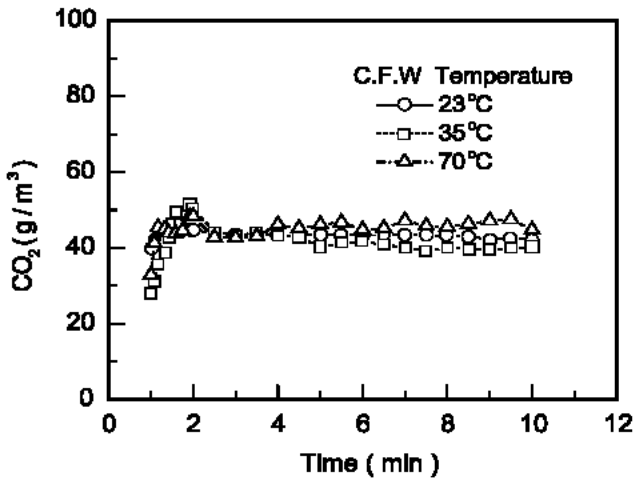
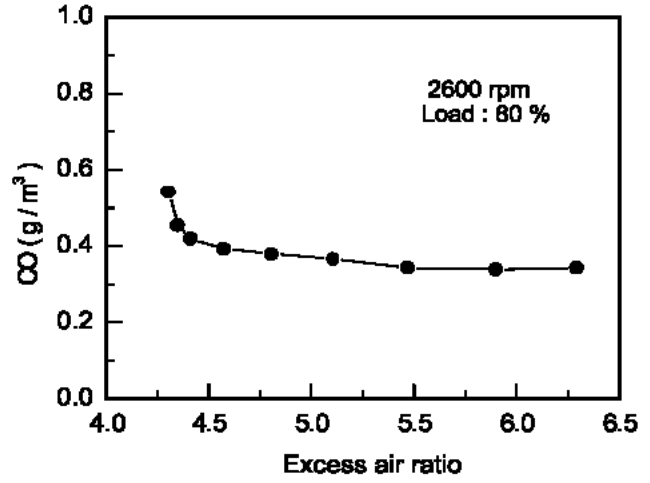
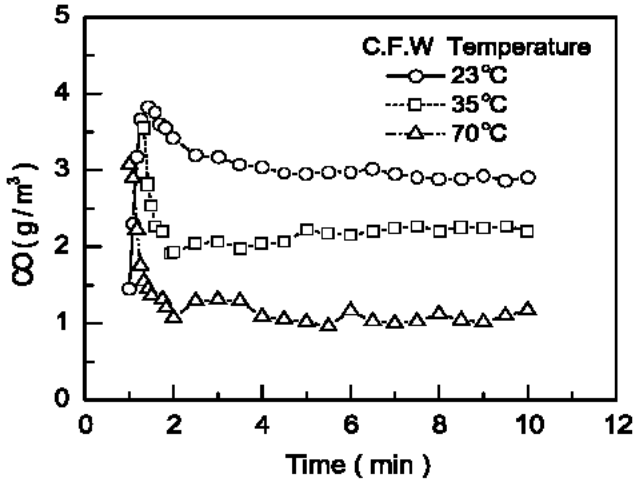


Fig. 5 Comparison of exhaust gas emission at cooled starting and warmed starting condition

Fig. 6 Variation of CO and NOx concentration in the exhaust gases according to excess air ratio

Fig. 6은 회전수 2600rpm, 부하 80% 일 때 공기과잉율의 변화에 따른 배출가스의 배출량을 나타낸 것이다. 공기과잉율이 높아질수록 연소는 희박연소에 가깝게 되고 연소효율이 향상되며, 이로 인해 연료소비율이 감소되므로 CO와 CO₂의 배출량이 감소

된 것으로 생각된다. 한편, NOx는 공기과잉율이 높아지면 약간 증가하고 있다. 여기서 공기과잉율에 대한 흡기온도의 변화를 측정 한 결과 무과급일때의 흡기온도는 66.3℃, 공기과잉율이 6.3일 때는 78.9℃로 높게 나타났다. 그리고 Fig. 7에서 나타난 바와

같이 희박연소로 인해 출력이 증가하는 것으로 보아 연소효율이 증가하였다고 판단된다. 따라서 과급을 행하면 흡기온도는 높아지고 아울러 연소효율의 상승으로 초기연소온도가 무과급 일 때보다 높아진다고 생각된다. 따라서 공기과잉율이 높아지면 초기연소온도의 상승으로 인해 NO_x의 배출량이 약간 증가되었다고 판단된다.

- 3) 엔진을 시동 전에 충분히 예열한 후 시동하면 시동초기에 배출되는 CO의 배출량은 감소되는 반면에 CO₂와 NO_x의 배출량은 증가하였다.
- 4) 공기과잉율을 높이면 CO와 CO₂의 배출량은 감소하는 반면에 NO_x의 배출량은 약간 증가하였다.

참고문헌

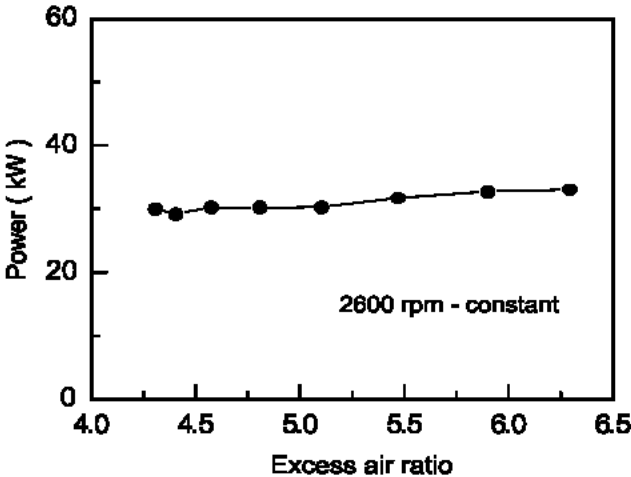


Fig. 7 Power variation according to excess air ratio

1. W. Bryzik, C. O. Smith, "Relationships Between Exhaust Smoke Emission and Operating Variables in Diesel Engine.", SAE 770718, 1977
2. L. Walz, W. Wessel and J. Berger., "Progress in Electronic Diesel Control", SAE 840442, 1984
3. J. R. Needham et, al "Injection Timing and Rate Control A Solution for Low Emissions", SAE 900854, 1990
4. I. M. Khan, G. Greeves and C. H. T. Wang, "Factors Affect Smoke and Gases Emissions from Direct Injection Engines and a Method of Calculation." SAE 730169, 1973

Fig. 7은 2600 rpm, 부하 80%일 때 공기과잉율의 변화에 따른 연료소모량을 측정하여 엔진의 제동마력 변화를 나타낸 것이다.

공기과잉율이 4.3일 때 제동력이 29.92kW 이든 것이 공기과잉율을 6.3으로 높이면 제동력이 33.06 kW로 증가하였다. 즉, 공기과잉율을 높임으로써 엔진의 출력이 약 10% 증가하였다.

4. 결 론

3기통 직접분사식 과급 디젤엔진을 사용하여 급기 압력, 냉각수 온도 등 엔진의 운전조건이 배기 배출물에 미치는 영향에 대해서 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CO₂와 NO_x의 배출량은 엔진의 부하가 증가 할 수록 증가하는 반면에 CO의 배출량은 감소 하였다.
- 2) 냉각수 변화에 따른 배출가스의 배출량 변화는 그다지 크지 않으나 CO의 배출량은 냉각수 온도가 높아지면 낮아지는 반면에 NO_x의 배출량은 약간 증가하였다.