

ETC를 적용한 저압 EGR시스템의 엔진성능 및 배출가스 특성에 관한 연구

박준혁¹ · 임종한² · 윤준규[†]

(원고접수일 : 2011년 2월 11일, 원고수정일 : 2011년 4월 26일, 심사완료일 : 2011년 5월 20일)

A Study on the Engine Performance and Emission Characteristics in a LP EGR System with Electronic Throttle Control

Jun-Heuk Park¹ · Jong-Han Lim¹ · Jun-Kyu Yoon[†]

요 약 : 최근 디젤엔진에서 엔진성능향상 및 배출가스저감을 위해 저압 EGR시스템에 대하여 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 저압 EGR시스템은 EGR율에 따라 과급압력이 영향을 받지 않기 때문에 PM을 최소화하면서 NO_x를 저감할 수 있는 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는 2.0L급 고속직분사방식의 엔진에서 출력 및 연비저하로 EGR적용이 어려운 엔진회전수 2000 rpm, BMEP 1.0 MPa, 과급압력 181.3 kPa인 중부하 운전영역에서 서로 다른 EGR시스템에 따른 엔진성능 및 배출가스 특성을 실험적으로 연구하였다. 그 결과로서 기존의 고압 EGR시스템 또는 배압조절밸브를 사용하는 저압 EGR시스템에 비하여 ETC를 적용한 저압 EGR시스템이 NO_x 배출특성은 큰 차이가 없는 반면에, 연비 및 열효율이 향상되고 PM 저감에 연소효과를 나타내고 있음을 확인하였다.

주제어 : 전자식 스로틀제어, 저압 배기가스재순환, 가변용량 과급기, 질소산화물, 입자상물질, 제동평균 유효압력

Abstract: Research and development of LP EGR system for the performance improvement and emission reduction on diesel engine is proceeding at a good pace. LP EGR system seems to be helpful method to further reduce NO_x emissions while maintaining PM emissions at a low level because the boost pressure is unchanged while varying EGR rate. This study is experimentally conducted on a 2.0L common rail DI engine at the medium load condition (2000 rpm, BMEP 1.0 MPa, boost pressure 181.3 kPa) that difficult to use large amount of EGR gas because of deteriorations of performance and fuel consumption. And we investigated the characteristics of performance and fuel consumption while varying EGR systems. The overall results using LP EGR system equipped with ETC identified benefits on reduction of PM and improvement of fuel consumption and thermal efficiency while keep the NO_x level compared to HP EGR and LP EGR with back pressure valve.

Key words: ETC (Electronic Throttle Control), LP EGR (Low Pressure Exhaust Gas Recirculation), VGT (Variable Geometry Turbocharger), NO_x (Nitrogen Oxides), PM (Particulate Matter), BMEP (Brake Mean Effective Pressure)

1. 서 론

최근 환경오염에 대한 경각심이 높아지면서 대기

오염의 원인인 자동차 배출가스에 대한 규제가 강화되고 있다. 이에 따라 연비향상과 배출가스저감

[†] 교신저자(경원대학교 기계·자동차공학과, E-mail: jkyoon@kyungwon.ac.kr, Tel: 031-750-5651)

¹ 경원대학교 대학원 기계공학과

² 경원대학교 기계·자동차공학과

을 위한 새로운 기술개발이 자동차산업의 중요한 과제로 수행되고 있다. 이러한 추세로 디젤엔진은 가솔린엔진보다 열효율이 15-30% 높고, CO₂배출이 상대적으로 낮으므로 친환경적 엔진으로 지속적으로 연구되고 있다. 배출가스를 저감시키고 연소효율을 높이기 위해 기계식 분사펌프 대신에 초고압 분사가 가능한 커먼레일 직접분사식 연료시스템 및 VGT(Variable Geometry Turbine)가 적용되고 있으며, smoke 또는 PM저감에 효과적인 DPF(Diesel Particulate Filter)와 DOC(Diesel Oxidation Catalyst) 등의 후처리장치가 적용되고 있다. 그러나 NO_x의 생성을 억제하기 위해 EGR시스템을 사용하는 반면에, 후처리장치를 적용으로 재생이 필요하기 때문에 연비를 악화시키는 경향이 있다.[1]

EGR시스템은 NO_x저감을 위한 가장 쉽고 효과적인 방법으로 실린더 내에 유입되는 신기의 일부를 배기가스와 혼합하여 실린더 내에 유입시킴으로써 실린더로 유입되는 기체의 산소농도를 낮추어 질소산화물의 발생을 억제한다. 또한 CO₂나 수분, 불활성가스 등의 유입으로 실린더 내에 충전되는 가스의 열용량이 커져 연소온도 및 공기과잉율을 낮추어 NO_x생성을 억제하여 배출량을 감소시켜준다.[2]

일반적으로 디젤엔진에 사용되는 고압 EGR시스템은 과급기의 터빈전단에서 배기가스를 추출하여 흡기관으로 재순환하기 때문에 EGR율이 증가할수록 과급기의 과급압력이 감소하게 된다. 이 때문에 EGR율에 따라 과급압력의 한계가 생기게 되고, 충분한 과급압력이 형성되지 않아 PM이 증가하는 현상이 발생한다.[3,4] 또한 VGT시스템을 사용하더라도 충분한 과급압력을 얻기 위해서 VGT의 베인을 작동시켜 과급압력을 높일 수 있지만 그에 따라 배압이 높아지는 것을 피할 수 없다.[5,6] 이를 보완하기 위하여 저압 EGR시스템을 도입하여 엔진성능개선을 위하여 연구개발이 진행 중에 있다.[7-10] 저압 EGR시스템은 과급기의 터빈을 통과한 후 배기가스를 추출하여 압축기의 전단에 재순환하기 때문에 EGR율의 증가에 따라 과급압력이 영향을 받지 않게 된다. 고압 EGR시스템을 사용할 경우, EGR율의 증가와 동시에 과급압력을 높일 수 있는 장점이 있지만 저압 EGR시스템을 사용할 경우, 과급기를 지나 비교적 압력이 낮아진 상태의 배기가스를 추출하기 때문에 재순환과정에서 가스의 양을 조절하기

어려운 단점이 있다.

본 연구의 목적은 기존의 고압 EGR시스템과, 배압조절밸브 및 ETC를 적용하여 흡기의 유량을 조절하는 저압 EGR시스템을 제어하는 방법을 고려하여 엔진성능 및 배출가스 특성에 미치는 영향을 고찰하는데 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 엔진의 주요제원은 Table 1에 나타난 바와 같이 커먼레일 직접분사식과 VGT를 적용한 2.0L급 DOHC 승용디젤엔진으로서 고압 EGR시스템이 기본으로 탑재되어있다.

Table 1: Engine specification

Item	Specification
Engine Volume	1995 cm ³
Bore × stroke	84.0 × 90.0mm
Compression ratio	16.0
Maximum torque	392.27 N·m (2000 rpm)
Maximum power	137.2 kW (4000 rpm)

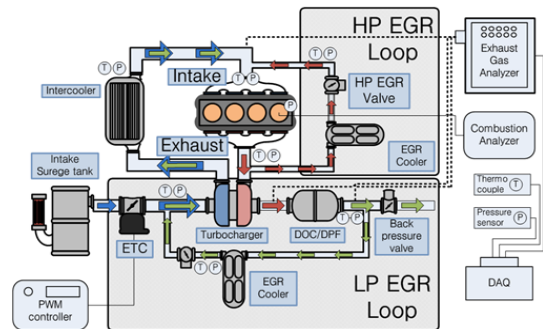


Figure 1: Schematic diagram of experimental engine setup

Figure 1은 엔진실험장치의 개요도를 나타내고 있으며, EC동력계(Eddy Current Dynamo, Fuchino)로 엔진성능을 측정하였고, 연소해석기(DEWE-800, DEWETRON)를 통해 실린더내부의 압력을 실시간으로 측정하여 연소압력과 열방출율 등의 데이터를 수집하였다. 그리고 흡기와 배기, 인터쿨러 전·후단,

각 EGR라인에서 온도를 측정하였고, 과급기의 터빈과 압축기 전·후단의 압력을 측정하였다. 또한 공기 유량계를 통해 흡기구로 유입되는 공기의 양을 측정하고, 연료유량계로 연료소비량을 측정하였다. 그리고 배기가스분석기(Mexa7000, Horiba)와 MDT(NOVA MMB, Microtrol)의 측정장비를 이용하여 엔진의 배기관과 DPF후단에 샘플링 라인을 설치하여 배출가스를 측정하였다. 배기가스분석기는 배출가스의 성분인 HC, CO, CO₂, NO_x, O₂ 등을 측정하며, 흡기구의 CO₂양과 비교하여 EGR율을 계산할 수 있다. MDT는 soot 등의 PM을 측정하는데 배출가스를 일정한 비율로 희석시키고 증류상태로 만들어 여지에 포집하여 그 무게를 측정하여 계산된다. 이 모든 실험결과는 데이터처리장치인 DAQ(GL-800CS, Graphtec)에 저장되어 분석된다.

2.2 실험방법

실험조건은 EGR사용이 비교적 제한된 중부하영역에서 ETC를 적용한 저압 EGR시스템의 효과를 확인하기 위해 Table 2와 같이 설정하였으며, EGR율을 변화시키면서 그에 따른 연소, 성능 및 배출가스의 특성을 고찰하였다. 고압 EGR시스템의 경우, 연소 후 배출되는 CO₂의 농도($X_{CO_2,ex}$)에 대한 실린더로 유입되는 CO₂의 농도($X_{CO_2,in}$)로 EGR율의 기준을 정하였다. EGR율을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$EGR\ rate\ [\%] = \frac{X_{CO_2,in}}{X_{CO_2,ex}} \times 100 \quad (1)$$

저압 EGR시스템도 동일한 기준으로 실험조건을 설정하였지만, 저압 EGR시스템의 경우는 촉매와 필터를 지난 가스가 실린더에서 바로 배출된 가스의 성분과는 차이가 있기 때문에 EGR율만으로는 정확한 기준으로 비교할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 실린더에 유입되는 O₂의 희석비(Dilution ratio)를 적용하여 실험결과를 분석하였다. 대기와 흡기관에서 각각 O₂의 양을 측정하여 유입되는 공기에서 O₂가 어느 정도 희석되었는지를 확인하였다. 희석비는 다음과 같은 식을 통해 얻어진다.

Table 2 Experimental conditions

Control Item	conditions
Engine speed	2000 rpm
BMEP	1.0 MPa
Boost Pressure	181.3 kPa
Coolant Temperature	80 ± 2 °C
Intercooler Temperature	40 ± 2 °C
EGR System	- HP EGR loop - LP EGR loop with back pressure valve - LP EGR loop with ETC
EGR rate	0~20 %

$$DR\ [\%] = \frac{X_{O_2,atm} - X_{O_2,intake}}{X_{O_2,atm}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 $X_{O_2,atm}$ 은 대기 중의 O₂농도이고, $X_{O_2,intake}$ 는 흡기관에서의 O₂농도를 나타낸다.

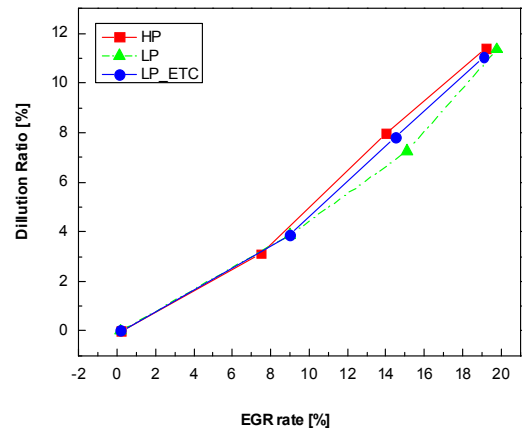


Figure 2: Relationship between EGR rate and dilution ratio

Figure 2는 실험에서 사용된 EGR율에 따른 희석비와 EGR율의 관계를 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연소특성

3.1.1 연소압력 및 열방출율의 영향

실린더 내의 압력을 측정하여 각 EGR방식에 따른 연소특성을 분석하였다. 연소실내의 압력곡선은 크랭크각도에 대한 그 순간의 압력 값으로 나타내

어지며, 각 조건마다 200행정의 압력데이터를 수집한 뒤 평균하여 그래프로 나타내었다. 열방출율은 실린더내의 압력을 통해 얻을 수 있다. 이는 시간에 따른 실린더내의 압력과 체적의 변화에 대한 관계식으로부터 계산되는 값으로 연료가 연소되면서 엔진출력을 내는데 사용되는 에너지이다.

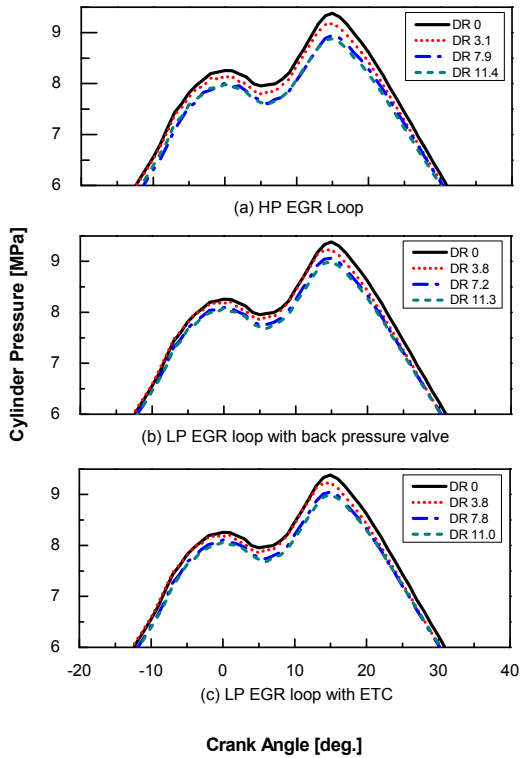


Figure 3: Measured cylinder pressure while varying EGR system

Figure 3은 연소압력과 열방출율에 대하여 TDC를 기준으로 BTDC 20° CA에서 ATDC 40° CA사이의 데이터를 분석하여 나타낸 것이다. 그 결과로서 세 가지 EGR방식 모두 희석비가 증가할수록 TDC근처에서 실린더 내의 압력 값이 EGR이 없는 경우에 비하여 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 EGR의 사용에 따라 실린더에 유입되는 신기의 산소농도가 저하됨으로 EGR가스의 양이 증가할수록 CO₂나 수분으로 일부 흡수되면서 피스톤을 미는 압력에 대한 일의 양이 감소하기 때문에 연소압력이 낮아짐을 알 수 있다.

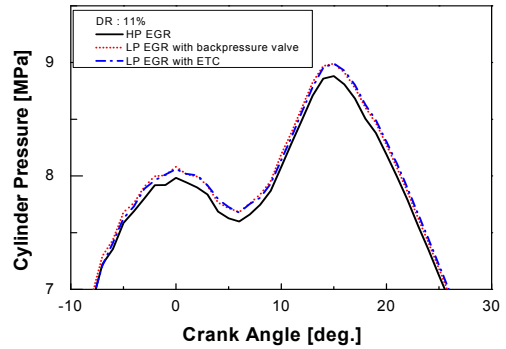


Figure 4: Comparison of cylinder pressure with three EGR systems at fixed dilution ratio 11%

Figure 4는 크랭크각도에 따른 각 EGR방식의 연소압력특성을 나타내었다. EGR방식에 따라 압력 값을 비교해 보면, 연소압력의 최고점이 저압 EGR시스템을 사용한 경우가 고압 EGR시스템을 사용한 경우보다 높다. 이것은 저압 EGR가스가 공급되는 라인이 고압 EGR시스템과 다르게 인터쿨러를 통과하기 때문에 냉각효과로 인해 비교적 낮은 온도로 EGR가스가 공급되어 체적효율을 증가시키는 효과가 있으며, 재순환시간이 길어져 신기와 EGR가스의 예혼합효과가 발생하기 때문으로 판단된다. 따라서 체적효율의 증가와 예혼합효과가 더해져 저압 EGR시스템을 사용한 경우의 연소는 고압 EGR시스템에 비해 실린더 최대압력이 높다는 것을 알 수 있다.

Figure 5는 크랭크각도에 따른 각 EGR방식의 열방출율특성을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 압력곡선에서와 마찬가지로 EGR의 영향을 확인할 수 있었으며, EGR이 없는 조건에 비해 EGR를 사용한 경우는 낮아진 산소농도의 영향과 불활성가스의 충전으로 열방출율의 최대값이 낮아짐과 동시에 연소기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다.

각 조건에서 출력이 동일하면, 방출되는 총에너지의 양도 같기 때문에 열방출율 그래프의 면적도 같아진다. 즉 EGR사용에 따라 열방출율 최고점 근방에서의 열방출율 값이 EGR이 없는 경우보다 낮아지지만, 폭발행정 말기까지 연소가 진행되면서 더 높은 값을 나타내어 총 열방출율은 동일하다는 것을 알 수 있다.

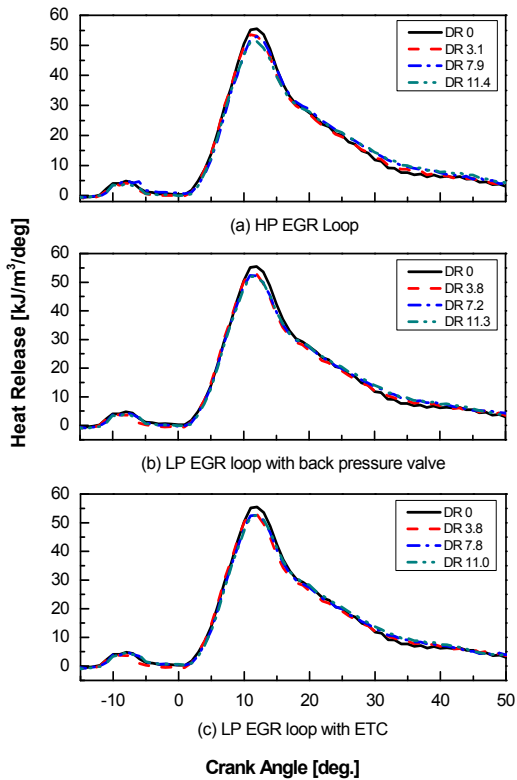


Figure 5: Calculated the rate of heat release while varying EGR system

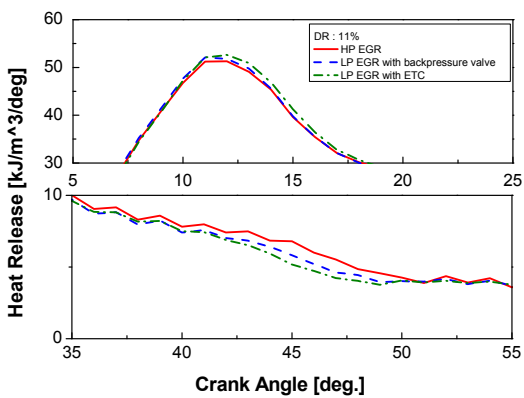


Figure 6: Calculated the rate of heat release with three EGR systems at fixed dilution ratio 11%

Figure 6은 희석비 11%로 동일하게 했을 때 각 EGR방식에 따른 열방출율특성을 나타내었다. 열방출율은 EGR시스템에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만, 저압 EGR시스템의 사용에 따른 신기와 EGR

가스의 예혼합효과는 열방출을 그래프에서도 확인할 수 있는데 저압 EGR시스템의 경우가 고압 EGR시스템에 비해 열방출율의 최고점이 더 높음을 알 수 있으나 엔진출력이 거의 동일하기 때문에 총 열방출율도 동일한 것으로 사료된다.

3.1.2 흡기온도에 따른 체적효율의 영향

Figure 7은 희석비에 따른 흡기온도의 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 고압 EGR시스템이 배기다기관에서 배기가스를 추출하여 EGR쿨러를 통과한 후 흡기다기관에 재순환되기 때문에 다른 EGR시스템에 비하여 실린더에 유입되는 흡기온도가 높음을 알 수 있었다.

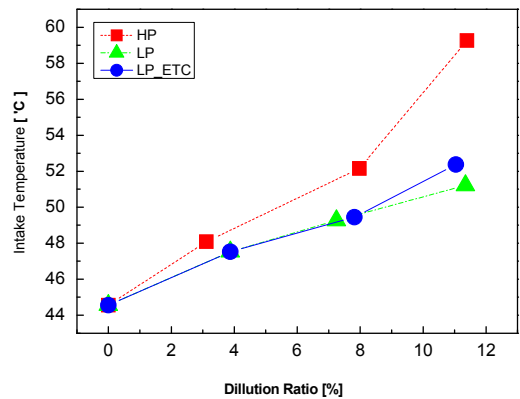


Figure 7: Measured the gas temperature in intake manifold while varying dilution ratio with three EGR systems

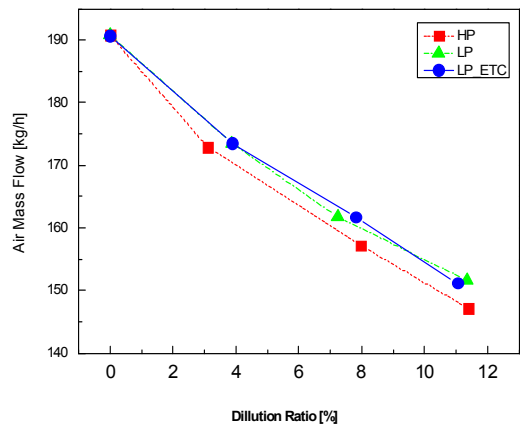


Figure 8: Measured the air mass flow rate into intake manifold while varying dilution ratio with three EGR systems

Figure 8은 희석비에 따른 흡기의 질량유량특성을 나타낸 것이다. 저압 EGR시스템의 경우, 고압 EGR시스템에 비하여 더 낮은 온도로 흡기공기가 유입되며 이에 따른 체적효율의 증가가 나타난다. 또한 저압 EGR시스템의 경우는 고압 EGR시스템에 비하여 더 많은 양의 공기가 실린더에 유입되며 연소 및 배출가스 특성에도 영향을 미치게 된다.

3.1.3 연소기간의 영향

Figure 9는 희석비에 따른 각 EGR시스템의 연소기간 특성을 나타낸 것이다.

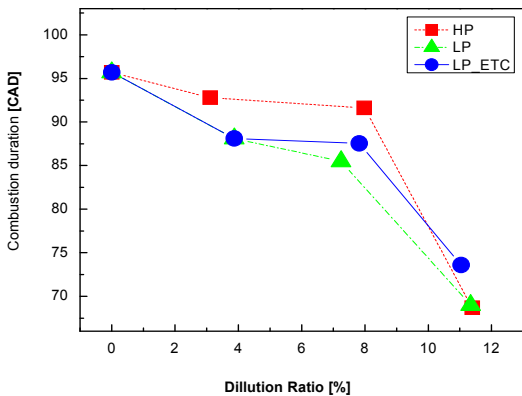


Figure 9: Calculated the duration of combustion while varying dilution ratio

그 결과로서 고압 및 저압 EGR시스템 모두 EGR가스의 양이 증가할수록 연소기간이 짧아지는 것을 알 수 있다. 특히 저압 EGR시스템의 경우 고압 EGR시스템보다 연소기간이 더 짧아졌음을 알 수 있는데, 이는 인터쿨러를 통과한 저압 EGR가스의 온도가 낮기 때문에 착화 지연이 발생하고, 신기와 저압 EGR가스의 예혼합효과로 연소기간이 짧아진 것으로 판단된다.

그러나 EGR율이 20%이상의 영역에서는 고압 EGR시스템과, 배압조절밸브를 적용한 저압 EGR시스템의 경우는 비슷한 경향을 나타내었고, ETC를 적용한 저압 EGR시스템만이 다른 경향을 보였는데, 이는 배압의 영향을 받는지의 여부에 따른 것으로 판단된다.

3.2 성능 및 배출가스 특성

3.2.1 성능의 영향

고압 EGR시스템을 사용해 배기가스를 재순환할

때, 재순환하는 EGR가스의 양에 따라 과급압력의 감소를 초래하게 된다. 이 EGR가스의 양 때문에 낮아진 과급압력을 보상하기 위해 VGT의 배인을 닫게 되면 배기압력이 상승하는 현상이 생긴다. Table 3에 EGR시스템 및 희석비에 따른 VGT배인에 입력되는 PWM신호의 Duty값을 나타내었다. Duty값이 클수록 배인이 많이 닫혀진 상태를 의미한다. 이 현상으로 인해 연소 후 배기가스의 배출이 원활하지 않게 되면, 연소에 악영향을 미치게 된다.

Table 3: VGT vane duty while varying EGR system

EGR rate	HP EGR loop	LP EGR loop (back pre. valve)	LP EGR loop (ETC)
0	66.9	66.9	66.9
7	68.75	67.15	67.15
15	70.5	67.6	67.85
20	72.5	67.85	68.3

Figure 10은 희석비에 따른 각 EGR방식의 배기압력 특성을 나타낸 것이다. 배압조절밸브를 사용하는 저압 EGR시스템을 사용할 경우도 EGR가스의 양을 조절하기 위해 배압조절밸브를 사용하면 배기압력에 영향을 미치게 된다. ETC를 적용한 저압 EGR시스템의 경우는 배기압력과 상관없이 EGR가스의 양을 조절하기 때문에 배기압력이 가장 낮음을 알 수 있다. 배기압력의 증가는 연소 후 가스의 배출을 방해하는 요인으로 작용하여 흡입행정 중 신기의 충전효율을 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 흡입 및 배기 과정 중 이러한 현상이 발생하면 원하지 않는 내부 EGR효과를 발생시켜 연비를 악화시키는 결과를 가져온다.

Figure 11은 희석비에 따른 각 EGR시스템의 연료소비율과 열효율 특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 배기압력이 가장 높은 고압 EGR시스템의 경우가 연비가 가장 높고 열효율이 낮음을 알 수 있고, 그 다음으로 배압조절밸브를 사용한 저압 EGR시스템, ETC를 적용한 저압 EGR시스템 순으로 연료소비율이 낮고, 열효율이 높음을 알 수 있었다. 특히 배압을 증가시키는 배압조절밸브 적용시스템과 펌핑손실을 야기하는 ETC 적용시스템을 비교하여 보면, 펌핑손실에 의한 연비악화보다는 배기압력증가에 의한 연비손실이 더 크다고 판단된다.

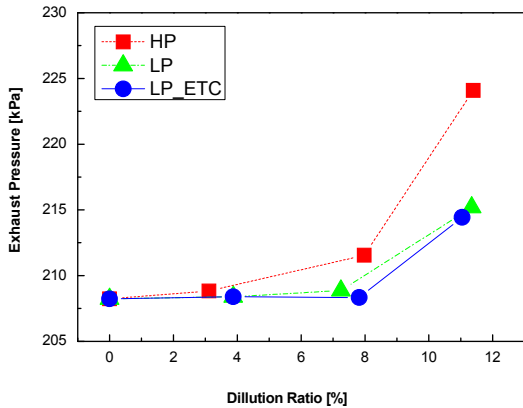


Figure 10: Measured exhaust gas pressure while varying dilution ratio with three EGR systems

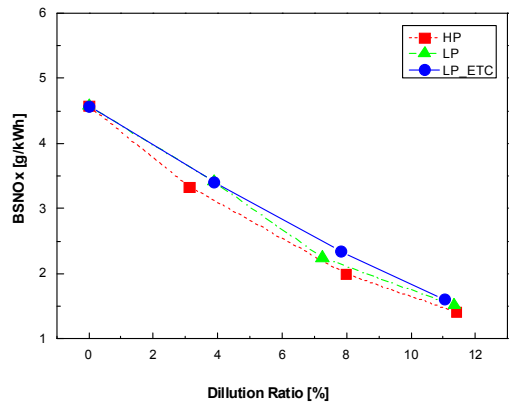


Figure 12: Measured BSNOx with respect to dilution ratio on three EGR systems

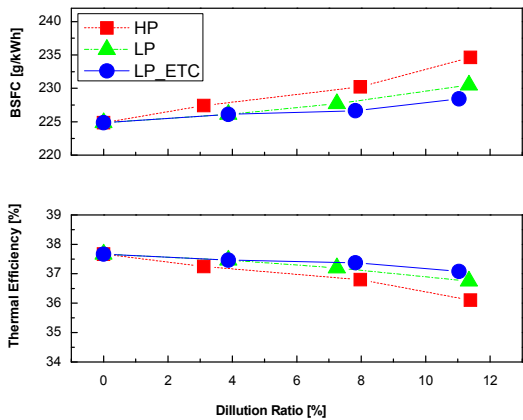


Figure 11: BSFC and thermal efficiency while varying dilution ratio with three EGR systems

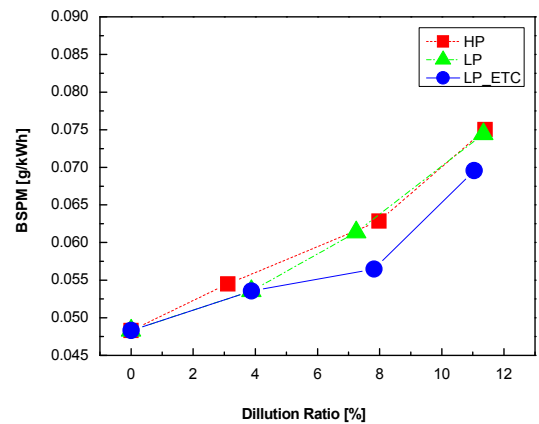


Figure 13: Measured BSPM with respect to dilution ratio on three EGR systems

3.3.2 배출가스의 영향

Figure 12는 희석비에 따른 각 EGR방식의 NO_x 배출특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 세 가지의 EGR방식 모두 EGR율이 증가할수록, 즉 산소의 희석비가 커질수록 NO_x의 배출량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 동일한 EGR율 및 희석비에 대해서 EGR시스템에 따라 약간의 차이가 있음을 알 수 있었으며, 그 중에서 고압 EGR시스템의 경우가 가장 NO_x의 저감효과가 크고, 저압 EGR시스템이 상대적으로 다소 높음을 알 수 있다. 그러나 EGR가스의 양과 희석비가 크게 차이가 나지 않음에도 불구하고 이러한 차이가 생기는 것은 배기압력상승으로 인한 영향 때문인 것으로 판단된다.

Figure 13에 희석비에 따른 각 EGR방식의 PM배출특성을 나타낸 것이다. 그 결과로서 산소의 희석비가 증가할수록 PM배출량이 증가하는 것을 알 수 있다. 상대적으로 배기압력이 낮은 신기의 유입이 유리한 ETC를 적용한 저압 EGR시스템의 경우가 PM발생량이 가장 낮은 것을 알 수 있다.

Figure 14에 PM과 NO_x의 배출량의 상반관계특성을 나타내었다. 그 결과로서 NO_x의 배출량은 세 가지 EGR방식 모두 비슷한 수준이었기 때문에 PM의 발생량이 가장 적은 ETC적용 저압 EGR시스템의 경우가 다른 EGR시스템에 비하여 NO_x와 PM의 상반관계가 우수함을 알 수 있었다.

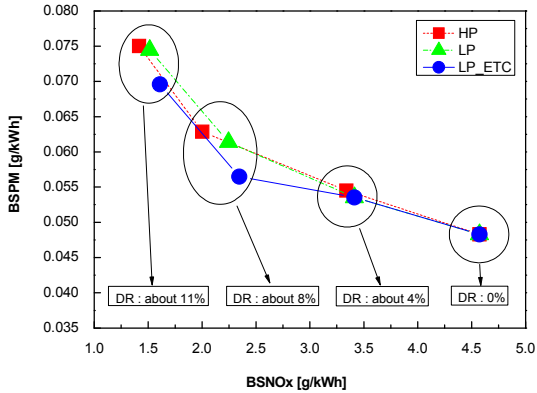


Figure 14: Measured BSPM with respect to dilution ratio on three EGR systems and NO_x, PM trade-off

5. 결 론

2L급 승용 디젤엔진에서 EGR시스템을 효과적으로 적용하기 위하여 중부하영역에서 기존 EGR시스템과 ETC를 장착한 저압 EGR시스템에 대하여 엔진성능 및 배출가스 특성을 고찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 저압 EGR시스템은 고압 EGR시스템에 비하여 재순환경로가 길기 때문에 신기와 EGR가스의 예혼합효과를 통해 연소효율을 더 향상시킬 수 있고, EGR가스의 양에 따라 과급압력이 영향을 받지 않기 때문에 최적의 과급압력을 통해 고압 EGR시스템에 비하여 PM을 저감하기에 유리하다.

(2) ETC적용 저압 EGR시스템은 배기압력에 영향을 끼치지 않고 EGR가스의 양을 조절할 수 있기 때문에 고압 EGR시스템 또는 배압조절밸브를 사용하는 저압 EGR시스템에 비하여 NO_x배출특성은 비슷한 수준으로 연료소비율이 크게 악화되지 않았고, PM의 발생량도 다소 감소되었다.

(3) ETC적용 저압 EGR시스템은 흡기유량조절을 통한 펌핑손실이 발생함에도 나머지 두 가지 EGR시스템이 갖고 있는 배기압력에 의한 연소악화에 비해 연료소비율과 열효율이 가장 우수하였다.

후 기

이 연구는 2011년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

참고문헌

- [1] Timothy V. Johnson, "Diesel emission control in review", SAE2006-01-0030, 2006.
- [2] J. H. Jun, S. H. Song, K. M. Chun and K. S. Lee, "Comparison of NO_x level and BSFC for HPL EGR and LPL EGR system of heavy-duty diesel engine", SAE2007-01-3451, 2007.
- [3] Soren Andersson, Claes Akerlund and Micael Blomquist, "Low pressure EGR calibration strategies for reliable diesel particulate filter regeneration on HDD Engines", SAE2002-01-2780, 2002.
- [4] N. Ladommatos, S. Abdelhalim and H. Zhao, "Control of oxides of nitrogen from diesel engines using diluents while minimizing the impact on particulate pollutants", Applied Thermal Engineering, 18-963-980, 1998.
- [5] S. J. Jeong, J. W. Chung, J. H. Kang and W. Kang, "The effect of control of the VGT and EGR in a turbocharged common-rail diesel engine on emissions in partial loads conditions", Korean Society of Automotive Engineers, vol. 15, no. 6, pp. 151-158, 2007.
- [6] J. W. Chung, J. H. Kang and H. G. Lee, "A study on the turbocharger operating characteristics of a diesel engine according to EGR Loop types", Korean Society of Automotive Engineers, vol. 17, no. 6, pp.89-98, 2009.
- [7] D. Ivaldi, M.G. Lisbona and M. Tonetti, "An improved EGR system concept for diesel engines towards fuel neutral emissions", International Journal of Vehicle Design, vol. 41, no. 1, pp. 307-325, 2006.
- [8] A. Maiboom, X. Tauzia, S.Rahman Shah and Jean Francois Hétet, "Experimental study of an LP EGR system on an automotive diesel engine, compared to HP EGR with respect to PM and NO_x emissions and specific fuel consumption", SAE2009-24-0138, 2009.
- [9] J. S Park, K. S Lee, S. H Song and K. M.

Chun, “Optimization of diesel engine performance with Dual Loop EGR considering boost pressure, back pressure, start of injection and injection mass”, KSAE, vol. 18, no. 5, pp. 136-144, 2010.

- [10] Malin Alriksson, Tanja Rente and Ingemar Denbratt, “Low soot, low NOx in a heavy duty diesel engine using high levels of EGR”, SAE2005-01-3836, 2005.

저 자 소 개



박준혁(朴俊赫)

1983년생, 2009년 강원대학교 기계공학과 졸업(학사), 2011년 강원대학교 기계공학과 졸업(석사), 관심분야: 열유체공학, 내연공학



임종한(林宗漢)

1957년생, 1981년 조선대학교 정밀기계공학과 졸업(학사), 1986년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 1992년 경희대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 강원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동, 내연공학



윤준규(尹俊圭)

1957년생, 1981년 조선대학교 기계공학과 졸업(학사), 1987년 경희대학교 기계공학과 졸업(석사), 2001년 명지대학교 기계공학과 졸업(박사), 2007년~현재 강원대학교 기계·자동차공학과 교수, 관심분야: 열유체공학, 공기조화및냉동,

내연공학