

EGR 밸브 평가 장치 개발을 위한 EGR 장착 엔진 성능 및 배출 가스 특성 연구

A Study on Exhaust Gas Characteristics and Engine Performance of EGR Valve Installed Engine for Development of EGR Valve Test System

나동하¹ · 고춘식¹ · 서형준² · 이창언^{3*}

D. H. Na, C. S. Ko, H. J. Seo and C. E. Lee

Received: 16 Nov. 2012, Accepted: 28 Nov. 2012

Key Words : EGR System(배출가스 재순환장치), EGR Valve(배출가스 재순환 밸브), Diesel Engine(디젤 엔진), EGR Valve Test System(EGR 밸브 평가 장치)

Abstract: In this study, in order to understand contents and ranges of design for the EGR Valve test system for improving quality and performance of EGR Valve, engine performance and exhaust gas characteristic of 3L-class diesel engine was analyzed. Experimental operation of engine performance test was performed with 50% engine load and 20% and 100% opening ratio of EGR Valve. From test of performance and exhaust gas characteristic of engine, torque output of engine and temperature and pressure of inlet and outlet of EGR Valve were measured. As a result, for design of EGR Valve test system, input fluid flow of EGR Valve must be set the same amount with exhaust gas flow that was below of engine speed of 2,500 rpm, and temperature of inlet of EGR Valve must be set under about 510°C. And the difference of temperature between inlet and outlet of EGR Valve must be over than about 200°C. Exhaust gas of inlet and outlet of EGR Valve were under 1 bar that was not considerable, and the difference of pressure between inlet and outlet of EGR Valve were under 1 bar that could not effect on mechanical operation of EGR Valve.

1. 서 론

환경적인 측면에서, 공기오염의 주범은 가정용 연료의 연소와 노천소각에 의한 일부 원인과 함께 대부분 자동차 배출 가스에 의해 유발되는 대기 스모그 등의 미세입자상 물질에 의해 복합적으로 나타나는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 따라서 최근 산업공해 및

대기 오염에 대한 환경규제의 강화는 갈수록 높아지고 있으며, 이에 대응하기 위하여 저공해 고효율 연소시스템 개발에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

자동차 관련 산업에 있어서는 소형자동차에 대한 배출 가스 배출량 저감을 위하여 여러 가지 기법을 통하여 환경규제에 대응한 판매활성화에 주력하고 있으며, 그 기법 중 하나가 배출 가스 재순환장치(EGR System)를 적용하는 것이다.²⁾

특히 디젤엔진을 사용하는 소형차에 있어, 디젤 엔진은 다른 열기관에 비해 열효율이 높고 에너지 이용 면에서 효과적이며, 또한 산소가 과잉한 희박조건에서 연소를 시키기 때문에 CO와 HC 배출량이 가솔린 엔진에 비해 상대적으로 적어 지구 온난화 방지 차원에서 적합하지만, 상대적으로 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM)이 많이 배출 되는 단점이 있다. 이에 디젤엔진에서 질소산화물을 저감시키기 위해

* Corresponding author: chelee@inha.ac.kr

1 Inha University Regional Innovation Center for Automobile, Incheon 405-821, Korea

2 Sambo Motors, Daegu 704-833, Korea

3 Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

Copyright © 2012, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

배출 가스 재순환장치를 장착하고 있으며, 배출 가스 재순환 기술은 타 기술에 비해 구조가 간단하고 비용이 적게 들면서 질소산화물 저감에 높은 효과를 가진 장점이 있어 대부분의 차량 엔진에 적용되고 있다.^{3,4)}

배출 가스 재순환장치는 엔진에서 배출된 배출 가스를 엔진의 흡기로 재순환시켜 연소 온도를 낮추고, 흡기의 열용량을 증대시키면서 연소실 내 산소농도를 저하시켜 질소산화물의 생성을 감소시키는 원리로 구현된다. 반면에 배출 가스 재순환장치를 적용할 경우 배출 가스 내 질소산화물은 충분히 저감 시킬 수 있으나, 연비가 감소하고 입자상물질이 증가하는 역효과를 가져올 수 있어 엔진 제어 시스템에서 배출 가스 재순환율을 제한하도록 설계하고 있다.⁵⁾

디젤엔진에 적용되는 EGR Valve(배출 가스 재순환 밸브)는 배출 가스 재순환 장치의 배출 가스 재순환율을 제어하기 위해 설치하고 있으며, 현재 국내 및 해외에서 생산되는 디젤 엔진 차량의 대부분에 장착되고 있다. 또한 가솔린 엔진 차량에서도 점차적으로 적용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 EGR Valve의 성능 및 품질 개선을 위한 평가 장치를 개발하는데 고려될 수 있는 설계 요소 및 범위를 배출 가스 재순환 밸브가 설치된 3L 급 디젤엔진의 엔진 성능 및 배출 가스 특성 시험을 통해 도출하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 대상 엔진

본 연구에서 EGR Valve의 운전 특성을 확인하기 위해 수행한 엔진 성능 및 배출 가스 성능 시험의 대상 엔진 제원은 Table 1과 같다. 시험 대상 엔진은 2.9L 배기량을 가진 디젤 엔진으로서 회전속도(RPM) 2,000 rpm에서 31.5 kgf·m의 최대 토크(Torque) 성능을 가지고 있으며, 최대 출력(Power)은 3,800 rpm에서 135 PS이다. 압축비(Compression ratio)는 17.7로 높은 압축비를 가지고 있으며, 배출 가스를 이용한 흡기 압축 및 냉각은 TCI(Turbo Charger Inter-cooler)방식과 WGT(Waste Geometry Turbocharger)방식을 적용하고 있다. 특히 대상 엔진은 연료 분사 제어(Injection Control)를 기계식 제어로 구성되어 있어 별도의 엔진 제어 모듈 없이 엔진 성능 및 배출 가스 특성 시험을 수행할 수 있었다.

Table 4 Specification of Test Engine

Cylinder Type	Inline 4
Cam Type	DOHC
Max Power (PS)	135 @3,800 rpm
Max Torque (kgf · m)	31.5 @2,000 rpm
Max Speed (rpm)	4,000
Bore × Stroke (mm)	97.1 × 98.0
Displacement (cc)	2,902
Compression Ratio	17.7 : 1
Compression Pressure (kg/cm ²)	30 @200 rpm
Injection Order	1-3-4-2
Injection Pump Type	Mechanical Pump
Injector Control	Mechanical Control
No. Nozzle holes	5
aspiration	TCI
Boost Control	WGT

2.2 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 본 실험에서 실시한 엔진 시험의 구성을 나타낸 것이다. Fig. 1과 같이 시험 대상 엔진의 출력을 측정하기 위해 AC 엔진 동력계(Max Power: 150kW)에 시험 대상 엔진을 설치하여, 실험 대상 엔진의 출력 및 토크를 측정하였다. EGR Valve의 설계 요소 중 EGR Valve의 입, 출구에서의 배출 가스 온도 및 입, 출구 간 온도 편차를 측정하기 위해 ㉠(EGR Valve 입구), ㉡(EGR Valve 출구) 위치에 Thermocouple을 설치하여 배출 가스 온도를 측정하였으며, 각 위치의 배출 가스 압력 및 입, 출구 간 배출 가스의 압력 편차를 측정하기 위해 ㉢(EGR Valve 입구), ㉣(EGR Valve 출구) 위치에 압력 센서를 설치하였다.

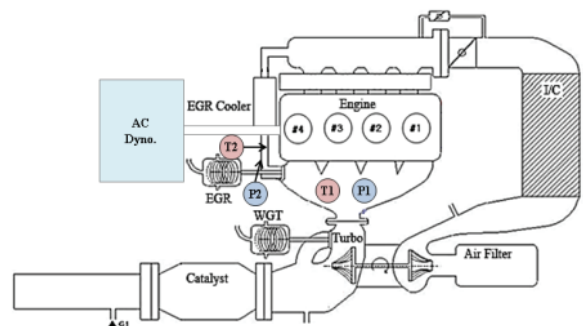


Fig. 1 Schematic diagram of Engine Test

Table 5 Test conditions for Engine Test

RPM Range	1,000 ~ 2,500 rpm
RPM Interval	100 rpm
Engine Load	50 %
EGR Valve 개도량	20, 100 %

Table 2는 본 연구에서 실시한 시험조건이다. 사전 시험을 통해 대상 엔진의 EGR Valve 작동특성을 파악한 결과, 대상 엔진의 EGR Valve는 엔진 속도 1,000~2,500 rpm 영역 및 엔진 부하율 20~50% 영역에서 작동하는 것으로 파악되었으며 최대 EGR Valve 개도 양은 20%로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 EGR Valve 평가 장치 설계 요소의 최대 영역을 파악하기 위해 엔진 속도 1,000~2,500 rpm 영역에서 EGR Valve가 작동 영역 중 최대 엔진 부하율인 엔진 부하율 50% 영역에서 시험을 수행하였다. 또한 동일 시험 영역에서 EGR Valve를 최대로 열었을 때 엔진 출력 성능 및 배출 가스 특성을 비교하기 위해 EGR Valve를 강제로 100% 개도하여 시험을 수행하였다.

전 시험 영역에서 인터쿨러(Inter-cooler) 후단 온도는 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였으며, 엔진냉각수는 냉각수 온도 유지 장치(WTC)를 이용하여 엔진 냉각수 출구 기준 $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 엔진 성능 시험결과

Fig. 2는 엔진 부하율 50% 조건에서 시험 대상 엔진의 속도에 따른 엔진의 토크(Torque) 출력 변화를 EGR Valve 개도 양 별로 나타낸 것이다. 엔진 부하율 50%인 부분 부하 조건에서는 시험 대상 엔진의 토크 출력이 1,200 ~ 1,300 rpm 영역에서 최대 토크 출력을 보이고 있으며, 엔진의 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있음을 확인하였다. 또한 EGR Valve 개도 양이 증가함에 따라 토크 출력이 감소하고 있으며, EGR Valve 개도 양에 따른 토크 출력 편차는 엔진의 속도가 증가할수록 감소함을 확인하였다. 이는 엔진의 속도가 증가할수록 EGR 율이 엔진의 토크 출력에 미치는 영향이 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 이 시험 결과를 통해 EGR Valve 평가 장치의 설계 요소 중 밸브 통과 유량은 3L 급 엔진을 기준으로 2,500 rpm 영역 미만의 배출 가스 토출 양에 맞게 설계할 수 있음을 확인하였다.

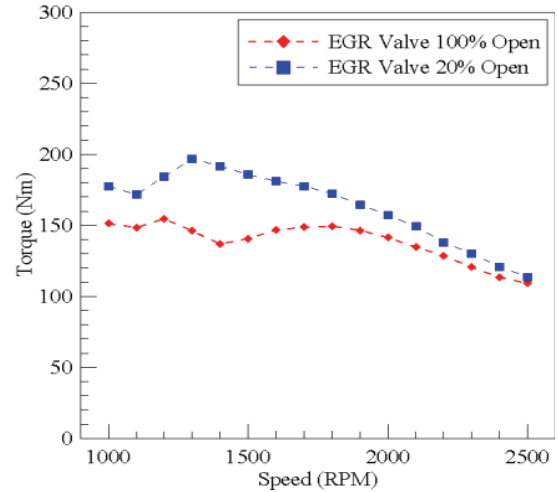


Fig. 2 Engine Performance Test Result according to EGR Valve Open ratio

3.2 배출 가스 특성 시험 결과

Fig. 3은 엔진 부하율 50% 조건에서 대상 엔진의 엔진 속도에 따른 EGR Valve의 입구 영역에서의 배출 가스 온도를 측정된 결과이다. EGR Valve의 개도 양은 각각 20, 100%로 설정하여 시험을 수행하였다. EGR Valve의 입구 영역에서의 배출 가스 온도는 EGR Valve 개도 양이 100%인 조건에서 20%인 조건보다 최고 온도가 높게 나타났으며, 각 각의 최고 온도는 100% 조건에서 505.72°C (@ 1,700 rpm), 20% 조건에서 487.63°C (@ 1,300 rpm)를 나타내었다. 각 EGR Valve 개도 양에 따른 최고 온도의 엔진 속도 이후로, 엔진 속도가 증가함에 따라 EGR Valve 입구 영역 온도가 감소하는 경향을 보였다. 이에 EGR Valve 평가 장치에서 EGR Valve에 공급되는 가스의 최대 온도는 약 510°C 로 설계가 가능할 것으로 판단된다.

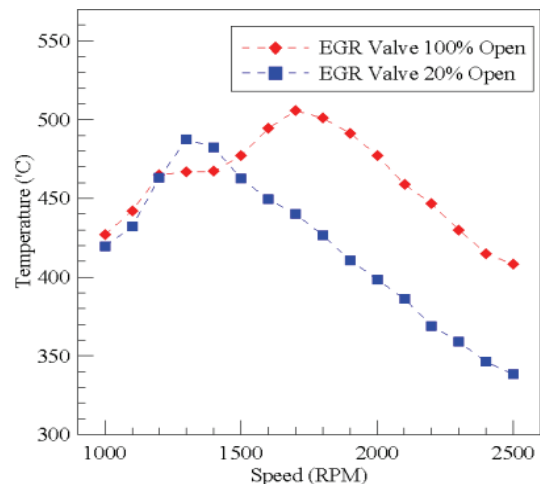


Fig. 3 Temperature of Exhaust gas at inlet of EGR Valve according to Engine speed

Fig. 4는 엔진 부하율 50% 조건에서 대상 엔진의 엔진 속도에 따른 EGR Valve의 입구 영역과 출구 영역에서의 배출 가스 온도 차를 측정된 결과이다. 배출 가스 온도 차는 EGR Valve의 입구 영역(Fig. 1에서 ㉠지점)의 배출 가스 온도에서 EGR Valve의 출구 영역(Fig. 1에서 ㉡지점)의 배출 가스 온도를 뺀 값이다. EGR 율이 낮을수록 배출 가스 온도 차가 높게 나타났으며, 엔진 속도가 증가함에 따라 배출 가스 온도 차는 감소하는 경향을 보였다. 특히 EGR 율이 낮은 EGR Valve 20% 개도 양에 대한 시험 결과에서 엔진 속도가 증가함에 따라 배출 가스 온도 차가 급격히 감소하여 EGR Valve 100% 개도 양에서의 배출 가스 온도 차와의 간격이 좁혀지고 있음을 확인하였다. EGR 율이 낮을수록 EGR Valve 입, 출구 간 배출 가스 온도 차가 큰 이유는 EGR Valve 개도 양이 작음으로 인해 EGR Valve를 통과하는 배출 가스 유량이 줄어들어 기인하고, 엔진 속도가 증가함에 따라 EGR Valve 입,출구 간의 배출 가스 온도 차가 줄어드는 것은 엔진 속도가 증가함에 따라 배출 가스 전체 유량 자체가 증가함에 기인하는 것으로 판단된다. 위 결과를 통해 EGR Valve 평가 장치의 설계에서 EGR Valve의 열적 내구성을 평가하기 위해서는 최대 약 200°C 이상의 온도 편차를 구현해야 할 것으로 판단된다.

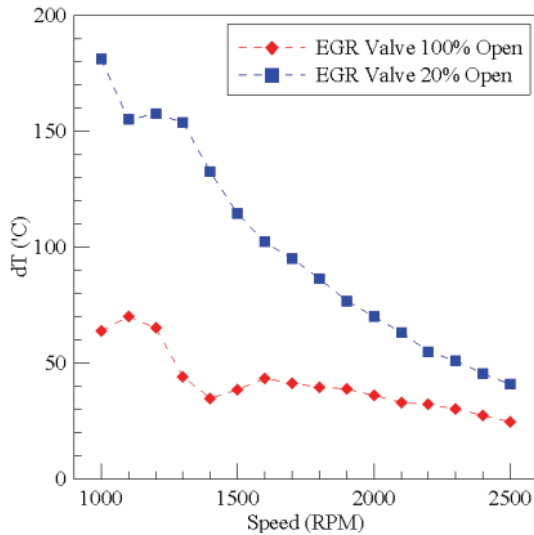


Fig. 4 Difference of Temperature of Exhaust gas between inlet and outlet of EGR Valve

Fig. 5는 엔진 부하율 50% 조건에서 대상 엔진의 엔진 속도에 따른 EGR Valve의 입구 영역에서 배출 가스의 압력을 측정된 결과이다. 시험 결과를 통해

시험 대상 엔진의 속도가 증가함에 따라 배출 가스 압력이 증가하는 경향을 확인하였으며, EGR Valve 입구 영역의 배출 가스 압력은 최대 약 0.4 bar까지 증가하였다. 이는 엔진의 속도가 증가하면서 배출 가스량이 증가함에 따라 EGR Valve 입구 영역의 압력이 증가한 것으로 판단하였다. 시험 대상 엔진의 전 속도 영역에서 EGR 율이 높은 EGR Valve 개도 양 100% 조건에서 EGR 율이 낮은 EGR Valve 개도 양 20% 조건에 비해 다소 낮은 배출 가스 압력을 보여 주고 있다.

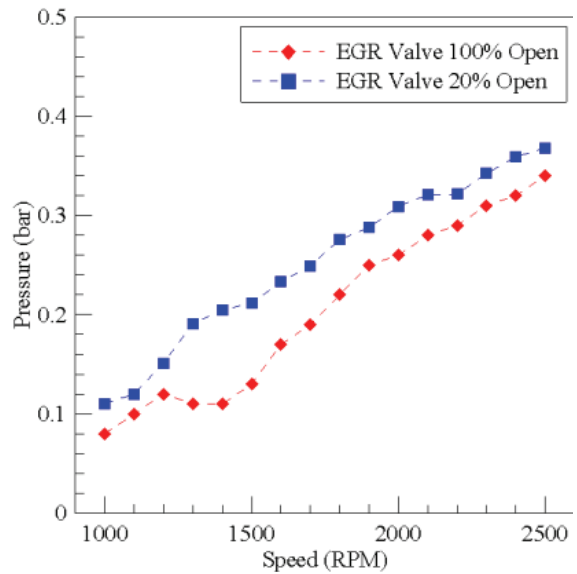


Fig. 5 Pressure of Exhaust gas at inlet of EGR Valve according to Engine speed

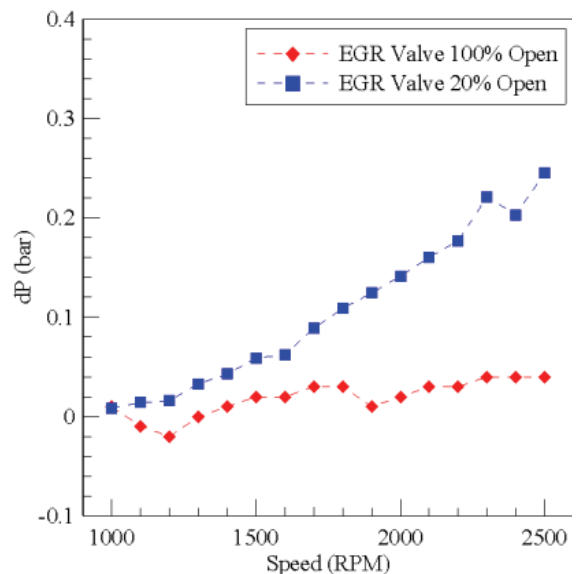


Fig. 6 Difference of Pressure of Exhaust gas between inlet and outlet of EGR Valve

Fig. 6는 엔진 부하율 50% 조건에서 대상 엔진의 엔진 속도에 따른 EGR Valve의 입구 영역과 출구 영역 간의 배출 가스의 압력 차를 측정된 결과이다. EGR 율 100%인 EGR Valve 개도 양 100%조건에서는 시험 대상 엔진의 엔진 속도 전 영역에서 0 bar에 가까운 압력차를 보이고 있으며, EGR Valve 개도 양 20% 조건에서는 엔진 속도가 증가함에 따라 압력차도 증가하여 최대 약 0.3bar의 압력차를 보여주고 있다. EGR Valve 개도 양 100% 조건에서는 EGR Valve가 완전 개방되어 있어 압력차가 발생하지 않으며, 일부 작은 압력차가 발생한 것은 EGR Valve 자체가 배출 가스 유로를 방해하면서 발생한 것으로 판단된다. EGR Valve 개도 양 20% 조건에서는 시험 대상 엔진의 엔진 속도가 증가하면서 배출 가스 발생량이 함께 증가해 EGR Valve 입, 출구 간의 압력차가 증가하는 것으로 판단된다. 위 결과를 통해 EGR Valve 평가 장치 설계에서 EGR Valve 입, 출구 간 압력차는 1 bar 이내로 설정이 가능함을 확인할 수 있었으며, 이는 EGR Valve의 기계적 동작 특성에 큰 영향은 주지 않을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 EGR Valve의 성능 및 품질 개선을 위한 평가 장치를 개발하는데 고려될 수 있는 설계 요소 및 범위를 EGR Valve가 설치된 3L 급 디젤 엔진의 엔진 성능 및 배출 가스 특성 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 주요 결론을 얻었다.

1) 엔진 부하율 50% 조건에서 시험 대상 엔진의 속도에 따른 엔진의 토크(Torque) 출력 변화를 EGR Valve 개도 양 별로 살펴 본 결과, EGR 율이 증가함에 따라 엔진의 토크가 감소하는 경향을 보였으며, 엔진의 속도가 증가 할 수록 EGR 율에 따른 엔진의 토크 출력 편차가 줄어들었다. 이를 통해 EGR 율이 엔진의 토크 출력에 미치는 영향력은 엔진의 고속 영역 보다 저속 영역에서 크다는 것을 알 수 있었으며, EGR Valve 평가 장치의 입력 기체의 유량 및 기체 상태는 저속 영역에서의 배출 가스 상태를 고려할 수 있음을 알 수 있다.

2) 엔진 부하율 50% 조건에서 EGR Valve의 입구 영역을 지나는 배출 가스의 온도 변화를 측정된 결과, EGR Valve 개도 양이 높을수록 EGR Valve 입구 영역의 배출 가스 온도가 높아지는 경향을 보였으며, 최고 온도는 약 510℃로 측정되었다. 이에 EGR

Valve 평가 장치의 입력 기체 최고 온도는 약 510℃ 이상의 온도로 설계가 가능할 것으로 판단된다.

3) 엔진 부하율 50% 조건에서 EGR Valve의 입, 출구 영역을 지나는 배출 가스 온도의 편차는 EGR 율이 낮을수록 높게 나타났으며, 엔진 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. EGR Valve의 입, 출구 간 최대 온도 편차는 약 200℃로 측정되었다. 이 결과를 통해 EGR Valve의 열적 내구성을 평가하기 위해서는 EGR Valve 입, 출구 영역 간 온도 편차는 최대 약 200℃ 이상의 온도 편차를 구현해야 한다.

4) 엔진 부하율 50% 조건에서 EGR Valve의 입구 영역에서 배출 가스 압력은 최대 0.4 bar로 측정되었으며, EGR 율이 높은 경우 EGR 율이 낮은 경우에 비해 낮은 압력을 유지하였다. 또한 엔진의 속도가 증가함에 따라 배출 가스 압력이 증가하는 경향을 보였으나, 최대 배출 가스 압력이 1bar 이내로 EGR Valve의 성능에 큰 영향을 미칠 수 없을 것으로 파악하였다.

5) 엔진 부하율 50% 조건에서 EGR Valve의 입, 출구 영역 간 배출 가스 압력 차는 EGR 율이 낮을수록 높게 측정되었으며, 엔진의 속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 최대 압력 차는 약 0.3 bar로 EGR 율이 100% 인 경우 전 속도 영역에서 0 bar로 측정되었다. 이 결과를 통해 EGR Valve 평가 장치 설계에서 EGR Valve 입, 출구 간 압력차는 1 bar 이내로 설정이 가능함을 확인할 수 있었으며, 이는 EGR Valve의 기계적 동작 특성에 큰 영향은 주지 않을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지정 '인하대학교 자동차 동력계부품 지역혁신센터'의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- 1) Y. I. Jung, J. W. Lee, K. B. Jo and H. S. Hong, Automotive & Environment, Sungsil University Press, pp.17~43, 2010.
- 2) John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, pp.836~839, 1988.
- 3) Kabjin Yang, Hyunwoo Lee and Changhoon Lee, "Development of a Electric EGR Valve's for High Efficiency Engines", KSAE Conference, pp.84~89, 2011.

- 4) Kyoungwon Yun, Nakwon Sung and Hyunwoo Lee, "A Study on the Flow and Heat Transfer in an Electronic EGR valve for a Heavy Duty Diesel Engine", KSAE Spring Conference, pp.223~229, 2000.
- 5) Changhoon Song, Minho Lee, Yongil Jeong and Kyungok Cha, "A Study on the Electronic-EGR Valve for Light Duty Diesel Engine", KSAE, Vol. 11, No. 4, pp.37~43, 2003.