

## 소형 디젤 엔진용 배기 재순환용 전자식 밸브에 관한 연구

송창훈<sup>1)</sup> · 이민호<sup>\*1)</sup> · 정용일<sup>2)</sup> · 차경옥<sup>3)</sup>

명지대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 한국기계연구원<sup>2)</sup> · 명지대학교 기계공학과<sup>3)</sup>

### A Study on the Electronic-EGR Valve for Light Duty Diesel Engine

Changhoon Song<sup>1)</sup> · Minho Lee<sup>\*1)</sup> · Yongil Jeong<sup>2)</sup> · Kyungok Cha<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Myongji Graduate School, Gyeonggi-do 449-728, Korea

<sup>2)</sup>Korea Institute of Machinery & Material, 171 Jang-Dong, Yusong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

<sup>3)</sup>Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi-do 449-728, Korea

(Received 16 November 2002 / Accepted 16 June 2003)

**Abstract** : The exhaust gas recirculation (EGR) is needed for one of various strategies to reduce NOx emission. But to get the proper EGR rate, the intake and exhaust system become complicated, also application of EGR system is difficult because of the penalty in fuel consumption and the increase in particulate matter.

This study is focused on the development of EGR valve using the electrical method. The effects of EGR on the characteristics of NOx, CO, CO2 emissions and particulate matter have been investigated using small-displacement size 0.8-liters engine of diesel passenger car operating at several loads and speeds. After the analysis and comparison between conventional E-EGR valve and developed E-EGR valve performance by test bench, the estimation of vehicle application was executed through the EGR map and CVS-75 test result measured on the chassis dynamometer.

**Key words** : EGR(배기 재순환), Electronic-EGR valve(전자식 배기 재순환 밸브), NOx(질소 산화물), PM(입자상 물질), CVS-75 mode(CVS-75 모드)

### 1. 서론

디젤엔진은 연료경제성이 우수하고 열효율이 높으며 지구온난화의 주범인 CO<sub>2</sub>의 배출이 타 기관에 비하여 적게 배출되고 고부하 고효율이 가능하여 동력원으로서 그 수요가 증가하고 있다. 이러한 장점을 가지는 디젤엔진이 승용 차량용 엔진으로 위치를 확보하기 위해서는 가솔린 엔진에 비해 상대적으로 불리한 PM과 NOx 등 배기가스 저감대책 및 소음 저감대책이 필수적이다. 특히 국내의 경우에 경유의 가격이 휘발유에 비해 크게 저렴하여 경유

차의 보유비율이 다른 나라에 비해 월등히 높으며 이에 따라 경유차에 의한 대도시 공기오염이 심각한 문제점을 가지고 있다. 최근 이러한 PM 및 NOx 등을 저감시키려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1-4)</sup>

일반적으로 디젤엔진의 배출가스저감을 위한 중요한 기술로서 엔진 개량, 후처리 기술, 연료질 개선 등이 적용되고 있다. 이 중에서 엔진의 개량 방법으로서 NOx를 저감하는 EGR의 특성을 연구하고, 차량의 적용 가능성을 확보하고자 하였다.<sup>5)</sup>

EGR의 NOx 저감원리는 화염온도 저하와 산소농도 저감 등에 의한 영향으로 설명되어지고 있다. 즉, 공기중의 N<sub>2</sub>를 배출가스 중 불활성 가스인 CO<sub>2</sub>와

\*To whom correspondence should be addressed.  
lice92@kimm.re.kr

H<sub>2</sub>O로 대체할 경우 흡기의 열 용량이 증대되고 이로 인하여 연소화염의 온도가 저감되므로 NO가 저하된다는 열적효과 (thermal effect) 및 흡기에 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O가 혼입됨으로서 O<sub>2</sub> 농도가 감소되고 이로 인하여 NO가 저감되는 희석효과 (dilution effect)가 있다.<sup>6)</sup> 디젤엔진의 경우, 연료혼합기가 공간적으로 매우 불균일하기 때문에 EGR 가스가 연소화염을 냉각시키는 데에는 공간적으로 한계가 있다. 따라서 디젤엔진의 EGR 효과는 산소농도를 저감시킴으로써 NOx를 줄인다는 희석효과가 주된 이론으로 제시되고 있다.<sup>7-10)</sup>

가솔린 엔진과 달리 디젤엔진에서 EGR 시스템은 흡기관에 스로틀 밸브가 없어 흡/배기관의 압력차가 크지 않기 때문에 EGR 유량조절에 어려움이 있으며 TCI 엔진의 경우 배기관의 압력보다 흡기관의 압력이 높기 때문에 EGR 유로를 특별히 설계하는 문제점이 있다. EGR 시스템을 기관에 적용하기 위해서는 배기관과 흡기관을 연결하고 여기에 EGR 밸브를 설치하여 EGR 가스의 유량조절이 가능하도록 하여야 한다.<sup>11)</sup> 지금까지의 EGR 밸브는 기계식 방식이 사용되어져 왔지만 배기 규제가 점차 엄격해지면서 보다 신속하고 정밀한 제어를 위하여 전자식 모터나 솔레노이드 밸브를 사용하는 E-EGR 밸브의 사용이 증가하고 있는 추세이다.

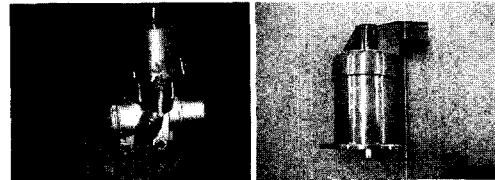
본 연구에서는 기계식 EGR 밸브의 단점을 보완하기 위하여 전자식 EGR 밸브를 개발하고, 이 EGR 밸브의 특성을 분석하고, 개발된 EGR 밸브를 실제 차량 적용 가능성 및 실제 차량 적용시 엔진성능 및 배출가스에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

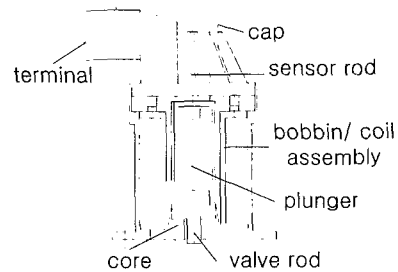
Fig.1은 본 실험에 사용된 기존의 전자식 EGR 밸브와 개발된 전자식 EGR 밸브를 나타내고 있다. 전자식 EGR 밸브는 위치 센서부, 액추에이터부, 밸브로드부로 구성되어 있으며, ECU의 위치센서 신호를 피드백시켜 EGR 밸브의 작동여부를 판정하고 EGR양을 보정하고 있다. 센서부의 중요부품인 세라믹 저항체는 고온 내열성이 강한 재질이며, 액추에이터는 응답성, 자력 및 고온내구성이 우수한 소재를 사용하고 있다.

## 2.1 EGR 밸브 특성 실험

EGR 밸브의 입력신호에 따른 적정유량을 제어하는 작동 특성과 초기 성능을 파악하기 위하여 유량



(a) Photo of base and developed EGR valve



(b) Cross-section view of developed EGR valve

Fig. 1 Base and developed EGR valve

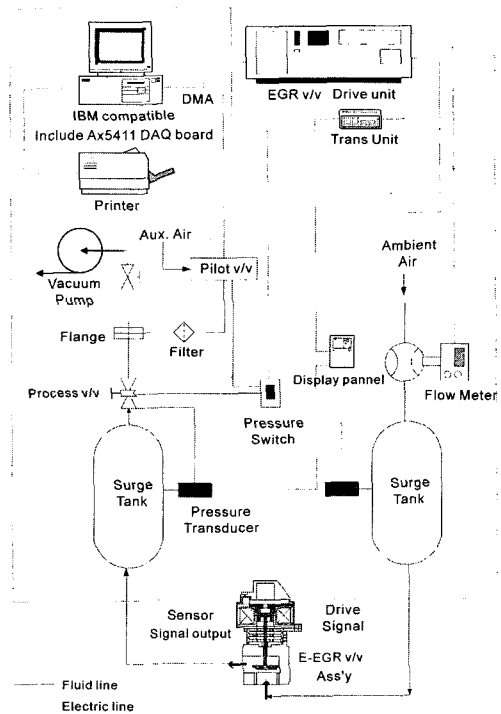


Fig. 2 Schematic diagram of EGR valve tester

측정 실험을 수행하였다. Fig.2는 유량측정 실험에 사용된 실험장치의 구성도를 나타내고 있다.

자동차 엔진에서의 흡·배기 장치를 모사한 공기 유동장치를 제작하고, EGR 밸브를 듀티비로 제어하면서 EGR 밸브를 통과 진후의 유량을 측정하였다. 이때의 압력차의 변화는 50mmHg에서 400mmHg까지이다.

실험은 기존의 EGR 밸브와 개발된 EGR 밸브의 차이에 따른 유량 특성과 전자식 밸브의 자력과 스트로크 관계 및 응답 등을 측정하였다.

### 2.2 실차량 적용 실험

실험차량은 3리터 (3L/100km) 자동차로 개발된 상용의 소형 디젤엔진으로서 799cc, Turbo-charger, Intercooler의 과급식 엔진으로 EGR 밸브가 장착된 차량이다. 이 엔진의 제원은 Table 1에 나타나 있다.

엔진은 새시동력계에 설치를 하였고, 엔진의 작동에 따른 EGR 율을 확인하기 위하여, 차속도를 10km/h부터 100km/h까지 10km/h 간격으로 변화시키고 변속기를 1단부터 6단까지 변속시키면서 실험을 수행하였다.

또한 EGR 밸브의 엔진에 미치는 영향을 파악하기 위하여 CVS-75 모드 테스트를 수행하였다. 시험차량을 12~36시간 정차시킨 후 새시동력계에서 CVS-75 주행모드로 차량을 운전하고 주행 속도별

실시간으로 배출가스의 데이터를 획득하였다. Fig.3은 실험에 사용된 CVS-75 주행모드이고, Fig.4는 실험장치의 전체적인 개략도를 나타내고 있다.

Table 1 Specification of test engine

Model	MCC smart cdi
Type	In-line, 3-cylinder
Fuel injection	Common rail direct injection
Aspiration	T C I
Bore × Stroke	65.5 × 79 mm
Compression ratio	18.5 : 1
Max. power	30 kW at 4200rpm
Max. torque	100 N · m at 1800 ~ 2800rpm

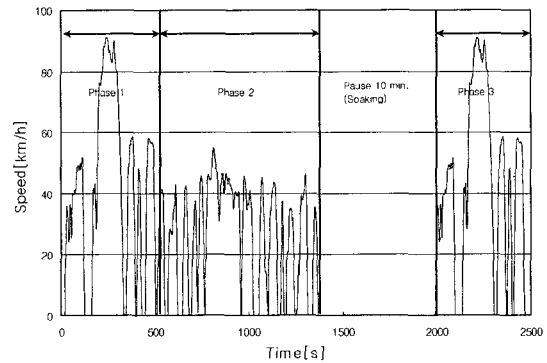


Fig. 3 CVS-75 mode schedule

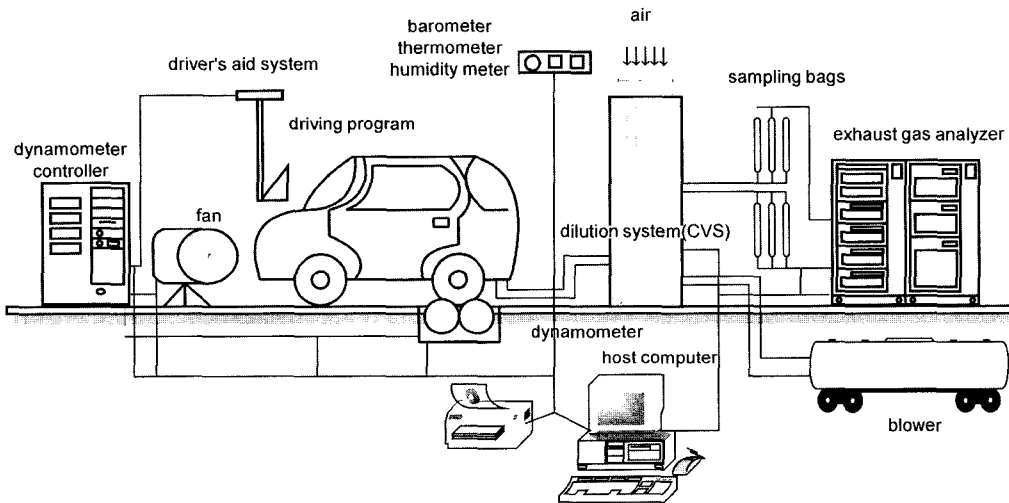


Fig. 4 Experimental apparatus for CVS-75 mode

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 EGR 밸브 특성

기존의 전자식 EGR 밸브와 개발된 전자식 EGR의 특성을 살펴보기 위하여 유량 특성, 자력 특성, 응답 특성 등을 실험하였다. 유량차이는 듀티비의 상승과 하강에 따라서 측정하였고, 자력특성에 따른 응답특성을 측정하였다.

Fig.5는 기존의 EGR 밸브와 개발된 EGR 밸브의 차압에 따른 유량특성을 나타내고 있다. 기존의 EGR 밸브와 개발된 EGR 밸브에 대한  $\Delta P \sim Q$  특성의 선형성에 있어서 약간의 차이를 가지고 있지만, 전체적으로 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 차이는 듀티값 제어로써 일치시킬 수 있을 것이다.

Fig.6은 EGR 밸브의 액추에이터 구동용 솔레노이드에 전원을 인가하였을 때의 자력특성을 나타낸 것이다. 밸브가 완전 개방되는 5mm에서 플런저 끝과 코어부가 접촉되어 자력이 상승하나 이후 스톱로크가 감소하면서 자력이 점점 증가하는 것을 볼 수 있다. 전반적으로 개발된 밸브의 자력이 작게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 플런저의 사양 및 코일의 회전수에 따라서 조정이 가능한 부분이다.

Fig.7은 전압인가에 대한 개발된 EGR 밸브의 응답성을 나타낸 것이다. 밸브 ON시 전압이 밸브에 주어지게 되고, 이에 따라 밸브가 완전히 개방되는 데 까지 걸리는 시간은 57ms이다. 이와 반대로 OFF시 전압을 제거하게 되고, 밸브가 완전히 닫히는 데 까지 걸리는 시간은 46ms의 응답속도를 보이고 있다. 이것은 기존 EGR 밸브의 ON시 56ms, OFF시 50ms와 비교하여 큰 차이가 없다. 그러나 이러한 전

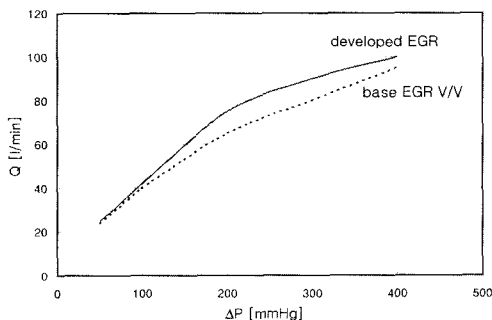


Fig. 5 Flow rate of EGR valve

자식 밸브는 기계식 밸브의 응답성능과는 뛰어난 차이를 보이고 있다. 이 결과에서 57ms는 엔진속도 4000rpm에서 크랭크샤프트 약 1.2회전에 해당하는 응답속도로서 4행정기관의 경우에 더욱 빠르게 향상시킬 필요성을 가지고 있다.

#### 3.2 EGR 도표 및 EGR 율

차량조건 (rpm, load)에 따른 EGR 밸브의 운전 특징 및 EGR 율을 실험하였다.

먼저 Fig.8은 기존의 EGR 밸브와 개발된 EGR 밸브의 운전 특징을 나타내고 있다. 기존의 EGR 밸브는 저속 및 저부하 영역에서 EGR 율이 크게 나타나고 속도와 부하가 증가할수록 EGR 율이 감소하는 특징을 가지고 있으며, 4000rpm과 중부하 이상에서 EGR 공급이 중단되고 있다. 개발된 밸브도 마찬가지로 저속 및 저부하 영역에서 EGR 율이 크게 나타나며 속도와 부하가 증가할수록 EGR 율이 감소하는 특징을 가지고 있다. 이것은 확산연소방식인 디젤엔진의 경우에 공연비가 매우 높게 작동하는 저속 및 저부하 영역에서는 EGR 율이 커도 엔진의 연소가 원활히 일어날 수 있다는 것을 나타내고 있

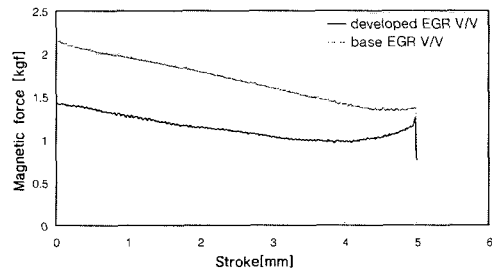


Fig. 6 Magnetic force of E-EGR valve

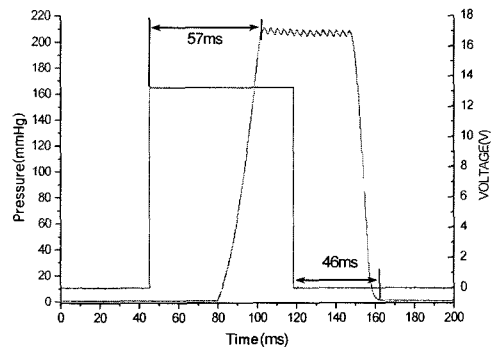


Fig. 7 Response time of developed valve

다. 기존 밸브와 비교하여 개발된 밸브는 저속, 저부하 영역에서 낮은 EGR 율을 보이는 반면 중속, 중부하에서는 오히려 높은 EGR 율을 보이고 있다.

Fig.9는 차량의 주행 조건시 EGR 율을 보여주고 있다. 기존 EGR 밸브는 2단 20km/h에서 67%의 EGR 율로 가장 높게 나타나며, 차속이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 가지며, 변속 단수의 경우 2단 이상에서는 부하율 변동이 크게 나타난 고속으로 갈수록 EGR 율이 감소하고 있다. 개발된 EGR 밸브는 1단 10km/h와 2단 20km/h에서 EGR 율이 38%로 가장 높게 나타났으며, 기존의 밸브와 같은 경향을 가지고 있음을 볼 수 있다. 그러나, 50km/h 이상의 중속 및 중부하에서는 Fig.8의 결과와 같이 개발된 밸브가 EGR 율이 더 높게 공급되는 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 유량 실험의 결과에서도 볼 수 있듯이 기존 밸브와 개발된 밸브 사이의 유량 응답성에 의한 것이라고 생각할 수 있다.

### 3.3 배출가스 특성

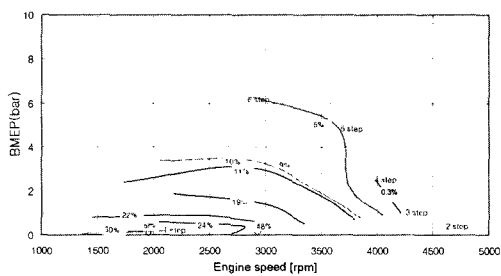
EGR 밸브가 엔진의 정속운전과 동적운전에 미치는 영향과 배출가스의 특성을 파악하기 위하여 CVS-75 모드로 실험을 하였다. CVS-75 모드중

phase 1과 phase 2의 일부를 포함하여 600초까지의 실험결과를 시간에 대하여 차속, CO, HC, NOx 배출 농도를 Fig.10에 표시하였다.

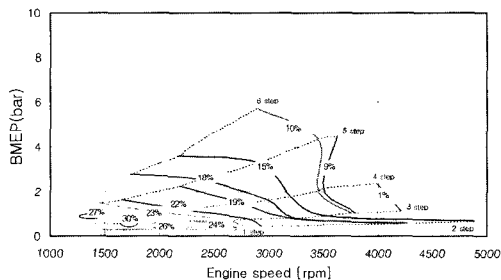
NOx의 경우 CVS-75 모드에서 가장 가혹한 운전 조건인 두 번째 가속구간 약 200초에서 다량으로 배출되나, 기존 EGR 밸브에 비해 개발된 EGR 밸브 사용시 현저하게 줄어든다. 이것은 앞의 결과에서도 설명하였듯이 EGR 밸브의 응답특성이 거의 유사한 것을 고려하면, 개발된 EGR 밸브가 ECU의 동일한 제어신호에 대한 EGR 율이 중고속에서 높기 때문인 것으로 사료된다.

HC와 CO의 경우 시동 초기단계에서 다량 배출되는 것을 알 수 있으며 개발된 EGR 밸브가 기존 EGR 밸브보다 피크값은 크게 나타나지만 전체적으로는 큰 차이가 없는 것으로 보여진다.

Table 2 는 CVS-75 모드에 의한 배출가스 측정결과이다. EGR map과 CVS-75 모드 과정에서 예측할 수 있었듯이 개발된 EGR 밸브가 기존 EGR 밸브에 비해 NOx는 약 20% 정도가 적게 배출되었으나 PM은 40%가 증가하였다. 또한 연비는 13% 악화되었으며 CO<sub>2</sub>도 15% 증가하였다.

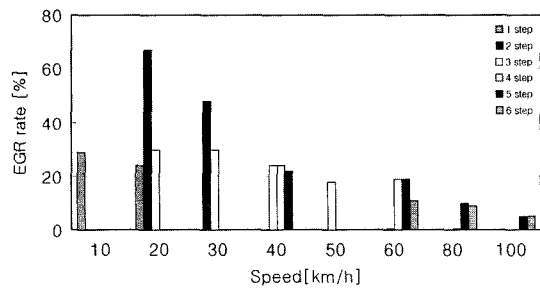


(a) Base E-EGR valve

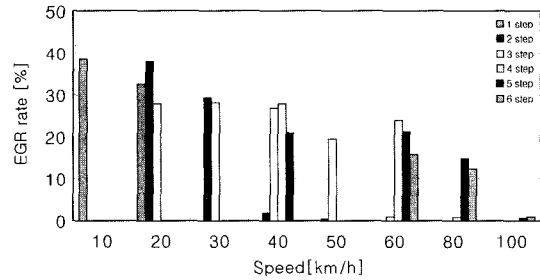


(b) Developed E-EGR valve

Fig. 8 EGR map of E-EGR valve



(a) Base E-EGR valve



(b) Developed E-EGR valve

Fig. 9 EGR rate of E-EGR valve at driving conditions

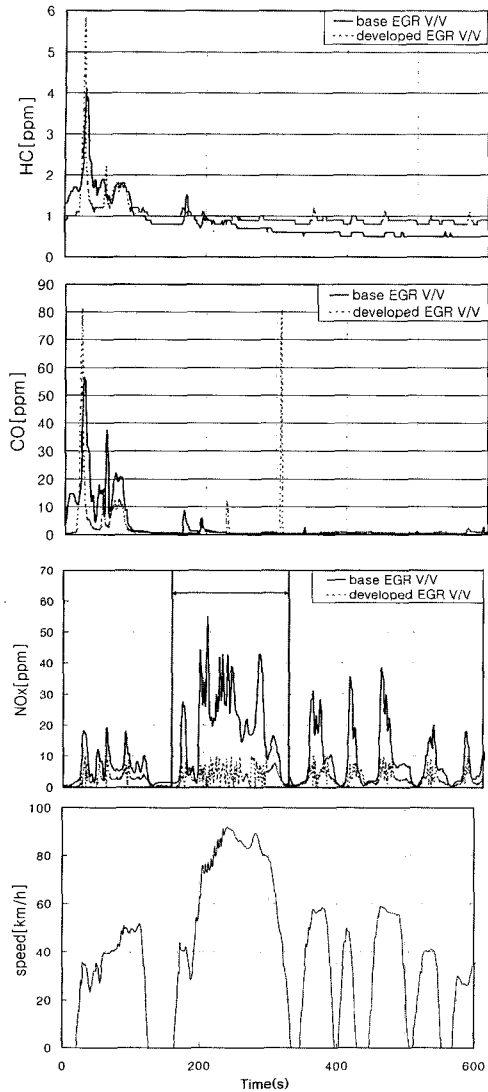


Fig. 10 Emission characteristics of CVS-75 mode

Table 2 Results of CVS-75 mode

	NOx [g/km]	HC [g/km]	CO [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	PM [g/km]	FE [km/l]
Base	0.567	0.006	0.033	85.196	0.036	31.634
Developed	0.444	0.002	0.015	97.751	0.051	27.497

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 기존의 EGR 밸브와 개발되어 적용된 EGR 밸브의 기본 특성을 분석 비교한 결과,

다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

1) 적용된 EGR 밸브는 기존의 EGR 밸브에 비해 유량특성과 밸브 응답속도는 거의 유사한 특성을 가지고 있다. 그러나 듀티량의 제어에서 더욱 개선하여야 하고, 플런저의 사양 및 코일의 회전수를 조정하여야 한다.

2) EGR 밸브의 응답성의 경우 57ms는 엔진이 고속(4000rpm이상)에서 작동될시 크랭크샤프트 회전에 따른 밸브 제어에 문제가 일어나므로, 이 부분에 있어서 응답성을 향상시켜야 한다.

3) 적용된 밸브의 EGR 율은 기존의 밸브에 비하여 저속 저부하에서는 낮게 나타났지만 중속 중부하 영역에서는 더 높게 나타나는 특성을 가지고 있다.

4) CVS-75 시험결과 HC와 CO의 경우 전체적으로 큰 차이를 보이고 있지 않다. 그러나, NOx는 개발된 EGR 밸브에서 20% 정도가 저감되었으나 PM은 40% 증가하였으며, 연비와 CO<sub>2</sub>도 15% 정도 악화되었다. 이러한 원인은 EGR 밸브의 응답특성이나 유량특성에 의한 것이라고 생각된다.

#### References

- 1) R. S. G. Baert, D. E. Beckman, A. Veen, "Efficient EGR Technology for Future HD Diesel Engine Emission Targets", SAE 1999-01-0837, pp.1-13, 1999.
- 2) M. W. Bae, J. K. Lim, "A Study on Effect of EGR upon Fuel Consumption Rate and NOx Emission in Diesel Engines", Transactions of KSAE, Vol.3, No.1, pp.76-88, 1995.
- 3) M. W. Bae, C. S. Ryu, H. M. Kim, T. Y. Ha, J. O. Kim, "Effect of Intake Mixture Temperature on Exhaust Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System", 2002 KSAE Spring Conference Proceeding, pp.373-379, 2002.
- 4) B. C. Moon, Y. S. Oh, Y. C. Han, "An Experimental Study on Exhaust Gas Change of a Heavy-Duty Diesel Engine by EGR", Transactions of KSAE, Vol.10, No.6, pp.59-64, 2002.
- 5) P. Zelenka, H. Aufinger, W. Reczek and W. Cartellieri, "Cooled EGR-A Key Technology for Future Efficient HD Diesels", SAE 980190,

- pp.1-13, 1998.
- 6) N. Ladommatos, S. M. Abdelhalim and H. Zhao, "The Effects of Carbon Dioxide in EGR on Diesel Engine Emissions", IMechE Paper NO. C517/028/ 96, 1996.
  - 7) N. Ladommatos, S. M. Abdelhalim, H. Zho, Z. Hu, "The Dilution, Chemical and Thermal Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Emission-Parts 1", SAE 961165, pp.35-54, 1996.
  - 8) S. Ropke, "NOx Formation in Diesel Engines for Various Fuels and Intake Gases", SAE 950213, pp.1-8, 1995.
  - 9) N. Ladommatos, S. M. Abdelhalim, H. Zho, Z. Hu, "The Dilution, Chemical and Thermal Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Emission-Parts 2", SAE 961167, pp.63-75, 1996.
  - 10) N. Ladommatos, S. M. Abdelhalim, H. Zho, Z. Hu, "The Dilution, Chemical and Thermal Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Emission-Parts 4", SAE 971660, pp.233-251, 1997.
  - 11) C. H. Dong, Y. I. Jeong, K. O. Cha, "A Study on the Characteristics and Application of E-EGR Valve for Light Duty Automotive Diesel Engine", KOSME, Vol.26, No.4, pp.425-431, 2002.