

승용 디젤엔진의 EGR 과 Induction 위치에 따른 소음 영향 The Effects of EGR and EGR Induction Point on Combustion Noise of a Passenger Diesel Vehicle

강상규† · 김재현* · 백성남* · 강구태*

Sang Kyu Kang, Jaeheon Kim, Sung Nam Baek, Koo Tae Kang

Key Words : EGR(Exhaust Gas Recirculation, 배기가스 재순환), EGR Distribution, Ignition Delay

ABSTRACT

EGR is well established and efficient means to reduce NO_x emissions. The increase of EGR rate affects the ignition delay of the combustion due to the lower oxygen availability. The increasing of the ignition delay period causes large combustion noise. In this study, the effects of EGR and Induction Point on combustion noise are investigated by measuring cylinder pressure and noise. As a result, The Combustion noise is markedly increased under the application of EGR. The increased premixed distance by displacing EGR Induction point in flow direction causes the uniform EGR distribution and the modulation level of the combustion noise is reduced slightly.

1. 서론

디젤엔진의 두 주요 배기가스로 NO_x 와 PM 이 발생되며 그 중 NO_x 저감을 위해 배기가스 재순환(EGR) 방법은 가장 보편적으로 사용된다. EGR 은 배기가스의 일부를 연소실로 재순환 하여 연소과정 중 산소이용률을 감소시킨다.[Fig.1] 감소된 산소이용률은 국부적 화염온도를 감소시켜 NO_x 발생을 저감하게 된다.

반면에 소음적 측면에서 EGR 적용 시, 연소 과정 중 점화지연(Ignition Delay)이 발생하여 디젤 연소음에 영향을 주게 된다.[1-4] 동일한 운전 조건에서 갑작스런 EGR 량 변화는 음량 및 음색을 변화시켜(Fig. 2) 소비자에게 불쾌감을 주게 된다.

또한 각각의 Cylinder 에 균일하지 않은 EGR 분배가 이루어질 경우, 각 실린더의 연소특성에 편차를 발생시켜 Half Order Modulation 소음을 발생 시킨다. 이는 흡기 시스템 형상, EGR Port 형상 및 EGR Port 위치 등과 깊은 연관을 가지는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 EGR 에 따른 Cylinder 연소압력 변화 특성과 소음에 미치는 영향에 대해 알아보고 EGR Port 위치에 따른 소음 특성에 대하여 연구를 수행하였다.

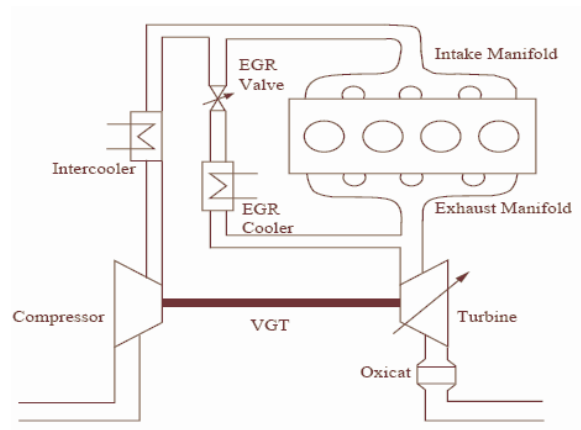


Fig. 1 디젤엔진의 EGR 구조[1]

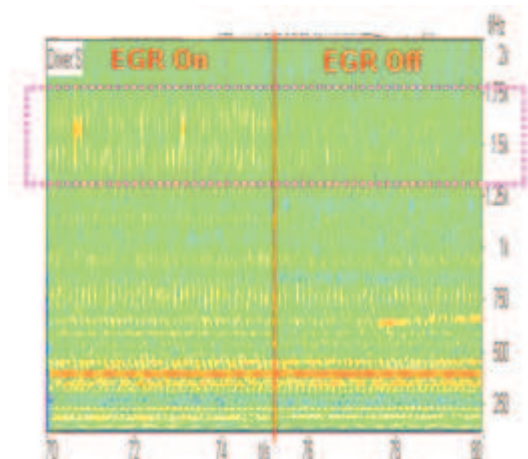


Fig. 2 EGR 적용 유(Left), 무(Right)에 따른 소음 특성

† 교신저자 :현대자동차 연구개발본부

E-mail : sangkyu@hyundai-motor.com

Tel : (031) 368-2028

* 현대자동차 연구개발본부

2. 실험 장치 및 조건

실험은 4 Cylinder 배기량 1,991cc 직접 분사방식의 디젤 엔진을 사용하였다. 연료분사 조건은 Table 1 과 같이 모든 실험에서 동일하게 적용하였다. 주 분사 시기는 ATDC 0.9 CAD(Crank Angle Degree)이며 Pilot 분사는 각각 BTDC 14.5 CAD, BTDC 7.1 CAD 로 2 Pilot 분사를 적용하였다. 실험 조건은 온간 IDLE, 850 rpm 차량에서 이루어졌고 연소압력은 KISTLER 6057A80 Piezoelectric Pressure transducer 로 측정하였다. 소음은 실내와 실외 전방 1m 에서 측정하였으며 실외 소음은 차량의 Structure-borne Noise 영향을 배제하기 위해 참고하였다.

EGR 에 따른 Cylinder 연소압력 특성과 소음 특성을 실험하기 위해 EMS(Engine Management System)를 이용하여 EGR Valve duty 를 40% 열림과 0% 닫힘에 대하여 실험하였다.

EGR Port 위치 변경에 따른 혼합거리 증대 실험을 위해 Fig. 3 과 같이 EGR Port 를 Upstream 방향으로 기존 곡물 부에서 직관 부로 이동하였다.

Rail Pressure	275000 hPa
Main Injection Angle	0.9 deg ATDC
Pilot 1 Injection Angle	7.1 deg BTDC
Pilot 2 Injection Angle	14.5 BTDC

Table 1 연료 분사 조건

Engine Speed	850 rpm
Engine Load	IDLE
IC Out Pressure	1025/1073 hPa
IC Out Temperature	40 degree
Coolant Temperature	90 degree

Table 2 시험 조건

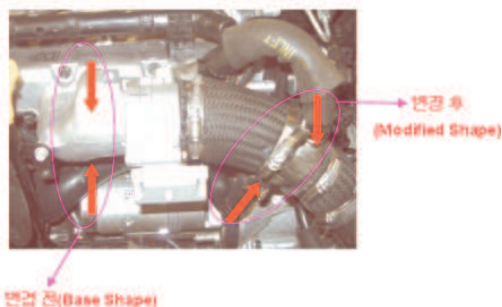


Fig. 3 EGR Port 변경 전후 위치

3. 실험 결과

3.1 EGR 에 따른 연소압과 소음 영향

Fig.4 는 EGR 적용 유무에 따른 1번 실린더의 연소압력과 그 미분을 보여주고 있다. EGR Off 시 흡입 공기량은 약 50% 증가하고 연소 과정 중 산소 이용률이 증가하게 된다. 따라서 Pilot 분사와 주 분사 시, 연소 압력이 EGR On 시에 비해 크게 형성됨을 알 수 있다. 연소압력의 미분 그래프에서 EGR On 시 착화지연(Ignition Delay)이 발생하고 그 미분값도 증가하는 결과를 보인다.

Fig. 5 는 EGR 적용 유무에 따른 연소압력의 주파수 분석 결과이다. EGR On 시 주파수 0.4~3.5 kHz 대역에서 최대 10dB 증가함을 보인다. 이는 EGR 로 인한 착화지연에 따른 갑작스런 열 확산(heat release)으로 고주파 소음이 악화됨을 알 수 있다.

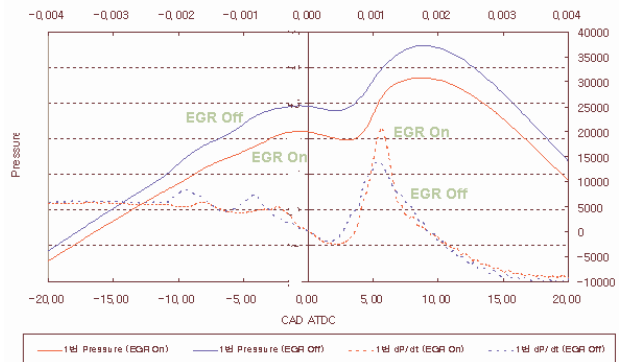


Fig. 4 EGR 에 따른 실린더 연소압과 미분

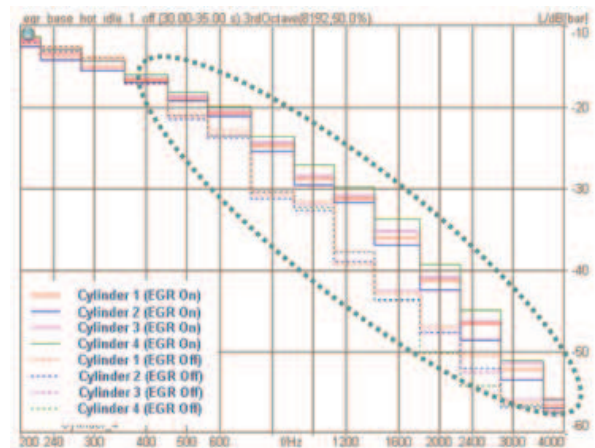


Fig. 5 EGR 에 따른 연소압의 주파수 분석

Fig. 6 은 실의 소음에 대한 주파수 비교이며 EGR On 시 1~2kHz 대역에 약 2 dB(A)의 소음 악화를 초래하고 있다.

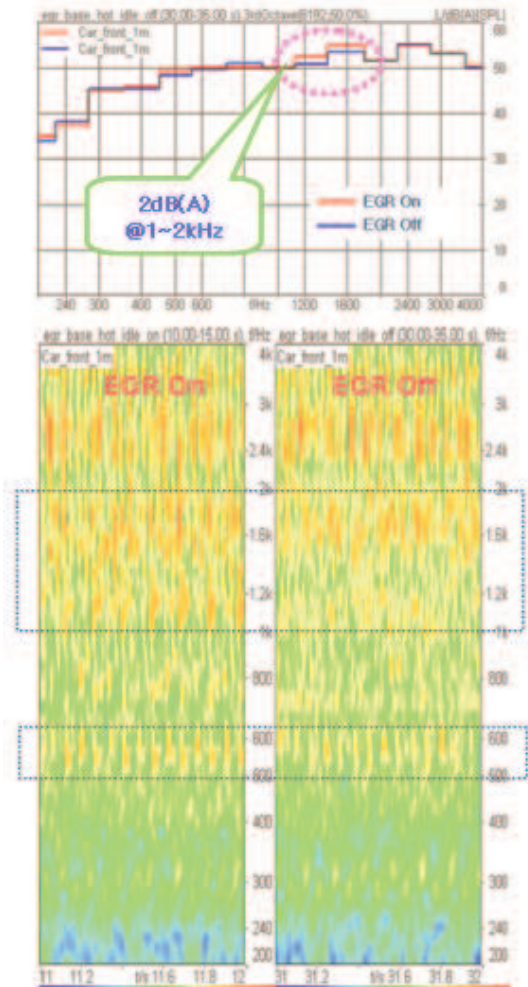


Fig.6 EGR 에 따른 실의 소음 비교

3.2 EGR Port 위치 변경에 따른 연소압과 소음 영향

Fig. 7 은 기존 Base EGR Port 위치에서의 각각의 실린더 연소압력과 그 미분을 보여준다. 그 그래프에서 볼 수 있듯이 4번 실린더의 연소압력이 상대적으로 낮으며 착화 지연이 크음을 알 수 있다. 또한 그 압력 미분 값도 상대적으로 크게 측정되었다. 이는 4번 실린더에 EGR 이 상대적으로 크게 유입됨을 추정할 수 있다. 기존 EGR Port 위치는 Intake Manifold 의 곡률부에 위치하고 있으며 혼합거리도 충분하지 않아 각 실린더에 유입되는 EGR 이 동일 하지 않은 것으로 판단된다.

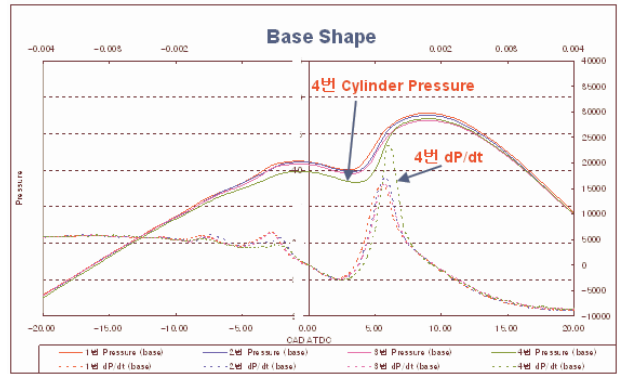


Fig. 7 EGR Base Shape 의 연소압과 미분

Fig. 8 은 EGR Port 위치를 Upstream 방향의 직관부로 이동 시 각각의 실린더 연소압력과 그 미분을 보여준다. Base EGR Port 위치와 비교하였을 때 4번 실린더의 연소 특성이 개선 됨을 알 수 있다. 이는 혼합 거리 증대에 따른 EGR 분배성이 개선 되었음을 추정할 수 있다.

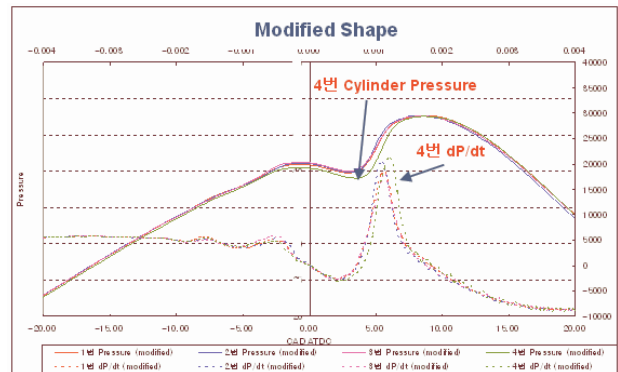


Fig. 8 EGR Modified Shape 의 연소압과 미분

Fig. 9 는 각 실린더 연소압력의 주파수 분석 결과이며 기존 EGR Port 위치 경우, 400Hz 이상에서 4번 실린더의 편차가 크며 Upstream 방향으로 위치 변경 시, 실린더간 편차가 감소함을 볼 수 있다.

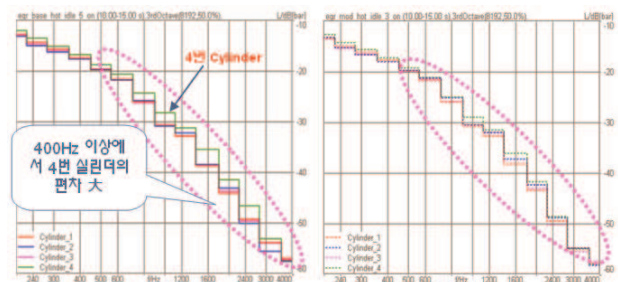


Fig. 9 EGR 위치에 따른 연소압 주파수 분석: Base Shape(Left), Modified Shape(Right)

Fig. 10 은 외부 소음 비교 그래프이며 4 번 실린더에 의한 Half Order Modulation 특성이 개선 됨을 알 수 있다.

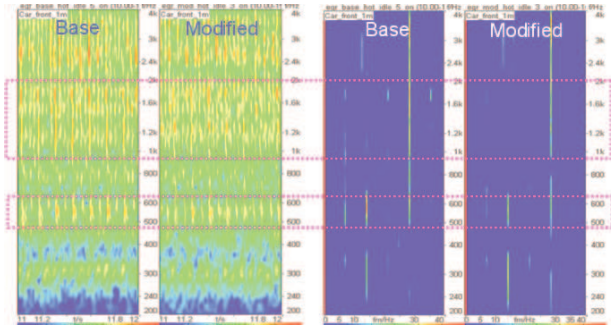


Fig. 10 외부 소음의 Wavelet(Left) 및 Modulation (Right) 분석

4. 결론

4 기통 디젤엔진을 사용하여 EGR 에 따른 연소 특성과 소음의 영향, EGR Port 위치 변경을 통한 EGR 분배성과 소음에 대하여 살펴 보았다.

EGR 적용 시, 산소 이용률 감소로 착화 지연이 발생하고 그로 인해 고주파 연소음이 악화됨을 확인 하였다.

EGR Port 위치를 Upstream 방향으로 이동 시, 혼합거리 증대로 EGR 분배성이 향상되며 Half Order Modulation 소음이 개선 되었다.

참 고 문 헌

(1) Mertern Jung, “ Mean-Value Modelling and Robust Control of the Airpath of a Turbocharged Diesel Engine” , Sidney Sussex College.

(2) Sanghoon Kook and Choongsik Bae, 2005, “ The Influence of Charge Dilution and Injection Timing on Low Temperature Diesel Combustion and Emissions” , SAE International.

(3) J.B. Heywood, 1988, “ International Combustion Engines Fundamentals” , Mc-Graw Hill

(4) Masahiko Kondo, Shuji Kimura, Izuho Hirano, Youichi Uraki, Ryoichi Maeda, 2000, “ Development of noise reduction technologies for a small direct injection diesel engine” JSAE Review 21 (2000) p327-333