EGR Cooler system을 장착한 건설기계용 대형디젤엔진의 성능에 관한 연구

A Study on Characteristics of Performance by Heavy-Duty Diesel Engine on Construction Machine with EGR Cooler System

오상기*† · 김진열** · 이승호*** · 송호영****

Sang-Ki Oh*, Jin-Iyul Kim**†, Seung-Ho Lee*** and Ho-Young Song****

(접수일 : 2013년 04월 22일, 수정일 : 2013년 10월 23일, 채택확정 : 2013년 10월 23일)

Abstract: It is a research about the change in reduction efficiency and performance resulting from installation of the EGR cooler, which is the core technology reducing NO_x in response to standards been tightened of exhaust controls for off-road vehicle. It can reduce NO_x by altering combustion temperature and oxygen concentration by recycling high-temperature exhaust gas. The target engine was large diesel engine for construction machine through by which we were able to verify a rate of change in output and capabilities for a heat-exchange within cooler itself depending on the existence of EGR cooler system. We have acquired a emission reduction technology for a construction machine by testing the reduction performance and rate of change in output.

Key Words : EGR Cooler, NO_x, Off-road Vehicle, Heavy-Duty Diesel Construction Machine

1. 서 론

국내외 환경은 석유 자원 소비로 인해 지속적으로 악화되고 있으며, 이에 따라 환경보존 측면에서 오염배출원에 대한 환경규제를 대폭적으로 강화하고 있다. 건설기계의 경우 2014년 발효되는 Tier 4 Final 배기규제는 질소산화물과 입자상물질의 배출수준을 현재 기준대비 90%이상 저감하도록 요구하고 있다.

국내·외적으로 개발중인 질소산화물 저감기술로

는 Lean NO_x Trap(LNT), Selective Catalytic Reduction(SCR), Lean NO_x Catalyst(LNC), EGRT (EGR+DPF) 등이 있으며, 이중 SCR기술이 배출가스 저감성능 및 신뢰도가 높은 장치로 평가되고 있지만, 환원제인 Urea와 관련된 인프라 구축이 필요하고 후처리장치보급사업과 같은 Retrofit type의 장치로는 건설기계 시스템의 특성상 적합하지 않다. EGRT사업 또한 SCR과 유사한 배출가스 저감성능을 확보할 수 있는 이상적인 기술이며, Retrofit사업으로 적용이 가능하지만 엔진종류별로

*† 오상기(교신저자) : 경기과학기술대학교 자동차과

E-mail : skoh@gtec.ac.kr, Tel : 031-496-4739

**김진열 : 허즈앤티(주)

***이승호 : 경기과학기술대학교 자동차과

****송호영 : 한국석유관리원

*† Sang-Ki Oh(corresponding author) : Department of Automotive Engineering, GTEC.

E-mail : skoh@gtec.ac.kr, Tel : 031-496-4739

**Jin-Iyul Kim : Hawes& Co.

***Seung-Ho Lee : Department of Automotive Engineering, GTEC.

****Ho-Young Song : Korea Institute of Petroleum Management

Fig. 1 Technology for emission reduction on diesel engine

EGR 맵핑기술이 적용되어야하는 문제점을 가지고 있다. Fig. 1은 국내의 배출가스 저감장치 관련 기술개발 현황을 보여주고 있다.^{2,3,4)}

디젤 EGR(exhaust gas recirculation)시스템은 디젤엔진의 연소 중 발생하는 배출가스의 일부를 순환하여 엔진흡기포트로 재순환시키는 장치로 재순환되는 고온의 배출가스를 통해 연소온도 및 산소농도에 변화를 주어 질소산화물(NO_x)의 배출량을 현저히 저감시키는 대표적인 기술이며 이에 EGR-Cooler를 적용시킴으로써 EGR Gas의 온도를 낮추고 밀도를 높임으로써 기존의 EGR 시스템보다 질소산화물 저감률을 더욱 높일 수 있다.

본 연구에서는 건설기계용 엔진의 현행 규제(TIER-3)에 대응하는 Cooled EGR시스템을 개발함으로써 향후 강화되고 있는 Off-road차량에 대한 후처리기술을 확보하고자 한다.

2. EGR 시스템 구성과 특징

디젤엔진에서의 EGR방식은 크게 LPL(Low Pressure Loop)와 HPL(High Pressure Loop)로 분류되며 EGR밸브와 Cooler로 구성된다. 이러한 EGR 시스템은 높은 온도의 배기가스에 직접 접촉하여 작동하여야 하기 때문에 고온 작동성, 내열 및 내식성 등이 요구된다. 특히 빠른 응답성을 위해 전자식 EGR밸브가 사용되는 추세에 따라 고온하의 전자부품 신뢰성이 요구되고 있다.

특히, EGR Cooler는 엔진출력, 연소특성, 배기 특성 등에 영향을 미치는 EGR가스온도를 엔진

Fig. 2 Schematic diagram of dual loop EGR system

특성에 적합하게 조절할 수 있도록 적절한 용량이 선정되어야만 한다. 초기 EGR시스템은 고압의 배기가스를 상대적으로 저압인 흡기포트로 되돌리는 구조(HP EGR)였으며, EGR밸브와 Cooler의 단순한 조합이었다. 하지만 배기규제가 강화됨에 따라 부분부하에서만 적용되었던 배기재순환이 확대 적용될 필요성이 대두되었고, 보다 증가된 배기재순환량과 더욱 낮은 온도의 배기재순환가스 또한 요구되기에 이르렀다. 이와 같은 필요에 따라 터보차저 전단에서 고압으로 추출된 고압 배기재순환과 더불어 DPF후단에서 상대적으로 낮은 압력의 배기가스를 압축기 전단으로 순환시키는 라인(LPL)이 추가되는 이중경로 배기재순환 시스템이 고안되었다.^{1,5)}

3. 실험장치 및 방법

본 연구를 위해 제작된 EGR Cooler는 시중에서 판매되는 STS소재의 규격을 선행적으로 조사하여 설계에 반영하였으며, 용접 및 절곡 등을 고려하여 설계안을 결정하였다. Fig. 3은 EGR Cooler의 설계도면이며, Photo 1은 제작모델이다.

시제품제작을 위한 세부 설계안을 통해 각 파트별 단품을 제작하였으며, Cooler의 각 파트별 단품들을 제작하고 이를 종합하여 Proto-type을 완성하였다. 개발한 EGR Cooler의 성능 및 배출가스시험을 위해 EGR시스템을 적용하지 않은 초기상태의 시험(성능시험, 배출가스시험)을 수행한 후 본 연구에서 개발한 Cooler를 장착한 EGR시스템을

동일 엔진에 적용하여 EGR Cooler 시스템의 제반 성능 및 배출특성을 시험평가하였다. 성능 및 배출가스시험을 위해 사용된 측정장치의 개략도는 Fig. 4와 같다.

Fig. 3 Design drawing of EGR cooler

Photo 1 EGR Cooler produce

Fig. 4 Schematic diagram of system for experiment

엔진동력계는 AVL사의 440kW AC동력계로서 동력계(ELIN), 동력계 제어장치(PUMA), 연료온도 조절장치(AVL753), 연료유량계(AVL735), 연료압력조절장치, 냉각수 온도 조절장치(AVL553), 윤활유 온도조절장치(AVL554), 흡입공기유량계 등으로 구성되어 있다. 배출가스 측정장치는 Horiba Co.의 MEXA-7100DEGR를 사용하여 디젤엔진의 유해 배출가스 물질 중 규제물질인 CO, THC, NOx를 분석하였다.

Photo 2 AVL SPC472

입자상물질 측정을 위한 시료채취장치로는 마이크로터널 방식의 입자상물질 측정장치(AVL Co. SPC472)를 사용하였으며, 이 장치는 경유엔진에서 배출되는 배기가스 중 일부의 배기가스를 포집하여 테프론 코팅 된 유리섬유여지(ϕ 47mm)에 입자상물질을 포집하는 장치로서 포집된 입자상물질의 정확한 측정을 위해 대기환경 보존법 제33조

Photo 3 Horiba Co. of MEXA-7100DEGR

및 제42조에 의한 “배출허용기준 및 소음허용기준의 검사방법 및 절차”에 의해 측정하였다. 여지에 포집된 PM의 무게를 측정하기 위해 1 μ g까지 측정 가능한 마이크로 발란스(SACD-WC, 6digit)를 사용하였다. 여과지에 포집된 PM의 정확한 측정을 위하여 온도 22 $\pm$ 3 $^{\circ}$ C, 상대습도 46 $\pm$ 8%로 유지된 웨이닝 챔버내에서 측정하였다.

EGR Cooler시스템 성능평가를 위한 대표차종으로 국내 건설기계의 보급현황 및 수입수요현황 등을 고려하여 선정하였으며, 엔진사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of engine

Parameter	Spec.
Vehicle	DLTM-1200 (LIEBHERR/Germany)
Engine	D9408TI-E
Displacement(cc)	17,177
Power	400kW
Exhaust level	TIER-2
Weight of vehicle	120ton

성능 및 배출가스시험을 위한 시험모드는 건설기계 환경인증 시험모드인 KC1-8모드 Base시험을 실시함으로써 규제모드상의 엔진 배출가스 발생량(CO, THC, NOx)을 분석하였다. Table 2는 KC1-8모드 조건이며, 각 mode별 배출량을 측정하

여 가중치에 따라 전체 배출량이 결정되게 된다.

Table 2 KC1-8 mode(ISO8178 mode)

Mode		1	2	3	4	5	6	7	8
Condition	Engine speed	Engine speed on rated power				Intermediate engine speed			Idle speed
	Load (%)	100	75	50	10	100	75	50	0
Weighting factor		0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15

Fig. 5 Variation of CO concentrations with EGR cooler on KC1-8 mode

Fig. 6 Variation of NOx concentrations with EGR cooler on KC1-8 mode

4. 실험결과

EGR Cooler의 장착 전·후의 운전모드별 CO, NOx, THC 발생량은 Fig. 5-7과 같으며, 가중계수 등을 이용하여 종합하면 EGR Cooler장착전은 Table 3-1, 장착후는 Table 3-2와 같다.

Fig. 5는 KC1-8 mode에서 EGR cooler 장착에 따

Fig. 7 Variation of THC concentrations with EGR cooler on KC1-8 mode

Fig. 8 Mode output for power

른 CO 배출량 변화를 나타내고 있다. 1, 2, 8 mode에서는 CO배출량이 감소하였으며, 5, 6, 7 mode에서는 증가하였다. 이와 같은 결과는 상대적으로 엔진회전속도가 빠른 1~4 mode에서 연소실 내 빠른 공기유동으로 인해 불완전연소의 발생이 많이 나타나지 않은 것으로 판단되며, 부하가 줄어들수록 공급 연료량 감소로 인해 불완전연소가 작은 것으로 판단된다. 중속영역에 해당되는 5~7 mode의 경우 상대적으로 낮은 공기유속으로 인해 불완전연소의 발생이 늘어난 것으로 판단된다.

Table 3-1 Standard

KC1-8 mode					
CO(g/kWh)		NO _x and HC (g/kWh)		PM(g/kWh)	
Stand-ard	Meas-urement	Stand-ard	Meas-urement	Stand-ard	Meas-urement
3.5	0.9	4.0	4.994	0.2	0.0

Table 3-2 EGR cooler

KC1-8 Mode					
CO(g/kWh)		NO _x and HC (g/kWh)		PM(g/kWh)	
Stand-ard	Meas-urement	Stand-ard	Meas-urement	Stand-ard	Meas-urement
3.5	0.966	4.0	3.812	0.2	0.184

대상엔진에 EGR시스템 적용후의 성능시험을

Fig. 9 Fuel consumption

Fig. 10 Torque

실시한 결과 Fig. 8과 같이 적용 전-후의 출력변화는 1% 이내로 목표기준 5%이내를 만족하며, Fig. 9의 연료소비량과 Fig. 10의 Torque성능 역시 standard 상태와 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 11은 EGR Cooler 입출구에서 측정한 온도차를 나타낸 것으로 최대 약 530℃에서 최소 약 250℃로 EGR Cooler 시제품의 정량적 평가항목으

Fig. 11 Inlet and outlet temperature

로 책정한 온도차 300°C 이상은 달성하였다.

5. 결 론

본 연구의 목적인 건설기계용 규제기준(TIER-3)을 만족하는 EGR Cooler시스템개발에 있어 TIER-2급 엔진(D9408TI-E)에 EGR Cooler시스템을 적용하여 최종 엔진성능 및 배출가스시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) EGR Cooler시스템을 적용했을 때 질소산화물은 규제치인 4.0g/kWh보다 낮은 3.182g/kWh의 결과를 도출하여 시스템의 신뢰성을 확보하였다.

2) 배기가스 내의 입자상물질은 규제치 0.2g/kWh에서 시스템 적용 후 0.184g/kWh으로 NO_x저감에 따른 입자상물질의 증가는 규제치내로 안정화 되었다.

3) KC1-8 mode의 각 단계별 결과 기관의 출력 변화율은 2%미만이며, 입출구 온도차는 250~530°C로서 개발시스템이 충분한 성능을 발휘하고 있음을 확인하였다.

4) TIER-3기준을 만족함으로써 자체 제작 EGR Cooler시스템의 성능은 만족하였으며, 향후 강도적인 측면과 내구성 등을 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 산학연공

동기술개발지원사업의 지원을 받아 수행한 결과입니다.

참고문헌

1. Y. Choi, S. H. Lee, 2012, "Status of Domestic EGR Technology", Auto Journal, pp. 55-57.
2. L. Lim, B. Kang, J. Park, J. Yeom, S. Chung and J. Ha, 2004, "A Study on the Effects of EGR Temperature on Emission Characteristics in a HSDI Diesel Engine Using EGR Cooler", Fall Conference Proceedings, KSAE, pp. 306-312.
3. Mori, K., Matsuo, S., Nakayama, S., Shiino, S. et al., 2009, "Technology for Environmental Harmonization and Future of the Diesel Engine", SAE Technical Paper 2009-01-0318.
4. Mc Geehan, J., 2004, "Diesel Engines Have a Future and That Future is Clean", SAE Technical Paper 2004-01-1956.
5. C. H. Sohn, 2007, "Heat Transfer Analysis of EGR Cooler with Different Tube Shape", Trans. of the KSAE(B), Vol. 15, No. 5, pp. 112-117.