

재제조된 노후 디젤엔진의 수소첨가에 따른 출력 및 배출가스 특성

김용태^{1†} · 우재환¹ · 서삼원² · 김창기² · 박범수^{3†}

¹자동차부품연구원, ²덕산인프라코어, ³인하대학교 대학원 기계공학과

The Engine Performance and Emission Characteristics of Remanufactured Diesel Engine by Hydrogen Enrichment

YONG TAE KIM¹, JAE HWAN WOO¹, SAM WON SEO², CHANG KI KIM², BUM SU PARK³

¹Korea Automotive Technology Institute

²Ducsan infracore

³Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Inha University

Abstract >> The remanufacturing industry for automotive parts is a major issue which affects the environment protection and CO₂ reduction throughout the world. Beside this, remanufacturing technologies of worn-out diesel engines have been developing to make as close to new as possible. In this study, the characteristics of the engine-power output and exhaust emissions of remanufactured diesel engine by hydrogen enrichment are evaluated by measuring the engine and vehicle test. Moreover, with worn-out diesel engine and first generation common-rail engine, we compared by testing their characteristics, resulting in the restoration of engine-power output more than 93%, as well as marvelously reduces the THC and NO_x emission. At a guess, high pressure injection of diesel increases fuel atomization characteristics with excellence combustion efficiency, resulting in reduction of THC emission. Also, rapid cooling of EGR decreases combustion temperature, resulting in reduction of NO_x emission. Consequently, these remanufacturing for diesel engine enables worn-out diesel engine to have restoration to the original state. Simultaneously achieved 2 goals called that CO₂ emission reduction and protection of environment by remanufacturing engine.

Key words : Remanufacturing(재제조), EGR(배기가스순환장치), Emission(배출가스), Commonrail Diesel engine (전자제어식 직접분사 디젤엔진), Engine Performance(엔진성능)

1. 서 론

최근 대량생산과 대량 소비 및 대량 폐기에 따른 지구의 가용한 천연자원의 고갈과 이로 인한 환경배출물의 증가로 우리 인류가 추구해야 할 지속 가능한

발전을 저해하는 대표적인 요인으로 지목되고 있다. 따라서 이에 대한 해결책으로 소량생산과 소량소비의 패턴으로 전환보다는 제품 생산 소비과정에서 발생하는 폐기물에 대한 자원 이용율을 높이는 방법을 우선시 하고 있으며 그 중에서 사용 후 제품을 재제조하는 방법이 미국 및 독일에서 많은 관심을 가지고 연구를 진행하고 있다. 재제조란 “사용된 제품을 수집하여, 분해, 세척, 검사 및 분류, 수리 및 조정 그리고 재조

[†]Corresponding author : ytkim@katech.re.kr
pbs6807@hotmail.com

[접수일 : 2014.09.30 수정일 : 2014.10.30 게재확정일 : 2014.10.31]

Copyright © 2014 KHNES

립 공정을 거치면서 신품과 동일하거나 유사한 품질 및 성능을 가지게 하는 일련의 과정”을 말한다¹⁾.

국내 재제조 시장은 7,500억원 규모로 80% 이상을 자동차 부품 재제조 시장이 차지하고 있고, 관련 사업의 선진국인 미국, 유럽 등에서도 자동차분야가 재제조 시장을 주도하고 있다. 미국 및 유럽에서는 40여종의 자동차 부품이 재제조 되고 있을 뿐만 아니라 건설 장비, 응급차량, 농기계, 군사용 차량 등 상용 자동차 재제조 분야도 활성화^{2,4)} 되고 있는 반면 국내는 대략 15개 여종의 자동차부품이 재제조 되고 있고, 대부분 중소기업의 영세한 업체로 형성되어 있으며, 기술 수준, 품질수준 및 시장 규모가 미국, 유럽 등과 같은 재제조 선진국에 비하여 현저히 낮은 실정이다^{3,5)}.

이러한 현실을 극복하기 위한 재제조 산업 활성화를 위하여 다양한 정책을 수립하여 추진해왔다. 특히 2005년 환경친화적 산업구조의 전환촉진에 관한 법률 개정으로 재제조 산업 육성을 위한 기술개발 지원 근거를 마련하였으며, 2011년 제 21차 경제정책조정회의 안건으로 상정한 ‘재제조 산업활성화 방안’의 핵심전략으로 재제조 기술 개발 투자 확대를 제시하였다. 하지만 자동차 부품 재제조 기술 개발의 중장기 전략이 부재하여 효과적인 R&D가 이루어지지 않는 실정이다.

이에 본 연구에서는 노후 디젤엔진의 고효율·친환경 전환기술로서 기계식 디젤엔진을 커먼레일 디젤엔진으로 변환하여 에너지 절감, CO₂ 저감을 위해서 엔진 성능 및 연비·배출가스 성능평가를 통해 노후엔진 재제조 기술을 확립하고자 하였고, 또한 수소발생장치를 사용하여 수소첨가가 배출가스 성능에 미치는 영향을 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치 및 방법

본 연구는 노후 엔진의 고효율 및 친환경 전환기

술로서 10년 이상 된 기계식 디젤엔진을 커먼레일 시스템으로 기술개발 하였다. 기술개발에 따른 신뢰성과 성능을 확보하기 위해 2.9L급 기계식 디젤엔진(1999년식 Turbo-charged Intercooler)과 커먼레일 1세대 엔진(2002년식 Turbo-charged Intercooler)의 성능평가를 수행하여 DB를 구축하고, 재제조를 통해 기계식에서 커먼레일 시스템으로 전환하기 위해서 기존의 기계식 엔진 헤드를 제거하고 폐차된 커먼레일 엔진의 헤드를 재제조 과정을 통해 재생된 헤드를 적용시켰다. 재생헤드에는 커먼레일과 재생 인젝터 및 고압연료펌프를 적용하였으며 재제조 터보차저를 적용하였다. 또한 엔진의 출력 및 배출가스 최적화를 위해 커먼레일 차량에 적용되었던 ECU의 연료분사 매핑을 WIN-OLS를 사용하여 일부 변경하였다. 한편 1.5L/min의 수소발생장치를 흡입공기와 혼합되어 엔진으로 들어가도록 설치하여 수소첨가가 배출가스에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 실험에 사용된 엔진의 제원은 Table 1과 같다.

Fig. 1은 엔진 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 시험장치는 2.9L급 디젤엔진에 대한 성능 평가를 수행하기 위하여 AVL사의 EC타입 240kW급 엔진 동력계를 사용하였으며, 배기분석계는 HORIBA사의 MEXA-9100 D EGR과 매연측정장치는 AVL사의 S415를 사용하였다. Photo 1에 시험용 엔진이 엔진 동력계에 설치된 모습의 사진이다.

Fig. 2는 차량 실험장치 구성의 개략도를 나타낸 것이다. 차대 동력계는 AVL사의 150kW급 차량동력계로 Zollner 48“ Compact Chassis Dynamometer System이며 AC모터를 사용하여 차량의 등가관성 중량 및 도로부하, 실도로 동력 손실 모사가 가능하다. 배출가스는 HORIBA 사의 MEXA-7200H를 사용하여 차량의 연비 및 THC, CO, CO₂, NO_x의 배출가스를 측정 하였다.

차량성능시험은 기계식 디젤엔진 탑재 차량, 1세대 커먼레일 엔진 탑재 차량 그리고 기계식 엔진에

Table 1 Specifications of test engine

Engine	Carnival-J3 TCI
Model year	1999
Emission regulation	Euro-2
Type	Series, DOHC
Displacement(cc)	2,902
Torque(kgf·m/rpm)	31.5/2000
Power(ps/rpm)	135/3800
fuel-injection	Mechanical-Injection
Injection timing	TDC/1.2mm LIFT
Intake method	Turbo-charged Intercooler
Compression pressure (kg/cm ² -rpm)	30/200
Compression ratio	19.3 : 1
Engine	Carnival-J3 TCI
Model year	2002
Emission regulation	EURO-3
Type	Series, DOHC
Displacement(cc)	2,902
Torque(kgf·m/rpm)	32/2000
Power(ps/rpm)	145/3800
fuel-injection	DI-Injection
Injection timing	TDC/0.7mm LIFT
Intake method	Turbo-charged Intercooler
Compression pressure (kg/cm ² -rpm)	30/200
Compression ratio	18.9 : 1

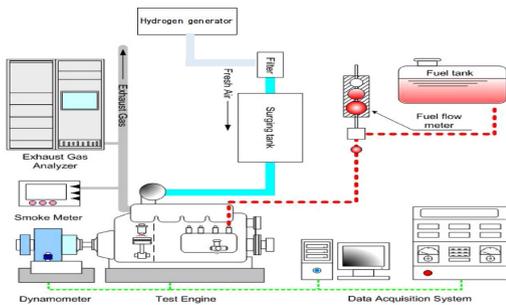


Fig. 1 Schematic of experimental device

서 커먼레일 시스템 엔진으로 전환한 차량들의 배출가스 특성을 확인하기 위해 차대동력계에서 연비 및 배출가스 시험모드인 NEDC(New European Driving Cycle) Mode로 시험을 수행하였다.



Photo 1 Test engine installed on engine dynamometer

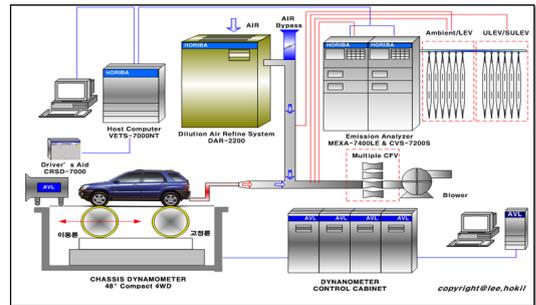


Fig. 2 Schematic diagram of vehicle test



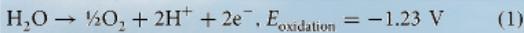
Photo 2 Test vehicle installed on vehicle dynamometer

기계식 디젤엔진 차량은 총 주행거리 12만km 정도의 1999년식 카니발로 선정하였으며, 커먼레일 1세대 디젤엔진 차량은 총 주행거리가 16만km 정도의 2002년식 차량으로 선정하였다. 커먼레일 전환기술을 적용하기 전 각 디젤엔진의 배출가스의 성능을 평가하고, 마지막으로 기계식 엔진에 커먼레일 시스템을 탑재한 차량의 배출가스 특성을 비교분석하였다.

Photo 2는 차량동력계에 설치된 시험용 차량 사진이다. 본 차량의 배출가스 성능 시험은 현재 유럽의

Table 2 Specifications of Hydrogen generator

Electronic	Electrolyte : Nafion 115 Anodic Catalyst : Ir Cathodic Catalyst : Pt Cathode Electrode : Carbon Paper
Voltage(VDC)	12VDC
Current(A)	20A
Power(W)	240W
Flow rate(LPM)	Hydrogen 0.8LPM Oxygen 0.4LPM
Weight(kg)	3
Size(H*W*D)	108cm*54cm*31cm



Schematic Diagram

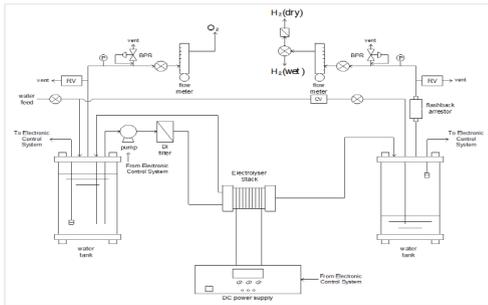


Fig. 3 Schematic of Hydrogen generator

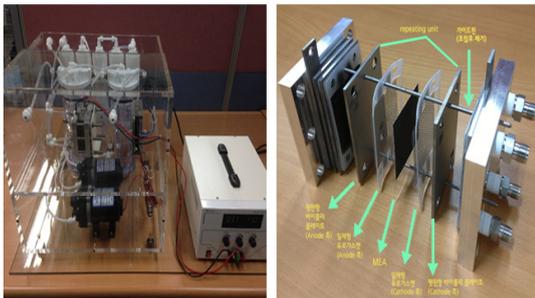


Photo 3 Hydrogen generator structure

소형 화물 차량 및 승용 차량의 배출가스 시험모드인 NEDC Mode와 북미 연비측정모드인 CVS Mode로 비교 분석하였다.

Fig. 3은 재제조 엔진에 수소 첨가에 따른 출력 및 배출가스의 특성을 비교분석하기 위한 수소 발생장치로 물 전기분해하여 수소와 산소를 발생시키는 장

치의 개략도를 나타낸 것이다. 물 전기 분해는 산소 발생(1) 및 수소발생(2) 반응이 일어나는데, 통상적으로 상용화된 수전해 기술로는 알칼리 수전해 방식이다.

Photo 3은 차량 동력계 흡기라인에 수소발생장치를 이용하여 공급하는 수소발생장치의 구조를 나타낸 것으로 실험에 사용된 수소발생장치의 제원은 Table 2와 같다.

3. 시험 결과

3.1 재제조 기술 따른 엔진 특성

Fig. 4은 기계식 엔진의 토크 및 출력의 특성을 나타낸 그림이다. 기관 회전수 2,000rpm에서 250Nm 정도로 최대값을 나타내며 이는 1세대 커먼레일 엔진의 최대토크(300Nm) 대비 약 83% 정도에 해당한다. 이후 기관회전수 증가에 따라 급격히 토크가 감소하는 것을 보여주고 있다. 또한 기관회전수에 따른 출력이 제대로 나오지 않는 경향을 보이는데 이는 엔진 및 부품의 노후화로 정상적인 성능을 발휘하지 못하는 것에 기인한다. 시험 엔진의 사양은 135PS/3,800rpm이나 실험 결과는 70PS/ 2,000rpm으로 측정된 것을 보아 연료펌프의 노후 또는 알 수 없는 원인으로 인해 충분한 출력을 내지 못하는 것으로 생각된다.

한편, Fig. 5의 커먼레일 1세대 엔진은 2,500rpm 이후 토크가 다소 떨어지기는 하나 기계식 엔진에 비해 급격하게 감소되지 않고, 출력 또한 기관회전수가 증가함에 따라 점진적으로 증가하고 있다. 최대출력 145PS/ 3,800rpm에 비해 낮지만 120PS/ 3,000rpm으로 양호하게 나타났다. 그러나 최대 출력이 나타나는 3,800rpm에서는 출력이 다소 떨어지는 현상이 나타났다. 이 또한 부품의 노후화로 인한 것으로 사료된다.

Fig. 6는 Fig. 4 기계식 디젤엔진에 커먼레일 시스템을 적용한 재제조 엔진의 토크와 출력을 나타낸

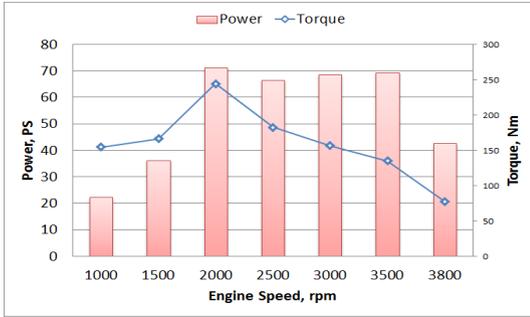


Fig. 4 Torque and power of mechanical engine

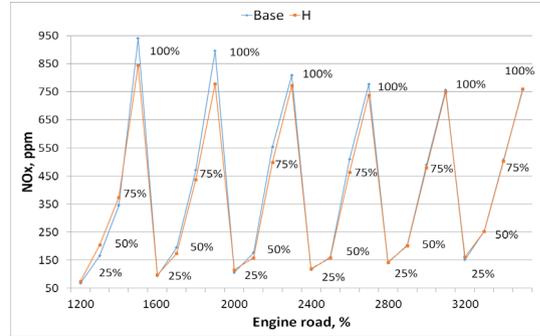


Fig. 8 Torque and power of remanufacturing engine



Fig. 5 Torque and power of CRDI engine

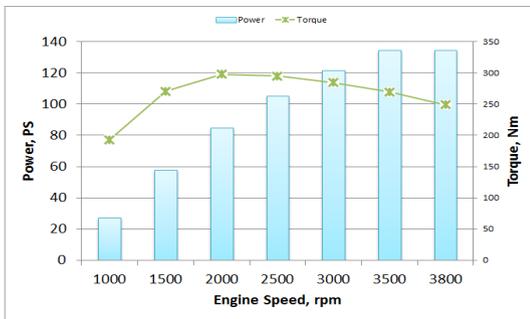


Fig. 6 Torque and power of remanufacturing engine

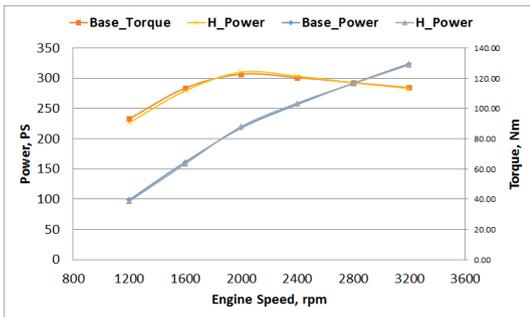


Fig. 7 Torque and power of remanufacturing engine

그림이다. 기관회전수의 증가에 따라 토크는 증가하다가 2,000rpm에서 최대 토크(약 300Nm : 엔진 제원과 거의 동일)를 나타내고 이후 감소하는 것을 보아 엔진의 상태는 매우 양호한 것으로 판단된다. 또한 출력은 기관 회전수가 증가함에 따라 점차 증가하여 3,500~3,800rpm 정도의 기관회전수에서 134PS의 최대 출력이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이는 기계식 신형 엔진의 최대출력과 거의 동일하였다.

상기 시험 결과로 볼 때 노후된 기계식 엔진을 재제조 과정을 거쳐 커먼레일화 함으로써 엔진 토크 및 출력이 거의 신제품과 비슷한 성능으로 복원됨이 확인되었다.

Fig. 7은 Fig. 5 재제조 디젤 엔진과 수소 첨가에 따른 엔진의 출력 및 토크 나타낸 것이다. 기관회전수의 증가에 따라 수소 첨가시 2,000rpm에서 최대 토크 약 310 Nm로 수소를 첨가하지 않았을 경우보다 약 3%정도 증가함을 나타내며, 이후 고속으로 갈수록 토크가 감소하는 것을 확인하였다. 출력은 1,200rpm을 시작으로 3,200rpm 영역까지 동일한 출력이 나오는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 재제조 엔진과 수소 첨가에 따른 엔진의 배출가스 특성을 비교 분석한 것이다. 부하 증가에 따른 NOx의 배출량을 나타낸 그래프로 저속 1,200 rpm을 시작으로 중속 2,000rpm까지 NOx의 배출량이 수소를 첨가하지 않았을 경우보다 최대 15%가 감소하였다. 이후 고속 및 고부하로 올라감에 따라 NOx

의 배출량은 거의 동일한 것을 확인하였다.

3.2 재제조 기술에 따른 배출가스 특성

Table. 3은 노후 기계식 차량과 커먼레일 1세대 차량, 그리고 기계식 엔진을 전자식 커먼레일 시스템으로 기술 개발된 엔진을 탑재한 차량의 배출가스 성능시험 모드인 CVS모드로 수행된 Emission 와 Fuel Efficient 결과를 나타낸 것이다. 기계식 차량 및 커먼레일 1세대 차량의 경우 엔진의 노후화로 인하여 배출가스 NOx가 과다 배출되는 것을 확인하였으며, CO2의 배출가스 또한 많은 것을 보아 연비 또한 낮아짐을 확인하였다.

Fig. 9은 THC, CO 배출량을 나타낸 그래프로 THC 배출량은 기계식 차량 대비 커먼레일 1세대 차량에서 20% 정도 배출이 감소하였으며, 재제조 엔진을 탑재한 차량의 경우 기계식 차량에 대비 98% 정도 감소함을 나타냈다. 이는 연료 분사압력 증가에

따른 연료 미립화가 촉진되어 연소효율이 향상됨으로써 미연소 탄화수소가 적게 발생되는 것으로 판단된다. 또한 CO의 배출량 역시 노후된 기계식 차량에 비해 재제조 차량에서 약 94%정도 감소하는 것을 확인하였다.

Fig. 10의 CO2의 배출량과 Fuel Efficient를 나타낸 그래프로 노후된 기계식 및 커먼레일 1세대 차량은 높은 CO2의 배출량으로 보아 실제로 Fuel Efficient 또한 낮게 측정되었다. 반면 전자식 커먼레일화 기술을 적용한 재제조 차량의 경우 기계식 연료 분사에서 커먼레일 분사시스템으로 전환됨에 따라 연료분사 압력이 증가하여 연소효율이 개선되어 CO2의 배출량이 최대 10%가량 감소하였으며, 이로 인해 Fuel Efficient가 약 10%정도 증가함을 확인하였다.

Fig. 11은 NOx의 배출량을 비교분석한 그래프로 노후화된 기계식 차량 및 커먼레일 1세대 차량에 비해 전자식 커먼레일로 재제조한 차량에서 약 52% 가

Table 3 Exhaust emission and fuel economy(CVS mode)

	THC (g/km)	CO (g/km)	CO2 (g/km)	NOx (g/km)	F.E (km/l)
Mechanical	0.045	0.089	246.009	1.726	10.915
CRDI	0.036	0.114	263.991	1.500	10.172
Remanufacturing	0.001	0.005	238.705	0.839	11.263

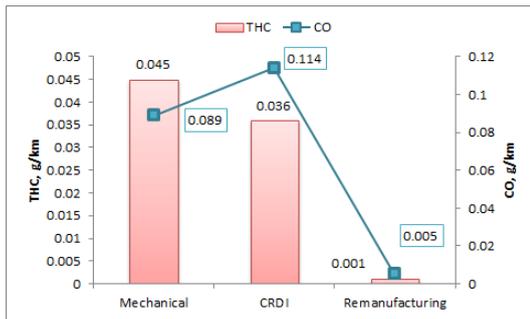


Fig. 9 THC and CO emissions of vehicle performance tests

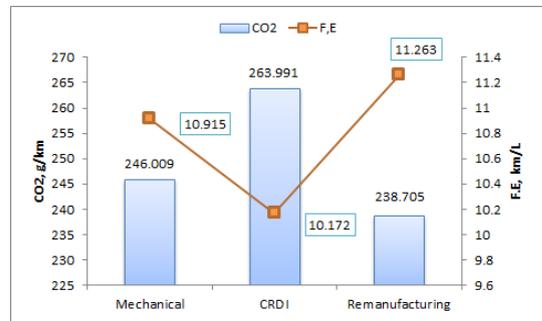


Fig. 10 CO2 emissions and Fuel Efficient

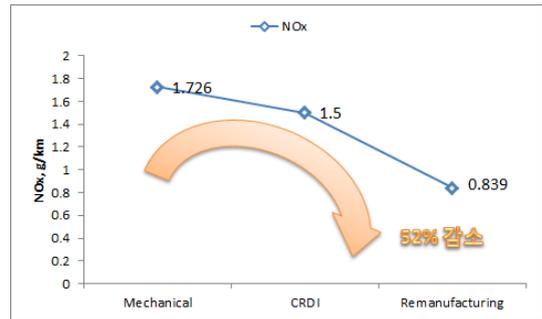


Fig. 11 NOx emissions of vehicle performance tests

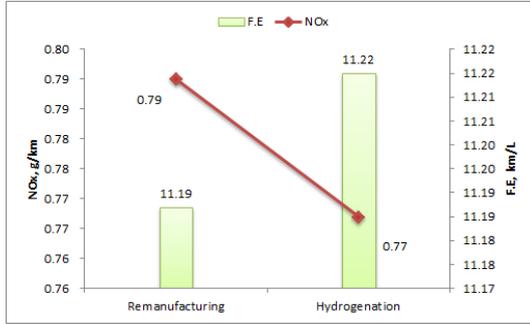


Fig. 12 NOx emission and Feul Efficient(NEDC mode)

량 NOx의 배출량이 감소하는 것을 확인하였다. 이는 기계식 연료분사에서 커먼레일 분사 시스템으로 전환됨에 따라 연료 분사압력이 증가하여 연소 효율이 개선되고, EGR 및 EGR Cooler의 작동으로 연소실 온도 하락에 따라 NOx의 배출량이 급격히 감소된 것으로 판단된다.

Fig. 12는 기계식 디젤엔진을 전자식 커먼레일 기술을 적용한 재제조 엔진에 수소발생장치를 이용하여 배출가스 및 연료소비율의 영향을 알아보기 위한 NEDC-13mode로 시험한 결과이다. NOx 발생량은 0.79g/km에서 수소첨가량이 20 Am로 1.5L/min의 수소를 주입하는 경우 NOx가 0.767g/km로 NOx 배출량이 3%가량 감소하였다. 또한, 연료소비율은 11.19 km/L에서 11.22km/L로 0.03km/L가량 증가하였다.

4. 결론

본 연구에서는 노후 엔진의 고효율 및 친환경의 전환 기술로서 기계식 디젤엔진을 전자식 커먼레일 디젤엔진 개발에 따른 엔진의 특성을 평가하였다. 또한 재제조된 엔진을 실차량에 탑재하여 기계식차량 및 커먼레일 1세대 차량과의 출력 및 배출가스를 비교 분석하였다. 이를 통해 노후 엔진의 재제조 기술에 따른 성능회복을 확인하였다.

1) 노후된 기계식 엔진의 출력특성 및 배출가스 특성은 엔진 및 부품의 노후화에 의해 제원에 비해

서 매우 낮은 출력과 비정상적인 패턴을 나타냈다. 특히 출력은 제원의 1/2 정도로 나타나 폐차 직전의 매우 노후된 차량임을 알 수 있었다. 커먼레일 1세대 엔진 장착 차량은 120PS/3,800rpm으로 양호하게 나타났다. 엔진제원 최대 출력 145 PS/3,800rpm 대비 83% 수준.

- 2) 기계식 엔진에서 전자식 커먼레일 재제조 엔진의 토크는 300Nm/2,000rpm, 최대 출력 135ps/3,800 rpm으로 커먼레일 1세대 신폼엔진의 출력의 93% 까지 도달하였다.
- 3) 차량의 배출가스 성능 시험은 THC 배출의 경우 기계식 대비 커먼레일 1세대 차량에서 20% 정도 배출이 감소하였고, 기계식에서 전자식 커먼레일 재제조 차량의 경우 98% 이상이 감소하였다. 이는 연료분사 압력 증가에 따른 연료미립화 영향으로 연소효율이 향상되었기 때문으로 사료된다.
- 4) CO2의 배출량은 노후된 기계식 디젤 차량을 전자식 커먼레일화 기술을 적용함에 따라 기계식 분사에서 커먼레일 분사식으로 연소효율이 개선되어 CO2의 배출량이 최대 10% 가량 감소하였고, 이로 인하여 차량 연료 소비율또한 약 10% 정도 증가하였다.
- 5) NOx 배출의 경우 기계식 차량 및 커먼레일 1세대 차량의 경우 10년 이상된 노후차량으로 NOx의 배출량이 과다 배출되었으나, 재제조 차량의 경우 노후된 엔진의 재제조, 커먼레일 장착, EGR 및 EGR cooler 장착으로 연소실 온도를 낮춤으로써 기계식 차량 대비 52% 이상의 NOx 배출이 저감된 것으로 보인다.
- 6) 재제조 엔진에 수소 발생장치를 이용하여 수소첨가시 배출가스 성능을 분석한 결과 NOx의 배출량이 수소를 공급하지 않았을 경우보다 약 3% 가량 감소하는 것을 확인하였으며, 연료소비율에서도 미소하게 증가되는 것을 확인하였다.
- 7) 차량 배출가스 EURO-3의 규제를 만족시키기 위

해서는 추가적인 연료분사 전략 수정과 배기 후 처리 장치에 관한 추가적인 연구와 수소발생장치를 이용한 배출가스 저감 및 연료소비율 증가에 맞는 최적의 수소공급량 연구가 진행되어야 한다.

후 기

이 연구는 한국에너지기술평가원의 “글로벌 전문 기술개발사업” 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. N. H. Chung, H. H. Lee, “Development of Performance Evaluation System for an Automotive Remanufactured Starter“, Transactions of KSAE, Vol, No. pp.1567~1572, 2008.
2. H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, S. J. Park, Hoon Sagong, Seliger Günther, “Remanufacturing Industry for Automobile Parts of European“, Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 1, pp.38-44, 2011.
3. H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, Steven J. Skerlos, “Remnaufacturing for Automotive Electronics Control Parts“, Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 2, pp.1~8, 2013.
4. H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, M. J. Song, B. S. Park, H. S. Kwak and S. J. Park, “A Study on Remanufacturing Industry for Automobile Parts“, Transactions of KSAE, Vol.16, No.6, pp.184-191, 2008.
5. H. S. Mok, C. S. Jeon, C. H. Han, Skerlos, S, H. J. Kim and K. C. Lee, “Remanufacturing Industry for Automobile Parts of USA,“ Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.27, No.3, pp.58-65, 2011.