

디젤 하이브리드 차량 개조에 따른 배기 배출물 영향 평가

권 순 호¹⁾ · 임 종 순²⁾ · 이 현 우²⁾ · 이 정 훈^{*3)}

한국기술교육대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 자동차안전연구원 친환경평가실²⁾ · 한국기술교육대학교 기계공학부³⁾

Modification of Hybrid Diesel Vehicle and Its Effect on the Exhaust Emissions

Soonho Kwon¹⁾ · Jongsoon Lim²⁾ · Hyunwoo Lee²⁾ · Jeonghoon Lee^{*3)}

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea University of Technology & Education, Chungnam 31253, Korea

²⁾EFV Research Division, Korea Automobile Testing & Research Institute, 200 Samjon-ro, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18247, Korea

³⁾School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology & Education, Chungnam 31253, Korea
(Received 6 March 2015 / Revised 29 May 2015 / Accepted 11 June 2015)

Abstract : The effects of the modification of hybrid vehicle components on diesel exhaust emissions were investigated in this study. We examined the changes in exhaust emissions and the fuel consumption (FC) caused by the modification of generator (alternator) and motors. Exhaust emissions such as black carbon (BC), HC, NO_x and CO₂ were measured not only in idle state but also on an actual urban road as well as on a chassis dynamometer. BC, NO_x and HC emissions increased by 95%, 27% and 34% respectively when the generator charged the battery in the idle condition. BC and FC decreased in hybrid mode on the actual urban road partly because the motors were used to assist the diesel engine. In addition, the decreases in exhaust emissions and FC were also evident in the hybrid mode when the vehicle was tested on the chassis dynamometer.

Key words : Diesel hybrid(디젤 하이브리드), Exhaust emissions(배기 배출물), Urban road test(시내 실주행 테스트), Black carbon(블랙 카본), Fuel consumption(연료 소모량)

1. 서 론

차량의 연료소비효율은 자동차 소비자들이 차량을 선택함에 있어 매우 중요한 요소이다. 그리고 차량의 배기배출물 규제는 더욱 강화되고 있다.¹⁾ 따라서 대부분의 완성차 업체와 차량관련 부품업체에서는 연비와 배기에 대한 요구를 충족시키기 위해 하이브리드 차량과 클린디젤 차량의 생산을 늘리고 있으며 국내의 디젤 차량 등록대수도 대한민국 통계청 발표 자료에 의거 2014년 기점으로 국내의 차량 중 7,500,000대를 넘어서고 있다.²⁾ 또한 디젤 차

량과 하이브리드 차량에 대한 자동차 완성업체의 기술경쟁도 매우 치열하게 전개되고 있으며 국내를 포함한 대부분의 선진국에서는 하이브리드 및 친환경 차량에 대한 비용보조 및 다양한 혜택을 지원하고 있다. 이를 바탕으로 우리는 디젤엔진을 장착한 전기 하이브리드 차량이 시간이 지날수록 더 증가할 것이라 예상하고 본 연구를 수행하였다. 터보차저가 장착된 현재 대부분의 과급형 디젤 엔진의 경우 저속 시내 주행과 같은 회전수 변화가 심할 때 터빈의 정상작동영역 이하에서 과급효과가 충분하지 못해 연소효율이 악화되고 배기배출물이 증가한다.³⁾ 이는 터보차저 정상작동구간을 유지하지 못하

*Corresponding author, E-mail: jlee@koreatech.ac.kr

고 지속적으로 회전수가 상승 및 하강하기 때문이다.⁴⁾ 저속구간의 터보차저 정상 작동영역 이하에서 전기모터를 통한 동력의 보조는 터보차저의 정상작동구간에 이르지 못할 때의 디젤엔진의 비효율성을 보완할 수 있다. 이는 디젤 하이브리드 차량 개발에 있어 장점의 일부이다. 이로써 전기모터의 동력보조로 인해 연비의 개선과 더불어 배기배출물의 저감과 균일한 제어가 가능해진다. 반면 전기모터를 동작하도록 에너지를 공급해주는 배터리를 충전하기 위하여 엔진의 운동에너지를 전기에너지로 발전하는 동안 회생제동이 아닌 강제발전 시 운동에너지의 손실과 에너지 변환 손실은 단점이다. 그러나 디젤 하이브리드 자동차의 주요 부품들의 설치와 작동 영향에 따른 세부적이고 정량화된 연비, 배기배출물 조성 특성을 파악하는 것은 쉽지 않다. 이러한 이유로 본 연구를 위해 디젤 하이브리드 차량을 직접 설계, 제작하였다. 직접 제작한 디젤 하이브리드 시험차량을 기반으로 전기 모터와 제네레이터의 설치 및 동작에 따른 연비와 배기배출물의 변화를 측정하였으며 주행 중 회생제동이나 SOC(State of Charge) 보정은 고려하지 않았다. 특히 BC(Black Carbon), NO_x, HC, CO₂, FC(Fuel Consumption)의 변화를 관찰하였고 1개의 제네레이터(Generator)와 2개의 인휠(In-wheel) BLDC(Brushless Direct Current) 모터를 추가 장착, 설계하여 작동상태(Drive mode)를 다양하게 변경하며 배기배출물의 변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

디젤 하이브리드 차량의 배기배출물과 연비의 운행조건에 따른 변화를 측정하기 위하여 시험 차량, 측정장비 및 시험조건에 대해 설명한다.

2.1 시험 차량

본 연구를 위해 직접 설계, 제작된 디젤 하이브리드 자동차는 2.0 VGT diesel SUV 양산차량을 기반으로 제작되었다. Table 1에 기반차량의 제원을 제시하였다. 양산 디젤차량을 마일드 하이브리드(Mild hybrid)이며 병렬형 하이브리드(Parallel hybrid) 구조를 갖는 시험차량으로 개조하였다.

Table 1 Specification of our original diesel SUV

Displacement of engine	1991 cc
Fuel	Diesel
Turbocharger	Variable geometry turbocharger
Body size	4635 × 1850 × 1720 mm
Total weight	1840 kg
Max. power @3800 rpm	150 HP
Max. torque @2000 rpm	32.7 kg·m
Drive system	Full time AWD

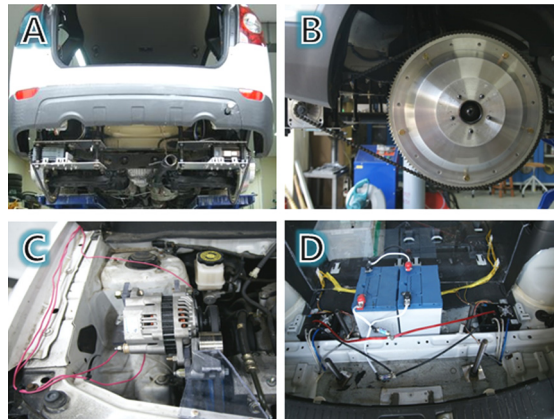


Fig. 1 Photos of diesel electric hybrid vehicle used in this study. A and B show the electric drive system mounted on each rear wheel. C shows a 24 V generator installed with modified pulley ratio D shows motor controllers connected with each motor and 24 V battery for electric drive system

Fig. 1A에 나타낸 바와 같이 독립적으로 작동하는 두 개의 BLDC 모터(24 V/63 A/1.5 kW)가 후방적 제한 하부프레임에 직접 제작된 하우징으로 고정되어 있다. Fig. 1B에 제시한 바와 같이 두 모터에 12개의 잇수를 가지는 소기어(Drive gear)를 체결하였으며 이는 각 후륜 휠에 설계, 제작되어 장착된 132개의 잇수를 가지는 대기어(Driven gear)와 기어-체인 연결방식으로 체결되어 구동된다. 후륜의 휠에 장착된 대기어는 디스크 브레이크 방식에서 드럼 브레이크 방식으로 제동방식을 변경하여 설계하였고 제동장치의 기능을 충분히 유지하면서 동시에 하이브리드 차량의 핵심주행모드인 EV(Electric Vehicle) 모드를 구현한다. 위와 같은 방법으로 소기어와 대기어의 기어비(Gear ratio)를 1:11까지 확보하였으며 이로 인하여 모터의 토크를 11배 상승시켜 후륜의

구동휠에 전달할 수 있다. 이는 소형의 모터를 사용할 수 있는 설계방법이었으며 대용량 AC(Alternating Current) 모터에 비해 비교적 제어가 쉽고 배터리에 저장된 전기에너지를 컨버터(Converter) 없이 직류로 모터에 공급하여 사용할 수 있다는 장점이 있다.

장착된 모터는 구름저항, 관성저항과 기어비를 고려하여 디젤 하이브리드 차량을 20 km/h 까지 전기모드만 주행할 수 있도록 설계하였다. 이때, 공기저항은 저속구간에서 무시하였다.

본 연구를 위해 개조된 시험차량은 엔진의 출력에 대비하여 마일드 하이브리드(Mild hybrid) 디젤 차량으로서 구분될 수 있다. 동시에 디젤 엔진이 같이 연동되어 후륜에 동력을 전달하기 때문에 병렬 하이브리드(Parallel hybrid)로 규정된다.

한 개의 제네레이터(24 V/40 A/960 W)를 추가적으로 Fig. 1C와 같이 엔진룸 내부 공간을 확보하여 전기구동시스템 충전 목적으로 설치하였다. 차대와 절연되어 독립적으로 엔진의 출력을 분배받아 24V 배터리를 충전할 수 있다. 제네레이터의 회전수와 엔진의 회전수는 엔진에 추가적으로 장착한 풀리(Pulley)를 통하여 최적화 되어 설계목표에 따라 다음과 같이 조정되었다. 제네레이터로 사용된 알터네이터(Alternator)는 풀리비 조절을 통하여 공회전 상태에서 발전량의 약 80%를 발전하도록 설계, 제작되었다. 시험차량의 엔진 크랭크축이 공회전 상태에서 700 rpm으로 회전하고 이때 파워스티어링 오일펌프의 회전속도가 1093 rpm이다. 추가적으로 장착된 알터네이터는 지름 50 mm의 풀리가 장착되어 있으며 파워스티어링 오일펌프의 회전축에 182 mm의 추가적인 풀리를 동일축에 설치하였다. 알터네이터 풀리와 파워스티어링 오일펌프에 추가적으로 설치한 풀리는 벨트연결방식으로 체결되어 공회전 상태에서 알터네이터의 발전량의 약 80%를 유지

Table 2 Specification of motors and alternator installed for modification

	Motor (×2)	Generator
Rated voltage	24 V	24 V
Rated current	72 A	40 A
Type	BLDC	Alternator
Max. power	1500 W	960 W
Max. torque	14.34 N·m	Not specified

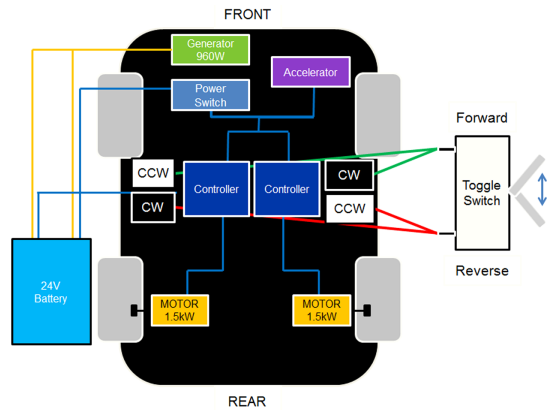


Fig. 2 Schematic of electric control system

할 수 있도록 하였다. 이때 설계된 알터네이터의 회전속도는 공회전시 4000 rpm으로서 최대발전량의 약 80%인 30 ~ 32 A의 전류를 생산함으로써 디젤 하이브리드 시험차량의 전기구동용 배터리팩을 충분히 충전할 수 있다. 모터와 알터네이터의 제원은 Table 2에 나타냈다. Fig. 1D에서 차량의 후방 적재함에 모터 드라이버와 전기구동용 배터리팩의 설치모습을 확인할 수 있다.⁵⁾ 두 개의 모터는 각각의 해당 모터 드라이버의 제어를 받으며 운전석에서 제어명령을 할 수 있도록 설계하였다. 좌우 대칭으로 설치된 모터의 기하학적인 이유로 인하여 각 후륜에 인 휠 방식으로 설치된 모터는 서로 반대의 방향으로 회전하여 차량을 전진 또는 후진구동을 가능하도록 한다. 이는 Fig. 2의 개략도에서 확인할 수 있으며 차량이 전후진을 하기위해 서로 반대방향으로 회전해야 한다는 것을 이해할 수 있다. 또한 드라이버 내부에 과전류 방지 회로가 삽입되어 있으며 배터리팩의 배선에 메인 퓨즈를 설치하여 모터 드라이버와 모터를 보호한다. 차량의 모터와 알터네이터를 포함하는 전기구동부의 전체적인 배선을 Fig. 2에 도시하였다.

본 연구에서는 블랙카본의 질량농도를 측정함으로써 입자상 물질의 배출을 관찰 하였는데 엔진에서 직접 배출되는 블랙카본 입자를 측정하여 모드에 따른 가감을 연구하였다. 이때 블랙카본의 농도를 저감하기 위해서 DPF(Diesel Particulate Filter)와 바이패스(By-pass)를 이용하여 차체에 부착되는 저비용의 희석기를 고안해 내었다. DPF를 거친 여과

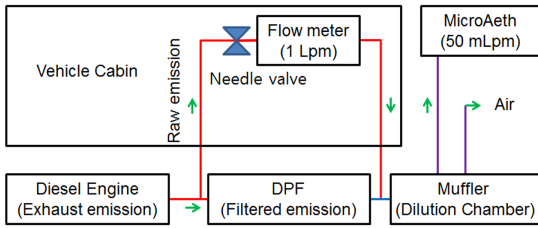


Fig. 3 Schematic of dilution system

된 배기가스는 엔진에서 직접 배출되는 배기가스의 희석가스로 사용되는 방식이다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 DPF 전 후단을 연결하는 1/4" 스테인리스관을 통과하는 유량은 1 lpm이다. 머플러에서 희석된 배기가스는 측정기로 공급된다. 나머지 배기는 대기로 배출된다. 별도의 희석비는 고려하지 않았으며 유량계와 밸브는 차량 내부의 승차공간에 설치하여 바이패스 유량을 제어하고 관찰하였다.

2.2 Black Carbon 측정기기

실주행 시험 중에도 실시간으로 블랙카본 질량농도를 측정하기 위하여 휴대용 에셀로미터(MicroAeth, AethLabs, USA)를 사용하였다. 에셀로미터는 필터에 포집된 블랙카본에 의해서 감소된 빛의 투과광을 측정한다. 투과광의 변화량은 블랙카본의 질량농도로 변환된다. 측정 정밀도는 $\pm 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 데이터는 매분 측정된다. 에셀로미터로 0.05 lpm의 배기배출물이 흡입된다. 1회 실주행 시험에서는 4분동안 측정하였고, 공회전 시험에서는 30분간 측정하였다.

2.3 4륜 차대동력계

Fig. 4에 도시된 바와 같이 자동차안전연구원에 구축된 4륜 차대동력계(AVL, 150 kW AC 유도모터)를 이용하여 정속 주행 시험을 진행하였으며 AVL 배기 측정 장비를 사용하여 배기배출물과 연비를 측정하였다. 측정한 배기배출물은 HC, NO_x, CO₂이다.

2.4 시험 조건

다음의 3가지 시험조건에서 발생된 배기배출물들과 연비를 측정하였다.

2.4.1 공회전 시험

HC, NO_x 및 BC를 공회전 상태에서 측정하였다.



Fig. 4 Chassis dynamometer and exhaust measurement facility at Korea Automobile Testing & Research Institute

공회전 시험에서는 제네레이터의 설치 유무와 발전상태에 따른 배기 배출물 조성변화에 대하여 측정하였다. 배터리의 SOC는 약 70 ~ 80%에서 측정되었으며 다음의 3가지의 조건에서 시험이 수행되었다. 1) w/o installation of generator; 2) w/ installation of generator but not in operation; 3) w/ installation of generator and in operation. 이상의 3가지 조건에서 BC 질량농도는 30분간 각각 측정하였고 HC와 NO_x는 4분간 측정되었다. 모든 시험은 엔진 워업 후 진행되었다.

2.4.2 실주행 시험

실주행 시험을 위하여 1.2 km의 실도로 트랙을 설정하여 시내 실주행을 모사하였다. 트랙은 Fig. 5에 정확한 코스를 도시하였다. 트랙은 모두 포장도로(On-road)이며, 10개의 코너와 5개의 방지턱, 반복되는 고저차로 이루어져 있다. 1 Lap 주행에 4분이 소요되며 이때 평균속도는 대략 18 km/h이다.



Fig. 5 Road track for urban real road drive test. Total length is 1.2 km

Table 3 Distance and average speed of 4 real road sections

	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4
Distance	300 m	150 m	400 m	350 m
AVG speed	18 km/h	9 km/h	24 km/h	21 km/h

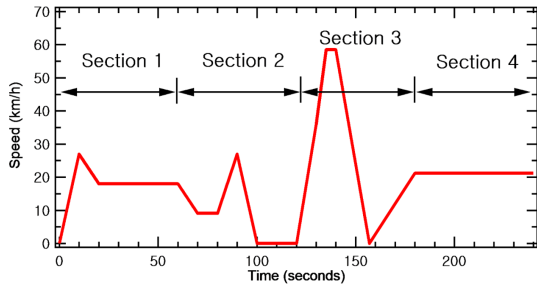


Fig. 6 Driving profile of urban real road drive test

이는 대한민국 서울시의 2013년도 시내 평균주행 속도인 18.7 km/h를 기준으로 시내주행을 모사한 것이다.⁶⁾ 코너의 진입 전과 탈출 후에 가속이 계속해서 이루어지며 최대속도는 58 km/h이었다. 이는 시내주행의 경우 실주행시험 시 58 km/h 이하의 주행이 82%에 달한다는 점을 반영하여 설정하였다.⁷⁾

Table 3에 나타낸 바와 같이 총 4분의 주행시험 구간을 1분씩 4개의 세부 구간으로 나누어 출발 후 1분간 300 m구간은 가속 후 정속주행, 2구간 150 m는 짧은 직선코스로서 이루어져 가속이 잦고 20초간 공회전, 3구간 400 m는 첫 코너 탈출과 동시에 58 km/h까지 급가속하고 중간지점에서 급감속, 정지 이후 규정시간에 맞도록 주행, 4구간 350 m구간은 평균주행 속도 약 21 km/h를 유지하였다. 이러한 구간별 주행전략으로 Fig. 6에 도시한 주행 프로파일과 같이 운행하여 시험하였으나 실제 도로상황에 맞추어 주행패턴이 실시간으로 다소 변동되었다. 그러나 각 구간별 시간은 준수하여 변동되는 주행패턴을 고려함과 동시에 앞서 제시한 서울시 시내 평균주행속도를 정확히 도출하는 실도로 주행데이터를 수집하고자 하였다. 기온 18 ~ 25°C, 상대습도 70 ~ 75%, 주행 시간은 20:00 ~ 22:00로서 여름철 야간에 시험하였다.

2.4.3 차대동력계 시험

Fig. 4에서 도시한 4륜 차대동력계를 이용하여 저속 정속주행 시험을 진행하였다. 본 연구를 위해 설

계, 제작된 디젤 하이브리드 차량의 전기모터 동력 보조량이 최대이며 엔진의 작동이 가장 적게 개입되는 속도가 30 km/h이다. 따라서 모터의 개입이 가장 극대화 되는 시점에서 변화를 연구하기 위해 정속주행 속도를 30 km/h로 설정하였다.

3. 시험 결과

3.1 공회전 시험 결과

제네레이터의 설치여부와 작동여부에 따라 3 가지 조건에 대해서 BC 질량농도를 측정하였으며 Fig. 7에 나타내었다. BC 질량농도는 제네레이터가 설치되지 않았을 때 $2.3 \pm 0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 제네레이터가 설치되었으나 작동하지 않아 관성저항만 영향을 주는 상황에서는 공회전 시 BC 질량농도가 $3.3 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 제네레이터가 설계 목표치인 공회전 상태에서 약 80% 수준으로 발전할 때 엔진에 가장 큰 저항과 부하를 인가한다. 이때의 BC 질량농도는 $4.5 \pm 0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 제네레이터가 발전하는 상황에서 평균 BC 배출량과 표준편차가 가장 높게 도출되었다.

HC와 NO_x의 배출량 변화는 조건별로 동일하게 4분씩 배기 포집을 통하여 측정하였으며 g/h 단위로 표현하였다. 제네레이터가 설치되기 이전에 HC와 NO_x는 모두 가장 낮았으며 제네레이터가 동작할 때 가장 높게 측정되었다. 제네레이터는 배터리의 SOC에 따라서 완충될 때까지 발전한다. 이때 ECU (Electric Control Unit)는 공회전을 유지하기 위해 제네레이터의 부하 인가량만큼 연료를 더 분사하여 분사량의 증가로 인해 BC와 HC의 배출량이 증가하였다.⁸⁾ 차량의 공회전 회전수는 700 rpm으로 동일하게 유지되었기 때문에 분사시기는 동일하다. 일반적으로 NO_x의 배출은 Thermal NO_x가 대부분으로써 분사시기가 동일하다면 연소조건이 희박할 경우 Thermal NO_x의 증가가 뚜렷하나 제네레이터가 동작하여 연소조건이 농후하여 졌음에도 NO_x가 증가한 것을 Fig. 8에서 확인할 수 있다. 이는 공회전 작동영역이 저회전 구간이므로 실린더 내부의 온도가 상대적으로 낮아 Thermo NO_x의 배출영향 보다는 Prompt NO_x와 Fuel NO_x의 배출 증가 영향이 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다.⁹⁾ 시험조건

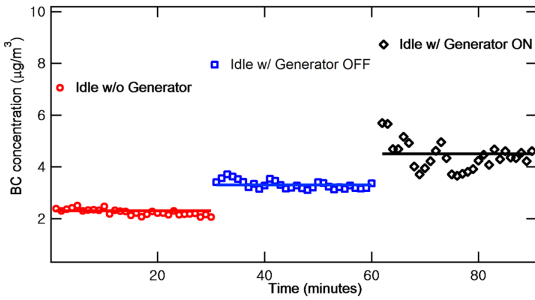


Fig. 7 BC concentration for idling emission test

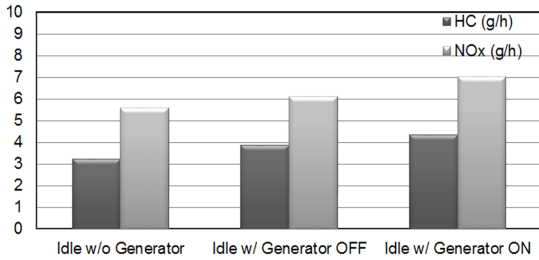


Fig. 8 HC and NO_x emissions for idling emission test

에서 제시한 SOC 70%수준 배터리의 상태가 완충되면서 엔진에 미치는 부하의 영향이 줄어들고 연료 분사량은 감소된다. 이에 따라 제네레이터 동작시 BC의 질량농도 또한 SOC수준이 높아지며 점차 낮아지는 것을 확인하였다.

3.2 실주행 시험 결과

주행조건 별로 3 lap 씩 주행하였으며 총 3.6 km를 12 분간 주행하였다. BC 질량농도는 Fig. 9에 도시하였으며 주행조건은 다음에 설명하는 대로 4가지이다.

첫째, Hybrid mode (Case A) : 2개의 모터가 최대한 구동보조, 작동하며 배터리는 완충상태로서 제네레이터는 분리되어 있다. 디젤 엔진은 공회전에서 대부분 유지되고 가속구간에서 약간의 동력보조를 한다. 둘째, Engine mode w/o generator (Case B) : 디젤엔진으로만 주행하며 모터와 제네레이터는 개입하지 않는다. 셋째, Engine mode w/ generator OFF (Case C) : 디젤 엔진으로만 주행하며 모터는 개입하지 않고 제네레이터는 설치되어 있으나 발전하지 않는다. 넷째, Engine mode w/ generator ON (Case D) : 디젤엔진으로만 주행하며 모터는개입하지 않고

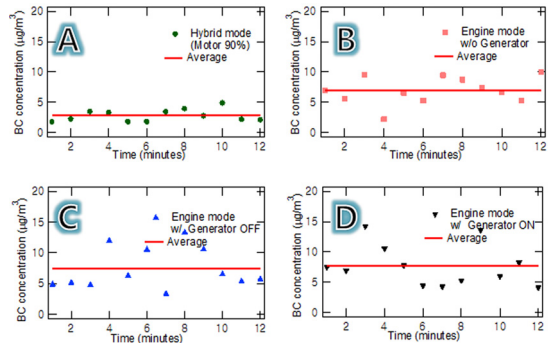


Fig. 9 BC concentration for urban real road drive test

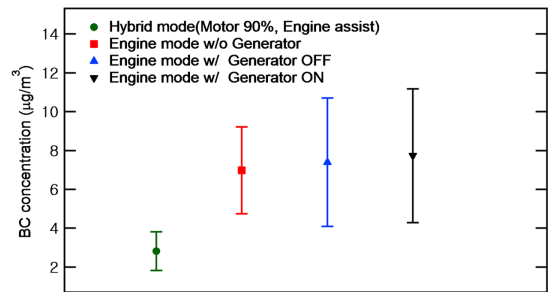


Fig. 10 BC concentration for four cases shown in Fig. 9

제네레이터는 방전된 전기구동용 배터리팩을 충전하기 위하여 계속하여 발전한다.

Fig. 9A에 나타난 바와 같이, 하이브리드 모드에서 입자상 물질인 BC의 배출량이 가장 적다. 각 모드의 BC 질량농도 평균값과 표준편차를 Fig. 10에 도시하였다. Hybrid mode (Case A)에서의 BC 질량농도 평균은 $2.8 \pm 1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평균값과 데이터의 표준편차가 모두 가장 작게 측정되었다. 이는 공회전시의 BC 배출량과 유사한 수준이었다. Engine mode w/o generator (Case B)에서는 $7.0 \pm 2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 시험차량의 제작 기반차량의 데이터 값으로서 다른 주행모드에서의 데이터들과의 비교 기준이 된다. 제네레이터가 설치되어 차량의 관성저항이 증가되는 Engine mode w/ generator OFF (Case C)의 경우 $7.4 \pm 3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 그리고 제네레이터가 발전을 하는 상황인 Engine mode w/ generator ON (Case D)에서는 $7.7 \pm 3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다. Case C, Case D의 경우 Case B에 비하여 각각 5.7%, 10%의 BC 질량농도가 증가하였다. 이전의 공회전 시 하이브리드 배터리팩 충전용 제네레

이터와 배기의 관계를 측정할 경우보다 배기배출물에 훨씬 적은 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 상대적으로 공회전 때보다 주행 시 더욱 엔진의 출력은 상승할 것이며 그에 반하여 제네레이터의 부하는 설계단계부터 공회전에서도 대부분의 발전량을 충족하기 때문에 주행 시 회전수가 상승하여도 발전을 위한 제네레이터의 부하는 상대적으로 디젤 엔진에 훨씬 적게 영향을 미치게 된다. 따라서 디젤 엔진의 배기배출물에 대한 영향도 공회전 모드보다 상대적으로 감소한 것이다. 그러나 입자상물질의 배출이 제네레이터의 설치와 발전에 따라서 소폭 상승한다는 것을 확인할 수 있으며 동시에 제네레이터의 관성저항과 발전상태에 따라 BC 배출량 데이터의 편차가 더욱 증가한다는 것을 확인할 수 있다.

Hybrid mode (Case A)에서의 연비와 Engine mode w/o generator (Case B)에서의 연비를 측정하여 Table 4에 나타냈다. Engine mode w/o generator (Case B)에서의 연비는 차량의 제원 상 연비보다 60% 정도 감소하였다. 터보 디젤엔진의 특성상 터보차저의 정상작동 회전수 이하에서는 디젤 엔진의 이상적인 연소조건이 형성되지 않고 시내주행 모드에서의 감속으로 손실되는 동력에너지가 크기 때문에 연비의 큰 손실을 초래하는 것이다. 반면 Hybrid mode (Case A)에서의 경우 시내주행에서 제원 상 연비보다 8% 정도 향상되었다.

Table 4 Fuel consumptions for urban real road drive test

	Case A	Case B	Specification
Fuel consumption	12 km/L	4.36 km/L	11.1 km/L

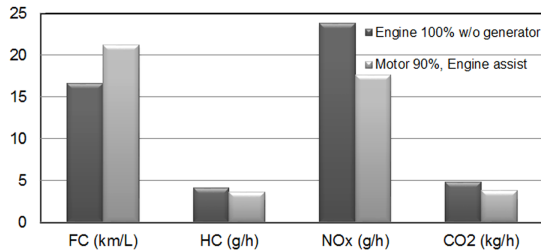


Fig. 11 FC, HC, NO_x and CO₂ emissions for constant velocity test at 30 km/h

3.3 차대동력계 시험 결과

Hybrid mode와 Engine mode w/o generator에 대한

30 km/h 정속주행 시험결과를 Fig. 11에 나타냈다. 차속이 30 km/h일 때 엔진의 회전수는 약 1000 rpm으로 나타났다. 이러한 저회전 상태에서 터보차저는 최적화된 작동을 하지 못한다. 저회전 구간에서 터보차저의 비효율적 작동구간의 손해는 하이브리드 시스템에서 모터의 저속구간 동력보조로 보완될 수 있다. Fig. 11에 제시된 모든 시험데이터에서 엔진의 작동영역이 줄어든 만큼 배기와 연비 결과와 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 연비와 CO₂ 배출량은 반비례 하고 있다는 것을 확인하였다. 이는 CO₂의 배출이 연료소모량과 비례하기 때문이다.⁹⁾

실주행 시험과 정속주행 시험결과에서 확인할 수 있듯이 PM-NO_x 트레이드 오프 없이 디젤 하이브리드 차량을 개발함으로써 디젤차량의 배기 배출물을 모두 감축할 수 있다. PM-NO_x trade-off 없이 배기배출물을 감축하는 것은 쉽지 않으며 디젤 하이브리드 차량의 개발을 통해 큰 효과가 있다는 것이다.¹⁰⁾ 더불어 연비의 향상과 CO₂의 감축까지도 디젤 하이브리드의 장점이 된다.

4. 결론

본 연구에서 적용한 3 kW 전기구동 시스템의 적극적인 구동보조 시 최초 배터리 완충 후 실도로와 정속주행 조건에서 Engine mode without generator 대비 연비향상과 BC, NO_x, HC, CO₂의 저감을 확인하였다. 단 제네레이터를 이용한 전기에너지 회수 시 배기배출물이 증가되는 것을 보였기에 회생제동이 적극적으로 요구되며 이는 배기 저감과 연비 향상뿐만 아니라 엔진의 연소조건 안정을 위해서도 요구된다. 본 연구에서는 시험실의 주행시험을 벗어나 실제 시내주행을 모사하며 실도로의 디젤 하이브리드 차량 배기, 연비특성을 보여주었다. 이는 시험실에서의 정해진 모드에 따른 결과와 차이가 있으며 디젤 하이브리드 차량의 실도로에서의 성능 향상개발에 더욱 필요한 연구이다. 디젤 하이브리드 차량은 저속시내주행이 많은 구간에서 연비향상 효과와 배기저감 효과가 우수하다. 이는 디젤기관의 특성과도 잘 맞아 터보차저 작동영역이하의 저회전구간의 손실을 하이브리드 시스템을 통하여 보상이 가능하다. 또한 PM-NO_x trade-off 조정 없이 큰

폭의 배기 저감이 손쉽다. 본 연구가 디젤 하이브리드 차량의 배기 제어와 연비향상에 도움이 되리라 믿는다.

후 기

본 연구는 환경부 환경융합신기술개발사업(2013-001650004)의 지원을 받은 연구이다. 본 연구의 일부는 한국기술교육대학교 교육연구진흥비의 지원을 받아 수행되었다. 시험과 측정방법에 대하여 많은 조언을 해주신 현대자동차 최두섭 책임연구원께 감사드린다.

References

- 1) P. Zelenka, W. Cartellieri and P. Herzog, "World-wide Diesel Emission Standards Current Experiences and Future Needs," *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol.10, No.1-3, pp.3-28, 1996.
- 2) Statistics Korea, Enrollment of Automobile, http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1257, 2015.
- 3) C. D. Rakopoulos and E. G. Giakoumis, "Availability Analysis of a Turbocharged Diesel Engine Operating under Transient Load Conditions," *Energy*, Vol.29, No.8, pp.1085-1104, 2004.
- 4) M. D. Eom, M. S. Kim and D. S. Baik, "A Study on Performance Characteristics in Diesel Engine When Applied Ball Bearing Type Turbocharger," *Transactions of KSAE*, Vol.18, No.4, pp.74-78, 2010.
- 5) J. Wishart, R. B. Carlson, P. Chambon and T. Gray, "The Electric Drive Advanced Battery (EDAB) Project: Development and Utilization of an On-road Energy Storage System Test-bed," *SAE 2013-01-1533*, 2013.
- 6) Seoul Metropolitan Government, Report of Travel Speed of Seoul in 2013, <http://traffic.seoul.go.kr/archives/417>, 2014.
- 7) N. Chung, W. Lee and M. Sunwoo, "A Study on the Driving Patterns for Passenger Car in the Metropolitan Area," *Transactions of KSAE*, Vol.11, No.1, pp.18-24, 2003.
- 8) H. Gong, I. G. Hwang, A. Ko, C. L. Myung, S. Park and C. Lim, "Effect of EGR Rate and Injection Timing on the Characteristics of Exhaust Emissions in Light-duty Diesel Engine," *Transactions of KSAE*, Vol.20, No.3, pp.7-12, 2012.
- 9) Automotive Environment Center, Automotive Environment Introduction, 2nd Edn., Moonwoondang, Seoul, 2007.
- 10) A. Maiboom, X. Tauzia and J. F. Hetet, "Influence of EGR Unequal Distribution from Cylinder to Cylinder on NO_x-PM Trade-off of a HSDI Automotive Diesel Engine," *Applied Thermal Engineering*, Vol.29, No.10, pp.2043-2050, 2008.