



전기히터 내장 삼원촉매 코팅 매연여과필터를 이용한 하이브리드 가솔린 엔진의 WLTC 배출가스 저감 연구

우 상 희¹⁾ · 장 형 준¹⁾ · 노 경 하²⁾ · 이 민 호²⁾ · 김 세 준³⁾ · 김 흥 석^{*1)}

한국기계연구원 친환경기계연구본부¹⁾ · 한국석유관리원 미래기술연구소 연비배출가스기술센터²⁾ · 한국유미코어촉매 기술개발팀³⁾

Reduction of WLTC Emissions of Hybrid Gasoline Engine by Using an Electric Heater Embedded and Three-Way Catalyst Coated Particulate Filter

Sang-Hee Woo¹⁾ · Hyungjun Jang¹⁾ · Kyeong-ha Noh²⁾ · Min-ho Lee²⁾ · SeJun Kim³⁾ · Hongsuk Kim^{*1)}

¹⁾Environmental System Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials, 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Korea

²⁾Fuel Economy and Emission Technology Center, Research Institute of Future Technology, Korea Petroleum Quality and Distribution Authority, 33 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungbuk 28115, Korea

³⁾Product Management, Umicore Catalysis Korea Co., Ltd., 331 Songdogukje-daero, Yeonsu-gu, Incheon 21990, Korea

(Received 21 September 2023 / Revised 22 November 2023 / Accepted 24 November 2023)

Abstract : To reduce the exhaust emission of cold starts from hybrid gasoline engines, a new type of EH-cGPF(Electric Heater embedded and catalyst coated GPF) was developed and evaluated. In the proposed EH-cGPF, an electric heater is embedded within a three-way catalyst coated particulate filter. In this study, the exhaust emissions of an HEV vehicle equipped with EH-cGPF were measured in a chassis dynamometer under room temperature(20 °C) and low temperature (-7 °C) conditions with WLTC. For the WLTC test under room temperature conditions, electric heating began 30 seconds before starting the engine, and it stopped 60 seconds later, confirming that EURO-6 emission standards were met. Furthermore, in the low-temperature WLTC test of -7 °C, electric heating started 90 seconds before starting the engine, and it stopped 60 seconds later, also proving that EURO-6 emission standards were satisfied.

Key words : Electric heated catalyst; EHC(전기가열촉매), Three-way catalyst(삼원촉매), Gasoline particulate filter; GPF(가솔린 입자상 물질 필터), HEV Hybrid gasoline engine(하이브리드 가솔린 엔진), Emissions(배출물질)

1. 서 론

내연기관 차량에서 배출되는 일산화탄소(CO, Carbon Monoxide), 미연탄화수소(THC, Total Hydro-Carbon), 질소산화물(NOx, Nitrogen Oxides), 입자상물질(PM, Particulate Matter)은 대도시 대기오염의 주요 원인으로 꾸준히 규제가 강화되어 왔다. 가솔린 엔진에서는 배출가스 후처리 장치로 삼원촉매(TWC, Three-Way Catalysts)를 이용하여 HC, CO, NOx를 감소시켜 왔다. 하지만 냉간 시동 초기에는 배출가스 온도가 낮아 TWC가 충분히 활성화되지 않기 때문에 전체 HC와 CO 배출량 중 50-80%가 시동 초기에 배출되는 것으로 알려져 있다.^{1,2)} NOx 또한

냉시동 조건에서 촉매 효율이 떨어져 효과적으로 저감되지 않는다.³⁾ 이 때문에 가솔린 엔진의 냉시동 초기 배출가스를 줄이기 위한 노력들이 다양하게 있어 왔다. 냉시동 배출가스를 줄이기 위한 방법으로는 전처리기술과 후처리기술들이 연구되어 왔다. 전처리기술로는 흡기가 열, 연료분사시기 및 점화시기제어 등이 있다.⁴⁾ 배출가스 후처리기술로는 TWC 기술이 1980년경부터 적용되었으며, 배출허용기준이 점차 강화됨에 따라 TWC 기술도 발전하여 왔다. TWC 촉매는 약 250 °C 이상에서 촉매가 활성화되어 정상 작동하는데 냉시동시에는 촉매 활성화 온도에 빠르게 도달하지 못하는 것이 큰 문제이

*Corresponding author, E-mail: hongsuk@kimm.re.kr

¹⁾This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

다.⁵⁾ 이에 따라 최근 매우 강화된 배출가스규제를 TWC만으로 대응하는 것에 많은 어려움이 있어왔다.⁴⁾

배출가스 온도는 TWC의 배출가스 정화성능을 결정하는 중요한 인자이다.⁶⁾ 이에 따라 촉매를 활성화시키기 위해 배출가스 온도를 전기히터로 높이는 EHC(Electric Heated Catalyst) 기술을 많이 연구해 왔다.⁷⁾ EHC의 가장 큰 장점은 엔진 작동 조건에 무관하게 촉매온도를 상승시킬 수 있다는 점이다. Knorr 등⁸⁾은 하이브리드 차량의 경우 배터리 전압이 높기 때문에 EHC를 사용하면 배출가스를 효과적으로 저감이 가능하다고 하였다. Pace과 Presti⁹⁾는 엔진에서 연료를 추가 분사하여 촉매 온도를 상승시키는 것보다 EHC를 이용하는 것이 에너지 소모 측면에서 유리하다고 하였다. EHC는 직접 촉매를 가열시키는 반면, 배기열은 간접적으로 촉매를 가열시키기 때문이다. Ramanathan 등¹⁰⁾은 TWC 촉매 앞에 두 개의 전기히터를 설치하여 HC와 CO의 저감특성을 시뮬레이션하였다. 큰 용량의 전기히터는 냉간 시동 동안 촉매를 가열하는데 사용되었으며, 작은 용량의 전기히터는 TWC를 최대 배출가스 저감효율을 나타내는 적정 온도로 유지시키기 위해 사용되었다. 하지만 큰 용량의 전기히터가 촉매로부터 일정거리 이격되어 있기 때문에 에너지 손실이 컸다. Ramanathan 등¹⁰⁾은 이러한 문제를 해결하기 위해 TWC를 두 부분으로 나누어 전기히터에 가까운 쪽에 열용량이 작은 TWC를 배치하였다. Gonze 등¹¹⁾은 1 kW의 전기를 공급하여 150초 내로 촉매온도가 200 °C에 도달하였으며 CO가 50 %이상 감소되는 결과를 보여주었다. 이와 같은 많은 EHC에 대한 연구들이 있지만, 전기히터와 촉매가 분리되어 위치하기 때문에 촉매를 빠르게 가열하기 어렵고, 내구성 등에 단점이 여전히 존재한다.⁷⁾

내연기관 차량에서는 CO, HC 등의 가스상 배출가스 외에 입자 수 농도(PN, Particle Number Concentration)도 규제대상이다. 디젤 차량들은 PN 배출량이 매우 많아서 2000년 초부터 DPF(Diesel Particulate Filter)를 사용해 왔다. 하지만 흡기포트 분사식 가솔린 엔진을 사용하는 차량은 PN 배출량이 극히 적어서 이에 대한 규제를 하지 않았다. 하지만 최근 연소실에 연료를 직접 분사하는 GDI(Gasoline Direct Injection) 엔진이 사용되면서 많은 PN이 배출되기 시작했다.^{12,13)} 이에 따라 PN을 줄이기 위한 기술들이 연구되어 왔다. 이 중에서 가장 직접적인 방법은 GPF(Gasoline Particulate Filter)를 배기관에 부착하는 것이다. GPF는 DPF와 동일한 원리로 작동하며, 미세 입자를 필터링하여 제거하고, 고온조건에서 입자를 태워서 필터를 재생한다.¹⁴⁾ 하지만, GPF는 추가적인 배압이 차량에 가해지고 연비가 악화되는 단점이 있다. 그래

서 GPF 대신 연소 개선을 통해 PN을 일부 저감하는 기술이 연구되기도 하였다.^{12,15)} 하지만 2025년 7월부터 적용될 예정인 Euro 7 규제에서는 측정하는 입자의 입경크기가 기존 23 nm 이상에서 10 nm 이상으로 강화되고, 이에 따라 모든 가솔린 차량에는 GPF가 장착될 것으로 전망된다.

본 연구는 가솔린 엔진용 하이브리드 차량(HEVs)의 냉시동시 배출되는 배출가스를 효과적으로 저감하기 위해 디젤엔진의 매연여과필터에 전기히터가 내장되고, 새로운 방식의 삼원촉매를 코팅한 EH-cGPF(Electric Heater embedded and catalyst coated GPF)의 가능성을 확인하였다. 기존 EHC는 전기히터와 촉매가 이격되어 있어서 배출가스 온도와 촉매의 온도를 높이는 데 효과적이지 못하였다. 이 연구는 EH-cGPF를 실제 하이브리드 차량에 적용하여 상온과 -7 °C 조건 배출허용 규제모드인 WLTC(World Harmonized Light duty vehicle Test Cycle) 배출가스 배출 특성을 알아보고, 그 가능성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. Material and Methods

기존의 전기히팅 촉매인 EHC가 가지는 단점을 보완하고 배출가스 후처리장치의 부피를 줄이기 위해 매연여과필터에 전기히터가 내장되고, 삼원촉매가 함께 코팅되는 새로운 방식의 EH-cGPF를 개발하였다. 이 EH-cGPF는 Fig. 1과 같이 세라믹 필터 플레이트 사이 사이에 전기히터를 한 장씩 삽입하여 적층한 구조를 갖는다. 이 EH-cGPF에 내장된 전기히터는 48 V의 전압을 인가하였을 때 약 4.3 kW의 전기가 흐르도록 설계되었다. 세라믹 필터 플레이트는 SiC 재질로 만들어 졌으며, 셀 밀도는 약 200 cpsi였다. EH-cGPF에는 Pt:Rh=5:1인 촉매를 3 g/L 코팅하였다. EH-cGPF의 크기는 120 × 120 × 120 mm로 약 1.7 L의 부피를 가졌다.

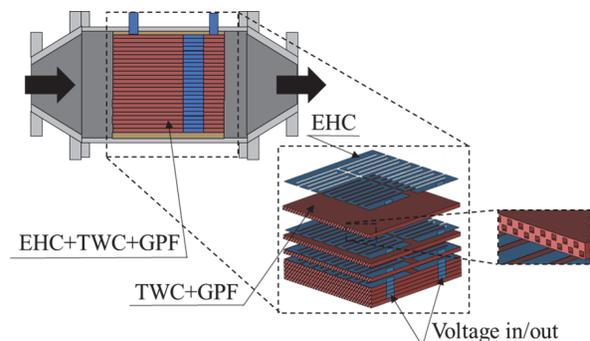


Fig. 1 Schematic of the after-treatment devices developed in this study, called EH-cGPF

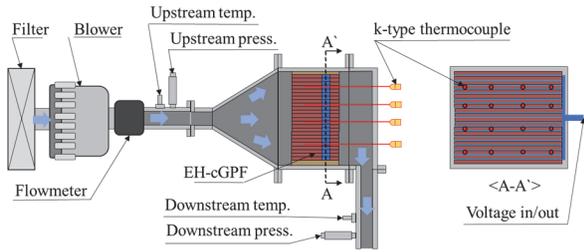


Fig. 2 Schematic of test rig to measure the temperature distribution and differential pressure with respect to flowrate of EH-cGPF

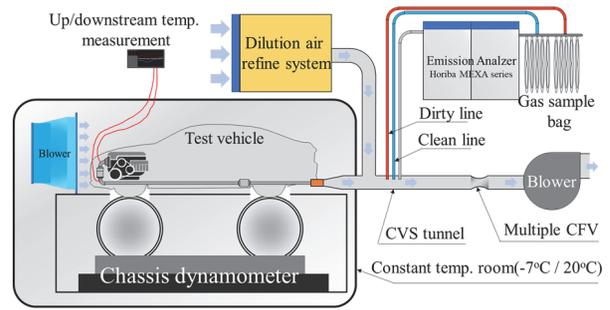


Fig. 4 Schematic of chassis dynamometer experiment

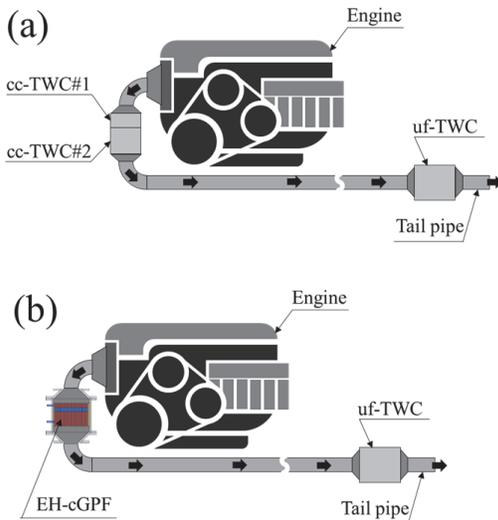


Fig. 3 Schematic of (a) original after-treatment devices of the vehicle used in this study and (b) EH-cGPF installed in the vehicle

EH-cGPF의 배압과 전기가열을 했을 때 필터 내부 온도 분포를 파악하기 위해 Fig. 2와 같은 실험장치를 사용하였다. 열선 유량계를 통해 EH-cGPF로 공급되는 유량을 측정하였으며, EH-cGPF 전·후단에서 압력과 온도를 측정하였다. EH-cGPF의 내부 온도 분포를 파악하기 위해 16개 K-type 열전대를 필터 내부에 필터 입구로부터 유동 방향으로 2/3 하류 지점에 설치하였다. 그리고, 배압의 평가를 위해서 유량 변화에 따른 기존 상용 GPF의 배압을 측정하여 EH-cGPF의 배압과 비교하였다. 기존 상용 GPF는 셀밀도가 300 cpsi이고 체적은 1.7 L이다.

이 연구에서는 배기량이 2.4 L인 가솔린 엔진을 탑재한 하이브리드 자동차를 이용하여 EH-cGPF의 배출가스 저감 성능을 평가하였다. Fig. 3은 시험 차량에 장착되는 배출가스 후처리 장치 구성의 개략도이다. 원래 시험 차량에는 배출가스 저감을 위해 Fig. 3(a)와 같이 총 3개의 TWC가 장착되어 있다. cc-TWC#1은 첫번째 위치하는

TWC로써 Pd:Rh가 25:1의 비율로 10.0 g/L 코팅되어 있으며, cc-TWC#2는 cc-TWC#1 후단에 위치하는 TWC로써 Pd:Rh가 9:1의 비율로 4.0 g/L 코팅되어 있다. 그리고 차량의 하부에는 uf-TWC(under floor-TWC)가 Pd:Rh 2:1의 비율로 1.5 g/L 코팅되어 있다. 참고로 시험 차량은 한국 내수용으로 PN규제가 적용되지 않아 GPF가 장착되어 있지 않았다. Fig. 3(b)는 시험차량에 EH-cGPF를 장착한 개략도이다. EH-cGPF는 ccTWC#1과 ccTWC#2를 대체하여 설치되었다. 배출가스는 차대 동력계에서 배출허용 규제모드인 WLTC로 측정하였다. WLTC 시험은 상온(20 °C) 조건과 저온(-7 °C)에서 각각 진행되었다. 시험차량의 배출가스는 CVS(Constant Volume Sampler) 터널에서 희석된 후 샘플백(Gas sample bag)에 포집 된다. 그 후 배출가스분석기(MEXA series, HORIBA, Japan)를 이용하여 샘플백에 담긴 CO, NOx, NMOG (Non-Methane Organic Gas) 가스의 배출량을 분석하였다.

3. Results and Discussion

Fig. 5는 EH-cGPF와 기존 상용 GPF의 유량에 따른 차압의 그래프를 나타낸다. 차압은 자동차의 운전성과 엔진의 연소특성에 영향을 주는 인자로서 낮은 것이 유리하다. EH-cGPF의 차압은 250 kg/hr 유량에서 16 mbar로 20 mbar인 기존 상용 GPF보다 낮음을 알 수 있다. EH-cGPF는 기존 상용 GPF보다 셀밀도가 적고, 벽 두께가 두껍지만, 입구 면적이 약 15 % 컸기 때문에 차압이 더 적게 작용하는 것으로 보인다. EH-cGPF의 온도상승 성능을 유량이 없는 경우와 idle 조건의 유량(13 kg/hr)이 있는 경우에 대해서 비교하였다. 전기히터에 총 3분 동안 48 V를 인가하여 약 4.3 kW의 전기를 공급하였다. 유동이 없을 때는 EH-cGPF 내부 온도가 최대 600 °C까지 상승하였으며, 유동이 있을 때는 냉각효과로 최대 550 °C까지만 상승하였다. EH-cGPF 내부에 설치된 16개 온

도 센서의 데이터에 의하면 3분의 시간이 흐른 시점에 약 150-200 °C 의 온도 편차를 가지는 것으로 나타났다. EH-cGPF 외곽부의 온도가 중심부의 온도보다 낮았으며 이는 외곽부의 열 손실이 크기 때문으로 보인다. 한편 EH-cGPF의 외곽에 설치된 열전대중에서도 전극이 존재하는 부분의 온도가 더 높게 나타났다. 전기히터의 전극 쪽에 전기가 편중되어 흐르기 때문으로 보인다. 또한, 유동이 없는 조건에서는 EH-cGPF 상단과 하단의 온도 사이에는 큰 차이가 없었다. 유동이 있을 경우에는 EH-cGPF 상단 온도는 대기 온도와 유사하였으며, 하단 온도는 330 °C까지 상승하였다. 이는 EH-cGPF 내부보다 100 °C 정도 낮은 온도이다. 이상과 같은 결과를 통하여 내부에 삽입된 전기히터가 EH-cGPF를 잘 가열하며, EH-cGPF를 통과하는 공기도 충분히 가열되어 배출된다는 것을 알 수 있다.

Table 1은 상온(20 °C)조건 WLTC의 배출가스 양을 나타낸다. 자동차에 기존 cc-TWC(cc-TWC#1과 cc-TWC#2)를 부착한 경우와 cc-TWC 대신에 EH-cGPF를 부착한 경우를 비교하였다. 먼저, 기존 cc-TWC는 CO, NOx, NMOG

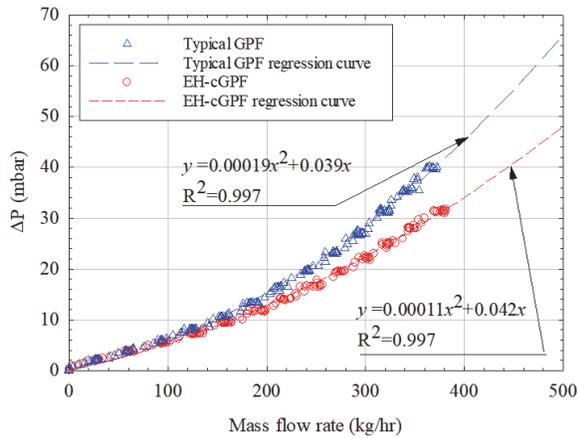


Fig. 5 Comparison of pressure drop with respect to mass flow rate between conventional GPF and EH-cGPF

Table 1 Comparison of emissions of the vehicle equipped with original after-treatment system and EH-cGPF system of the 20 °C condition of WLTC mode

Emission	CO	NO _x	NMOG
Unit	g/km	g/km	g/km
Euro-6 standard	1.0	0.06	0.068
TWC(Original after-treatment system)	0.122	0.001	0.006
EH-cGPF Heater off	0.198	0.023	0.046
EH-cGPF Heater on, 30 s/60 s	0.063	0.007	0.012

에 대한 EURO-6 배출허용기준을 만족함을 알 수 있다. 그리고, 전기히터에 전기를 공급하지 않은 EH-cGPF는 기존 cc-TWC 보다 배출가스가 많이 배출되고, EURO-6 배출허용기준을 만족하지 못 함을 알 수 있다. 이는 기존 cc-TWC에는 총 6.4 g의 촉매(cc-TWC#1 4.0 g, cc-TWC#2 2.4 g)가 코팅되어 있는 반면 EH-cGPF에는 약 20% 더 적은 5.1 g의 촉매가 코팅되어 있고, EH-cGPF의 셀밀도가 cc-TWC보다 적어서 촉매반응 특성이 나쁘기 때문으로 추정된다. 하지만, EH-cGPF의 전기히터를 작동시키는 경우 CO, NOx, NMOG의 배출량은 전기히터를 작동시키지 않은 경우에 대비하여 크게 감소함을 알 수 있다. 전기히터를 작동시키는 이 시험에서는 엔진 시동 30초 전에 EH-cGPF의 전기히터를 작동시켜 4.3 kW의 전기를 공급하고, 시동 60초 후에 전기히터 작동을 중지시켰다. 전기히터를 작동시키는 경우 EH-cGPF의 배출가스 저감성은 기존 cc-TWC 보다 CO는 더 우수하고, NOx와

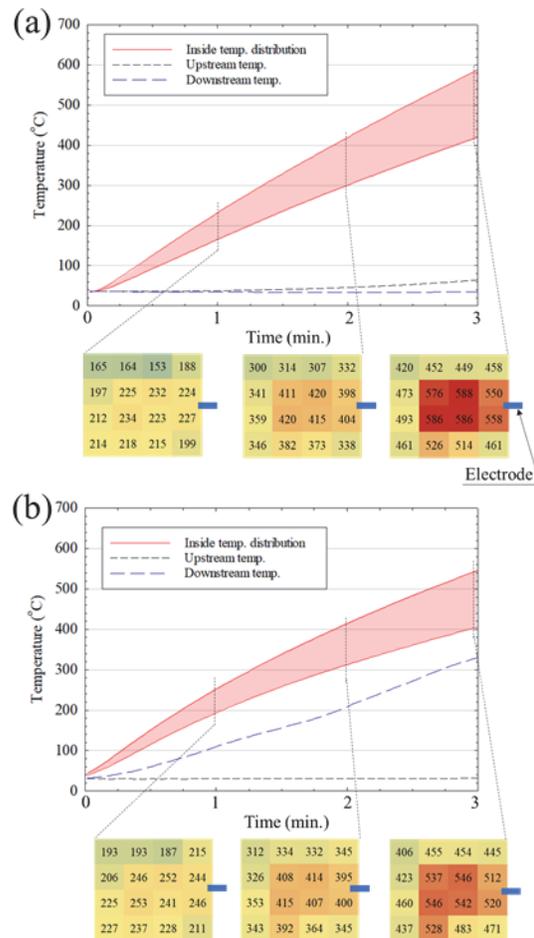


Fig. 6 Variation of temperature distribution in the EH-cGPF with time (a) without flow and (b) with mass flow rate 13 kg/hr

MNOG는 거의 유사한 수준이었으며, 모든 가스상 배출 가스 물질에 대한 EURO-6 배출허용기준을 무난히 만족 하였다.

Fig. 7은 상온(20 °C)조건 WLTC mode에서의 EH-cGPF 전·후단 배출가스 온도 변화를 나타낸다. EH-cGPF 전단의 온도는 엔진 시동 후 매우 빠르게 상승한다. 하지만 EH-cGPF 후단의 배출가스 온도는 전기히터를 작동 시키지 않으면 시동 2분 후가 되어도 100 °C에 미치지 못 하였다. 전기히터를 시동 30초 전에 작동시키고 시동 60 초 후 끄는 경우에 EH-cGPF 후단의 배출가스 온도는 180 °C 이상으로 상승하는 것이 확인된다. Fig. 6 결과를 이용하여 유추하면, EH-cGPF 내부 온도는 시동 1분 후 대략 230-320 °C일 것으로 예상된다. 시동 후 10분이 지나면 전기히터 작동 유무에 관계없이 EH-cGPF 후단의 배출가스 온도는 동일한 값으로 수렴하였다.

Fig. 8은 상온 WLTC모드 중 자동차 배기관에서 실시간으로 측정된 배출가스 농도 결과를 나타낸다. 전기히터를 작동하면 촉매온도가 상승하여 초기 시동 때 배출 되는 배출가스 양이 크게 감소하는 것이 확인된다. 전기 히터 작동 전에는 초기의 THC, NOx, CO의 농도가 각각 최대 260 ppm, 43 ppm, 487 ppm이었으나 전기히터를 작동하였을 때에는 THC, NOx, CO의 농도가 각각 최대 100 ppm, 2.5 ppm, 100 ppm로 크게 감소하였다. 이 실험결과 에서 THC와 CO는 일부만 정화되는 반면 NOx는 거의 전 부 정화되는 이유는 시동초기에 엔진이 연료공기혼합기 가 매우 농후한 상태에서 운전되기 때문으로 보인다. 농 후한 조건에서 연소되면 THC와 CO가 NOx에 비해 상대 적으로 많은 양이 발생되기 때문에 배출된 THC와 CO 중 의 일부만 NOx와 반응하여 H2O와 CO2로 산화된다. 농 후운전조건에서는 배출가스 중에 산소는 존재하지 않기 때문에 THC와 CO는 삼원촉매에서 오로지 NOx와 반응

하여 산화될 수 있기 때문이다. 그리고, 배출가스 중의 상대적으로 적은 양이 배출되는 NOx는 THC와 CO와 반 응하여 거의 전부 N2로 환원되는 것으로 보인다. EH-cGPF의 배출가스 저감량이 크지만, 상용 cc-TWC 촉 매에 비해서는 초기 배출량이 여전히 높음을 알 수 있다. 상용 cc-TWC 촉매의 초기 THC, NOx, CO의 농도는 각각 최대 15 ppm, 1 ppm, 350 ppm이었다. 이는 cc-TWC에 비 해 EH-cGPF에는 약 20 % 더 적은 양의 촉매가 코팅되어 있고, 셀밀도가 작은 것 등의 영향을 받는 것으로 보인 다. Fig. 9에 나타나듯이, 상용 cc-TWC 촉매를 사용하였 을 때는 초기 300초 외에 WLTC 4번째 phase 진입 초기인 1,600초쯤에서 CO의 급격한 배출이 있었다. 하지만 EH-cGPF를 사용하였을 때는 4-phase에서의 CO 배출이 없어졌다. Fig. 7을 보면 4번째 phase에서 상용 cc-TWC 촉매와 EH-cGPF 시험간 장치 후단 배출가스 온도 차이 는 없었다. 따라서 cc-TWC의 경우 1,600초 부근에서 CO 가 배출되는 것은 사용된 촉매의 차이로 고온 조건에서

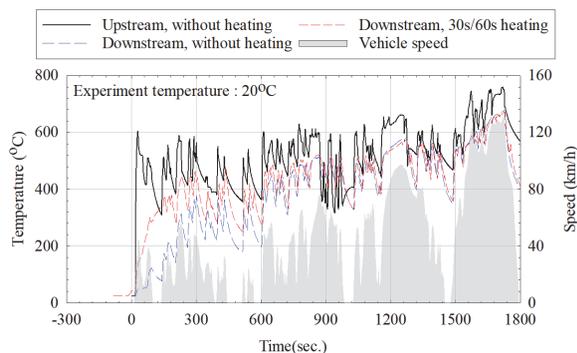


Fig. 7 The effect of electric heating on upstream and downstream temperature variation in the 20 °C condition of WLTC mode

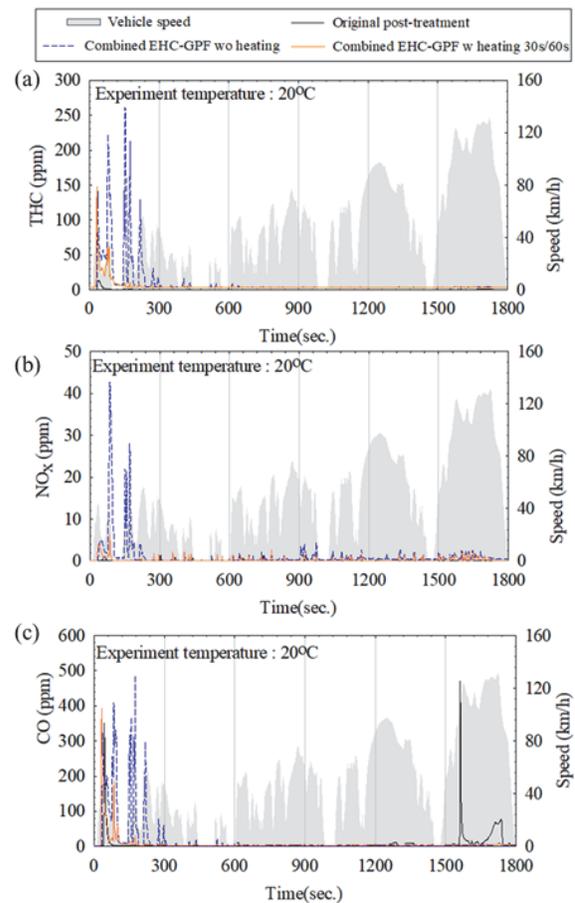


Fig. 8 Variation of gas concentration of (a) THC, (b) NOx, and (c) CO with time in the 20 °C condition of WLTC mode

CO 저감율이 나빠지는 것으로 추정된다.

cc-TWC가 장착된 차량과 EH-cGPF가 장착된 차량을 -7 °C의 저온 환경에서 시험하였다. 저온에서는 엔진 시동 전 90초전에 전기히터를 작동시켰으며, 상온 시험과 마찬가지로 시동 60초 후에 전기히터를 작동 중지하였다. Table 2는 -7 °C의 저온 환경에서도 전기히팅을 통해 CO, NOx, NMOG의 배출량이 크게 저감되어 EURO-6 기준을 만족하는 것을 보여준다.

Fig. 10은 -7 °C의 저온 조건 WLTC 모드 중 EH-cGPF 전 · 후단 배출가스 온도의 변화를 나타낸다. 상온 WLTC 모드에서의 EH-cGPF 전단 배출가스 온도는 600 °C까지 상승하였지만 -7 °C에서는 420 °C까지만 상승하였다. 이에 따라 촉매 활성이 저하되어 배출가스 저감 특성이 나빠질 것으로 예상된다. EH-cGPF의 전기히터를 시동 전 90초에 켜고, 시동 후 60초에 끄는 경우, 엔진 시동 1분 후 EH-cGPF 후단 배출가스 온도는 280 °C까지 도

달하였다.

Fig. 11은 -7 °C WLTC모드 중 자동차 배기관에서 실시간으로 측정된 배출가스 농도 결과를 나타낸다. Fig. 12에는 초기 300초의 배출가스 농도 측정결과가 더 자세히 나타나 있다. -7 °C 시험에서는 상온시험보다 배출가스 온도가 낮은 만큼 NOx, CO, THC의 초반 배출이 크게 증가하였다. cc-TWC를 사용하였을 때 초기 THC, NOx의 농도가 각각 516 ppm, 9 ppm로 측정되었다. CO는 검출 한계치를 넘어서 측정되었기 때문에 초기 농도는 알지 못하였다. 상온일때에 비해 초기농도가 THC와 NOx가 각각 34배와 10배씩 증가하였다. EH-cGPF는 전기가열 시간이 90 s/60 s 일때 초기 THC, NOx의 농도가 각각 640 ppm, 72 ppm으로 측정되었다. 상용촉매보다는 여전히 높게 나타났다. 900초 이후 저온 조건에서 순간적으로 높은 NOx 배출 피크가 관찰되었다. EH-cGPF를 장착하였을 때 CO 배출 농도는 마찬가지로 측정한계치를 넘어 측정되었다. 하지만 전기히팅을 통해 ccTWC보다 농도가 700 ppm 이하로 떨어지는 시간이 빨라지는 것이 확인되었다. ccTWC의 경우 -7 °C WLTC모드 시험에서도 상온 시험과 마찬가지로 4번째 Phase에서는 CO 배출이 동일하게 나타났다. -7 °C WLTC모드 시험에서는 EH-cGPF에

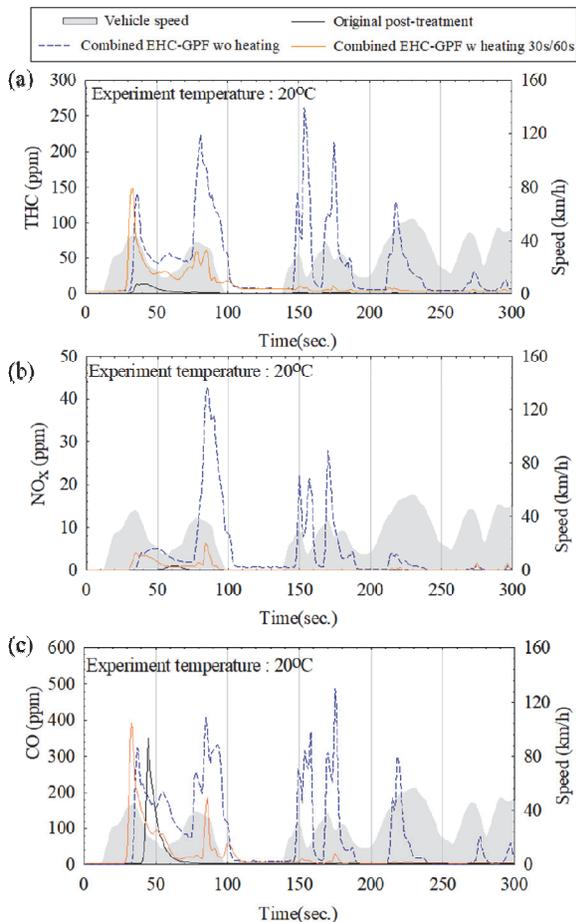


Fig. 9 Variation of gas concentration of (a) THC, (b) NOx, and (c) CO with time in the 20 °C condition of first 300 seconds of WLTC mode at cold start

Table 2 Emission factor of the vehicle with original post-treatment system and combined EHC-GPF system in the -7 °C temperature condition

Emission	CO	NO _x	NMOG
unit	g/km	g/km	g/km
EURO-6 standard	1.0	0.06	0.068
TWC(Original after-treatment system)	1.186	0.006	0.079
EHC-GPF Heater on, 90 s/60 s	0.758	0.010	0.063

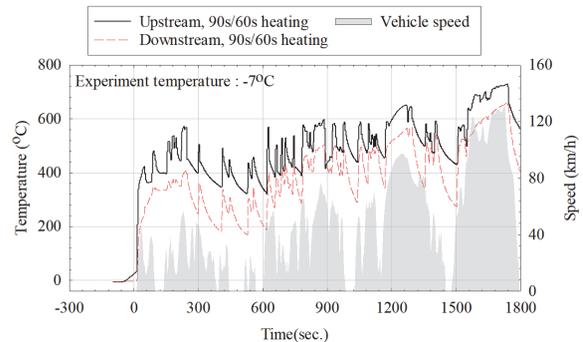


Fig. 10 The effect of electric heating on upstream and downstream temperature variation in the -7°C condition of WLTC mode

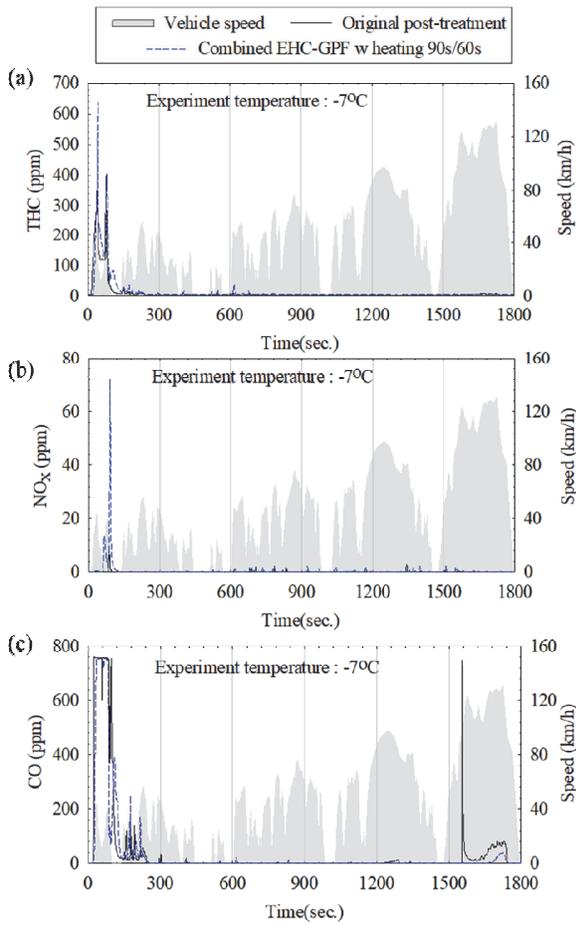


Fig. 11 Variation of gas concentration of (a) THC, (b) NOx, and (c) CO with time in the -7 °C condition of WLTC mode

서도 4번째 Phase에서 30 ppm의 CO 배출이 측정되었다.

4. 결론

가솔린 엔진을 사용하는 하이브리드 차량의 냉간시동 배출가스를 효과적으로 저감하기 위해 새로운 방식의 EH-cGPF를 개발하고, 상용 하이브리드 차량에 EH-cGPF를 장착하고 평가하였다. 상온(20°C) 조건에서 차대동력계의 배출허용 규제모드 WLTC 시험으로 배출가스를 측정된 결과, 배출가스 배출량은 EURO-6 배출허용기준을 만족함을 확인하였다. 그리고, -7 °C의 저온 차대동력계 배출허용 규제모드 WLTC 시험에서는 전기가열 가동시간을 증가시키면, EURO-6 배출허용기준을 만족함을 확인하였다. 이 시험결과들은 EH-cGPF를 이용하여 효과적으로 하이브리드 자동차의 배출가스를 제어할 수 있음을 의미한다. 또한, 이 연구를 통해 전기가열 시간 등

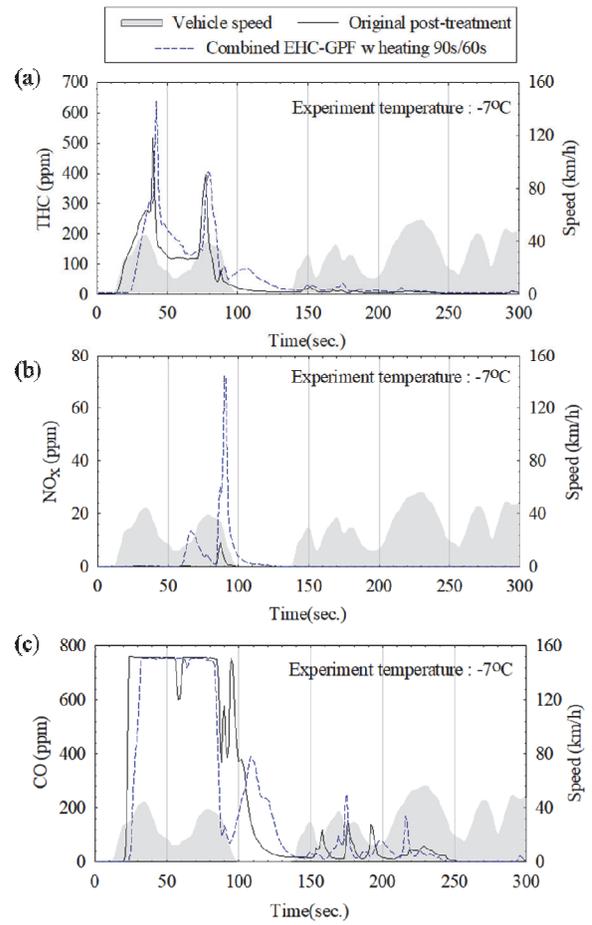


Fig. 12 Variation of gas concentration of (a) THC, (b) NOx, and (c) CO with time in the -7 °C condition of first 300 seconds of WLTC mode at cold start

전기히터 사용 전략을 최적화하고, 더 높은 열량을 단시간에 전달할 수 있도록 전기히터를 개선이 필요함은 물론 및 필터의 셀 밀도 증대 등에 대한 연구가 향후 필요함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술평가관리원에서 지원하는 “배기규제 강화대응을 위한 저전압 전기 가열방식 후처리시스템 기술개발(과제번호:20019072)”의 수행 결과이며, 이에 감사드립니다.

References

- 1) R. N. Carter, P. Menacherry, W. C. Pfefferle, G. Muench and S. Roychoudhury, “Laboratory Evolution of Ultra-short Metal Monolith Catalyst,” SAE 980672, 1998.

- 2) N. A. Henein, M. K. Tagomori, M. K. Yassine, T. W. Asmus, C. P. Thomas and P. G. Hartman, "Cycle-by-Cycle Analysis of HC Emissions During Cold Start of Gasoline Engines," SAE Transactions, Vol.104, pp.1152-1170, 1995.
- 3) V. Schmeisser, M. Weibel, L. S. Hernando, I. Nova, E. Tronconi and M. P. Ruggeri, "Cold Start Effect Phenomena over Zeolite SCR Catalysts for Exhaust Gas Aftertreatment," SAE 2013-01-1064, pp.190-199, 2013.
- 4) D. Han, J. E, Y. Deng, J. Chen, E. Leng, G. Liao, X. Zhao, C. Feng and F. Zhang, "A Review of Studies using Hydrocarbon Adsorption Material for Reducing Hydrocarbon Emissions from Cold Start of Gasoline Engine," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.135, Paper No.110079, 2021.
- 5) G. Mahadevan and S. Subramanian, "Experimental Investigation of Cold Start Emission using Dynamic Catalytic Converter with Pre-catalyst and Hot Air Injector on a Multi Cylinder Spark Ignition Engine," SAE 2017-01-2367, 2017.
- 6) M. S. Reiter and K. Kockelman, "The Problem of Cold Start: A Closer Look at Mobile Source Emissions Levels," Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.43, pp.123-132, 2016.
- 7) J. Gao, G. Tian, A. Sorniotti, A. E. Karci and R. D. Palo, "Review of Thermal Management of Catalytic Converters to Decrease Engine Emissions During Cold Start and Warm Up," Applied Thermal Engineering, Vol.147, pp.177-187, 2019.
- 8) T. Knorr, D. Ellmer, O. Maiwald, A. Schatz and R. Bruck, "The Electric Heatable Catalyst and an Efficient Measure for Emission Optimization in Mild Hybrid Vehicle Operation Strategies," 24th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, pp.1-22, 2015.
- 9) L. Pace and M. Presti, "An Alternative Way to Reduce Fuel Consumption During Cold Start: The Electrically Heated Catalyst," SAE 2011-24-0178, 2011.
- 10) K. Ramanathan, S. H. Oh and E. J. Bissett, "Electrically Heated Catalysts for Hybrid Applications: Mathematical Modeling and Analysis," Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol.50, No.14, pp.8444-8467, 2011.
- 11) E. V. Gonze, M. J. Paratore and F. Ament, "SCR Cold Start Heating System for a Diesel Exhaust," Google Patents, 2010.
- 12) B. Giechaskiel, A. Mamakos, J. Andersson, P. Dilara, G. Martini, W. Schindler and A. Bergmann, "Measurement of Automotive Nonvolatile Particle Number Emissions within the European Legislative Framework: A Review," Aerosol Science and Technology, Vol.46, No.7, pp.719-749, 2012.
- 13) J. Ko, K. Kim, W. Chung, C. L. Myung and S. Park, "Characteristics of On-road Particle Number(PN) Emissions from a GDI Vehicle Depending on a Catalytic Stripper(CS) and a Metal-foam Gasoline Particulate Filter(GPF)," Fuel, Vol.238, pp.363-374, 2019.
- 14) S. Baek, J. Cho, K. Kim, S. Ahn, C. L. Myung and S. Park, "Effect of the Metal-foam Gasoline Particulate Filter(GPF) on the Vehicle Performance in a Turbocharged Gasoline Direct Injection Vehicle over FTP-75," Int. J. Automotive Technology, Vol.21, No.5, pp.1139-1147, 2020.
- 15) C. L. Myung, J. Kim, K. Choi, I. G. Hwang and S. Park, "Comparative Study of Engine Control Strategies for Particulate Emissions from Direct Injection Light-duty Vehicle fueled with Gasoline and Liquid Phase Liquefied Petroleum Gas(LPG)," Fuel, Vol.94, pp.348-355, 2012.