

디젤 자동차용 매연저감장치(DPF)의 클리닝 성능 고도화에 관한 연구

김형준^{1*}, 정재우², 강정호², 이진우², 박정수³
¹(주)동아엔씨, ²자동차부품연구원, ³한국자동차환경협회

Study on the high efficiency cleaning performance of the diesel vehicle DPF

Hyongjun Kim^{1*}, Jaewoo Chung², Junggho Kang², Jinwoo Lee², Jungsoo Park³

¹Dong -Ah ENC Inc.

²Korea Automotive Technology Institute

³Korea Automotive Environment Association

요약 디젤 자동차의 배기가스 규제는 매년 지속적으로 강화되고 있다. 최근 HC, CO, NOx, PM에 대한 배기 규제는 매우 엄격한 기준을 적용하고 있다. 향후에는, 입자상 물질의 수량규제로 더욱 강화될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라, 현재 대부분의 디젤 차량은 PM 저감을 위해 배기후처리장치(DPF)를 적용해 왔다. 엔진의 주행거리가 증가함에 따라, 엔진 배기가스에 포함된 재와 soot이 DPF내부에 축적된다. 축적된 재와 soot은 DPF 손상이나 엔진 성능 악화의 원인이 된다. 그러므로 효율적인 DPF의 클리닝은 엔진관리 측면에서 매우 중요한 부분이다. 만약 엔진이 주기적 클리닝을 통해 관리가 잘 된다면 엔진의 출력과 연비를 개선하고, 유지관리 비용을 절감할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 DPF 내부에 누적된 재와 soot을 효과적으로 클리닝 할 수 있는 고효율 DPF 클리닝 방법 및 장치의 개발을 수행하였고, 그 결과를 제시하였다.

Abstract Regulations for the exhaust gas of diesel vehicles are being strengthened every year. Recently, diesel emission regulations for HC, CO, NOx, and particulate matter (PM) have been subject to very strict standards. In the future, the regulation of PM is expected to become stricter. Accordingly, diesel particulate filters (DPFs) have been applied to most diesel vehicles for PM reduction. With increasing engine mileage, ash and soot from the engine exhaust gas accumulate inside the DPF. This accumulation can damage the DPF or degrade engine performance. Therefore, efficient cleaning of the DPF is critical for the maintenance of the engine. If the DPF is well managed through regular cleaning, it can improve the power and fuel economy of the engine and reduce maintenance costs. Therefore, this study was performed to develop a high-efficiency cleaning method for DPFs and an apparatus that can more effectively clean out the accumulated ash and soot.

Keywords : DPF, Cleaning, PM, Ash, Diesel

1. 서론

최근 자동차 배기가스 규제의 강화 추세에 따라 관련 규제를 만족시키기 위해서는 디젤차량의 DPF장착은 더 이상 선택이 아닌 필수가 되었다. 그로인해 유로6 배기

기준을 만족시키기 위한 디젤차량의 DPF 장착은 급격히 증가할 것으로 예상된다. 그러나, DPF의 지속적 사용에 따른 soot와 재(Ash)등의 누적은 DPF 내부에서의 이상 연소에 의한 파손, 그리고 배압 증가에 따른 엔진 성능의 저하와 연비 성능의 악화 등을 유발할 수 있음이 지적된

본 논문은 환경부 Global-Top Project 친환경자동차기술개발사업단의 지원에 의해 수행됨.

*Corresponding Author : Hyongjun Kim(Dong-Ah ENC Inc.)

Tel: +82-1577-7278 email: kimhj@dong-ah.co.kr

Received February 5, 2016

Revised (1st February 29, 2016, 2nd March 2, 2016)

Accepted March 3, 2016

Published March 31, 2016

바 있다.^[1]

이에 국내에서 soot의 DPF내 침착 메카니즘 및 단순 히팅공정과 에어블로잉 공정을 포함한 DPF 클리닝관련 연구 보고가 수행된 바 있다.^[7] 특히 국내의 경우, 그간 대기환경 개선을 위해, 대형차량 위주의 노후 차량용 retrofit DPF 장착사업과 함께 클리닝이 일부 개발된 경험이 있으나, 아직 초보적인 단계로서, 이의 대상 확대를 위한 공정의 지속적 개발 및 효과검증에 대한 연구는 부족한 실정이다. 실제 이전의 참고문헌에서는 재생방식에 따라 DPF내의 재(Ash)의 점착 상태 및 누적 메카니즘의 상이성이 지적되고 있으며^[2], 기존 retrofit DPF시스템과 최근 출시되는 소형 디젤차용 DPF의 재생 방식의 차별성과 다양성에 따라, 현재 소형급 차량용 DPF의 클리닝 공정 적합성을 판별하기 위한 실험 및 연구가 필요한 상황이다.

또한 클리닝 공정의 실용적 측면에서 정상적인 담체 구조를 가지고 있으나 내부에 재와 오일, PM 등이 혼입되고, 장기간 방치되어 고형화 된 상태의 불용필터를 재사용하기 위한 고효율 DPF클리닝 기술개발이 추가로 요구되었다.

이에 본 연구에서는 기존의 클리닝 공정^[7]에 재생공정이라는 추가적인 공정을 도입하여, 장기간 방치된 DPF의 재생성능을 높이는 한편, 최근 소형 디젤 차량에 장착되어 판매되는 DPF의 클리닝 효율성을 실험적으로 확인하기 위한 다양한 성능 평가를 수행하여, 그 결과를 제시하였다. 이를 위하여 DPF의 보증기간이 만료된 약 15만 km의 누적 주행거리를 가진 DPF의 클리닝 전후의 단품 유동저항성 평가(배압성능), 차량 상 배기성능 평가 등을 수행하며, 이외에도 엔진상 BPT(재생평형온도)시험을 통해 클리닝 공정의 적합성을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 개발된 고도화 클리닝 공정은 불용수준의 DPF를 사용가능하게 함으로서 클리닝의 실효성을 높이는 동시에, DPF 원재료 수입으로 인한 외화유출 방지에 일조하고자 한다.

2. 본론

2.1 연구목적

디젤엔진의 배기후처리 장치인 DPF에는 엔진오일, 미연소 경유, 재, PM등 여러 물질이 배기가스에 포함되

어 걸리지게 되고, 다양한 원인으로 고가의 DPF를 교환해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 그 원인의 예로서 엔진의 문제로 주기적으로 재생이 정상적으로 되지 않는 경우, 연료계통의 문제로 과도한 PM이 배출되는 경우, 터보나 엔진의 파손으로 엔진오일이 DPF를 심하게 막는 경우, 마지막으로 정상적으로 재생이 이루어진 DPF라 할지라도 내부에 누적된 재가 소결되어 폐쇄되는 경우 등이 있다. 선술된 상황은 대부분의 DPF가 장착된 차량이 피해갈 수 없는 현상들이다. 상술된 경우마다 신제품으로 교환을 해야 한다면 엄청난 국가 경제적 손실과 재생산을 위한 환경적 부담이 발생하므로 이러한 상태의 DPF를 효과적으로 클리닝 하여 재사용할 수 있는 기술을 개발하는데 본 연구의 목적이 있다.

2.2 시험장치 및 방법

2.2.1 클리닝 공정 및 주요 장치

아래의 Fig. 1와 2에는 각각 전체적인 클리닝 공정정과 에어 블로잉 DPF 클리닝 장치사진을 제시하고 있다.

Fig.1 에 제시된 공정은 크게 3단계로 분류되어, 클리닝 전 DPF 저항평가, 클리닝, 클리닝 후 저항 평가 등으로 구분될 수 있으며, 한편으로 기존의 단순 가열을 통한 수분제거와는 달리, DPF내의 soot등을 산화시키는 재생(Regeneration) 공정이 추가되었다.

Fig. 2의 장치구성은 주로 블라스팅, 노즐링, 집진장치로 크게 나누어지며, 아래에 주요 공정에 대하여 설명하였다. 단, 정상유동시험 벤치를 활용한 검사공정 등은 다음절에서 자세히 서술한다.

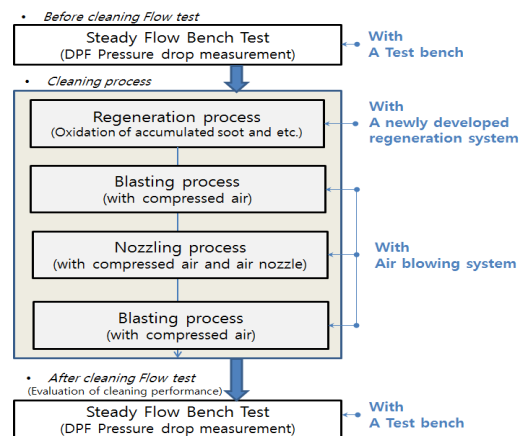


Fig. 1. Cleaning Process

블라스팅 장치는 정량탱크에 축적된 고압 압축공기의 일시 방출로 압축공기 팽창압력에 의한 클리닝을 수행하는 장치이며, 이러한 공정을 블라스팅 공정이라 한다.



Fig. 2. DPF Cleaning System(Air blowing)

노즐링 장치는 압축공기가 노즐팁을 통하여 분출되면서 DPF내부의 누적물질을 배출시키는 장치이다. 노즐링 공정은 DPF 표면에 노즐이 밀착되어 누락되는 면이 없게 자동적으로 작업을 진행하도록 프로그램 되어있다.



Fig. 3. Regeneration System

상기 Fig.3.은 본 연구를 통해 개발된 재생장치로 DPF 내부의 재, soot, 오일 성분이 누적되어 고형화 된 성분을 산화시켜 재생하는 기능을 가진다. 본 재생방식은 열을 가해 건식으로 청소하는 방식으로서, 차량 장치시의 운행 중 재생과 흡사하므로, 담체 내구성과 안전성 측면에서 습식방식인 화학 세척제나 물을 이용한 방식보다 우수하다. 또한 국내 적용된 DPF는 Cordierite나 SiC 타입의 세라믹 필터로서 습식클리닝 방식은 선진국에서도 담체 파손과 코팅된 귀금속 촉매 파손 방지 및 기밀 유지 성분인 매트(mat)보호를 위해 지양하고 있다.

2.2.2 클리닝 성능검증 장치(배압측정 장치)

일반적으로 DPF내의 soot 및 재의 누적 정도는 유동 저항으로 평가하며, 유동상태의 DPF 전후단의 차압을 측정하게 된다. 따라서, 클리닝 성능은 클리닝 전후의 차압변화 비교나, 신품과 클리닝 후의 압력을 비교하여 수행 할 수 있다.

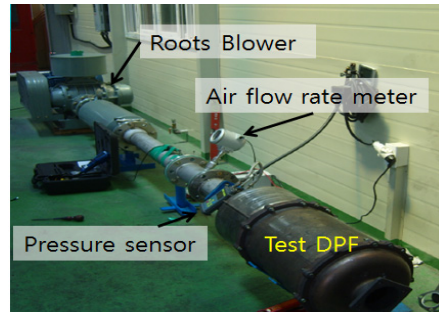


Fig. 4. Back Pressure Measuring System

상기 제시된 Fig.4.의 배압측정 장치는 유량을 6단계로 변화시켜가며, 압력을 측정할 수 있도록 구성하였고, 압력과 유량 데이터는 PC에서 자동 취득하여 연산 및 압력과 유량곡선을 도출할 수 있다. 장치의 구성은 루츠 블로워(Roots blower), 인버터, 데이터 취득용 프로그램 및 PC, 공기유량계, 차압계 등으로 구성되어 있다. 블로워의 경우, 7리터 급의 무부하 엔진 흡기유량을 모사할 수 있는 유량 용량을 확보하고자 하였으며, DPF에서 배출되는 입자들이 계측장치에 문제를 발생시키지 않도록 진공형이 아닌 가압형 장치로 선정하였다. 유량계의 경우, 유량계에 의한 압력손실 등을 최소화하기 위하여 열용량유량계를 선정하였다. 일반적으로 PM 및 ash의 누적 상태 판단을 위해 실험 대상 DPF 전단에 차압계를 설치하였으며, 데이터의 실효성을 높이기 위하여, 차량용 차압계 및 계측용 차압계 두 가지를 설치하여, 데이터 처리에 활용하였다.

2.2.3 엔진 및 실험 차량

본 연구에서는 엔진과 차대동력계 시험을 실시하였고 사용된 엔진은 RV차량에 장착되는 D엔진으로 선정하였고 해당엔진은 직분사 방식의 유로3를 충족하며 최대 출력 126ps 최대토크는 29.5kg.m이다. 아래 Table 1.에 선정엔진의 제원을 제시하였다.

Table 1. Test Engine Specification

TYPE	Diesel Engine
No. of Cylinder	4 Cylinder
Power(PS/rpm)	126/4000
Displacement Vol.(cc)	1991cc
Torque(kg.m)	29.5/2000
Brand Name	Hyundai
Model Number	D4EA

차대동력계 시험 장치(AVL사)는 차대동력계와 배기 분석시스템으로 구성되어 있으며, 배기분석(CO/CO₂, THC, NO_x 등)을 위해 AVL 사의 CVS 및 AMA i60을 사용하였다.

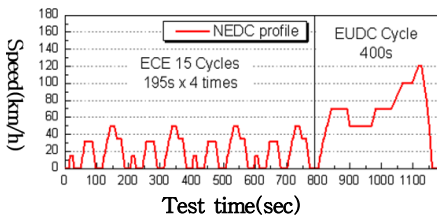
차량시험은 환경부고시 2006-61호 제작자동차배출허용기준/소음허용기준의 검사방법 및 절차에 관한 규정 중 별표 4의 ECE15+EUDC모드(NEDC 모드) 측정방법에 의거하여 수행하였다.

Fig.5에는 실제 차량시험 수행 사진 및 시험모드(NEDC)를 제시하고 있으며, 모드 동안의 차량의 연료소비, PM 저감율 및 기타 배기가스의 저감율을 측정하였다.

시험차량은 2006년형 SUV 차량을 대상으로 하였으며, 클리닝 효과 분석을 위한 클리닝 전후 비교 평가가 수행되었다. 한편 재생 특성 분석을 위한 엔진 동력계상의 BPT (balance point temperature)분석을 수행하였다.



(a) Photograph of the vehicle test



(b) Vehicle test mode (NEDC)

Fig. 5. Schematic Diagram of Chassis Dynamo System

2.1.4 시험 방법 및 대상 DPF

아래의 Table 2.에는 총 8개의 시험 DPF의 특성과 수행된 시험 항목을 제시하였다.

시험 시 소형 SUV급의 Sample-A는 정상유동실험(배압평가)과 차량 실험이 모두 수행되었으며, 이외의 6개는 클리닝 전과 후의 정상유동 시험장치 상의 성능 평가를 통한 공정 효율성 평가가 수행되었다.

Table 2. Test samples DPF

Test Sample	Condition	Test and analysis		
		Flow	Vehicle	BPT
A	· Aging : 150,000km · For SUV	O	O	O
	Fresh	O	O	O
B	· Aging : 130,000km · For SUV	O	X	X
	Fresh	O	X	X
C	· Aging · Retrofit DPF · For Heavy duty	O	X	X
D		O	X	X
E		O	X	X
F		O	X	X

한편, Sample-A와 B는 소형 SUV급으로 신품(fresh) DPF와 클리닝 후 배압성능 비교가 수행되었으며, Sample-C,D,E,F는 중대형차용 retrofit용 노후 DPF로서, 클리닝 전후의 배압 개선을 평가하기위해 사용하였다. Sample-A(aging DPF)가 장착된 차량의 종류는 2006년식 현대투싼이고, 운행거리는 149,666km, 엔진은 CRDi가 부착된 D4EA, 배기량은 1991cc 이다.

Sample-B(aging DPF)가 장착된 차량의 종류는 2006년식 GM윈스톱, 운행거리는 130,000km, 엔진은 VCDi이고, 배기량은 1991cc 이다.

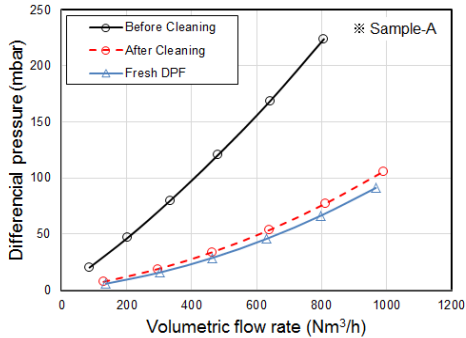
2.3 시험결과

2.3.1 클리닝 전후 배압성능 결과

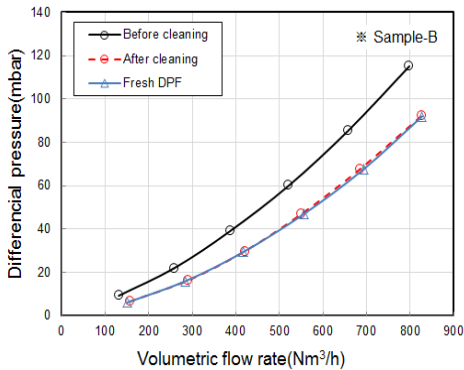
Fig. 6의 (a)는 재생 클리닝을 실시한 Sample-A의 청소전후 배압과 신품배압을 동시에 보여주고 있다.

그림에 나타낸 바와 같이 재생클리닝에 사용된 Sample-A는 클리닝 전 최대압력이 유량 800m³/h를 기준으로 220mbar를 보이고 있으나 클리닝 후 같은 유량에서 약75mbar로 낮아진 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 클리닝 전 배압대비 약66%의 배압이 저감된 결

과이다. 또한 신품의 배압과도 근소한 차이를 나타내 클리닝 후에 거의 신품 수준으로 배압이 낮아지는 것을 확인하였다. 위와 같은 1가지 샘플의 결과만으로는 신뢰성이 떨어지므로 추가적으로 다른 차종의 소형 DPF(Fig.6의 (b))와 중대형 상용디젤 차량의 DPF(Fig.8)에 대하여 다수의 배압성능 결과를 확보하여 그 신뢰성을 높였다.



(a) Sample-A (SUV, 150,000km aged)



(b) Sample-B (SUV, 130,000km aged)

Fig. 6. Pressure vs. volumetric flow rate curve before and after cleaning for DPF of SUV

상기 Fig.6의 결과에서 보이듯이, Sample-A 및 B 모두가 15만, 13만 km의 주행거리를 가지고 있는 노후 DPF이나, 클리닝 이후 신품(Fresh) 배압과 비교 시 거의 일치하는 매우 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 클리닝 전/후에 DPF 내부에 축적된 재, soot, oil 성분 누적량을 정량적 수치로 나타내기가 어렵기 때문에, Sample-A의 클리닝 전후 CT 촬영을 통하여 재(Ash)의 배출 효과를 확인하였다.(Fig.7 참조)

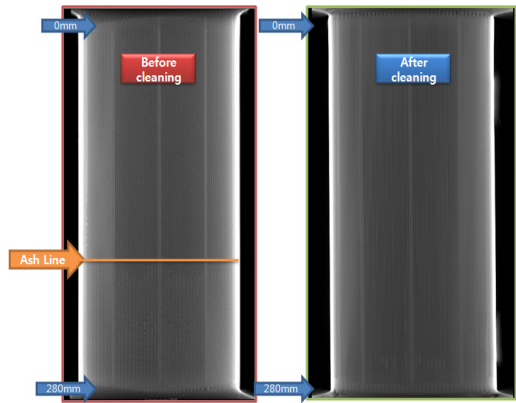


Fig. 7. CT(Computerized Tomography) Results before/after cleaning

클리닝 전 CT사진에서 알 수 있듯이 약 15만 km를 주행하는 경우 재(Ash)의 누적량은 전체 부피의 35% 정도로 판단된다. 클리닝 이후 재가 거의 보이지 않는 것을 볼 수 있다.

아래의 Fig.8은 6리터 이상 엔진의 중대형 트럭 DPF에 대하여 클리닝 성능을 배압으로 평가한 결과이다. 클리닝 전 배압곡선은 다양한 범위에 분포하지만 클리닝 후에는 6단계 유량범위에서 배압이 0의 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 본 연구에 제시된 클리닝 공정을 진행한다면 소형과 중대형 DPF에 있어서 매우 양호한 배압성능을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

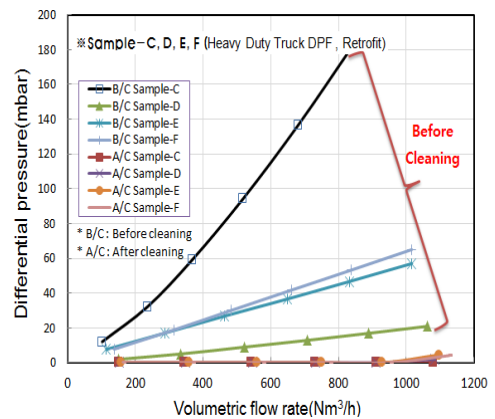


Fig. 8. Pressure vs. volumetric flow rate curve before and after cleaning for Heavy Duty Truck DPF

2.3.2 클리닝 후 배기가스 저감성능 결과

아래의 Table.3은 차대동력계에서 Sample-A에 대하여 클리닝 전후 배기가스 저감성능을 측정된 결과이다.

실험 결과 배기가스 측면에서 NOx의 저감율이 클리닝 후 2배 정도 향상되었고, CO와 PM저감성능은 동등 수준을 보이고 있다.

또한 연비는 청소전대비 1.8%정도 향상된 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과에서 알 수 있듯이 재생공정을 도입하여 클리닝을 수행할 경우 배기가스 저감 성능은 동등 수준 이상의 양호한 결과를 얻었으므로 본 연구에 적용된 클리닝 방식이 배기가스 저감 성능을 향상시키며, DPF 내부의 구조적 용손이나 촉매의 손상 등을 유발시키지 않음을 간접적으로 파악할 수 있었다.

Table 3. Emission Test result of Chassis Dynamometer tests (Sample-A)

Regulation level & Test sample		Emission performance & reduction ratio with DPF					F.E. (km/l)	Remark
		THC (g/km)	CO (g/km)	Nox (g/km)	PM (g/km)	HC+Nox (g/km)		
EURO 4 Regulation	value	-	0.5	0.25	0.025	0.3	-	Standard of a new car
BASE DPF (Without DPF)	cold	0.1	0.927	0.869	0.0877	0.969	12.991	PM Regulation is satisfied
	Demand Redu. Ratio	-	46%	71%	71%	69%	-	
Sam-A (Before Cleaning)	cold	0.016	0.074	0.575	0.0014	0.591	12.600	PM Regulation is satisfied
	Reduction Ratio	84.0%	92.0%	33.8%	98.4%	39.0%	3.0%	
Sam.-A (After Cleaning)	cold	0.015	0.074	0.311	0.0015	0.326	12.836	PM Regulation is satisfied
	Reduction Ratio	85.0%	92.0%	64.2%	98.3%	66.4%	1.2%	

2.3.3 클리닝 후 PM재생성능(재생평형온도, BPT) 결과

클리닝 후 차량에 장착된 상태에서 주기적인 PM재생이 원활하게 되는지를 간접적으로 평가하는 방법 중에 재생평형온도 시험(BPT, Balance Point Temperature)이 있다.

앞서 클리닝 이후에 배압 저감성능, 배기가스 저감 성능 등은 양호한 것으로 확인되었고, 최종적으로 클리닝 후 차량에 장착 시에 재생평형온도를 통하여 DPF 내부에 포집된 PM의 재생이 양호한 지를 확인하는 것은 본 연구에서 적용한 클리닝 공정의 타당성 및 안전성을 입

증하는 중요 요소로 판단된다.

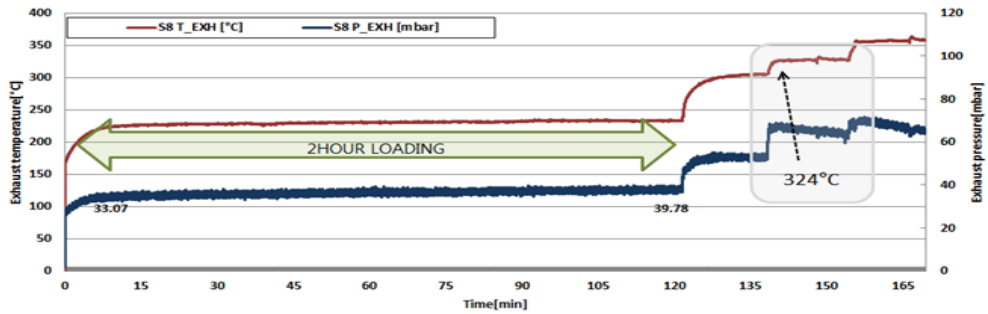
Fig.9에 재생평형온도에 대한 측정 결과를 보여주고 있다. 신품의 재생평형온도와 비교하였으며, 위쪽 곡선이 신품 DPF의 재생평형온도 곡선을 나타낸다. 아래 곡선은 연구에 사용된 Sample-A에 대하여 클리닝 이후에 측정된 재생평형온도 곡선이다. 선행연구에서 재생평형온도는 유량의 영향이 미미한 것으로 판단하여, 한 개의 엔진회전수 조건(1500rpm)에서 측정을 하였고 로딩조건은 부하 40Nm로 배기온도는 약 220℃정도이며 로딩시간은 2시간이다.

승온단계는 총 3단계로 엔진회전수는 로딩조건과 동일하고 1단계에서는 배기온도가 약 300℃이며, 2단계 약 327℃, 3단계 약356℃, 순차적으로 승온하였다. 각각의 단계별 시간은 15분이다. 시험은 1500rpm/40Nm의 운전조건으로 2시간 로딩 후 6~8mbar의 압력이 상승되었으며 Sample-A는 2단계 321℃, 신품DPF 장치도 2단계 324℃에서 압력하강이 확인되었다. 종합적으로 BPT는 측정된 장치 공히 약 325℃로 정리할 수 있으며 클리닝된 Sample-A 장치의 재생평형온도는 신품대비 동등 이상 수준의 양호한 측정값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 본 연구에 적용된 클리닝 공정을 통한 클리닝 방법이 상술한 배압, 배기성능의 만족은 물론 차량에 장착 시 신품과 유사한 PM 재생 성능을 발휘할 수 있음을 알 수 있었고, 내부에 귀금속 촉매의 손상이 없음을 확인한 것으로 판단된다.

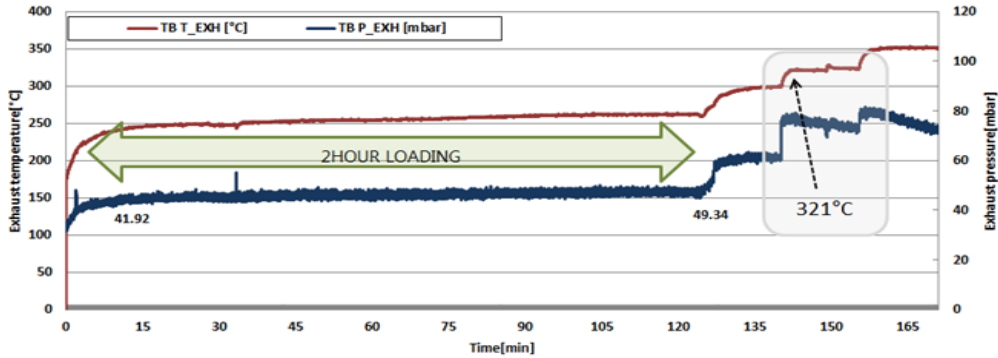
3. 고찰

본 연구에서는 클리닝 실시전후의 여러 가지 성능비교를 실시하였고, 아래와 같이 고찰하였다.

- 1) 15만km를 주행한 2000cc급 소형 디젤엔진용 DPF에 있어서 재(Ash)의 누적에 의한 배압의 크기는 유량800m³/h에서 225mbar정도임을 확인하였다.
- 2) 상기 배압과 압력을 나타낼 때 내부에 누적된 재(Ash)는 전체 체적 중에 약 35%정도를 채우고 있음을 CT를 통해 알 수 있었다.
- 3) 배압이 높은 경우 차량에서는 soot로 오인하여 반복적 재생을 실시하게 되고 이로 인해 DPF 파손이나 엔진오일 증가로 엔진고장을 유발한다.



(a) Fresh DPF(Sample-A)



(a) Aging DPF(Sample-A)

Fig. 9. Test Result of Balance Point Temperature

4) 본 연구를 통해 개발된 클리닝으로 신제품과 유사한 배압저감 성능을 얻을 수 있었으며, Sample-A, B 공히 15만km 정도에서 클리닝을 실시하여 양호한 결과를 얻었으므로, DPF의 적절한 클리닝 주기로 판단된다.

것으로 사료된다.

4) 본 연구를 통해 개발/적용된 클리닝 방법은 기사용된 노후 DPF를 효과적으로 클리닝 할 수 있고, 재사용이 가능하게 함으로서 신제품제작에 소요되는 경제적 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 본 연구에 적용된 건식 공정을 이용한 클리닝은 배압성능 측면에서 신제품과 유사한 배압을 얻었다.
- 2) 클리닝 이후 배기가스 저감 성능에 있어서도 클리닝전과 동등수준의 양호한 결과를 나타내어, 재생공정을 적용한 클리닝이 DPF 내부의 용손이나 귀금속 촉매의 소손을 유발하지 않음을 저감성능으로 확인하였다. 이러한 결과는 본 클리닝의 신뢰성과 안전성을 판단하는데 일정부분 근거가 된다.
- 3) 클리닝 이후 차량에 부착시 PM 재생성능도 양호함을 재생평형온도를 통해 확인하였고, 신제품과 유사한 결과를 얻어, 신제품과 동등한 DPF 성능을 낼

후 기

본 연구는 환경부 Global-Top Project 친환경자동차 기술개발사업단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

[1] Seunghwan Choi, Haeboung Kwon, Junki-Lee, Hyuk Jung, Dongseok Choi, Namyong Kim, Yongsung Park, "The Effect of DPF Cleaning on DPF Regenerative Performance", KSAE 2010-B0064.
 [2] T. Ishizawa, H. Yamane, H. Satoh and K. Sekiguchi, M.

Arai, N. Yoshimoto and T. Inoue, "Investigation into Ash Loading and Its Relationship to DPF Regeneration Method", SAE 2009-01-2882.

- [3] Timothy V. Johnson, "Diesel Emission Control in Review", SAE 2006-01-0030.
- [4] Alexander Sappok and Victor Wong, "Ash Effects on Diesel Particulate Filter Pressure Drop Sensitivity to Soot and Implications for Regeneration Frequency and DPF Control", SAE 2010-01-0811.
- [5] Manufacturers of Emission Controls Association, "Diesel Particulate Filter Maintenance : Current Practices and Experience", MECA Report June 2005.
- [6] John Nuskowski, Gregory J. Thompson and Nathaniel Moles, Marty Chiaromonte and Jun Hu, "Pressure Drop and Cleaning of In-Use Ash Loaded Diesel Particulate Filters", SAE 2006-01-3256.
- [7] Changhyun Lim, Jaewoo Chung, Junggho Kang, Namho Kim, Hyungjun Kim, "Study on the optimized cleaning process of a DPF", KSAE conference, pp. 660-668, 2012.

김 형 준(Hyongjun Kim) [정회원]



- 1994년 2월 : 한양대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1994년 3월 ~ 2000년 8월 : 현대기아자동차 연구소 주임연구원
- 2000년 9월 ~ 2008년 1월 : 동아진흥 전무
- 2008년 2월 ~ 현재 : (주)동아이 엔씨 대표이사

<관심분야>
자동차, 기계

정 재 우(Jae-Woo Chung) [정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 2001년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 자동차부품연구원

<관심분야>
자동차, 동력시스템

강 정 호(Jeongho Kang) [정회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1994년 10월 ~ 2014년 2월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 센터장

<관심분야>
자동차, 환경

이 진 우(Jinwoo Lee) [정회원]



- 2007년 2월 : 한국산업기술대학교 기계설계공학과 (공학사)
- 1992년 3월 ~ 1994년 1월 : ㈜한일전기
- 1994년 2월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>
자동차, 기계

박 정 수(Jungsoo Park) [정회원]



- 2003년 2월 : 숭실대학교 기계공학과
- 2003년 3월 ~ 2005년 1월 : 현대로템 기술연구소 연구원
- 2005년 1월 ~ 2008년 4월 : 현대위아 자동차모듈사업본부 대리
- 2009년 1월 ~ 현재 : 한국자동차환경협회 과장

<관심분야>
자동차, 기계