



< 응용 논문 >

CR X-선 영상기법을 이용한 DPF 파손여부에 대한 비파괴 측정 타당성 연구

권 만 재¹⁾ · 박 기 영¹⁾ · 김 성 준²⁾ · 한 태 호²⁾ · 김 정 민²⁾ · 이 성 옥³⁾

국민대학교 자동차공학전문대학원¹⁾ · 고려대학교 보건안전융합학과²⁾ · 국민대학교 자동차공학과³⁾

Feasibility Study on Nondestructive Measurement of Damaged DPF Using CR X-Ray Imaging Technique

Manjae Kwon¹⁾ · Giyoung Park¹⁾ · Sungjoon Kim²⁾ · Taeho Han²⁾ · Jungmin Kim²⁾ · Seangwock Lee³⁾

¹⁾Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

²⁾Department of Health and Safety Convergence Science, Korea University, Seoul 02841, Korea

³⁾Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

(Received 25 June 2019 / Revised 19 August 2019 / Accepted 19 August 2019)

Abstract : Diesel vehicles are equipped with after-treatment devices, such as DPF. Meanwhile, DPF is damaged by a combination of regenerative processes and unclear factors. If the DPF substrate is damaged, the filtration performance will deteriorate, thereby resulting in excessive levels of fine dust being emitted while driving. In this study, CR X-ray techniques were used in order to determine whether a DPF was damaged without prior removal. In order to verify the technological feasibility, an X-ray imaging of the DPF removed from the driving vehicle was conducted by using an X-ray generator, as well as an IP reader and a CR reader. Optimal irradiation conditions were established for each DPF size. Verification of images acquired under optimal irradiation conditions confirmed the possibility of diagnosis for damages, such as crack, melting, and hollow damage.

Key words : Diesel vehicle(경유 차량), DPF(매연여과장치), PM(입자상물질), CR(전산화방사선촬영), X-Ray(엑스선)

Subscripts

DPF : diesel particulate filter
PM : particulate matter
OBD : on-board diagnostics
CT : computed tomography
CR : computed radiography
IP : imaging plate
A/D : analog to digital

1. 서론

미세먼지 발생원은 크게 국내 배출과 국외 유입으로 구분 된다. 정부 관계부처 합동으로 수립 및 추진 중인 미세먼지 관리 특별대책에 따르면 국내 배출원은 수도권을 기준으로 경유차가 23%, 건설기계·선박 등이 16%로 디젤엔진이 장착된 배출원이 각 1, 2순위로 보고되고 있

다.¹⁾ 또한 최근 운행차의 주행거리 증가에 따른 배출가스 저감장치의 성능 저하에 대한 연구내용들이 보고되고 있다.^{2,3)} 정부는 이에 대한 대책으로 운행차 배출가스 저감 사업을 통해 운행차에 대한 규제와 관리를 지속적으로 강화하고 있으며, 이에 따라 운행차 사후관리가 매우 중요해지고 있는 실정이다.

DPF는 경유차에서 발생하는 PM을 여과시켜 대기로의 배출을 막아주는 장치로서 DPF Canning 내부의 담체가 필터의 역할을 한다. 담체에 여과되어 축적된 Soot의 양이 일정량 포집 되면 Soot 재생이 진행된다. 하지만 담체가 노후화되면 재생과정에서 발생하는 국부적인 열응력 및 주행 중 발생하는 진동 등 복합적인 원인에 의해 내부에 파손이 일어난다.^{4,6)} 담체에 파손이 일어나게 되면 여과 성능이 저하되어 미세먼지가 과도하게 배출되는 문제가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 DPF의 상태를 정기적으로 진단할 필요가 있으며, 통상적으로 운행차

*Corresponding author, E-mail: energy@kookmin.ac.kr

* 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.

정기검사를 통해 디젤차량의 매연 농도를 측정하는 DPF의 상태진단 및 관리가 이루어지고 있다. DPF 진단을 위해 매연농도 검사, OBD 진단 검사가 진행되고 있으며, 검사에서 매연 농도가 규제치를 초과하게 되면 DPF를 탈거하여 육안 검사를 진행한다. 하지만 탈거 육안 검사는 시간이 오래 소요될 뿐만 아니라 담체 내부의 문제를 정확하게 파악하기 어렵다는 한계를 지니고 있다.

X선 촬영기법을 활용한 비파괴 측정법은 이러한 한계를 극복할 수 있는 가능성을 갖춘 대안으로 여겨진다. 일본 와세다대학교 및 산업종합연구소에서는 CT X선 촬영기법을 활용하여 취득한 영상물에서 Ash의 휘도와 밀도의 관계를 통해 Ash 정량화 기법을 수립하여 DPF 재생시 담체 내부의 Ash 이동 및 축적에 관한 연구를 진행한 바 있다(Fig. 1).^{7,8)} 또한 고려대학교에서는 CT X선 촬영기법을 활용하여 Ash 축적 길이와 형상을 파악한 바 있다(Fig. 2).⁹⁾ CT X선 촬영기법은 물체를 360°촬영하기 때문에 정확한 영상물을 획득할 수 있지만 DPF를 촬영할 경우 탈거가 불가피하고 장비가 고가이며, 촬영 시간도 많이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 DPF를 탈거하지 않고도 촬영이 가능하고 단시간에 영상물 취득이 가능한 CR X선 촬영기법을 활용하여 담체 내부 상태를 파악해 보고자 하였다. CR X선 촬영기법의 경우 단방향으로 촬영하는 기법이므로 담체의 각 채널 별 Ash 축적 특성을 파악하는 등, 매우 정밀한 영상물 취득이 요구되는 연구

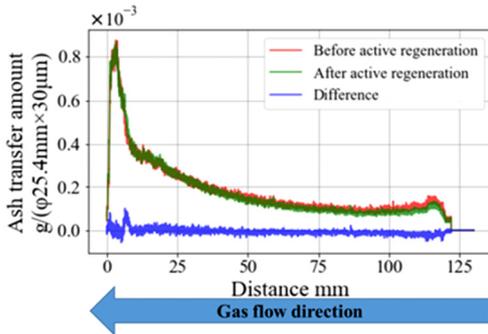


Fig. 1 Ash transport during active regeneration

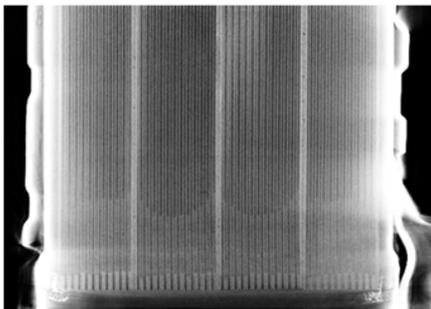


Fig. 2 CT X-ray image of aged DPF

에 적용하기에는 한계가 있어 차량에 적용된 연구 사례가 없었다. 따라서 우선적으로 DPF의 크기에 따른 촬영 조건을 파악하여 최적 촬영조건을 수립하였으며, DPF 담체 내부의 파손여부를 확인할 수 있는지에 대한 진단 가능성을 평가하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 X선 발생장치

X선은 X선관이라고 하는 진공관에서 발생한다. X선관에는 -극과 +극이 봉입되어있다. -극은 텅스텐 재질의 필라멘트로서 전류에 의해 가열되면 열전자를 방출한다. +극에 고전압을 가하게 되면 -극의 전자류가 +극을 향해 고속으로 운동하게 되며, 텅스텐, 폴리브텐 등으로 만들어진 대향극에 충돌시키면 X선을 방출하게 된다.

1) 관전압

관전압은 X선관에서 X선을 발생시키기 위해 +극에 가한 고전압을 의미하며, 관전압의 크기가 X선 광자에너지의 크기를 결정한다. 따라서 관전압이 적으면 물체를 충분히 투과하지 못해 화질의 저하를 일으킨다. 반대로 관전압이 크면 물체를 투과한 X선량이 과다하여 영상물의 대조도가 감소하게 된다. 따라서 물체에 따른 적절한 관전압을 설정해야 한다.

2) 관전류

관전류는 +극에서 -극으로 흐르는 전류를 의미하며, 관전류의 크기가 광자량을 결정한다. 관전류의 양은 관전류(mA)와 조사시간(s)의 곱인 mAs 단위를 사용한다. 물체에 따라 적절한 관전류를 설정해야 영상물의 노이즈를 줄일 수 있다.

본 연구에서는 의료분야에서 일반적으로 사용되는 DRGEM社의 GXR-S를 사용하여 적절한 DPF 영상물을 취득할 수 있었다. X선 발생장치의 제원을 Table 1에 표기하였다.

2.1.2 IP (Imaging plate)

물체를 투과한 X선을 감지하는 판 형태의 디지털 센서로서 기존의 X선 필름에 비해 정량성이 뛰어나고 100배 이상의 감도를 지니고 있다. 또한 판 위의 데이터의 소거

Table 1 Specifications of the X-ray system

System model	GXR-S
Output rating	52 kW
kV range	40 ~ 150 kV, 1 kV step
mA range	10 to 640 mA
Timer range	0.001 to 10 sec, 38 steps
mAs range	0.1 to 500 mAs

가 가능하여 반복 사용이 가능하다.

본 연구에서는 KONICA MINOLTA 社의 Regius CR Cassette를 사용하였으며, 규격은 10×12 inch 이다.

2.1.3 CR Reader

CR Reader에 X선량이 축적된 IP를 삽입하면 CR Reader에서 레이저빔이 나와 축적된 X선량에 비례하는 광신호가 방출된다. 발생된 광신호를 전기적 신호로 변환 및 증폭 후 A/D 변환하여 컴퓨터로 전송하여 영상물을 획득한다.

본 연구에 사용된 CR Reader는 KONICA MINOLTA 社의 Regius model 110이며, 제원을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Specifications of the CR reader

Sampling pitch	87.5/175 μm
Maximum resolution	4020 × 4892
Digital gradation level	4096 levels (12bit)
Processing capacity	approx. 61 ~ 80 plates/hour

2.2 실험방법

본 연구에서의 X선 촬영은 실험실 환경에서 진행되었으며, 운행차로부터 탈거된 총 13개의 DPF 샘플에 대해 촬영을 진행하였다. Fig. 3과 같이 탈거한 DPF를 IP위에 위치시키고 상부에서 X선을 조사한 후 CR Reader를 통해 영상물을 획득하였다. 영상물 획득 과정에 대한 도식은 Fig. 4에 나타내었다.

운행차로부터 탈거된 13개의 DPF 중 2개는 세단 승용차용, 2개는 SUV용, 9개는 트럭에 장착되었던 Retrofit DPF로



Fig. 3 The DPF removed from the vehicle in use

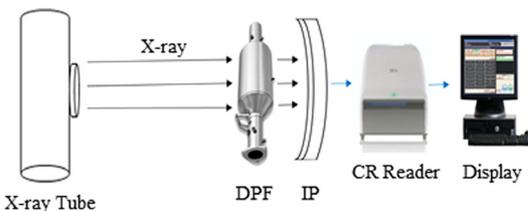


Fig. 4 The schematic diagram of CR X-ray system



Fig. 5 DPF samples used in this study

Table 3 The establishment of irradiation conditions

Tube voltage	70 ~ 125 kV	
Tube current	10 ~ 64 mAs	
Irradiation distance	1 m	
Classification of DPF	Sedan	2 EA
	SUV	2 EA
	Retrofit	9 EA

장착되었던 차종에 따라 크기와 형상이 다르다(Fig. 5). 따라서 명확한 영상물을 취득하기 위해 DPF의 크기에 따른 적절한 관전압 및 관전류 수준을 파악할 필요가 있다.

각 DPF에 따른 최적 촬영조건을 파악하기 위해서 촬영거리는 동일하게 1 m로 하였다. 이후 관전압을 70 ~ 125 kV, 관전류를 10 ~ 64 mAs로 변화시켜가며 최적의 촬영조건을 수립하였다. 상기 실험조건을 정리하여 Table 3에 나타내었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 DPF의 크기에 따른 최적 촬영조건

각 DPF의 크기에 따른 최적 촬영조건을 파악하기 위해 관전압과 관전류를 변화시켜가며 촬영을 진행하였으며, 촬영한 영상물을 통한 최적 촬영조건 수립 과정을 Table 4에 나타내었다.

영상물은 흑색, 백색과 그 사이의 무채색으로 나타나게 되며, 물체를 투과하여 IP에 도달한 광자의 수가 많을수록 흑색을 띄게 된다. Table 4의 DPF는 세단 승용차에 장착되는 소형 DPF(Fig. 5의 Sedan DPF-①)이다. 70 kV, 10 mAs 조건으로 촬영한 영상물에서는 관전압의 부족으로 X선이 물체를 거의 투과하지 못하여 DPF 대부분이 백

Table 4 The establishment process of the optimum irradiation conditions

Current Voltage	10 mAs	20 mAs
70 kV		
90 kV		
100 kV		

색으로 나타난 것을 확인할 수 있다. 관전류를 20 mAs로 증가시켜 촬영 시 DPF의 내부가 보일 정도로 영상물이 나타났으나 조건 부족에 의한 노이즈로 인해 DPF의 경계면 부분이 거칠게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 관전압 90 ~ 100 kV, 10 ~ 20 mAs의 영상물에서는 X선 에너지 증가에 의해 화질이 개선되었으며 DPF 내부 담체의 종방향 패턴도 관찰 가능했다. 관전압 100 kV, 관전류 10 mAs의 영상물에서 담체 내부의 종방향 패턴을 가장 선명히 관찰할 수 있었으며, DPF의 경계면 또한 명확하게 구분 가능하여 해당 DPF에 대한 최적 촬영조건인 것으로 판단했다.

동일한 과정을 통해 세단 승용차에 장착되는 2개의 DPF는 관전압 100 kV, 관전류 10 mAs, SUV에 장착되는 2개의 DPF는 관전압 120 kV, 관전류 20 mAs, Retrofit DPF 9개는 양산차 DPF에 비해 크기와 두께가 비교적 크므로 관전압 125 kV, 관전류 64 mAs에서 최적의 영상물을 획득할 수 있었다. 각 DPF 별 수립된 최적 촬영조건 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Results of the optimum irradiation conditions

	Sedan	SUV	Retrofit
Tube voltage	100 kV	120 kV	125 kV
Tube current	10 mAs	20 mAs	64 mAs
Irradiation distance	1 m		

3.2 최적 촬영조건에서 취득한 영상물 분석

DPF는 여러 가지 유형으로 파손될 수 있다. 파손 유형으로는 담체에 금이 가는 Crack, 담체 내부가 용융되는 Melting, 담체의 채널들 간에 통로가 생겨 미립자가 여과되지 않는 Broken channel, 담체의 Plugging 부분이 파손되는 Plugging 파손, DPF 내부의 담체가 전체적으로 밀리는 유형, 담체가 중공형태로 파손되는 중공파손 등으로 매우 다양하다. CR X선 촬영 시 정상적인 담체는 영상물에서 담체 고유의 종방향 패턴만 나타나는 반면에 파손이 존재하는 담체는 고유 패턴 외에도 다른 형태의 패턴이 나타난다. 정상 담체 및 파손 담체의 영상물 비교를 Table 6에 나타내었다. 본 연구에서 입수한 총 13개의 DPF에 대해 촬영한 결과 담체 고유 패턴 이외에 관측되는 패턴이 존재하였으며, 이를 Crack, Melting, 중공형태 파손으로 판단하였다.

Table 6 The image comparison of normal substrate and damaged substrate

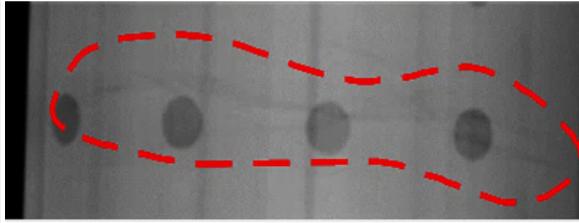
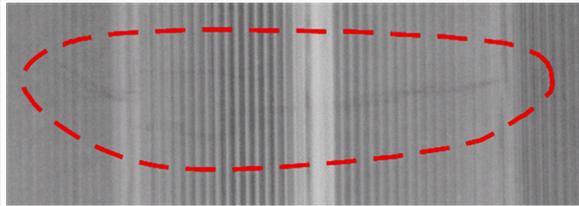
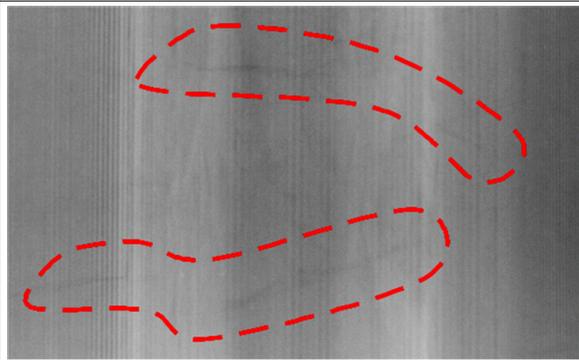
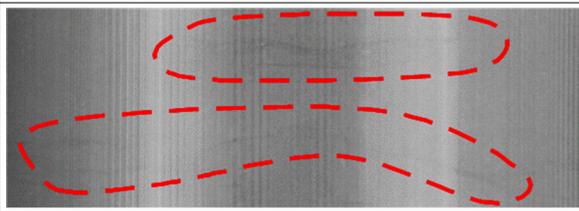
Normal substrate
Damaged substrate (Crack)

3.2.1 Crack 파손

SUV용 DPF(Fig. 5의 SUV DPF-①) 1개와 Retrofit DPF(Fig. 5의 Retrofit DPF-①~③) 3개에서 Crack 파손으로 추정되는 부위가 발견되었으며, 이에 대한 영상물을 Table 7에 나타내었다.

영상물에서 백색에 가까울수록 물체의 밀도가 높다. 즉, 흑색으로 나타난 부위는 밀도가 낮은 것이며, 이는 해당

Table 7 The X-ray images of crack damage

SUV DPF-①

Retrofit DPF-①

Retrofit DPF-②

Retrofit DPF-③


부위가 비어있다는 것을 의미한다. 따라서 X선이 해당 부위를 쉽게 투과하여 광자가 IP에 많이 도달하였으므로 흑색으로 나타나는 것이다. Table 7에 제시된 영상물에서 담체의 종방향 채널 패턴을 확인할 수 있으며, 채널 패턴에 수직하는 방향으로 흑색의 실선 형태를 관찰할 수 있다. 이를 Crack 파손으로 가정하고 이를 검증하기 위해 실제 Crack을 육안으로 확인할 수 있는 담체를 촬영하여 영상물을 비교하였다. Crack 파손 담체의 실물사진과 영상물을 Fig. 6에 나타내었다.

실제 Crack 파손이 존재하는 담체의 영상물에서도 동일하게 종방향 채널 패턴에 수직하는 방향으로 흑색 실선 형태를 확인할 수 있었다. 따라서 SUV용 DPF 1개와 Retrofit 3개의 DPF에 Crack 파손이 발생했다고 판단하였다.



Fig. 6 The cracked substrate and the X-ray image

3.2.2 Melting 파손

SUV용 DPF(Fig. 5의 SUV DPF-①) 1개와 Retrofit DPF(Fig. 5의 Retrofit DPF-④~⑦) 4개의 영상물에서 Melting 파손으로 추정되는 부위를 확인하였으며, 이를 Table 8에 나타내었다.

Table 8 The X-ray images of melting damage

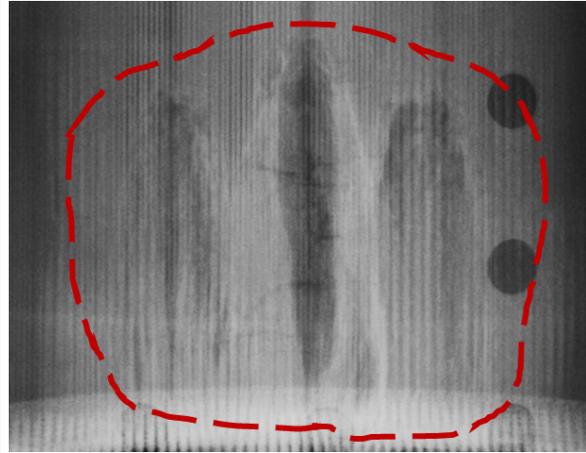
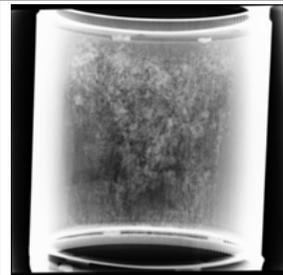
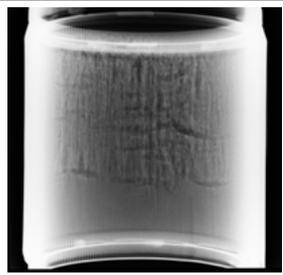
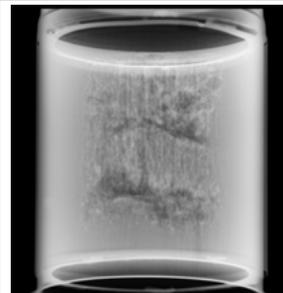
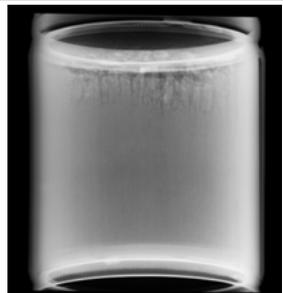
SUV DPF-①	
	
Retrofit DPF-④	Retrofit DPF-⑤
	
Retrofit DPF-⑥	Retrofit DPF-⑦
	



Fig. 7 The melted substrate of retrofit DPF

영상물에서 담체의 종방향 채널 패턴이 심각하게 훼손되어 비정상적인 패턴으로 변형된 것을 확인할 수 있어 이를 Melting 파손으로 추정하였다. 이를 검증하기 위해 촬영을 진행했던 Retrofit DPF의 Canning을 제거하여 내부의 담체를 추출하였으며, Melting 파손이 잘 보이도록 담체를 절단하여 횡단면을 관찰하였다(Fig. 7). 실제 담체에서 심각한 Melting 파손이 일어났음을 육안으로 확인할 수 있었으며, 담체의 Honeycomb 구조가 심각하게 훼손되었음을 확인할 수 있었다.

3.2.3 중공파손

세단 승용차에 장착되는 DPF(Fig. 5의 Sedan DPF-②)의 영상물에서 중공파손으로 추정되는 부위를 확인하였으며, 이를 Fig. 8에 나타내었다.

영상물에서 종방향으로 밀도가 작은 부분이 짙은 흑색으로 나타났으며, 이를 담체에 비어있는 부분이 있다고 판단하여 중공파손으로 추정하였다. 이를 검증하기 위해 DPF의 Canning을 제거하여 실제 파손 부위를 육안으로 확인했다. 실제 담체의 전단부에서 후단부에 이르기까지 중공파손이 형성되어있음을 확인하였으며, 담체의 중공파손 부위를 Fig. 9에 나타내었다.

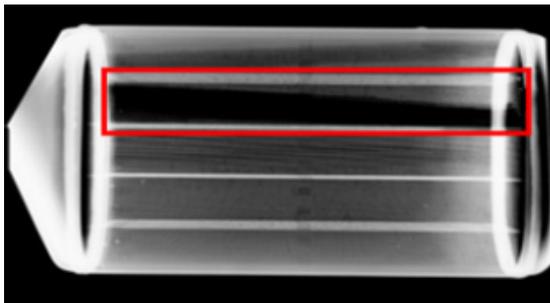


Fig. 8 The X-ray image of hollow damage



Fig. 9 The sedan DPF substrate with hollow damage

3.3 검증 결과 정리 및 고찰

Crack 파손의 경우 채널 패턴에 수직인 방향으로 흑색 실선 형태가 나타났다. Melting 파손은 채널 패턴이 훼손되어 비정상적인 패턴을 형성하였다. 중공파손은 영상물에 중공 형태의 상실부가 짙은 흑색으로 나타나는 것을 확인했다. 따라서 본 연구를 통해 Crack, Melting, 중공파손 DPF에 대해 CR X선 촬영기법을 활용하여 파손 여부의 판단이 충분히 가능할 것으로 판단된다. 하지만 현재의 연구 결과로는 정성적인 진단만이 가능하여 객관성을 갖추기 어렵다는 한계를 지니고 있다. 따라서 정량적인 진단이 가능하도록 영상물 내 파손 의심 부위에 대한 Pixel 값 분석 등을 통한 파손 정량화 연구가 추가로 진행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 충분히 많은 데이터가 필요하다. 추가적으로 본 연구에서 다루지 못한 파손 유형에 대한 영상물 취득 및 검증 작업도 이루어져야 할 것이다.

본 기술은 정기검사 시 검사소에서 DPF의 파손 판정을 통한 교체 권고 조치로 환경에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 클리닝 및 재제조 업체에서 촬영을 통해 DPF가 클리닝 작업을 통한 지속 사용이 가능한 상태인지, 혹은 재제조 작업을 수행해야 하는 상태인지 판단할 수 있는 등의 다양한 용도로 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 휴대용 X선 발생장치 및 구부러질 수 있는 Flexible IP 등이 이미 국내에서 양산품으로 판매되고 있어 기술 접근 및 활용 또한 양호한 것으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 세단 승용차, SUV, Retrofit DPF에 대해 선명한 영상물 취득을 위한 촬영조건을 수립하였다. 각각 100, 120, 125 kV에서 최적의 영상물을 취득할 수 있었다. 따라서 해당 DPF와 유사한 규격을 가진 DPF의 경우 80 ~ 150 kV의 관전압으로 최적의 영상물 취득이 가능할 것으로 판단된다. 본 연구에서 다루지 못한 대형 버스·

트럭에 장착되는 DPF는 큰 크기와 두께로 인해 최소 150 kV 이상의 관전압을 낼 수 있는 출력이 필요할 것으로 예상된다.

- 2) DPF의 3가지 파손 유형에 대한 영상물의 검증을 진행했다. Crack 파손은 담체 내 채널 패턴과 수직한 방향으로 흑색 실선 패턴이 형성됨을 확인했다. Melting 파손은 채널 패턴이 훼손되어 비정상적인 패턴을 형성하는 것을 확인했다. 중공파손은 담체 내부 중공 형태의 상실부가 짙은 흑색으로 나타나는 것을 확인했다.
- 3) 현재의 연구 결과로는 파손 여부에 대한 정성적인 진단이 가능하였으나 정확한 진단을 위해서 정량화 연구가 진행되어야 할 것이다. 특히 해외의 선행 연구와 같이 축적 Ash의 양과 휘도와의 관계를 정량화한 기법, Pixel 값을 통한 이미지 분석 등이 필요하다. 또한 추가적으로 본 연구에서 다루지 못한 파손 유형에 대한 영상물 취득과 검증 작업을 진행할 예정이다.

후 기

본 논문은 환경부 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER NO. SP2018-263). 또한 산업통상자원부 ‘산업전문인력역량강화사업’의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2019년 미래형자동차 R&D 전문인력 양성사업, 과제번호: N0002428).

References

- 1) Ministry of Environment, Comprehensive Measures for Particulate Matter Management, http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=30&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=10259&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=7053, 2019.
- 2) G. Y. Park, M. J. Kwon, J. Y. Jung, H. Y. Song, K. H. Kim and S. W. Lee, “A Study on the Performance Change of SCR System for Heavy-Duty Diesel Vehicles,” Transaction of KSAE, Vol.27, No.5, pp.405-409, 2019.
- 3) W. S. Kim and J. A. Kim, Policy Options to Manage High-pollution On-road Diesel Vehicles Based on Excessive Emission Grades in Seoul, The Seoul Institute, <http://www.si.re.kr/node/55652>, 2019.
- 4) W. Y. Rah, “PM Reduction Efficiency using Metal Type DPF,” Transaction of KSAE, Vol.21, No.5, pp.176-180, 2013.
- 5) X. Zhang, P. Tennison and T. Schram, “3D Numerical Study of Pressure Loss Characteristics and Soot Leakage Through a Damaged DPF,” SAE 2009-01-1267, 2009.
- 6) G. A. Merkel, W. A. Cutler and C. J. Warren, “Thermal Durability of Wall-Flow Ceramic Diesel Particulate Filters,” SAE 2001-01-0190, 2001.
- 7) Y. Usui, Y. Ohashi, K. Morimoto, J. Kusaka, T. Fukuma, T. Kitamura, M. Matsuno, Y. Takeda and K. Kinoshita, “Ash Accumulation and Transport in Diesel Particulate Filters (First Report) -Quantification of Ash Accumulation Density Distribution by X-ray CT Imaging-,” Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.49, No.6, pp.1193-1198, 2018.
- 8) M. Matsuno, T. Kitamura, Y. Usui, J. Kusaka, T. Fukuma, Y. Takeda and K. Kinoshita, “Ash Accumulation and Transport in Diesel Particulate Filters (Second Report) -Impact of Active Regeneration Frequency on Ash Distribution-,” Transactions of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.49, No.6, pp.1199-1204, 2018.
- 9) D. Y. Jin, C. L. Myung, J. H. Kim and S. S. Park, “Physicochemical Analysis of Two Aged Diesel Particulate Filters Placed at Close Coupled and Under Floor Positions of the Vehicles,” Int. J. Automotive Technology, Vol.20, No.2, pp.327-335, 2019.