



미립자 금속 촉매 방식 배기가스 후처리장치 재제조 공정 연구

유성주^a, 송현석^{a,*}, 문정진^a, 김형준^b, 강정호^c, 김훈명^c

Investigation of the Remanufacturing Process of Particulate Metal Catalyst-type Diesel Filters

Seong Ju Yoo^a, Hyun Suk Song^{a,*}, Jeong Jin Moon^a, Hyong Jun Kim^b, Jung Ho Kang^c, Hoon Myung Kim^c^a Reliability Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute^b R&D Department, Dongah ENC^c Alternative Fuel Power System R&D Department, Korea Automotive Technology Institute

ARTICLE INFO

Article history:

Received	8	June	2023
Revised	28	July	2023
Accepted	4	August	2023

Keywords:

Remanufacturing
PMC
PM
Process

ABSTRACT

Developing an efficient remanufacturing process that mitigates severe failure in particulate metal catalysts (PMCs) is necessary to reduce environmental pollution (e.g., CO₂ emission) and manufacturing costs. In this study, a PMC remanufacturing process was developed by classifying the failures exhibited by a used PMC into four levels, followed by determining the feasibility of remanufacturing the PMC. The developed remanufacturing process consisted 11 steps according to the failure levels of the used PMC. The performance of a new PMC and that of the PMC remanufactured by our proposed method were evaluated and compared. PMC remanufacturing is an eco-friendly technology that involves less production steps, reduces raw-material consumption, reduces environmental pollution, and aids in resource saving.

1. 서론

최근 탄소중립법이 제정되면서, 자동차 업계에서는 온실가스의 감축과 자동차 배출가스의 최소화를 위하여 하이브리드 자동차, 전기 자동차, 수소 자동차 등 다양한 친환경 자동차들을 출시하고 있다. 특히 자동차 배출가스 저감을 위하여 경유 자동차를 친환경 자동차로 대체하는 방법이 제안된다.

그러나 국토교통부 자료(2021년 12월 기준)에 의하면, 등록된 승합, 화물, 특수 그룹의 경유 자동차 비율은 90% 수준으로 경유 자동차를 친환경 자동차로 교체하기는 쉽지 않다. 국내 H사의 1톤 전기 트럭^[1]은 내연기관 트럭^[2]보다 구매비용이 약 2.4 배 이상 높다. 뿐만 아니라, 2023년 3월 서울특별시의 전기 자동차 정부지

원금 기준으로, 내연기관 트럭보다 전기 트럭의 구매비용이 50% 이상 높다. 따라서 비용적인 측면에서 경유 자동차를 친환경 자동차로 교체하는 것은 어렵다.

이에 서울시에서는 2008년부터 2015년까지 배출가스 저감장치 부착사업을 진행하였다. 그 결과, 미세먼지와 입상물질(PM, particulate matter) 배출량을 최대 약 22% 까지 저감하였다^[3]. 이러한 환경 문제와 대기 오염을 개선하기 위하여 경유차 기관의 매연 배출 억제 관련 연구들과 매연 저감 장치에 관한 선행연구^[4-7]들이 진행되었다.

매연 저감 장치는 재질에 따라 분류되고, 매연 저감 효과도 다소 차이가 있다. 경유차 미립자 필터(DPF; diesel particulate filter)는 세라믹 재질로 구성되고, 미립자 금속 촉매(PMC; particulate

* Corresponding author. Tel.: +82-41-559-3145

E-mail address: songhs@katech.re.kr (Hyun Suk Song).

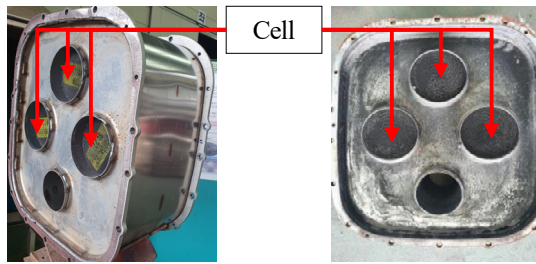


Fig. 1 New(L) and used(R) PMC's filter : The pollution comparison

metal catalyst)는 금속 재질로 구성된다. 이러한 DPF와 PMC의 매연 저감률은 각각 약 90%와 50% 이상으로, DPF가 매연 저감 효과가 우수하다. 2015년 이후 생산된 유로-6 상용차부터는 DPF를 적용하였으나, 2015년 이전 생산된 유로-4, 유로-5(2008~2014년) 상용차는 배기 규제가 낮은 PMC를 적용하였다.

국토교통부의 자료에 의하면, 2023년 02월에 등록된 PMC가 적용되는 유로-4, 유로-5 상용차는 137만 대 이상이다. 이러한 중대형 상용 자동차는 일반 승용차에 비하여 폐차 주기와 주행 거리가 길다. 연식이 오래된 노후 차량의 PMC는 미세 먼지와 타고 남은 재 등으로 필터가 막혀서 매연 저감 성능이 현저히 저하된다. Fig. 1에서 PMC의 신품(좌)과 사용 후고품(우)을 비교해 보면, 고품의 경우 배출가스로 인한 오염이 확인된다.

Fig. 1의 사용 후 고품(우)의 경우, PMC 필터가 막히면 배기 압력 상승으로 엔진출력과 연비가 낮아지고, 엔진 및 주변 부품의 고장 발생이 높아지기 때문에 PMC의 수리 또는 교체가 필요하다. 그러나 최근 PMC 교체를 위한 수리 부품의 공급이 원활하지 못한 실정이다. 이는 원자재의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라 제조업 특성과 불안한 국제 정세에 의한 원자재 공급이 원활하지 못하여 발생된다. 그러므로 안정적인 PMC 수리 부품의 수량을 확보하기 위하여 PMC 재제조가 요구된다. 또한 PMC 재제조는 신규 PMC 부품의 생산에 따른 탄소 배출량을 저감하기 위한 방법이므로, 환경위기 문제도 해결할 수 있는 기술이다.

국내 PMC 재제조 현황을 보면, 일부 업체에서는 고압수로 PMC의 내부 필터만 세척하는 단순 공정으로 구성된다. 현재 PMC 재제조 공정은 재활용 가능 사용품(고품)의 재제조 가능 여부 판정 공정도 없고, 세척 공정 후 최종 출하 품질 검사 공정도 없다. 또한 세척 공정에서 발생할 수 있는 촉매 손상과 부식 등에 대한 잠재고장 분석도 실시되지 않는다.

이에 본 연구에서는 첫 번째, 재활용 가능 PMC 고품의 고장 수준을 분류하고, 재제조 가능 여부를 판정하는 절차와 방법을 개발한다. 두 번째, 고장 수준에 따른 고품의 PMC 재제조 공정을 11 단계로 구성하고, 공정별 수행 방법을 제안한다. 마지막으로, 재제조 완성품의 최종 출하 품질 검사를 위하여 PMC 성능 평가 기준을 신품 기준으로 제안하고 신품 대비 재제조품의 성능도 검

증한다.

2. PMC 재제조 공정 기술 개발

자원을 재활용하기 위한 방법에는 재생(recycle)과 재이용(reuse)이 있다. 재생은 고품 회수 후 초기 자원으로 되돌리는 자원순환 방법으로, 환경적 측면에서 장점이 있지만 많은 시간과 비용이 발생한다는 단점이 있다. 재이용은 고품 성능이 다소 떨어지더라도 다시 사용하는 방법이다. 재이용의 비용은 저렴하지만, 제품의 성능이 검증되지 않아 해당 제품에 대한 신뢰성이 확보되지 않는다. 따라서 환경과 비용을 고려한 재제조(remanufacturing) 기술이 요구되고 있다.

재제조란 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조제2호에 따른 재활용가능자원을 「폐기물관리법」 제2조제7호에 따른 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동이다. 재제조 제품이나 부품은 신품 대비 약 90% 이상의 성능^[8]을 얻을 수 있고, 신품 생산 대비 탄소 저감으로 환경친화적인 생산 환경을 구축할 수 있다. 또한 신품 제조 원가 대비 재제조 원가가 낮아져 경제적인 효과도 있다^[9].

재제조 공정은 분해·세척·검사·보수·조정·재조립의 공정을 거쳐 원래의 성능 또는 그 이상의 성능을 가진 상태로 만드는 산업활동을 말한다^[10]. 즉, 재제조 공정은 재제조 대상 제품과 회수된 사용 제품의 고장 정도에 따라서 개발되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 재활용이 가능한 PMC를 대상으로 재제조 공정 개발 사례를 연구한다. 이를 위하여 PMC 고품의 고장을 4 수준(4 level)을 분류하고, 재제조 가능 여부를 판정하는 방법을 제안한다. 제안된 고장 수준에 따른 고품의 PMC 재제조 공정을 11 공정으로 구성하고, 공정별 수행 방법을 제안한다. 재제조 완성품을 출하하기 위해서는 최종 품질 검사가 실시되어야 한다. 이 때 요구되는 PMC 성능 평가 기준을 신품 기준으로 제안하고, 신품 대비 재제조품의 성능도 검증한다.

2.1 PMC 재製조를 위한 고장 판정 기준

PMC 재製조를 위한 고장을 판정하기 위하여 신뢰성 기법인 '고장 모드와 영향 분석(FMEA, failure mode & effect analysis)'를 실시한다. 그 결과 PMC의 고장 모드에는 경유가 연소할 때 발생하는 PM이 PMC에 축적되어 발생하는 배압 과다와 PMC의 배기압력이 급격히 상승되어 촉매 성능이 저하되는 고장 등이 있다. 이러한 PMC 고장 모드는 엔진 성능과 연비를 저하시키고, 심한 경우 자동차 화재^[11,12]의 원인이 되어 인명피해로 이어질 수 있다.

한편 FMEA를 실시할 때 '위험 우선순위(RPN, risk priority number)'를 평가할 수 있다. 이러한 RPN을 이용하여 PMC 고장

Table 1 Used PMC's failure levels and judgment criteria

Failure level		Judgment criteria
Level 1	Exterior problem	It must satisfy standard the performance specifications or, if there is no standard, there must be no deformation or cracks on the exterior.
Level 2	When the back pressure is high	It must satisfy standard the performance specifications or, if there is no standard, the back pressure under 120% than new product.
Level 3	When the catalysis temperature is low	It must satisfy standard the performance specifications or, if there is no standard, the temperature(T1, T2) is more than 90% of the new product in 10 minutes after cell heating. T1 : 5 cm from the rear of the cell T2 : 10 cm from the front of the cell
Level 4	PM reduction rate	It must satisfy standard the performance specifications or, if there is no standard, more than 90% PM reduction rate compared to new products.

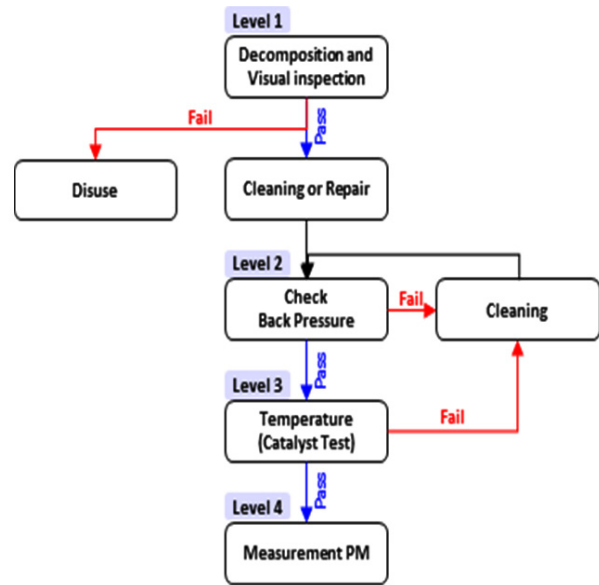
을 4 수준으로 다음과 같이 선정하고, 수준별 고장판정 기준을 Table 1과 같이 제시한다.

- 1 수준(1 level) : 외관 불량(exterior problem)
- 2 수준(2 level) : 배압 과다
(when the back pressure is high)
- 3 수준(3 level) : 촉매 성능 저하
(when the catalysis temperature is low)
- 4 수준(4 level) : PM 정화 성능 저하(PM reduction rate)

4 수준의 PMC 고장을 판정하는 방법은 단계별로 진행되고, 단계별 수행 절차는 Fig. 2와 같이 제안한다.

1 단계는 육안 검사 방법으로, 1 수준의 고장인 외관 불량을 판정하기 위한 단계이다. PMC 고품을 회수하여 커버를 분해하고 육안검사를 진행하여 제품에 변형 및 균열을 확인한다. PMC 고품에 변형 및 균열이 없고, 모든 요소가 고정되어 정상 작동할 수 있으면 재제조가 가능하다. 만약 PMC 고품의 케이스가 심하게 찌그러졌거나, 플랜지 부식으로 5 mm 이상 얇아진 상태, 홀 훼손, 고의로 구멍 낸 상태 등이 육안으로 확인되면 재제조가 불가능하여 폐기한다.

2 단계는 '1 단계 외관 검사'를 통과한 고품을 대상으로 배압을 측정하는 단계이다. 배압 측정은 셀의 내부 델팅 여부와 이물질, 찌꺼기, 재 등의 소결로 인한 문제를 확인할 수 있다. 배압의 차이가 크면 차량의 출력과 연비가 저하되므로, 배압의 차이는 낮은 수준을 유지해야 한다. PMC는 정상 작동을 위하여 셀 내부에서 배기가스가 원활하게 흘러 PM이 필터에 포집되고, 백금계열(Pt,

**Fig. 2** Decision making procedure of failure levels for used PMC**Fig. 3** Photo of measurement system for back pressure

Rh, Pd)의 촉매를 통해 산화가 이뤄진다. 이를 근거로 셀의 내부 배압(mbar)을 측정하는 압력 강하 시험을 진행하여 촉매의 고장을 예측한다. Fig. 3은 PMC 배압을 측정하는 방법으로, 배압 측정기의 토출구는 유체(공기)가 누설되지 않도록 셀과 밀착되게 세팅하여 측정한다.

본 연구에서는 PMC 배압은 신품과 고장품을 대상으로 측정하

Table 2 New and used PMC's : The back pressure comparison

Flow rate (m ³ /h)	Back pressure (mbar)	
	New	Used
100	1	180
200	3	633
350	7	1,535
400	9	2,200
500	21	3,091
750	35	-
1,000	64	-

였고, Table 2와 같이 고장품은 낮은 유량에서 실패 대비 매우 높은 배압이 걸리는 것을 확인하였다.

3 단계는 ‘촉매 성능 저하’ 고장을 판정하기 위한 단계이다. 촉매 성능은 차량 운행은 가능하나 출력이 떨어지는 실패 대비 약 90% 미만을 고장으로 판정한다.

4 단계는 PMC의 PM 정화 성능을 평가하는 단계이다. PMC의 PM 정화 시험에서 저감률이 실패 대비 90% 미만이면 고장으로 판정한다.

2.2 PMC 재제조 공정 절차 및 기술

본 연구에서는 재활용이 가능한 PMC 고품의 고장을 4 수준으로 분류하고, 고장 수준에 따른 고품의 PMC 재제조 공정 절차를 11공정으로 Fig. 4와 같이 제안한다.

1 공정은 입고(used warehousing) 공정으로써, 사용 후 회수된 고품 PMC가 입고되는 공정이다. 입고 시 제조사, 모델명, 제조연월 일 등의 정보를 수집하여 분류하고 기본 세척 후 관리하도록 한다.

2 공정은 외관검사를 통해 심하게 찌그러지거나 플렌지와 홀의 파손 등을 확인하여 사용과 폐기 여부를 확인하는 공정이다. Fig. 5와 같이 PMC의 셀이 멜팅되었거나 손상되었을 경우, 부분적 제거 및 해체가 불가하여 고장 부위를 컷팅하고 셀 교환작업을 실시한다. 손상된 셀은 PMC에서 분리하고 제거한 후 실패 셀로 교체하고 용접에 의한 접합을 한다.

3 공정은 세척 및 수리(cleaning and repair) 공정이다. 세척은 전용 버너를 이용하여 셀 내부에 고열과 바람 주입하여 불완전연소로 인해 셀에 축적된 오일, 이물질, 찌꺼기 등을 제거하여 셀 내부를 청결하게 만든다. 셀 교환이 이루어지지 않은 1 수준(1 level)의 고장과 배압이 높은 2 수준(2 level)의 고장도 절차에 따라 3 공정을 진행한다. 2 공정에서 분해된 셀을 전용 버너에 넣고 PMC 셀이 녹지 않는 온도인 500 ± 50 °C 수준으로 가열하여 축적된 오일, 이물질, 찌꺼기 등을 제거한다.

4 공정은 배압 확인(check back pressure) 공정이다. 제 3 공정을 거친 PMC와 실패품을 압력 강하 시험기를 이용하여 0~1000 m³/h으로 5분간 공기를 송출시켜 800 ± 10 m³/h 유량에서의 압력을 비교하여 압력 변화율을 산출한다.

5 공정은 온도 측정/촉매시험(temperature/catalyst test) 공정이다. 이물질 퇴적량이 많은 경우 촉매 온도가 올라가지 않고, 촉매에 불이 붙지 않아 불완전연소가 지속되어 이물질이 다시 누적되는 악순환이 반복된다. 따라서 온도 성능과 배압 성능 기준을 만족하지 못한 제품도 다시 재제조 공정을 진행하도록 한다. 3 공정에서 진행한 재제조 작업은 적정온도 이상의 고온에서 오랜 작업 시 셀이 녹아 사용하지 못할 수 있으므로 단계별 각 1회씩 총 2회로 제한하며 반복으로 인한 셀 파손 및 손상 시 해당 셀을 교체한다.

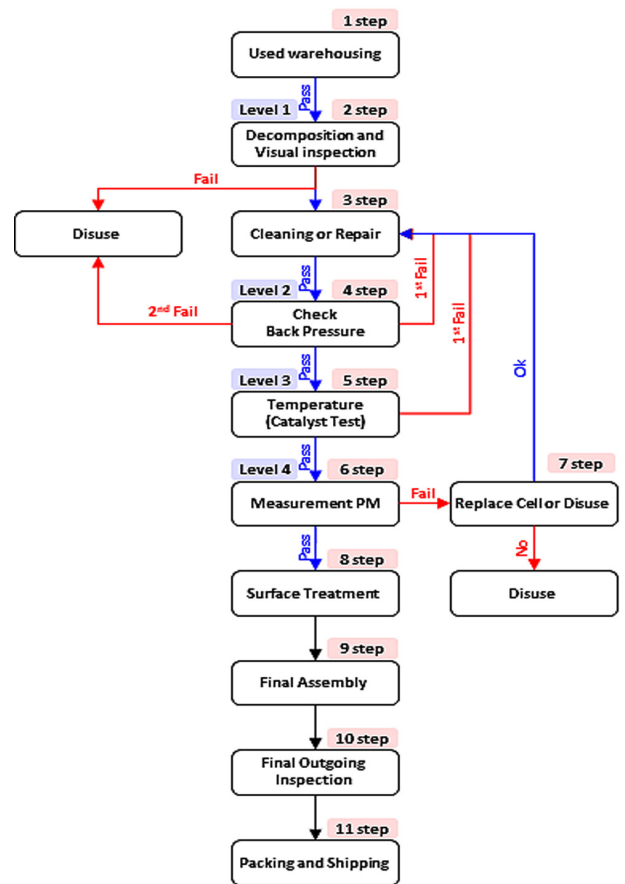


Fig. 4 Procedure of remanufacturing process by failure levels of used PMC

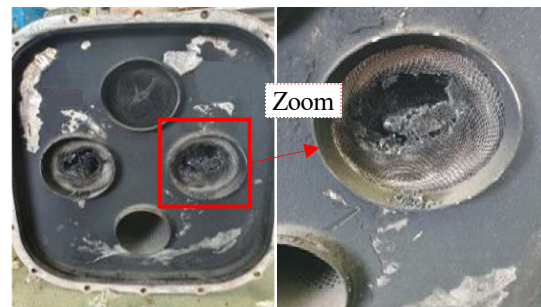


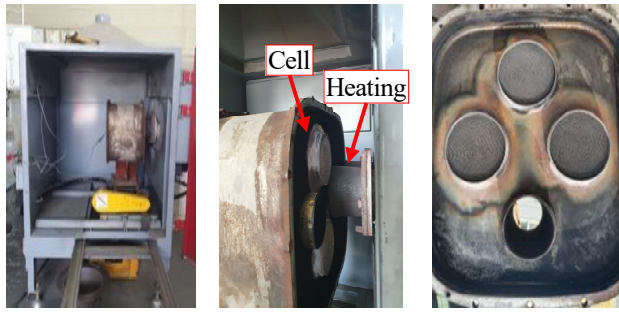
Fig. 5 Melted cells of used PMC

Fig. 6은 전용 버너에 고품을 넣고 재제조 작업을 진행하는 사진과 결과물이다.

6 공정은 PM 측정(measurement PM) 공정이다. PM 저감률을 측정하고, 실패 성능 대비 90% 미만의 고품은 셀을 교체하거나 폐기 처리한다.

7 공정은 셀 교환 또는 폐기(replace cell or disuse) 공정이다. 경제성을 고려하여 고장 셀 수량이 70% 이하일 경우 셀 교환을 실시하며, 70% 상일 경우 폐기한다.

8 공정은 표면 처리(surface treatment) 공정이다. 고장을 개선



(a) Cleaning burner (b) Cleaning process (c) Cleaned PMC

Fig. 6 Photo of cleaning process using burner

한 재제조 PMC를 상품화하기 위하여 샌딩 장비로 녹이나 이물질을 제거하고 추가 녹이 발생하지 않도록 한다.

9 공정은 최종 조립(final assembly) 공정이다. 재제조 PMC를 포함하여 재제조를 위해 분해한 모든 부품을 정상 작동하도록 조립한다. 이때 조립품은 토크 렌치를 사용하여 규격에 맞는 토크로 조립하고, 소모품은 신품으로 교체하여 즉시 사용할 수 있는 신품 상태로 준비한다.

10 공정은 재제조품인 PMC의 최종 출하를 위한 성능 검사(final outgoing inspection) 공정이다. 최종 출하 검사 항목은 배압 성능으로 평가하고, 양품 판정 기준은 신품 대비 90% 이상으로 하여, 90% 미만인 재제조 제품은 출하하지 않는다. 불량으로 판정된 재제조 PMC는 재검사를 통하여 재작업 또는 폐기한다.

11 공정은 포장 및 출하(packaging and shipping) 공정이다. 1 공정부터 10 공정까지 마친 재제조품은 상품화를 위해 포장 및 출하를 준비한다.

3. 재제조 PMC의 성능 검증

재제조품인 PMC의 성능은 배압으로 평가하고, 신품 배압성능 기준으로 90% 이상인 경우 양품으로 판정한다. 단품 배압 성능 결과는 Table 3과 같이 신품 기준으로 재제조품의 성능을 확인하였다. 유량별 배압 비교를 위해 측정된 배압은 유량 기준 비례식으로 환산하였다.

재제조된 PMC 단품 배압 성능시험 이후, 실차 모사를 위하여 D6GA 엔진에 재제조 PMC를 Fig. 7과 같이 장착하여 배기 가스를 측정하였다. Table 4와 같이, THC(총탄화수소)는 D6GA 유로-4 기준인 1.500 g/kWh 대비 0.119 g/kWh 로 측정되었고, PM 수치도 기준인 0.020 g/kWh 대비 0.014 g/kWh 로 측정되었다. 따라서 재제조품 PMC의 배출 가스 성능도 검증되었다.

4. 결 론

자동차 업계에서는 온실가스의 감축과 자동차 배출가스의 최소

Table 3 Comparison of back pressure for new and remanufactured PMC

Flow rate (m ³ /h)	Back pressure (mbar)	
	New	Remanufactured
151.5	1.0	1.9
394.5	8.7	11.3
647.5	32.2	36.9
1,000.0	64.0	71.0



Fig. 7 Photo of exhaust gas test for remanufactured PMC with engine (D6GA)

Table 4 Results of exhaust gas test for remanufactured PMC with engine (D6GA)

Exhaust gas	Euro-4 standard	Remanufactured
THC (g/kWh)	1.500	0.119
PM (g/kWh)	0.020	0.014

화를 위하여 친환경 자동차들을 출시하고 있지만, 기존 내연기관 자동차를 친환경 자동차로 대체하기란 어려운 실정이다. 한편 국내에서는 경유차 기관의 매연을 억제하고자 배출가스 저감 장치 부착사업을 실시하고 있다.

이에 본 연구에서는 노후된 상용 디젤 자동차의 미세먼지 저감을 위하여 재활용이 가능한 PMC를 대상으로 재제조 공정 개발 사례를 연구하였다. 이를 위하여 고품 PMC의 고장들 중 외관 불량은 제 1 수준으로, 배압 과다는 제 2 수준으로, 촉매 성능 저하는 제 3 수준으로, 그리고 PM 정화 성능 저하는 제 4 수준으로 분류하고, 재제조 가능 여부를 판정하는 4 단계 절차와 방법을 제안하였다. 제안된 고장 수준에 따른 고품의 PMC 재제조 공정 순서를 11 단계로 구성하여 제안하였고, 각 단계별 공정 방법을 개발하였다. 재제조 완성품을 출하하기 위해서는 최종 품질 검사가 실시되어야 한다. 이를 위하여 요구되는 PMC 성능 평가 기준을 신품 기준으로 제안하였고, 신품 대비 재제조품의 성능도 검증하였다. 그 결과 PMC 재제조품은 신품 대비 90% 이상의 배압 성능이 확인되었고, 이는 배출가스 기준을 만족하였다. 연구 결과의 객관성과 재현성을 위하여 재제조 PMC의 지속적인 평가가 요구되지만, 재제조 PMC 공정


개발 연구는 친환경 자동차로의 전환 과도기에서 대기환경 개선과 소비자의 경제적 비용 최소화를 기대할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20206410100080)

References

- [1] Hyundai Motors, 2023, viewed 26 July 2023, Truck Porter2 EV Price, <<https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/porter2-electric/price>>.
- [2] Hyundai Motors, 2023, viewed 26 July 2023, Truck Porter2 Price, <<https://www.hyundai.com/kr/ko/e/vehicles/porter2/price>>.
- [3] Seoulsolution, 2017, viewed 26 July 2023, Diesel vehicle exhaust reduction device, <<https://www.seoulsolution.kr/ko/node/6538>>.
- [4] Kim, C. H., Kim, H. C., Lee, H. K., Choi, J. H., 2009, A Study on PM Reduction Performansce Evaluation of Metal DPF for Disel Engine, KSAE 2009 Annual Conference, 905-910.
- [5] Ryu, K. H., Park, J. K., 2018, A Study on the Development of an Aftertreatment System for PM/NOx Reduction in Diesel Engines, J. Power Syst. Eng., 22:4 47-54, <https://doi.org/10.9726/kspse.2018.22.4.047>.
- [6] Yeom, G. I., Han, D. B., Nam, S. H., Baek, Y. S., 2018, A CFD Analysis on DPF for the Removal of PM from the Emission of Diesel Vehicle, Clean Technol., 24:4 301-306, <https://doi.org/10.7464/ksct.2018.24.4.301>.
- [7] Koo, B. S., Kong, J. D., Oh, K. C., Lee, C. B., 2013, PM Sensor for Diesel Vehicle DPF Judgment of the Electrochemical Defects using the Solid Electrolyte and the Metal Oxide Electrode, KSAE 2013 Annual Spring Conference, 484-489.
- [8] Choi, K. Y., Park, H. K., 2010, A Study on the Effectiveness of Remanufacturing Technology for the Catalyzed Diesel Particulate Filter-trap(DPF) Deactivated by Diesel Exhaust Gas, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 32:10 957-964.
- [9] Ko, K. H., Bea, Y. J., Moon, J. Y., Kang, H. Y., Hwang, Y. W., 2019, An Economic Effect Analysis on Remanufacturing Part of Automobile, Resources Recycling, 28:4 37-43, <https://doi.org/10.7844/kirr.2019.28.4.37>.
- [10] National Legal Information Center, 2022, viewed 26 July 2023, Execution of law The Law Promoting the Transition to an Environmentally Friendly Industrial Structure, <<https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=236299&lsId=000323&chrClsCd=010202&urlMode=lsInfoP&viewCls=lsInfoP&efYd=20220420&vSct=&ancYnChk=0#0000>>.
- [11] Yun, D. K., Lee, H. T., Nam, I. W., Kim, Y. H., Yun, J. G., 2019, Case Study of Ignited Vehicle Fire in Exhaust System, KSAE 2019 Annual Autumm Conference & Exhibition, 1289-1293.
- [12] Song, J. Y., Sa, S. H., Nam, J. W., Cho, Y. J., Kim, J. P., Park, N. K., 2012, Analysis on Vehicle Fires Caused by Damage of Diesel Particulate Filter (DPF), Fire Sci. Eng., 26:4 70-76, <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.4.070>.

	<p>Seong Ju Yoo Researcher in the Reliability Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute. His research interests are Certification Exams and Remanufacturing. E-mail: sjyoo@katech.re.kr</p>
	<p>Hyun Suk Song Principal Researcher in the Reliability Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute. His research interest is Component Life Analysis. E-mail: songhs@katech.re.kr</p>
	<p>Jeong Jin Moon Researcher in the Reliability Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute. His research interests are "PHM, Equipment Testing". E-mail: jjmoon@katech.re.kr</p>
	<p>Hyong Jun Kim CEO in the R&D Department, Dongah ENC. His research interests are Exhaust Gas after Treatment System and DPF Cleaning. E-mail: kimhj@dong-ah.co.kr</p>



Jung Ho Kang

Chief Researcher in the Alternative Fuel Power System R&D Department, Korea Automotive Technology Institute. His research interest is Research and Certification Evaluation of ON/OFF-road Environment Improvement Technology Development.

E-mail: jhkang@katech.re.kr



Hoon Myung Kim

Senior Researcher in the Alternative Fuel Power System R&D Department, Korea Automotive Technology Institute. His research interest is Evaluation of the Applicability of Engine Post-processing(exhaust) Technology.

E-mail: kimhm@katech.re.kr