

(옆면)

(앞면)

319100-01

농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증

2020

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(), 비공개(O)발간등록번호(O)

농축산자재산업화기술개발사업 2020년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003316-01

농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증

2020.12.07.

주관연구기관 / (주) 세라컴

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

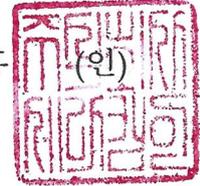
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증”(개발기간 : 2019.08.30 ~ 2020.08.29)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 12. 07.

주관연구기관명 : (주) 세라컴 (대표자) 이 강 홍



주관연구책임자 : 신 병 선

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	319100-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2019.08.30.~ 2020.08.29	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농축산자재산업화학기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증			
	세부 과제명	(해당 없음)			
연구책임자	신 병 선	해당단계 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 천원 민간: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 369,000천원 민간: 123,000천원 계: 492,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주) 세라컴/기술연구소			참여기업명 : 없음.	
국제공동연구	상대국명: 없음.			상대국 연구기관명: 없음.	
위탁연구	연구기관명: 동양물산(주) 연구기관명: 한국자동차연구원 연구기관명: 농업기술실용화재단			연구책임자: 김승동 연구책임자: 강정호 연구책임자: 한태호	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호		○	○								

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

<요약문>

<p align="center">연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후 농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증 시험 ○ PM 90% 이상의 저감율(미세먼지 저감장치 장착 전 대비) (엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하) ○ 시험조건 : ISO8178 C1-8(KC1-8)모드 ○ 공인시험 성적서 발행(공인시험기관 입회) 				
<p align="center">연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 설계 개발/기술력 확보 ○ 시제품 엔진 동력계 시험 및 실증 시험을 통한 개발 제품의 성능 및 신뢰성 확보 ○ 실증 시험 후 미세먼지 저감장치 PM 90% 이상의 저감율 만족(미세먼지 저감장치 장착 전 대비),엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하 만족 ○ 특허출원 1건, 제품화 2건, 학술발표 2건, 교육지도 1건, 정책활동 1건, 홍보전시 1건 				
<p align="center">연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농기계용 디젤 엔진 미세먼지 저감기술에 대한 시험·평가·실증 등을 통하여 입증된 성능 및 신뢰성을 바탕으로 비도로 이동오염원(노후 농기계 부분)의 배출가스 관리 강화 및 국가 미세먼지 저감 정책을 수립에 활용. ○ 농기계 미세먼지 저감장치 개발 및 실증을 통해 노후 농기계에서 배출되는 미세먼지 저감 계획에 기여함으로써 대기오염 개선 ○본 제품에 대한 기술실시(주관기관 : 세라컴)을 통해 기술 확대 및 제품 생산으로 인해 매출 발생으로 인한 지역 경제 활성화가 기대됨. 				
<p align="center">국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p align="center">미세먼지</p>	<p align="center">저감장치</p>	<p align="center">디젤미립자 필터</p>	<p align="center">촉매</p>	<p align="center">디젤엔진</p>

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	5
2. 연구수행 내용 및 결과	27
3. 목표 달성도 및 관련분야 기여도	120
4. 연구결과의 활용 계획 등	123
5. 참고 문헌	124

1장. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발 목적

1. 연구개발 목적

- 디젤엔진을 사용하는 농기계의 미세먼지 저감을 위해 현재 운영 중인 노후 농기계에 대한 배출가스 후처리장치를 개발하고 실증.
- 본 연구는 노후화된 농기계(특히, 콤바인 및 트랙터)에서 배출되는 PM(Particulate Matter)을 제거하는 기술임.
- 엔진 연소 후 가스가 다공성 필터를 통과하며 PM이 포집되며, 포집된 PM은 촉매가 코팅된 필터내에서 자연적으로 산화되거나(자연재생), 제어 로직에 의해 작동되는 버너 및 산화촉매에서 발생하는 반응열을 이용하여 CO₂로 산화(강제 재생).
- 포집된 PM의 재생(연소)방식은 적용하고자 하는 농기계의 배출가스 온도를 조사하고, 이에 따라 적절한 방식을 선정하고 최적화.
- 복합재생방식 : 배출가스 온도 확보가 어려운 저속/저 부하 조건에서 경유버너를 이용한 강제재생, 상대적으로 고온의 배출가스 온도 확보가 용이한 고속/고 부하 조건에서 귀금속이 코팅된 DOC(Diesel Oxidation Catalysts) 및 DPF(Diesel Particulate Filter)를 통해 SOF(Soluble Organic Fraction), HC류(Hydrocarbon Compounds)가 산화되고 포집된 PM이 제거되는 자연재생이 병행되는 복합 재생방식
- 자연재생방식 : 배출가스 온도가 350℃ 이상으로 안정적으로 확보될 경우, 귀금속이 코팅된 DOC 및 DPF를 통해 상기 복합재생방식과 동일한 촉매 반응으로 SOF, HC, PM이 산화되는 방식

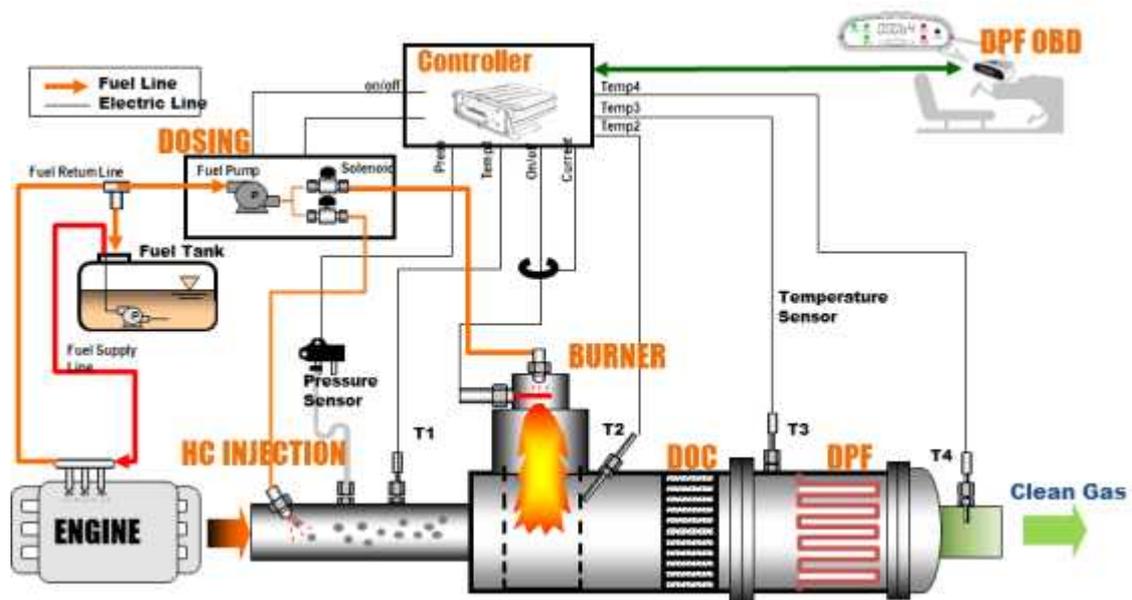


그림 1. 개발 대상 복합재생 방식의 후처리 시스템

2. 핵심 기술

가. 농기계에서 배출되는 PM의 90% 이상을 제거하는 촉매 및 필터

나. 필터내 PM 축적에 의한 압력손실 방지를 위한 최적화된 PM 재생 방법 선정

다. 노후 농기계 배기부에 부착·장착이 용이하도록 compact한 촉매 및 필터 시스템 설계

3. 미세먼지 저감 원리

- 포집 : PM은 아래 그림과 같이 필터 전단면이 교차로 Plugging 된 형태의 Wall Flow Monoliths Type의 필터를 사용하며, 유입된 배출가스가 필터의 미세한 기공을 통해 배출되고 soot 입자는 벽면에 Cake 형태로 축적됨.

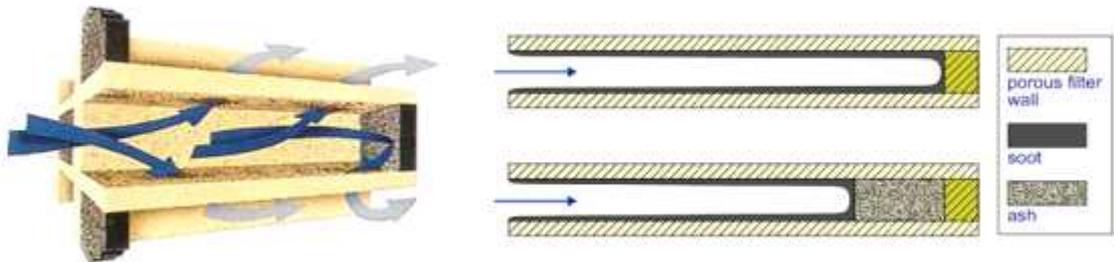


그림 2. DPF 필터 구조도

- 재생 : 농기계의 배출가스 온도는 작업 종류 및 패턴에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 트랙터 및 콤바인의 배출가스의 온도를 조사할 필요가 있음. 농기계 별, 작업 별 배출가스 온도를 파악한 후, 적절한 재생 방식을 선정하여 PM을 산화.

버너가 존재하지 않는 자연재생방식은 버너의 고장에 따른 A/S 등이 없으며 장치의 크기와 가격이 상대적으로 낮음. 하지만 배출가스의 온도가 낮을 경우 PM 재생이 원활하지 못하며, 이로 인해 배압 상승과 함께 엔진에 부하가 발생될 수 있음. 이에 비해 복합재생방식은 버너를 이용하여 PM 재생에 필요한 에너지를 공급받기 때문에 배출가스 온도에 대한 제약이 없음. 하지만 자연재생방식에 비해 가격이 높고 장치 크기가 크기 때문에 협소한 공간에 장착하기가 어려움.

- 촉매 반응 : 촉매부는 배출가스의 PM 성분 중 SOF 및 CO/HC와 같은 가스상 물질을 저감함. 또한, 자연 재생에 필요한 NO를 NO₂로 산화하는 역할을 담당하며, 강제 재생 시 미연소 HC와의 반응을 통해 배출가스 온도를 승온 시키는 역할을 수행함.

촉매가 코팅된 필터는 전단 촉매에서 반응하지 못한 가스상 물질의 저감과 필터 내에 포집된 PM을 NO₂를 이용하여 재생하는 반응을 담당함.

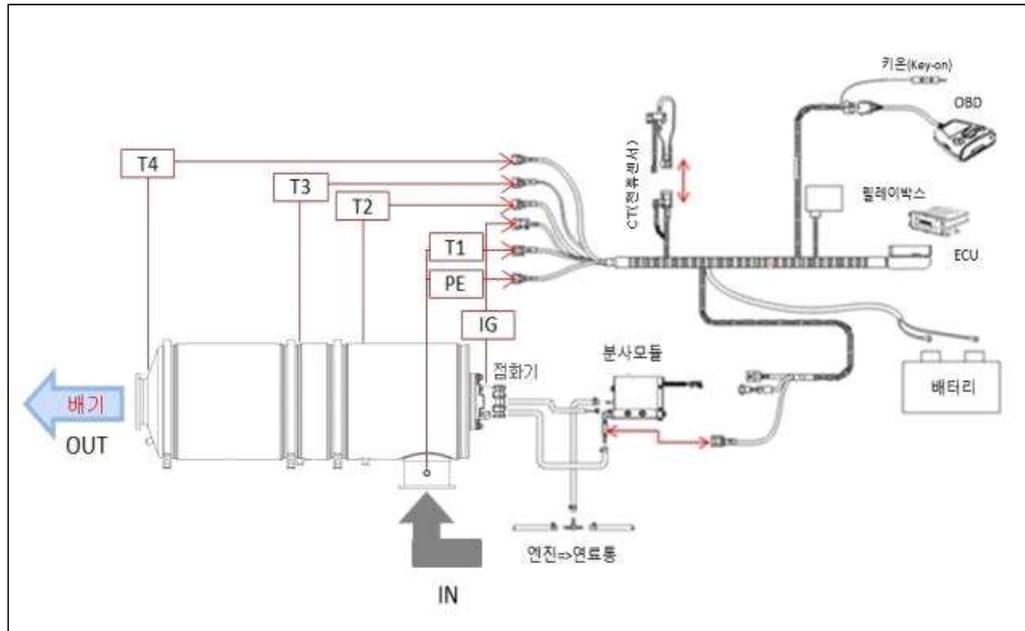


그림 3. 개발 대상 후처리 시스템 개략도 (복합재생 방식)

4. 국내 미세먼지 현안

- 최근 우리나라의 공기 질 수준이 전 세계 180개국 가운데 173위이며, 특히 초미세먼지 농도는 세계 8위라는 연구결과가 보고되었고, 미세먼지 이슈는 향후 국내에서 예측되는 사안이 아닌 현재 나타나고 있는 현상임. (출처 : EPI,2016)
- 미세먼지는 세계보건기구(WHO)에서 지정하고 있는 1급 발암물질로, 장기간 노출되었을 경우 면역력 저하에 따른 감기, 천식, 기관지염 등의 호흡기 질환은 물론 심혈관질환, 피부질환, 안구질환 등 각종 질병을 야기함. 특히 초미세먼지는 물리적인 방법으로 차단이 어렵고 호흡시 인체 장기 내 깊숙한 부분까지 침투하고, 호흡기질환/심혈관질환/피부질환/치매 등 매우 다양하고 심각한 인체 질환을 유발함.
- 국내 미세먼지는 발전소 및 공장 등 산업시설의 굴뚝, 자동차 배기가스, 비도로 오염원(선박, 철도, 농기계 등), 쓰레기소각, 건설현장 등 다양한 인위적 활동에 의하여 발생이 되며, 발생된 미세먼지는 미세먼지 자체로 배출되는 1차 미세먼지와 배출 후 미세먼지를 형성하는 2차 미세먼지가 모두 포함됨.
- 미세먼지에 대한 이슈가 국가 현안이 됨에 따라 다양한 관련 협의가 이루어지고 있음.

표 1. 미세먼지 관련 주요 회의 및 협의회

주 관	주 제
한국환경회의	정부의 미세먼지 저감 대책 평가와 개선을 위한 긴급토론회
한국대기환경학회	대기환경 이슈와 개선방안 토론회
한림원	제 101회 한림원탁 토론회 ‘미세먼지 저감 및 피해방지를 위한 과학기술의 역할’
부산지방기상청	대기환경 기상서비스 개선한 2016년 학연관 대기 환경 세미나
충남연구원	석탄화력발전 과 미세먼지 연속세미나
한국화학연구원	KRICT R&D 포럼 미세먼지에 대한 과학적 이해와 대응
서울특별시	2016 동북아 대기질 개선 국제포럼
경기도의회	학술 심포지엄 - 미세먼지 현황과 대책
국회	미세먼지 대책 당정협의
국민의당	정책 토론회 ‘미세먼지 어떻게 할 것인가?’
더불어민주당	“미세먼지 대기오염사태 어떻게 할 것인가” 토론회

2절. 연구개발의 필요성

1. 개발 대상 제품의 필요성

- 농촌은 도심에 비해 사업장과 자동차가 상대적으로 적지만, 직·간접적으로 배출되는 미세먼지 양이 매우 높음. 따라서 농촌에서 생성되는 미세먼지는 농민을 비롯해 가축·작물까지 피해를 줄 수 있어 농기계에서 배출되는 미세먼지에 대한 적극적인 관리가 필요함.
- 국립환경과학원에 따르면 2016년 기준 농축산분야 초미세먼지 발생량은 20.3천톤으로 전체 발생량의 5.8%를 차지하고 있으며, 2차 생성 미세먼지 전구물질 배출량은 356천톤으로 전체 발생량의 12.1%를 차지. 1차 초미세먼지는 생물성 연소, 농작업간 비산먼지, 노후 농기계 등이 주요 배출원이며, 2차 생성 미세먼지 전구물질은 축산분뇨와 화학비료로 인한 암모니아와 생물성연소로부터 발생하는 휘발성 유기화합물(VOCs)에 해당.



그림 4. 국내 미세먼지 주요 발생원

- 디젤엔진의 불완전연소 생성물로 배출되는 PM은 전국적으로 미세먼지의 주된 원인으로 이를 저감하기 위한 노력이 계속되고 있음. 2015년 이후 우리나라의 배기규제는 출력 19~56 kW 비도로용 디젤엔진 PM 배출량이 0.03 g/kWh 이하로써, 농기계에서는 이를 만족하기 위해서 DPF를 장착하여 운영중에 있음.

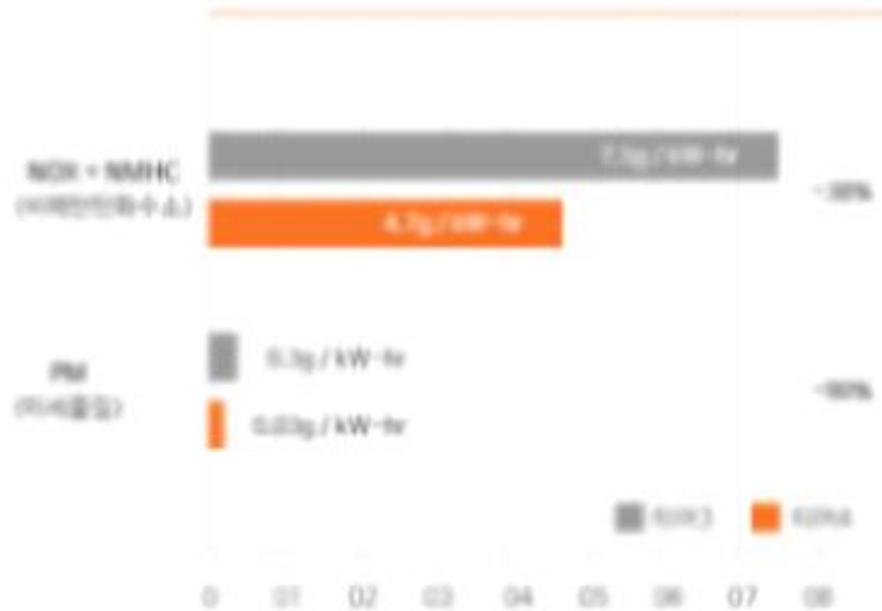


그림 5. Tier-3 대비 Tier-4 오염물질 감소량

- 2015년 Tier-4로 대기환경보전법이 강화됨에 따라, 56kW(75마력) 미만, 130kW(174마력) 이상의 디젤 트랙터, 콤바인 제품 가격이 20% 이상 상승하였음. 이에 따라 대기환경보전법 규제를 받지 않기 위하여 2015년 10월까지 상당량의 농기계가 판매되었으며, 현재도 농가에서 운영중에 있음. (현재 '08~11년산 농기계는 8만대로 추산)
- 본 연구의 대상인 노후 농기계(트랙터, 콤바인)의 경우, 배출가스 규제인 Tier-3 이하의 엔진을 의미하며 이러한 노후 농기계의 경우 배출가스(미세먼지) 저감장치가 장착되어 있지 않음. Tier-3 이하 엔진에서 배출되는 PM을 90% 이상 제거하기 위해서는 DPF가 반드시 필요함. 기동 정지가 빈번한 농기계의 특성상, 배출가스의 온도가 PM을 자연재생하기에는 적합하지 않음. 따라서 DPF에 포집된 PM을 재생하기 위해서는 버너를 사용하여 배출가스의 온도를 촉매 반응이 가능한 온도까지 상승하여 촉매로 PM을 재생시켜야 함.
- 따라서 노후 트랙터 및 콤바인의 배출가스 정상 및 온도를 파악하고 이에 적합한 버너, DOC, DPF 가 포함된 compact한 후처리 시스템을 개발할 필요가 있음. 또한 농기계 운영 패턴에 맞는 PM 재생 로직을 개발하고, 개발된 시스템 및 로직이 적용된

실차 시험을 수행하여 개발된 기술의 검증을 수행해야 함.

2. 연구개발 대상의 국내외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

(1) 규제 현황

○ 농기계 배출가스 규제와 관련하여 대기환경보전법 시행규칙 별표 5에 다음과 같이 농업기계의 종류를 구분하고 있음.

○ 또한, 대기환경보전법 시행규칙 별표 17에는 아래 표 3에서 표 5와 같이 단계적으로 배출가스 규제를 강화하고 있음. (출처 : 대기환경보전법 시행 규칙)

○ 정부는 2022년까지 농축산분야 초미세먼지와 암모니아를 배출량 30% 감축 목표를 설정하고 저감대책을 수립하였으며, 2021년부터 트랙터, 콤바인 및 방제기, 퇴비살포기 등 모든 디젤엔진 장착 농기계에 Tier-5를 적용하는 방안이 검토되고 있음.

표 2. 농업기계의 종류

제작일자	종 류	규 모
2013년 2월 2일 이후	콤바인, 트랙터	원동기 정격출력이 225kW 이상 560kW 미만
2013년 7월 1일 이후	콤바인, 트랙터	원동기 정격출력이 19kW 이상 560kW 미만
2015년 1월 1일 이후	콤바인, 트랙터	원동기 정격출력이 560kW 미만

표 3. 농업기계의 배출가스 규제 (2013년 2월 2일 이후)

원동기 출력범위	일산화탄소	탄화수소	질소산화물	입자상물질	측정방법
225kW 이상 560kW 미만	3.5g/kWh 이하	4.0g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.2g/kWh 이하	ISO8178 C1-8모드

표 4. 농업기계의 배출가스 규제 (2013년 7월 1일 이후)

원동기 출력범위	일산화탄소	탄화수소	질소산화물	입자상물질	측정방법
19kW 이상 37kW 미만	5.5g/kWh 이하	7.5g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.3g/kWh 이하	ISO8178 C1-8모드
37kW 이상 75kW 미만	5.0g/kWh 이하	4.7g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.4g/kWh 이하	
75kW 이상 130kW 미만	5.0g/kWh 이하	4.0g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.3g/kWh 이하	
130kW 이상 560kW 미만	3.5g/kWh 이하	4.0g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.2g/kWh 이하	

표 5. 농업기계의 배출가스 규제 (2015년 1월 1일 이후)

원동기 출력범위	일산화탄소	탄화수소	질소산화물	입자상물질	측정방법
8kW 미만	8.0g/kWh 이하	7.5g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.4g/kWh 이하	NRSC모드 및 NRTC모드
8kW 이상 19kW 미만	6.6g/kWh 이하	7.5g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.4g/kWh 이하	
19kW 이상 37kW 미만	5.5g/kWh 이하	4.7g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.03g/kWh 이하	
37kW 이상 56kW 미만	5.0g/kWh 이하	4.7g/kWh이하 (탄화수소 및 질소산화물)		0.03g/kWh 이하	
56kW 이상 130kW 미만	5.0g/kWh 이하	0.19g/kWh 이하	0.4g/kWh 이하	0.025g/kWh 이하	
130kW 이상 560kW 미만	3.5g/kWh 이하	0.19g/kWh 이하	0.4g/kWh 이하	0.025g/kWh 이하	

(2) 기술현황

○ 국내 건설기계 및 농업기계용 원동기를 자체 생산하는 기업은 두산인프라코어, 대동공업, 국제종합기계, LS엠트론 등이 존재함. 현재 국내 업계에서는 티어4/Stage-IV 이후부터는 연소개선만으로 PM(입자상물질)/NOx(질소산화물) 배기규제를 동시에 만족하는 것은 불가능하며, 반드시 후처리장치를 함께 적용해야 하는 것으로 판단하고 있음. 티어4 기술은 농기계 제작사 중심으로 자체 또는 공동 연구를 통해 강화되는 배출가스 규제 대응을 위한 엔진 기술, 후처리 장치 기술에 개발을 완료하였음.

○ 2009년 4월부터 36개월동안 농기계 제작사인 대동공업을 주관기관으로 하고 동양물산기업, 국제종합기계, LS 엠트론이 참여기업으로 하여 농림축산식품부 첨단생산 R&D 지원을 받아 Tier-4 규제 대응 “고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발” 연구를 수행하였음. 본 연구에서는 배기가스 후처리장치 장착을 위한 패키징 시스템, 쿨링 시스템, DPF 재생을 위한 ECU 제어 로직, 신뢰성 평가 등을 연구하고 개발된 기술을 이용하여 현재 Tier-4 규제를 만족하는 배기가스 후처리장치를 장착하여 판매중에 있음.

○ 대동공업은 2008년부터 Tier-4 엔진 개발을 위한 다양한 설비를 투자하였으며, 고압분사 커먼레일 전자제어 시스템을 운전조건에 맞게 신규 개발하고 고출력에 견디는 고강도 엔진본체를 신규 개발하였음. 주요 본체 및 연소계, 배기정화장치 시스템을 국산화하여 사업중에 있음. 국내 농기계 최초로 SCR 시스템을 자체 개발해 특허출원 및 국내인증까지 완료한 상태이며, 2017년 5월부터 85마력 5조 콤바인에 적용, 양산 중에 있음. 이 기술을 이용해 85마력부터 130마력 트랙터에 확대·적용하였음.



그림 6. 대동공업 Tier-4 엔진 및 후처리 장치

○ LS 엠트론은 Tier-4에 대응하는 농기계용 디젤엔진 개발을 진행하였으며, 고압연료 분사방식의 CRDI시스템을 신규 개발해 기존 엔진의 효율 및 연비를 개선함. 새로운 CRDI시스템에는 배기가스 규제에 대응하기 위한 DPF 및 SCR 등 배기가스 후처리 장치를 장착해 NOx, CO, PM 등 배출량을 줄여 친환경 성능을 강화함. 특히 2015년에 자체 기술로 완성한 Tier-4 엔진이 탑재된 트랙터가 북미시장에 성공적으로 진출함.

- 동양 물산은 중대형 트랙터에 PM 재생처리 없이 작업이 가능한 DOC 기능이 장착된 독일제 도이츠 엔진을 탑재한 커먼레일 Tier4 엔진을 장착하여 판매중에 있음.
- 한국기계연구원에서는 유압부하와 흡기스로트를 이용한 트랙터용 기계식 디젤엔진의 DPF 강제 재생을 위한 연구를 수행하였음. 본 연구에서는 기존 강제 재생 방식의 필요한 온도를 얻기 위하여 많은 유압 부하와 이에 따른 연료 손실을 줄이기 위하여 흡기스로틀링을 조절하여 연비 손실을 최소화 할 수 있는 방법을 제안함.
- 디젤 차량에서 발생하는 PM 및 HC, NO_x를 제거하기 위하여 DOC와 DPF, SCR 촉매를 개별 장착한 후처리 시스템이 적용중에 있음. 해당 시스템은 차량의 연식, 출력, 규제 요건에 맞게 일부 촉매를 추가하거나 배제하기도 함. 이러한 후처리시스템으로 PM 및 HC, CO를 제거하는 기술이 존재하며 현재도 많은 연구가 수행중에 있음. 최근 일부 Euro-6 이상의 차량에서는 배출가스 후처리 시스템의 부피를 축소하기 위하여 SCRF(SCR on Filter) 기술을 일부 적용한 차량이 존재함.

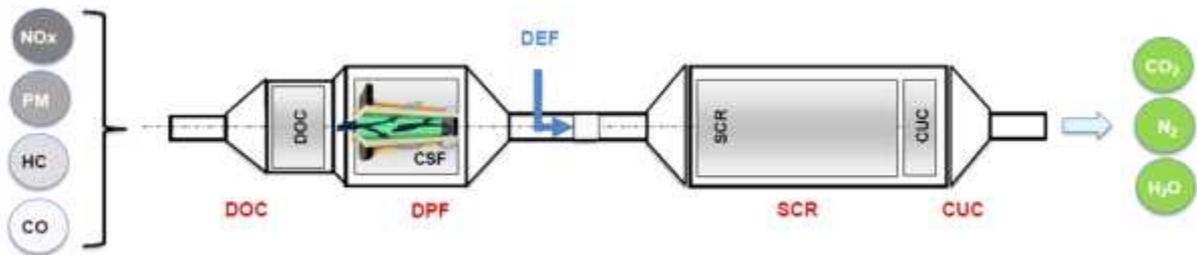


그림 7. Euro-5 배출가스 규제에 대응하는 자동차 후처리 시스템 촉매 구성도

- Filter 기술의 경우, 자동차용 세라믹 DPF 담체를 개발하고 있는 업체는 2곳으로 하나는 본 과제 주관 기관인 (주)세라컴과 다른 하나는 IB material 이라는 기업에 해당함.
- 세라컴 : 코디어라이트를 기반으로 단일형 담체를 주된 제품으로 양산하여 자동차 retrofit 사업에 적용중. 현재 기술개발을 통해 대형 자동차에 적용 가능한 13" 이상의 하니컴 담체를 생산하고 있음.
- IB materials : SiC 물질을 기반으로 세그먼트의 접합을 통한 담체를 양산하여 자동차 retrofit 후처리 사업에 적용중. SiC 필터는 열팽창 계수가 큰 물성 때문에 대형 사이즈로 제작하면 crack이 발생하는 한계가 있음. 따라서 아래 사진과 같이 40×40 세그먼트를 붙여서 대형 담체를 제작. 이로 인해 단가 상승의 원인 및 대형 담체를 제작하는데 애로가 있음.



그림 8. DPF 담체 형상

- 국내 디젤 자동차 후처리장치 산업은 핵심부품에 따라 크게 담체 소재, 촉매와 같은 원료 부문과 촉매 코팅, 캐닝과 같은 가공 부문, 펌프 및 분사 모듈과 같은 시스템 제어 부분으로 나눌 수 있음.
- 담체 소재의 경우, 코디어라이트 분말이나 SiC 분말을 수입하여 담체를 일부 성형하지만 성형기술이 상대적으로 낮을 뿐만 아니라, 규모가 영세하기 때문에 운행차 시장에서 사용되며, 제작차용 담체는 글로벌기업에 의해 생산된 제품이 완제품 형태로 100% 수입.
- 촉매의 경우 백금, 팔라듐, 로듐을 포함한 귀금속 이외에도 알루미나 분말 등 재료들도 글로벌 기업의 본사 또는 전문 생산업체에 의해 수입함. 귀금속의 경우 국내 광산을 보유하고 있지 않기 때문에 국내 생산이 어려움. 코팅기술은 외국기업과 대등한 수준.
- 캐닝의 경우, 사용되는 철강과 스테인레스 등의 배기계 소재는 국산제품을 사용하며, 매트 등 일부 제품은 수입되고 있음. 캐닝 기술의 경우에도 외국기업과 대등한 수준.

수입소재/부품군	담체	촉매	매트	센서
수입(유발)사유	-생산기술 미비 -원소재 수입 -품질 및 신뢰성 저하 -가격 경쟁력 미미	-귀금속 광산 부재 -생산기업 부재 -생산기술 미비 -생산사 수요처 부재	-생산기술 미비 -작은 시장규모 -생산기업 부재	-생산기술 미비 -소재기술 부재 -낮은 성능 및 신뢰성
대응방안	-재질의 다양화 -운행차 시장에서의 성능 및 신뢰성 검증 -소재 국산화 개발	-수입선 다변화 -광산 개발 및 제련사 입주자	-안정적 수요처 확보를 통한 시장규모 확대 -소재 특성 및 신뢰도 향상	-핵심 기술 개발 -센서 특성 및 신뢰도 향상
국산화 대상품목	-금속 소재 담체 -Path flow형 담체		-세라믹 매트	-EGT센서 -NOx, NH3 센서 -차압센서

그림 9. 국내 자동차 후처리장치 산업구조(출처 : KAICA, KAMA 2012)

(3) 시장현황

- 국내 농업용 트랙터 및 콤바인의 엔진출력별 엔진배기량 현황은 다음과 같음.
- 하기 표와 같이 2007년부터 2014년까지 (Tier-3 이하 엔진)의 농기계 평균 보유량은 약 30 만대이며, 2019년 농림축산식품부 보도자료에 의하면 '08~11년산의 농기계는 약 8만대로 추산하고 있음. 따라서 Tier-3 이하 엔진이 장착된 노후 농기계는 약 14만대 정도로 추산됨.
- 농림축산부의 보도자료에 의하면, 농기계용 매연저감장치 개발('19.하) '08~11년산(8만대) 농기계에 부착을 지원('21~)하고, 내용연수가 경과한('99~07년산) 노후 농기계 조기 폐차지원을 검토('20~)할 계획임.

표 6. 국내 농업용트랙터 엔진출력별 엔진배기량 현황

규격구분[엔진출력]	최소배기량[cc]	최대배기량[cc]	평균배기량[cc]
소형 [40마력미만]	719	2,434	1,424
중형 [40마력이상 ~ 60마력미만]	1,826	3,409	2,535
중대형 [60마력이상 ~ 80마력미만]	2,435	4,525	3,828
대형 [80마력이상]	3,054	7,755	5,371

표 7. 국내 농업용 콤바인 엔진출력별 엔진배기량 현황

규격구분 [조수 등]	최소배기량[cc]	최대배기량[cc]	평균배기량[cc]
4조	1,568	3,409	2,471
5조	2,435	3,770	3,287
6조	3,054	3,770	3,364
보통형	1,175	3,409	2,879

표 8. 트랙터/콤바인 연도별 보유 현황(출처 : 농림축산식품부, 농기계 보유현황)

구분	용량	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
트랙터	소형	65,782	66,958	67,442	65,516	63,340	64,651	64,503	62,635
	중형	113,639	118,771	120,689	124,011	125,466	126,498	127,700	127,928
	대형	36,030	37,518	40,131	44,266	47,040	48,802	51,693	54,782
콤바인	3조 이하	21,489	20,423	17,748	17,765	16,254	15,385	15,062	13,896
	4조	42,555	42,978	40,414	41,104	39,992	39,214	37,917	35,910
	5조 이상	10,127	11,041	11,056	11,712	12,484	13,956	15,045	16,188
합계		289,622	297,689	297,480	304,374	304,576	308,506	311,920	311,339

표 9. 트랙터 규격별 종류 및 엔진 출력

엔진형식명	엔진제조사	배기량[cc]	최대마력	구분
D722-E4	구보다	719	9	소[40마력미만]
E673L	IHI에그리텍	761	12	소[40마력미만]
3TNV74F	얀마	993	13	소[40마력미만]
D1005-E4	구보다	1,001	14	소[40마력미만]
3TNV76	얀마	1,116	15	소[40마력미만]
A1100	국제	1,175	16	소[40마력미만]
3TNV80	얀마	1,267	16	소[40마력미만]
3A139-D4	대동	1,393	17	소[40마력미만]
D902-E4	구보다	898	17	소[40마력미만]
SL-K4	미츠비시	1,318	17	소[40마력미만]
S773L-D	IHI에그리텍	1,131	17	소[40마력미만]
3A165-D4	대동	1,647	17	소[40마력미만]
L3M12-N1	LS	1,204	17	소[40마력미만]
3TNV80F	얀마	1,267	17	소[40마력미만]
A1100T	국제	1,175	21	소[40마력미만]
3TNV88C	얀마	1,642	24	소[40마력미만]
A1700	국제	1,715	25	소[40마력미만]
3F183-D4	대동	1,826	28	소[40마력미만]
A1700T	국제	1,715	30	소[40마력미만]
L3C19-T3	LS	1,879	32	소[40마력미만]
4TNV88C	얀마	2,190	33	소[40마력미만]
V2403-CR-E4	구보다	2,434	34	소[40마력미만]
A2300	국제	2,287	34	소[40마력미만]
KDI1903TCR	Lombardini	1,861	41	중[60마력미만]
3F183T-D4	대동	1,826	42	중[60마력미만]
L3C19-T1	LS	1,879	42	중[60마력미만]
4TNV86CT	얀마	2,091	43	중[60마력미만]
A2300T	국제	2,287	43	중[60마력미만]
V2403-CR-TE4	구보다	2,434	44	중[60마력미만]
A2400T	국제	2,392	45	중[60마력미만]
4TNV86CHT	얀마	2,091	47	중[60마력미만]
4TNV98C	얀마	3,319	52	중[60마력미만]
L4C25-T1	LS	2,505	53	중[60마력미만]
D3400T	국제	3,409	53	중[60마력미만]
4F243T-D4	대동	2,435	53	중[60마력미만]
V3307-CR-TE4	구보다	3,331	53	중[60마력미만]
A2400TCI	국제	2,392	54	중[60마력미만]
F5HFL463D	FPT	3,387	54	중[60마력미만]
TCD2.9L4	Deutz	2,925	54	중[60마력미만]
4FTA4	대동	2,435	62	중대[80마력미만]
4045HLV76	존디어	4,525	73	중대[80마력미만]
4045HLV71	존디어	4,525	73	중대[80마력미만]
D4GB	현대	3,933	80	대형[80마력이상]
D34P	두산	3,409	81	대형[80마력이상]
4045HLV73	존디어	4,525	84	대형[80마력이상]
V3800-TIEF4	구보다	3,769	84	대형[80마력이상]
F5GFL413E	FPT	3,387	85	대형[80마력이상]
4045HFK04	존디어	4,525	85	대형[80마력이상]
4TNV94FHT	얀마	3,054	87	대형[80마력이상]
4045HP073	존디어	4,525	88	대형[80마력이상]
4045HP075	존디어	4,525	88	대형[80마력이상]
D49FSR	Agco	4,397	89	대형[80마력이상]
4045HL502	존디어	4,525	91	대형[80마력이상]
D34PA	두산	3,409	92	대형[80마력이상]
TCD3.6L4	Deutz	3,621	99	대형[80마력이상]
4045HL500	존디어	4,525	109	대형[80마력이상]
40445HL503	존디어	4,525	109	대형[80마력이상]
4045HL505	존디어	4,525	109	대형[80마력이상]
D49FSR-1	Agco	4,910	114	대형[80마력이상]
F4DFE613K	FPT	4,485	117	대형[80마력이상]
TCD4.1L4	Deutz	4,038	119	대형[80마력이상]
4045HL504	존디어	4,525	120	대형[80마력이상]
4045HL506	존디어	4,525	120	대형[80마력이상]
4045HL501	존디어	4,525	121	대형[80마력이상]
V6108-TIEF4	구보다	6,124	128	대형[80마력이상]
F4DFE613N	FPT	6,728	128	대형[80마력이상]
6068HL502	존디어	6,788	142	대형[80마력이상]

표 10. 콤파인 규격별 종류 및 엔진 출력

엔진형식명	엔진제조사	배기량[cc]	최대마력	콤파인규격
4TNV98C	안마	3,319	73	5조
4TNV98CT	안마	3,319	73	5조
3TNV86CT	안마	1,568	42	4조
4TNV94FHT	안마	3,054	105	6조
4TNV94FHT	안마	3,054	95	5조
4TNV94FHT	안마	3,054	120	보통형
4TNV94FHT	안마	3,054	105	5조
4TNV94FHT	안마	3,054	120	6조
4TNV94FHT	안마	3,054	120	6조
D34NAP	두산인프라코어	3,409	75	보통형
D34P	두산인프라코어	3,409	85	보통형
D34P	두산인프라코어	3,409	89	보통형
D34P	두산인프라코어	3,409	91	5조
D34P	두산인프라코어	3,409	101	5조
D34P	두산인프라코어	3,409	117	6조
V3307-CR-TE4	구보다(KUBOTA)	3,331	74	5조
V3800-CR-TE4	구보다(KUBOTA)	3,769	74	5조
V3800-TIEF4	구보다(KUBOTA)	3,770	118	6조
V3800-TIEF4	구보다(KUBOTA)	3,770	95	5조
V3800-TIEF4	구보다(KUBOTA)	3,770	128	6조
854F-E34TAN	FPT Industrial S.p.A	3,387	102	6조
F5BFL414J	FPT Industrial S.p.A	3,387	117	6조
F5BFL414J	FPT Industrial S.p.A	3,387	102	6조
D3400T	국제종합기계㈜	3409	70	4조
D3400T	국제종합기계㈜	3409	70	보통형
A2300	국제종합기계㈜	2287	48	보통형
A1100T	국제종합기계㈜	1175	30	보통형
4F243T-D4	대동공업㈜	2435	73	4조
4FTA4	대동공업㈜	2435	86	5조

(4) 경쟁기관현황

- 현재까지 노후 농기계에 대한 후처리장치 개발은 전무함. 국내 자동차시장의 후처리 분야 시장규모는 약 7,000억 원으로 추정되며, 국내 주요업체로는 희성축매(주), 우진공업(주), 세종공업(주), (주)세정, (주)세라컴 등 약 56개의 관련업체가 있음
- 1990년 이전에 전량 수입에 의존하던 자동차용 축매담체를 1980년대 후반에 한국과학기술원 주관의 ‘세라믹 허니컴 담체 제조기술의 개발’과 (주)나노 기술연구소의 ‘SCR 상용화기술’ 및 ‘세라믹스 신소재 원료 개발’ 등을 통한 국내업체들의 경쟁력은 빠르게 상승중.
- NOx 센서, 도징장치, 제어로직 등 SCR과 관련된 핵심 부품은 해외 의존도가 높음

며, 고가의 부품 수입으로 인해 시스템 가격이 높음.

○ 운행차의 배출가스 저감을 위해 2004년부터 실시한 수도권대기질개선사업에 참여한 업체는 일진, 이엔드디, 세라컴, 에코닉스, SK, 후지노테크 등이 있으며, Euro3 이하 차량을 대상으로 PM 및 NOx 규제를 만족하기 위한 다양한 촉매 및 시스템을 이용하여 사업중에 있음.

(5) 지식재산권현황

○ PM을 저감할 수 있는 필터로 등록된 특허는 상당수가 있으나, 허니컴 관련 등록 특허로는 현재 약 100여개가 검색됨. PM을 저감할 수 있는 필터에 대해 출원인별로 검토한 결과, 외국업체들이 국내 출원을 많이 실시(Corning, NGK, Ividen). 국내 업체로는 세라컴과 IB materials의 특허들이 존재함. 출원사항으로 검토하면 지지체 및 필터 조성에 대한 특허가 가장 많은 것으로 확인됨.

○ SCR 및 SCR촉매로 등록된 특허 검토 결과 외국계 글로벌 촉매사인 존슨메티, 바스프의 출원이 가장 많았으며, 국내의 기업으로는 현대 자동차가 특허를 가장 많이 보유한 것으로 확인됨. 국내 중소기업 업체로는 SK, 나노, 이엔드디, 대영씨엔이, 세라컴 등이 SCR 촉매 조성에 대한 특허를 확보한 것으로 확인됨. SCR 또는 SDPF로 등록된 특허 검토 결과 현대자동차와 바스프에서 특허를 보유한 것으로 확인됨.

○ 배기가스 저감(PM-NOX) 시스템으로 등록된 특허는 상당수가 있으나, 대부분 PM 배기가스 저감 시스템 또는 NOX 배기가스 저감 시스템 등 별도의 시스템으로 특허 등록이 되어 있음. 연구기관을 제외한 배기가스 저감 시스템 출원인으로 검토한 결과, 현대 자동차가 출원을 많이 실시하였으며, 그 외 광성, 에코닉스, 세라컴 등이 출원을 실시함. 선박용 PM/NOx 제거장치에 대한 특허도 출원 되었으나, 해당 특허는 스크리버를 이용한 배기가스 정화장치로 확인됨.

순번	지식재산권명	출원인	출원국/출원번호
1	허니컴필터	이비덴 가부시킴가이샤	한국/1009441330000
2	세라믹허니컴구조체	이비덴 가부시킴가이샤	한국/1008839460000
3	저팽창, 고다공성, 고강도 코디어라이트 바디 및 이의제조방법	코닝 인코포레이티드	한국/1006434410000
4	촉매 코팅을 가진 다공성 세라믹 필터	코닝 인코포레이티드	한국/1011520090000
5	허니컴 구조체	엔지케이 인솔레이터 엘티디	한국/1008600430000
6	허니컴 필터용 기재와 그 제조 방법 및 허니컴 필터	엔지케이 인솔레이터 엘티디	한국/1007072270000
7	탄화규소질 다공체 제조용 조성물, 이를 이용한 탄화규소질다공체, 촉매 담체 및 분진 필터	주식회사 아이비머티리얼즈	한국/1013833520000
8	탄화규소 필터의 제조방법	주식회사 아이비머티리얼즈	한국/1014571460000
9	SCR 활성 제올라이트 촉매의 제조 방법, 및 SCR 활성 제올라이트 촉매	존슨 매세이 카탈리스즈	한국/1017912740000
10	Cu-CHA/Fe-BEA 혼합 제올라이트 촉매 및 가스 스트림 중의 NOx의 처리 방법	바스프 에스이	한국/1020147011975
11	SDPF 및 그 제조방법	현대자동차주식회사	한국/1013380680000
12	선택적 환원촉매가 코팅된 디젤매연필터 및 이를 포함하는 배기가스 후처리 시스템	현대자동차주식회사	한국/1017554680000
13	SCR 촉매로 촉매화된 필터, 시스템 및 방법	바스프 코포레이션	한국/1020177025908
14	선택적 촉매환원시스템의 입자상물질 제거장치	현대머티리얼 주식회사	한국/1015829680000
15	디젤엔진 배기가스 저감 시스템	현대 자동차 주식회사	한국/1010481200000
16	배기가스의 매연 저감 시스템	에코닉스	한국/1014885100000
17	SCR SYSTEM FOR A SHIP OR AN OVERLAND PLANT	KWANG SUNG CO., LTD	PCT/KR2010/002446
18	SCR SYSTEM HAVING BYPASS SYSTEM	KWANG SUNG CO., LTD	일본/25093468
19	PLASMA NOZZLE AND PLASMA SCR SYSTEM COMPRISING SAME	한국기계연구원	PCT/KR2015/001834
20	선박의 배기가스 내 PM, SOx, NOx 제거 장치	주식회사 엔케이	한국/1014566110000

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

(1) 규제 현황

○ 전 세계적인 기후온난화 대책의 일환으로 대기오염물질 배출에 대한 규제가 강화되고 있음. 건설 및 농업기계에 대한 배출가스 저감기술의 발전으로 미국, 유럽 등의 배출허용기준이 점차 강화되고 있는 추세임.

○ 유럽의 경우, Stage-V(티어5) 규정은 2014년 제안되어 2016년 9월 공식문서가 출간됨. 2017년 4월 세부기술서가 발표되면서 적용대상 범위가 19kW 이하, 560kW 이상의 CI 엔진, 19kW 이상의 SI 엔진 등이 포함됐으며, 10개의 카테고리로 구성. 2018년 1월부터 8월까지 Stage-V(티어5) 개정작업에 착수해 일부 회원국에서 특정연료의 사용이 가능하도록 FAME(fatty-acid-methyl ester)의 허용함유량을 7%에서 8%(v/v)로 상향조정함. 2018년 8월 수정된 Stage-V(티어5) 규정문서를 발간하고 EU 입법규정 및 실행규정을 완료. 이에 따라 티어5 배기규제에 농업 및 임업 트랙터의 승인 및 시장감시를

위한 행정규정이 적용되고 있음.

표 11. 유럽의 Tier4/Tier5 배출가스 규제

◦ Stage IV

정격출력 (이상~미만)	적용시점	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	HC+NOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
56kW~130kW	2014.09.01	5.0	0.19	-	0.4	0.025
130kW~560kW	2014.01.01	3.5	0.19	-	0.4	0.025

◦ Stage V

정격출력 (이상~미만)	Category	Ignition Source	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (g/kWh)
~8kW	NRE-v/c- 1	Cl	8.00	7.50		0.40	-
8kW~19kW	NRE-v/c- 2	Cl	6.60	7.50		0.40	-
19kW~27kW	NRE-v/c- 3	Cl	5.00	4.70		0.015	1x10 ¹²
37kW~56kW	NRE-v/c- 4	Cl	5.00	4.70		0.015	1x10 ¹²
56kW~130kW	NRE-v/c- 5	All	5.00	0.19	0.40	0.015	1x10 ¹²
130kW~560kW	NRE-v/c- 6	All	3.50	0.19	0.40	0.015	1x10 ¹²
560kW~	NRE-v/c- 7	All	3.50	0.19	0.40	0.015	-

○ 미국은 EPA(Environment Protection Agency)를 중심으로 건설기계 및 농업기계의 원동기·차량에 대한 차기규제를 지속적으로 논의하고 있으나, 현재 구체적인 규제수준 및 일정은 불확실함. 1990년 개정된 대기오염방지법(Clean Air Act)을 기본으로 하고 있으며, 2004년 5월 마련된 Tier-4 기준에서 질소산화물 및 입자상물질, 탄화수소에 대한 강화된 기준을 제시하고 있음. Tier-4 Final 기준은 Tier-3 기준 대비 90% 이상의 입자상물질과 질소산화물 저감을 요구하고 있음. 한편, 2017년 현재 건설기계 배출가스 규제는 Tier-4 Final을 적용중임.

○ 중국은 2018년 3월말에 China IV Non-road standard를 개정 발표함. 개정안에는 기존 China IV와 유사하게 기체상 및 입자상물질 배출규정을 포함하고 있으며, 2020년 1월 1일부터 티어4 기준이 시행될 예정. 이 규정은 제작사가 자발적으로 유럽 Stage-V (티어5)에 동등한 강화된 규정을 만족할 것을 권고하고 있음. 2025년경 실행을 목표로 Stage-V (China V로 추정됨) 규정을 마무리할 것으로 예상됨.

○ 인도는 2018년 3월 5일 건설 및 농업기계에 사용되는 디젤 비도로엔진에 대한 차기

규제 도입에 합의함. 유럽을 제외하고 Stage-V(티어5) 비도로 규제를 제정한 첫 번째 나라가 되었으며, BS IV(Stage-IV에 해당, 37kW~560kW)를 2020년 10월 1일에 시행하고, BS V(Stage-V에 해당, 전 범위 8kW 이하, 560kW 이상 모두 포함)는 2024년 4월 1일 시행할 예정.

(2) 기술현황

○ NGK사는 자동차에 적용 가능한 높은 공극율을 갖는 DPF 필터를 개발하고 한쪽 면에 SCR washcoat을 코팅하여 NOx와 PM을 동시에 저감하는 필터를 제시함.

○ 특히, 코닝과 NGK의 경우 자동차 촉매 담체 시장에서 국내뿐만 아니라 세계시장을 독점하고 있는 실정이며, 세라믹 허니컴 담체에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 현재 세계최고 수준 기술을 보유. 최근에는 허니컴 구조 필터 제조 시, PM제거 효율과 포집량을 개선하기 위하여 셀을 비대칭형으로 제조하는 연구와 상용제품을 제조하고 있음.

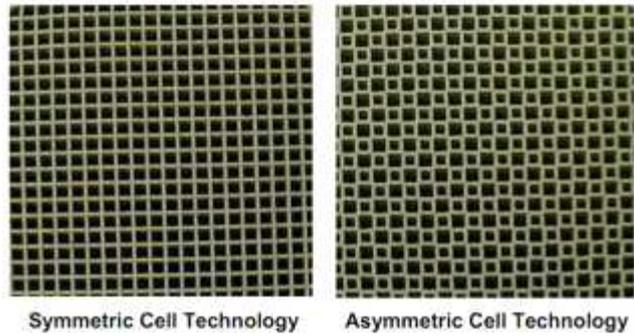


그림 10. 허니컴 지지체 형상(제조사:Corning)

○ 한편, 배출가스의 DeNOx을 위하여 유럽시장을 중심으로 존슨메티, HUG Eng, 프로벤시아, 에미텍 등이 자동차, 선박엔진, 중소형 발전설비, 보일러 시장을 대상으로 하는 컴팩트한 SCR기술을 개발하여 사용 중임.

○ 해외 농기계 제작사인 구보다코리아는 Tier-4 배기가스 규제에 적합한 구보다 신형 V3800엔진을 탑재했고 DPF와 SCR을 콤팩트 하게 기체 내부에 수납하여 규제에 대응 중에 있음.

(3) 시장현황

○ 세계 각국은 식량부족 등으로 식량증산정책을 추진하고 있으며, 세계 농기계시장도 매년 확장되고 있음. 농기계시장 조사업체인 Freedonia에 따르면 세계 농기계시장 규모는 2014년 기준으로 약 1,407억 달러로 추정되며, 10년 후인 2024년에는 그 두 배에 가까운 2,560억 달러가 될 것으로 추정. 이는 연평균 18.0% 이상의 성장률에 해당하며, 지역별로는 아세아지역이 다른 지역에 비해서 가장 크게 성장할 것으로 예상. (출처 :

표 12. 세계 농기계시장 전망 (단위 : 백만 달러)

구분	2004	2009	2014	2019	2024
북미	16,900	23,100	30,800	36,200	45,400
서유럽	18,750	22,450	26,250	33,450	40,350
아·대양주	23,150	38,500	53,350	81,900	115,300
중남미	4,390	7,480	13,500	18,400	24,000
기타	6,560	10,020	16,800	23,550	30,950
합계	69,750	101,550	140,700	193,500	256,000

○ 농기계 전체시장에서 트랙터와 수확기가 절반 이상을 차지할 것으로 보이며, 특히 다양한 환경에서 다용도로 사용되고 있는 트랙터는 전체 시장의 3분의1 이상을 차지하고 있음. 또한 중국과 인도의 급속한 성장과 베트남, 미얀마와 같은 개발도상국의 농기계시장 확대 등 폭발적인 성장이 예상되어, 농기계 시장의 잠재적 성장 동력은 북미와 서유럽에서 아시아 태평양 지역으로 이동할 것으로 예측.

○ 자동차 후처리 장치의 촉매 및 담체와 관련하여, 미국 코닝사와 일본 NGK사는 세계시장을 독점, 후발주자는 세라믹 소재의 제조기술 및 가공기술 부족으로 인해 시장 진입이 어려움, 선진사로는 미국 코닝사, 일본 이비덴사, 독일 에미텍 등은 연구인원만 수천 명에 달하며, 담체뿐만 아니라 촉매 코팅, 시스템 구성 등 전반적인 부분에 대해 활발히 연구를 진행중에 있음.

(4) 경쟁기관현황

○ 미국, 일본 등 기술선진국은 후처리장치의 핵심기술인 촉매와 관련하여, 독보적인 기술력 보유. 박벽고밀도담체(600 cpsi/4mil) 제조기술을 상용화하여 전세계 시장을 석권함(미국 코닝, 일본 NGK/DENSO).

○ 미국의 코닝사는 추후 초박벽 고밀도담체(600 cpsi/3mil, 900 cpsi/2mil)까지 개발하여, SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) 적용에 대비할 예정. John deere 社는 Tier-4 배기규제를 만족시키는 시스템을 설계하였으며, DOC+DPF+Urea SCR 시스템을 구성함. 미국 디젤차량은 대부분 농기계 분야이며, 오프로드용 차량의 규제를 만족하는 후처리시스템 기술이 주로 발전

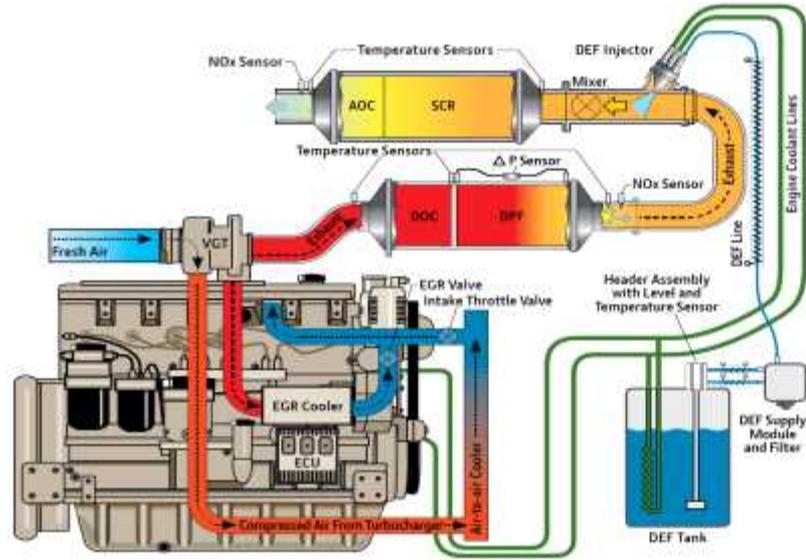


그림 11. 미국 John Deere사의 Tier-4 규제 대응 스템 개략도

○ 일본은 미국에 비해 다소 늦게 촉매담체 실용화가 이루어졌으나, 현재 자동차용 촉매담체에서는 NGK, Denso가 세계 수요의 50% 이상 점유, 최근 고셀밀도 초박벽고밀도 담체(1,200 cpsi/2mil) 개발에 성공함

○ 독일의 Daimler & Scania는 디젤상용차 생산업체로서 유로6(Euro-6) 배기규제 대응을 위한 복합후처리장치를 개발하고 상용화 예정에 있음. 자사의 엔진 기술과 후처리 장치와의 유기적인 제어를 강점으로 하고 있으며, 배기규제 대응을 한발 앞서 만족시키고 있음.

(5) 지식재산권현황

○ 국외에서 후처리 담체 및 PM을 저감할 수 있는 필터로 등록된 특허는 상당수가 존재함. PM을 저감할 수 있는 필터에 대해 출원인별로 검토한 결과 외국업체들이 국내 출원을 많이 실시하였으며, 실시업체로는 Corning, NGK, Ividen이 주로 확인됨. 국내 업체로 검색 결과 세라컴과 IB materials가 특허 출원을 실시함. 출원사항으로 검토하면 지지체 및 필터 조성에 대한 특허가 가장 많은 것으로 확인됨.

○ 국외 SCR 및 SCR촉매로 등록된 특허 검토 결과 글로벌 촉매사인 존슨메티, 바스프의 출원이 가장 많았으며, 국내의 기업으로는 현대 자동차가 국외 특허를 가장 많이 보유한 것으로 확인됨.

○ 국외 선박 후처리 장치 저감시스템 특허 검토 결과, 일본에서 시스템 특허 출원을 많이 실시하였으며, 실시업체는 ISUZU, MITSUBISHI, HITACHI등이 있음. 그 외 Tenneco, Robert Bosch 등 다양한 업체들이 선박 후처리 장치 저감 시스템 출원을 실시함.

순번	지식재산권명	출원인	출원국/출원번호
1	HIGH POROSITY CORDIERITE COMPOSITION	Corning Incorporated	유럽/07756175.1
2	HIGH POROSITY FILTERS FOR 4-WAY EXHAUST GAS TREATMENT	Corning Incorporated	PCT/US2007/015055
3	CERAMIC CLAY, MANUFACTURING METHODS THEREOF AND MANUFACTURING METHODS FOR CERAMIC FORMED ARTICLE AND CERAMIC STRUCTURE	NGK Insulators, Ltd	유럽/05727456.5
4	CATALYTIC DIESEL PARTICULATE FILTER AND MANUFACTURING METHOD THEREOF	NGK Insulators, Ltd	미국/12400393
5	SCR on diesel particular filter and method for producing	Hyundai Motor Co., Ltd.	중국/201210218986
6	DIESEL PARTICULATE FILTER COATED WITH SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION AND EXHAUST GAS AFTERTREATMENT SYSTEM	Hyundai Motor Co., Ltd.	미국/15166350
7	TRANSITION METAL/AEI-ZEOLITE SCR CATALYST	Johnson Matthey	유럽/17189358.9
8	Filter Catalyzed With SCR Catalyst, Systems And Methods	BASF CORPORATION	미국/15552305
9	Catalytic filter having a soot catalyst and an SCR catalyst	Johnson Matthey	미국/15279511
10	CATALYST FOR PURIFYING NITROGEN OXIDE, AND METHOD OF PRODUCING	mitsubishi	일본/22164190
11	DPF REGENERATION DEVICE	ISUZU MOTORS LTD	일본/8265126
12	EXHAUST AFTERTREATMENT SYSTEM WITH LOW-TEMPERATURE SCR	Tenneco	미국/14286284
13	EXHAUST GAS PURIFIER FOR DIESEL ENGINE USING HEAVY OIL OR INFERIOR GRADE OF FUEL	USUI KOKUSAI SANGYO	일본/26078668
14	EXHAUST GAS TREATMENT DEVICE	mitsubishi	일본/21270762
15	EXHAUST EMISSION CONTROL DEVICE	HITACHI LTD	일본/18157970
16	EXHAUST GAS PURIFICATION DEVICE MOUNTED ON VESSEL	YANMAR CO LTD	일본/26088313
17	Packaging aftertreatment system of engine of a marine vessel	Electro-Motive Diesel, Inc.	미국/09849958
18	Procedure and control unit to operate an integrated SCR/DPF system	Robert Bosch GMBH	미국/11641486

3절. 연구개발 범위

1. 연구개발 범위

구분	내용
<p>연구개발 범위</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> ● 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 ● 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 ● 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (축매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) ● 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) □ 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> ● 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 ● 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 ● 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 □ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 <ul style="list-style-type: none"> ● 미세먼지 저감장치 제품에 대한 규격 및 기술 사양 지침서 개발 ● 노후 농기계에 적합한 미세먼지 저감장치 성능평가 기준 개발
<p>개발 미세먼지 저감 장치 장착 대상 노후 농기계엔진</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ 대상 트랙터 엔진 : 100, 75마력급(Tier 2~3 엔진) □ 콤팩트 엔진 : 70, 90마력급(Tier 2~3 엔진)

2. 연구수행 내용 및 결과

1절 연구수행 내용 및 결과

1. 연구개발 목표 및 내용

가. 최종 목표

구분	내용
최종목표	□ 노후 농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증 시험
정량적 목표	- PM 90% 이상의 저감율(미세먼지 저감장치 장착 전 대비) (엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하) - 시험조건 : ISO8178 C1-8(KC1-8)모드 - 공인시험 성적서 발행(공인시험기관 입회)
최종 목표 설정근거	- 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(법률 제 16303호) 시행(2019년 3월) - 2014년 기준 디젤엔진을 사용하는 트랙터 약 245,345대, 콤팩트 65,994대가 등록됨. 2015년 이전에 생산된 농기계의 경우 별도의 배출가스 저감장치를 장착한 사례가 없음. - 노후 농기계 미세먼지 저감장치 탑재를 위해서는, 각 농기계에 적합한 미세먼지 저감장치의 개발/성능평가/사양검토/실증시험/설치기준 등이 필요하나 현재 이와 관련한 기준이 부재함.

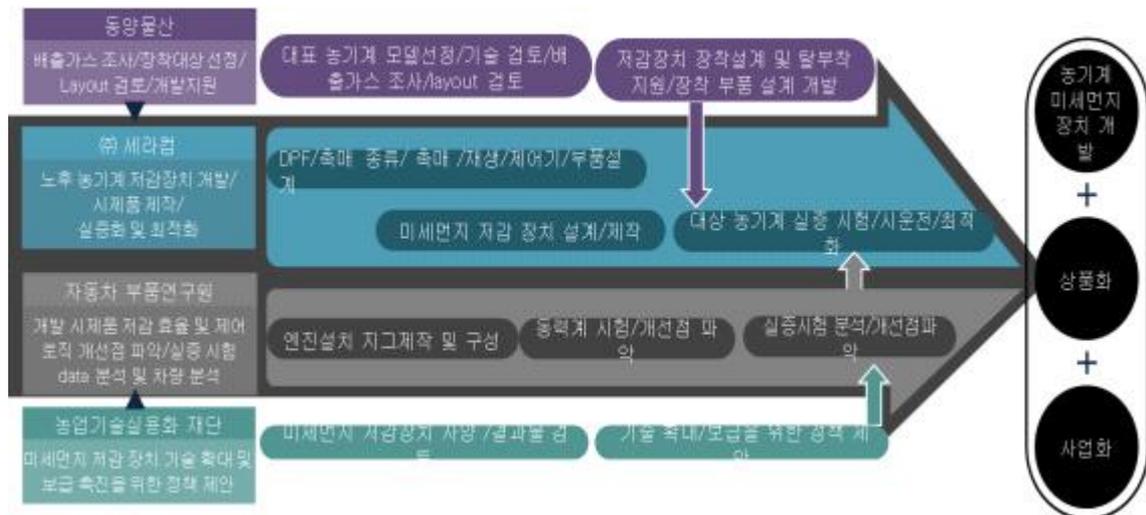
나. 세부 목표

구분	내용
세부목표	□ 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> • 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 • 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 • 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) • 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) □ 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 • 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 • 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 □ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 <ul style="list-style-type: none"> • 미세먼지 저감장치 제품에 대한 규격 및 기술 사양 지침서 개발 • 노후 농기계에 적합한 미세먼지 저감장치 성능평가 기준 개발
개발 미세먼지 저감 장치 장착 대상 노후 농기계엔진	□ 대상 트랙터 엔진 : 100, 75마력급(Tier 2~3 엔진) □ 콤팩트 엔진 : 70, 90마력급(Tier 2~3 엔진)

2. 연구개발 추진 전략

가. 연구개발 추진 전략 및 방법

수행기관	주요 담당 업무
(주) 세라컴	<ul style="list-style-type: none"> - 운전패턴, 배출가스 분석, 장착공간 조사 - 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발(촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템) - 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 - 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 - 시제품/시제품 설계 및 제작 - 시제품 실증시험 및 분석
동양물산	<ul style="list-style-type: none"> - 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 - 대상 시험 엔진 및 농기계 검토/선정 - 미세먼지 저감장치 탑재를 위한 기술지원
한국 자동차 연구원	<ul style="list-style-type: none"> - 시제품/시제품의 엔진 동력계 시험 - 개발 시제품 적용성 및 개선점 파악(저감장치 특성 시험) - 실증시험 적용성 및 특성 분석
농업기술 실용화 재단	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 저감장치 제품에 대한 기술사양 검토 - 미세먼지 저감장치 기술 확대/보급 촉진을 위한 제도 및 정책제안
최종목표	농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감기술 개발 및 실증



나. 연구개발 추진 체계



다. 연구개발 추진일정

1차년도															
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사	■													신병선 (세라컴)
2	농기계 선정 및 사례 조사/엔진설치 및 가동/개발지원	■	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	김승동 (동양물산)
3	저감장치 설계 및 시스템 요소 기술 개발/확보/시험/검증		■	■	■	■	■								신병선 (세라컴)
4	농기계 엔진 구매 및 농기계 임대 (총 4대 구형 엔진, 2개 농기계 임대 및 구매)	■													신병선 (세라컴)
5	후처리 장치 제작/설치/최적화						■	■	■						신병선 (세라컴)
6	시험 엔진 설치 및 기본성능 시험		■	■	■										강정호 (한국자동차연 구원)
7	엔진별 배출가스 측정 및 제어로직 개선 검증					■	■	■	■	■					강정호 (한국자동차연 구원))
8	시제품 설계도면 작성 및 실증시험용 장치 제작							■	■	■					신병선 (세라컴)
9	실차(검증)시험 모드 및 일일 data 분석, 적용성 특성 파악									■	■	■	■		강정호 (한국자동차연 구원))
10	성능평가 표준방법 확립 및 정책 마련						■	■	■	■	■	■	■		한태호 (농업기술실용 화재단)
11	최종 보고서 작성 및 제출												■		신병선(세라컴)

3. 연구 개발 내용

가. 노후 농기계 정보 조사 및 배출가스 조사

(1) 노후 농기계 정보 조사

○ 본 연구에 앞서 미세먼지 저감장치의 장착 적용대상 노후 농기계에 대한 정보조사를 수행함. 국내 트랙터의 경우 일반적으로 소형(40마력미만), 중형(40~60마력), 중대형(60~80마력), 대형(80마력이상)으로 구분됨. 콤바인의 경우 엔진 출력을 구분 하는 대신 작물을 예취할 수 있는 조수 수량으로 구분되어짐. 4조의 경우 평균 배기량은 약 2400cc, 5조~6조의 경우 평균 배기량이 약 3300cc로 확인됨. 국내의 연도별 농기계 보유 현황에 대해 정보 조사 결과 트랙터의 경우 중형이 시장 점유율이 높은 것으로 확인되었으며, 콤바인의 경우 4조가 시장에 널리 분포되어 있는 것으로 확인됨.

표 13. 국내 농업용 트랙터 엔진출력별 엔진배기량 현황

규격구분[엔진출력]	최소배기량[cc]	최대배기량[cc]	평균배기량[cc]
소형 [40마력미만]	719	2,434	1,424
중형 [40마력이상 ~ 60마력미만]	1,826	3,409	2,535
중대형 [60마력이상 ~ 80마력미만]	2,435	4,525	3,828
대형 [80마력이상]	3,054	7,755	5,371

표 14. 국내 농업용 콤바인 엔진출력별 엔진배기량 현황

규격구분 [조수 등]	최소배기량[cc]	최대배기량[cc]	평균배기량[cc]
4조	1,568	3,409	2,471
5조	2,435	3,770	3,287
6조	3,054	3,770	3,364
보통형	1,175	3,409	2,879

표 15. 트랙터/콤바인 연도별 보유 현황

구분	용량	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
트랙터	소형	65,782	66,958	67,442	65,516	63,340	64,651	64,503	62,635
	중형	113,639	118,771	120,689	124,011	125,466	126,498	127,700	127,928
	대형	36,030	37,518	40,131	44,266	47,040	48,802	51,693	54,782
콤바인	3조 이하	21,489	20,423	17,748	17,765	16,254	15,385	15,062	13,896
	4조	42,555	42,978	40,414	41,104	39,992	39,214	37,917	35,910
	5조 이상	10,127	11,041	11,056	11,712	12,484	13,956	15,045	16,188
합계		289,622	297,689	297,480	304,374	304,576	308,506	311,920	311,339

(2) 대상 시험 농기계 및 엔진 선정.

○ 미세먼지를 배출시키고 있는 노후 농기계는 2015년 이전에 생산된 농기계이며 이러한 농기계의 경우 Tier 2 규제가 적용된 엔진이 장착되어 있음. 선행 정보 조사에 따라 트랙터의 경우 중대형, 콤바인의 경우 4,5조의 농기계가 가장 많이 사용되고 있으며, 미세먼지 발생량 비중이 높은 것으로 파악되어 본 연구의 시험용 농기계로 동양물산에서 생산된 제품 중 Tier-2가 적용된 대표적인 모델인 트랙터(T653, T1003)와 콤바인(CX480G, CX585G)을 선정함.

표 16. 선정된 트랙터의 주요 사양

항목/모델	T653	T1003
엔진 모델	Perkins 1103C-33T	Perkins 1104D-44TA
엔진 출력(kW/rpm)	46/2200	74.9/2200
엔진 배기량(cc)	3300	4400
변속단수	F24/R24	F32/R32
주행속도(km/h)	30	40
PTO 형식	독립 PTO	독립 PTO
3점 링크 규격	CAT II	CAT II
타이어 규격(전/후)	11.2-20/14.9-30	13.6-24/16.9-34
최저지상고(mm)	415	383
축간거리(mm)	2114	2300
중량(kg)	2741	3685

표 17. 선정된 콤바인의 주요 사양

항목/모델	CX480G	CX585G
엔진 모델	YANMAR 4TNV98T-ZSKTC	YANMAR 4TNV98T-ZNKTC
엔진 출력(ps/rpm)	74/2200	85/2500
엔진 배기량(cc)	3319	3319
주변속/부변속 방식	HST/기어식	HST/기어식
작업속도(m/s)	2.77	2.9
예취 조수	4	5
예취 폭(mm)	1480	1720
탈곡통 지름x폭(mm)	446x900	446x900
곡물탱크용량(ℓ)	1500	1600
길이x폭x높이(mm)	4600x2255x2480	4625x2110x2400
중량(kg)	3477	3560

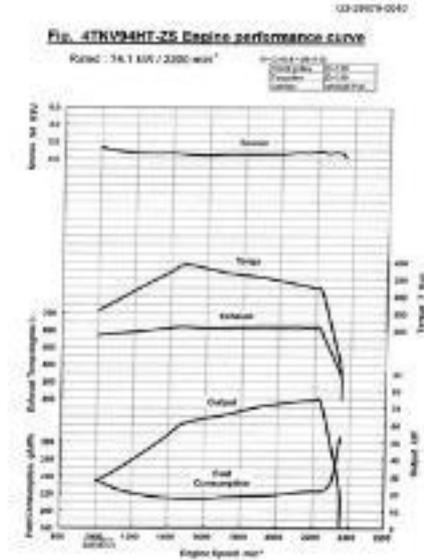
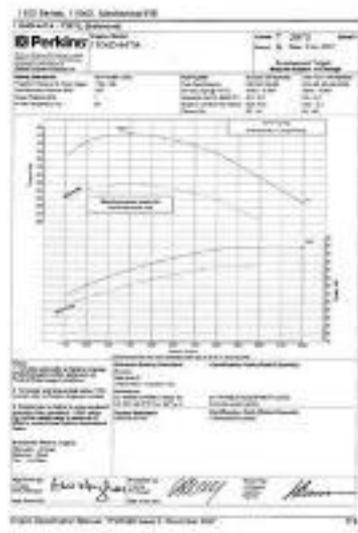


그림 12. 농기계 엔진 사양 및 배기가스 정보(왼쪽 : 트랙터, 오른쪽 : 콤바인)

나. 미세먼지 저감장치 탑재를 위한 정보 조사 및 장치 설계

(1) 장착공간, 운전패턴, 배출가스 분석등 정보조사

- 대상 농기계의 배출가스 온도는 필터 재생, 촉매활성, 저감장치 재생 시스템 개발 및 선정에 매우 중요한 인자로 인해 미세먼지 저감장치 개발을 위해 필수적으로 검토하여야 할 사항임. 따라서, 노후 농기계 미세먼지 저감장치 개발에 앞서 장착 대상 농기계에 대한 장착성 검토 및 실제 농기계의 배기가스 온도 분포도를 조사함.

(가) 미세먼지 저감장치 장착 공간 검토 결과

- 대상 노후 농기계의 경우 미세먼지 저감장치의 장착이 고려되지 않아, 장착위치 선정에 어려움이 있어 장착 위치에 대한 사전 조사를 실시함. 노후 농기계의 경우 소음을 저감시키는 머플러가 기본적 장착되어 있는 것으로 확인 되었으며, 미세먼지 저감장치 장착 위치 검토 결과 기존 머플러 위치 또는 농기계 지붕 상단에 설치 위치가 가능할 것으로 확인됨.
- 다만 기존 머플러 위치의 경우 공간이 매우 협소한 것으로 확인되어 추후 소형 매연저감장치의 성능에 대한 충분한 검토가 필요함. 미세먼지 저감장치 장착위치에 대한 사점 검토 결과 기존 머플러 위치(내부)와 농기계 외부에 장착이 가능한 것으로 확인함.



그림 13. 사전 정보조사 농기계 사진(대상농기계/머플러/사전 작업 농경지)



그림 14. T653 트랙터에 사용된 Perkins사의 1103C-33T 엔진의 Layout 및 소음기 형상

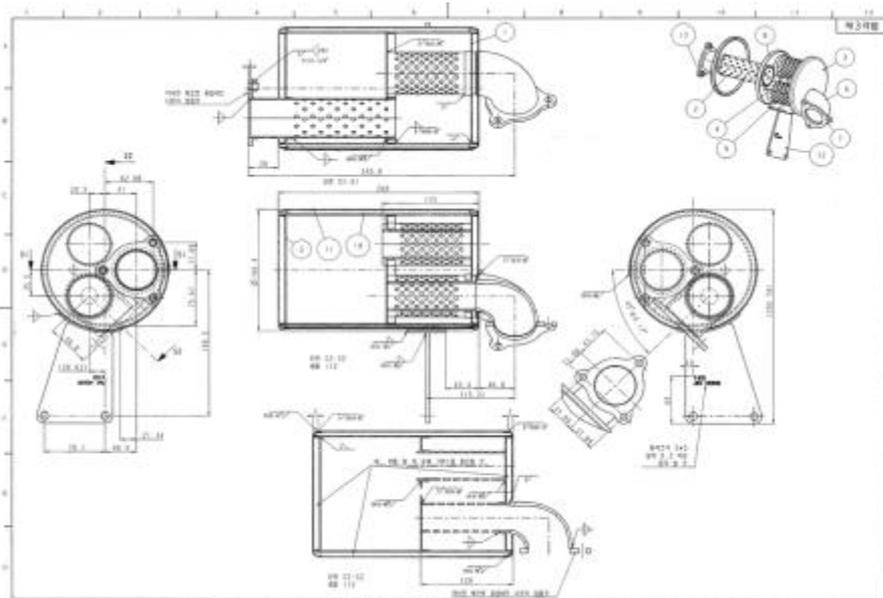


그림 15. T653 트랙터에 사용된 소음기 도면



그림 16. T1003 트랙터에 사용된 1104D-44TA 엔진의 Layout 및 소음기 형상

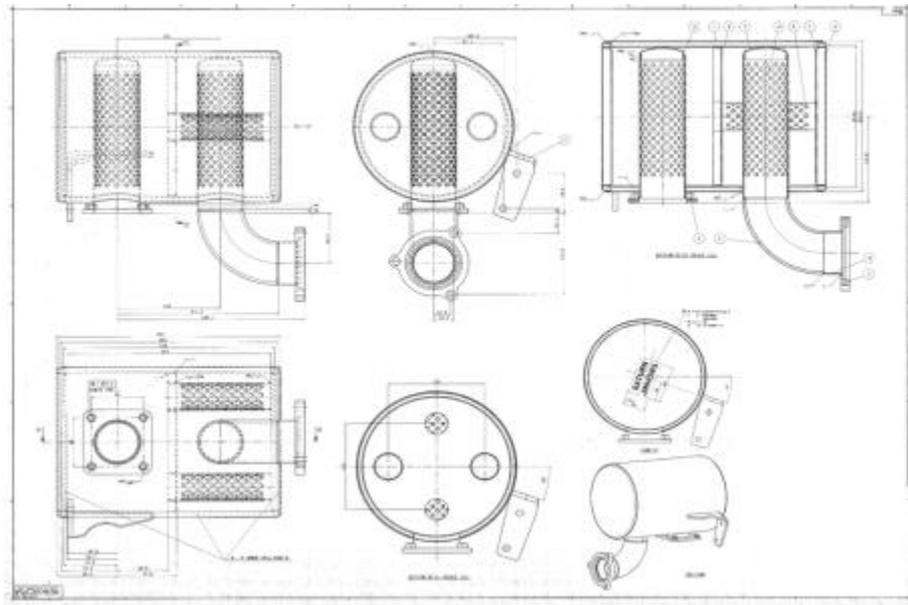


그림 17. T1003 트랙터에 사용된 소음기 도면

(나) 농기계 운전 패턴 및 배기가스 온도 조사 결과

- 트랙터 노후농기계 온도 분포도 조사를 수행하였으며 조사 정보 및 측정 결과는 아래 표에 나타냄. 온도 조사 결과 최대 온도 402℃ , 300℃ 이상 온도 분포도 16.32%로 측정 되었으며, 농기계 이동 시에는 배기가스 온도가 비교적 낮은 온도 분포도(250℃이하)를 나타내었으나, 농경지 작업 시에는 비교적 높은 온도 분포도(300℃이상)를 나타내는 것으로 확인됨.
- 아래 그림은 트랙터 31시간동안의 운행 시험 결과 및 온도 분포도를 나타낸 그림임. 온도 분포도 확인 결과 농기계를 이용한 농경지 경작 시 온도가 일시적으로 높게 형성되었다가 낮아지는 경향을 확인 할 수 있음.
- 따라서, 본 사전 온도 조사 결과 미세먼지 저감장치의 장착위치가 머플러 부분 또는 머플러 후단에 장착될 경우 저감장치의 재생 방식은 촉매방식의 자연재생이 가능할 것으로 사료되나, 농기계 외부에 장착될 경우 인위적인 열을 가하는 촉매+ 버너의 복합 재생 방식을 필요한 것으로 확인됨.

표 18. 대상 농기계 사전 정보 조사 및 측정 결과

	운영 조건 및 측정값
사전조사 농기계	T1003(74.9kw)
주행 시간	31시간
최소 온도	0
최대 온도	402
300℃ 이상 온도 분포도	16.32%

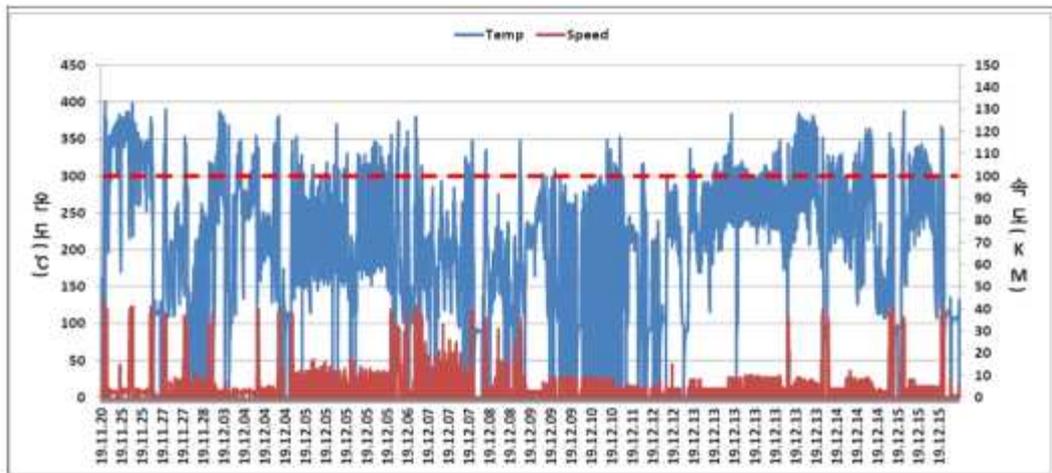


그림 18. 대상 농기계(T1003) 사전 온도 조사 운행 시험 결과

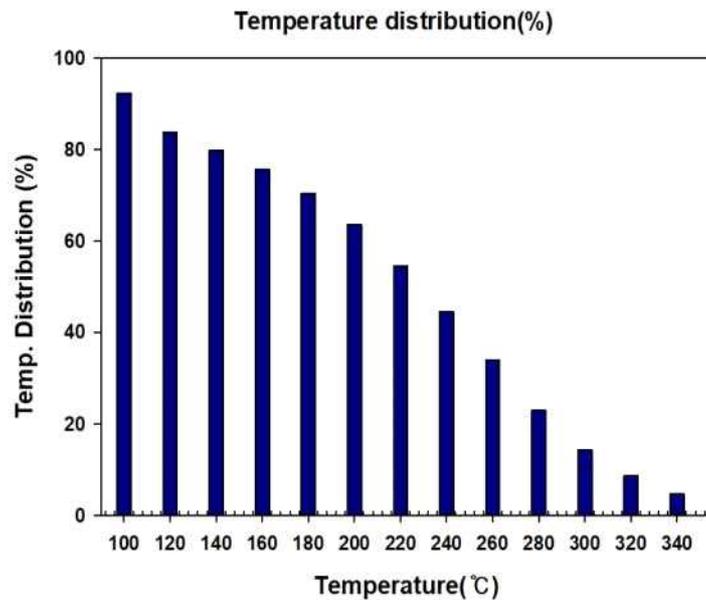


그림 19. 대상 농기계(T1003) 사전 온도 조사 운행 시험 결과

다. 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발

(1) 엔진 배기량, 배압 특성에 따른 DPF Size 설계 및 선정

(가) 노후 농기계용 DPF 필터 요소 기술 개발

- 일반적으로 디젤 엔진에서 배출되는 미세먼지를 제거 할 수 있는 가장 효과적인 방법은 DPF(Diesel Particulate Filter)로 알려져 있음. 이러한 DPF는 열 저항성과 부식 저항성을 요구하고 있고 이러한 이유로 세라믹 하니컴 담체가 주요 DPF 물질로 사용됨.
- 이러한 세라믹 하니컴 DPF 담체의 구조는 아래의 그림과 같음. DPF로 유입된 오염물질은 세라믹 하니컴의 Wall 부분을 통과하면서 Wall 벽면의 필터작용으로 PM이 제거됨. 이러한 DPF의 경우 필터의 배압이 대부분 전체 시스템의 배압이 대부분을 차지하고 있어 노후 농기계 미세먼지 저감 장치에 적합한 DPF를 선정하는 것이 중요함.

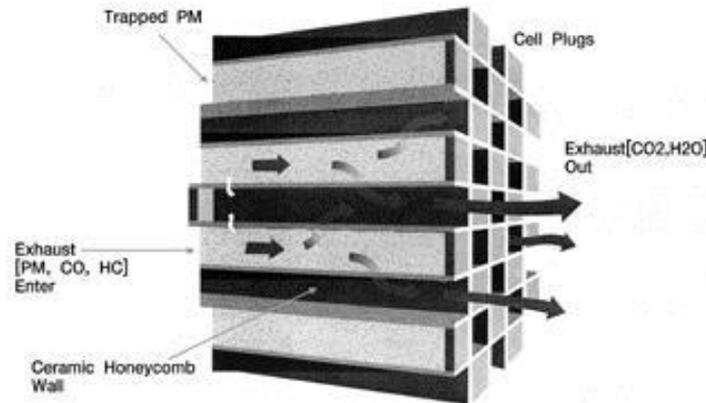


그림 20. 세라믹 DPF 담체의 구조

① 코디어라이트 DPF 필터 샘플 제작 및 시험

- 노후 농기계용 DPF 필터의 선정을 위해 코디어라이트 DPF 필터 제품에 대해 샘플 제조 및 평가를 수행함. 샘플 제조된 DPF 제품에 대한 배압특성을 평가하기 위하여 아래그림의 공정에 따라 코디어라이트 필터를 제조함.
- 일반적으로 필터의 기공율이 증가할 경우 DPF 필터에서 발생하는 차압을 낮아지는 경향이 있음. 이러한 필터의 기공 특성 비교 검토를 위하여 코디어라이트 조합내에 원료를 변경 하여 원하는 기공크기를 가지는 DPF 필터 2종류를 제조하여 비교평가를 통해 농기계에 적합한 DPF 필터를 선정함.

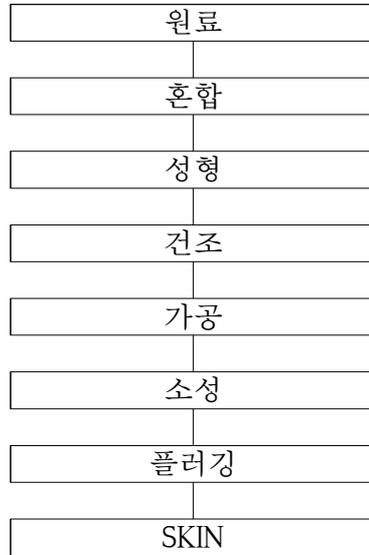


그림 21. 코디어라이트 DPF필터 제조 공정



그림 22. 코디어라이트 샘플 사진(왼쪽 : 소성 후 사진, 오른쪽 : skin 작업 후 사진)



그림 23. DPF 필터 특성 평가 장비

- 2종류에 대한 DPF 필터 샘플을 제조한 후 필터의 특성 평가를 수행함. 특성 평가 결과 코디어라이트 샘플 1의 흡수율 39.67%로 측정되었으며, 코디어라이트 샘플 2의 경우 흡수율이 44.26%로 측정됨. 필터의 배압과 상관관계가 있는 기공율 측정 결과 샘플 1의 경우 50.14%, 샘플 2의 경우 53.70%로 확인됨. 필터의 기공사이즈는 샘플 1번이 약 6.68 μm , 샘플 2번이 10.7 μm 로 확인되어 샘플 2번의 기공사이즈가 약 3 μm 이상 증대된 것으로 확인됨.
- 샘플 특성 평가 결과 샘플 2번이 기공사이즈 및 기공율이 증대된 것으로 확인되어, 필터의 배압 측면에서 유리할 것으로 판단됨.

표 19. 디젤 미립자 필터 특성 평가 결과

	코디어라이트 DPF 샘플 1	코디어라이트 DPF 샘플 2
밀도(g/cm ³)	1.26	1.21
기공율(%)	50.14	53.70
흡수율(%)	39.67	44.26
Average Pore Size(μm)	6.68	10.74
Total Intrusion Volume(cc/g)	0.402	0.297

- 2종류에 샘플 제조 후 필터구조를 확인하기 위해 SEM 측정을 수행함. SEM 측정 결과 샘플 1에 비해 샘플2번이 더 많은 기공이 존재하는 것을 육안으로 확인할 수 있으며, 기공 사이즈 역시 조대 기공이 더 많이 분포 된 것을 확인하였음.

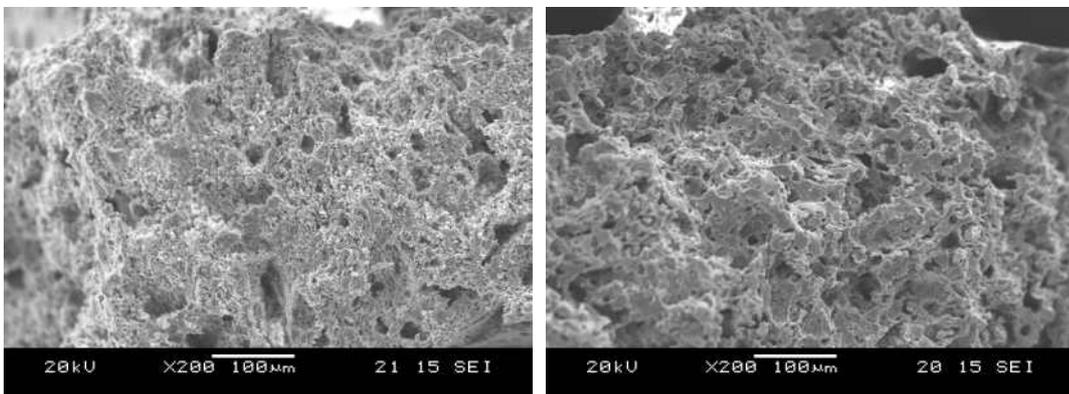


그림 24. DPF 필터 구조 SEM 이미지(왼쪽 : 샘플 1, 오른쪽 : 샘플 2)

② 코디어라이트 DPF 필터에 대한 배압 특성 분석

- 앞선 연구에서 기공율 및 기공사이즈 특성이 다른 Cordierite DPF 샘플 2개에 대한 배압 특성에 대해 비교 평가를 수행함. 미세먼지 저감장치에 사용되는 DPF는 촉매가 코팅된 cDPF가 적용됨에 따라 배압측정은 촉매를 코팅하지 않은 Bare DPF와 촉매가 코팅된 cDPF에 대해 배압을 측정하여 비교함.
- Bare DPF에 대한 배압 특성 평가 결과 샘플 1은 16.7cmH2O로 확인되었으며, 샘플 2의 경우 약 8.6 cmH2O로 측정되어 DPF 샘플 1의 경우 샘플 2에 비해 약 2배 높은 배압이 형성되는 것으로 나타남. 이는 앞서 평가한 DPF 기공율과 기공사이즈 영향으로 발생된 것으로 판단됨.
- DPF에 촉매를 코팅한 cDPF에 대한 배압 평가 결과 촉매 코팅 후 샘플 모두 배압이 크게 증가하는 것으로 확인 되었으며, 샘플 배압 비교 결과 DPF 샘플 1의 경우 샘플 2에 비해 약 4배 높은 배압이 형성되는 것으로 나타남. 따라서, 노후 농기계에 적용할 Cordierite DPF는 샘플 2로 선정함.

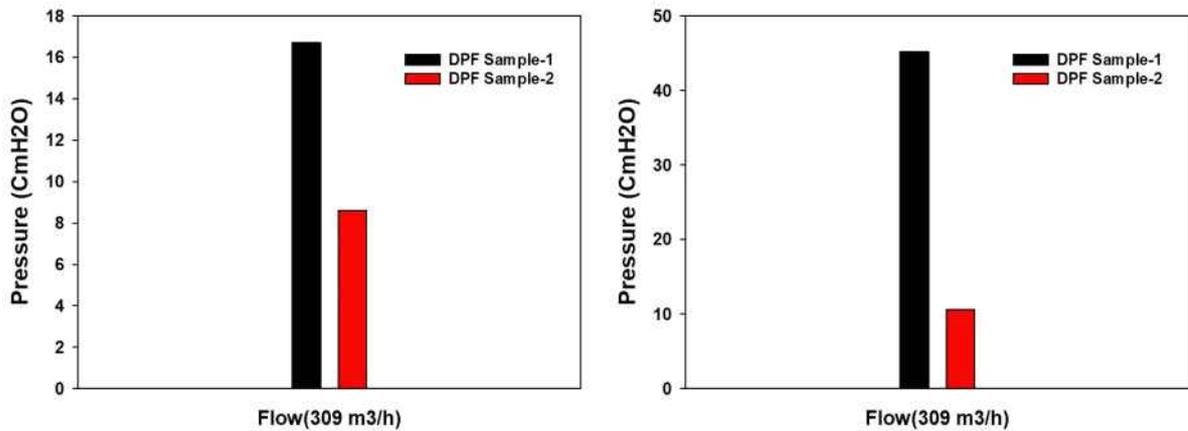


그림 25. Cordierite 디젤미립자 필터 샘플 배압 측정 결과

③ SIC DPF 필터에 대한 배압 특성 분석

- SIC 필터는 DPF 필터의 고온 열 내구성이 우수한 장점이 있어, 강제 재생 장치의 미세먼지 저감장치에 주로 적용되고 있음. 다만, 코디어라이트 담체에 비해 밀도가 높으며 큰 사이즈의 DPF 제조 기술의 한계로 인해 작은 사이즈를 제작한 후 접합하여 제조하고 있음.
- 이러한 접합 부분의 Dead zone 문제로 인해 촉매 활성화 및 배압 측면에서의 불리한 단점이 있음. 따라서, 노후 농기계에용 DPF 필터의 선정 및 적용성 평가를 위해 SIC 필터를 구매하여, 앞선 선정한 코디어라이트 DPF 필터와 배압에 대한 비교 평가를 수행함.
- SIC DPF 필터에 대한 배압 특성 평가 결과 촉매를 코팅하지 않은 bare SIC DPF의

배압은 Cordierite DPF 배압에 비해 약 2배 이상 높게 측정 되었으며, 촉매를 코팅한 CDPF 배압 비교 결과 SIC 필터의 배압은 본 연구에서 선정한 Cordierite 배압에 비해 약 3배 높게 측정됨.

- 이는 앞서 설명한 바와 같이 필터의 기공 특성과 작은 사이즈의 접합으로 인해 차이가 발생한 것으로 예상되며, 추후 샘플 제작 시 SIC 필터를 코디어라이트 필터와 동시에 제작하여 엔진 동력계상에서의 배압 특성과 성능특성을 비교 평가하고자함.

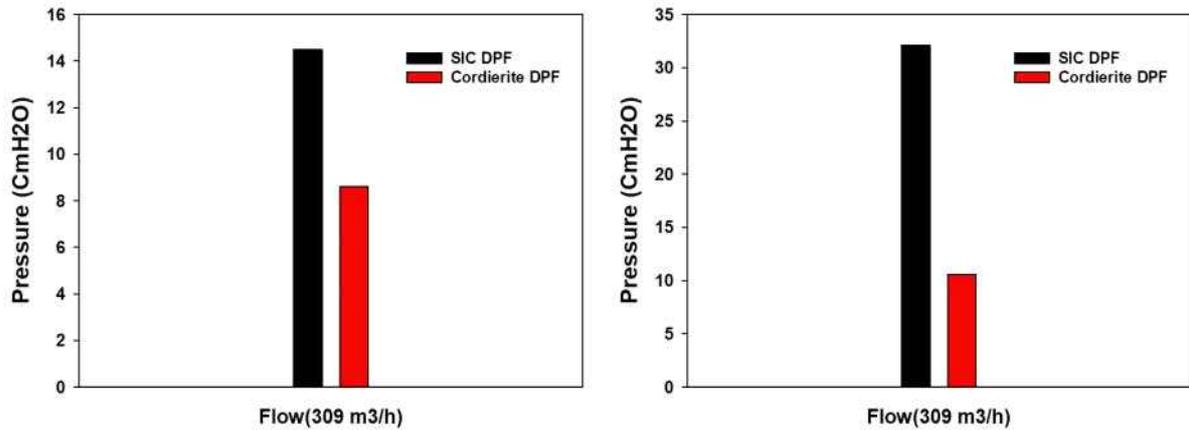


그림 26. 디젤미립자 필터 샘플 배압 비교평가 결과

(2) 엔진 배기가스 특성에 따른 촉매 설계 및 선정

(가) 촉매 제조 및 평가 방법

- DOC, DPF 촉매의 제조는 Pt-Pd/Al₂O₃의 촉매를 각각 2개를 제조하여 촉매 성능에 대해 비교평가를 수행함. 촉매의 제조는 Milling법으로 제조하였으며, 각각의 원료를 혼합하여 Milling을 진행하여 Slurry를 제조한 후 Slurry 용액에 DOC 담체와 DPF 필터에 코팅을 진행함. 코팅 후 건조, 소성 과정을 거쳐 최종 촉매를 제조함.
- 제조된 촉매에 대해 Micro reactor 및 FT-IR을 이용하여 촉매 활성 평가를 수행함. Micro reactor는 크게 가스주입부분, 반응기 부분, 반응가스 분석부분으로 구성됨. 반응기에 공급되는 가스는 CO, HC, NO, N₂, O₂, CO₂의 각 실린더로부터 MFC (Mass Flow Controller, MKS Co.)를 사용하여 유량을 조절하였으며, 수분의 공급은 정량펌프를 통해 반응기에 주입되도록 함. 반응물과 생성물의 농도를 측정하기 위하여 가스분석기는 적외선 가스분석기(FT-IR)을 사용하였으며, 모든 gas는 분석기로 유입되기 전에 chiller의 수분 trap을 이용하여 수분을 제거 후 측정함. 촉매의 반응온도는 10℃/Min으로 승온 상태에서 농도를 측정함. 촉매 활성 평가 장비 및 성능평가 조건을 아래 그림과 표에 나타냄.



그림 27. Catalyst Micro reactor and analyzer

표 20. 촉매 성능 평가조건

공간속도(SV)	57,000
CO 농도(ppm)	2316
HC 농도(ppm)	937
NOx 농도(ppm)	684
O ₂ 농도(%)	6.64
CO ₂ 농도(%)	5.27
H ₂ O 농도(%)	10
온도 조건(℃)	10℃/Min

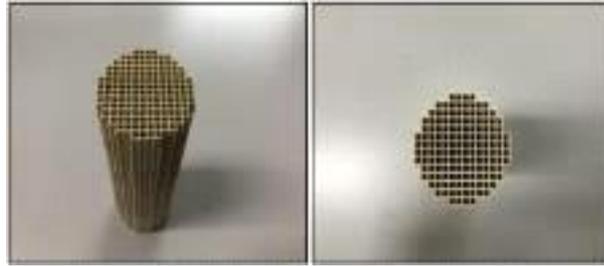
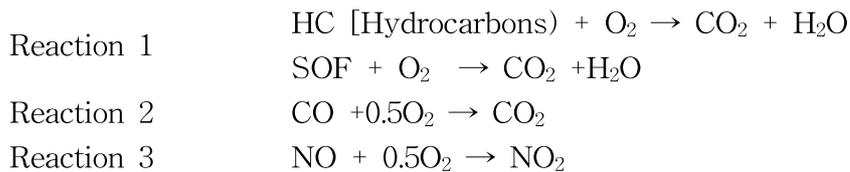


그림 28. 촉매 활성 평가 시편 사진

(나) DOC(Diesel Oxidation Catalyst) 촉매 설계 및 평가

- 디젤 산화촉매는 디젤차에서 배출되는 기체상태의 탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 유기성 용해물질(Soluble Organic Fraction, SOF) 등을 산화반응을 시켜 유해 가스 물질을 저감시키는 역할을 함. 또한 NO를 산화시켜 NO₂를 생성하며, 산화된 NO₂는 DPF필터 내에 포집된 매연(Carbon)과의 산화반응을 일으킴. DOC 상에서의 화학반응은 아래 식으로 표현될 수 있음.
- 디젤 산화촉매는 크게 3가지 화학 반응으로 구분되어 지며, 첫 번째 반응은 가스상태의 HC과 SOF의 산화를 통해 이산화탄소와 수증기를 발생하는 반응임. 두 번째 반응은 일산화탄소가 산화하여 이산화탄소로 전환되며, 반응식 3은 NO₂ 생성반응으로써 NO가 NO₂로 전환되는 반응이며, 생성된 NO₂는 필터부(DPF)에서 매연을 산화를 유도함. (출처 : Catalytic air pollution control)



- 본 연구에서는 DOC 촉매 2종류에 대해 촉매 제조 한 후 CO, HC, NO 산화력을 비교하여 최적의 촉매를 선정함. 디젤엔진 일부 발생하는 촉매의 성능 저하의 원인은 열화에 의한 촉매 Sintering으로 알려져 있음.(출처 : Catalytic air pollution control) 제조 된 촉매에 대해서 열 내구성을 파악 하기위해 Fresh 촉매 성능과 750℃ 25시간 hydrothermal aging 후 촉매 활성을 비교평가를 수행함.

① DOC 촉매 활성 평가 결과

- DOC 촉매는 촉매의 귀금속 비율과 조촉매의 종류에 따라, 촉매 활성과 촉매의 특성이 상이함. 따라서, PM 재생 시 높은 온도로 상승하는 미세먼지 저감장치에 적합한 촉매를 선정하기 위해 촉매 원료 제조 비율이 다른 총 2종류에 DOC 촉매에 촉매 활성 평가를 수행하였음.

- DOC Fresh 촉매의 CO 전환을 실험 결과 Catalyst A, B 모두 200℃ 온도영역에서 약 90% 이상의 촉매 활성이 확인되었으며, Catalyst B에 비해 Catalyst A 촉매가 촉매 활성이 더 우수한 것으로 확인됨.
- DOC aging 촉매의 CO 전환을 실험 결과 Catalyst A와 B 촉매가 매우 유사한 촉매 성능을 나타내는 것으로 확인됨. Aging 전후의 CO 전환을 비교 평가 750℃ 고온에서 Aging 후에도 약 250℃ 영역에서 촉매 활성이 나타나는 것으로 확인되었으며, Fresh 촉매 대비 약 40℃의 촉매 활성 온도차이가 발생하는 것으로 나타남.

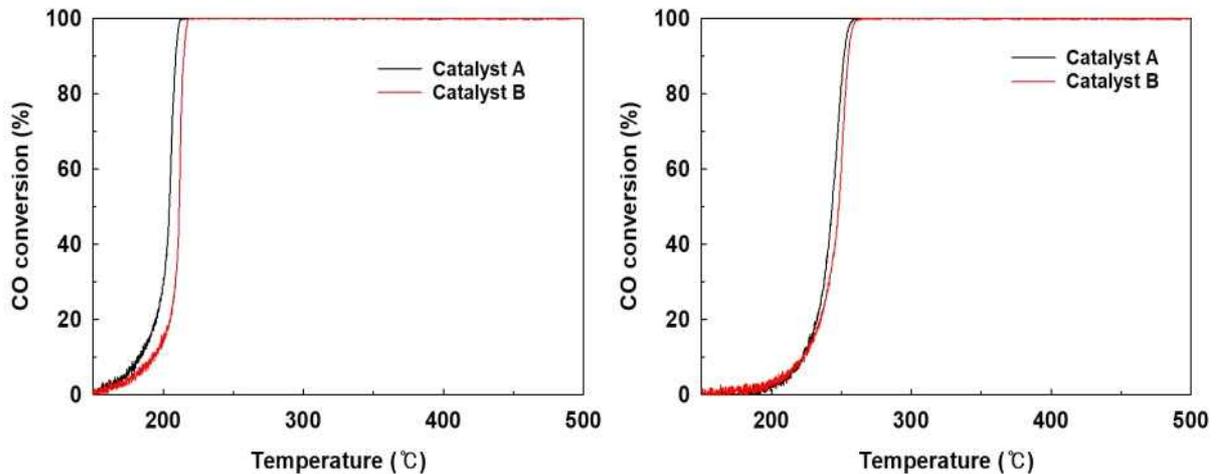


그림 29. DOC 촉매 CO 산화율 평가 결과(왼쪽 : Fresh, 오른쪽 : Aging)

- DOC Fresh 촉매의 HC 전환을 실험 결과 약 205~210℃ 온도영역에서 약 90% 이상의 촉매 활성이 확인되었으며, Catalyst B에 비해 Catalyst A 촉매가 촉매 활성이 더 우수한 것으로 확인됨.
- DOC aging 촉매의 HC 전환을 실험 결과 Catalyst A와 B 촉매가 매우 유사한 촉매 성능을 나타내는 것으로 확인됨. Aging 전후의 HC 전환을 비교 평가 결과 CO 전환을 측정값과 유사한 온도 영역인 약 250℃ 영역에서 촉매 활성이 나타나는 것으로 확인됨.

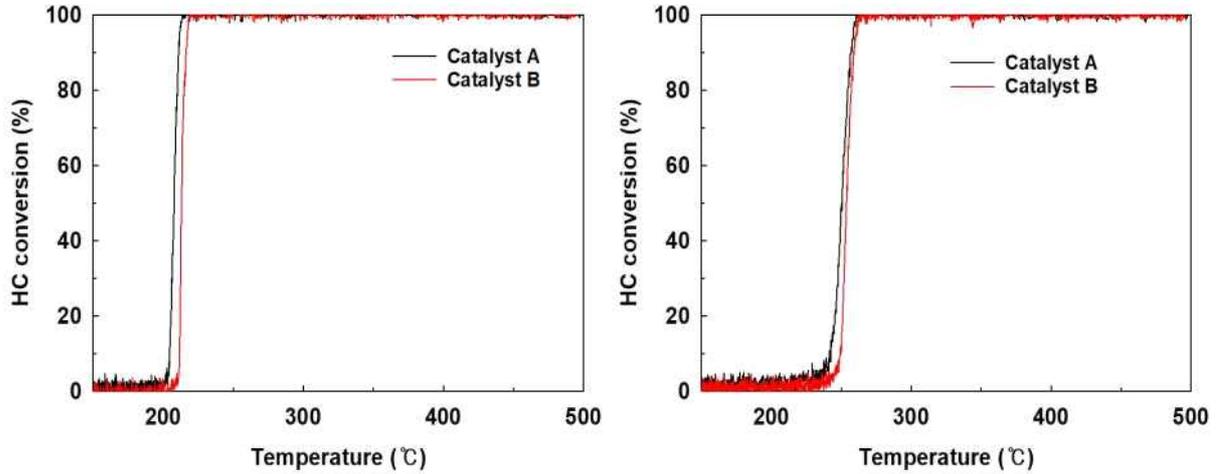


그림 30. DOC 촉매 HC 산화율 평가 결과(왼쪽 : Fresh, 오른쪽 : Aging)

- DOC Fresh 촉매의 NO₂ 전환율 실험 결과 Catalyst-A 촉매의 경우 약 250°C 온도영역에 NO₂ 전환율이 약 60%의 높은 전환율이 확인되었으며, Catalyst - B 촉매의 경우 Catalyst - A 촉매에 비해 NO₂ 전환율이 약 10%~20% 더 낮게 측정된 것으로 확인됨.
- DOC Aging 촉매의 NO₂ 전환율 실험 결과 Fresh 촉매에 비해 약 50°C 더 높은 온도에서 NO₂ 생성을 확인 할 수 있으며, Catalyst - A 촉매의 경우 NO₂ 전환율이 Fresh 촉매대비 약 20% 감소하였으며, Catalyst - B 촉매는 약 25% 이상 감소한 것으로 확인됨.
- 농기계 미세먼지 저감장치에 적합한 DOC 촉매에 대한 실험 결과 촉매 활성 및 열 내구성 측면에서 Catalyst - A 촉매가 우수한 성능 확인되어, Catalyst - A 촉매를 선정함.

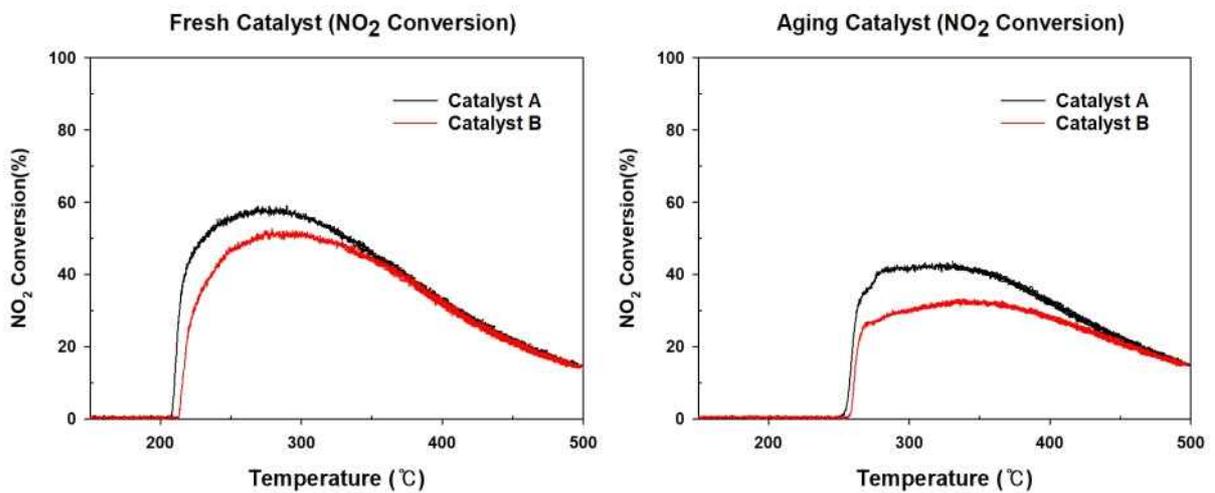
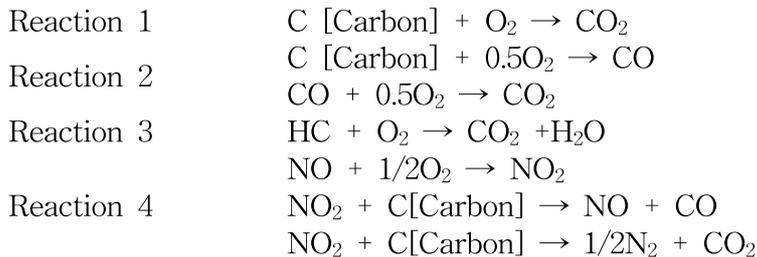


그림 31. DOC 촉매 NO₂ 전환율 평가 결과(왼쪽 : Fresh, 오른쪽 : Aging)

(다) DPF (Diesel Particulate Filter) 촉매 설계 및 평가

- DPF 필터에 촉매를 코팅한 촉매를 Catalyzed Diesel Particulate Filter(cDPF)로 명명하고 있음. 이러한 CDPF는 디젤산화촉매(DOC)에서 반응하지 못한 가스상 물질을 저장하는 것과 동시에 필터에 포집된 Soot(Carbon)와의 산화반응을 시켜 이산화탄소와 물로 전환시켜 Soot을 재생(산화)하는 역할을 함. DPF상에서의 화학반응은 아래 식에 나타내었음. (출처 : Catalytic air pollution control)
- 화학반응의 첫 번째 및 두 번째 반응은 DPF 상에 포집된 Soot와 산소가 반응하여 CO₂로의 완전연소 또는 불완전 연소를 통한 CO로의 산화반응을 이루어짐. 이때 첫 번째 반응이 우선적으로 일어나며, 반응조건에 따라 산소가 부족할 경우 두 번째 반응이 발생함. 이때 DOC에서 반응하지 못한 CO 및 DPF 상에서 생성된 CO는 산소와 반응하여 CO₂로 전환 될 수 있으며, DOC에서 완전히 반응하지 못한 HC는 세 번째 반응식과 같이 산소와 반응하여 이산화탄소와 물로 전환됨.
- 배출가스에서 발생하는 NO는 DOC 및 cDPF에서 촉매 반응을 통해 네 번째 반응식과 같이 NO₂로 산화되며, 산화된 NO₂는 필터부의 Soot을 산화시키는데 주요 역할을 함. NO₂는 산소에 비해 더 강력한 산화제 역할을 하여 자연 재생방식을 적용하는 장치에서 촉매부의 재생온도를 낮추는 역할을 함.



① DPF 촉매 활성 평가 결과

- DPF 촉매는 PM 재생 시 고온에 빈번히 노출되는 특성으로 인해, 열 내구성이 우수한 촉매가 요구되고 있음. 따라서, 고온 열내구성에 우수한 촉매를 선정하기 위해 촉매 원료 제조 비율이 다른 총 2종류에 DPF 촉매에 촉매 활성 평가를 수행하였음.
- 아래 그림은 DPF 촉매에 대한 CO 전환율을 측정 결과임. 촉매 별 CO 전환율 비교 결과 Fresh 촉매의 경우 Catalyst-A 촉매가 Catalyst-B촉매에 비해 성능이 우수한 것으로 확인되었으며, 800℃ 25시간 aging 촉매 평가 결과 Catalyst A, B 성능이 유사한 것으로 확인됨.
- 촉매 Aging 후 촉매 활성 온도는 Fresh 촉매대비 약 50℃의 차이가 나타나는 것으로 확인되었으나, 촉매 Aging 후에 촉매 활성 저하는 크지 않은 것으로 나타남.

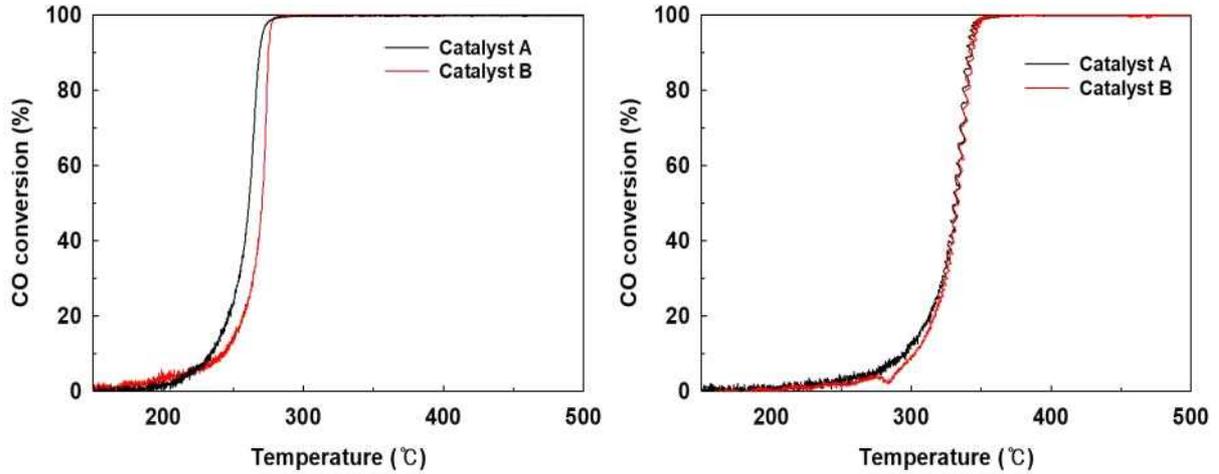


그림 32. DPF 촉매 CO 산화율 평가 결과(왼쪽 : Fresh, 오른쪽 : Aging)

- 아래 그림은 DPF 촉매에 대한 HC 전환율을 측정 결과임. 촉매 별 HC 전환율 비교 결과 앞선 CO 결과 값과 유사하게 Fresh 촉매의 경우 Catalyst-A 촉매가 Catalyst-B 촉매에 비해 성능이 우수한 것으로 확인되었으며, 800°C 25시간 aging 후 촉매 평가 결과 Catalyst A, B 성능이 유사한 것으로 확인됨.
- 촉매 Aging 후 촉매 활성 온도는 Fresh 촉매대비 약 70°C의 차이가 나타나는 것으로 확인되었으나, 촉매 Aging 후에 촉매 활성 저하는 크지 않은 것으로 나타남.

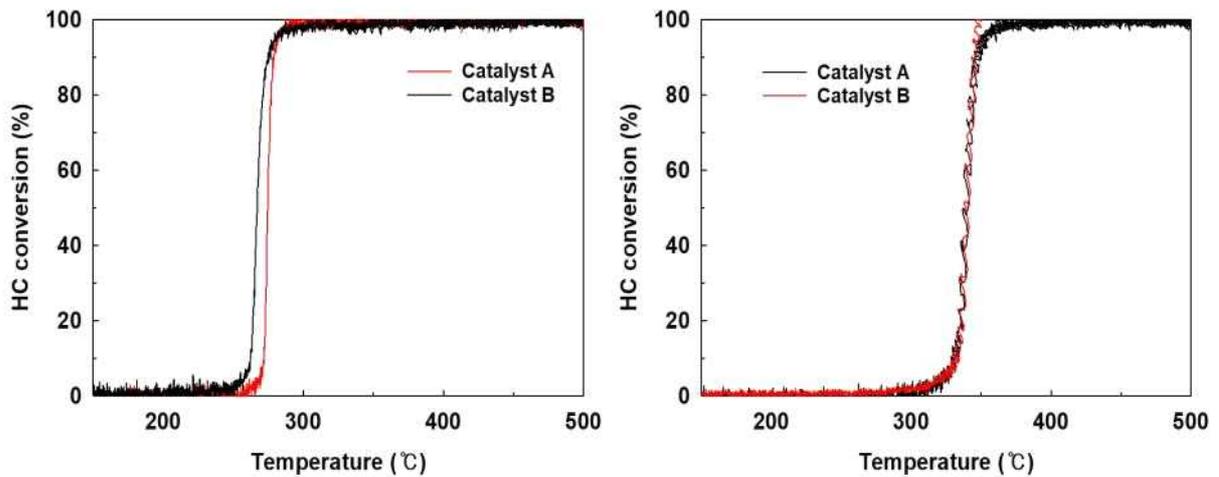


그림 33. DPF 촉매 HC 산화율 평가 결과(왼쪽 : Fresh, 오른쪽 : Aging)

(3) 노후 농기계 촉매 및 DPF필터 시뮬레이션 해석 결과

- 노후 농기계 엔진에서 배출되는 배출가스 유량, 배출가스 성분 및 화학반응등의 여러 가지 복합적인 인자들로 인해, 시험적으로 연구하기에는 한계가 있음. 따라서, 앞서 연구된 필터 및 촉매의 기초 실험데이터/물리적 물성치/화학반응을 근거로 하여 촉매

시제품의 해석을 진행함. 촉매 해석을 통해 최적화된 촉매의 구조를 도출하여 시제품 제작에 적용하고자함.

- 촉매 해석은 2종류의 촉매 및 필터의 사양에 대해 비교 분석을 수행함. 촉매 시뮬레이션을 위해 상용 소프트웨어인 Axisuite를 사용하여 설계를 진행하였으며, 촉매 해석에 필요한 기본인자는 아래 표에 나타내었음. 아래 그림은 설계 해석한 1차 시제품의 구조도를 나타낸 그림임.

표 21. 촉매 시뮬레이션 해석 기본 인자

구분	해석 기본인자
배기가스 정보	mass flow, temperature, gas concentrations, soot, ash
담체	Size, Substrate type, Cell density, thickness, thermal conductivity, density, porosity, pore size
촉매	Washcoat material, loading, thermal conductivity, density, thermal capacity, Reaction scheme
Packaging	insulation type, thermal conductivity, density, thermal capacity, skin, Cement, Canning type, thickness,

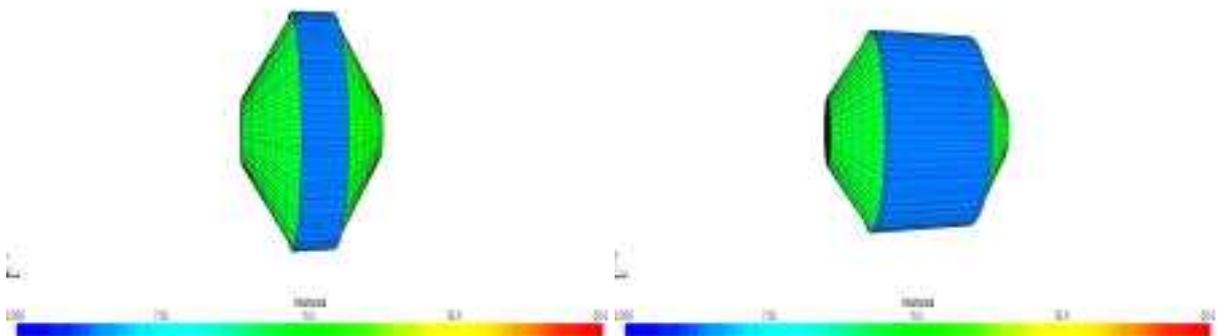


그림 34. 1차 시제품 설계 해석 구조도(왼쪽 : DOC, 오른쪽 : DPF)

(가) DOC 촉매를 이용한 성능 예측 결과

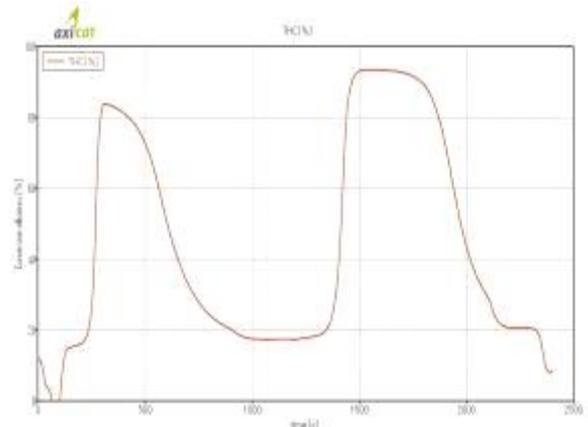
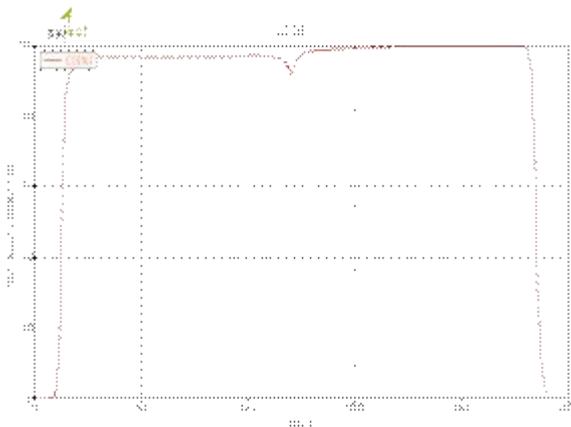
- 앞선 연구에서 DOC 촉매를 바탕으로 시제품의 사이즈에 따른 DOC 촉매의 성능 예측을 수행함. 시제품은 1차 시제품과 2차 시제품으로 구분하였으며, 각 시제품 사양은 아래와 같이 설계하여 성능 예측을 수행함. 성능예측은 동력계 시험모드인 KC1-8모드를 기준으로 각 모드별 300초 유지하여, 총 2400초 시험 값 조건으로 시뮬레이션을 진행함.

표 22. DOC 촉매 시제품 사양

	촉매 사양	촉매 사이즈	미세먼지 저감장치 예상 설치 위치
DOC 촉매 1차 시제품	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	6.77 * 2 inch	엔진 머플러 위치 (내부 장착)
DOC 촉매 2차 시제품 -1	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	7.5 * 3 inch	외부 장착
DOC 촉매 2차 시제품 -2	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	9 * 3 inch	외부 장착

① 1차 DOC 시제품 사양 성능 해석 결과

- 앞선 연구에서 실험값으로 도출된 촉매 해석 기본인자를 바탕으로 DOC 촉매의 배압 및 CO, HC의 전환을 해석을 수행함. 해석결과 DOC 촉매 구조의 배압은 최대 출력에서 약 7 mbar로 예측되었으며, 배기가스 중 CO의 경우 1~8모드 모두 95%이상의 저감률이 예상되는 결과가 도출됨.
- 가스상 물질 중 THC는 초기1,2모드에서는 약 80% 수준의 저감을 결과가 예측되었으나, 3,4모드에서는 약 20%의 낮은 저감율이 예측됨. 5,6,7모드에서는 80%이상의 높은 저감율이 나타날 것으로 예측되었으며, 마지막 모드인 8모드에서는 20%의 낮은 저감율이 측정될 것으로 예측됨. 이는 각 모드별 배기가스 온도 변화에 따라 성능 차이가 나타나는 것으로 판단됨.



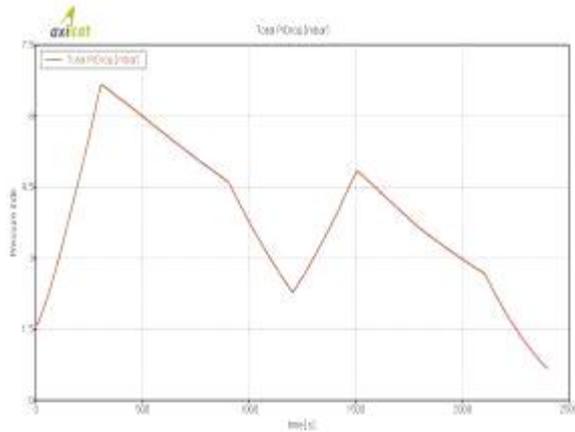
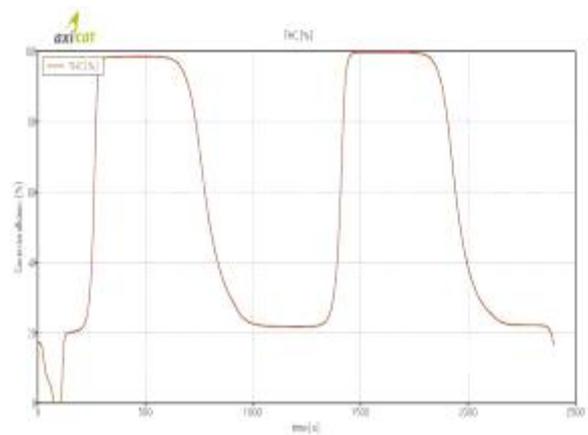
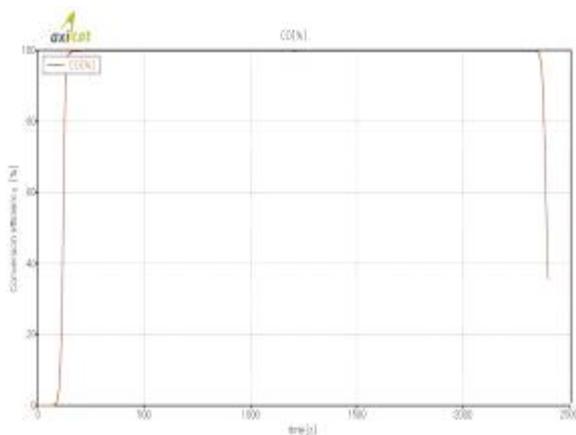


그림 35. 1차 DOC 시제품 성능 예측 결과

② 2차 DOC 시제품 사양 성능 해석 결과

㉔ 54~62.5kw 농기계 DOC 시제품 해석 결과

- 2차 시제품-1에 대한 해석은 62.5kw 콤바인 엔진 배기가스를 조건으로 DOC 촉매의 배압 및 CO, HC의 전환율 해석을 수행함. 해석결과 DOC 촉매 구조의 배압은 최대 출력에서 약 7 mbar로 예측되었으며, 배기가스 중 CO의 경우 1~8모드 모두 100%의 저감율이 예상되는 결과가 도출됨.
- 가스상 물질 중 THC는 앞선 1차 시제품과 유사한 경향으로 초기1,2모드에서는 약 98% 수준의 저감률 결과가 예측되었으나, 3,4모드에서는 약 20%의 낮은 저감율이 예측됨. 5,6,7모드에서는 98%이상의 높은 저감율이 나타날 것으로 예측되었으며, 마지막 모드인 8모드에서는 20%의 낮은 저감율이 측정될 것으로 예측됨.
- 앞선 언급한 바와 같이 각 모드별 배기가스 온도 변화에 따라 성능 차이가 나타나는 것으로 판단되며, 1차 시제품에 비해 촉매 사이즈 증가로 인해 2차 시제품-1의 경우 각 모드별 저감율은 1차 시제품에 비해 저감율이 증가할 것으로 예측됨.



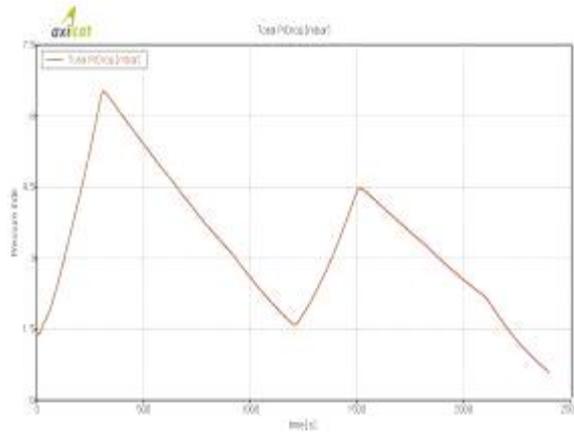
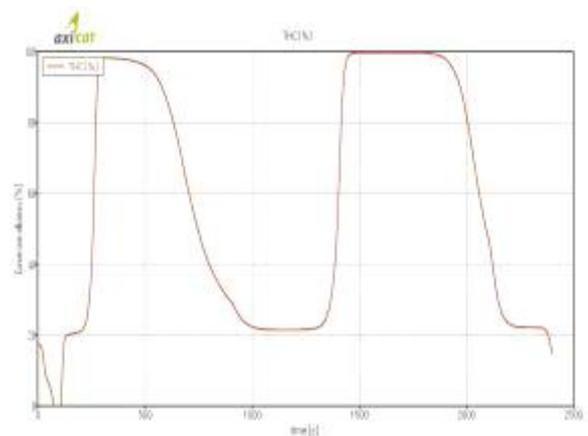
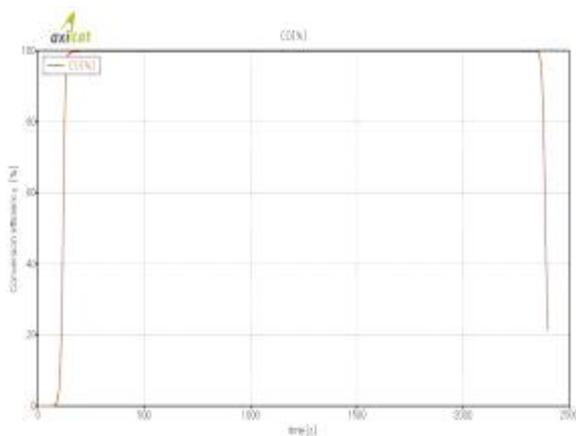


그림 36. 2차 DOC 시제품-1 성능 예측 결과

㉔ 75kw 농기계 DOC 시제품 해석 결과

- 2차 시제품-2에 대한 해석은 75kw 트랙터 엔진 배기가스를 조건으로 DOC 촉매의 배압 및 CO, HC의 전환율 해석을 수행함. 해석결과 DOC 촉매 구조의 배압은 최대 출력에서 약 6 mbar로 예측되었으며, 배기가스 중 CO의 경우 1~8모드 모두 100%의 저감률이 예상되는 결과가 도출됨.
- 가스상 물질 중 THC는 앞선 2차 시제품-1과 유사한 경향의 저감율이 예상되는 것으로 확인됨.



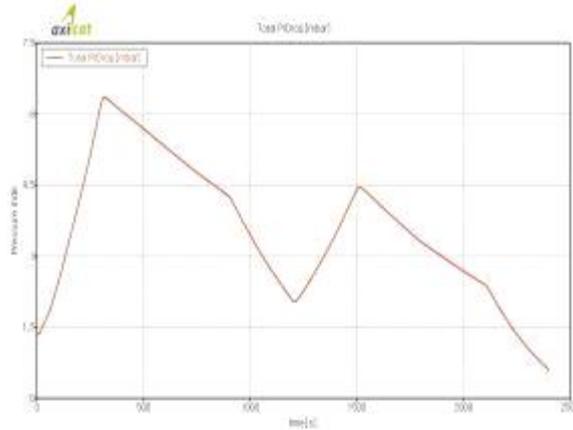


그림 37. 2차 DOC 시제품-2 성능 예측 결과

(나) 선정된 DPF를 이용한 배압/성능 예측 결과

- DPF의 사이즈 선정은 본 연구의 목표인 출력저하율과 연료 소모율 및 PM 저감율에 영향을 미치는 매우 중요한 요인임. 따라서, 앞선 연구에서 선정한 DPF 소재 및 촉매를 바탕으로 시제품의 사이즈에 따른 DPF의 성능 예측을 수행함.
- 시제품은 1차 시제품과 2차 시제품으로 구분하였으며, 각 시제품 사양은 아래와 같이 설계하여 성능 예측을 수행함. 성능예측은 동력계 시험모드인 KC1-8모드를 기준으로 각 모드별 300초 유지하여, 총 2400초 시험 값 조건으로 시뮬레이션을 진행함.

표 23. DPF 시제품 사양

	촉매 사양	촉매 사이즈	미세먼지 저감장치 예상 설치 위치
DPF 1차 시제품	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	6.77 * 6 inch	엔진 머플러 위치 (내부 장착)
DPF 2차 시제품 -1	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	7.5 * 12 inch	외부 장착
DPF 2차 시제품 -2	Pt-Pd/Al ₂ O ₃	9 * 12 inch	외부 장착

① 1차 DPF 시제품 사양 배압 및 성능 해석 결과

- 1차 DPF 시제품에 대해 예상 배압 및 PM 로딩량에 대한 해석을 수행함. 해석결과 1차 DPF 시제품의 배압은 최대 출력에서 약 240 mbar로 측정될 것으로 예측되었으며, 필터 부피별 PM 로딩량은 약 1 Mode에서 약 1.44g/L이 Loading되는 것으로 예상되었으며 8모드로 갈수록 PM Loading이 줄어들어 8모드에서는 약 1.2g/L Loading이 되는 것으로 예측됨.
- 해석 결과를 보면 DPF의 배압이 DOC촉매에 비해 매우 높게 형성되는 것으로 확인할 수 있으며, 예상했던바와 같이 높은 배압이 형성되는 것으로 예측됨. 다만, 농기계에 장착되어 있는 머플러 탈거 시 DPF의 장착 가능성을 확인하여, 추후 시제품 제작 후

실험이 필요할 것으로 판단됨.

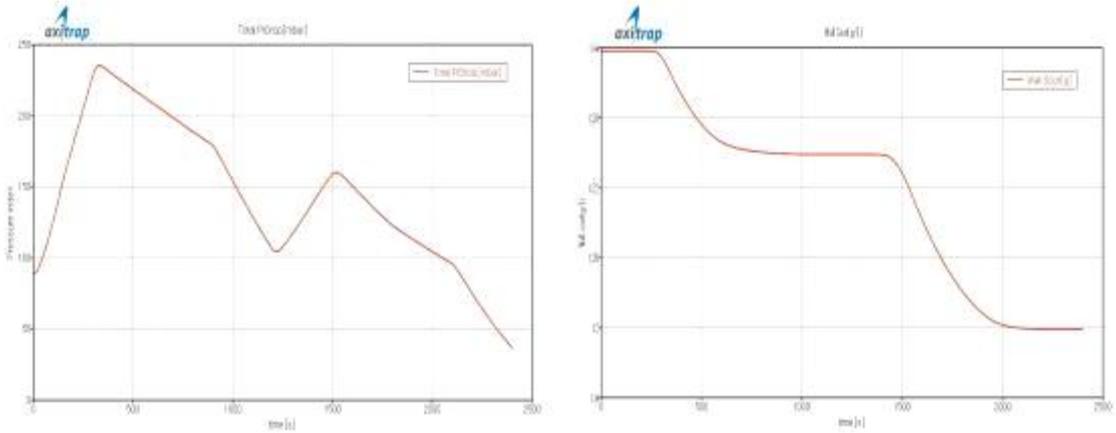
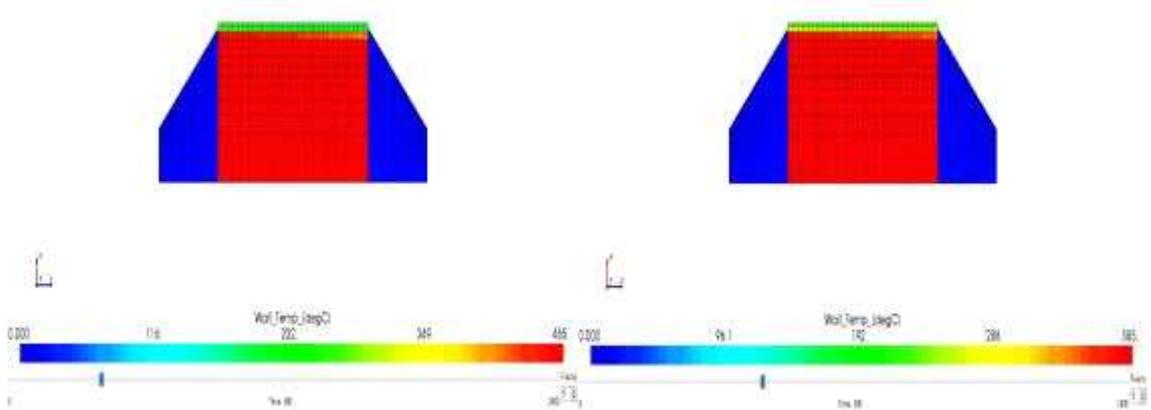


그림 38. 1차 DPF 시작품 배압 및 PM Loading량 예측 결과

- 아래 그림은 각 모드별 DPF 내부 온도에 분포도를 나타낸 것임. 해석 결과 1, 5 mode에서 DPF 내부 온도가 400℃후 이상 상승하는 것으로 확인되었으며, 배기가스의 온도가 낮아 질 경우 DPF 후단 부분보다 입구 부분부터 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있음. 온도 분포도 확인 결과 전체적으로 온도 확산이 균일하게 분포되는 것으로 판단됨.



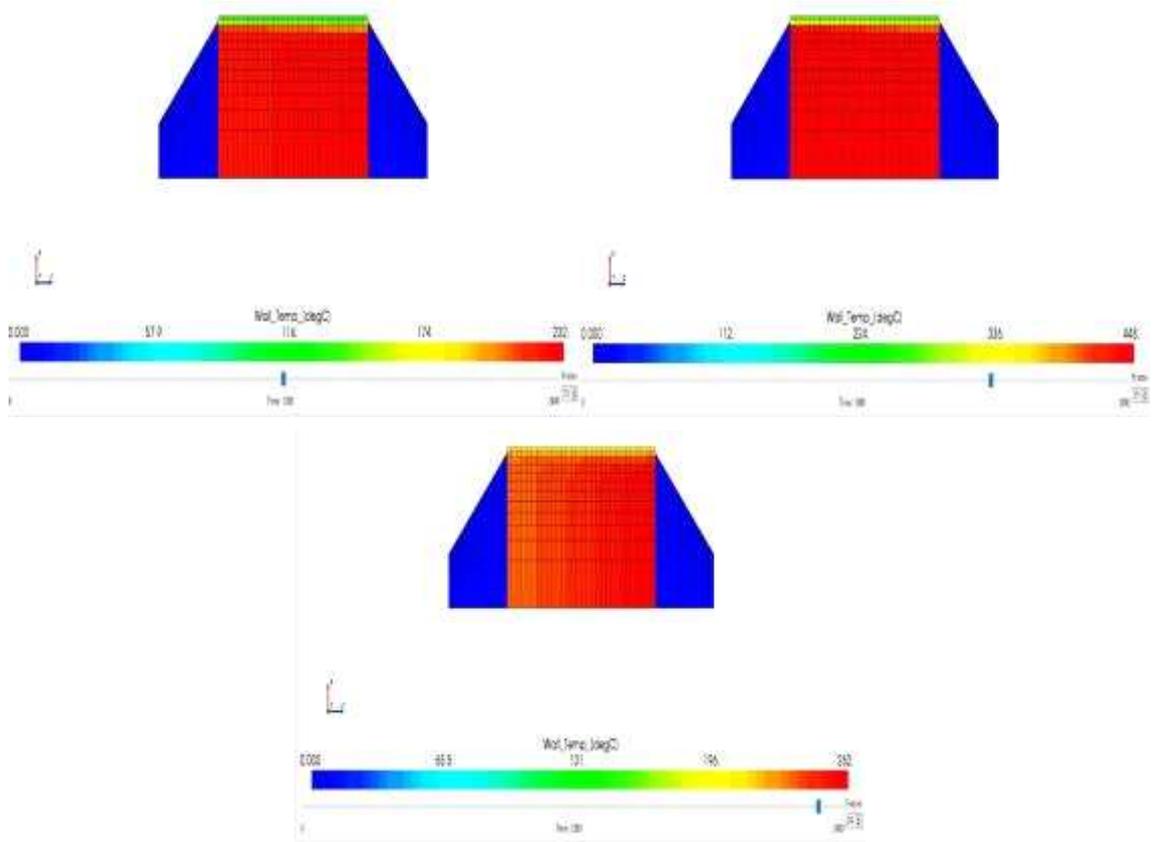


그림 39. 1차 DPF 시제품 내부온도 예측 결과

② 2차 DPF 시제품 사양 배압 및 성능 해석 결과

㉔ 54~62.5kw 농기계 DPF 시제품 해석 결과

- 2차 DPF 시제품-1에 대해 예상 배압 및 PM 로딩량에 대한 해석을 수행함. 2차 DPF 시제품 -1의 경우 62.5kw 콤바인 엔진의 배기가스 조건으로 해석을 진행함. 해석결과 2차 DPF 시제품-1의 배압은 최대 출력에서 약 43 mbar로 측정될 것으로 예측되었으며, 필터 부피별 PM 로딩량은 약 1 Mode에서 약 1.3g/L이 Loading되는 것으로 예측되었으며 8모드로 갈수록 PM Loading이 줄어들어 8모드에서는 약 1.01g/L Loading이 되는 것으로 예측됨.
- 해석 결과를 보면 앞선 1차 시제품에 비해 DPF의 배압이 낮게 형성되는 것을 확인 할 수 있으며, 이는 DPF 부피가 증대되어 나타나는 현상으로 임.

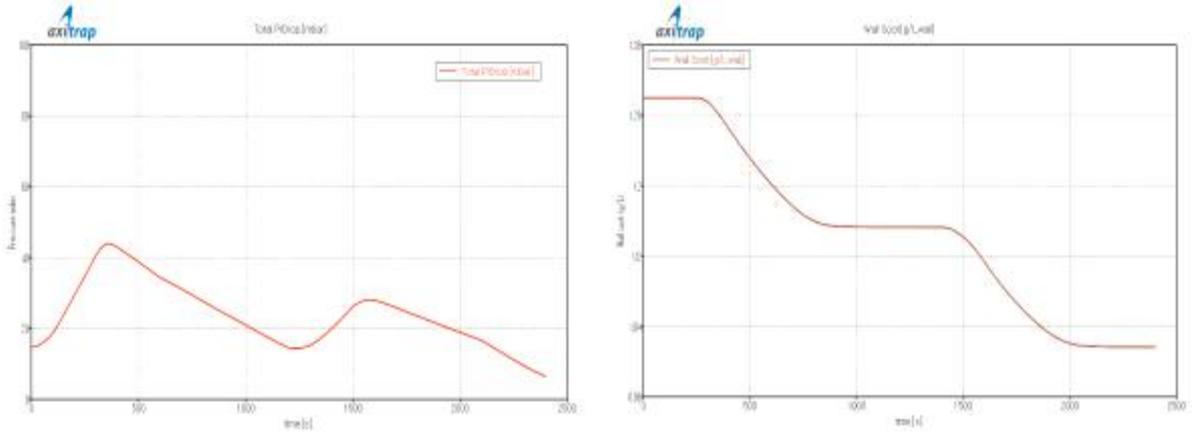
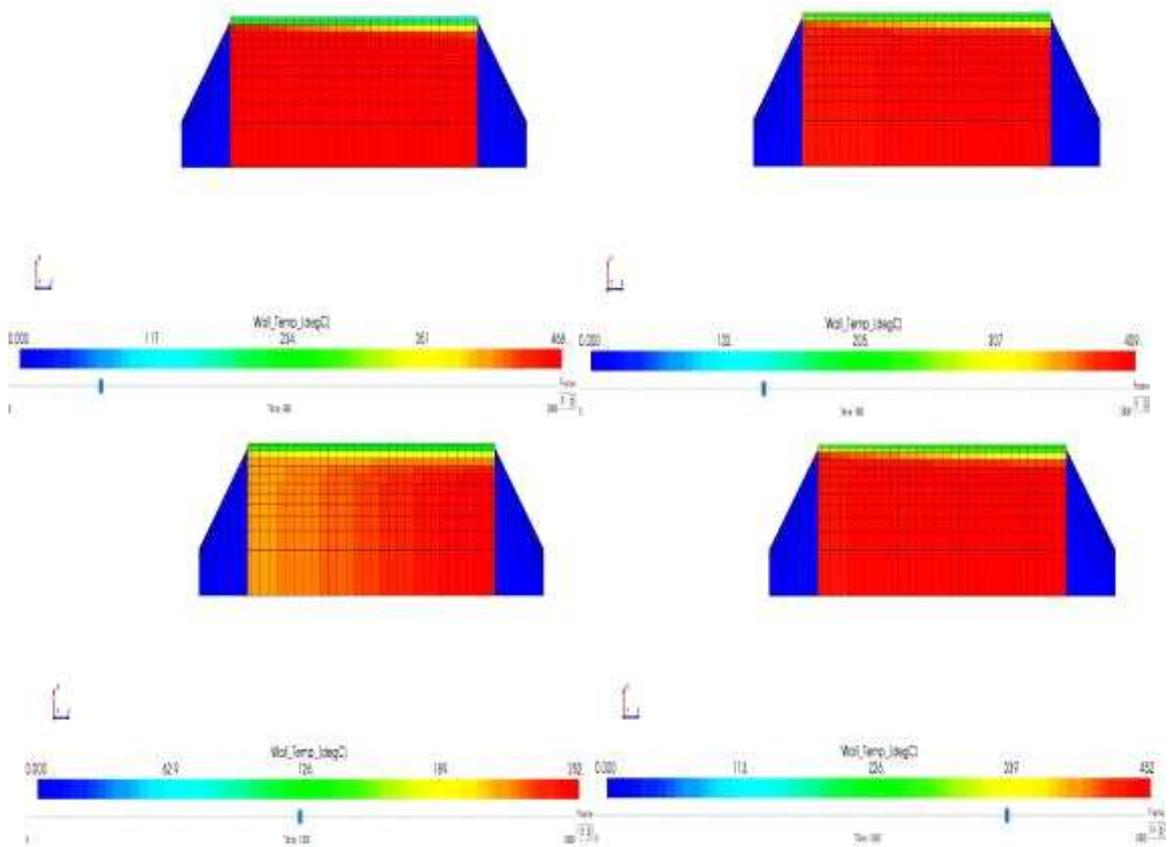


그림 40. 2차 DPF 시제품-1 배압 및 PM Loading량 예측 결과

- 아래 그림은 각 모드별 DPF 내부 온도에 분포도를 나타낸 것임. 62.5kw 콰인의 배기가스 조건으로 해석 결과 4, 8 mode를 제외한 나머지 mode조건에서는 DPF 내부 온도가 400°C 후 이상 상승하는 것으로 확인되었으며, 특히 8mode의 경우 배기가스 온도가 급격히 낮아지는 것으로 예측됨.



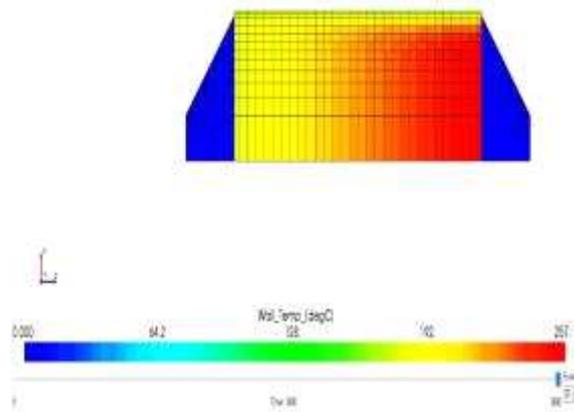


그림 41. 2차 DPF 시제품 -1 내부온도 예측 결과

㉔ 75kw 농기계 DPF 시제품 해석 결과

- 2차 DPF 시제품-2에 대해 예상 배압 및 PM 로딩량에 대한 해석을 수행함. 2차 DPF 시제품 -2의 경우 75kw 트랙터 엔진의 배기가스 조건으로 해석을 진행함. 해석결과 2차 DPF 시제품-2의 배압은 최대 출력에서 약 38 mbar로 측정될 것으로 예측되었으며, 필터 부피별 PM 로딩량은 약 1 Mode에서 약 1.3g/L이 Loading되는 것으로 예상되었으며 8모드로 갈수록 PM Loading이 줄어들어 8모드에서는 약 0.98g/L Loading이 되는 것으로 예측됨.
- 해석 결과를 보면 앞선 2차 시제품-1과 DPF의 배압이 유사하게 형성되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 75kw 트랙터 엔진의 배기가스 유량과 DPF 부피가 동시에 증대되어 나타나는 유사한 공간속도로 설계되어 나타나는 현상인 것으로 판단됨.

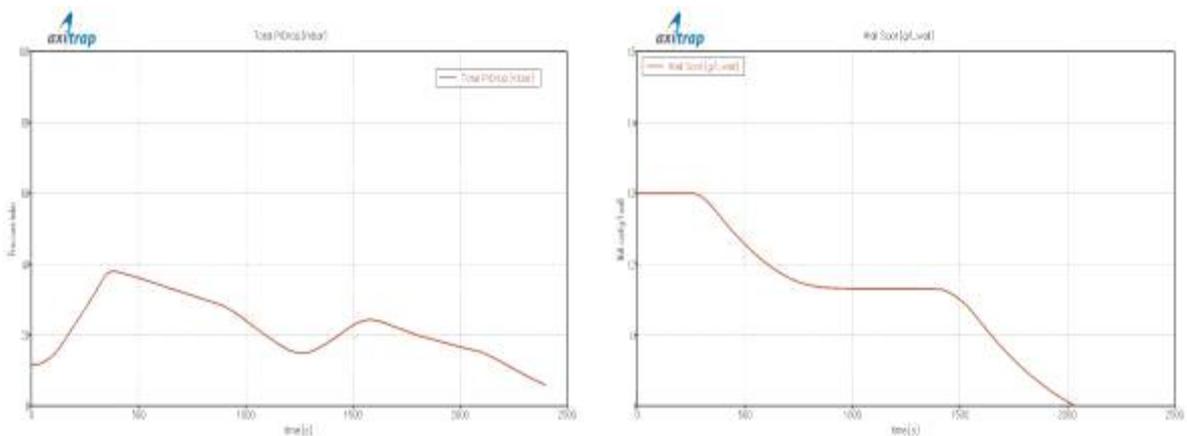


그림 42. 2차 DPF 시제품-2 배압 및 PM Loading량 예측 결과

- 아래 그림은 각 모드별 DPF 내부 온도에 분포도를 나타낸 것임. 75kw 트랙터의 배기가스 조건으로 해석 결과 4, 8 mode를 제외한 나머지 mode조건에서는 DPF 내부 온도가 약400℃에서 400℃이상 상승하는 것으로 확인되었으며, 특히 8mode의 경우 배기가스 온도가 급격히 낮아지는 것으로 예측됨.

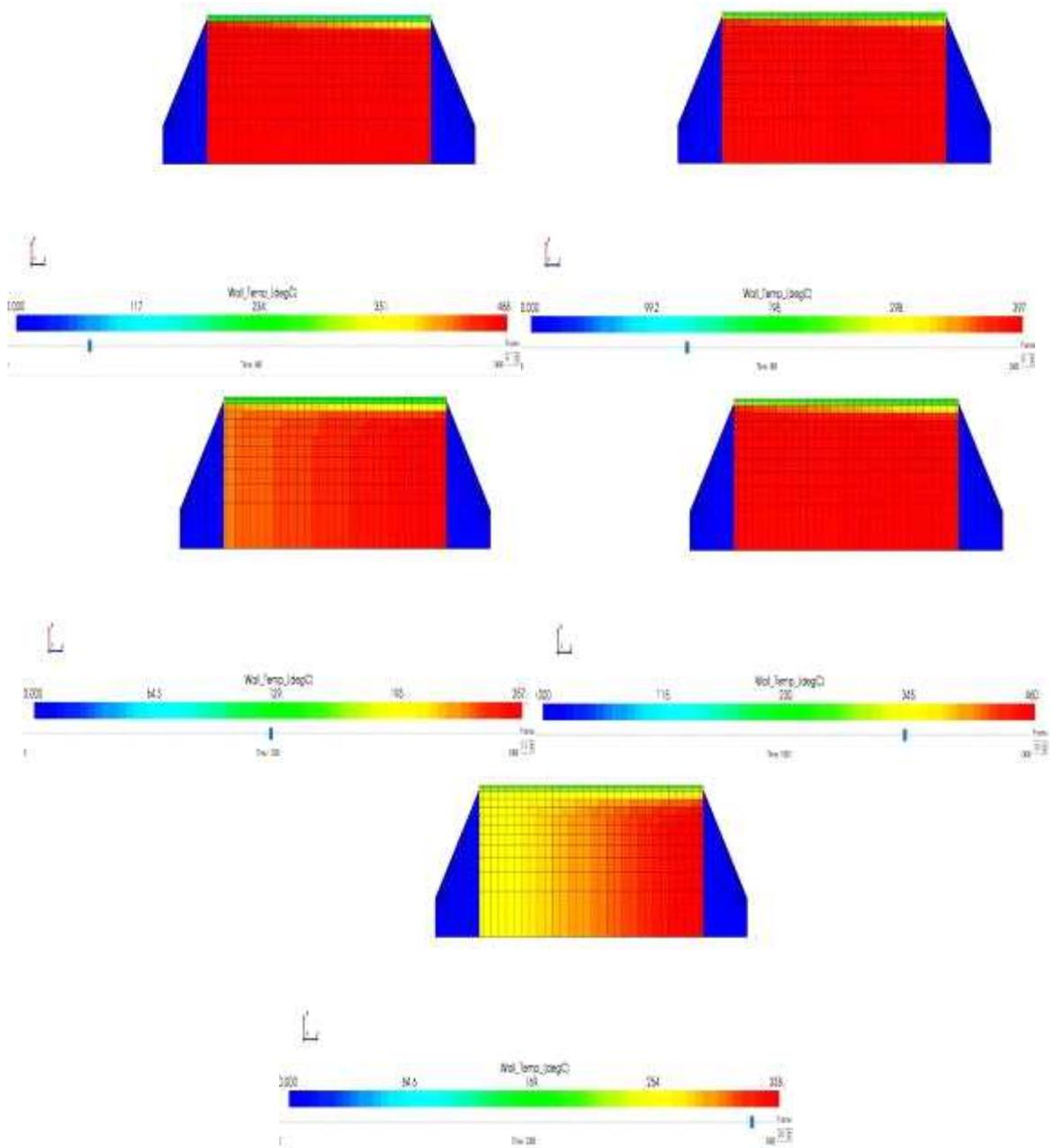


그림 43. 2차 DPF 시제품 -2 내부온도 예측 결과

(4) 미세먼지 저감장치 재생 시스템, 제어기, 모니터링 시스템 설계 및 선정

- 농기계의 배출가스 온도 조사 결과 엔진 후단의 머플러 위치에 미세먼지 저감장치를 장착할 경우 자연재생 방식의 재생 시스템이 가능할 것으로 확인되었으나, 공간이 협소하여 배출가스 및 PM량에 비해 DPF 필터 부피가 작아져 배압이 크게 상승하는 문제점이 예상됨. 따라서, 노후 농기계 미세먼지 저감장치의 포집된 매연을 재생시키기 위해, 재생 시스템/제어기/모니터링 설계 및 시스템 구성을 수행함.

(가) 재생 시스템 선정 및 설계

- 농기계 배출가스 PM량과 온도조사 검토를 통해 노후 농기계 재생 시스템은 촉매와 버너가 적용된 복합 재생 방식을 선택함. 복합 재생 방식의 재생 시스템은 크게, DOC, DPF로 구성된 촉매부, 촉매 전단의 버너부, 연료분사부, 컨트롤러로 구성되어짐. 재생 시스템의 자세한 구성도는 아래 그림에 나타내었음.
- 재생시스템의 촉매부는 본 연구에서 개발된 DOC, DPF를 적용하였으며, 버너부, 연료분사부의 경우 기 개발된 자동차 매연저감장치 사용된 부품을 선정함. 컨트롤러의 경우 ECU 및 OBD를 사용하여 노후 농기계에 적합한 제어로직 설계를 수행함.

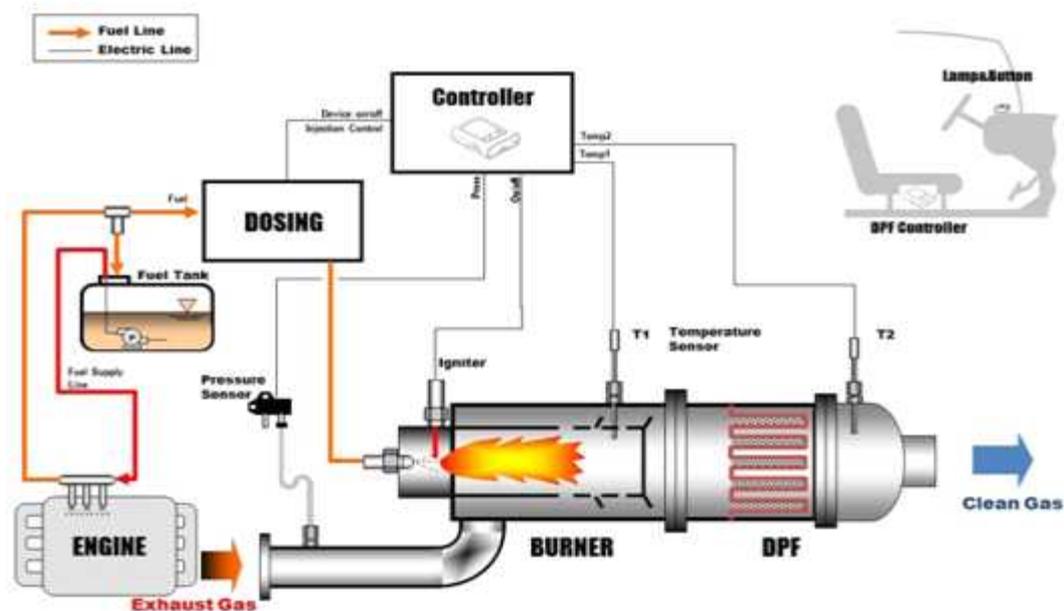


그림 44. 시스템 구성도

(나) 제어로직 설계 및 선정

- 기본적인 제어로직은 농기계 엔진의 시동시간, 배기온도 및 배압을 ECU에서 실시간으로 측정하여 PM 재생 조건을 판단하게 설계함. 엔진 시동 후 운행 시간을 계측하게 되며, 운행이 시작된 시점부터 시간에 따라 재생이 될 수 있게 설계되어짐. 일반적으로 시간에 따른 재생 주기는 농기계에 배출되는 PM량과 DPF 필터의

용량을 검토하여 설계가 이루어짐. 또한 미세먼지 저감 장치의 압력변화를 통해 재생이 가동될 수 있게 설계가 됨.

- ECU에서는 시간과 압력변화를 감지 한 후 재생 판단을 하게 되며, 엔진의 배기온도/버너 착화온도를 통해 버너가 작동되게 설계함. 재생 제어로직에 대한 간단한 flow는 아래 그림에 나타내었으며, 세부적인 제어로직 내용은 아래 표에 나타내었음.

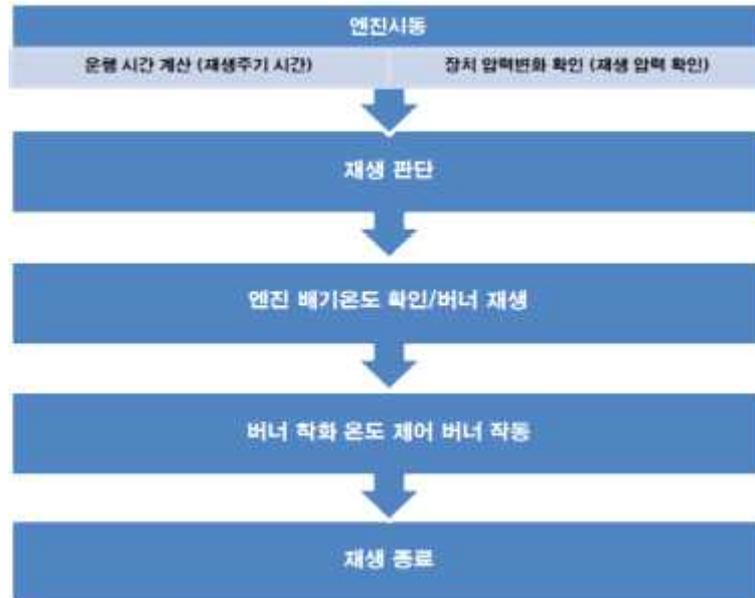


그림 45. 재생 로직 Flow

표 24. 제어로직의 제어인자 및 내용

제어인자	제어조건	제어 내용
재생주기	시간재생	엔진가동 누적시간을 인식하여 재생진입
	압력재생	설정압력 이상 시 재생진입
	수동재생	사용자의 재생
재생시작조건	예열	엔진 안정화 상태 재생진입
	배기온도	냉각시동 또는 고출력 구간을 제외한 재생진입
Target 온도	T2~T4상승 범위	재생 작동중 재생 목표온도
연료 분사량 (duty)	재생 단계별	재생온도 범위 도달을 위한 분사
	연료량 제어	최소, 최대(PID제어), 연료분사OFF
재생정지 조건	재생완료	설정된 재생시간 작동 완료 후 정지
	착화불량	착화가 안될 시 초기에 재생정지
	소화발생	재생 진행 중 화염온도가 낮아질 경우 재생정지
	과열발생	재생 진행 중 온도 과도 상승 시 재생정지
이상진단 알림	고장유무 판단	센서류 고장, 재생중 이상현상이 나타날 시 OBD 알림

- 노후 농기계 미세먼지 저감 장치 시스템은 실시간 모니터링 할 수 있는 UI 프로그램을 적용하여 센서 값 측정 및 각 장치의 작동 유무를 확인 할 수 있으며, 고장

발생 시 알람 신호를 나타내어 시스템의 동작 상태를 확인 할 수 있도록 설계가 됨.

- 노후 농기계의 경우 다양한 출력의 엔진이 존재하며, 농기계 종류 및 출력에 따라 재생 시스템의 ECU 변경이 불가피함. 따라서, 노후 농기계 엔진 상태 및 사용 환경에 따라 미세먼지 저감 시스템의 ECU 로직 설정 값을 조정할 수 있도록 설계를 진행함. 미세먼지 저감장치의 재생 제어로직 설정 프로그램은 아래 그림에 나타냄.
- 제어로직은 DPF 시스템에 부착된 센서 신호를 수신하여 재생 대기/재생 시작/종료까지 각 단계별로 설정 값에 의해 작동되어 설정하였으며, 각 단계별로 작동조건에 만족하지 못할 경우 다음단계에 진입하지 못하게 되어 설정함.

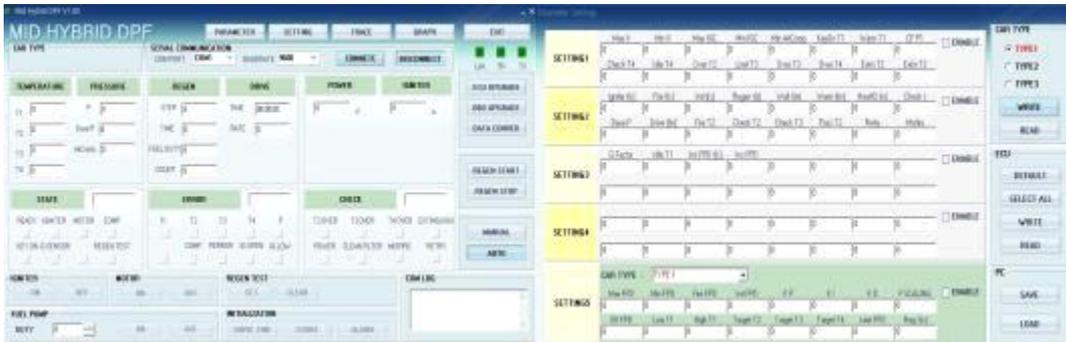


그림 46. 미세먼지 저감장치 PM 재생 제어로직 설정 프로그램

표 25. 단계별 제어로직 및 작동 내용

단계	역할	작동내용
Step 0	대기	- Key On 신호 인식 후 T1온도가 60℃ 이상 상승 하면 엔진 시동으로 판단. - 재생 조건인 엔진시동시간 240분 경과후 1단계 진입
Step 1	이그나이터 작동	- 이그나이터 ON - 1단계 진행 시간이 30초 경과 하면 2단계로 진입
Step 2	착화조건	- T1 온도가 100℃~350℃ 범위 안에 있으면 착화 Duty로 연료 분사, 바로 3단계 진입.
Step 3	착화유무 판단	- T2 온도가 Δ20℃ 이상 증가 하면 착화로 판정 - 착화로 판정 되면 바로 4단계로 진입.
Step 4	착화온도 상승	- 4단계에서 T2가 500℃ 이상 증가하면 바로 5단계 진입. - 4단계 진행 시간 20초를 경과하면 5단계로 진입.
Step 5	PM재생	- Target T2,T3,T4를 유지 하도록 최대,최소 듀티 범위 내에서 PID 제어. - 정상 재생 완료로 판단 되면 엔진시동 시간 초기화.

(5) 개발 시제품 부품 선정

- 노후 농기계 미세먼지 저감 시스템 개발 시제품 제작을 위해 앞서 개발된 DOC, DPF촉매와 더불어 재생 시스템, 제어기, 모니터링 시스템등의 부품을 선정함. 아래 표는 촉매부는 제외한 미세먼지 저감 시스템의 선정 부품을 나타내었음.

표 26. 개발 시제품 선정 부품 List

NO.	부품	부품설명
1	ECU	전자 제어 장치로 각종 센서값등을 인지하여 전자 제어 장치
2	OBD	운행기록 자가 진단 장치로이며 운행 기록등을 저장되는 장치.
3	Harness	각종 센서류와 ECU, OBD등 전기식 신호를 연결하는 구성품
4	Temperature sensor	온도 센서
5	Pressure sensor	압력 센서
6	Dosing module	연료 분사 장치
7	Fuel hose/tube	연료 연결 호스

라. 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감 장치 설계 기술 개발 및 시제품 제작

(1) 미세먼지 저감장치 탑재를 위한 구조 변경/기본 설계

- 노후 농기계에 미세먼지 저감장치 탑재를 위해, 기존 설계된 노후 농기계의 머플러 및 주변 부품에 대해 사전 검토를 수행함.
- 사전 검토 결과 트랙터 및 콤팩트 농기계 모두 엔진 후단에 머플러가 장착되어 있으며 머플러 주변의 배기관, 지지대 등 다양한 부품이 존재함. 콤팩트의 경우 머플러 후단에서 배기관이 콤팩트 하단으로 연결되어 후단으로 배출구 형성되어 있었으며, 트랙터의 경우 머플러 후단을 거쳐 트랙터 옆단으로 배기관이 형성되어 있는 것으로 확인됨.
- 미세먼지 저감장치 탑재를 위해 엔진 후단에서부터 배기관을 장착하여야 하며, 기존의 배기관을 제거한 후 신규 배기관 구조를 설계 설치하여 본 연구에서 개발된 미세먼지 저감장치의 장착이 필요할 것으로 확인됨.

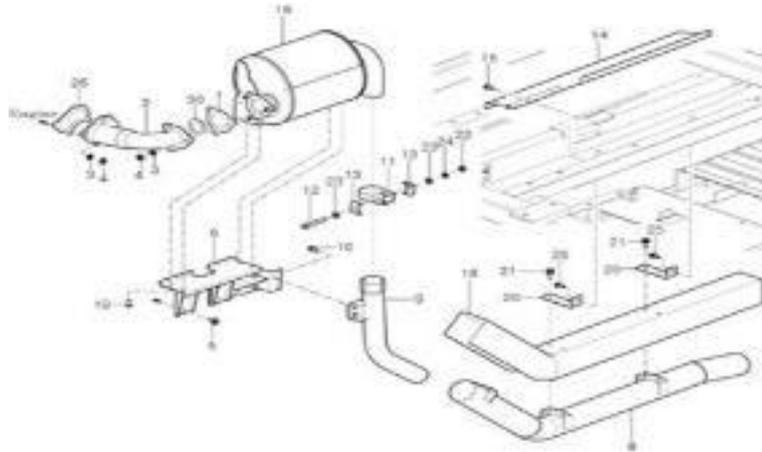


그림 47. 기존 장착된 콤팩트 배출가스 후단 부품도

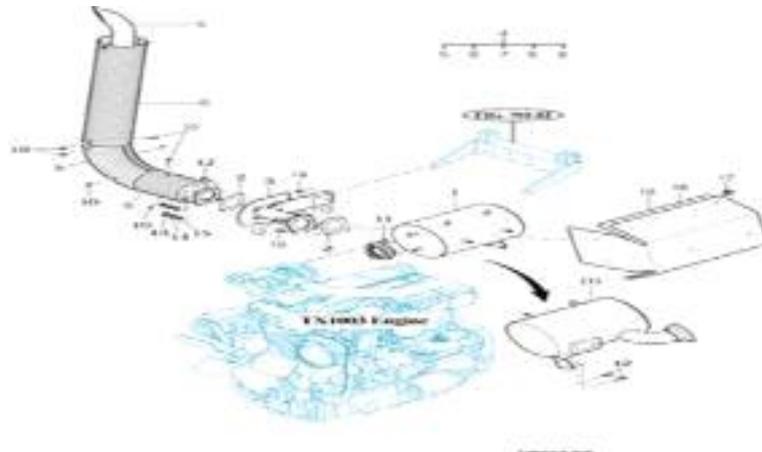


그림 48. 기존 장착된 트랙터 배출가스 후단 부품도

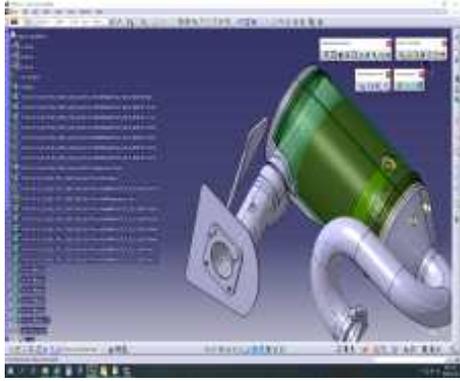
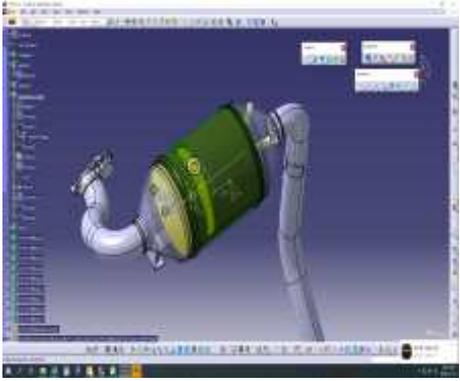
(2) 대상 트랙터 엔진(100, 75마력급), 콤바인 엔진(70, 90마력급)에 적합한 미세먼지 저감 장치 설계 및 제작

- 각 사이즈별 성능예측 시뮬레이션 결과를 근거하여 각 시제품의 사이즈가 각기 다른 시제품을 설계하였으며, 설계 시 실제 노후 농기계의 배기라인 부품 연결 부위와 각종 부품을 동시에 설계 진행하였으며, 설계 완료 후 농기계의 장착성 검토 후 시제품 제작을 진행함.

(가) 노후 농기계 미세먼지 저감 장치 기본 설계 1안

- 노후 농기계 미세먼지 저감장치 설계 1안의 경우 기존 노후 농기계에 장착되어 있는 머플러를 탈거 한 후 엔진 후단에 장착될 수 있는 형태로 설계를 진행하였으며, 엔진 후단의 협소한 장착 위치로 인해 소형 사이즈로 설계 제작을 진행함.
- 설계 1안의 경우 엔진에 근접하게 장착되는 구조로 인해 미세먼지 저감 장치의 PM 재생원리는 자연 재생 방식으로 설계 제작을 진행함. 자세한 설계 1안은 아래 표에 나타내었음.

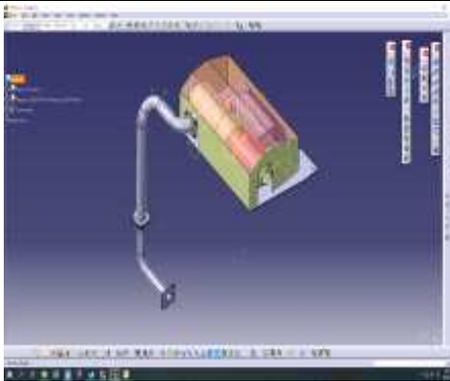
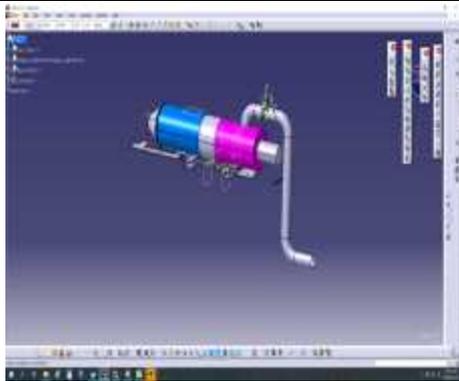
표 27. 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시제품 설계 1안.

		설계 1안	
농기계		트랙터/콤바인 (55~75kw)	콤바인 (54.5~62.5 kw)
DOC size(inch)		6.77 * 2	6.77 * 2
DPF size(inch)		6.77 * 6	6.77 * 6
설계도면			
시제품			
장착위치		농기계 내부	농기계 내부

(나) 노후 농기계 미세먼지 저감 장치 기본 설계 2안

○ 노후 농기계 미세먼지 저감장치 설계 2안의 경우 기존 노후 농기계에 외부에 설치하는 조건으로 설계를 진행하였으며, 엔진 후단으로부터 일정 거리가 떨어져 배기가스 온도가 낮아지는 현상으로 인해 PM 재생원리는 복합 재생 방식으로 설계 제작을 진행함. 자세한 설계 2안은 아래 표에 나타내었음.

표 28. 노후 농기계 미세먼지 저감 장치 시제품 설계 2안.

	설계 2안	
농기계	트랙터 (75kw)	트랙터/콤바인 (54.5~62.5 kw)
DOC size(inch)	9 * 3	7.5 * 3
DPF size(inch)	9 * 12	7.5 * 12
설계도면		
시제품		
장착위치	농기계 외부	농기계 외부

마. 시제품/시제품의 엔진 동력계 시험

(1) 농기계 엔진의 배출가스 시험

(가) 배출가스 시험 장치 및 시험 모드 구성

① 배출가스 시험 장치 구성

- 농기계 엔진의 후처리장치 부착 전/후 배출가스 측정을 위해 엔진 동력계(ALPHA 240 AF) 및 가스상물질을 분석할 수 있는 배기분석계(Horiba-9100DEGR)와 PM 저감효율 측정을 위한 MDT(NOVA MICROLL5)를 다음 그림과 같이 구성하였음. 시험 대상 농기계 중 출력 및 토크가 가장 큰 75 kW 급 엔진을 포함하여 대상 엔진을 모두 평가할 수 있도록 240 kW급 사용
- 온도 및 압력 등 센서를 통해 측정 되는 데이터를 취득하기 위한 DAQ를 구성하였고 그 구성 또한 그림 49에 도시하였음.

표 29. 엔진 동력계 제원

Model	ALPHA 240 AF
Allowance power(kW)	240 kW
Allowance torque(Nm)	600 Nm
Speed range	10,000 rpm(Max)

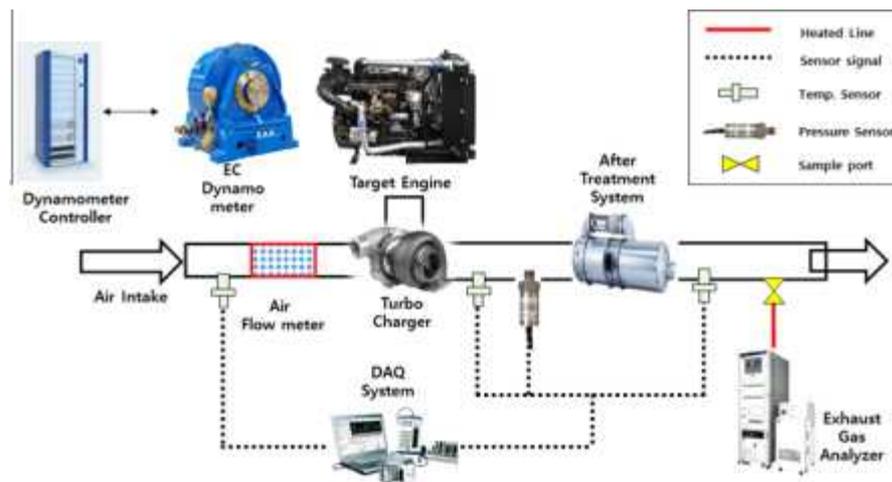


그림 49. 엔진 동력계 및 배출가스 분석 시스템 구성

② 배출가스 시험 모드: ISO8178 C1 (KC1-8)

- 농기계 엔진 및 후처리장치의 배출가스 평가는 비도로 엔진 배출가스 평가 표준인 ISO8178 C1 에 따라 진행함.
- KC1-8의 경우 총 8개의 엔진 작동으로 구성되어 있으며 정격 속도에서 최대 토크의 100 %, 75 %, 50 %, 10 %, intermediate 속도에서 최대 토크의 100 %, 75 %, 50 %, 그리고 공회전 작동을 포함함.

Mode number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Torque, %	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0
Speed	Rated speed					Intermediate speed					Low idle
Off-road vehicles											
Type C1	0.15	0.15	0.15	-	0.10	0.10	0.10	0.10	-	-	0.15

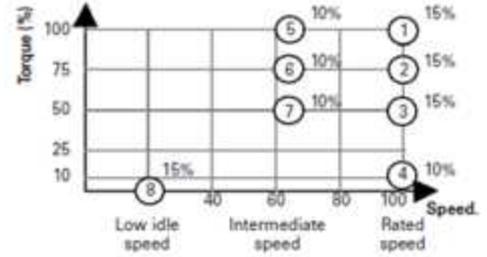


그림 50. 비도로 엔진 배출가스 평가를 위한 KC1-8 mode

③ 75 kW급 트랙터 엔진: 1104D-44TA

- 2200 rpm에서 74.9 kW의 출력을 내는 엔진으로 TX903, T903 트랙터용 엔진임.
- 아래 표는 엔진의 상세 재원을 나열하며 사진은 동력계에 엔진을 설치하여 기본 성능 시험을 준비한 것을 나타냄.

구분	제원
Engine Model	1104D-44TA
Cylinders	4
Displacement(cc)	4400
Manifold Charge Air Temp(°C)	55
Engine Rated (kW)	74.9 @ 2200 rpm
Peak Torque (Nm)	412 @ 1400 rpm
Application	TX903, T903 (트랙터)

그림 51. 75 kW급 트랙터 엔진 사양 및 설치 사진

- 배출가스 평가 결과는 아래 표와 같음.
- 배출가스 중 THC는 0.091 g/kWh, CO는 1.078 g/kWh, NOx는 3.904 g/kWh, PM은 0.3323 g/kWh로 측정 되었음.
- bsfc는 179.2 g/kWh, 출력은 98.7 마력, 배압은 188.9 mbar로 측정 되었음.

표 30. 75 kW급 트랙터 엔진 배출가스 평가 결과

THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
0.091	1.078	3.904	0.3323	3.9949	179.2	98.7	188.9

④ 55 kW급 트랙터 엔진: 1103C-33T

- 3기통 엔진으로 2200 rpm에서 최대 출력을 내는 엔진으로 T720 트랙터용 엔진임.

- 상세 재원은 아래 표에 정리되어 있으며 동력 성능 및 배출가스를 평가하기 위해 엔진을 설치한 사진을 함께 나타내었음.

NOI APPLICABLE	
55.0 @ 2200 rpm	
291 @ 1400 rpm	
T720 (트랙터)	

그림 52. 55 kW급 트랙터 엔진 사양 및 설치 사진

- 배출가스 평가 결과는 아래 표와 같음.
- 배출가스 중 THC는 0.13 g/kWh, CO는 0.948 g/kWh, NOx는 5.245 g/kWh, PM은 0.2649 g/kWh로 측정 되었음.
- bsfc는 184.37 g/kWh, 출력은 52.1 마력, 배압은 60.5 mbar로 측정되었음.

표 31. 55 kW급 트랙터 엔진 배출가스 평가 결과

THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
0.13	0.948	5.245	0.2649	5.3755	184.37	52.1	60.5

⑤ 62 kW급 콤바인 엔진: 4TNV98T-ZNKTC

- 1850 rpm에서 최대 토크 287 Nm, 2500 rpm에서 최대 출력 62.5 kW를 내며 5조식 콤바인에 사용 됨.
- 아래 표는 엔진의 상세 재원을 정리하고 있으며 오른쪽 사진은 기본 성능 시험 및 배출가스 평가 시 설치 된 엔진 사진임.

3319	
NOT APPLICABLE	
62.5 @ 2500 rpm	
287 @ 1850 rpm	

그림 53. 62 kW급 콤바인 엔진 사양 및 설치 사진

- 배출가스 평가 결과는 아래표에 정리되어 있음.
- 가스 상 물질인 THC는 0.218 g/kWh, CO는 1.36 g/kWh, NO_x는 2.801 g/kWh이며 입자상 물질 PM은 0.324 g/kWh로 측정 되었음.
- 전부상태에서 bsfc는 169.7 g/kWh, 출력은 83.1 마력, 배압은 102.5 mbar로 측정 됨.

표 32. 62 kW급 콤바인 엔진 배출가스 평가 결과

THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NO _x [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
0.218	1.36	2.801	0.324	3.0181	169.7	83.1	102.5

⑥ 54 kW급 콤바인 엔진: 4TNV98T-ZSKTC

- 엔진은 2200 rpm에서 최대 출력을 내며 4조식 콤바인에 사용 됨.
- 아래 표는 엔진의 상세 재원을 보여주며 사진은 동력계에 엔진을 설치하여 기본 성능 및 배출 가스 측정 시험을 수행할 때 촬영 한 그림임.

그림 54. 54 kW급 콤바인 엔진 사양 및 설치 사진

- 배출가스 평가 결과는 아래 표에 정리되어 있음.
- THC는 0.224 g/kWh, CO는 0.997 g/kWh, NOx는 3.6 g/kWh이며, PM은 0.1633 g/kWh로 측정되어 동급 출력을 내는 트랙터 엔진 1103C-33T 대비 높은 수준의 THC, CO를 배출한 반면, NOx와 PM 측면에서는 상대적으로 낮게 배출 함.
- 전부상태에서 bsfc는 165.8 g/kWh, 출력은 76.5 마력, 배압은 75.8 mbar로 측정 됨.

표 33. 54 kW급 콤파인 엔진 배출가스 평가 결과

THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
0.224	0.997	3.6	0.1633	3.8241	165.8	76.5	75.8

(2) 후처리장치 시제품 저감효율 시험

(가) 1차 시제품 성능 평가 및 개선안 도출

① 트랙터용 매연저감장치 시제품

- 기존 머플러 형상을 토대로 설계한 트랙터용 DPF 시제품은 아래와 같음



그림 55. 트랙터 매연저감장치 1차 시제품 사진

- 상기 샘플의 저감효율 평가 결과는 아래와 같다. THC 저감은 84.21 %, CO는 69.53 % 저감 하며 bsfc는 1.99 %, 출력은 0.39 % 저하됨을 확인
- 트랙터용 1차 시제품은 PM 저감효율은 49.0 %로 저감 효율이 낮아 개선이 필요 함

표 34. 트랙터용 매연저감장치 시제품 엔진동력계 시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
머플러 1	0.008	1.049	4.036	0.5931	4.0435	176.92	100.7	139.2
머플러 2	0.023	1.077	4.033	0.4706	4.0563	177.19	101.6	138.9
머플러 3	0.025	1.124	4.079	0.5239	4.1041	177.01	104.5	143.3
평균	0.019	1.083	4.049	0.5292	4.0679	177.04	102.3	140.5
DPF 2	0.003	0.336	3.819	0.3038	3.8217	181.04	100.8	244.4
DPF 2	0.003	0.325	3.887	0.236	3.890	180.10	103.0	240.1
평균	0.003	0.331	3.853	0.2699	3.8559	180.57	101.9	242.3
저감 효율 [%]	84.21	69.53	4.84	49.00	5.21	-1.99	0.39	-72.46

- THC, CO, PM, NOx 등의 전반적인 저감효율이 낮고 DPF 후단에서 매연이 묻어남에 따라 캐닝상태 등 종합적인 점검을 수행하고 재시험하였으나 아래의 결과 같이 THC, CO, NOx, PM 저감율이 개선되었으나 여전히 PM 저감율이 목표치에 미치지 못하는 52.99 %로 확인

표 35. 트랙터용 매연저감장치 시제품 엔진동력계 재시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
머플러	0.073	1.102	3.896	0.3189	3.9687	180.49	93.1	182.7
DPF	0.008	0.265	3.255	0.1499	3.2627	186.61	90.4	382.4
저감 효율 [%]	89.04	75.95	16.45	52.99	17.79	-3.39	2.90	-109.30

- 원인 확인을 위해 내시경 장비를 활용하여 DPF 후단을 촬영하였고, 아래 그림과 같이 필터 중앙에는 매연이 확인되지 않았으나, 필터 외곽 부분에서는 매연이 확인되었다. 따라서 캐닝을 개선하여 시제품을 제작함
- 그리고 머플러 장착 시 대비 DPF 장착 시의 배압이 109.3 % 증가하여 배압 증가 원인 확인 및 개선안 도출 필요 한 것으로 나타남

그림 56. 내시경 장비를 이용한 DPF 후단 촬영 사진.

② 콤바인용 매연저감장치 시제품

- 콤바인용은 SiC 담체를 사용하여 시제품을 제작하였고, 트랙터용과 마찬가지로 기존 농기계의 머플러 형상을 살려 제작



그림 57. 콤바인 매연저감장치 1차 시제품 사진

- 상기 샘플의 경우 DPF 부착 전/후 배기압력이 163 % 증가하고, bsfc는 6.67 % 효율이

감소하였고 출력 또한 4.62 % 낮아져 정량적 목표 달성에 부적합하다고 판단되어 수치 해석을 통해 형상을 최적화하여 배압 개선

표 36. 콤바인용 매연저감장치 시작품 엔진동력계 시험 결과 비교

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
머플러	0.073	1.102	3.896	0.3189	3.9687	180.49	93.1	182.7
DPF	-	-	-	-	-	192.53	88.8	479.9
저감 효율 [%]	-	-	-	-	-	-6.67	4.62	-162.67

③ 수치 해석을 통한 배압 개선 형상 도출

- 수치해석을 통한 배압 예측을 위해 아래와 같이 3가지 case에 대해 3D 모델링을 수행. case 1은 기존 형상이며 case 2와 case 3는 배압 개선을 위해 보다 단순한 형태의 DPF를 모델링 함

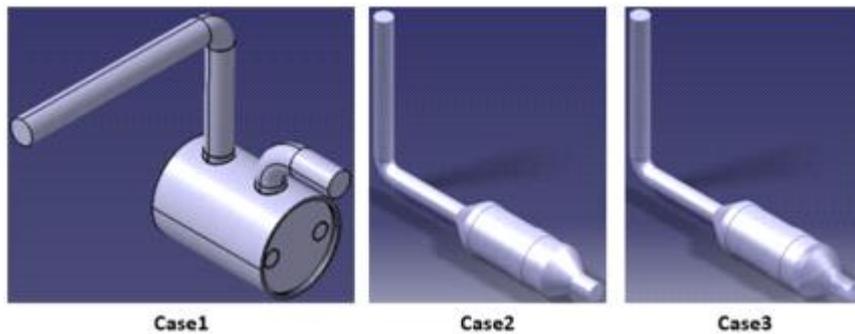


그림 58. 수치해석을 위한 시스템 형상 모형

- 아래 왼쪽 그림은 case 1에 대해 배압 해석을 진행한 결과를 개략적으로 보여주고 있으며 이를 통해 배압이 높게 형성 되는 부위를 확인 할 수 있음
- 오른쪽 그림의 경우 case 2 해석 결과를 보여주며 case 1 대비 배압이 현저히 낮은 것을 확인 할 수 있음. 붉은색이 배압이 높게 걸리는 영역, 파란색이 배압이 낮게 걸리는 영역

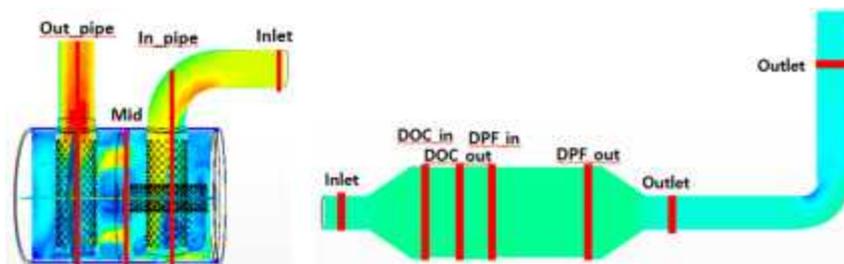


그림 59. 시스템 형상에 따른 배압 변화 해석

- 아래는 각 case 별 후처리장치 입구, 출구, DOC 전/후단, DPF 전/후단의 배압을 비교하고 있음. case 2의 경우가 case 1이나 case 3 대비 최대 배압도 낮고, 평균적인 배압도 낮게 형성 하는 것으로 확인되었음. 이를 통해 최종적으로 case 2의 형상을 반영하여 시제품 제작

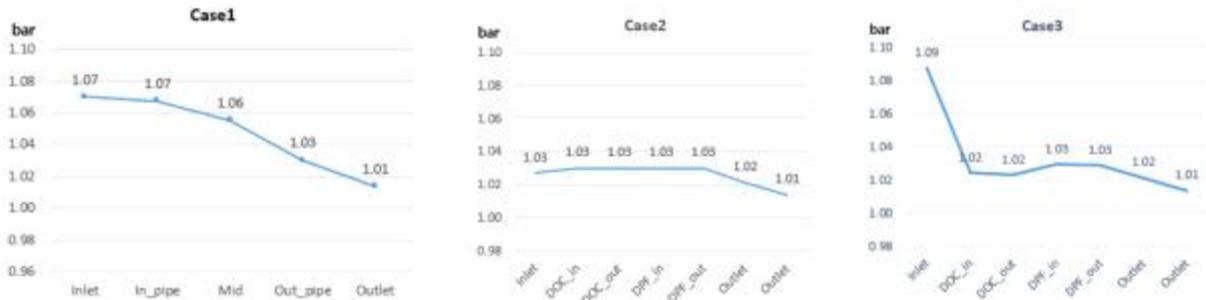


그림 60. 저감장치 Case별 배압 수치해석 결과

(나) 시제품 초기 성능 평가

① 트랙터용 매연저감장치 시제품

- THC는 83.52 %, CO는 73.65 %, NOx는 13.91 % 저감되었으며 PM은 90.07 % 저감
- 이 때, bsfc는 1.49 % 증가하였고, 출력은 1.11 % 저하에 그침
- 초기에는 매연저감장치 부착 시 배압이 70 % 가량 증가하였으나 개선된 시제품 평가 시에는 배압이 32.77 % 만 증가하였고, PM 저감률도 높으므로 캐닝문제 및 배압 문제 모두 적절히 개선되었음을 확인함.
- 본 시제품을 트랙터에 적용하여 실증 진행함.



그림 61. 트랙터용 매연저감장치

표 37. 트랙터용 매연저감장치 시제품 엔진동력계 시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
머플러	0.091	1.078	3.904	0.3323	3.9949	179.2	98.7	188.9
9" DPF	0.015	0.284	3.361	0.033	3.376	181.87	97.6	250.8
저감 효율 [%]	83.52	73.65	13.91	90.07	15.49	-1.49	1.11	-32.77

② 콤바인용 매연저감장치 시제품

- THC는 87.16 %, CO는 82.21 %, NOx는 18.46 % 저감되었음
- PM은 0.324 g/kWh에서 0.0281 g/kWh로 저감 되어 91.33 % 저감
- 전부하 연료소모량은 0.78 % 증가하였고, 출력은 0.36 % 감소
- 시제품에서 162.67 % 증가로 문제되었던 배압의 경우 시제품에서는 28.29 %만 증가하여 배압 문제를 효과적으로 개선하였음을 확인
- 본 시제품은 콤바인에 적용하여 실증 진행



그림 62. 콤바인용 매연저감장치

표 38. 콤바인용 매연저감장치 시제품 엔진동력계 시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	THC+NOx [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]	Pexh [mbar]
머플러	0.218	1.36	2.801	0.324	3.0181	169.7	83.1	102.5
7.5" DPF	0.028	0.242	2.284	0.0281	2.3119	171.02	82.8	131.5
저감 효율 [%]	87.16	82.21	18.46	91.33	23.40	-0.78	0.36	-28.29

바. 개발 시제품 적용성 및 개선점 파악, 최적화

(1) 제어로직 및 점화기 작동 시험

- 트랙터 및 콤바인용 미세먼지 저감장치에는 동일한 사양의 제어기와 점화기가 적용 됨
- interval 시간 설정에 따른 제어로직 작동 시험, 온도 조건에 따른 제어로직 작동 시험, 점화기 작동 시험 등을 수행 함

① Interval 시간설정에 따른 제어로직 작동시험

- 실차에서 재생주기가 4시간마다 진행하지만, 본 시험에서는 Interval 시간을 아래와 같이 5분 및 10분으로 단축하여 설정된 시간이 경과하면 재생을 시작하는지 확인
- Interval 설정시간에 따라 정상적인 재생이 진행 되는지 여부를 확인한 결과 시간에 따라 정상적으로 장치가 작동하는 것 확인

② 온도조건에 따른 제어로직 작동시험

- 실제 제어로직 상 T3온도의 재생중지 온도 조건은 750℃이지만, 본 시험에서는 온도조건에 따라 제어로직이 정상적으로 작동하는지 확인하기 위하여, 재생온도 조건을 500℃로 설정한 후 재생을 진행
- 그 결과 설정된 제어로직에 맞게 재생 중 T3온도가 500℃ 도달 순간 재생이 중지되는 것을 확인

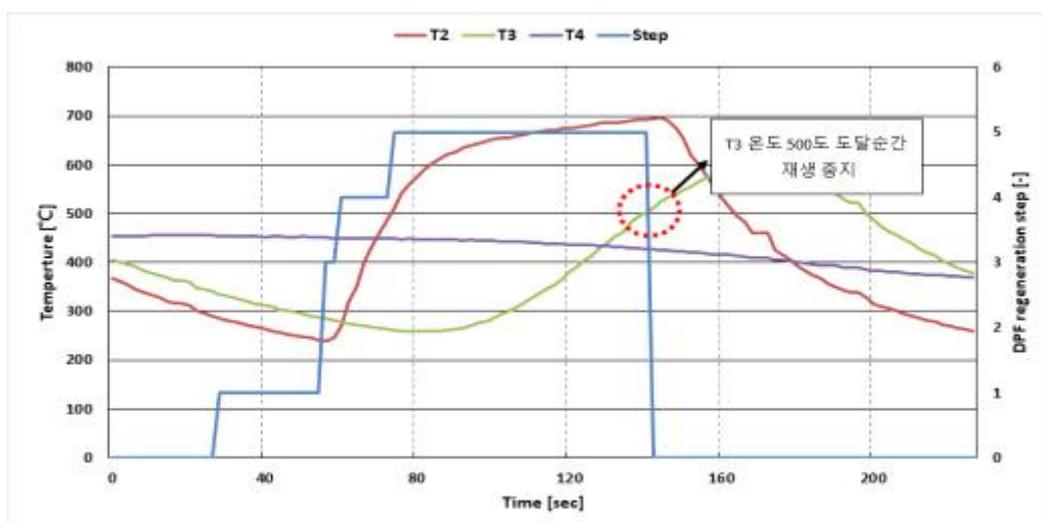
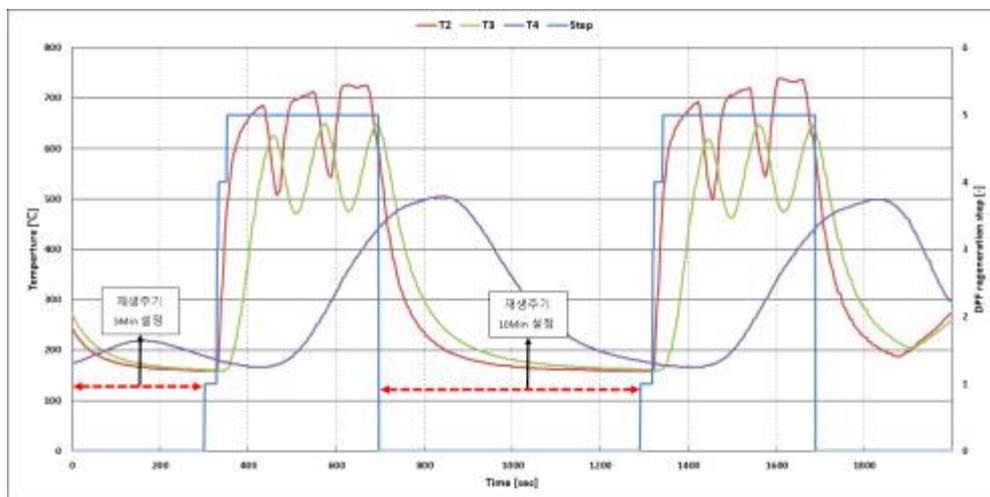


그림 63. 시간 설정 및 온도조건에 따른 제어로직 작동 시험 결과

③ 점화기 작동시험

- 아래 그림은 점화기 및 재생제어의 이상 유무를 파악하기 위하여 엔진동력계 상에서 DPF에 점화기 및 재생관련 장치를 장착하여 강제재생을 작동시킨 결과이며, 실험결과 제어로직에 따라 점화 후, 연료 분사량을 증/감하며 목표 온도를 추종하며 점화기가 동작하는 것을 확인

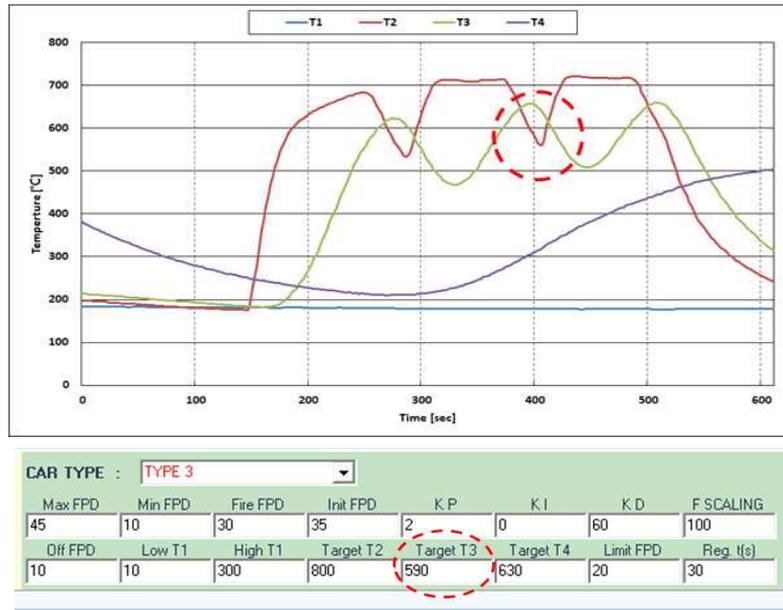


그림 64. 미세먼지 저감장치 점화기 작동 시험 결과

- 아래는 로깅 된 데이터 중 T3 온도와 fuel duty 변화 추이 데이터

T3

Fuel duty

그림 65. 미세먼지 저감장치 점화기 작동 시험 변화 추이 결과

(2) 트랙터용 미세먼지 저감장치 적용성 및 특성 시험

(가) 온도 상승 시험

- 엔진 회전 속도를 1000 rpm에서 200 rpm 간격으로 2200 rpm까지 변화시키고, 토크를 0 Nm에서 400 Nm까지 50 Nm 간격으로 변화시키며 필터 전단 온도 상승 여부를 확인
- 이때, 엔진 배기가스 온도, 배기 유량 및 산소 농도를 함께 측정하여 온도 상승 불가에 대한 원인을 찾고자 하였음
- 필터 전단 온도가 상승 하는 한계점을 붉은 점선으로 나타내었으며 배기가스 온도, 유량, 산소 농도와 함께 분석한 바, 배기가스 온도가 180 degC 이상이며 유량이 200 kg/hr 이하로 낮은 영역에서는 필터 전단 온도가 상승하지 않음
- 산소 농도 측면에서는 11~12 % 수준이 필터 전단 온도 상승을 위한 한계 농도로 확인 되었음
- 특징적으로 1800rpm ~ 2000 rpm 저부하 영역에 관찰 되는 연두색 삼각형으로 표시한 영역에서는 필터와 화염 온도가 모두 낮은 특이점이 관찰 됨

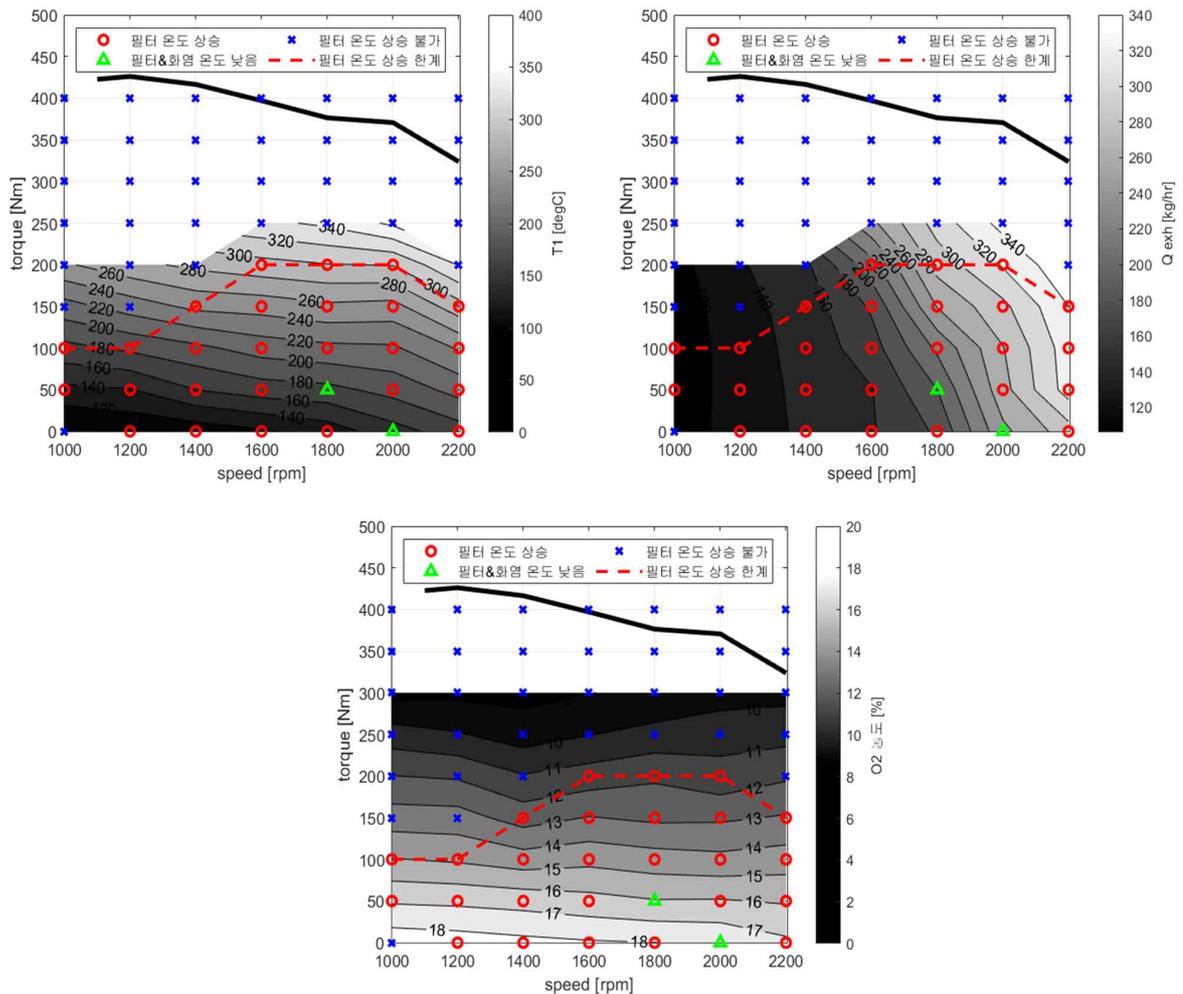


그림 66. 미세먼지 저감장치 제어기 특성 시험 결과

(나) Balance point temperature(BPT) 시험

- 저감장치를 장착 후 자연재생이 일어나지 않을 온도(240℃)에서 4시간(제어로직 상 강제재생 주기) 포집 후 엔진부하를 조정하여 저감장치 입구온도를 15분에 10~15℃씩 상승시켜가며 압력의 증가를 통해 자연재생여부를 파악함. 그 결과 매연저감장치 전단온도가 360℃와 380℃사이에서 압력기울기가 0인 지점이 예상 됨. 이를 통해 380℃ 이상 온도 유지 시 자연재생이 가능할 것으로 판단

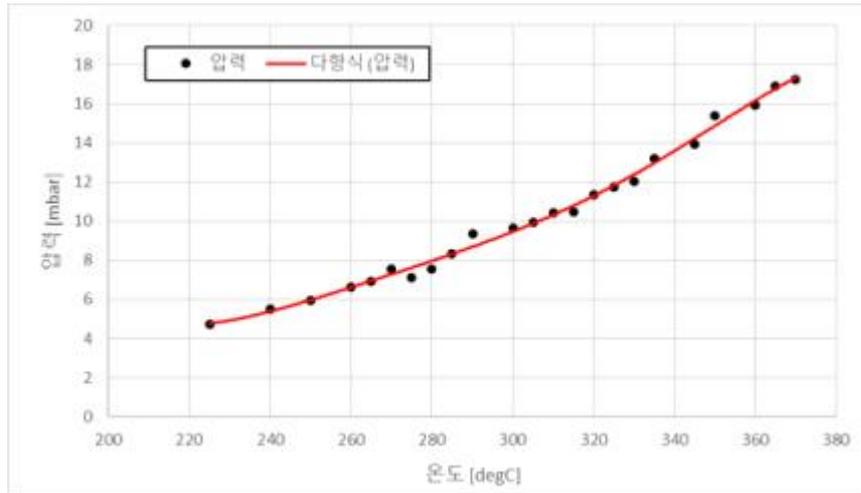


그림 67. 미세먼지 저감장치 BPT 시험 결과

(다) HC 슬립 시험

- HC 슬립 특성을 평가하기 위한 시험은 2가지로 나누어 진행함
- 아래 그림과 같이 속도가 1400 rpm으로 일정한 a, c, e 조건의 경우 배기가스 온도에 따른 HC 슬립 특성을 분석하기 위해 진행 됨
- 이때, 1400 rpm은 트랙터 엔진의 최대 토크 속도 조건
- 배기가스 온도는 200 degC로 일정하고 회전속도가 변화하는 b, c, d의 경우 유량에 따른 HC 슬립 특성을 분석하기 위해 진행 됨
- 재생 로직은 100 degC ~ 300 degC에서 작동하므로, 중간 온도인 200 degC를 기준으로 +-50degC인 150, 200, 250 degC를 선정 함

그림 68. 미세먼지 저감장치 HC 슬립특성 시험 조건

① 엔진 회전수(배기 유량) 변화에 따른 HC 슬립 특성 파악

- 아래 그림은 왼쪽부터 1000 rpm, 1400 rpm, 1800 rpm으로 엔진 회전속도(배기 유량)이 증가할 때 후처리장치 각 부분의 온도와 연료 분사량 및 후처리장치 후단에서 THC와 CO 농도를 측정된 결과 1000 rpm 조건에서는 배기 유량이 108 kg/hr이며 강제로 재생 진입 시 화염 온도가 500 degC 가량 상승 한 뒤 감소하나 HC 분사만으로 필터 진단과 후단 온도는 400 degC 이상 유지함. 재생 과정 중 HC 슬립은 전반적으로 4 ppmC로 측정 되었으나 CO는 연료 분사 초기에 3000 ppm 이상의 높은 수준으로 배출 되었음. 이후 300 ppm 이하로 낮아 졌지만 HC 분사가 지속됨에 따라 불완전연소가 발생하여 CO 농도는 지속적으로 100 ppm 이상을 유지하는 현상이 확인 됨.
- 1400 rpm 조건에서는 화염온도가 750 degC까지 충분히 상승하며, 이를 유지하기 위해 HC 분사량을 제어하는 것으로 확인되었음. 분사 초기 THC와 CO 농도의 피크가 확인되며 CO는 320 ppm, THC는 42 ppmC로 측정되었음. 이후 화염 온도 유지를 위한 HC 분사량 제어에 따라 분사 시작 시기마다 THC와 CO가 상승한 뒤 낮아지는 경향을 보임.
- 1800 rpm 조건에서는 화염 온도가 1400 rpm 대비 급격히 상승하며, 변화 폭이 큼. 이로 인해 HC 분사량이 더욱 빈번하게 변하게 되며 이에 따라 HC 슬립이 발생하는 빈도도 증가하게 됨. 분사 개시 시 최대 HC 슬립은 57 ppm으로 확인 됨
- 200 degC 조건에서는 유량이 증가함에 따라 분사 개시 시 HC 슬립은 증가하는 것으로 확인되었으며, HC 분사량의 급격한 변화가 HC 슬립의 피크가 빈번하게 발생하게 하는 것 또한 확인되었음

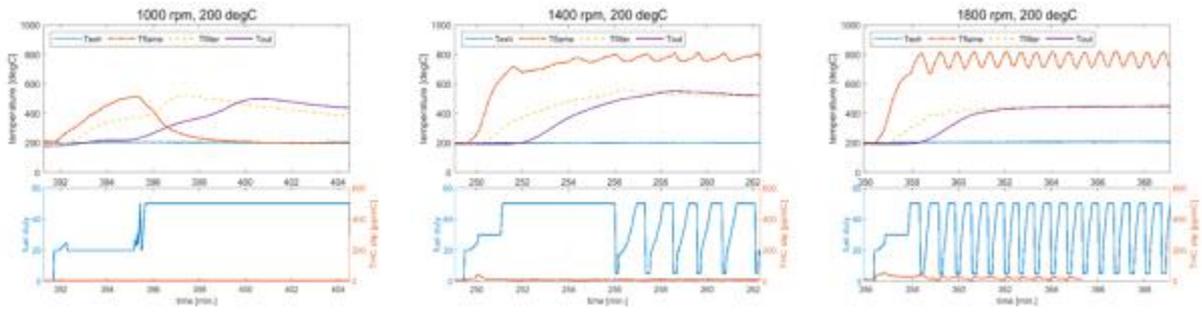


그림 69. 배기유량에 따른 HC 슬립 특성 시험 결과

② 배기 온도 변화에 따른 HC 슬립 특성 파악

- 150 degC의 경우 재생 시작 시 점화기 온도가 순조롭게 상승하며 HC 슬립은 발생하지 않지만 CO는 1500 ppm 이상의 피크가 발생함. 온도가 지속적으로 상승하게 되어 재생 시작 6분정도 시점에서 HC 분사를 멈추게 되고, 화염 온도가 급격히 낮아지는 순간 HC 슬립과, CO가 측정 범위를 벗어나는 수준으로 높게 측정 되는 부분이 확인되어 제어로직 상에서 이러한 현상을 개선
- 1400 rpm, 200 degC에서는 150 degC 대비 분사 개시 시 HC 슬립이 다소 증가하였으며, 250 degC에서는 화염온도가 상승하지 못하고 200 ppmC이상의 HC 슬립과 300 ppm 수준의 CO를 확인. 온도가 높아짐에 따라 화염온도가 상승하지 못하게 되고, HC 슬립이 증가하는 것으로 확인 됨

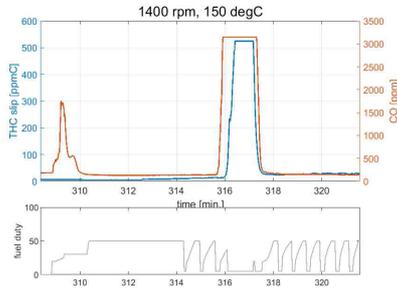


그림 70. 배기온도에 따른 HC 슬립 특성 시험 결과

(3) 콤팩트용 미세먼지 저감장치 적용성 및 특성 시험

(가) Balance point temperature(BPT) 시험

○ 저감장치를 장착 후 자연재생이 일어나지 않을 정도의 온도(1500rpm, 100Nm 220℃)에서 4시간(제어로직 상 강제재생 주기) 포집 후 엔진부하를 조정하여 저감장치 입구온도를 15분에 10~15℃씩 상승시켜가며 압력의 증가를 통해 자연재생여부를 파악함. 그 결과 매연저감장치 전단온도가 411℃와 421℃사이에서 압력기울기가 0인 지점이 측정되었으며, 보간법을 이용하여 계산한 결과 BPT는 약 412.3℃로 측정 됨. BPT온도가 높은 이유는 노후 농기계에서 배출되는 NOX 량 대비 PM량이 높아 발생된 원인으로 예상된다.

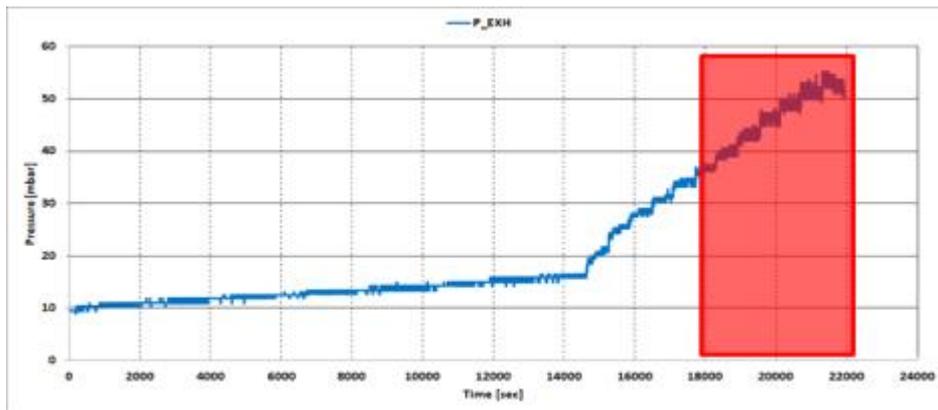
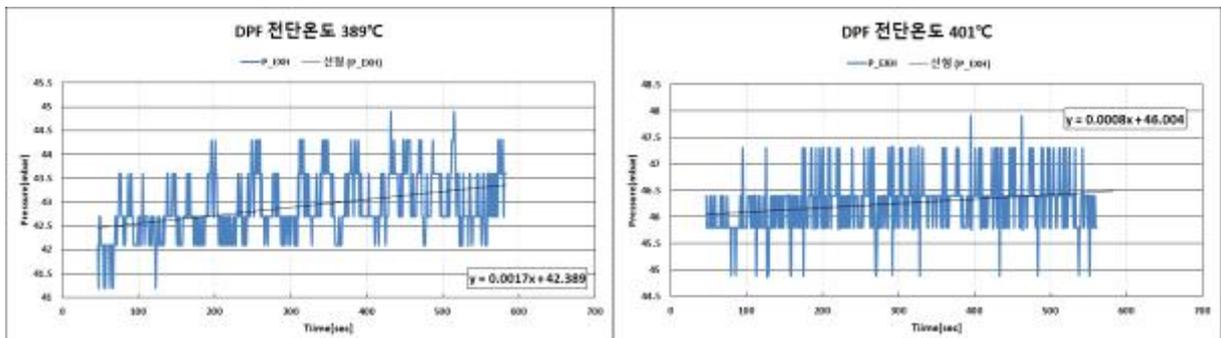


그림 71. 미세먼지 저감장치 자연재생 시험 전체 데이터



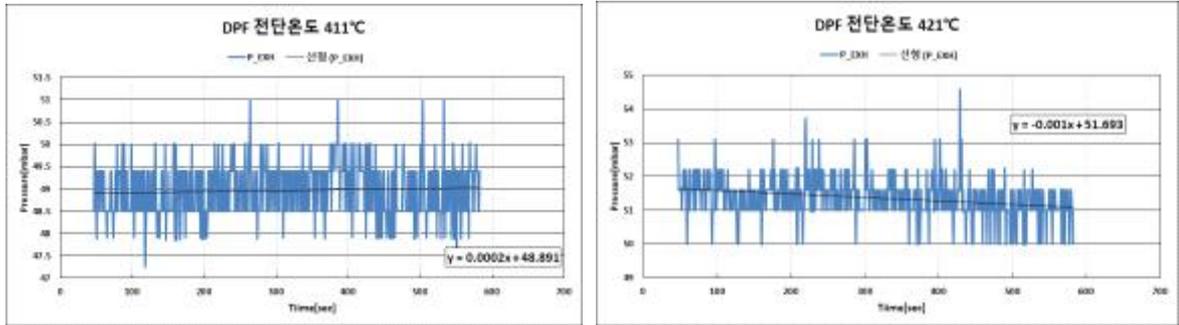


그림 72. 미세먼지 저감장치 자연재생 온도대 별 시험 결과

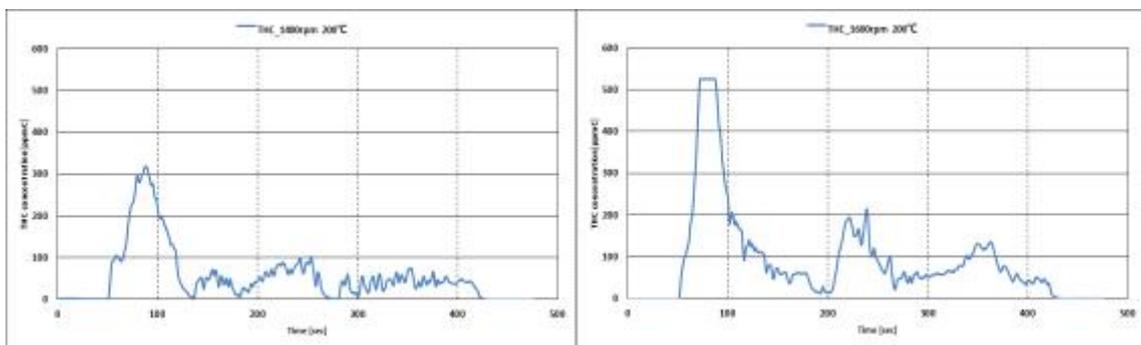
(나) HC 슬립 시험

○ 후처리장치 재생 시 HC slip 특성을 확인하기 위하여, 동일한 배기가스 온도에서 엔진 회전수 변화에 따른 HC slip 특성과 동일 엔진회전수에서 온도변화에 따른 HC slip 특성을 확인함. 시험조건은 동일한 배기가스 온도에서 배기유량 변화에 따른 HC slip을 측정하기 위하여 1400rpm, 1600rpm, 1800rpm으로 변경하며 재생을 실시하였으며, 1600rpm에서 배기온도를 180℃, 200℃, 220℃ 3구간을 선정 함

① 엔진 회전수(배기 유량) 변화에 따른 HC 슬립 특성 파악

○ 유량변화에 따른 후처리장치의 재생 시 HC slip 특성을 파악하기 위하여, 동일한 배출 가스 온도에서 엔진회전수를 변화하여(배기유량) 재생을 실시하고 후처리장치 후단에서의 T.HC를 측정하였음. 그 결과 1400rpm에서 가장 낮게 측정 되었으며, 1800rpm에서 가장 높게 측정됨. 이는 같은 온도조건에서 유량이 낮을 때, 반응시간이 길어져 HC slip이 줄어드는 것으로 판단됨.

○ 아래 그래프는 왼쪽 위부터 각각 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm에서의 THC 측정값을 보여 줌



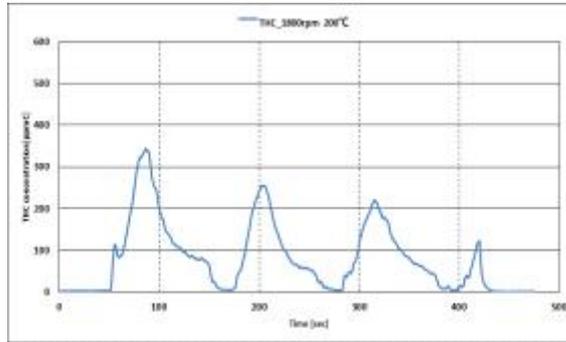


그림 73. 배기유량에 따른 HC 슬립 특성 시험 결과

② 배기 온도 변화에 따른 HC 슬립 특성 파악

- 온도변화에 따른 후처리장치의 재생 시 HC slip 특성을 파악하기 위하여, 동일한 엔진 회전수 조건에서 엔진 부하를 변화하여(배기온도) 재생을 실시하고 후처리장치 후단에서의 T.HC를 측정함. 그 결과 220℃에서 가장 낮게 측정 되었으며, 180℃에서 가장 높게 측정됨. 즉, DPF전단 온도가 높을수록 HC-slip이 낮게 측정되는 것을 확인 함
- 아래 그래프는 왼쪽 위부터 180, 200, 220 도씨에서의 HC 슬립 결과

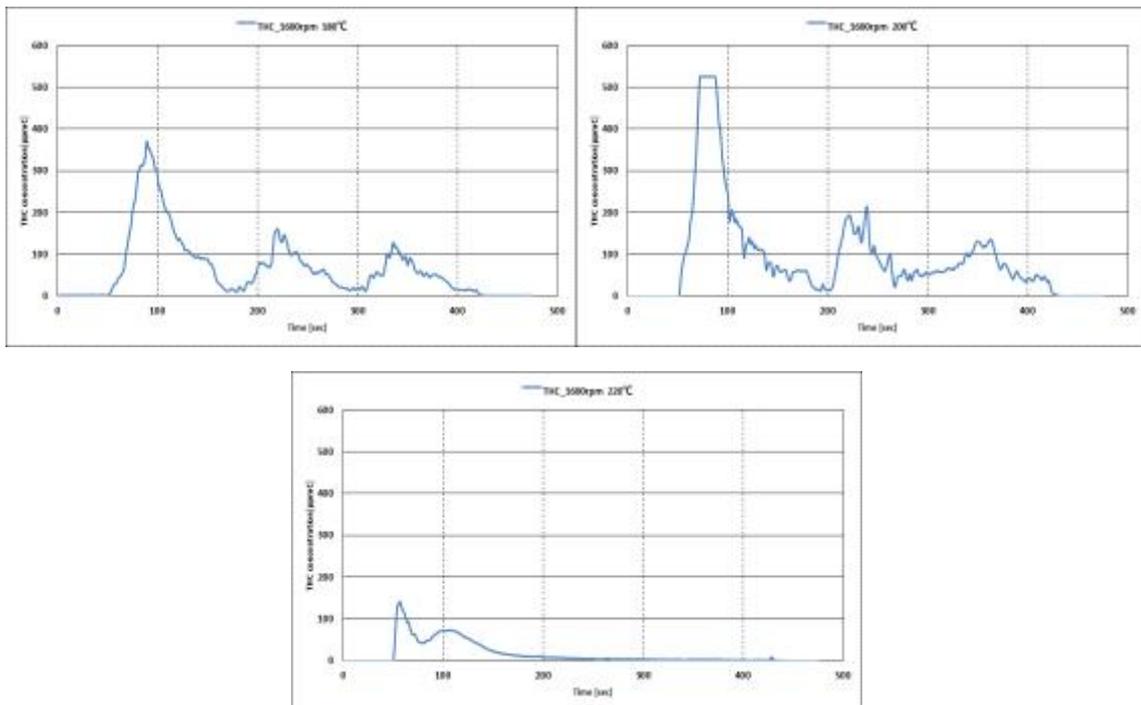


그림 74. 배기온도에 따른 HC 슬립 특성 시험 결과

사. 농기계 미세먼지 저감장치 장착, 실증시험

(1) 대상 농기계 2건 이상의 실증 시험

- 앞선 4개의 농기계 엔진에 대해 엔진 동력계 시험을 수행한 후, 75kw 트랙터와 62.5kw 콤바인에 미세먼지 저감장치를 장착 후 실증 시험을 수행함. 실증 시험에 앞서 실증 시험 방법 및 실증 시험 시간을 산정하기 위해 농기계(트랙터, 콤바인)의 이용실적 현황에 대해 조사를 실시함.
- 트랙터 이용실적 현황 조사 결과 연간 사용시간은 평균 약 160시간으로 조사되었으며, 트랙터를 이용한 주 작업 종류는 정지(29.8%) > 로더(17%) > 경운(12.9%) > 운반(11.2%) > 균평(10.3%) 순으로 작업이 많은 것으로 조사됨. 따라서 미세먼지 저감장치를 장착한 트랙터 실증시험은 약 6개월 사용시간인 80시간을 목표를 수행하였으며, 작업의 경우 정지, 경운, 로더, 균평등 실제 트랙터 작업의 종류와 유사한 조건으로 실증시험을 수행함.

표 39. 트랙터 작업별 이용실적 조사표(출처 : 농촌 진흥청, 농업기계이용실태조사)

이용실적 별(1)	이용 실적 별(2)	2015										2017									
		계	경 운	정 지	균 평	비 료 살 포	로 더	곤 포(배 일 러)	퇴 비 살 포	운 반	기 타	계	경 운	정 지	균 평	비 료 살 포	로 더	곤 포(배 일 러)	퇴 비 살 포	운 반	기 타
이용면적 (ha / 년)	계	18.9	3.3	7.4	2.4	2.6	-	0.3	1.4	-	1.5	21.0	3.3	8.5	2.5	2.6	-	0.3	1.6	-	2.2
	자가	15.6	2.6	6.1	1.8	2.2	-	0.2	1.3	-	1.4	18.0	2.8	7.3	1.9	2.4	-	0.2	1.5	-	2.0
	수탁	3.3	0.7	1.3	0.6	0.4	-	0.1	0.1	-	0.1	3.0	0.6	1.2	0.6	0.3	-	0.1	0.1	-	0.2
이용일수 (일/년)	소계	38.9	3.5	7.2	2.9	1.6	10.7	0.4	1.2	8.4	3.0	39.0	3.4	8.2	2.7	1.9	10.2	0.6	1.3	7.0	3.7
이용시간 (시간/년)	소계	157.1	21.0	45.4	17.0	7.9	24.0	2.8	6.3	20.1	12.6	164.8	20.4	50.6	16.1	8.1	30.6	3.4	6.1	15.9	13.7

- 콤바인 이용실적 현황 조사 결과 연간 사용시간은 평균 약 34시간으로 조사되었으며, 콤바인을 이용한 주 작업 종류는 벼(95%)>보리(5%) 순으로 작업이 많은 것으로 조사됨. 따라서 미세먼지 저감장치를 장착한 콤바인 실증시험은 약 6개월 사용시간인 17시간을 목표를 수행하였으며, 실증시험의 작업의 경우 벼 수확 시기와 연구개발기간이 일치하지 않아 보리 작업으로 실증시험을 수행함.

표 40. 콤바인 작업별 이용실적 조사표(출처 : 농촌 진흥청, 농업기계이용실태조사)

이용실적별(1)	이용실적별 (2)	2015			2017		
		계	벼	보리	계	벼	보리
이용면적 (ha / 년)	계	7.7	6.9	0.8	7.5	7.2	0.2
	자가	4.5	4.2	0.3	4.3	4.2	0.1
	수탁	3.2	2.7	0.5	3.1	3.0	0.1
이용일수 (일/년)	소계	8.8	8.3	0.5	9.9	9.5	0.4
이용시간 (시간/년)	소계	34.2	31.9	2.3	32.1	31.3	0.9

- 노후 농기계용 미세먼지 저감장치 장착을 위해 농기계 외부에 미세먼지 저감장치 장착 및 최적화를 수행함. 미세먼지 저감장치 장착 공간이 협소한 어려움 있어 트랙터의 경우 운전석 루프 상단, 콤바인의 경우 본체 중앙부분에 미세먼지 저감장치의 장착 및 최적화를 수행함.
- 외부에 장착하는 농기계 미세먼지 저감장치 최적화를 위해 배가기스 유입관, 장착 베이스 모듈, 미세먼지 저감 장치 커버등을 포함한 미세먼지 저감 장치를 개발을 진행함.



그림 75. 농기계 미세먼지 저감장치 장착 사진

(가) 농기계 (트랙터) 미세먼지 저감장치 장착 후 실증 시험

- 농기계 75kw 트랙터에 대해 미세먼지 저감장치 장착 후 실증 시험을 수행함. 실증시험은 총 4가지의 작업 종류로 시험을 실시함. 2020년 4월 8일 실증시험 시작을 하였으며 2020년 5월 8일 실증시험을 종결함. 총 운행 시간은 약 89시간 운행하였음. 총 운행시간은 89시간으로 측정되었으나, 시동 후 idle 모드와 작업지까지의 이동시간을 제외한 실제 작업시간은 84시간 작업을 진행함. 실증시험 전 후의 트랙터의 운행시간은 아래 그림에 나타내었음.
- 실증 시험 시 작업 종류 별 운행은 로더 작업을 약 12.5시간, 정지 작업 약 44시간, 평판 작업 약 18.5시간, 경운 작업 약 9시간을 수행함. 작업별 분포도로 환산 시 로더 작업은 14.9%, 정지작업 52.4%, 평판작업 22%, 경운작업 10.7%로 전체 운행 시간 중 정지작업을

주로 수행함. 이는 실제 농촌 경작지에 필요한 작업으로 인해 정지작업이 편중됨. 작업별 작업일지, 작업종류 및 작업 사진에 대해 아래 표에 나타내었음.



그림 76. 미세먼지 저감장치가 장착된 트랙터 작업 전후 계기판 사진

표 41. 미세먼지 저감장치가 장착된 트랙터 실증시험 작업 현황표

날짜	작업 시작 시간	작업 종료시간	작업종류	사진
2020.04.08	9:10	17:10	로더작업	
2020.04.10	8:30	17:00	정지작업	
2020.04.12	7:30	11:10	정지작업	

2020.04.12	13:00	17:20	정지작업	
2020.04.14	7:30	12:00	정지작업	
2020.04.14	13:00	17:30	로더작업	
2020.04.18	16:00	17:00	정지작업	
2020.04.20	7:30	17:30	정지작업	
2020.04.26	8:00	17:00	정지작업	
2020.04.28	8:00	17:30	로더평판작업	

2020.04.30	8:00	17:00	로더 평판작업	
2020.05.02	8:00	17:00	쟁기작업	
2020.05.08	8:00	11:00	정지작업	

(나) 농기계 (트랙터) 미세먼지 저감장치 장착 후 실증 시험

- 농기계 62.5kw 콤바인에 대해 미세먼지 저감장치 장착 후 실증 시험을 수행함. 실증실험은 총 2가지의 작업 종류로 시험을 실시함. 2020년 5월 27일 실증시험 시작을 하였으며 2020년 6월 9일 실증시험을 종결함. 총 운행 시간은 약 36시간 운행하였음. 총 운행시간은 36시간으로 계획되었으나, 시동 후 idle 모드와 작업지까지의 이동시간, idle 상태에서의 보리 타작을 제외한 실제 작업시간은 21시간 작업을 진행함. 실증시험 전 후의 콤바인의 운행시간은 아래 그림에 나타내었음.
- 실증 시험 시 작업 종류 별 운행은 보리 작업을 약 16.5시간, 귀리 작업 약 4.5시간을 수행함. 작업별 분포도로 환산 시 보리 작업은 78.6%, 귀리 작업 21.4%로 전체 운행 시간 중 보리작업을 주로 수행함. 이는 실제 농촌 경작지에 필요한 작업으로 인해 보리작업이 편중됨. 작업별 작업일지, 작업종류 및 작업 사진에 대해 아래 표에 나타내었음.



그림 77. 미세먼지 저감장치가 장착된 콤바인 작업 전후 계기판 사진

표 42. 미세먼지 저감장치가 장착된 콤바인 실증시험 작업 현황표

날짜	작업 시작 시간	작업 종료시간	작업종류	사진
2020.05.27	13:00	15:00	보리작업	
2020.05.28	12:30	17:00	보리작업	

2020.06.02	15:00	20:30	보리작업	
2020.06.08	12:00	16:30	보리작업	
2020.06.09	8:30	13:00	귀리작업	

아. 미세먼지 저감 장치 실증시험 적용성 및 특성 분석

(1) 트랙터 미세먼지 저감장치 실증시험 적용성 및 특성 분석

(가) 미세먼지 저감장치 실증 환경

- 실증기간동안 트랙터는 총 27일 간 총 88.7 시간을 운행하여 일평균 3.3 시간을 운행하였음
- 1 시간 이하로 운행한 날을 제외한 12일 동안은 85.6 시간 운행하여 하루 평균 7.1 시간의 운행을 한 것으로 확인 됨
- 주로 오전 운행과 오후 운행으로 나뉘어진 특징을 보임
- 27일 간 총 재생 시도 횟수는 72회로 일평균 2.67회 진행하였음

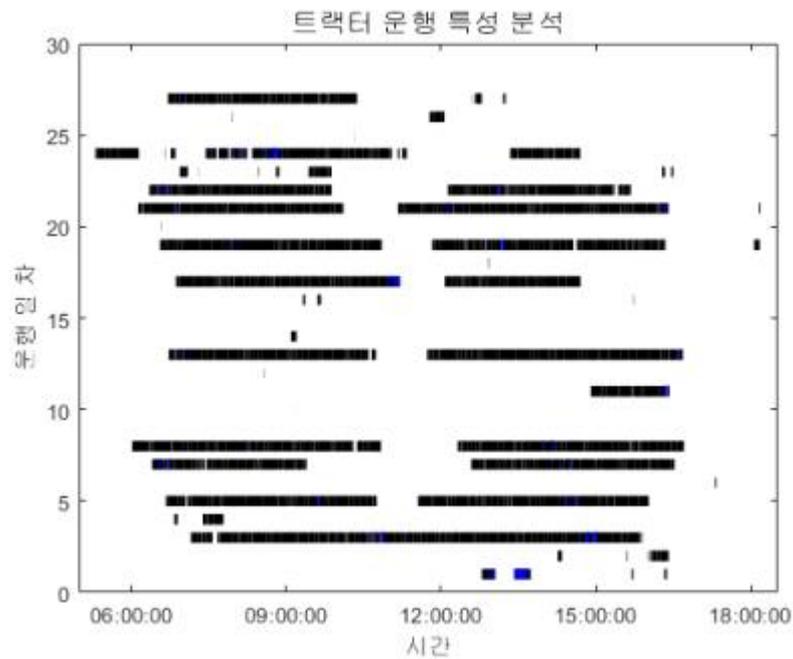


그림 78. 트랙터 실증시험 운행 특성 분석

- 실증기간동안 트랙터의 배출가스 온도분포를 확인하였으며 아래와 같음
- 온도는 최대 400 degC 까지 상승하며 100 degC이상이 80 %, 200 degC 이상이 65 %에 해당함

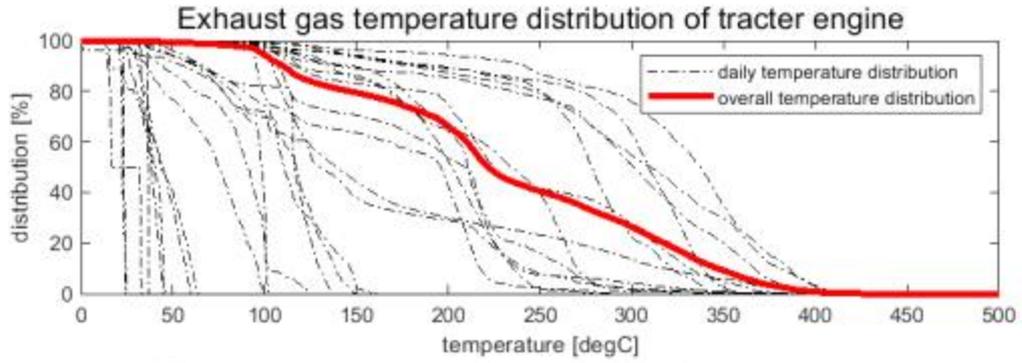


그림 79. 트랙터 실증시험 배출가스 온도 분포도

(나) 적용 특성 분석

- 실증기간 동안 트랙터에 부착 된 매연저감장치 온도, 압력, 그리고 재생 step과 HC 분사량이 아래 그래프에 도시 되어 있음
- T2가 800 도씨 이상 상승 하는 것과 재생 step이 5까지 상승하는 것을 통해 일정 주기로 재생이 일어나는 것을 확인할 수 있음
- 압력의 경우 작업 패턴에 따라 분포 구간에 차이가 있으므로 작업 패턴과 구간 별 분포로 추가 분석 수행

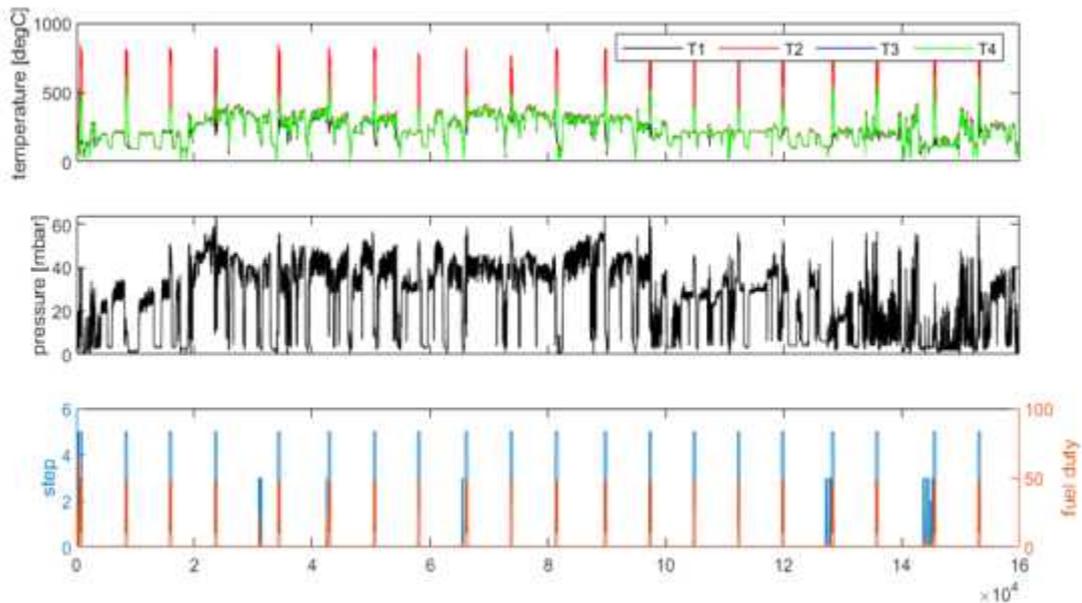


그림 80. 트랙터 미세먼지 저감장치 실증시험 적용 특성 분석

- 아래 그래프는 실증기간 동안 압력 분포 비율 및 평균 압력을 도시한 그래프
- 압력 분포는 0-20 mbar, 40-60 mbar, 40-60 mbar, 60-80 mbar 구간 별 운행 시간을 각각 파란색, 주황색, 노란색, 보라색으로 도시
- 검은색 그래프는 실증 일자별 평균 압력

- 그리고 확인 된 각각의 작업 형태를 표시 하였음
- 이를 통해 로더 작업을 하는 경우 배압이 20-40 mbar 영역이 50 % 이상 차지하는 것을 확인할 수 있었고, 정지 작업을 하는 경우 40-60 mbar가 주를 이루는 것을 확인할 수 있었음

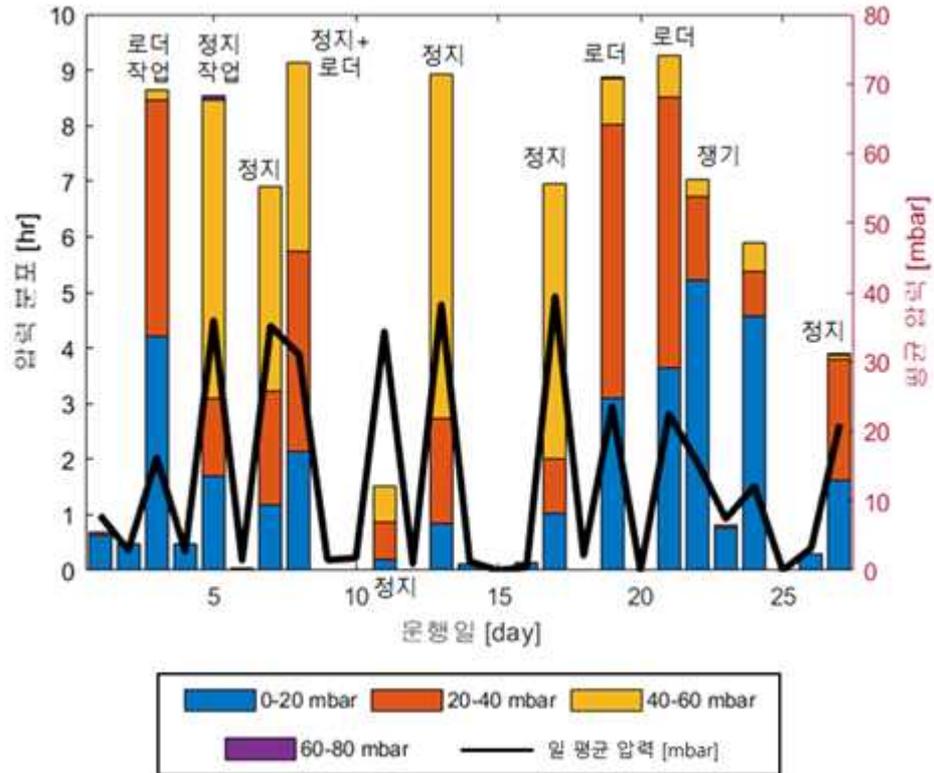


그림 81. 트랙터 작업 종류 별 압력 분포도

(2) 콤바인 미세면지 저감장치 실증시험 적용성 및 특성 분석

(가) 매연저감장치 실증 환경

- 실증기간동안 콤바인은 총 10일 간 총 36.0 시간을 운행하여 일평균 3.6 시간을 운행하였음
- 1 시간 이하로 운행한 날을 제외한 9일 동안은 35.8 시간 운행하여 하루 평균 4.0 시간의 운행을 한 것으로 확인 됨
- 트랙터와 비교하여 일평균 운행 시간이 짧고, 오전과 오후를 구분하지 않고 하루에 평균 4시간정도 연속적으로 운행하는 것이 보통
- 10일 간 총 재생 시도 횟수는 38회로 일평균 3.8회 진행하였음

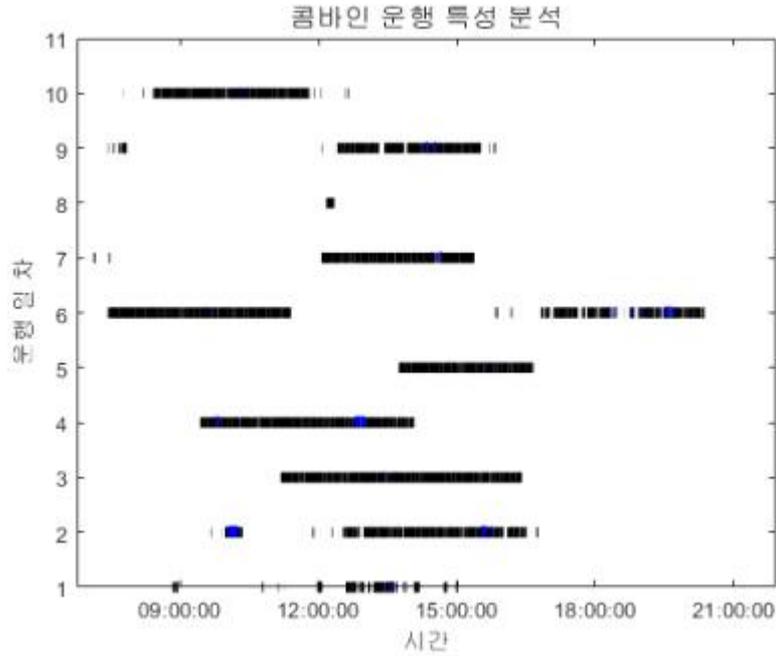


그림 82. 콤바인 실증시험 운행 특성 분석

- 실증기간동안 콤바인의 배출가스 온도분포를 확인하였으며 아래와 같음
- 온도는 최대 400 degC 까지 상승하며 100 degC 이상이 95 %, 200 degC 이상이 40 % 에 해당하여 트랙터와 비교하여 고온 영역의 분포가 적음

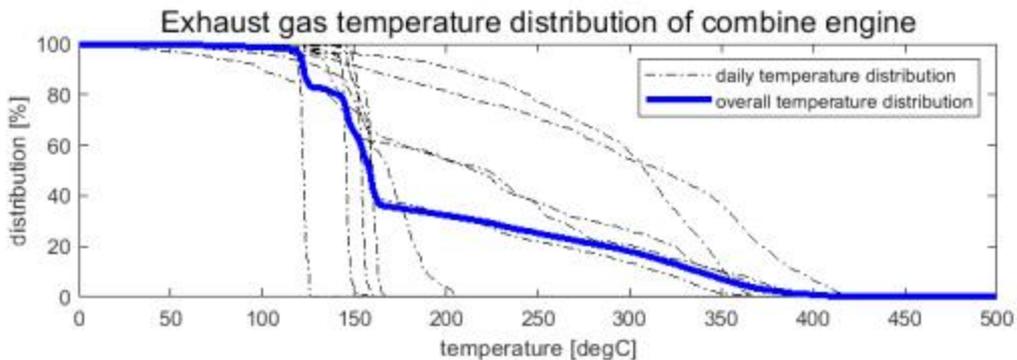


그림 83. 콤바인 실증시험 배출가스 온도 분포도

(나) 적용 특성 분석

- 매연저감장치의 적용 특성 분석을 위해 실증기간 동안 콤바인에 부착 된 매연저감장치 온도, 압력, 그리고 재생 step과 HC 분사량을 아래 그래프에 도시
- T2가 800 도씨 이상 상승 하는 것과 재생 step이 5까지 상승하는 것을 통해 일정 주기로 재생이 일어나는 것을 확인할 수 있음
- 트랙터와 비교하여 100 도씨대의 온도 분포가 빈번하게 확인 되는 것으로 보아 아이들

운영 비중이 높은 것을 알 수 있음.

- 압력의 경우 작업 패턴에 따라 분포 구간에 차이가 있으므로 작업 패턴과 구간 별 분포로 추가 분석 수행

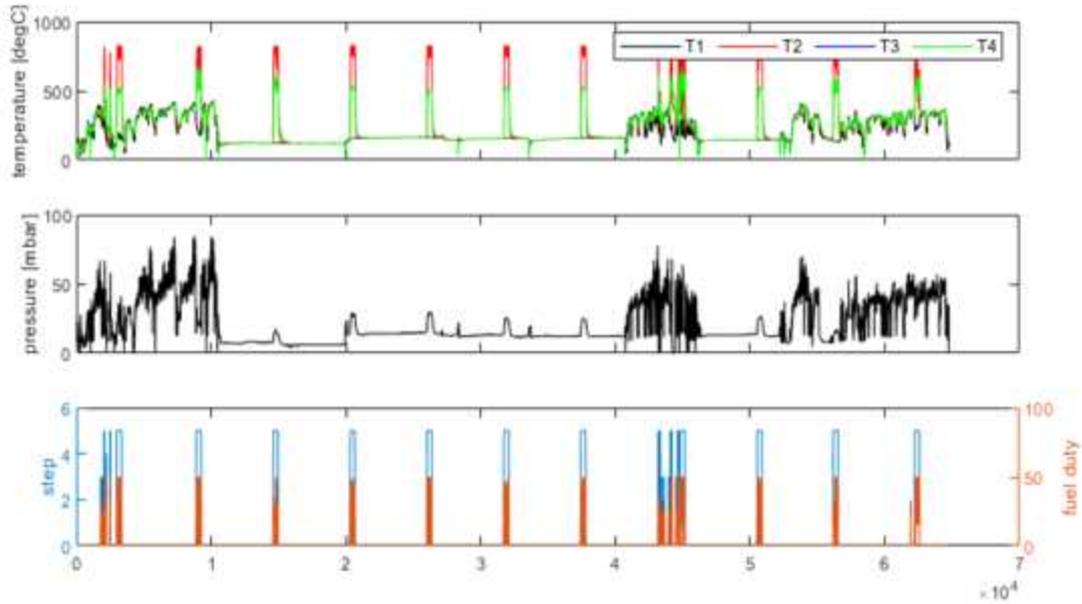


그림 84. 콤팩트 미세먼지 저감장치 실증시험 적용 특성 분석

- 아래 그래프는 실증기간 동안 압력 분포 비율 및 평균 압력을 도시한 그래프
- 압력 분포는 0-20 mbar, 40-60 mbar, 40-60 mbar, 60-80 mbar 구간 별 운영 시간을 각각 파란색, 주황색, 노란색, 보라색으로 도시
- 검은색 그래프는 실증 일자별 평균 압력
- 그리고 확인 된 각각의 작업 형태를 표시하였음
- 이를 통해 보리 수확이나 귀리 수확 작업을 하는 경우 배압이 20-40 mbar, 40- 60 mbar 영역이 높은 비중을 차지하며 작업을 하지 않을 때는 아이들 상태로 유지 되어 0-20 mbar를 형성 되는 것을 확인할 수 있음

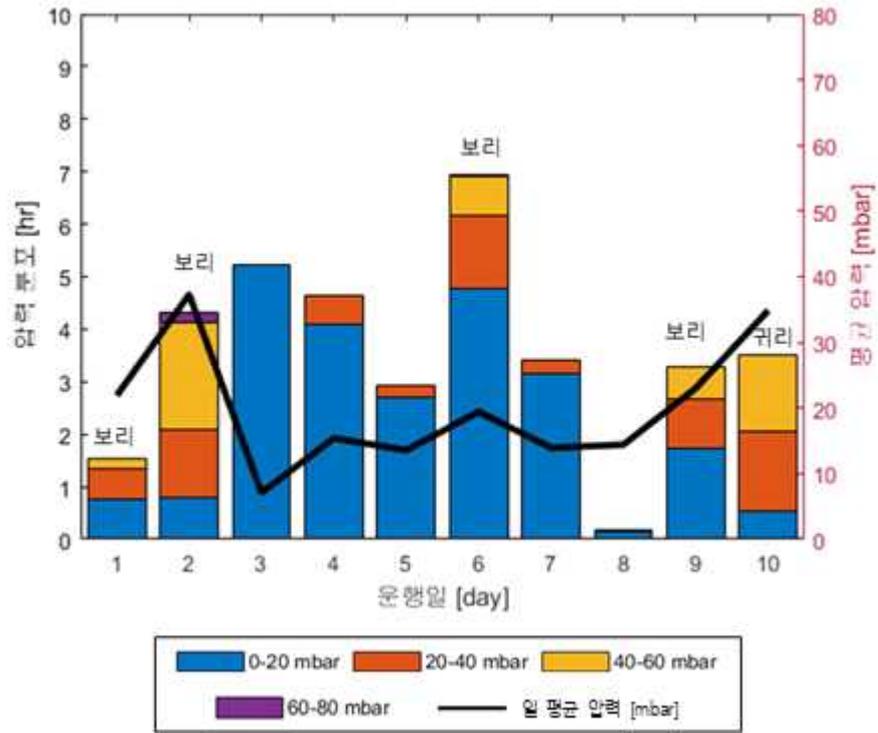


그림 85. 콤바인 작업 종류 별 압력 분포도

자. 실증시험을 통한 미세먼지 저감장치 최종 저감효율 시험

(1) 트랙터 실증 시험 후 최종 저감효율 분석

- 실증 후 저감효율 시험을 위해 아래와 같이 base 상태(muffler 장착)와 9" DPF 장착한 상태로 시험 장치를 구성하였음



그림 86. muffler 부착 상태



그림 87. 미세먼지 저감장치 부착 상태

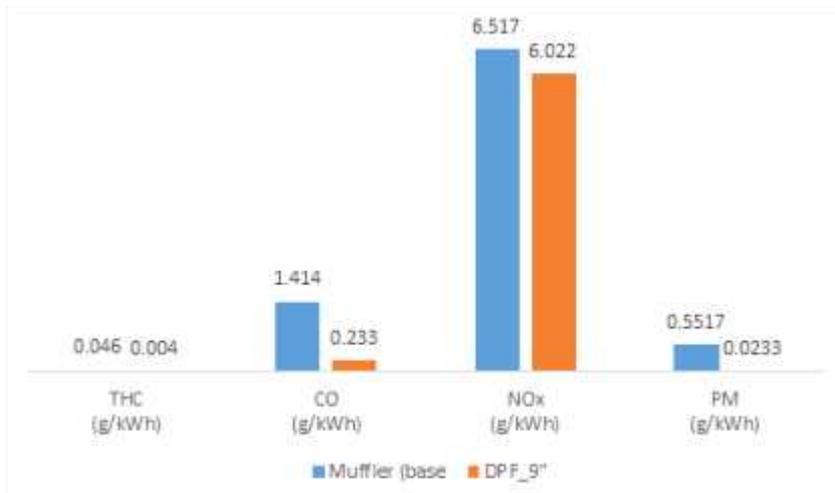
- 실증 후 저감효율 시험을 수행한 바 base 상태에서는 PM 배출량이 0.5517 g/kWh이며 실증에 사용한 트랙터용 DPF 부착 시 0.0233 g/kWh로 저감
- 아래 표에 상세 데이터가 정리되어 있음

표 43. 트랙터 실증 시험 후 미세먼지 저감 장치 최종 시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]
머플러 1	0.055	1.400	6.451	0.5618	235.56	109.2
머플러 2	0.043	1.390	6.665	0.5683	235.99	108.7
머플러 3	0.038	1.451	6.436	0.5250	235.37	109.5
평균	0.046	1.414	6.517	0.5517	235.64	109.1
DPF 1	0.007	0.240	5.884	0.0175	236.34	108.2
DPF 2	0.002	0.251	6.222	0.0162	232.40	106.4
DPF 3	0.002	0.207	5.961	0.0363	232.13	105.7
평균	0.004	0.233	6.022	0.0233	233.62	106.8

- 이때 저감효율은 아래 표와 같이 95.8 %로 확인 됨
- bsfc는 0.9 % 감소하였고, 출력은 2.2 % 저하 됨
- THC와 CO, NOx의 경우도 각각 91.1 %, 83.5 %, 7.6 % 저감 됨
- 오른쪽 그림은 머플러 부착 시와 DPF 부착 시 PM 측정 여지에 축적 된 PM 양을 보

여주며, DPF 부착 전/후 확인한 매연의 차이를 확인 할 수 있음



THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]
91.1 %	83.5 %	7.6 %	95.8 %	0.9 %	2.2 %

그림 88. 트랙터 실증 시험 후 최종 저감 효율 및 PM 여지 사진

(2) 콤바인 실증 시험 후 최종 저감효율

- 실증 후 저감효율 시험을 위해 아래와 같이 base 상태(muffler 장착)와 9" DPF 장착한 상태로 시험 장치를 구성하였음



그림 89. muffler 부착 상태



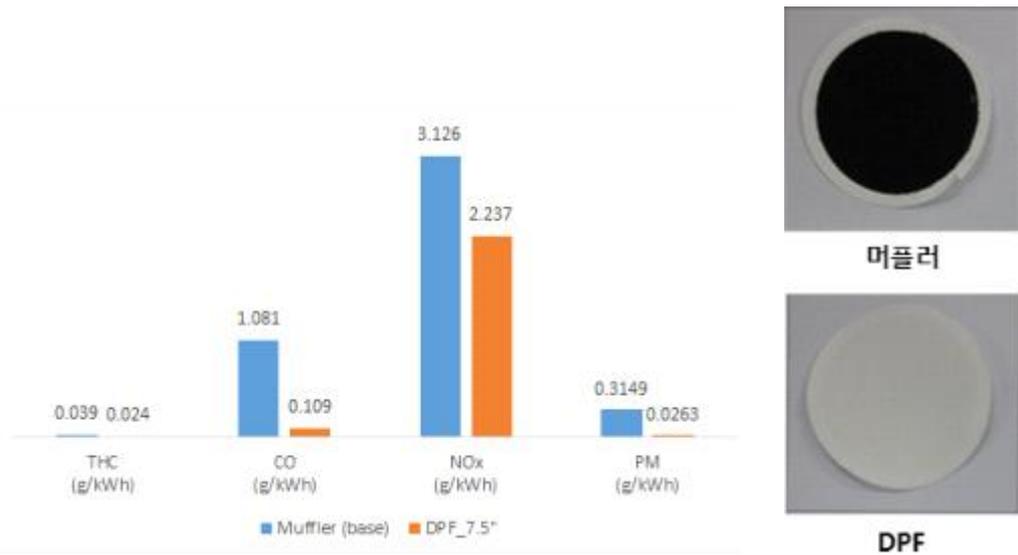
그림 90. 미세먼지 저감장치 부착 상태

- 실증 후 저감효율 시험을 수행한 바 base 상태에서는 PM 배출량이 0.3149 g/kWh이며 실증에 사용한 콤바인용 DPF 부착 시 0.0263 g/kWh로 저감 됨
- 아래 표에 상세 데이터가 정리되어 있음

표 44. 콤바인 실증 시험 후 미세먼지 저감 장치 최종 시험 결과

	THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]
머플러 1	0.030	1.179	3.426	0.3529	231.08	83.4
머플러 2	0.033	1.030	2.970	0.2877	231.25	82.8
머플러 3	0.054	1.033	2.982	0.3043	231.30	82.1
평균	0.039	1.081	3.126	0.3149	231.21	82.8
DPF 1	0.024	0.148	2.396	0.0253	234.06	80.9
DPF 2	0.006	0.143	2.255	0.0298	236.50	81.0
DPF 3	0.040	0.037	2.059	0.0239	234.80	80.6
평균	0.024	0.109	2.237	0.0263	235.12	80.8

- 이때 저감효율은 아래 표와 같이 91.6 %로 확인 됨
- bsfc는 1.7 % 증가하였고, 출력은 2.3 % 저하 됨
- THC와 CO, NOx의 경우도 각각 39.9 %, 89.9 %, 28.4 % 저감 확인 함
- 오른쪽 그림은 머플러 부착 시와 DPF 부착 시 PM 측정 여지에 축적 된 PM 양을 보여주며, DPF 부착 전/후 확인한 매연의 차이를 확인 할 수 있음



THC [g/kWh]	CO [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	bsfc [g/kWh]	power [ps]
39.9 %	89.9 %	28.4 %	91.6 %	-1.7 %	2.3 %

그림 91. 콤바인 실증 시험 후 최종 저감 효율 및 PM 여지 사진

차. 미세먼지 저감 장치 제품에 대한 기술 사양 검토

- 농업기계에 PM 저감장치를 부착하는 것은 농업기계 원동기에서 배출되는 미세먼지를 줄이는 것이 주 목적이라고 할 수 있으며, 국내는 「대기환경보전법」에서 농업기계 중 디젤 원동기를 사용하는 농업기계로 트랙터, 콤바인을 배출가스규제 대상 농업기계로 규정하고 있음. 즉, 트랙터 콤바인에 탑재된 원동기는 배출가스규제를 받는 농업기계로 분류됨
- 배출가스규제는 크게 두가지로 분류되며, 첫째 신규로 제작하는 자동차, 건설기계, 농업기계 등에 탑재되는 원동기에 대한 배출가스규제로 신규로 제작되는 농업기계에 탑재되는 원동기는 환경부장관이 정하여 고시하는 배출가스허용기준을 만족해야 하는 규제가 있고, 이 중 자동차와 건설기계 일부(덤프트럭, 콘크리트 믹서트럭, 콘크리트 펌프트럭)는 운행차에 대한 운행차배출허용기준이 별도로 있어 사용 중인 자동차 또는 건설기계가 운행차 배출허용기준을 만족하는 수준으로 운용되고 있는지 사용자로 하여금 수시검사와 정기검사를 받도록 규정되어 있음.
- 농업기계 원동기의 경우 제작차 배출허용기준은 건설기계와 그 기준을 같이하고 있으며, 최초 배출가스 규제 적용시기는 건설기계보다 늦은 2013년 2월 2일부터 도입되었음. 또한, 농업기계 트랙터, 콤바인의 경우 대기환경보전법에 운행차에 대한 배출가스 규제가 없어, 사용자는 제작차배출허용기준을 만족하는 농업기계를 구매하면 지속하여 활용이 가능한 기계로 분류됨.
- 현재의 농업기계 배출가스규제 제도현황에서는 농업기계에 PM저감장치를 필수로 부착해야 하는 경우는 현재 Tier-4규제 만족을 위하여, 농업기계 원동기 제조사가 제작차 배출허용기준 만족을 목적으로 농업기계 설계부터 반영되어 부착하는 경우에만 강제성을 지니고 있음.
- 농업기계에서 발생하는 대기오염발생물질은 사용자와 인류의 인체에는 직접적인 위해로 작용하지만, 그 피해가 즉각적인 경제적, 신체적 피해로 나타나지 않는 특성이 있어, 법이나 규정 등으로 강제성을 지니는 경우가 대부분임.
- 현시점에서 농업기계 분야의 미세먼지 저감을 위해서는 정부의 지원정책을 통한 자발적인 부착 유도가 필요하며, 향후 운행차배출허용기준에 농업기계가 신규로 마련 될 경우 해당 기준에 맞게 운행할 수 있도록 PM저감장치가 효용성을 지닐 것으로 사료됨.
- 국내 농업기계 배출가스규제는 그 기준은 건설기계 원동기 제작차배출허용기준과 시험방법과 기준을 같이하고 있으며, 건설기계의 배출가스저감장치의 경우 자동차에 대하여는 제1종, 제2종, 제3종까지 종류별로 배출가스저감장치의 저감효율을 규정하고 있어 최소 제3종의 경우 25%이상, 제2종은 50%이상, 제1종은 80%이상까지 입자상물질(PM)을 저감할 수 있도록 배출가스저감장치의 저감효율을 규정하고 있음.
- 건설기계 배출가스저감장치의 경우 엔진만 별도로 분리하여 차대에서 시험을 수행하는 KC1-8모드로 효율시험을 수행하고 있으며, 저감장치를 부착하기 전, 부착한 후의 입자상물질(PM), 출력, 연비의 저감비율을 확인하고 있음.
- 급변 개발된 농업기계용 배출가스저감장치는 건설기계 배출가스저감장치 시험방법을 적용하였으며, 현재 농업기계와 건설기계의 배출가스규제 수준이 동일하기 때문에 연구목적 부합성을 고려하여 건설기계 배출가스저감장치 저감효율 시험방법과 동일한

시험방법이 적용되었다고 볼 수 있음.

- Tier-3부터 배출가스규제가 시작된 2013년시기 국내 농업기계용 원동기 제작사가 적용한 핵심 기술은 연소효율을 개선하는 방법으로, 최대한 완전연소에 가깝게 디젤을 연소시켜 배출가스에서 나오는 일산화탄소와 입자상물질(PM)을 저감하는 기술을 채택하였음.
- 따라서, PM저감장치의 설치 주요 제품이 될 Tier-2, Tier-3 수준의 국내 원동기에는 DOC, DPF, SCR등의 배출가스후처리장치 부착 없이 제작된 제품이 다수로, 기존 Tier-3규제 수준에서는 대부분의 농업기계가 소음기만 부착된 상태로 제작차 배출허용기준을 만족하고 보급되었으며, PM저감장치 부착을 위해서는 해당 소음기를 제거하고 그 자리를 PM저감장치를 설치하여야 함.
- 그러나, 설치 시 고려사항으로 농업기계 제조사별로 소음기 설치 위치와 공간이 각자 다르기 때문에 트랙터, 콤파인 제조사의 시리즈별로 출력 저하가 없는 배압 수준을 만족 할 수 있도록 적정 크기, 설치 위치의 선정이 필요하며, 이에 따른 배기관 설계까지 제품화가 필요할 것으로 사료됨. 특히 콤파인의 경우 엔진룸의 내부공간이 극도로 협소하여 콤파인의 시리즈별 표준을 적용하여 전체적인 제품화가 필요함.
- 금번 개발된 농업기계용 배출가스 저감장치는 대상 농기계의 설치 위치와 공간이 협소하여 농업기계의 외부에 장착되는 특징이 있음. 이러한 특징으로 배출가스 저감장치의 설치위치가 엔진과 거리가 멀어지게 되며 이로 인해 농업기계에서 배출되는 배기가스 온도가 낮아지는 현상이 발생함. 또한 노후 농기계에서는 다량의 PM이 발생하는 특징으로 인해 촉매만 사용하는 자연재생 실험결과 400℃ 이상의 높은 온도가 요구되는 것으로 확인됨. 따라서 본 연구에서 적용된 복합 방식 재생시스템은 가장 합리적인 방법을 선정하여 수행한 것으로 판단됨.
- 시험에 활용된 시험방법은 환경부고시 운행자동차 배출가스저감장치·저공해엔진 인증방법 및 절차 등에 관한 규정 중 별표 4의 1 건설기계 저감장치 저감효율 시험 및 실차내구시험 등의 시험방법을 준용하여 시행되었으며, 농업기계의 경우 건설기계와 제작차배출가스 허용기준, 보증기간을 동일시하기 때문에 현존하는 시험표준 중에서 가장 합리적인 방법을 채택하여 수행한 것으로 분석됨.

카. 미세먼지 저감장치 기술 확대/보급 촉진을 위한 제도 및 정책 제안(농업기술 실용화 재단)

- 배출가스규제가 시작된 2006년부터 국내에 보급된 농업용트랙터, 콤파인을 살펴보면 트랙터가 총 148,819대, 콤파인이 40,575대가 보급되었다. 현재 농업기계 환경규제에서 배출가스저감장치 부착이 필요한 농업기계는 제작차의 배출가스 보증기간이 지난 농업기계가 그 대상이라 볼 수 있음.

< 연도별 트랙터, 콤바인 보급대수(자료출처: 농업기계연감) >

[단위: 대]

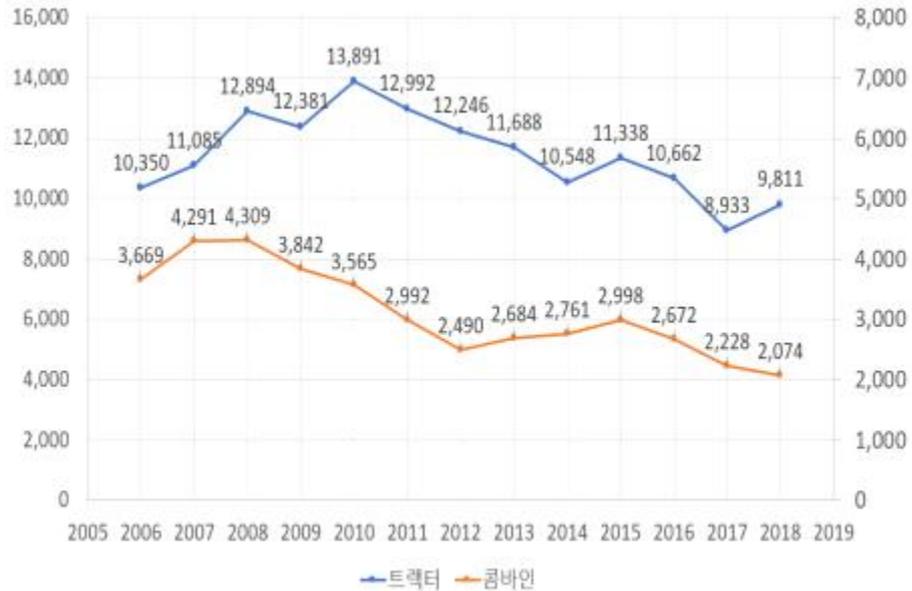


그림 92. 연도별 트랙터, 콤바인 보급대수

- 대기환경보전법에서 농업기계에 대한 배출가스 보증기간을 살펴보면 2009년 이전에는 건설기계도 농업기계도 배출가스 규제가 없어 보증기간이 존재하지 않으며, 해당 농업기계는 전부 배출가스에서 배출되는 대기오염물질에 대한 관리가 필요한 농업기계라고 볼 수 있음. 그러나, 농업기계의 수명과 노후정도를 고려하여 배출가스의 저감장치부착 지원정책과 더불어 노후 된 농기계에 대한 폐기를 같이 지원하는 정책을 병행하는 것이 효율적일 것으로 사료됨.
- 그리고, 2009년 1월부터 2013년1월까지 제작된 농업기계는 배출가스보증기간을 1년으로 규정하고 있어 2020년 현재 트랙터는 51,510대, 콤바인은 12,889대가 배출가스에 대한 보증기간이 만료되어 배출가스 저감능력에 대한 유효성 검증이 필요한 상황이며, 배출가스저감장치의 부착을 필요로하는 농업기계로 분류될 수 있음.
- 또한, 2013년부터는 제작되는 농업기계의 경우 보증기간을 7년으로 규정하고 있어(보급 대수가 상대적으로 낮은 원동기출력 19kW미만의 농업기계는 5년으로 규정), 2020년부터는 농업기계 배출가스규제가 시작된 2013년도 생산 트랙터, 콤바인이 배출가스 보증기간이 만료되어 관리가 필요한 시점이 도래한 상황으로 볼 수 있음.
- 농업기계의 경우 배출가스규제에 있어 시험방법과 기준은 건설기계와 동일 시 하고 있음. 이는 해외에도 유사한 규정을 운영 하고있는 사례로, 앞서 규제가 도입된 건설기계용 원동기가 농업기계에서도 활용되고 있는 등 두 분야에 해당하는 기계가 도로를 주행하는 것이 주 목적이 아닌 특정 작업을 목적으로 한다는 유사한 메커니즘에서 기인하는 것으로 사료됨.
- 개발한 PM저감장치의 경우 ISO 8178 C1-8모드(건설기계, 농업기계 원동기의 배출가스 시험방법 동일)를 적용하여 PM저감장치 부착 전, 부착 후를 비교하였을 시, 트랙터와 콤바인 모두 PM저감율은 90%, 연비, 출력저하 비율은 5%기준을 만족하는 결과를

나타냈음. 또한, 해당 기준은 대기환경보전법에서 배출가스저감장치의 효율로 규정하고 있는 최대치인 80%기준을 상회하는 결과임. 따라서, 농업기계에 사용되는 배출가스저감장치의 성능기준은 대기환경보전법에서 규정하는 현행기준을 따라도 무방하며 시험방법은 ISO 8178 C1-8모드인 건설기계, 농업기계 시험모드를 적용하는 것이 타당함

- 농업기계의 경우 배출가스저감장치의 도로 주행형 농업기계가 없으며, 운행차 배출허용기준 또한 없어 사용자하여금 배출가스저감장치를 부착해야 하는 의무가 없음. 따라서, 농업기계로부터 발생하는 미세먼지 저감을 위해서는 노후된 농업기계의 폐기를 권고하거나 폐기를 원치 않을 때는 배출가스저감장치부착할 수 있도록 하여 농업인이 자발적으로 농업기계로부터 발생 되는 미세먼지 저감정책에 동참할 수 있도록 하는 것이 중요함.
- 대기환경보전법에서 관리되고 있는 자동차, 건설기계의 경우 배출가스 저감을 위한 허용기준 등은 대기환경보전법에서 관리되고 있으나, 해당 자동차와 건설기계의 관리는 각각 자동차관리법과 건설기계관리법에 의존하는 형태임. 국내 농업기계와 관련된 법령은 농업기계화 촉진법을 꼽을 수 있으며, 농업기계 미세먼지 저감과 농업기계 관리를 위하여 농업기계화 촉진법 중 다음 사항이 포함되도록 개정이 필요할 것으로 사료.
- (농업기계 등록제 도입) 국내 농업기계 보급과 관련된 법령은 농업기계화 촉진법을 꼽을 수 있음. 1978년도 법이 제정될 당시 운전면허, 등록제가 규정되어 있었으나, 1994년 농업기계 보급촉진을 목적으로 보급 확산에 저해가 될 수 있는 조항이 삭제되었음. 그러나, 농업기계 등록제는 정부의 노후 농기계에 대한 객관적이고 효율적 관리를 위하여 꼭 필요한 제도로 농업인의 재산권 보장과 농업기계 보험, 사후관리 등 농업기계화 정책을 효율적으로 수행하는데 지대한 역할을 수행함.
- 특히, 운행 농업기계에서 발생 되는 미세먼지가 대기환경개선에 중요한 문제로 인식됨에 따라, 노후농기계의 관리와 해당 농업기계의 사용자에게 조기 폐기 또는 배출가스 저감장치부착 등을 권고함에있어, 농업기계 등록제는 농업기계 미세먼지저감 대책과 연계되어야 하는 중요한 제도로 인식됨.
- 등록과 관련하여서는 신규등록, 변경등록, 등록말소 절차, 등록번호판 제작 및 부착, 폐기와 그 절차 등과 같은 부가적인 규정 신설과 미등록농업기계, 번호판 미부착 농업기계 사용과 관련된 과태료 조항 등을 신설하여 등록제의 실효성 제고가 필요함.
- (정기검사 제도도입) 등록제가 시행되면 노후 농업기계에 대한 본격적인 관리가 필요함. 2013년이전에 제작된 노후 농업기계의 경우 원동기에서 배출되는 미세먼지도 문제이지만 농업기계 안전을 위해서도 안전장치의 부착 여부와 시정조치 등 관리를 위해 정기검사 제도의 도입이 필요.
- 특히, 안전장치의 불법개조 농업기계 구조의 임의 변경사용 등은 농업기계 안전사고 발생 시 최악의 경우 농업인을 사망에 이르게 할 수 있음. 따라서, 농업기계에 대한 정기검사를 도입하여 노후 농기계, 불법개조 농기계에 대하여는 정부에서 나서 개선을 할 수 있도록 정기적인 관리 방안을 마련하여야 함
- (노후농기계 미세먼지저감 관련 지원근거 마련) 현재의 배출가규제 수준이전에 제작되어 보급되거나, 2013년이전 농업기계 배출가스규제 시작 이전에 제작된 농업기계를 특정경유농업기계로 명명하여 해당농업기계를 조기폐기하거나 해당 농업기계

배출가스저감장치를 부착할 경우 해당농업기계의 소유자에게 해당 비용의 일부 또는 전부를 지원할 수 있는 근거 조항 신설 필요

- 노후된 농업기계를 사용하는 사용자가 해당 농업기계의 정기검사 결과 사용이 제한되는 경우 해당 농업기계를 무조건적으로 폐기를 강요할 수 없기 때문에 저감장치를 부착하여 지속활용이 가능 할 수 있도록 하는 조치가 필요

2절 연구개발 성과

1. 연구개발 성과

가. 지식 재산권

출원 구분	특허명	출원인	출원국/출원번호
특허 출원	디젤엔진을 가진 노후 농기계용 미세먼지 저감장치	(주) 세라컴	한국/10-2020-0104652

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2020.08.20
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무) 할조번호(KP200117NK)
출원번호	10-2020-0104652 (공수번호 1-1-2020-0875881-58) (DAS접근코드 96BA)
출원인명칭	(주) 세라컴(1-2001-022373-1)
대리인명칭	특허법인키(9-2019-100221-6)
발명자명칭	이강홍 박승하 신영진 서필철 오형석 김홍주 정관영 안계환
발명의명칭	디젤엔진을 가진 노후 농기계용 미세먼지 저감장치

특 허 청 장

나. 기술 실시

본 연구과제의 주관기관인 (주) 세라컴은 본 과제의 기술료를 납부하여 기술 실시 계약을 체결할 예정입니다.

다. 제품화

NO.	제품명	제품 사진
1	농기계용 미세먼지 저감장치 (AVEHY-01)	
2	농기계용 미세먼지 저감장치 (AVEHY-02)	

라 학술성과

학술 성과 내용		
학술대회명	한국 자동차공학회 춘계학술대회	대한기계학회 신뢰성부분 춘계학술대회
제목	운행농기계용 후처리 장치 촉매 재질 및 형상에 따른 배출가스 평가에 관한 연구	운행농기계 후처리 장치 적용 시 배압예측 및 적용성 평가에 관한 연구
저자	신재식, 강정호, 신병선, 오형석	신재식, 정석훈, 신병선, 오형석, 강정호
발표일	2020.07.02	2020.07.16
사진		

마. 교육지도

교육지도 내용	
교육명	농기계용 미세먼지 저감장치(9A)
교육일자	2020.07.23
교육자	(주) 세라컴 오형석 과장
교육 대상	농기계 운영 농민(아산시 인주면 농민 총 10명)
교육내용	농기계 미세먼지 저감장치의 필요성 및 기술 현황
사진	
교육자 참석자 명단	이대연, 김근배, 김용연, 배승현, 유완석, 이영균, 김진렬, 조병수, 김구연, 김지연

바. 정책활용

양 식	정책건의/시행	※ 정부시책, 법령개정, 매뉴얼(지침), 시스템 반영 등	
과제명	농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증		
건의명	농업기계화 촉진법 개정 검토의견 제출		
주관부처 (담당자)	농림축산식품부 농기자재정책팀 (최승묵서기관)	건의일자 (제출일)	2020 년 7 월 2 일
시책명	농업기계화 촉진법	시행일 (시행예정일)	주관부처검토중
주요내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노후 농업기계 등 폐기 및 배출가스 관리를 위한 지원제도 도입 <ul style="list-style-type: none"> - 특정경유농업기계 소유자에게 배출가스저감장치 부착을 권고하고, 권고사항을 이행할 경우 자금지원 등 특정경유농업기계의 관리에 관한 사항을 규정 ○ 농업기계 등록제도 및 검사제도 도입관련 개정신설 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 농업기계의 등록(신규·변경·이전·말소등록)별 등록의무자 및 등록 신청방법과 등록업무처리기준 등 등록사항별 구체적인 내용을 규정 - 등록대상 농업기계의 소유자가 받아야 할 검사내용 및 신청방법에 대한 구체적인 사항을 규정 - 등록 및 검사 등 규정사항 미 이행에 따른 벌칙 및 과태료 등의 사항을 규정 		
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농업기계에 대한 대기환경 규제 강화 및 노후 농업기계로 인한 농촌환경 오염발생, 농업기계로부터 발생하는 미세먼지 저감을 위하여 해당농업기계에 대한 배출가스 저감장치를 부착할 수 있도록 하고 노후농업기계(특정경유농업기계)에 대한 효율적 관리 방안을 마련 		



사. 홍보 전시

홍보전시 내용	
전시회명	국제 첨단 세라믹 전시회 (ACE 2020)
전시일자	2020.07.01.~2020.07.03
전시 장소	킨텍스
전시 대상	세라믹 필터 및 농기계 미세먼지 저감장치
사진	

아. 공인시험 성적서

(별표 제4호 가01)



시험성적서

성적서 번호 : KIER-20-0307호

페이지(1) / (총7)

1. 의 파 자
 - 기 관 명 : (주)세라컴
 - 주 소 : 충남 아산시 은원대로 1122번길46-5 (독산동)
 - 의뢰일자 : 2020년 5월 27일
2. 시험대상품목/물질/시험명 : 농업기계용 배연저감장치(DOC/DPF) 2종(트랙터용, 콤팩트용)
 - 트랙터용(9 in, 엔진 Perkins 1104D-44TA), 콤팩트용(7.5 in, 엔진 Yanmar 4TNV98T-ZNKTC)
3. 시험성적서의 용도 : 정부과제 증빙용
4. 시험기간 : 2020년 5월 28일 ~ 2020년 7월 7일
5. 시험방법 :
 - 환경부고시 제2019-129호(2019.07.15.) "제작자동차 시험검사 및 편차에 관한 규정" 별표 11
 - 시험대상 품목이 설치된 한국자동차연구원을 방문하여 해당 기관의 시험장비를 이용하여 평가 진행
6. 시험결과 : "시험결과" 참조

확 인	시험자 성 명	신 영 진		승인자 성 명	조 종 표	
-----	------------	-------	--	------------	-------	--

(1) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명에 한정된 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보장하지는 않습니다.
 (2) 이 성적서는 본 연구원의 사전 동의 없이 공표, 전권, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 (3) 이 성적서의 권위확인이 필요한 경우에는 042-860-3339로 연락하시면 됩니다.

2020년 7월 24일

한국에너지기술연구원장



시험기관 주소 : (34129) 대전광역시 유성구 가정로 162
 시험결과 문의 : EMS연구소 (전화 : 042-860-3331 / 팩스 : 042-860-3335)





시험결과

실리시 번호 : KIER-20-0307호
페이지(2) / (총7)

1. 시험 항목 :

- 시험대상 DOC/DPF가 장착된 시험엔진의 배출가스 및 PM 측정 (KC1-8모드 3회)

2. 시험 대상 :

2-1. 트랙터 엔진 및 후처리장치 사양

- 시험엔진 사양

엔진 모델	Perkins 1104D-44TA	실린더 수	4
배기량 (cc)	4 400	흡기방식	터보 차저
Bore × Stroke (mm)	105 × 127	최대출력	74.9 kW / 2 200 rpm

- 후처리장치(DOC + DPF) 사양

구분	촉매	크기	담체
DOC	Pt-Pd/Al2O3	9 in X 3 in	Cordierite
DPF	Pt-Pd/Al2O3	9 in X 12 in	Cordierite

2-2. 콤팩트 엔진 및 후처리장치 사양

- 시험엔진 사양

엔진 모델	Yanmar 4TNV96T-ZNKTC	실린더 수	4
배기량 (cc)	3 319	흡기방식	터보 차저
Bore × Stroke (mm)	98 × 110	최대출력	62.5 kW / 2 500 rpm

- 후처리장치(DOC + DPF) 사양

구분	촉매	크기	담체
DOC	Pt-Pd/Al2O3	7.5 in X 3 in	Cordierite
DPF	Pt-Pd/Al2O3	7.5 in X 12 in	SiC

3. 시험 방법

- 각 시험대상 후처리장치(DOC+DPF)는 의뢰자가 제공하였으며, 시험엔진은 한국자동차연구원에 설치된 시험대상 품목의 엔진들을 이용하였음.
- 트랙터용 후처리장치는 시험엔진에 장착 전·후 각각 KC1-8모드로 3회 시험하였음.
- 콤팩트용 후처리장치는 전남 강진에서 실제 콤팩트에 장착하여 약 36 시간 운전된 후, 탈거하여 시험엔진에 장착 전·후 각각 KC1-8모드로 3회 시험하였음.



4. 시험 사진

○ 트랙터용 시험엔진 및 후처리장치



[그림 1] 후처리장치 장착 전(Base)

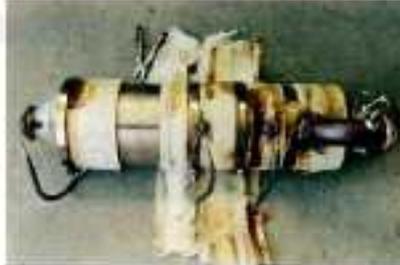


[그림 2] 후처리장치 장착 후

○ 콤팩트용 시험엔진 및 후처리장치



[그림 3] 후처리장치 장착 사진



[그림 4] 후처리장치 (콤팩트용)



[그림 5] 후처리장치 장착 전(Base)



[그림 6] 후처리장치 장착 후





시험결과

심적서 번호 : KIER-20-0307호
페이지(4) / (총7)

5. KC1-8 모드 시험조건

- 환경부고시 제2019-129호(2019.07.15.) "세각자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정" 별표 11

5-1. 트래커 시험연진 KC1-8 모드 시험조건

운전모드		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	시험 모드 명칭	
원동기 조건	부하율 (%)	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0		공회전
	원동기 회전수	2 200 rpm (최대출력 회전수)					1 400 rpm (Intermediate 회전수)							
가중 계수	C	C1	0.15	0.15	0.15	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	0.15	KC1-8모드

5-2. 콤팩트 시험연진 KC1-8 모드 시험조건

운전모드		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	시험 모드 명칭	
원동기 조건	부하율 (%)	100	75	50	25	10	100	75	50	25	10	0		공회전
	원동기 회전수	2 500 rpm (최대출력 회전수)					1 850 rpm (Intermediate 회전수)							
가중 계수	C	C1	0.15	0.15	0.15	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	0.15	KC1-8모드

- ※ 1. 표 중 '-'로 표시된 곳은 측정하지 않음.
- 2. Intermediate 회전수 : 원동기 최대출력 회전수의 (60 ~ 75) % 범위 이내에서의 최대토크 회전수이거나, 최대토크 회전수가 60 % 미만인 경우에는 최대 회전수의 60 %를 75 %를 초과하는 경우에는 75 % 회전수로 함.

- 이하 여백 -

* * * * *



시험결과

성적서 번호 : KIER-20-0307호
페이지(5) / (총7)

6. 시험결과

6-1. 트랙터 용 후처리장치 시험결과

o Base 시험결과

시험 횟수	THC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	BSFC (g/kWh)	Power (ps)
1	0.055	1.400	6.451	0.5616	235.56	109.2
2	0.043	1.390	6.665	0.5683	235.99	106.7
3	0.038	1.451	6.436	0.5250	235.37	109.5
평균	0.046	1.414	6.517	0.5517	235.64	109.1

o 후처리장치 시험결과

시험 횟수	THC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	BSFC (g/kWh)	Power (ps)
1	0.007	0.240	5.884	0.0175	236.34	106.2
2	0.002	0.251	6.222	0.0162	232.40	106.4
3	0.002	0.207	5.981	0.0363	232.13	105.7
평균	0.004	0.233	6.022	0.0233	233.62	106.8

o 후처리장치 배출가스 저감 효율, 연료소비량 및 출력 감소율

효율 (%)	THC	CO	NOx	PM	BSFC	Power
	91.1	83.5	7.6	95.8	0.9	2.2

- 이하 여백 -



시험결과

시험시 번호 : KIER-20-0307호
페이지(6) / (총7)

6-2. 콤팩트 용 후처리장치 시험결과

o Base 시험결과

시험 횟수	THC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	BSFC (g/kWh)	Power (ps)
1	0.030	1.179	3.426	0.3529	231.08	83.4
2	0.033	1.030	2.970	0.2877	231.25	82.8
3	0.054	1.033	2.982	0.3043	231.30	82.1
평균	0.039	1.081	3.126	0.3149	231.21	82.8

o 후처리장치 시험결과

시험 횟수	THC (g/kWh)	CO (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	BSFC (g/kWh)	Power (ps)
1	0.024	0.148	2.396	0.0253	234.06	80.9
2	0.006	0.143	2.255	0.0298	236.50	81.0
3	0.040	0.037	2.059	0.0239	234.80	80.6
평균	0.024	0.109	2.237	0.0263	235.12	80.8

※ 2차 시험 후 PM 측정에 따른 DPF 전단의 압력이 증가하여, DPF 재생과정을 거친 후 3차 시험을 진행하였음.

o 후처리장치 배출가스 저감 효율, 연료 소비량 및 출력 감소율

효율 (%)	THC	CO	NOx	PM	BSFC	Power
	39.9	89.9	28.4	91.6	-1.7	2.3

- 이하 여백 -





시험결과

성적서 번호 : KIER-20-0307호
페이지(7) / (총7)

7. 주요 측정 장비의 종류

- 엔진동력계 : ALPHA 240AF (AVL, GERMANY)
- 배기분석기 : MEXA-9100D (HORIBA, JAPAN)
- PM측정장치 : MICROTROL 5 (NOVA-MMB Messtechnik GmbH, GERMANY)

8. 기타

- 한국산업기술시험원(KTL) 정도검사 완료 : 엔진동력계 및 그 부속기기, 원동기 배출가스 측정 장치 및 그 부속기기, 원동기 부분 채취식

- 끝 -

2020. 03. 27

2. 기술적 성과

- 국내의 경우 2015년 이전에 생산된 농기계에는 미세먼지 저감장치가 장착되어 있지 않으며, 노후 농기계용 미세먼지 저감장치는 본 연구에서 첫 번째로 개발한 제품임.
- 국내 미세먼지 저감장치는 대부분 자동차에 국한되어 있으며, 자동차용 미세먼지 저감장치를 제조하는 기업은 이엔드디, 크린어스등이 있으나 자동차의 미세먼지 저감장치의 제품 주요성능은 PM 저감율 80%이나, 본 개발 제품의 PM 저감율은 90%이상으로 확인됨.
- 본 연구에서 개발된 농기계용 미세먼지 저감장치의 세부 부품은 크게 세라믹 담체(필터), 촉매, 재생 시스템 및 하우징으로 구분할 수 있음. 국내의 미세먼지 저감장치를 제조하는 회사의 대부분은 세라믹 담체를 수입하여 사용하고 있으나, 본 연구에서 개발된 농기계용 미세먼지 저감장치의 경우 세라믹 담체(필터) 뿐만 아니라 모든 부품이 국산화가 가능함.

개발 제품	평가항목 (주요성능 Spec)	단 위	연구개발 전 국내수준	개발 목표치	개발 실적	평가방법
			성능수준			
노후 농기계용 미 세먼지 저감장치	1. 배기가스 배출 성능 - PM	%	없음.	90%이상		공인시험 성적서 (환경부대기 환경보전법 규정 (KCI-8)
	2. 출력저하율	%	없음.	5%미만		
	3. 연비 감소율	%	없음.	5%미만		

3. 경제적 성과

- 본 연구에서 개발된 농기계용 미세먼지 저감장치의 사업화 전략은 정부 미세먼지 저감장치 지원 및 부착을 통한 수익, 국내 농기계 제작업체 및 해외 판매를 통한 수익으로 예상된다.
- 정부 미세먼지 저감장치 지원 및 부착을 통한 수익은 정부 정책 수립 및 법령 개정에 다소 시간이 소요될 것으로 사료됨. 또한 국내 농기계 제작업체 및 해외 판매를 통한 사업화의 경우 농기계 엔진 제작업체와의 엔진 개발 시점부터 약 1~2년 협업을 진행해야 되는 상황임. 따라서, 본 개발제품의 사업화 계획은 3년 후부터 시작될 것으로 예측됨.
- 본 연구에서 개발된 농기계용 미세먼지 저감장치의 초기 예상 판매 단가는 적용 제품에 따라 유동적이나 약 300~750만원으로 예상된다.
- 추후 본 제품의 사업화를 위해 원가 절감이 필요할 것으로 사료되며, 원가 절감 방안을 아래와 같음. 추후 최종적으로 사업화를 위해, 자동차용 미세먼지 저감장치의 판매단가와 동등 또는 동등이하 판매 목표 단가 전략이 필요함.
 - 부품 일원화 및 대량 양산화를 통한 원가 절감 : 농기계 미세먼지 저감장치의 부품에 대해 기존 양산하고 있는 자동차 미세먼지 저감장치 부품과의 일원화 및 본 사업으로 인한 대량 양산화를 통한 부품 생산 원가 절감.
 - 농기계 엔진 출력에 따른 세부 제품화를 통한 원가 절감 : 농기계 미세먼지 저감장치에 대해 엔진 마력에 따라, 세부 제품화를 적용할 경우 제품별로 적절한 사이즈가 장착되어 제품의 원가 절감이 예상된다.

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년			
	소요예산(백만원)	1,000			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		0	20	50	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	0	20	50
국외		0	0.2	1	
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	본 연구 개발품을 바탕으로 향후 다양한 용량 별 미세먼지 저감장치를 개발 예정. 또한 미세먼지 뿐만 아니라 농기계에서 배출되는 질소산화물을 저감할 수 있는 저감장치에 대해서도 개발 예정.			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0	5	12.5	
	수 출	0	1	5	

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1절. 목표

1. 연구개발 목표

구분	연구 개발 목표 내용
최종목표	□ 노후 농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증 시험
정량적 목표	- PM 90% 이상의 저감율(미세먼지 저감장치 장착 전 대비) (엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하) - 시험조건 : ISO8178 C1-8(KC1-8)모드 - 공인시험 성적서 발행(공인시험기관 입회)
세부목표	□ 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> • 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 • 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 • 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) • 시제품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) □ 시제품의 실증 시험 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> • 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 • 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 • 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 □ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 <ul style="list-style-type: none"> • 미세먼지 저감장치 제품에 대한 규격 및 기술 사양 지침서 개발 • 노후 농기계에 적합한 미세먼지 저감장치 성능평가 기준 개발

2. 성과 목표

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표							연구기반지표								
	지식 재산권		기술 실시 (이전)	사업화				학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허 출원	특허 등록		건수	제품화	매출액	수출액	고용 창출	논문 SC I	비 SC I			논문 평균 IF	학술 발표		정책 활용
단위	건	건	1	건	백만원	백만원	명	건	건		건	건	명	건	건	
가중치	15		15	40							10	5		10	5	
1차년도	1		1	2							2	1		1	1	
소 계	1		1	2							2	1		1	1	

2절. 목표 달성여부

- 농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증시험을 통해 농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 2건에 대해 개발 및 제품화를 달성하였으며, 개발품에 대해 외부 공인기관을 통해 성능 검증을 완료하였음. 또한 특허 출원 1건, 기술실시 1건(예정), 제품화 2건, 학술발표 2건, 교육지도 1건, 정책제안 1건, 홍보전시 1건을 달성하였음.
- 농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증 연구를 통해 농업기계에서 배출되는 미세먼지를 저감할 수 있는 기술 확보 및 미세먼지 저감장치 기술 보급 촉진 제도의 기본 틀을 확보함으로써 농업기계 분야에서의 환경오염 저감기술 발전에 기여를 함.

1. 연구개발 목표 및 달성도

구분	연구 개발 목표 내용	달성도(%)
최종목표	□ 노후 농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증 시험	100%
정량적 목표	- PM 90% 이상의 저감율(미세먼지 저감장치 장착 전 대비) (엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하) - 시험조건 : ISO8178 C1-8(KC1-8)모드 - 공인시험 성적서 발행(공인시험기관 입회)	100%
세부목표	□ 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> ● 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 ● 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 ● 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) ● 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) □ 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 <ul style="list-style-type: none"> ● 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 ● 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 ● 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 □ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 <ul style="list-style-type: none"> ● 미세먼지 저감장치 제품에 대한 규격 및 기술 사양 지침서 개발 ● 노후 농기계에 적합한 미세먼지 저감장치 성능평가 기준 개발 	100%

2. 성과 목표 및 달성도

성과 목표	당초목표	실적	달성도(%)	가중치(%)
특허출원	1	1	100	15
기술실시(이전)	1	1	100	15
제품화	2	2	100	40
학술발표	2	2	100	10
교육지도	1	1	100	5
정책제안	1	1	100	10
홍보전시	1	1	100	5

3절. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

4. 연구결과의 활용 계획 등

1절 연구결과의 활용 계획

1. 본 과제를 통해 도출한 농기계용 디젤 엔진 미세먼지 저감기술은 시험·평가·실증 등을 통하여 입증된 성능 및 신뢰성을 바탕으로 비도로 이동오염원(노후 농기계 부분)의 배출가스 관리 강화 및 국가 미세먼지 저감 정책을 수립하는데 기여가 가능함.
2. Stationary Diesel, 철도용 엔진, 산업용 및 중소형 발전 엔진 등 다양한 산업 분야로 기술 확대 적용 가능함.
3. 본 과제를 통하여 습득된 기술력 및 생산 인프라와 지속적인 연구개발 투자로 시리즈 및 기종을 확대 개발이 가능함.
4. 농기계 미세먼지 저감장치는 디젤엔진 농기계에서 배출되는 미세먼지를 저감하는 제품의 특징으로 인해, 친환경 제품 산업 육성이 기대되며, 국내 지역 뿐만 아니라 해외 농축산업 비중이 높은 국가 진출이 기대됨.
5. 본 제품에 대한 기술이전(주관기관 : 세라컴)을 통해 기술 확대 및 제품 생산으로 인해 매출 발생으로 인한 지역 경제 활성화가 기대됨.

5. 참고문헌

1. EPI(Environmen performance index : 환경성과지수) 보고서 2016.
2. 대기환경 보전법
3. 한국자동차 산업 협동조합 자료, 한국자동차 산업협회 통계 자료
4. 2019년 농림축산식품부 보도자료
5. 농림축산식품부, 농기계 보유현황 자료.
6. Catalytic air pollution control, a john wiley & sons,inc., publication.
7. Freedom Group inc. World Agricultural Equipment(2016)
8. 농촌 진흥청, 농업기계이용실태조사

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증				
	(영문) Development and installation of after-treatment system about agricultural machinery diesel engine				
주관연구기관	(주) 세라컴		주 관 연 구	(소속) 기술연구소	
참 여 기 업	-		책 임 자	(성명) 신 병 선	
총연구개발비 (492,000천원)	계	492,000	총 연 구 기 간	2019.08.~ 2020.08.(1년)	
	정부출연 연구개발비	369,000	총 연 구 원 수	총 인 원	19
	기업부담금	123,000		내부인원	19
	연구기관부담금	0		외부인원	
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노후 농기계 디젤엔진에서 배출되는 미세먼지 저감 기술 개발 및 실증 시험 - PM 90% 이상의 저감율(미세먼지 저감장치 장착 전 대비) (엔진출력 5%이하/연료소모율 5%이하) - 시험조건 : ISO8178 C1-8(KC1-8)모드 - 공인시험 성적서 발행(공인시험기관 입회) <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 - 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 - 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 - 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) - 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) - 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 - 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 - 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 - 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 - 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 농기계용 디젤 엔진 미세먼지 저감기술은 시험·평가·실증 등을 통하여 입증된 성능 및 신뢰성을 바탕으로 비도로 이동오염원(노후 농기계 부분)의 배출가스 관리 강화 및 국가 미세먼지 저감 정책을 수립. - 농촌지역 미세먼지 저감을 통한 환경 개선 및 환경문제 해소가 가능함. - 개발을 통해 습득된 기술력 및 생산 인프라와 지속적인 연구개발 투자로 시리즈 및 기종을 확대 개발이 가능함. - 농기계 미세먼지 저감장치는 디젤엔진 농기계에서 배출되는 미세먼지를 저감하는 제품의 특징으로 인해, 친환경 제품 산업 육성이 기대되며, 국내 지역 뿐만 아니라 해외 농축산업 비중이 높은 국가 진출 가능 - 본 제품에 대한 기술이전(주관기관 : 세라컴)을 통해 기술 확대 및 제품 생산으로 인해 매출 발생으로 인한 지역 경제 활성화 가능. 					

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	319100-01		
사업구분	농축산자재산업화기술개발사업				
연구분야	농업기계 시스템			과제구분	단위
사업명	농축산자재산업화기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	(주) 세라컴			연구책임자	신병선
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2019.08.30. ~2020.08.29	369,000	123,000	492,000
	계	2019.08.30. ~2020.08.29	369,000	123,000	492,000
참여기업					
상대국	상대국연구기관				

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2020.09.24.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주) 세라컴	상무	신 병 선

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	---

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

노후 농기계에서 배출되고 있는 미세먼지를 저감할 수 있는 기술을 개발한 과제로 개발 제품의 핵심 기술은 세라믹 담체(필터), 촉매, 재생 시스템 및 저감 시스템으로 구분됨. 본 연구에서 개발된 기술들은 순수 국산 기술로 연구를 수행하였으며, 노후 농기계에 적용한 첫 연구 사례로 볼 수 있음. 목표로 하고자 하는 기술 성능을 모두 만족하였으며, 개발제품에 대해 엔진동력계 시험, 농기계 장착 및 실증 시험을 모두 완료하여 연구개발 결과가 매우 우수하다고 판단됨.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

개발 연구기관의 자체의 담체/촉매/시스템 제조 기술 개발에 의해 농업기계에 적용 가능한 미세먼지 저감장치 기술력을 확보를 통해 제조 기술력 향상, 해외 경쟁 업체와의 경쟁력 강화, 수입대체 효과, 지역경제 활성화, 고용확대 효과가 기대됨. 또한 농업기계에서 배출되는 미세먼지 저감 기술을 확보함으로써 농촌 지역의 대기질 개선 효과 및 환경 개선이 기대됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

농기계용 디젤엔진 미세먼지 저감장치 기술 개발, 시험, 평가, 실증을 통하여 입증된 성능 및 신뢰성을 바탕으로 농업기계 분야의 배출가스 관리 강화 및 국가 미세먼지 저감정책 수립에 활용이 가능함. 또한 본 기술을 바탕으로 국내 농업기계분야에 즉시 기술 적용이 가능할 뿐만 아니라 다양한 타 산업(철도, 발전, 선박등)분야에 응용 기술로 활용이 가능함.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

12개월의 비교적 짧은 연구기간에도 불구하고 농기계용 디젤 엔진 미세먼지 저감장치의 핵심 기술인 담체(필터), 촉매 및 시스템에 대해 개발, 시험, 평가, 실증, 검증을 수행함. 또한 특허출원, 교육지도, 홍보전시, 학술발표, 정책제안 성과에 대한 결과물이 우수하여 연구개발 수행노력의 성실도가 매우 우수함.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

연구개발 계획서에서 계획한 특허 출원, 학술발표, 홍보전시, 제품화, 교육지도, 정책제안을 모두 수행하였으며, 성과 내용들도 질적으로 우수하다고 판단됨.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
특허 출원	15	100	“디젤엔진을 가진 노후 농기계용 미세먼지 저감장치”의 특허 출원을 실시함.
제품화	40	100	2건의 농기계용 미세먼지 저감장치의 제품화를 실시함.
기술실시	15	100	본 연구과제의 주관기관인 (주) 세라컴은 본 과제의 기술료를 납부하여 기술 실시 계약을 체결할 계획임.
학술발표	10	100	본 연구과제에 대한 연구결과물을 활용하여 2건의 학술발표를 수행함.
교육지도	5	100	농업기계를 사용하는 지역 농민들을 대상으로 농기계 미세먼지 저감장치의 기술 및 필요성 대해 공유함.
정책활동	10	100	본 연구 개발의 결과물을 활용하여 농업기계화 촉진법 개정에 대한 의견서를 제출함.
홍보전시	5	100	본 연구과제에서 개발된 농기계용 미세먼지 저감장치에 대해 홍보 전시를 수행함.
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구과제의 목적은 농촌지역에서 운영되고 있는 2015년 이전에 생산된 농업기계에서 배출되고 있는 미세먼지를 저감할 수 있는 기술개발 및 실증시험을 통해 기술을 실용화 하는 것임. 본 연구를 통하여 기술적 정량적 목표치인 PM 저감율, 출력저하, 연료소모율등을 모두 만족하는 결과를 도출하였으며, 또한 연구목표 달성도인 특허출원, 제품화, 기술실시(예정), 학술발표, 교육지도, 정책활동, 홍보 전시등을 수행하여 본 기술이 실용화 될수 있는 기반을 마련하였다고 판단함. 개발 기술을 실용화가 될수 있도록 적극 추진할 예정임.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구과제 수행기간동안 코로나 19로 인해 재료 수급, 시험, 평가, 실증시험(실증 시간)등에 어려움이 있었으나, 과제 기간안에 계획한 모든 결과를 도출하였다는 점에 대해 평가 시 고려 요청 드립니다.
- 실증시험의 경우 연구기간 및 작업상의 계절적 영향으로 인해, 다양한 실증시험을 하지 못한 점에 대해 고려 요청드립니다.(콤바인 : 벼 작업 → 보리 작업)

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구결과를 바탕으로 국내 농업기계분야에 즉시 기술 적용이 가능할 뿐만 아니라 다양한 타 산업(철도, 발전, 선박등)분야에 응용 기술로 활용이 가능할 것으로 사료됨.
- 농기계용 디젤엔진 미세먼지 저감장치 기술 개발, 시험, 평가, 실증을 통하여 입증된 성능 및 신뢰성을 바탕으로 농업기계 분야의 배출가스 관리 강화 및 국가 미세먼지 저감정책을 수립에 활용이 가능함.
- 본 연구에서 개발된 기술이 국내농업기계 분야에서 실용화 되기 위해서는 농업기계화 촉진법이 우선 개정되어야함. 따라서, 농업기계화 촉진법 개정에 본 연구결과가 기술자료로 활용이 가능함.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구기관 자체의 검토결과

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농업기계 시스템
연구과제명	농기계 디젤 엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 실증		
주관연구기관	(주) 세라컴	주관연구책임자	신 병 선
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금
	369,000	123,000	0
연구개발기간	2019.08.30.~2020.08.29		
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용(사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 • 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 • 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 • 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발 (촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) • 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화)	① 노후 농기계 디젤엔진용 미세먼지 저감장치 개발 및 성능평가 • 노후 농기계 엔진 정보 조사 및 배출가스 조사 • 선정된 대상 엔진 사양 및 출력에 따른 미세먼지 저감장치 설계 및 해석 • 노후 농기계 미세먼지 저감장치 시스템 기술 개발(촉매, 담체, 캐닝, 제어기, 재생 로직, 모니터링, 시스템 제작) - 시작품 2가지 제품, 시제품 2가지 제품 • 시작품/시제품의 엔진 동력계 시험 (노후 농기계 배출가스 후처리 시스템 최적화) - 적용성 및 개선점 도출, 최적 시스템 선정.
② 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 • 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발 • 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 • 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석	② 시작품의 실증 시험 및 적용성 평가 • 미세먼지 저감장치 탑재 기술 개발(트랙터/콤바인 외부 장착 탑재 기술) • 농기계 미세먼지 저감장치 장착 및 시운전, 운전 최적화 - 트랙터 88.7시간 시운전, 최적화 - 콤바인 36시간 시운전, 최적화 • 미세먼지 저감장치 저감효율 측정(emission monitoring) 및 분석 - 트랙터 PM 저감율 : 95.8% - 콤바인 PM 저감율 : 91.6%
③ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 • 미세먼지 저감장치 제품에 대한 규격 및 기술 사양 검토 • 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안	③ 미세먼지 저감장치 기술 확대 및 보급촉진을 위한 제도(규제) 및 정책 제안 • 국내 Tier-2, 3 수준의 농업기계 원동기 현황분석과 해당 저감장치를 부착 방법 검토 - 트랙터, 콤바인 시리즈별로 표준화된 설치 지침 마련 필요 • 국내 트랙터, 콤바인 보급현황 조사 - 저감장치 부착대상 등 시장 규모 조사 • 농업기계화 촉진법 개정 제안 - 저감장치기준 설정 및 농업기계 관리를 위한 등록제, 정기검사, 저감장치부착 및 폐기지원 근거 마련

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표							연구기반1지표								
	지식 재산권		기술 실시 (이전)	사업화				학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허 출원	특허 등록	건수	제품화	매출액	수출액	고용 창출	논문		논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용		홍보 전시
	SC I	비 SC I						SC I	비 SC I							
단위	건	건	1	건	백만원	백만원	명	건	건		건	건	명	건	건	
가중치	15		15	40							10	5		10	5	
1차년도	1		1	2							2	1		1	1	
소 계	1		1	2							2	1		1	1	
연구기간내 달성실적	1		1	2							2			1	1	
달성율(%)	100		100	100							100			100	100	

4. 핵심기술

구분	핵심 기술 명
①	노후 농기계 미세먼지 저감장치 제조 및 장착기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		v				v	v		v	

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	국내 노후 농업기계분야에 기술 적용 활용, 노후 농기계 미세먼지 저감장치 기술로 농업기계화 촉진법 정책 자료로 활용, 본 연구과제의 기술실시를 통해 기술 확대 및 제품 생산으로 제품 실용화기술로 활용

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표							연구기반지표							
	지식 재산권		기술실시 (이전)	사업화				학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	건수	제품화	매출액	수출액	고용 창출	논문		논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용	
								SC I	비 SC I						
단위	건	건	1	건	백만원	백만원	명	건	건		건	명	건	건	
가중치	15		15	40						10	5		10	5	
최종목표	1	1	1	2	7,500	1,050	3				2	6	3	1	1
연구기간 내 달성실적	1		1	2							2	1		1	1
연구종료 후 성과창출 계획		1			7,500	1,050	3					5	3		

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	노후 농기계 미세먼지 저감장치		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	5,166천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체 기술이전, 특허 기술이전)		
이전소요기간	1개월	실용화예상시기 ³⁾	2020
기술이전 시 선행조건 ⁴⁾	기술 지도		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.