

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001422-01

고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발

Tractor Application Technology Development
for High HP(horse power) Engine

대동공업(주)기술연구소

농림수산식품부

최 종 보 고 서

편집순서 1 (표지)

<p data-bbox="204 1429 368 1507">주 의 (편집순서 8)</p> <p data-bbox="180 1688 426 1720">(15 포인트 고딕계열)</p> <p data-bbox="280 1742 328 1823">↑ 6cm ↓</p>	<p data-bbox="507 490 531 1294">3 0 9 0 0 6 3 고 마 력 엔 진 탑 재 트 랙 터 적 용 기 술 개 발</p> <p data-bbox="507 1697 531 1868">농 림 수 산 식 품 부</p>	<p data-bbox="592 490 1270 521">보안과제(), 일반과제(○) 과제번호 309006-3</p> <p data-bbox="732 631 1281 730">고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발</p> <p data-bbox="592 766 1422 902">Tractor Application Technology Development for High HP(horse power) Engine</p> <p data-bbox="879 1758 1134 1789">대동공업(주)기술연구소</p> <p data-bbox="887 1872 1126 1904">농 립 수 산 식 품 부</p>
---	--	---

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 08 월 14 일

주관연구기관명 : 대동공업(주)

주관연구책임자 : 황 자 룡

세부연구책임자 : 황 자 룡

협동연구기관명 : 동양물산기업(주)

협동연구책임자 : 강 영 선

협동연구기관명 : 국제종합기계(주)

협동연구책임자 : 조 종 승

협동연구기관명 : LS엠트론(주)

협동연구책임자 : 신 현 철

요 약 문

I. 고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

농기계 협동조합 자료에 따르면 2002~2006년 동안 고마력 트랙터의 국내 시장은 연평균 14.5%의 꾸준한 성장세를 유지하고 있으며, 세계 시장 역시 연평균 4%가량 증가하고 있다. 현재 국내 기업은 전 세계 시장의 약 1.6%의 점유율을 유지하고 있으며, 점차 기계화되는 농축산업의 미래를 생각해 보면 향후에도 긍정적인 시장현황을 예상해 볼 수 있을 것이다. 이러한 시장의 증가에 대응하기 위해서는 고마력 엔진의 탑재 기술 및 Application의 기술 보유는 선택이 아닌 필수로 다가오고 있다.

2012년에 시작되는 Tier-4 배기가스의 규제는 기존의 탑재 엔진에 비해 여러 가지 후처리장치 및 주변 Application의 추가 장착으로 인해 늘어난 Volume의 제약과 본기 방열성에 대한 요구조건의 세밀화로 인해 엔진 룸 내부의 개선 및 최적 Packaging System을 필요로 한다. 또한 고압분사장치 및 후처리장치를 제어하기 위한 ECU는 여러 Application의 통합으로 인해, 본기와의 매칭에 더 많은 시간과 기술이 요구되어진다.

따라서 본 연구의 목표는 강화된 엔진 배출가스규제를 충족하는 고 마력대의 엔진을 최적화된 탑재 기술을 개발하여, 환경 친화적인 농용 트랙터의 보급 및 사용자 중심의 편리한 인터페이스를 제공하여 국내 기업의 기술 향상과 성장 동력으로서 세계 시장 점유율 확대를 목적으로 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본과제의 연구개발 목표인 “고마력탑재엔진 트랙터개발”을 달성하기 위하여 다음과 같은 4개의 세부 과제를 구성하였다.

1. [주관기관 (세부 1, 대동공업)] 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 개발
 - 배기가스 후처리장치 장착을 위한 본넷트 최적 설계
 - 작업자의 시야성 고려한 캐빈 부품 개발
 - 작업자의 편의성과 안정성을 고려한 인간공학적 캐빈 설계
2. [협동기관 1 (동양물산기업)] : 트랙터 본기의 Cooling System 개발 및 엔진룸 Air Flow 최적화
 - 효율적인 냉각을 위한 냉각 시스템 설계 및 개발
 - 냉각공기의 균일한 유속을 얻기 위한 흐름 개선 기술 개발
 - 고성능의 콤팩트한 Component 개발

3. [협동기관 2 (국제종합기계)] 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술
 - 배기가스 규제에 대응한 대형 농용트랙터 운전패턴 분석에 의한 작업 조건을 산정
 - 운전 패턴 분석후 배기정화장치(DPF)의 ECU 재생 Logic에 반영
 - 최적의 후처리 장치 신뢰성을 확보

4. [협동기관 3 (LS 엠트론)] Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가
 - Tier-4 규제 만족을 위한 Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가 기준 확립
 - 시제품 시험, 실차 모사 조건 성능 및 동특성 평가를 통한 매칭 성능 확보
 - 최종 시제품의 실차 평가를 통한 시험 평가 기술 확보
 - Base 엔진 및 시제품의 신뢰성 확보를 위한 최적화 시스템의 성능 평가(위탁기관)

IV. 연구개발결과

[주관기관 (세부 1, 대동공업)] 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 개발

1. 선행조사

- 가. Cummins(사): QSM3.3, Yanmar(사): 4TNV94HT-CR, Perkins(사): 1204E-E44TA, Mitsubishi(사): K42의 선진 기술 및 선진국의 배기가스 규제에 대한 조사 및 분석을 통해 경제 모델 분석 및 목표 설정의 타당성 검토 하였다.
- 나. 선행기술에 대한 선행 조사를 통하여 시장현황을 파악하기위해 처리장치의 성능 향상 및 소형화관련 특허 544건, 엔진룸의 내부 배치구조 특허 55건, 후처리장치의 배치 구조 136건, 총 735건을 조사하였다.

2. 본넷트 디자인 및 목업 제작

- 가. 본넷트, 웬더, 지붕을 디자인 개발을 하였다. 본넷트의 경우 방열 성능을 향상시키기 위해서 최적의 공기 통로를 확보하였으며, 작업자의 시야성을 높이기 위해 전조등 및 사이드 작업등을 신규 개발하였다. 디자인부분은 차 IDEA SKETCH 공청회(30개안), 2차 IDEA SKETCH 공청회(4 개안), 렌더링 공청회(2 개안), CAS 모델링 공청회 ,MOCK UP 공청회 총 5번의 공청회를 거쳐 디자인을 하였다.
- 나. 선정된 디자인으로 목업을 제작하였다.

3. 기본 Layout설계 및 3D Modeling

- 가. 기본 Layout 설계 및 3D Modeling을 하였다. 엔진사양 및 시스템을 도식화하였으며, DPF사양을 검토하였다. 그리고 installation guide을 기초로 ECU, 각종 센서류 그리고 AFM 사양을 결정하였으며, AFM와 에어크리너와의 layout을 구성하였다. 후처리장치의 배치 및 마운팅에 대한 설계를 하였으며, 각종 Tier-4엔진에 필요한 attachments 들의 배치 및 설계를 하였다.

4. Tier-4 엔진장착에 필요한 엔진룸 최적설계 및 제작

- 가. 1차년도에 설계한 본넷트 및 웬더를 Mock-up로 제작하여, 실제 1차 시제품에 장착하였다.
- 나. ECU는 온도 민감한 전자 유닛으로 냉각효율을 높이기 위해 Cooling system 전방에 배치 하였다. ECU와 어플리케이션 사양은 MHI社에 제공한 installation guideline 를 통하여 결정하였다. 1차년도에서 설계 모든 파트들을 제작하여, 1차 시제품을 완성하였다.
- 다. 엔진룸 배치구조를 개선 검토 하였다.

5. 후처리장치 배치구조의 최적설계 및 제작

후처리장치의 배치는 MHI社에서 제공한 installation guideline 기반으로 구성되었다. 이를 기반으로 하여, 후처리장치의 배치구조를 확정 지었다. 또한 각 파트의 특성을 분석 및 검토하여 최적의 배치 구현하였다. 후처리장치 경우 Regeneration 조건을 검토하여 주변부품

에 대한 사양을 결정하였다. Sensor는 외부 환경에 민감한 유닛 때문에, 위치선정이 매우 까다롭다. 고온이 발생하는 구간을 파악하고, 안전한 구간을 선정하여 그 구간에 배선을 및 센서를 설치하였다. DPF Installation Guideline에 따라 모든 엔진룸 layout을 제작하였다.

6. 캐빈 최적 설계 및 제작

가. 캐빈은 ISO 및 EEC 법규를 만족하도록 설계하였다. 우선 인체공학적으로 운전석공간을 확보하였다. 그리고 진동 및 소음을 고려한 캐빈설계 및 제작을 하였다.

나. 공조구조 단순화 및 작업자 시야성을 향상시키기 위해 지붕 설계 및 제작하였다.

7. Target 검증 및 기본 성능시험

1차 시제품에 대한 기본 성능시험을 실시하였다. Tier-4엔진은 엔진룸 온도가 다른 엔진에 비해 매우 높다 그러므로 온도에 민감한 유닛을 기준으로 온도를 측정하였다. 또한 냉각시스템의 성능을 확인하기 위하여 방열시험을 실시하였으며, 최근 이슈가 되고 있는 소음 진동의 크기를 확인 위해 관련 시험을 실시하였다.

8. 2차 시제품 부품개발 및 수정보완

품질검증 및 양산성 평가를 하기 위해 시제품의 문제점을 파악하고 Tier-4 엔진의 성능 부분에 문제되는 부분들을 개선하였다.

9. 2차 퍼킨스 엔진 탑재 시제품 제작

품질검증 및 양산성 평가를 하기 위해 2차 시제품의 문제점을 파악하고 Tier-4 엔진의 성능 부분에 문제되는 부분들을 개선하였다.

2차시제품에 적용된 엔진은 퍼킨스 엔진임으로 1차년도에 적용된 MHI社와 엔진룸 layout이 다르기에 기본성능시험을 다시 실시하였다. 성능시험에서 발생한 문제점들은 개선 설계 및 제작하여 2차 시제품에 장착하였다. 그 결과 양산품 수준에 준할 만큼의 성능을 확보하였다.

10. 설계 보완 및 최종 사양 확정

후처리장치 Packaging System 사양을 확정하였다. 퍼킨스와의 협의 통하여, 엔진에 대한 모든 사양 및 평가기준을 확정 하였다. 이를 기반으로 Tier-4엔진 시험방법 및 기준을 확정 하였으며, ECU, Wire-hardness 경로 및 센서 위치까지 기본적인 layout 및 사양을 확정 하였다.

[협동기관 1 (동양물산기업)] : 트랙터 본기의 Cooling System 개발 및 엔진룸 Air Flow 최적화

1. 선행 조사 실시

- 가. 엔진 제조사별로 (퍼킨스, 안마, MHI, 커민스) 75kW급 Tier-4 디젤엔진의 배기가스 규제 대응방안(기술 동향)을 조사하였다.
- 나. 냉각시스템을 구성하는 요소부품들의 특성을 조사하였다.

2. 냉각시스템 LAYOUT설계 및 DESIGN REVIEW

- 가. 냉각 시스템이 적절하게 구성되어 졌는지를 평가하기 위해 평가항목과 평가기준을 설정하였다.
- 나. 과제 수행을 위해 Tier-3 75kW급 엔진이 장착 된 트랙터로 선행해석 및 선행시험을 실시하여 기초 자료를 수집하였다.
- 다. 냉각 시스템의 모듈화 개발을 위해 전체 사이즈를 콤팩트 화하고 시스템의 방열 효율성을 최적화 하기위해 각 요소 부품들의 배치가 적절하도록 Layout 설계를 진행 하였다.
- 라. 각 요소 부품들과 패키지 조합의 신뢰성을 보증하기 위해 요소 부품별 신뢰성시험 항목을 선정하였다.

3. 1차 시제품 개발 추진

- 가. 트랙터 엔진 냉각 시스템의 설계, 개발 시 최적화 할 수 있도록 상용화 되어있는 Ansys CFX 소프트웨어를 이용하여 엔진룸 내 공기의 유동해석을 실시하였으며 이 결과를 토대로 엔진룸 설계 최적 안을 도출하였다.
- 나. MHI社에서 제공한 냉각팬 성능곡선 등 Data와 트랙터에서 요구되는 냉각 성능을 기초로 하여 각 요소부품들의 단품 설계를 진행하였다.
- 다. 냉각 시스템을 구성하고 있는 각 요소 부품들의 성능시험을 방열량시험을 위주로 하여 실시하였다.

4. 요소부품 개발 추진 및 시제품 제작

- 가. 냉각 시스템 해석 결과 및 엔진 메이커에서 제공되는 Data를 기초로 설계된 Cooling Module을 제작하였다.
- 나. 제작된 Cooling Module을 대동공업으로 송부하여 과제 수행용 트랙터 시제품을 제작하였다.

5. TARGET 검증 및 성능시험

- 가. 실차 적합성 평가를 위해 선정된 주요평가 항목에 따라 온도센서는 총18개소에 설치하였다.
- 나. 운전 영역별 방열 특성 파악 및 온도평가와 실차적합성 평가를 실시하였다. 정격 출력 점의 ACT는 약58정도로 기준치인 46이상을 만족하였으며 최대 토크점의 ACT는 약56정도로 기준치인 40 이상을 만족하는 것으로 분석되었다.

6. 성능시험 시 발생하는 문제점 설계 보완

가. MHI社의 K42엔진은 방열성능은 양호하게 측정 되었으나 PTO효율이 71.8%로 낮게 측정 되어 3차년도에는 Perkins社 854E엔진을 장착한 2차시제품을 제작하여 비교시험을 실시토록 계획하였다.

7. 2차 시제품 제작

가. 2차 Cooling Module 시제품 제작 시 Perkins社 854E엔진을 장착하여 냉각시스템 해석을 수행하여 MHI社 K42엔진 장착 시와 해석 결과를 비교하였다. 해석결과 Perkins社 854E엔진이 장착된 트랙터가 엔진룸 내의 각 컴포넌트의 방열성능 및 엔진 냉각에 효과적 일 것으로 판단되었다.

나. Perkins社에서 제공한 냉각팬 성능곡선 등 DATA와 트랙터에서 요구되는 냉각 성능을 기초로 하여 각 요소부품들의 단품 설계를 진행하였다.

다. 냉각 시스템을 구성하고 있는 각 요소 부품들의 신뢰성을 확보하기위해 신뢰성 시험을 실시하였다.

라. Perkins社 854E엔진을 장착한 시제품 트랙터 제작을 위하여 2차 Cooling Module 시제품을 제작하였고 2차년도 대비 냉각시스템 요소 부품의 사양 변경 내용은 인터쿨러 용량 증대와 인터쿨러 고정용 브래킷의 형상변경이 주요 변경 사항이다. 2차 Cooling Module 시제품을 과제 수행용시제품 트랙터를 조립하기위해 대동공업으로 송부하여 시제품 트랙터를 제작 하였다.

8. 2차 성능 평가

가. Perkins社 854E엔진이 장착된 시제품 트랙터에 2차년도의 평가 결과와 비교가 가능하도록 온도센서는 총18개소에 설치하였다.

나. Perkins社 854E엔진이 장착된 시제품 트랙터의 운전 영역별 방열 특성 파악 및 온도평가와 실차 적합성 평가를 실시하였다. 정격 출력점의 ACT는 약51정도로 기준치인 48이상을 만족하였으며 최대 토크점의 ACT는 약43.3정도로 기준치인 42이상을 만족하는 것으로 분석되었다. 정격출력 점 및 최대토크 점의 비교표를 보면 MHI社 K42엔진에 비해 Perkins社 854E엔진의 ACT가 다소 낮게 측정된 것으로 보이나 이는 MHI社 K42엔진의 PTO출력이 71.1HP으로(PTO효율 71.8%) Perkins社 854E엔진의 PTO출력인 84.3HP보다(PTO효율 82.7%) 약 13HP정도 낮게 측정된 이유가 원인으로 판단되며 비록 Perkins社 854E엔진의 ACT가 다소 낮더라도 기준 치인 정격출력 점의 48 과 최대토크 점의 42을 상회하므로 냉각 성능에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

9. 설계 보완 및 최종 사양 확정

가. MHI社 K42엔진을 장착한 1차시제품 트랙터와 Perkins社 854E엔진을 장착한 2차시제품

트랙터를 비교 분석한 결과 방열성능은 유사하나 PTO효율 및 토크라이즈 등 제반 성능이 Perkins社 854E엔진을 장착한 2차시제품 트랙터가 우수하므로 최종 시제품 엔진인 Perkins社 854E엔진이 고마력 트랙터에 최적화되어 있는 것으로 판단되었다.

제 3절. [협동2(국제종합기계)] 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술

1. 선진 업체 기술 동향 조사

- 가. 후처리장치 매칭 기술을 위하여 미국, 유럽 및 일본의 배기 가스 규제치를 조사하였다.
- 나. 국내 및 일본, 미국 및 인도 업체의 기술수준을 조사하였다.
- 다. 배기 가스 저감을 위한 엔진 단독 개선 방안인 연소실 형상 개선, 고압 분사, 전자제어 및 EGR에 대하여 조사를 하였다.
- 라. 배기후처리 장치 종류인 DOC, DPF 및 SCR에 대한 배기 가스 저감 효과를 조사하였다.

2. 트랙터의 운전패턴 분석

- 가. 3.4L엔진 탑재된 트랙터에 로타리 작업기를 장착하여 주행속도에 따른 배기 온도 변화 경향 평가 시험을 실시하였다. 시험결과 배기 파이프 전체 구간에 있어서 배기 온도의 하강은 10℃정도로 매우 작은 것으로 나타났다.
- 나. 로타리 작업에 따른 배기 온도, 작업 부하 측정 및 엔진 부하율 경향 평가 시험을 실시하였다. 로타리 작업시, 터보 차저 전후단에서 최소 50℃에서 최대 95℃까지 배기 온도가 차이가 났다. 그리고 로타리 작업기를 장착하고 시험한 결과, 작업기 작업시의 엔진에 걸리는 부하량은 대략 60~75%수준이며, 고 RPM, 고 변속 단수에서 더 큰 부하가 발생하는 것을 알 수 있었다.
- 다. 배기 가스 저감을 위해 외부 EGR 시스템을 장착하여 엔진 단독 평가시험을 하였으며, 이를 통한 EGR의 적용성을 파악하고, NOx 및 PM 저감 효과를 검토하였다. EGR 적용 유/무에 따라 EGR 적용시 EGR율에 따른 NOx 저감은 중/저 부하 영역에서 뚜렷한 것을 알 수 있었다.
- 라. 배기가스 저감을 위해 DPF 시스템을 장착하여 엔진 단독 평가 시험을 하였으며, 배기후처리 장착 후 시험결과, PM은 100%로 저감되었다.

3. 고마력 트랙터 엔진의 후처리 시스템 사양 시험

- 가. 3.4L엔진 탑재된 트랙터에 쟁기 작업기를 장착하여 작업의 운전 영역별 배기 온도 특성 및 배기온도 평가를 하였다. 시험 결과 쟁기 작업 시 부하변동에 대한 엔진 배기 온도의 변화 경향을 파악 할 수 있다. 실제 견인부하가 클수록 엔진의 배기 온도는 높게 나타났다. 이는 엔진이 견인부하를 극복하기 위하여 보다 많은 연료를 소모하여서 엔진 토크를 증대하는 것으로 나타났다.
- 나. 쟁기 작업시 발생하는 여러 변수들에 대해 최대한 편차를 줄이기 위한 방안으로 경심 깊이를 확인하는 시험을 실시하였다.
- 다. 트랙터의 쟁기 작업 시 배기온도 특성을 파악하여 후처리장치 개발 시 재생타입을 선택하거나, 엔진 운전 조건에 따른 EGR율을 설정하기 위하여, 배기온도 특성에 따른 PM 포집

후 재생방식을 검토하였다. 시험 결과 각 구간에서의 배기 온도 분포를 보면, 주행 및 로터리 작업 시 측정되었던 배기 온도 경향과 같이 터보 차저 전/후단의 배기온도는 큰 차이를 보이고 있다. 이를 바탕으로 주행 및 작업 시 DPF가 자연재생을 위해 유지되어야 하는 배기온도인 300℃보다 낮은 온도로 운전되고 있음을 확인하였고, DPF 재생 시 필요한 배기온도를 유지하기 위한 조건을 Logic에 적용하여야 한다.

라. 작업기 부하에 따른 배기온도 경향을 확인 한 결과, 배기온도가 DPF를 자연재생하기 위한 온도에는 못 미치는 것으로 확인되었다.

4. 실차 적합성 평가

가. 배기 가스 저감을 위한 후처리 장치 중 하나인 DPF에 대해 실차적합성 및 PM(Soot) 축적량에 대한 평가를 하였다.

나. 실작업 조건에서의 트랙터의 배기후처리 장치, 특히 DPF에 포집되는 Soot의 축적량에 대해 트랙터 주행 시험을 통해 확인하였다. 실제 9시간 주행을 실시하였으며, 주행 시간 증가에 따른 Soot 축적량을 실제 무게로 확인하여 축적량 대비 변화 관계를 확인 하였다.

다. 실작업 조건에서 Soot 축적량 확인에 대해 주행 시험을 통하여 Soot 축적량 및 축적량에 따른 DPF 전/후단의 배기온도 변화와 차압관계를 확인하였다. Soot 축적량은 배기후처리 장치(DPF, DOC 및 브라켓, 각종 센서 포함)의 실 무게를 측정하였으며, 재생 후와 9시간 주행 후의 무게차이를 바탕으로 Soot 축적량을 계산하였다.

5. 작업 부하별 재생 성능 평가

가. 작업 부하별 재생 성능 평가는 주행 시와 작업시(로터리 및 쟁기)로 나누어서 평가를 하였다.

나. 주행 시험에서는 트랙터 주행 시의 배기가스의 온도 경향을 파악하기 위한 것으로, 일반 아스팔트 도로를 주행하는 것으로 하였으며, 실내에서 Running Test를 실시하였다. 도로 주행은 트랙터 공차의 상태로 주행을 실시하였으며, 배기가스의 온도를 측정하여서 재생 방법 중 passive type와 active type 가능성을 판단하도록 하였다. 주행 시험 결과 DPF 전/후단의 배기온도의 분포는 최소 130℃에서 최대 186℃를 보여주는데, 이는 일정 구간 300℃이상 유지되어야 가능한 Passive 방식을 적용하기에는 배기온도가 낮은 것을 보여준다.

다. 트랙터 로터리 작업시 재생 성능평가 시험을 실시하였으며, 로터리 작업 시에도 DPF 전·후단에서 최소 220℃에서 최대 400℃까지 배기온도가 분포를 하고 있는 것을 볼 수 있으며, 배기 온도는 일정 작업 시간이 지나고 나서 일정하게 유지되고 있는 경향을 보이고 있다. 그리고 작업 단수가 증가할수록 배기온도가 상승되는 경향을 보여준다. DPF 전/후단의 배기온도분포는 작업 단수 6단에서 최소 220℃, 최대 400℃의 온도분포를 보여준다.

라. 트랙터 쟁기 작업시 재생 성능평가 시험을 실시하였으며, 쟁기 작업 시 트랙터의 정격 회전수인 2400rpm을 유지하지 않고 1800~2000rpm을 유지하면서 작업을 실시 한다. 엔진 회전수가 2000rpm인 경우의 DPF 전단과 후단의 배기 가스를 보면 300℃보다 낮게 나타나고 있다. 이를 바탕으로 쟁기 작업 시 DPF가 자연재생을 위해 유지되어야 하는 배기온도인 300℃보다 낮은 온도로 운전되고 있음을 확인 하였고, DPF 재생 시 필요한 배기온도를 유지하기 위한 조건을 Logic에 적용하여야 한다.

6. 재생 Logic 검증 및 성능 평가

- 가. 배기가스 저감을 위한 후처리장치 중 하나인 DPF에 대해 재생 가능성에 대한 평가를 실시 하였다.
- 나. 재생 Logic 검증을 위해서는 필드 시험을 하지 않고, 로터리 작업을 위한 실내의 PTO 다이아모 시험을 실시하였다.
- 다. 재생 평가 시험은 실제 필드에서 작업을 하는 것이 아니라 필드 작업 조건을 실내에서 구현을 하는 방법을 채택을 하였다. 실제 로터리 작업, 쟁기 작업 및 주행 작업에 대한 시험을 실시하여야 하나, 그 중에서도 엔진에 가장 큰 부하가 걸리는 로터리 작업에 대한 실내 PTO 다이아모 시험을 통하여 재생 Logic에 대하여 평가를 하고자 한다.

7. 후처리 시스템 최적화 검토

- 가. 후처리 시스템의 사양 검토를 실시하였다.
- 나. 후처리 시스템의 설치 가이드를 만족하는지 여부에 대한 탑재성 검토를 실시하였다.

[협동기관 3 (LS 엠트론)] Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가

1. 실차 시험 평가 기술 정보 조사 및 기준안 설정

- 가. 신차 시험 평가 기술 및 기준안 설정을 위한 기초자료로 자동차에 적용되는 Vehicle Calibration 및 기타 항목을 조사하였다.
- 나. MHI社, 얀마, 퍼킨스의 Off-road용 56kW급 이상 Tier-4 디젤엔진의 배기가스 저감을 위한 기술 동향을 조사하였다.
- 다. 56kW급 이상 Tier-4 디젤엔진의 고마력 트랙터 탑재 시험 평가 항목 설정을 위한 기초자료로 기존 Tier-3 엔진의 고마력 트랙터 탑재에 적용되는 시험 평가 항목을 조사하였다.
- 라. 농기계용 Tier-4 관련 배기 규제 동향 및 범위, 시험 방법을 조사하였다.

2. 실차 조건 평가 항목 및 기준 설정

- 가. DPF 재생 로직 방법 및 기준 설정을 위해 농기계용 DPF 평가방법, 주요 설계인자, 재생로직 방법, 재생제어를 위한 주요 Parameter를 조사하였다.
- 나. DPF 재생 로직 검증 및 실차 평가 기준 설정을 위해 농기계 운전특성 및 DPF 재생 로직 검증시험 방법 및 기준을 조사하였다.

3. Base엔진 기초 성능 평가를 통한 시험 기술 확보

- 가. Tier-4 규제를 대비한 Tier-4 시험 모드(NRTC)의 시험평가기술을 확보하고자 2.6L급 직분식 Tier-3엔진으로 Tier-4 예비시험을 수행하였다.
- 나. 기존의 C1 모드시험 과 변경된 NRTC 모드시험의 비교 평가 결과, CO의 경우 거의 차이가 없으며, NO_x, PM의 경우 NRTC 모드시험이 각각 21%, 15% 높은 수치를 나타냈으며,

THC의 경우는 NRTC모드 시험이 41% 낮은 수치를 나타내었다.

4. 시제품 시험 평가

- 가. 커먼레일 엔진인 MHI社의 K42엔진이 탑재되어 제작된 대동 DX100트랙터 시제품에 대한 PTO 출력 성능 시험 평가 결과, 기존 Tier-3 엔진이 탑재된 LS 동급 트랙터 대비 PTO 출력/효율 및 최대토크, 토크라이즈가 낮은 결과를 나타냈으며, 이는 시제품 엔진인 K42 엔진이 고마력 트랙터에 최적화 되어있지 못한 것으로 판단되었다.
- 나. 시제품 엔진인 K42엔진 입고 전에 Tier-4엔진에 대한 시험 기술 확보를 위해 커먼레일엔진인 NEF 6L급 엔진에 대하여 NRTC 모드의 시험 평가를 실시하여, Tier-4 엔진에 대한 시험 기술을 확보하였으며, 시제품 엔진인 K42엔진에 대한 NRTC 본 시험 평가 결과, NOx는 3.228g/kWh, PM은 0.014g/kWh로 Tier-4 규제수치에 만족하였다.
- 다. K42 시제품 엔진의 실차 적용성 검증을 위해 전 운전영역 조건에서 출력 / 연비 / 배출가스 특성 / 배기온도 및 배압조건 분석을 통하여 트랙터 실차 적용성을 확인하였다.

5. 탑재 상태 동특성 평가

- 가. 시제품의 다축 진동 특성을 측정하기 위해 대동 DX100트랙터 시제품에 대한 삼축(x, y, z) 진동 특성 시험 평가 결과, 기존 Tier-3 엔진이 탑재된 LS 동급트랙터 대비 높은 수준을 나타내었으나, 진동시험기준에는 적합하였다.
- 나. 실차조건에서의 소음 특성 평가를 위해 대동 DX100트랙터 시제품에 대한 정지/주행 소음 평가 시험 평가 결과, 전반적으로 시제품 트랙터와 Tier-3 엔진이 탑재된 LS 동급 트랙터 모두 소음 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 특히 시제품 트랙터의 최고 소음 수준이 90dB로 운전석 소음시험기준(86dB)에 미달되었다. 또한 외부 소음 시험 결과를 비교하면, 전반적으로 시제품 트랙터가 Tier-3 엔진이 탑재된 LS 동급 트랙터 대비 높은 소음 수준을 나타내었으나, 시운전석 소음 시험기준에는 적합하였다.

6. 실차 성능 평가

- 가. 최종 시제품인 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG1100-Tier-4 트랙터에 대한 PTO 출력 성능 시험 평가 결과, 기존 시제품인 대동 DX100 트랙터 대비 PTO 출력/효율 및 최대토크, 토크라이즈가 높은 결과를 나타냈으며, 이는 최종 시제품 엔진인 854E-E34TA엔진이 고마력 트랙터에 최적화되어 있는 것으로 판단되었다.
- 나. 기존 시제품인 대동트랙터의 경우 인터쿨러 상승온도가 기준치(상온+30°C)이하보다도 낮은 수준인 52.6°C를 나타내어 최종 시제품을 개선하여 흡기/배기/냉각시스템 최적화 시험 평가 결과 기준치에 모두 만족하였다. Exhaust system의 경우 최종 시제품 트랙터 및 대동트랙터 모두 최대부압(터보통과후, DPF통과후)이 기준치보다 높은 수준을 나타내어, Exhaust system의 배기 Lay-out의 개선이 필요한 것으로 분석되었다. Cooling system의

경우 최종 시제품 트랙터 및 대동트랙터 모두 기준치에 만족하였으며, Air to Boil Test의 경우 온대기후 및 열대기후의 조건에서는 만족하였으나, 사막기후에서는 기준치 부적합한 것으로 분석되었다. 전반적으로 최종 시제품 트랙터 및 대동트랙터 둘 다 추가적인 시스템 매칭작업이 필요한 것으로 분석되었다.

7. 최종 신뢰성 검증 시험 실시

- 가. 최종 시제품인 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4 트랙터에 대한 삼축(x, y, z) 진동 특성 시험 평가 결과, 기존 시제품인 대동 DX100 트랙터 대비 낮은 수준으로 분석되었다.
- 나. 실차조건에서의 소음 특성 평가를 위해 최종 시제품인 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4 트랙터에 대한 정지/주행 소음 평가 시험 평가 결과, 전반적으로 최종 시제품 트랙터 및 대동 DX100 트랙터 모두 소음수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타내었으며, 최종 시제품트랙터가 선형에 근접한 소음 수준을 나타내는 반면에 대동 DX100 트랙터의 경우 시제품트랙터대비 높낮이 편차가 심한 분포를 나타내었다. 최종 시제품트랙터의 최고 소음 수준이 86dB로 운전석 소음 시험 기준(86dB)에 적합하였으나, 이에 비해 대동 DX100 트랙터의 최고 소음 수준이 90dB로 운전석 소음시험(86dB)에 부적합한 것으로 분석되었다. 또한 외부 소음 수준을 분석하면, 전반적으로 최종 시제품트랙터가 대동 DX100 트랙터 대비 낮은 소음 수준을 나타냈으나, 최종 시제품트랙터 및 대동 DX100 트랙터 모두 운전석 소음시험기준에 적합하였다.
- 다. 최종 시제품 트랙터의 종합적인 성능을 파악하기 위해 로타리 작업, 쟁기 작업 등을 통한 Field 시험에서 각종 조작 장치의 성능, 엔진 성능, 변속기 성능 등을 종합적으로 평가한 결과, 각부 특이 문제점이 없는 것으로 분석 되었다.

8. 최적화 시스템의 성능 평가

- 가. 최적화 후처리 시스템의 최종 성능 평가를 위해 NRSC 및 NRTC 시험모드를 통하여 출력 및 배기 수준을 확인하였다. 출력의 경우 PERKINS 엔진이 K42 엔진의 비해 더 높으며 NRSC 시험결과 NOx 배출량은 2.532g/kWh로 K42 엔진에 비해 약 20% 적게 배출되었으며, PM의 경우 0.0095g/kWh로 K42 엔진에 비해 약 32% 적게 배출되었다. 또한 NRTC 시험결과 NOx 배출량은 3.0g/kWh로 K42 엔진에 비해 약 10% 적게 배출되었으며, PM의 경우 0.01g/kWh로 K42 엔진에 비해 25% 높게 배출 되었다. 위 시험모드를 통해 최종시제품의 배기수준은 Interim-Tier-4 규제를 만족함을 확인하였다.
- 나. 최적화 시스템의 기본성능 분석을 위해 재생평형온도(BPT)분석을 통하여 DOC 입구 온도가 353℃에서 재생평형을 이루는 것을 확인하였다. 또한 엔진 전 운전영역 조건의 출력 / 배출가스특성 / 배기 조건등을 분석하여 실차 적용성을 확인하였고, PM 재생조건을 선정하여 DPF 재생 로직 특성을 검증하였다.

다. 최적화 후처리장치시스템의 PM Loading을 통한 DPF 재생로직 검증을 위해 엔진 연소상태를 악화 시키는 transient, EGR 및 EGR 혼합조건인 A, B, C 시험모드를 적용 하였으며, C 모드 조건에서 엔진의 부하조건에 따른 DPF 재생특성을 검증하였다. 부하조건에서 재생은 연료 후 분사를 통해 DPF 후단의 온도를 BPT까지 강제적으로 올려 재생이 진행되었으며, 무부하 조건에는 DPF 후단의 온도를 BPT까지 올린 후 추가적으로 연료를 더 공급해 DPF 후단의 온도를 600℃ 이상으로 유지하며 재생되었다. 두 조건 모두 DPF의 차압이 약 10mbar 수준으로 감소 시켰으며, 실 트랙터 적용에 있어 운전 특성을 반영하여 재생이 이루어짐을 확인하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

Tier-4 탑재 기술에 대한 특허를 17건을 출원하였다. 특히, Tier-4 엔진룸 가장 중요한 DPF 취부 및 ECU 배치구조에 대한 특허를 출원하였다. ECU는 Tier-4 엔진을 제어하는 기능하는 핵심 전자 장치이다. ECU는 Temperature, Vibration & Mechanical Shock, Exposure (Water & Dust), Mounting Location 등의 테스트를 하고 검증한다. 그러므로 ECU의 배치구조 최적화는 트랙터의 성능을 좌우하는 매우 중요한 기술이다. DPF는 진동과 같은 외부의 물리적인 영향이나, 주변의 관련 attachments layout에 매우 중요한 영향을 준다. 농기계 경우 off-road 환경이며, 작업을 사용하기 때문에 소음, 진동의 영향이 매우 크다. DPF 마운팅구조는 진동에 의한 DPF 손상을 방지하고, DPF의 표면온도가 300°C 이상 됨으로, 특히 열에 민감한 전자제품 및 배선의 최적의 layout을 구성하는데 큰 영향을 준다. 본 과제를 통하여, 핵심부품인 DPF 및 ECU의 배치구조에 대한 산업재산권을 확보 할 수 있었다.

대동공업, 국제종합기계, 동양물산, LS엠트론의 공용품개발로 인하여 개발비가 절감되었다. Cooling system은 동양물산에서 개발하였으며, 4사가 공용으로 쓰는 유닛이다. Tier-4 엔진의 특성상 많은 열을 발생하므로, Cooling system의 성능이 매우 중요하다. 냉각에 필요한 부품에 대한 layout 그리고 system 성능평가 및 해석은 많이 시간과 비용이 든다. 그리고 재생로직, 신뢰성 평가 시험등 시간과 비용이 많다는 파트를 4사가 공동 개발함으로써, 이중 개발이 발생하지 않으므로, 원가절감 효과가 발생한다. 농기계회사의 수익이 개선되는 효과가 발생할 뿐만 아니라, 생산성 향상에도 이바지할 것이다.

4개사는 Final Tier-4가 적용되는 2015년도에 Tier-4 탑재 기술을 적용한 트랙터를 양산을 목표로 하고 있으며, Cooling system, Tier-4엔진 경우 4개사가 공용으로 적용할 것이다. 또한, 본 과제로 통해 Tier-4엔진 탑재 시험, 검증 및 설계의 기준서를 표준화하여, 향후 4개사 개발할 Tier-4 탑재트랙터의 기초자료로 활용 및 공유할 것이다. 이를 통해 트랙터의 대한 신뢰성을 확보하고 기술협력을 통해, 선진사와의 기술격차를 줄려 나갈 것이다. 또한, 미국 및 유럽의 강화된 배기가스 규제를 만족하는 친환경 트랙터를 적기에 공급함으로써, 선진국의 고마력 트랙터 시장의 성공적인 진입과 Market share 증대가 기대된다.

SUMMARY

Tractor Application Technology Development for High HP(horse power) Engine

According to Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative(KAMICO), annual average market growth of the tractor with high HP engine is increasing about 14.5 %. Also Annual average world market is increasing about 4%. Korea companies have about 1.6% world market share. Since the future of Agriculture & animal husbandry is being mechanized, the market would be positively better. It is necessary to have the technology on Tier-4 engine installation and Application because the market the technologies are required is increasing.

Exhaust Gas Regulations started in 2012 need the improvement on engine room and optimizing packaging system because the Tier-4 engine room volume is smaller the current according to apply the after-treatment, the parts for applications and the requirement on heat dissipating condition.

ECU for controlling the Application for high pressure spray and after-treatment are required the more time and technologies for matching by integration of various applications.

Therefore, target of this study develops the application technologies optimized for high HP engine complied with Exhaust Gas Regulations and provide eco-friendly tractor and convenient interface for worker. Also world market share will be increased by technology improvement and growth of korea companies.

The main results obtained from the study are as follows:

1. The preceding research was performed for developed on Packaging System to install aftertreatment for exhaust Gas. Base on the preceding research, the layout related with installation for aftertreatment was designed and applied to real tractor. The tractors with K42 and Perkins engines were made respectively 4 for the performance test. Daedong get the patent on the layout of ECU & DPF. And the optimized Packaging System for exhaust gas aftertreatment was realized through the performance test, evaluation and modification activity.
2. The contents and standard for evaluation was built. And the cooling system for high HP engine & the optimal technology about Air flow in engine room is developed.
3. The work condition was built by the driving pattern of high HP agriculture tractor under working condition. And then ECU performance Logic was evaluated and modified after driving pattern analysis. The optimized aftertreatment reliability is ensured.
4. It was researched on the technology information on Vehicle Calibration and reliability evaluation to comply Tier-4 regulation. Base on the research, It was built condition evaluation

contents and standard. Base on the standard, the matching performance was evaluated by the test and condition performance of real tractor and dynamic characteristic evaluation. And then It was ensured the reliability by the evaluation of final proto tractor. Finally it was ensured the test evaluation technology on Vehicle Calibration and reliability.

CONTENTS

1. Summary	29
1.1 Goal and necessity of study	29
1.2 Study contents	29
2. Domestic and foreign technical development	31
2.1 Domestic technical development.....	31
2.2 Foreign technical development	31
3. Contents and results of research and development	33
3.1 Packaging System development for installation exhaust gas after-treatment	
3.1.1. Preceding research	33
3.1.1.1. Regulation about exhaust gas	33
3.1.1.2. Patent research and analysis about advanced technology	37
3.1.2. Basic Layout design and 3D Modeling	42
3.1.2.1 Engine Application	42
3.1.2.2 Layout of after treatment and engine room optimal design	49
3.1.2.3 Cabin design	52
3.1.3. Bonnet design	56
3.1.4. Proto Development	58
3.1.5. Optimal design and making of engine room	59
3.1.5.1 Engine room optimal design and making for installation of Tier-4 engine	59
3.1.5.2 Improvement of engine room layout	69
3.1.6. Optimal design and making of after treatment layout	73
3.1.6.1 Layout and characteristic of after treatment	73
3.1.6.2 DPF- Regeneration	74
3.1.6.3 Positions and characteristics of sensors	77

3.1.6.4 DPF Installation Guideline	80
3.1.6.5 DPF Regeneration Strategy	81
3.1.7. Cabin optimal design and making	84
3.1.7.1 Optimal cabin design and making complying with ISO and EEC regulation	84
3.1.7.2 Cabin design considered about vibration and noise	87
3.1.7.3 Roof design and making	89
3.1.7.4 Throttle (foot & hand) design	89
3.1.8. Target verification and test	92
3.1.8.1 Temperature measurement of engine room inside	92
3.1.8.2 Heat Radiation Performance and back pressure test	93
3.1.8.3 Vibration and noise test	95
3.1.9. 2 nd proto part development and modification	101
3.1.9.1 Quality verification and Mass production evaluation.....	101
3.1.9.2 Quality problem improvement	104
3.1.10. 2 nd proto making and performance evaluation	109
3.1.10.1 Proto with Perkins engine	109
3.1.10.1 Test	113
3.1.11. Design improvement and final specification	115
3.1.11.1 Aftertreatment Packaging System final specification	115
3.1.11.2 Requirement performance standard of engine installation	123
3.1.11.3 Test method and standard complying with requirement performance standard for engine installation	126
3.1.11.4 ECU(electronic control unit)	131
3.1.11.5 WIRE-HARNESS 3D	135
3.1.11.6 Aftertreatment DPF- Regeneration	141
3.1.11.7 Positions and characteristics of sensors	143
12. Final engine selection.....	145

3.2 Cooling System development and engine room air flow optimization

3.2.1. Preceding research	148
3.2.1.1. Countermeasure about exhaust gas regulation of engine makers	148
3.2.1.2. characteristic research of cooling system components	150
3.2.2. Cooling system layout design and design review	152
3.2.2.1. evaluation contents and standard	152
3.2.2.2. Preceding analysis for study and test	154
3.2.2.3. Cooling system layout design and Design Review	158
3.2.2.4. Proto Development	162
3.2.3. Component development for cooling system	162
3.2.3.1. Component design of cooling system	162
3.2.3.2. Component of cooling system performance test	165
3.2.3.3. Cooling system analysis	166
3.2.3.4. Cooling system test	171
3.2.4. Proto making	172
3.2.4.1. Cooling Module of proto type assembly	172
3.2.5. Target verification and performance test	173
3.2.5.1. Characteristics of Heat balance, temperature evaluation by driving area and compatibility evaluation	173
3.2.6. Cooling system component development for Perkins 854 engine	179
3.2.6.1. Component design of cooling system	180
3.2.6.2. Performance test of component design of cooling system	182
3.2.6.3. Cooling system analysis	185
3.2.7. Proto assembly	188
3.2.7.1. 2 nd Cooling Module of proto type assembly	188
3.2.8. TARGET Target verification and performance test	189
3.2.8.1. Characteristics of Heat balance, temperature evaluation by driving area and compatibility evaluation	189

3.3 Aftertreatment matching technology by work condition change.

3.3.1. Technology research of leading companies	195
3.3.1.1 Technology trend survey of Leading company	197
3.3.1.1.1 Emission regulation of each country	197
3.3.1.1.2 Present technology development	198
3.3.1.1.3 Present technology of each companies for emission reduction	198
3.3.1.2 Survey of exhaust gas reduction technology	200
3.3.1.2.1 Engine technology	200
3.3.1.2.1.1 improvement of combustion chamber shape	
3.3.1.2.1.2 High Pressure Spray	
3.3.1.2.1.3 Electronic control	
3.3.1.2.1.4 EGR(Exhaust Gas Recirculation)	
3.3.1.2.2 After treatment technology	205
3.3.1.2.2.1 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)	
3.3.1.2.2.2 DPF(Diesel Particulate Filter)	
3.3.1.2.2.3 SCR(Selective Catalyst Reduction)	
3.3.2. Driving pattern analysis of tractor	208
3.3.2.1 Tractor drive, exhaust gas by work condition and workload measurement	210
3.3.2.1.1 Driving pattern analysis evaluation test	210
3.3.2.1.1.1 Exhaust temperature change trend evaluation during tractor drive and Rotary Tillage	
3.3.2.1.1.2 Engine load factor evaluation trend test during Rotary Tillage	
3.3.2.1.1.3 Results of driving pattern analysis test	
3.3.2.2 Engine evaluation by EGR and exhaust after treatment application.....	216
3.3.2.2.1 Engine evaluation test when EGR is applied	
3.3.2.2.2 Engine evaluation test when exhaust after treatment is applied	
3.3.3. Aftertreatment system specification test of high HP tractor	221
3.3.3.1 Characteristic and evaluation of exhaust temperature by driving area	223
3.3.3.1.1 Trailing load measurement test condition of tractor plow	224
3.3.3.1.2 Trend evaluation by initial depth when plowing operations by tractor	227
3.3.3.2 Regeneration method discussion after PM filtration by exhaust temperature characteristic	228
3.3.3.3 Test results by regeneration method	235

3.3.4 Tractor compatibility evaluation	239
3.3.4.1 Ash sediment measurement evaluation	239
3.3.5.1 Soot Loading evaluation under real working condition	240
3.3.4 Regeneration performance evaluation by working load	245
3.3.4.1 Regeneration performance evaluation under driving mode	246
3.3.4.2 Regeneration performance evaluation under working mode	250
3.3.4.2.1 Regeneration performance evaluation during Rotary Tillage	250
3.3.4.2.2 Regeneration performance evaluation during plowing operations	254
3.3.5 Regeneration Logic verification and performance evaluation	258
3.3.5.1 Regeneration Logic verification and Improvement	259
3.3.5.1.1 Regeneration Logic final evaluation	261
3.3.6 Aftertreatment system optimization review	262
3.3.6.1 Aftertreatment system specification review	262
3.3.6.2 Application review and performance evaluation	262

3.4 Vehicle Calibration and Reliability Estimation

3.4.1 Investigation of advanced technology, trend, test condition and standards	265
3.4.1.1 Investigation of advanced technology and trend	266
3.4.1.2 Investigation of technology for Tier-4 regulation and exhaust regulation	269
3.4.2 Define of test conditions and standards for agricultural tractor	276
3.4.2.1 Define of general DPF regeneration logic and test conditions	276
3.4.2.2 Define of DPF regeneration logic and test conditions for agricultural tractor	283
3.4.3 Performance evaluation for base engine	289
3.4.3.1 Test result of base engine as process for Tier-4 regulation	289
3.4.3.2 Comparative analysis of test results(C1 vs NRTC)	295
3.4.4 Performance evaluation for prototype	298
3.4.4.1 Performance evaluation for prototype	298
3.4.4.2 Test result of proto engine as process for Tier-4 regulation	304

3.4.5	Dynamic characteristic evaluation under the tractor with Tier-4 engine	344
3.4.5.1	Multi-axis vibration characteristic evaluation	344
3.4.5.2	Noise characteristic evaluation under real tractor.	351
3.4.6	Test result of developed tractor	355
3.4.6.1	Performance evaluation for developed tractor	355
3.4.6.2	Verification of optimized system for developed tractor with intake/exhaust/cooling system	361
3.4.7	Reliability Estimation for developed system	365
3.4.7.1	Multi-axis vibration characteristic evaluation of developed system	365
3.4.7.2	Noise characteristic evaluation of developed system	372
3.4.7.3	Field test of developed system	376
3.4.8	Performance evaluation of optimized system	378
3.4.8.1	Performance evaluation of optimized aftertreatment system	378
3.4.8.2	Back pressure, exhaust temperature and regeneration time/cycle test of optimized aftertreatment system	390
4	Attainment of goal and contribution of related field	404
5	Study result and application scheme	406
6	Overseas Science & Technology Information Resources collected through this study	407
7	Reference	408

목 차

제1장 연구개발과제의 개요	29
연구개발의 목적 및 필요성	29
연구내용	29
제2장 국내외 기술개발 현황	31
국내 기술 현황	31
국외 기술 현황	31
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	33
제1절 [주관기관(대동공업)] 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 개발	
1. 선행조사	33
가. 배기가스 규제 정책	33
나. 선진기술 특허조사 및 분석	37
2. 기본 Layout 설계 및 3D Modeling	42
가. 엔진 Application	42
나. 후처리장치 배치 및 엔진룸 최적설계	49
다. 캐빈설계	52
3. 본넷트 디자인	56
4. 시제품 개발추진	58
5. 엔진룸 최적설계 및 제작	59
가. Tier-4 엔진장착에 필요한 엔진룸 최적설계 및 제작	59
나. 엔진룸 배치구조 개선사항	69
6. 후처리장치 배치구조의 최적설계 및 제작	73
가. 후처리장치 배치구조 및 특성	73
나. 후처리장치 DPF- Regeneration	74
다. SENSOR 위치 및 특징	77

라. DPF Installation Guideline	80
마. DPF Regeneration Strategy	81
7. 캐빈 최적 설계 및 제작	84
가. ISO 및 EEC 법규를 만족하는 최적 캐빈 설계 및 제작	84
나. 진동 및 소음을 고려한 캐빈설계	87
다. 지붕 설계 및 제작	89
라. THROTTLE (FOOT & HAND) 설계	89
8. Target 검증 및 기본 성능시험	92
가. 엔진룸 내부 온도 측정	92
나. 방열성능 및 배압 시험	93
다. 소음 및 진동 시험	95
9. 2차 시제품 부품개발 및 수정 보완	101
가. 품질 검증 및 양산성평가	101
나. 품질 문제점 개선	104
10. 2차 시제품 제작 및 성능평가	109
가. 퍼킨스 엔진 탑재 시제품 제작	109
나. 기본 성능 시험	113
11. 설계 보완 및 최종 사양 확정	115
가. 후처리장치 Packaging System 사양확정	115
나. 엔진 탑재성 개발 요구 성능 기준	123
다. 엔진 탑재성 개발 요구 성능 기준을 고려한 시험 방법 및 기준	126
마. ECU(electronic control unit)	131
사. WIRE-HARNESS 3D 경로선정	135
아. 후처리장치 DPF- Regeneration	141
자. SENSOR 위치 및 특징	143
12. 최종양산 엔진 선정	145

제2절 [협동1(동양물산기업)] 트랙터 본기의 Cooling System 개발 및 엔진룸 Air Flow 최적화

1. 선행조사	148
가. 엔진 제조사별 배기가스규제 대응방안	148
나. 냉각시스템의 요소부품 특성 조사	150
2. 냉각시스템 Layout 설계 및 Design Review	152
가. 평가항목 선정 및 평가기준 선정	152
나. 과제 수행을 위한 선행 해석 및 TEST	154
다. 냉각시스템 Layout 설계 및 Design Review	158
라. 시제품 개발추진	162
3. 냉각 시스템 부품 개발	162
가. 냉각 시스템의 요소부품 설계	162
나. 냉각 시스템의 요소부품 성능시험	165
다. 냉각시스템 해석	166
라. 냉각 시스템 TEST	171
4. 시제품 기대 조립	172
가. Cooling Module 시제품 조립	172
5. TARGET검증 및 성능시험	173
가. 운전 영역별 방열 특성 및 온도평가 & 실차 적합성 평가	173
6. PERKINS社 854E엔진 탑재용 냉각 시스템 부품 개발	179
가. 냉각 시스템의 요소부품 설계	180
나. 냉각 시스템의 요소부품 성능시험	182
다. 냉각시스템 해석	185
7. 시제품 기대 조립	188
가. 2차 Cooling Module 시제품 조립	188
8. TARGET검증 및 성능시험	189
가. 운전 영역별 방열 특성 및 온도 비교 평가 & 실차 적합성 비교 평가	189

제3절 [협동2(국제종합기계)] 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술

1. 선진업체 기술동향 조사	195
가. 선진 업체 기술 동향 조사	197
(1) 각 국의 Emission 규제 현황	197
(2) 기술 개발 현황	198
(3) Emission 저감을 위한 업체 별 기술 보유 현황	198
나. 배기가스 저감 기술 조사	200
(1) 엔진 기술	200
(가) 연소실 형상의 개선	
(나) 고압분사	
(다) 전자제어	
(라) EGR(Exhaust Gas Recirculation)	
(2) 후처리 기술	205
(가) DOC(Diesel Oxidation Catalyst)	
(나) DPF(Diesel Particulate Filter)	
(다) SCR(Selective Catalyst Reduction)	
2. 트랙터의 운전패턴 분석	208
가. 트랙터 주행 및 작업에 따른 배기가스 및 작업 부하 측정	210
(1) 트랙터의 운전 패턴 분석 평가 시험	210
(가) 트랙터 주행 및 로타리 작업 시 배기온도 변화 경향 평가 시험	
(나) 트랙터 로타리 작업 시 엔진 부하율 경향 평가 시험	
(다) 트랙터의 운전 패턴 분석 시험 결과	
(2) EGR 및 배기 후처리 적용에 따른 엔진 단독 평가 시험	216
(가) EGR 장착 시 엔진 시험 평가	
(나) 배기후처리 적용 시 엔진 시험 평가	
3. 고마력 트랙터 엔진의 후처리 시스템 사양 시험	221
가. 운전 영역별 배기온도 특성 및 배기온도 평가	223
(1) 트랙터 플라우의 견인부하측정 시험조건 선정	224
(2) 트랙터 쟁기 작업시 초기 경심에 따른 경향 평가	227
나. 배기 온도 특성에 따른 PM포집 후 재생 방식 검토	228
다. 재생 방식에 따른 시험 결과 통보	235
4. 실차 적합성 평가	239
가. Ash 퇴적량 측정 평가	239

나 실작업 조건에서의 Soot Loading 평가	240
5. 작업 부하별 재생 성능 평가	245
가 주행시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가	246
나 작업시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가	250
(1) 트랙터 로터리 작업시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가	250
(2) 트랙터 쟁기 작업시 재생 가능 여부확인 및 성능평가	254
6. 재생 Logic 검증 및 성능 평가	258
가 재생 Logic 검증 및 개선 보완	259
(1) PTO 다이내모 테스트에 의한 Logic 검증	
나 재생 Logic 최종 평가	261
7. 후처리 시스템 최적화 검토	262
가. 후처리 시스템 사양 검토	262
나. 탑재성 검토 및 성능 평가	262

제4절 [협동3(LS엠티론)] Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가

1. 실차 시험 평가 기술 정보조사 및 기준안 설정	265
가. 선행기술조사 및 기술 동향	266
나. Tier-4 규제 관련 배기규제 및 동향 분석	269
2. 실차 조건 평가 항목 및 기준 설정	276
가. DPF 재생 로직 방법 및 기준 설정	276
나. DPF 재생로직 검증 및 실차 평가기준 설정	283
3. Base엔진 기초 성능 평가	289
가. Tier-4 시험 모드 시험 평가	289
나. 시험평가 결과(C1 vs NRTC)의 비교 분석	295
4. 시제품 시험 평가	298
가. 시제품의 기본 성능 평가	298
나. 시제품 Tier-4 시험모드 평가	304

5. 탑재 상태 동특성 평가	344
가. 다축 진동 특성 평가	344
나. 실차조건에서의 소음 특성 평가	351
6. 실차 성능 평가	355
가. 최종시스템의 기본 성능 평가	355
나. 최종시스템의 흡기/배기/냉각 시스템 최적화 검증 평가	361
7. 최종시스템의 신뢰성 평가	365
가. 최종시스템의 다축 진동 특성 평가	365
나. 최종시제품의 소음 특성 평가	372
다. 최종시제품의 Field 시험	376
8. 최적화 시스템의 성능평가	378
가. 최적화 후처리 시스템의 최종 성능 평가	378
나. 최적화 시스템의 배압/배기온도 및 재생시기/주기 평가 시험	390
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	404
제5장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	406
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	407
제7장 참고문헌	408

제1장 연구개발과제의 개요

○ 연구개발의 목적 및 필요성

농기계 협동조합 자료에 따르면 2002~2006년 동안 고마력 트랙터의 국내 시장은 연평균 14.5%의 꾸준한 성장세를 유지하고 있으며, 세계 시장 역시 연평균 4%가량 증가하고 있다. 현재 국내 기업은 전 세계 시장의 약 1.6%의 점유율을 유지하고 있으며, 점차 기계화되는 농축산업의 미래를 생각해 보면 향후에도 긍정적인 시장현황을 예상해 볼 수 있을 것이다. 이러한 시장의 증가에 대응하기 위해서는 고마력 엔진의 탑재 기술 및 Application의 기술 보유는 선택이 아닌 필수로 문제로 다가오고 있다.

2012년에 시작되는 Tier-4 배기가스의 규제는 기존의 탑재 엔진에 비해 여러 가지 후처리장치 및 주변 Application의 추가적으로 인해 늘어난 Volume의 제약과 본기 방열성에 대한 요구조건의 세밀화로 인해 엔진 룸 내부의 개선 및 최적 Packaging System을 필요로 한다. 또한 고압분사장치 및 후처리장치를 제어하기 위한 ECU는 여러 Application의 통합으로 인해, 본기와의 매칭에 더 많은 시간과 기술이 요구되어진다.

따라서 본 연구의 목표는 강화된 엔진 배출가스규제를 충족하는 고 마력대의 엔진을 최적화된 탑재 기술을 개발하여, 환경 친화적인 농용 트랙터의 보급 및 사용자 중심의 편리한 인터페이스를 제공하여 국내 기업의 기술 향상과 성장 동력으로서 세계 시장 점유율 확대를 목적으로 한다.

○ 연구내용

1) 세부1 대동공업(주)

(1) 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 개발

- 후처리장치 탑재를 위한 엔진룸 내부 공간 확보
- 시야성 확보를 위한 본넷트 최적 설계
- 작업자의 편의성과 안정성을 고려한 인간공학적 캐빈 설계
- ECU 및 엔진제어 센서류 장착 최적화

2) 협동1 동양물산기업(주)

(1) Cooling System 최적화 개발

- 효율적인 냉각을 위한 냉각 시스템 설계 및 개발
- 냉각공기의 균일한 유속을 얻기 위한 흐름 개선 기술 개발

- 고성능의 콤팩트한 Component 개발

(2) 엔진룸 Air Flow 최적화 설계

3) 협동2 국제종합기계(주)

(1) 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술

- 배기가스 규제에 대응한 고마력 엔진 탑재 트랙터의 운전패턴 분석에 의한 작업 조건을 산정
- 운전 패턴 분석 후 배기정화장치(DPF)의 ECU 재생 Logic에 반영
- 최적의 후처리 시스템 신뢰성을 확보

4) 협동3 LS엠트론(주)

(1) Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가

- Tier-4 규제 만족을 위한 Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가 기준 확립
- 시제품 시험, 실차모사 조건 성능 및 동특성 평가를 통한 매칭 성능 확보
- 최종 시제품의 실차 평가를 통한 시험 평가 기술 확보
- Base 엔진 및 최종 시제품의 신뢰성 확보를 위한 성능 평가(위탁기관)

제2장 국내외 기술개발 현황

○ 국내 기술 현황

국내에서는 국내 농기계 메이저 기업인 대동공업, 국제종합기계, LS엠트론(LS전선), 동양물산기업이 참여하고, 두원정공, 제일, 계명대학교, 성균관대학교, 울산대학교가 참여한 산업자원부 주관 “트랙터용 고성능 그린 디젤엔진개발에 관한 연구” 과제를 통하여 저마력 급 농용 Tier-4엔진 개발을 완료하였다. 현재는 양산성 검토단계이며, 수정보완 단계에 있다.

저마력 농용엔진의 경우는 대동공업과 국제종합기계에서 자체 개발 및 제작하여, 그 노하우가 있어 Tier-4엔진 개발이 가능하였으나, 고마력 농용엔진의 경우 국내에서 개발한 업체가 없어, 고마력 Tier-4엔진 개발이 안 되는 실정이다. 하지만 고마력급 트랙터 경우, 수익성이 가장 높아, 국내 농기계 업체의 성장에 핵심 제품이다. 비록 고마력급 농용 Tier-4엔진 경우는 외국 전문엔진메이커 및 농기계 업체를 통해, 엔진을 확보할 수 있으나 Tier-4엔진 탑재 기술은 국내 트랙터 제조업체에서 개발하지 않으면 주요 수출국인 유럽, 미국 등에 수출이 하지 못한다.

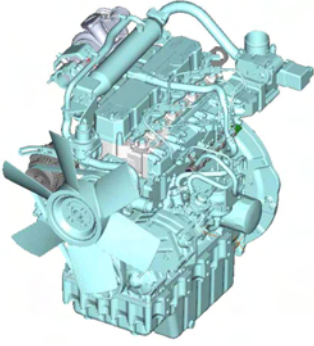
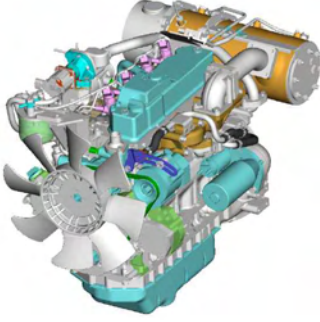
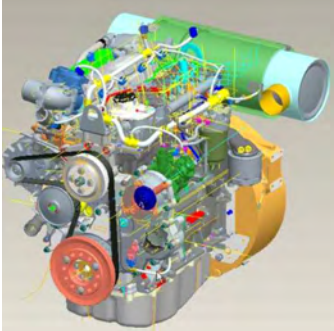
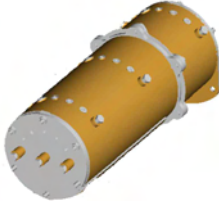
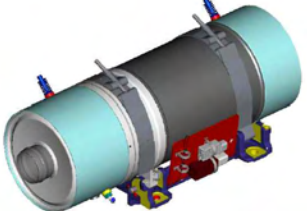
현재 본 과제에서 “고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발“ 과제를 수행하여, 고마력 Tier-4엔진 탑재기술을 개발하였으며, 양산을 위한 수정 및 보완 단계에 있다.

○ 국외 기술 현황

Off-road용 56kW급 이상의 디젤엔진은 MHI社, 안마, 커민스, 퍼킨스와 같은 일본 및 북미 그리고 유럽의 선진업체에 의해 주도되고 있으며, 2013년 Tier-4 배기가스 규제와 더불어 저탄소 녹색성장을 향한 선진국의 치열한 경쟁이 예상된다. 이러한 강화된 배기가스 규제치를 만족하기 위해서는 기존의 엔진에 커먼레일 시스템을 적용하여 연소성능을 향상시켜야 할 뿐만 아니라, 배기정화장치 (DOC +DPF, Cooled EGR) 및 엔진에 가해지는 부하를 감지하여 엔진의 성능을 제어할 수 있는 전자 제어 시스템 등의 신기술이 적용되어야만 한다. 따라서 전 세계적으로 강화되는 배기가스 Tier-4 규제를 만족하는 친환경적 Off-road용 56kW급 이상의 디젤엔진에 대한 기술경쟁력을 확보하기 위하여 선진업체와 국가에서는 많은 자금 및 연구 인력에 대한 투자를 활발히 진행하고 있는 실정이다.

이에 MHI社, 안마, 퍼킨스의 Off-road용 56kW급 이상 디젤엔진의 배기가스 저감을 위한 기술동향을 하기 표에 나타내었다.

<표 1-1> 외국 선진업체의 56kW급 이상 디젤엔진의 기술 동향

항목	MHI社	안마	퍼킨스
엔진외형			
엔진명	K42	4TNV98(T)-CR	854E
연료분사 시스템	CRS 시스템 (Bosch 1600bar)	CRS 시스템 (Denso 1600bar)	CRS 시스템 (Bosch 1600bar)
NOx 저감기술	- Cooled EGR - Inter cooler 시스템	- Cooled EGR	- 전자제어 Cooled EGR
PM 저감기술	- CCRT(DOC+CDPF) - 필터효율 : 90% ↑	- DOC/SiC DPF	- DOC/SiC DPF - 필터효율 : 90% ↑
DPF 재생방법			
	- 강제재생 (Automatic + Manual)	- 보조재생(흡기스로틀) + 강제재생(Post injection)	- Oxy-Exotherm 강제재생 (post or pipe injection)
Ash 서비스 주기	3,000 hr	3,000 hr	4,000 hr

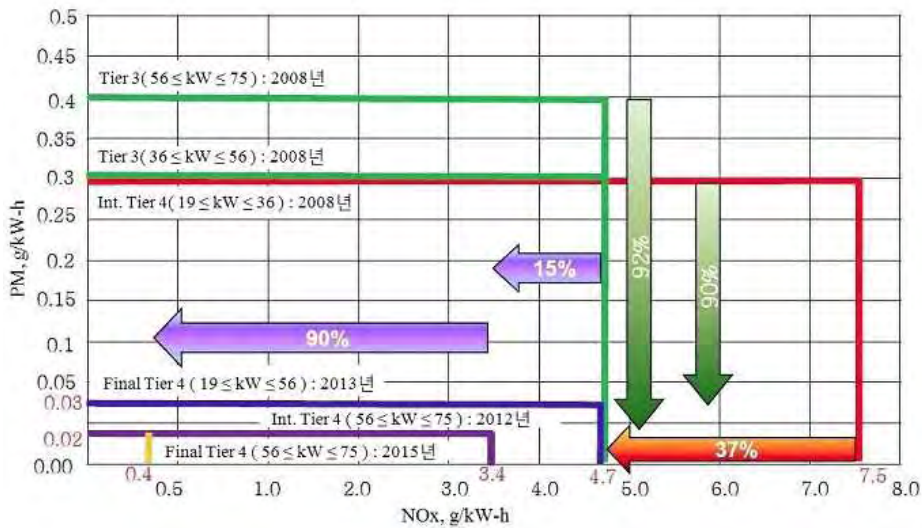
제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 [주관기관(대동공업)] 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 개발

1. 선행조사

가. 배기가스 규제 정책

무역 규제 방안의 일환인 Green Round를 채택해온 미국과 유럽, 그리고 일본은 각각 Tier, Stage, Step 이라는 배기가스 규제 정책을 실시해 오고 있으며, 트랙터 주요 수출국인 유럽, 미국 등 국가는 2012년부터 농업용 디젤엔진에 대해 현재보다 한층 더 강화된 규제를 적용할 예정이다.



<그림 1-1> EPA 배기가스 규제시기 및 규제치

본 과제에 해당하는 56kW 이상급 엔진의 경우, Interim Tier-4/Stage IIIB/Step3 가 적용되는 2012년부터 배기가스 기준치가 NOx+HC는 기존대비 약 25%, PM은 약 95%정도 낮춰져 적용되고, Final Tier-4/Stage IV/Step4가 적용되는 2015년부터는 NOx+HC 기준치마저 약 88% 낮춰져 적용돼 기준이 굉장히 엄격해 질 것이다.


따라서, 적용 시기 전 이러한 규제 정책을 만족하는 기술력을 확보하고, 기존의 기계식 제어에서 탈피하여 전자식 제어를 통한 기술력을 바탕으로 작업자 편의성 증대 및 고객의 Needs와 Wants를 만족하는 기계로 세계 시장에서의 경쟁력 강화를 도모할 필요가 있다.

국가별 시행 계획 일정 및 허용 기준치는 하기와 같다.

○ 미국

NO_x/HC/CO/PM (g/kW.hr)
(NO_x+HC)/CO/PM (g/kW.hr)


<표 1-2> 미국의 배기가스 규제시기 및 규제치

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
 USA EPA	kW<8	(7.5)/6.6/0.40										
	8≤kW<19	(7.5)/6.6/0.40										
	19≤kW<37	(7.5)/5.0/0.30					(4.7)/5.0/0.03					
	37≤kW<56	(4.7)/5.0/0.30					**	(4.7)/5.0/0.03				
	56≤kW<75	(4.7)/5.0/0.40					3.3/0.19/3.5/0.10			0.40/0.19/3.5/0.02		
	명칭	Tier-3					Interim Tier-4			Final Tier-4		

** 37kW~56kW 엔진의 경우, 미국 Tier-3 인증 규정에 PM 옵션 기준 (0.30g/kW.hr)이 있음. 이 기준을 적용하여 인증된 엔진에 한해서 Tier-4 적용시기를 2012년에서 2013년으로 1년 유예 기간을 준다.


○ Europe

<표 1-3> 유럽의 배기가스 규제시기 및 규제치

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
 Europe EEC	kW<19	No Regulation										
	19≤kW<37	(7.5)/5.5/0.6										
	37≤kW<56	(4.7)/5.0/0.4					(4.7)/5.0/0.025					
	56≤kW<75	(4.7)/5.0/0.4					3.3/0.19/5.0/0.025			0.4/0.19/5.0/0.025		
	명칭	Stage IIIA					Stage IIIB			Stage IV		

○ Japan

<표 1-4> 미국의 배기가스 규제시기 및 규제치

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
 Japan	19≤kW<37	6.0/1.0/5.0/0.40					4.0/0.7/5.0/0.03					
	37≤kW<56		* 4.0/0.7/5.0/0.30					4.0/0.7/5.0/0.03				
	56≤kW<75		** 4.0/0.7/5.0/0.25				3.3/0.19/5.0/0.02			0.4/0.19/5.0/0.02		
	명칭	Step 2					Step 3			Step 4		

* 37≤kW<56 의 경우, 2008년 10월부터 적용.

** 56≤kW<75 의 경우, 2008년 10월부터 적용.

고마력 엔진 제조사별 주요 사양 및 배기가스 대응 동향은 다음과 같다.

○ Cummins(사): QSM3.3

① 주요 사양

- 디젤 4기통 직분식 전자식 인터쿨러 엔진
- 배기량/최대출력/rpm : 3.3L/90kW/2200rpm

② 배기가스 대응 방안

- ECU를 이용한 연료분사 전자 제어
- HPCR (High Pressure Common Rail)
- Cooled EGR (Exhaust Gas Recirculation)
- VGT (Variable Geometry Turbocharger) → 출력, 토크, 연비, 매연 및 배기가스 저감
- Intercooler를 이용한 출력, 연비 및 배기가스 저감
- Crank Case Filter를 통한 Blow-by 가스 내 오일 여과
- CCRT (DOC+DPF)를 이용한 배기가스 저감



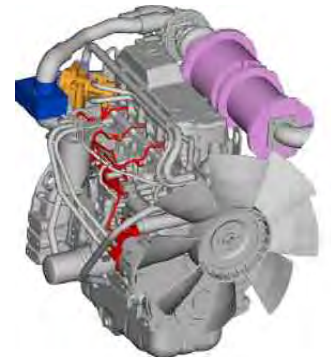
○ Yanmar(사): 4TNV94HT-CR

① 주요 사양

- 디젤 4기통 직분식 전자식 인터쿨러 엔진
- 배기량/최대출력/rpm : 3.05L/84.2kW/2500rpm
- 최대토크: 386Nm/1700rpm
- 연료소비량: 255g/kW.hr

② 배기가스 대응 방안

- ECU를 이용한 연료분사 전자 제어
- Common Rail 적용 및 Post Injection을 통한 PM 저감
- 연소 최적화 및 Cooled EGR을 통한 NOx 저감
- CCRT (DOC+DPF)를 이용한 PM 저감
- Intercooler를 이용한 출력, 연비 및 배기가스 저감
- Intake Throttle Device를 이용하여 효과적인 흡입 공기량 제어



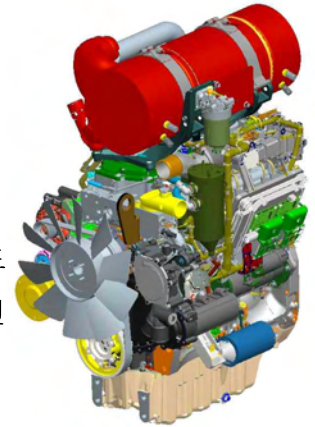
○ Perkins(사): 1204E-E44TA

① 주요 사양

- 디젤 4기통 직분식 전자식 인터쿨러 엔진
- 배기량/최대출력/rpm: 4.4L/110kW/2400rpm
- 최대토크: 560Nm/1400rpm

② 배기가스 대응 방안

- ECU를 이용한 연료분사 전자 제어
- Common Rail 고압 직접 분사를 통한 PM 저감
- 연소 최적화 및 Cooled EGR을 통한 NOx 저감
- CCRT (DOC+DPF)를 이용한 PM 저감(Ash Service 불요)
- BPV (Back Pressure Valve) 설치
→ 터보차저 끝단에 BPV를 이용하여 배기배압 및 배기 온도를 높여 DPF Re-Generation을 위한 최저 요구 온도인 250℃ 이상을 유지하여 효과적인 Re-Generation을 실시
- Intercooler를 이용한 출력, 연비 및 배기가스 저감
- Crank Case Breather Filter를 장착하여 Blow-by 가스 내 오일 제어



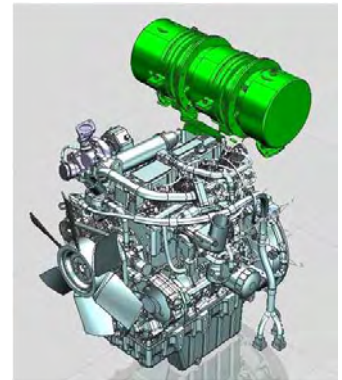
○ MHI(사): K42

① 주요 사양

- 디젤 4기통 직분식 전자식 인터쿨러 엔진
- 배기량/최대출력/rpm: 3.331L/74kW/2000rpm
- 최대토크: 385Nm/1600rpm
- 연료소비량: 225g/kW.hr

② 배기가스 대응 방안

- ECU/Common Rail 적용, Post Injection을 통한 PM저감
- 연소 최적화 및 Cooled EGR을 통한 NOx 저감
- AFM (Air Flow Meter) 및 Throttle Valve 적용으로 최적 연소를 위한 흡입 공기량을 제어
- CCV(Crank Case Ventilation) 밸브 적용으로 Blow-by 가스 내 오일을 실린더 블록으로 재유입
- CCRT (DOC+DPF)를 이용한 PM 저감



현재 생산 중인 트랙터를 수출함에 있어, 2012년부터 적용되는 4단계 배기가스 규제 (Interim Tier-4/StageIII/Step3)에 대비하여 신규 엔진 교체가 불가피하다. Tier-3 엔진 대비 가격이 최소 2배에서 3배 상승 예상되며, 전자식 제어 엔진 적용 및 후처리장치의 본기 Application에 상당히 많은 시간과 노력이 소요되므로, 충분한 탑재 개발 기간 확보가 필요하다.

엔진 선정 검토 기준은 다음과 같다.

- 현재 생산중인 M49 트랙터 엔진룸에 탑재 가능한 엔진이어야 하며, 후처리장치 장착이 불가피하므로, 같은 공간 내 엔진과 후처리장치 장착을 하기 위해서는 현재보다 적은 배기량의 엔진이 유리
- 충분한 탑재성 검토 및 시험을 위한 적절한 샘플 엔진 공급 가능 시기
- 2015년부터 적용되는 5단계 배기가스 규제 (Final Tier-4/StageIV/Step4)를 동시에 고려한 레이아웃 설계 및 가능 엔진
- 다양한 Application을 경험한 엔진 메이커

상기와 같은 기준으로 본 과제의 엔진모델로 MHI(社) K42 엔진으로 선정하였으며, 선정 사유는 다음과 같다.

- 당사 요구 출력 (99HP/2400rpm) 대응 가능
- 전자제어, 고압 Common Rail, Cooled EGR, Throttle Valve, CCV Valve 및 후처리장치 등을 이용하여 4단계 배기가스 규제 만족 및 5단계
- 배기가스 대응을 위한 추가적 장치 (SCR) 레이아웃 제시
- 배기량이 3.331L로 최소 엔진룸 변경을 통한 후처리장치 장착 가능
- 샘플 엔진 조기 공급 가능하여 시제품 제작 및 충분한 탑재성 검토, 시험 가능
- 시제품 트랙터 조립 후, ECU 제어 및 후처리장치 Calibration을 위한 Co-Work 가능
- 타사 대비 가격적 측면 가장 저렴
- 다양한 Application (상용차, 건설기계, 농기계) 경험 보유

나. 선진기술 특허조사 및 분석

Tier-4 배기가스 규제를 만족하기 위한 후처리장치 시스템, 즉 세부적으로는 후처리장치의 성능 향상 및 소형화, 후처리장치의 배치 구조 및 엔진룸의 내부 배치구조에 관한 기술의 동향과 특허를 분석함으로써 선진기업의 연구개발 동향 및 핵심특허 현황 등을 파악하여 본 과제에 활용하고자 특허조사를 실시하였다.

<표 1-5> 국가별 분석구간 및 분석대상건수

자료 구분	국 가	전체분석구간	분석대상특허
공개특허 (출원일 기준)	한국	1979 ~ 2009. 7	116
	일본	1976 ~ 2009. 7	318
	유럽	1978 ~ 2009. 7	78
	미국	2001 ~ 2009. 7	138
등록특허 (등록일 기준)	미국	1976 ~ 2009. 7	85
합계			735

본 특허 분석 범위는 2009년 7월 까지 출원 공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개특허 / 2009년 7월까지 출원 등록된 미국등록특허를 분석 대상으로 하였다.

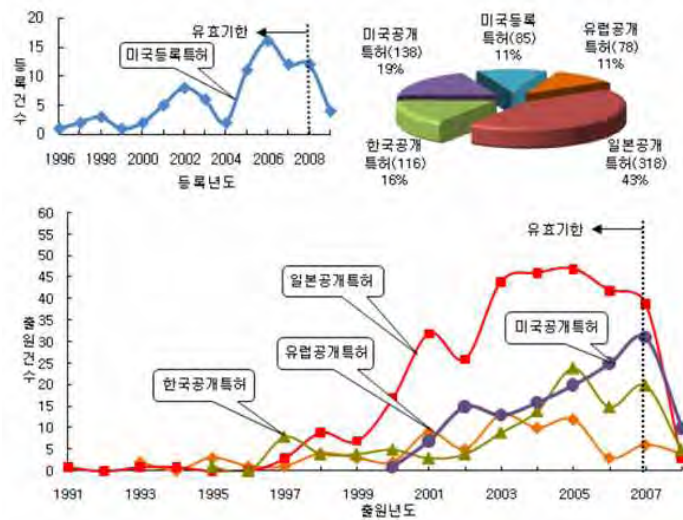
WIPS 데이터베이스를 이용하여 한국공개특허, 일본공개특허, 유럽공개특허, 미국공개특허 및 미국등록특허를 검색하였으며, Tier-4 후처리장치 시스템 개발 기술과 관련하여 농기계로 한정하지 않고 디젤엔진과 중장비 및 자동차에 대해서도 폭넓게 검색하였다. 본 특허 분석에서는 양적인 통계를 의미하는 동향분석과 각 특허가 갖는 기술적인 내용을 의미하는 심층 분석으로 나누었으며, 심층 분석에서는 주요기술 흐름을 농용 트랙터 분야에 한정하여 분석하였다.

<표 1-6> 분석대상 기술분류

대분류	분류기호	중분류	분류기호	검색개요 (기술범위)
후처리장치 팩키징 시스템 개발	A	후처리장치의 성능 향상 및 소형화	AA	엔진에 장착되는 후처리장치의 성능을 향상시켜 후처리장치의 성능 대비 크기를 감소시키는 기술에 관한 것으로써, 후처리장치를 콤팩트하게 구성하여 후처리장치의 설치성 및 설계 편의성을 향상시킴
		후처리장치의 배치 구조	AB	엔진에 후처리장치를 배치하는 기술에 관한 것으로써, 엔진룸과 같은 한정된 공간 내에 후처리장치를 효과적으로 배치시켜 후처리장치로 인한 설치공간의 증대 및 설계 변경의 어려움을 최소화시킴
		엔진룸의 내부 배치 구조	AC	엔진룸의 내부에 배치된 부품들의 배치 구조에 관한 것으로써, 엔진룸의 내부에 부품들을 효과적으로 배치시켜 엔진룸의 공간 활용도를 높일 뿐만 아니라 부품들의 냉각 및 진동 성능을 확보함

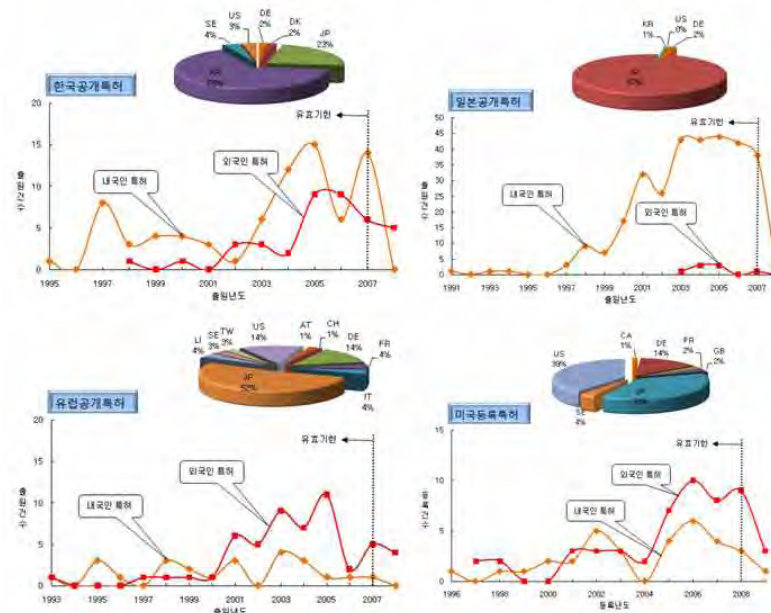
아래 <그림1-2>는 2009년 7월까지 공개된 한국공개특허와 일본공개특허 및 유럽공개특허, 2009년 7월까지 등록된 미국등록특허, 및 2001~2009년 7월에 공개된 미국공개특허를 분석대상으로 하였으며, <그림1-2>를 참조하여 분석대상의 국가별로 특허점유율과 출원 추이를 분석 하였다. 특허점유율을 살펴보면, 일본공개특허가 43%로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 미국공개특허가 19%, 한국공개특허가 16%, 미국등록특허가 11% 및 유럽공개특허가 11%로 나타났다. 2000년 이후 국가별 특허건수가

급격히 증가하는 추세를 보이며, 특허건수로 보면 일본이 가장 두드러지나, 한국을 포함한 타 국가도 동참하고 있는 추세이며, 이는 최근 강화되고 있는 환경규제의 영향에 의한 것으로 판단된다.



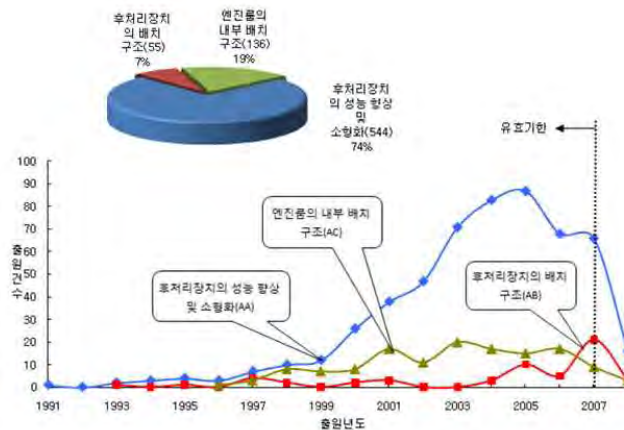
<그림 1-2> 국가별 특허점유율 및 출원 동향

아래 <그림1-3>은 지역별 내/외국인의 출원동향을 나타내고 있다. 일본의 경우, 내국인의 특허점유율이 97%로 외국인의 특허점유율 3%보다 절대적으로 높게 나타났다. 외국인의 특허점유율을 국적별로 살펴보면, 독일 국적의 출원인이 2%로 가장 높고, 그 다음으로 한국 국적의 출원인이 1%, 미국 국적의 출원인이 0.3%로 나타났다. 하지만 외국인의 출원활동은 전반적으로 매우 미흡한 편으로 사료된다. 유럽과 미국의 경우, 외국인의 비율이 각각 69%, 61%로 내국인보다 매우 높으며, 외국인에는 일본이 각각 52%, 38%로 상당한 비율을 차지하고 있다. 상대적으로 환경규제가 강한 유럽과 미국에 일본이 관련 특허를 선점하려는 의도로 파악된다.



<그림 1-3> 지역별 내, 외국인의 특허점유율 및 출원동향

아래 <그림1-4>는 기술 분야별 출원동향을 나타내고 있다. 특허점유율을 살펴보면, 후처리장치의 성능 향상 및 소형화(AA) 기술이 74%로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 엔진룸의 내부 배치구조(AC) 기술이 19%, 후처리장치의 배치구조(AB) 기술이 7%로 나타났다. 즉, 후처리장치 시스템 개발 분야 중에서 후처리장치의 성능 향상 및 소형화 기술이 가장 활발하게 특허 활동을 수행하고 있는 것으로 나타났다.



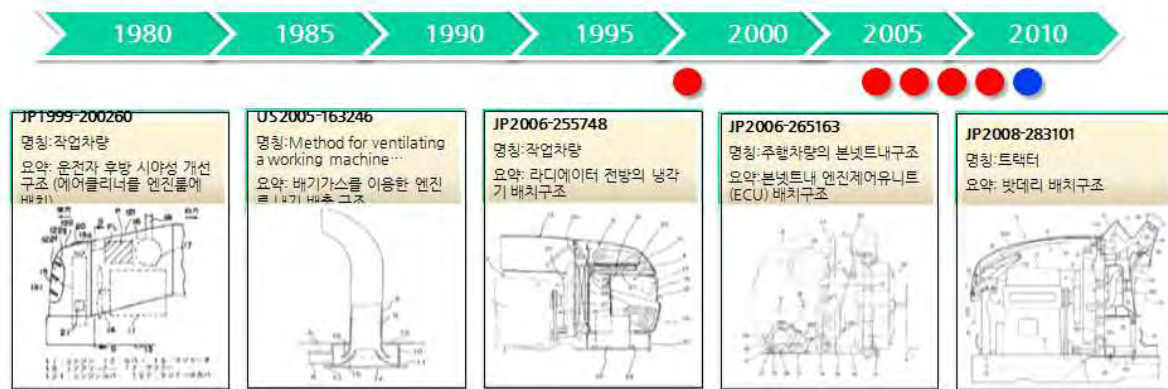
<그림 1-4> 기술 분야별 특허점유율 및 출원동향

특히 출원 동향을 살펴보면, 후처리 장치의 성능 향상 및 소형화(AA) 기술과 후처리장치의 배치구조(AB) 기술 및 엔진룸의 내부 배치 구조(AC) 기술은 2000년 전부터 출원건수가 증가하는 추세이다. 특히, 후처리장치의 성능 향상 및 소형화(AA) 기술의 출원건수는 2000년대부터 매우 큰 증가율을 나타내고 있다. 반면에, 후처리장치의 배치구조(AB) 기술의 출원건수는 2000년대에 들어 약간 증가한 정도이고, 엔진룸의 내부 배치 구조(AC) 기술의 출원건수는 2000년대 중반부터 증가율이 조금 증가되는 것으로 나타났다. 따라서, 후처리 장치 시스템 개발 분야에서는 후처리장치의 성능 향상 및 소형화 기술이 기술 개발을 주도하고 있는 것으로 사료되며, 후처리장치의 배치구조 기술 및 엔진룸의 내부 배치구조 기술은 상대적으로 아직 활성화되지 못한 기술로 판단할 수 있다.

<표 1-7> 출원건수에 따른 상위 주요 출원인

번호	주요출원인	AA	AB	AC	총계
1	HINO MOTORS	56	3	0	59
2	NISSAN MOTOR	38	0	2	40
3	현대자동차	33	4	2	39
4	TOYOTA MOTOR	33	1	1	35
5	SHIN CATERPILLAR MITSUBISHI	0	1	31	32
6	HITACHI CONSTR MACH	2	1	27	30
7	ISUZU MOTORS	27	0	0	27
8	Ford	25	1	0	26
9	MITSUBISHI FUSO TRUCK AND BUS	24	2	0	26
10	KUBOTA	6	0	13	19
11	HONDA MOTOR	9	7	2	18
12	KOMATSU	2	7	5	14
13	MITSUBISHI MOTORS	13	0	1	14
14	DENSO	13	0	0	13
15	NISSAN DIESEL MOTOR	9	4	0	13
16	General Motors	12	0	0	12
17	YANMAR	3	0	7	10
18	ISEKI	0	3	4	7
19	DEERE	1	2	1	4
20	KAWASAKI HEAVY IND	0	3	0	3

위의 <표1-6>은 출원건수에 따른 주요 출원인을 나타내고 있다. 후처리장치 성능향상과 소형화(AA) 관련 특허는 주로 자동차 계열회사에서 독점하고 있으며, 본 과제와 직접적인 관련이 있는 후처리장치 및 엔진룸 배치구조와 관련된 특허는 상대적으로 건수가 적으나, 주로 중장비 업체에서 출원중인 것으로 나타났다.



<그림 1-5> 트랙터분야 주요 기술흐름

후처리장치와 엔진룸 내부 배치구조와 관련된 특허 중, 트랙터의 엔진룸과 관련된 특허만을 분류하여 년도별로 <그림1-5>에 나열하였다. 1999년 운전석 뒤쪽 시야성을 개선하기 위해 엔진룸내 머플러와 에어클리너 배치에 관한 특허(JP1999-200260)가 출원되었고, 2005년 이후 엔진룸내 방열성 및 냉각기 방열성을 증대하기 위한 특허들이 꾸준히 출원되고 있다.

2. 기본 Layout 설계 및 3D Modeling

가. 엔진 Application

(1) 엔진 사양 및 Schematic

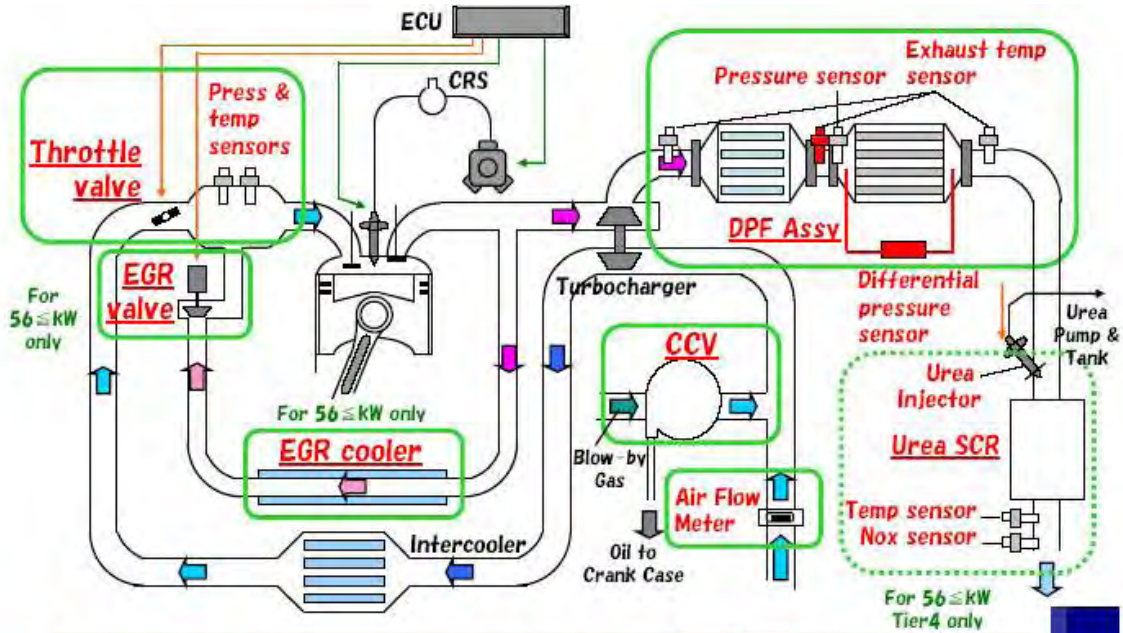
본 과제에 선정된 엔진의 일본 MHI사의 K42모델이며, 기본사양 및 트랙터 탑재용 요구사항은 아래 <표1-7>과 같다. Tier-4 배기가스 규제를 만족하기 위해 기본적으로 CRS(Common Rail System)와 EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 적용하고 있으며, 후처리 장치로는 DPF Assy(DOC+DPF)가 추가된다.

<표 1-8> 엔진 사양표

General specification	
Model Name	K42
Maker	Mitsubishi Heavy Ind.
Type	4 cycle water-cooled, DI type
No. of cylinder	4
Bore x Stroke	94mm x 120 mm
Displacement	3,331 cc
Engine weight (Dry)	App. 360 kgf
Inclination (Continuous)	15°
(Temporary)	25°
Rated Power (Gross)	99HP/2400rpm
Max. Torque	340Nm/1800rpm
Torque Rise	16%
Idling engine speed	950±20rpm
Fuel consumption (W/O fan)	App. 240g/kW-h
Oil consumption	Within 2.7g/kW-h
Emission regulation	Int. Tier-4
After treatment	CCRT (DOC+DPF)
Fuel system	Common Rail System
Lubrication system	Forced lubrication by trochoid gear pump
Cooling system	
Engine water capacity	App. 5.5 liters
Cooling fan	Dia 500mm
Thermostat	Open at 76.5 degC, Full open at 90 degC
Electrical system	
Alternator	12V - 50A
Starting system	Starting motor 12V-2.2kW
Intake and Exhaust system	
Induction Resistance	Max 3.5 kPa
Exhaust Back Pressure	Max 20 kPa

ECU를 이용하여 연료분사량을 전자 제어 하면서, Common Rail을 이용하여 고압 직접 분사, 분사 시기 제어 및 Post Injection을 통해 PM을 저감한다. 또한 연료를 최적화 하고, Cooled EGR을 통해서 NOx를 저감하고 있다. AFM(Air Flow Meter)을 이용하여 흡입 공기량을 감지하고, Throttle.

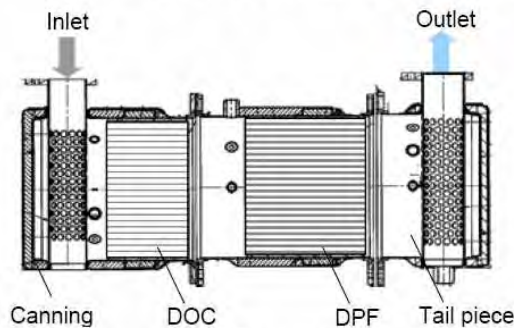
Valve를 이용하여 최적 연소를 위한 효과적인 흡입 공기량을 제어한다. Blow-By 가스내 오일을 실린더 블록으로 재유입 시키기 위해 CCV(Crank Case Ventilation) 밸브를 채용하고 있다. 후처리 장치로 CCRT(DOC+DPF)를 이용하여 PM을 최종으로 저장한다.



<그림 1-6> Engine System Schematic

(2) DPF 사양 및 Installation Guide

후처리 장치인 DPF Assy는 DOC와 DPF로 구성되며, DOC(Diesel Oxidation Catalyst)는 DPF 전방에 배치되어 HC와 CO를 정화하여 NO2를 생성한다. Active 재생모드시 배기가스 온도를 상승시키는 역할을 하게 된다. DPF(Diesel Particulate Filter)는 PM을 필터링하는 기능을 하며 약 90% 이상의 필터링 성능을 가지며, Active 재생모드시 DOC에 의해 가열된 온도에 의해 포집된 PM을 소진함으로써 재생(Regeneration)하게 된다.



<그림 1-7> DPF Assembly

DPF Assy의 기본사양과 탑재 요구사양은 다음과 같다.

<표 1-9> DPF Assy 기본사양

품번	32H98-02663
전체 외관 사이즈	App. D260mm x L585mm x H347
건조중량	App. 29kg
내구 진동레벨	Max 10G
최대 허용 파이프 압력강하	Max 5kPa
DPF assy 압력강하	Max 30kPa
소음레벨 저감율	App. 20dB
HC 정화 성능	63% or higher
PM 정화 성능	90% or higher

DPF의 높은 정화능력을 유지하기 위한 내구성 증대 방안으로 다음과 같은 재생모드를 제시하고 있다.

○ Passive 재생모드

엔진 운전 중, DPF내 soot는 지속적으로 축적되므로, ECU나 운전자의 별도 조작 없이 자동으로 시행되는 재생모드이다.

○ Active 재생모드

ECU는 배기가스온도, DPF 압력저하 그리고, 엔진상태를 실시간 모니터링 한다. 일단 엔진이 워밍업이 된 후, 연료분사량과 흡입공기량을 조절하여 축적된 soot를 효과적으로 재생할 수 있는 적절한 시점을 찾아 배기가스온도를 상승시켜 Active 재생을 시행하게 된다.

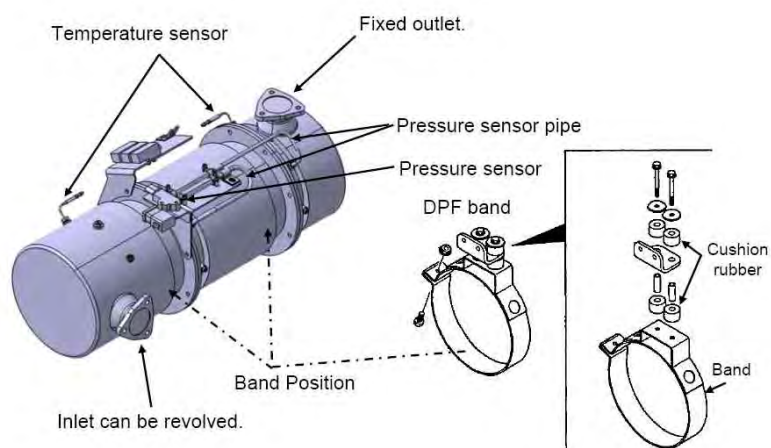
○ Manual 재생모드

일반적인 운전 중에는 DPF내 soot 축적량이 Passive/Active 재생모드를 통해서 초기 셋팅값을 초과하지 않는다. 하지만, 어떤 운전조건에서 soot가 과다하게 축적되면, DPF가 과열로 인한 파손 위험성이 높아지게 됨. 이런 경우, Active 재생을 실시하기 보다는 Manual 재생스위치를 작동시켜 Manual 재생을 시작해야 한다. Manual 재생 시는 DPF status lamp가 깜박이게 된다.

Manual 재생스위치를 작동시키고 나면, 엔진 low rpm에서 부터 Manual 재생이 시작되게 된다. 엔진rpm, 연료분사량 그리고 흡입공기량을 조절하여 배기가스 온도를 상승시켜 축적된 soot를 재생하게 된다. Manual 재생은 약 20분 후 자동 종료된다.

DPF는 기본적으로 엔진 메이커에서 제시하는 다음과 같은 설치 가이드를 만족하도록 설계되어
져야 한다.

<u>Item</u>	<u>Requirements</u>
DPF outlet angle	압력센서 파이프가 고정되고, 응축수용 드레인 플러그가 반대측에 배치되므로, DPF출구파이프는 수직방향으로 고정되어, 변경 불가함.
DPF installation angle	수직방향이 아닌 가로방향 배치만 가능.
DPF position	배기가스 온도강하를 최소화하기 위해 엔진 배기매니폴드에서 가능한 가까운 곳에 설치 필요함. 배기파이프는 Manual 재생모드시 온도강하가 20°C 이하가 되도록 설계 필요.
Pressure drop	DPF 입/출구 파이핑에서 정격운전시 압력강하가 5kPa이하가 되도록 설계 필요.
Flexible tube	엔진출구측과 DPF입구측은 플렉시블 튜브를 사용.
DPF band	40mm 두께 권장
Cushion rubber	DPF 지지용 쿠션고무는 고온내구성을 만족해야 하며, DPF 진동이 10G이하가 되도록 선정되어야 함.
DPF 압력센서/온도센서	모든 센서는 응축수가 닿지 않도록 DPF의 상부에 배치.
DPF 표면온도	재생모드시 DPF 표면온도는 약 300°C 예상
Interspace	센서를 포함한 DPF 조합과 엔진룸내 부품간 거리는 최소 15mm 이상이 되도록 설계 필요
배기가스 온도	약 600°C 이상.

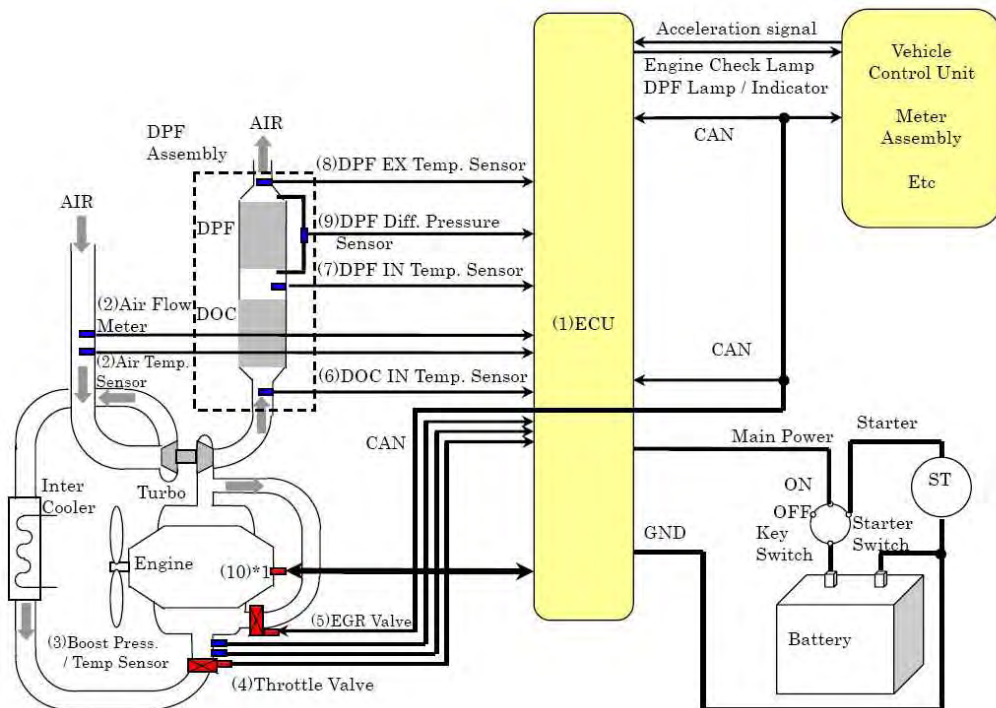


<그림 1-8> DPF Installation Example

(3) ECU 및 센서류 사양

ECU는 연료분사, 엔진 및 트랙터를 제어하기 위해 다음과 같은 기능을 가진다.

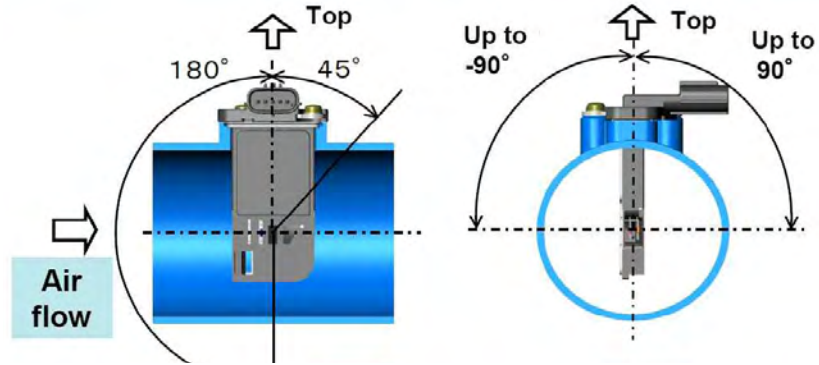
- Injection System : 다양한 분사 패턴을 가지고, Rail 압력을 유연하게 제어할 수 있으며, 인젝터의 성능을 계속해서 모니터링 한다.
- Air Management : 흡입공기와 배기가스 유량을 Feedback 받아 Closed-loop 제어를 하여, EGR밸브와 스로틀 밸브를 직접 제어한다. 또한 흡/배기 공기의 유량은 물론 온도와 압력도 모니터링 한다.
- Particulate and NOx Filters : 후처리 장치의 PM 필터링 성능을 지속적으로 모니터링 하여, 재생(Regeneration) 기능을 제어하고, NOx 레벨을 측정하여, SCR과 같은 추가적인 제어 기능을 수행한다.
- Vehicle functions : 트랙터 제어 컨트롤러와 인터페이스하여, 트랙터의 주행 또는 작업 기능과 연동하여 제어한다.
- System integrity diagnostics : 전체 시스템에 대한 자체 진단 기능은 물론 서비스 툴과 인터페이스가 가능하다.



<그림 1-9> Layout drawing of Engine, ECU and sensors

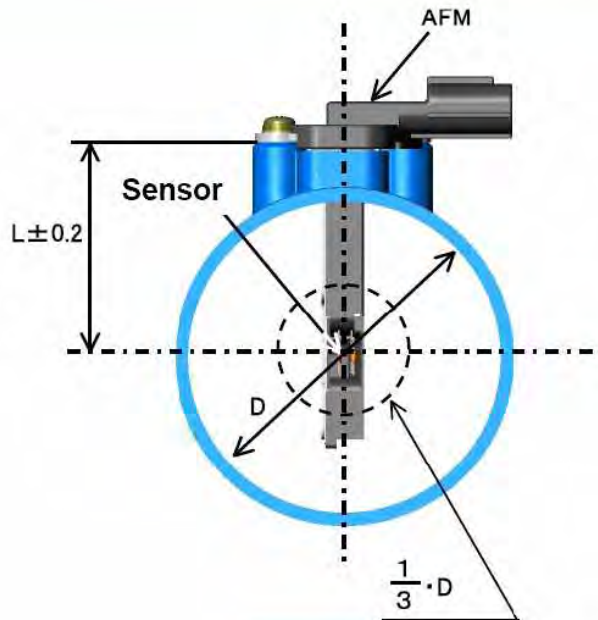
(4) AFM 사양 및 에어클리너와 관계

AFM이 설치되는 파이프의 직경은 엔진의 정격출력과 rpm을 고려하여 결정되어진다.



<그림 1-10> AFM mounting angle on Intake Air Duct

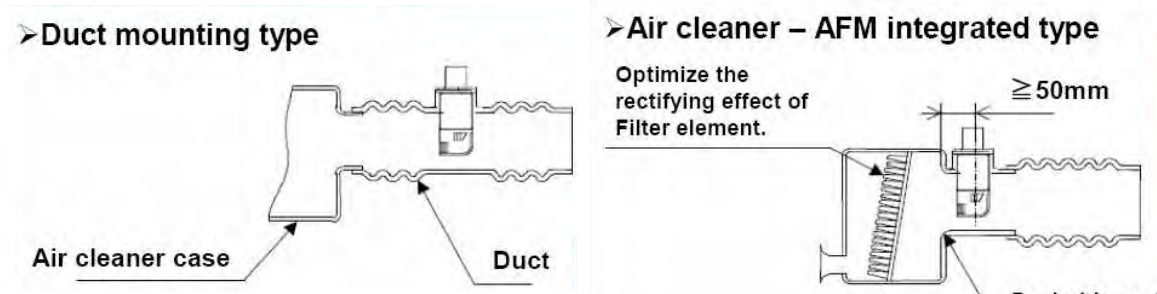
덕트의 직경이 $\Phi 75\text{mm}$ 이하면, AFM 조립면에서 덕트 중심까지의 거리는 47.8mm로 한다. 그리고 덕트 직경이 $\Phi 70\text{mm}$ 이상이면, AFM 센서부가 덕트 직경의 $\frac{1}{3}$ 이내에 들어오도록 설치한다.



<그림 1-11> Height of AFM mounted on Duct

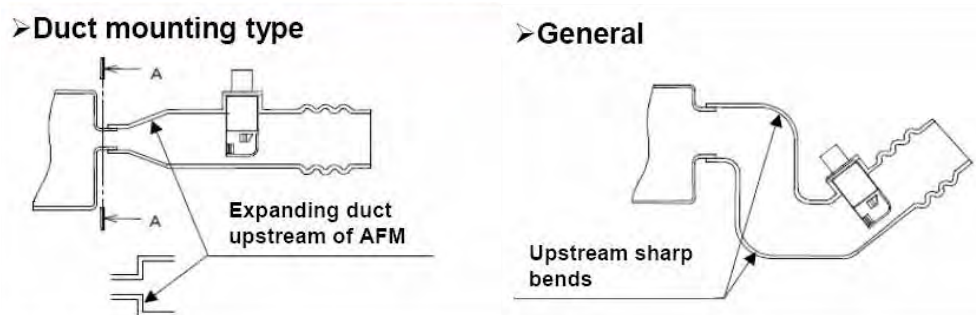
에어클리너와의 관계에 있어서, 아래 <그림1-12>와 같이 Duct 고정형 타입(Duct mounting type)과 AFM 일체형 타입(AFM integrated type)이 있다. 기본적으로 straight 덕트가 가장 바람직하며, 공기유량을 정확하게 측정하기 위해 내측면도 평평하게 유지되도록 해야 한다. AFM integrated 타입에 있어서, 덕트 입구측과 AFM 중심까지 최소 50mm 이상이 되도록 설치하며, 덕트 입구측은 최소 R5 또는 C5 이상이 되도록 설계한다. 에어클리너 필터를 통과한 흡입공기 유량이 왜곡되지 않도록

록 AFM을 통과하는 공기유량이 균일할 수 있도록 설계시 고려되어야 한다.



<그림 1-12> Air cleaner and Duct profile - Recommended examples

<그림1-13>은 잘못된 덕트 설치예를 보여주고 있다. 기본적으로 에어클리너와 덕트연결부에 확장형 덕트를 사용해서는 안 되며, AFM 입구측 예리부는 separation vortex를 야기할 수 있으므로 사용하지 말아야 한다. 가능한 AFM을 통과한 유량이 CCV나 EGR로 향하도록 배치하는 것이 유리하다.



<그림 1-13> Air cleaner and Duct profile - Unrecommended examples

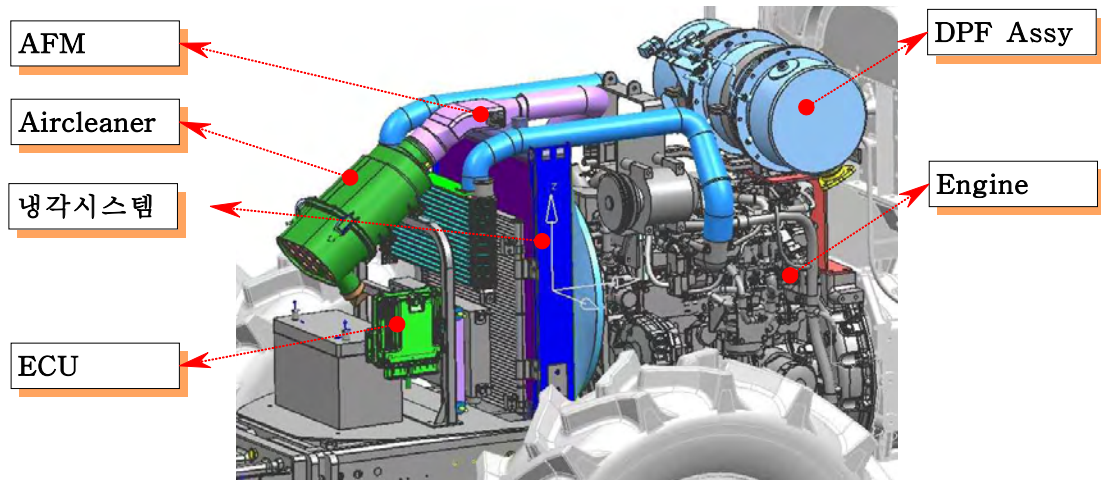
나. 후처리장치 배치 및 엔진룸 최적설계

본 과제에의 트랙터 전체 모델은 아래 <그림1-14>와 같다. 2012년 이후 시행되는 Tier-4 배기가스 규제를 만족하기 위해 본 과제에 선정된 엔진은 후처리장치인 DPF Assy를 장착하여야 하며, DPF가 기본적으로 기존의 머플러를 대신하기는 하지만 기존 머플러 대비 Volume이 3배 이상이어서 기존의 본넷트 내에 탑재하기가 어려워, 본넷트 신규개발이 불가피하다.



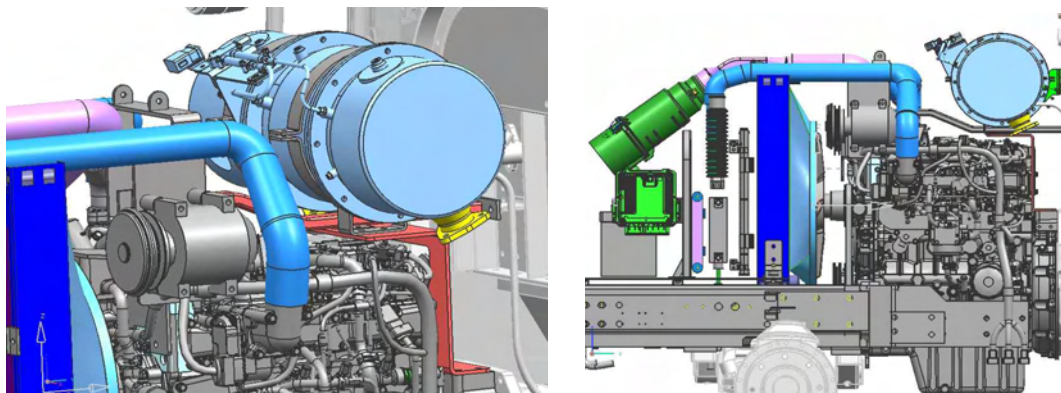
<그림 1-14> 과제 트랙터 전체 모델

또한 Tier-3대비 Tier-4 엔진의 경우, 다음과 같은 측면 때문에 증대된 방열성능을 가진 냉각시스템이 요구된다. 첫째, 기존의 머플러에 해당하는 DPF가 상대적으로 Volume이 증대되었고, 고온의 재생모드시 발생하는 DPF로부터의 발열로 인해 엔진룸내의 방열조건은 더욱 악화될 것으로 예상된다. 둘째, 배기가스재순환(EGR)을 위한 배기가스 냉각용 EGR cooler가 추가되어 라디에이터 방열량(Heat radiation)이 그만큼 증대되지 않으면 엔진 방열성에 영향을 미치게 된다. 셋째, 엔진출력 증대뿐만 아니라 배기가스 개선을 위한 인터쿨러가 기본사양이 되어, 본넷트 앞그릴을 통과한 흡입공기가 높은 온도의 인터쿨러를 통과한 후 라디에이터로 오게 되므로, 라디에이터의 방열성능은 그만큼 낮아지게 된다. 이에 따라 과거 시야성과 방열성능에 중점을 두고 엔진룸을 설계하였다면, 향후는 증대된 방열량을 만족하기 위해 고효율, 최적의 냉각시스템 패키지를 구성해야 함은 물론, 후처리 장치인 DPF 및 엔진의 각종 센서와 ECU가 안정적으로 작동하기 위한 DPF의 진동 및 엔진룸 내의 온도 등을 동시에 고려하는 엔진 매칭기술이 필요하게 되었다.



<그림 1-15> 엔진룸 내부 배치구조

농용트랙터의 엔진룸은 본넷트 내부에 위치하게 되고, 엔진을 포함한 DPF, 냉각시스템, 에어클리너, 배터리 등이 모두 포함된다. 본 과제 트랙터에 해당 Tier-4 엔진을 탑재하고, 후처리 장치를 배치한 엔진룸 Layout은 <그림1-15>와 같다. 각종 지지브라켓과 연결파이프는 현재 설계 중에 있으며, 1차년도 완료시점인 2010년 6월경 시제품 조립 완료 예정이다.

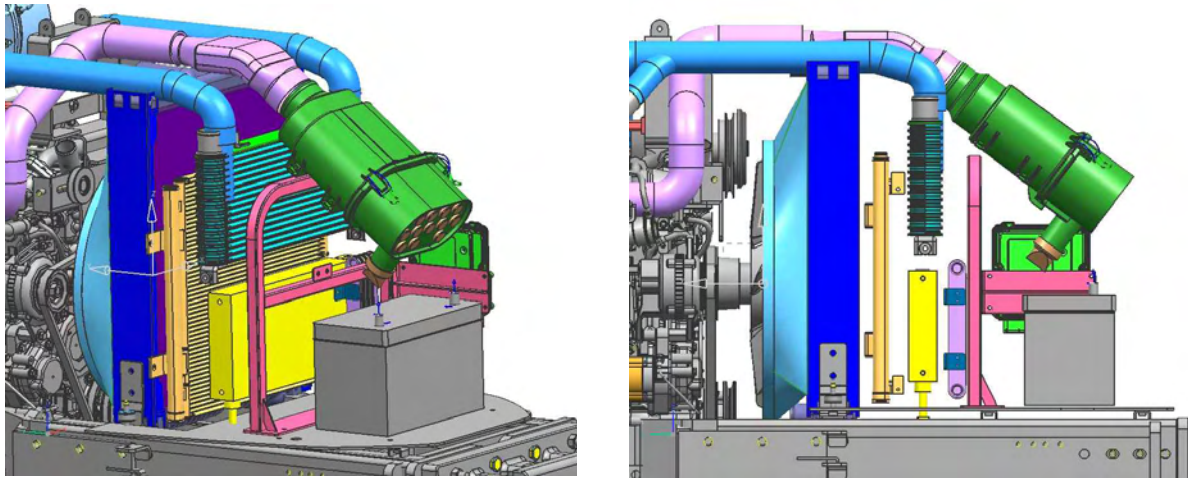


<그림 1-16> DPF 배치구조

DPF Assy는 총 중량 29kg으로 상당히 무겁기 때문에, DPF Assy고정용 브래킷은 엔진의 고진동을 견디기 위해서는 충분한 강성을 확보해야 하며, 또한 엔진 메이커에서는 DPF 자체 진동이 10G이하가 되도록 DPF Assy와 고정용 브래킷 사이 방진고무를 적용할 것을 추천하고 있다. 이에 대한 방안으로 기본 지지마운트가 충분한 강성을 확보할 수 있도록 충분한 두께의 주물(Cast Iron) 소재를 사용하거나, SC계열의 Steel 소재를 사용할 경우는 전방부의 콤프레셔 지지브라켓 또는 후방부의 프레임조합에 연결하여 보강하는 방안으로 설계 중에 있다.

Tier-4 엔진의 방열량을 만족하기 위해 본 과제에서는 냉각시스템을 패키지 개발 추진 중에 있으며, 패키지에는 라디에이터, 콘덴서, 인터쿨러, 미션오일쿨러, 연료쿨러가 포함된다. 패키지 개발 목적은 제한된 본넷트 내부에 설치되는 냉각시스템의 전체 크기를 콤팩트화 하고, 각 쿨러의 열부하를 동

일한 개발업체에서 충분히 검토하여 시스템의 방열 효율성을 최적화 함과 동시에, 트랙터 생산시 냉각시스템 전체를 서브 조립된 채 공급받음으로써, 양산성 및 원가 경쟁력을 확보할 수 있기 때문이다.



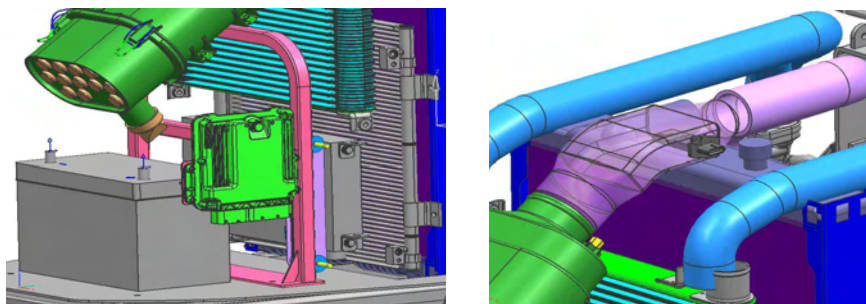
<그림 1-17> 냉각시스템 패키지 배치구조

본 과제에서 요구하는 냉각시스템의 Target 성능은 다음과 같다.

<표 1-10> 냉각시스템 요구조건

냉각시스템	항목	단위	Target	비고
라디에이터	방열량	kcal/hr	56,000	
	입구온도	℃	110	허용 최대 냉각수 온도
인터쿨러	방열량	kcal/hr	13,000	
	입구온도	℃	165	허용 최대온도, (외기 25℃기준)
	출구온도	℃	55	
콘덴서	방열량	kcal/hr	8,500	
밋선오일쿨러	방열량	kcal/hr	3,000	
	허용 입구온도	℃	100	최대 안정온도
연료쿨러	출구온도	℃	80	최대 허용 엔진 입구 온도

ECU와 AFM은 엔진 메이커의 요구사항에 부합하도록 <그림1-18>과 같이 배치하였다.

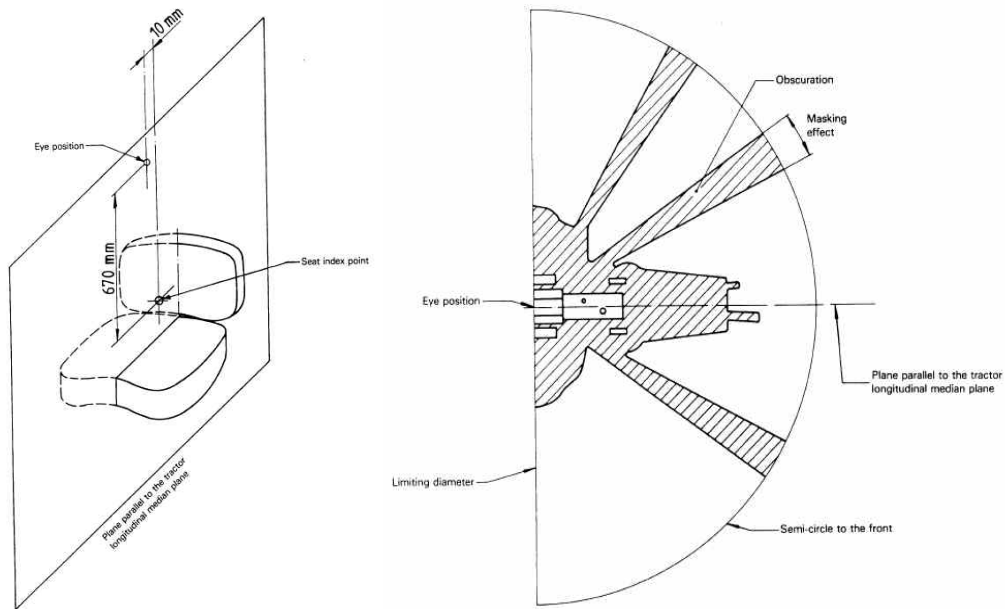


<그림 1-18> ECU와 AFM 배치구조

다. 캐빈설계

(1) 시야성, 운전석 공간 및 작업자 편의성 관계

운전자 시야성과 관련하여, 농업용 트랙터의 운전자 시야 영역 측정방법은 ISO 5721에서 제시하고 있다. 시야는 전방/후방/상방을 기준으로 측정하며, 눈에 해당하는 광원은 ISO 5353에서 규정하고 있는 좌석기준점(SIP, Seat Index Point)에서 위로 670mm, 앞으로 10mm인 곳에 설치한다.

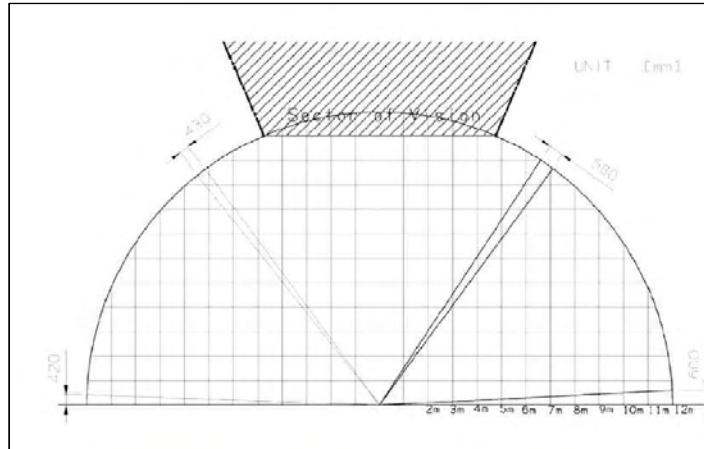


<그림 1-19> Semi-circle of vision to the front, ISO 5721

유럽 법규인 74/347/EEC는 ISO 5721과 유사한 운전자 시야영역 측정방법을 제시하는 동시에, 시야영역에 생기는 그림자(Masking effect)에 대해서도 다음과 같이 제한하고 있다.

- Semi-circle of vision 내 그림자의 폭은 700mm 이내여야 한다.
- Semi-circle of vision 내 6개 이하의 그림자만 허용한다.
- Sector of vision 내 2개 이하의 그림자만 허용한다.
- 폭이 80mm 이상의 Component에 의해 생긴 그림자의 center 사이의 거리는 최소 2,200mm 이상이어야 한다.
- 폭이 700mm 이상의 그림자가 생길 경우, 직경 24m인 원의 수직센터를 기준으로 양방향에 각각 2개의 그림자 허용한다. 단, 두 개 중 하나는 700mm이하, 다른 하나는 1,500mm 이하이어야 하며, 두 개 모두 1,200mm를 넘어서는 안 된다.
- 전방 와이퍼는 분당 20회 이상 작동하여야 하며, Sector of vision내에서 Semi-circle of vision 선상의 그림자가 없는 폭이 최소 8m 이상이 되어야 한다.

금차 본넷트 및 캐빈 개발시, 상기 관련 법규를 만족할 수 있도록 설계 추진 중에 있다.



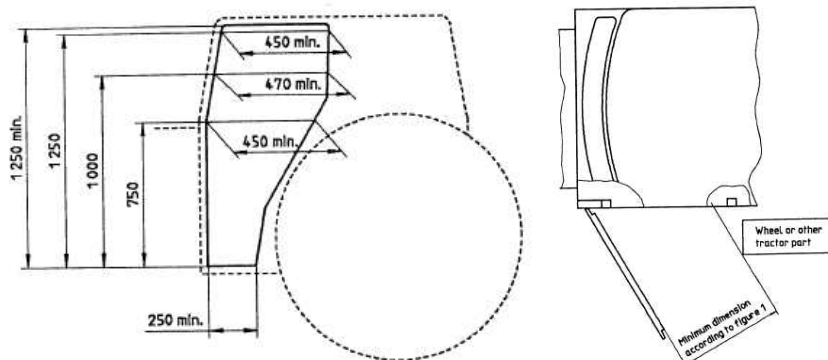
<그림 1-20> 트랙터 시야성 측정결과, 74/347/EEC

작업자가 안전하고 편안하게 작업하기 위한 캐빈내 작업공간과 조작부는 다음과 같이 국제법규에서 규정하고 있다.

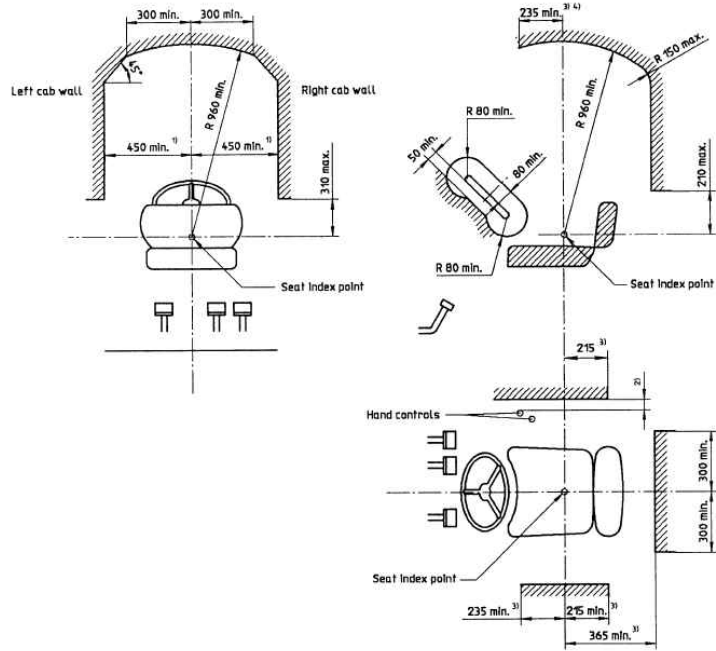
<표 1-11> 캐빈내 작업공간과 조작부관련 국제 법규

해당법규	주요 항목	해당 부품
ISO 4252	<ul style="list-style-type: none"> 출입문 최소치수 비상출구 위치/개수 캐빈 작업공간내 여유 	좌/우 출입문 뒷유리
ISO 4253	<ul style="list-style-type: none"> 핸들과 각종 페달까지 거리 	조향 핸들 클러치/브레이크/가속페달
ISO 6682	<ul style="list-style-type: none"> 조작부(레버/페달/스위치)의 Comfort Zone정의 	변속레버/각종 스위치 로더/복동밸브 조작레버
ISO 12508	<ul style="list-style-type: none"> 작업 및 정비공간의 예리부 규정 	각종 부품의 예리부

<그림1-22>와 <그림1-23>에서는 ISO 4252에서는 출입문의 높이별 최소치수와 SIP(좌석기준점)을 기준으로 상방/측면/후방으로 캐빈 내 최소치수를 제시하고 있다.

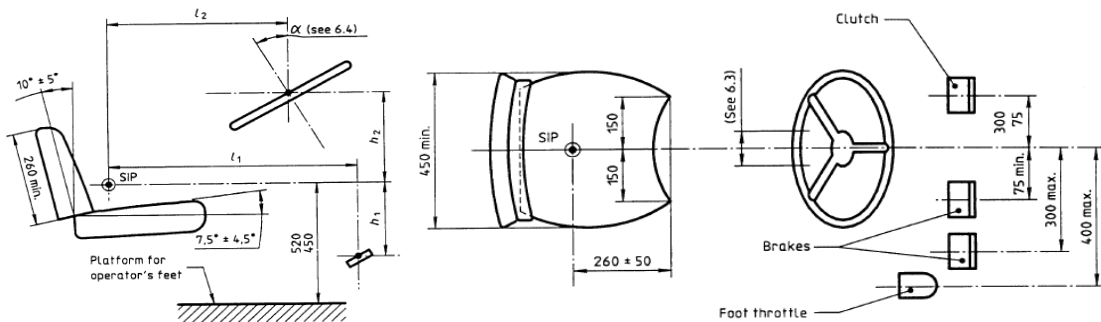


<그림 1-21> 출입문 최소 치수

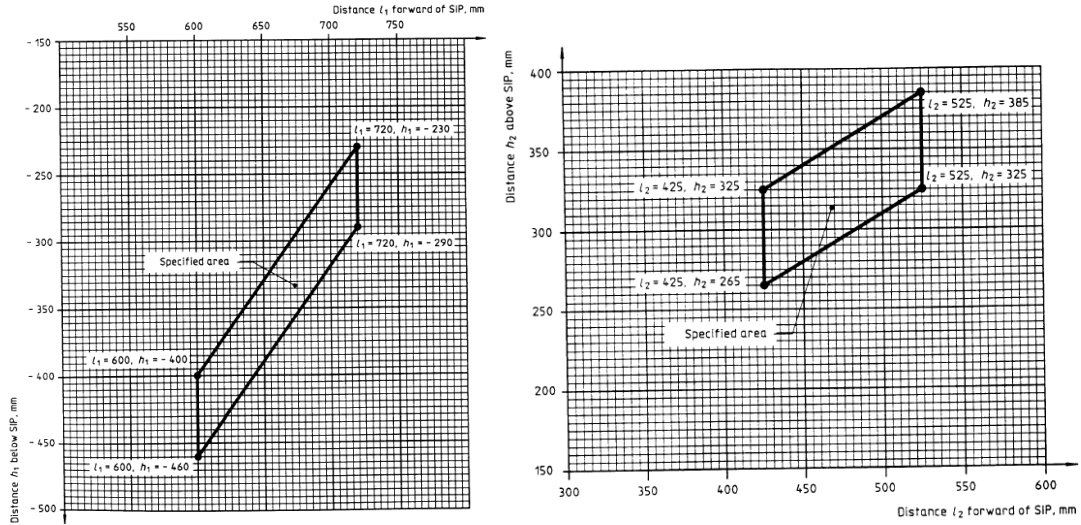


<그림 1-22> 캐빈내 최소 여유치수

ISO 4253에서는 페달의 배치순서를 규정하고 있는데, 운전자 착석기준에서 좌측에서부터 클러치페달, 브레이크페달 그리고, 조속페달 순으로 배치할 것을 제시하고 있다. 아래 <그림1-24>는 페달과 조향핸들의 위치 및 조향핸들의 회전각($0 \leq \alpha \leq 40^\circ$) 기준도 제시하고 있음.

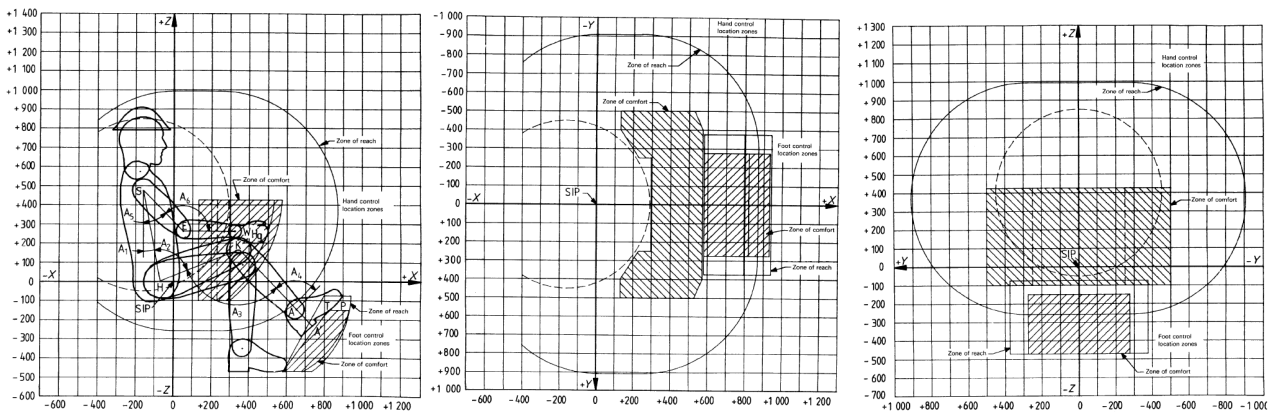


<그림 1-23> SIP기준 페달 및 조향핸들 거리 기준



<그림 1-24> SIP기준 페달 및 조향핸들 위치 허용범위

ISO 6682에서는 운전자가 착석한 자세에서 운전자 사이즈를 고려하여, 운전자가 조작부(레버, 페달, 스위치) 조작 시 편안함을 느낄 수 있는 Comfort Zone을 명확히 정의하고 있다. 조작부도 조작 횟수와 기능에 따라 기본조작부와 부가조작부로 구분하여, 기본조작부는 Comfort Zone에 포함되어야 하며, 부가조작부는 Reach Zone에 포함될 수 있도록 권장하고 있다. 기본조작부에는 변속레버, 브레이크페달, 조향핸들, 조속레버/페달, 로더밸브 조작레버, 복동밸브 조작레버 등이 포함되며, 부가조작부에는 램프스위치, 와이퍼스위치, 시동스위치, HVAC 스위치 등이 포함된다.



<그림 1-25> 변속 및 작업기 조작레버까지의 거리 - Comfort/Reach Zone

ISO 12508에서는 운전자의 상해를 예방코져 정비공간 및 주요 작업공간인 캐빈내부 공간에서의 모든 모서리와 부품 예리부의 최소사양 또한 규정하고 있다. 모든 부품의 예리부는 최소 R0.3mm 또는 C0.3mm이하이거나, 예리부에 보호용 커버 부착을 권장하고 있다. 또한 캐빈 내부 또는 출입문 등 돌출된 모서리는 최소 R4mm 이상이어야 하고, 조작핸들의 모서리 부는 최소 R5mm 이상을 제시하고 있다.

3. 본넷트 디자인

본 과제에서는 신규 엔진과 후처리 장치가 탑재 가능하도록 전조등을 포함한 본넷트를 신규 디자인 하고, 신규 본넷트에 어울리는 웬더와 후미등을 같이 개발 추진하기로 하였다. 트랙터 외관에 있어 개발 범위는 아래 그림과 같다.



<그림 1-26> 디자인 범위

디자인 컨셉으로는 "Unique", "Deluxe", "Powerful"로, 각 컨셉은 다음과 같은 의미를 지닌다.

- Unique - 기존모델, 타사와 차별되면서도 새로운 이미지 유도
- Deluxe - Line-up상에서도 조화가 될 수 있는 고급스러움 추구
- Powerful - 디자인 트렌드를 반영하면서 역동적이고 힘찬 이미지

디자인 추진 결과는 다음과 같다.

① 1차 Idea Sketch 공청회 (30개안) - 2009/09/30



② 2차 Idea Sketch 공청회 결과 (4개안) - 2009/10/19



③ 렌더링 공청회 (2개안) - 2009/11/04



④ 3D CAS 모델링 공청회 - 2009/12/21



⑤ MOCK-UP 공청회 - 2010/01/29



4. 시제품 개발추진

(1) 시제품 사양

<표 1-12> 시제품 사양

구분		시제품 사양
트랙터 기종명 (가칭)		DX100-T4
엔진	모델명	MHI K42
	정격출력/rpm	99HP/2400rpm
	최대토크/rpm	340Nm/1800rpm
	배기가스 규제	Int. Tier-4
	토크라이즈	16%
밋선부	서틀변속	기계식
	주x부변속	16 x 16
유압부	3pt 전자유압제어	미적용
	3rd 외부유압밸브	옵션
	보조램실린더	옵션

(2) 시제품 추진일정

① Layout 및 상세 부품설계 : 2010/03월

② 시제품 조립 (4대) : 2010/6월

(3) 시제품 시험항목

① 엔진탑재평가지험

- 방열성, 배압, 부압시험 등
- 냉시동성, White smoke
- 응답성

② 커먼레일 시스템(CRS)

③ ECU

- Signal condition
- Fail safe function

④ DPF

- Manual Regeneration
- Temperature (Inlet at DOC and DPF, Outlet of DPF)
- Soot accumulation condition
- Ash accumulation condition
- Vibration and Shock force

⑤ Field Test

- Tractor Calibration
- DPF Regen Calibration

5. 엔진룸 최적설계 및 제작

가. Tier-4 엔진장착에 필요한 엔진룸 최적설계 및 제작

(1) 본넷트 설계 및 제작

(가) 본넷트 설계

본넷트는 트랙터의 이미지를 강조할 뿐만 아니라, 외부로부터의 물리적, 화학적인 영향으로부터 엔진룸을 보호하며, 기대의 방열성에도 크게 영향을 주는 매우 중요한 설계 포인트 중 하나이다. 본 과제에서는 이러한 본넷트의 특성을 만족시키기 위하여 물리적, 화학적 특성과 내열성 및 성형성이 뛰어난 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)수지 70%와 PC(Polycarbonate)수지 30%를 합성한 재료로 성형을 하였다.



<그림 1-27> 본넷트 3D Modeling

3D modeling을 이용하여, 엔진룸에 배치된 Tier-4 엔진, 냉각시스템 등이 매우 안정적으로 매칭시킬 수 있도록 공간 및 방열성 향상을 위해 원활한 Airflow 통로 역할을 하는 좌우 사이드 및 전면에 그릴 영역을 충분히 확보하여 설계를 하였다. 또한 운전자 시야성을 확보하기 위해 유럽 법규인 74/347/EEC 기준을 고려하여 설계하였다.

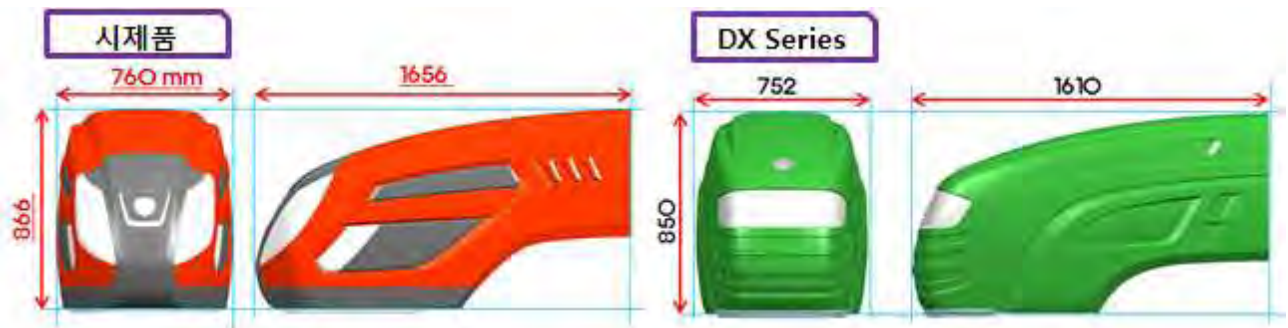
과제에 선정된 엔진은 후처리장치인 DPF Assy를 장착하여야 하며, DPF가 기본적으로 기존의 머플러를 대신하기는 하지만 기존 머플러 대비 Volume이 3배 이상이며, 고온의 재생모드 시 발생되는 DPF로부터의 발열로 인해 엔진룸내의 방열조건은 더욱 악화되고 배기가스재순환(EGR)을 위

한 배기가스 냉각용 EGR cooler가 추가되어 본넷트의 사이즈는 상대적으로 불가피하게 커질 수밖에 없다. 본 시제품 트랙터는 대동공업의 주력 기종인 DX series 을 기반으로 제작되었다.



<그림 2-28> 신규개발 본넷트와 DX series 본넷트 비교

<그림 1-2>는 Tier-4 엔진이 탑재된 시제품 트랙터 신규개발 본넷트와 DX series 본넷트 적용하여 비교한 것이다. 기존의 DX series 본넷트를 적용 시 DPF와 Aircleaner에 간섭이 발생한다.



<그림 1-29> 신규개발 본넷트와 DX series 본넷트 사이즈 비교

<그림 1-29>은 신규 개발한 본넷트와 DX series 본넷트 사이즈를 비교한 것이다. 엔진룸의 내부 구성의 Volume이 커짐에 따라 본넷트의 크기(길이46mm, 폭8mm, 높이16mm)증대되었으며, DPF 고온의 재생모드 시 발생하는 열을 최소한으로 방열시키기 위해 DX Series보다 그릴의 영역을 증대하여 설계하였다.

(나) 시제품 본넷트 제작

엔진룸과의 간섭, 방열성 및 보완점을 체크하기 위해 시제품 본넷트를 제작하여, 시제품 트랙터에 적용하였다. 3D Modeling을 기초로 제작되었으며, 전장품 및 기타 부수적인 부품을 제외하였다. 하지만 가장 중요 포인트 인 엔진룸에 최적화 된 공간 및 방열성을 위해 그릴 영역 및 위치는 3D Modeling과 동일하게 제작되었다.

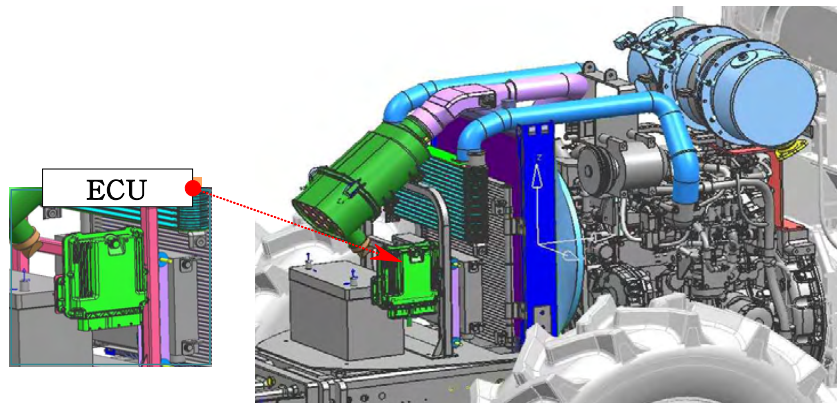


<그림 1-30> 시제품 본넷트

<그림1-30>는 시제품 본넷트로써 시제품 트랙터 4대에 모두 적용되었으며, 이 기대를 통하여 각종 시험 및 설계검토를 하였다. 현재는 2차 시제품에 적용하여 양산시 발생하는 조립성 및 외관품질에 대한 검증 및 평가를 위하여 본넷트 및 웬더부 그리고 전조등 후미등 등을 개발 중에 있다.

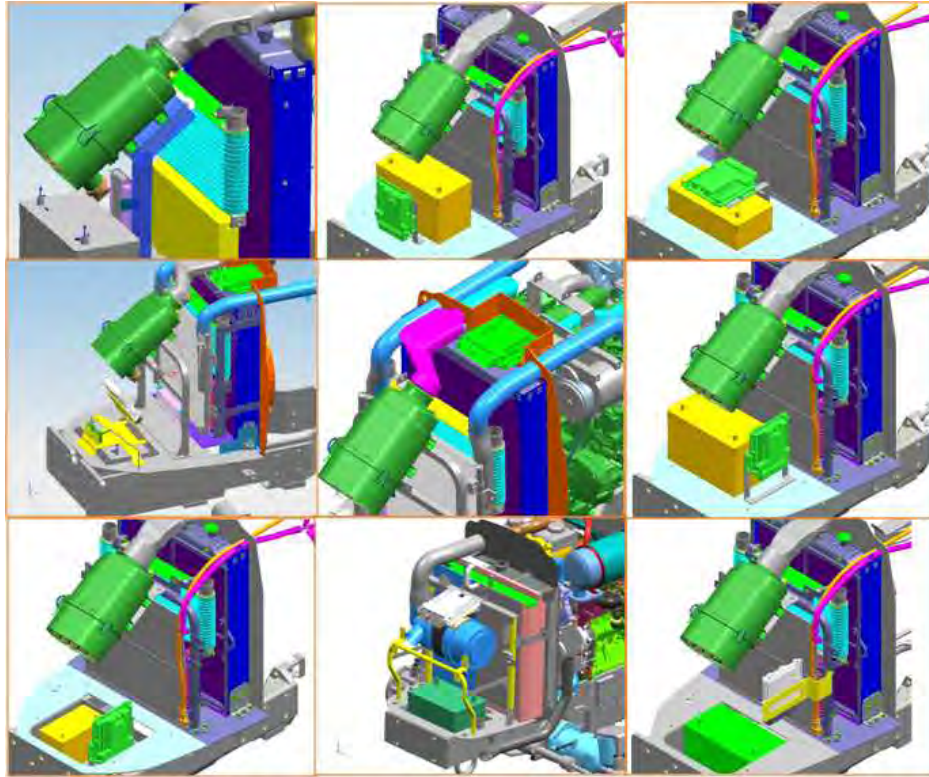
(2) ECU 최적위치 및 어플리케이션 사양

(가) 엔진 제어 유닛(ECU) 위치 설계



<그림 1-31> 3D Modeling ECU 배치구조

<그림 1-31>는 3D Modeling으로 ECU의 위치를 선정한 것을 나타낸 것이다. ECU은 민감한 제어장치로써, Tier-4 system의 핵심 부품 중에 하나이다. 본 과제에서는 열과, 진동 조건을 고려하여, 다양한 ECU layout을 설정 및 검토하였으며, ECU에 대한 배치구조관련 특허를 7건 출원하였다. <그림 1-32>은 출원된 ECU 배치구조를 보여준다. ECU의 위치는 엔진의 열과 진동에 가장 안전한 위치로 엔진룸 전면부로 설정하였다. 엔진룸의 전면부는 대략 8m/s의 풍속이 있어, ECU의 cooling 효과가 발생할 뿐만 아니라, 엔진으로부터의 직접적인 열적 영향도 최소화 할 수 있다. 그리고 전면부는 구조적으로 전달되는 엔진진동에 둔감한 곳이기 때문에, ECU 특허의 대부분이 엔진룸 전면부에 ECU가 위치하고 있다.



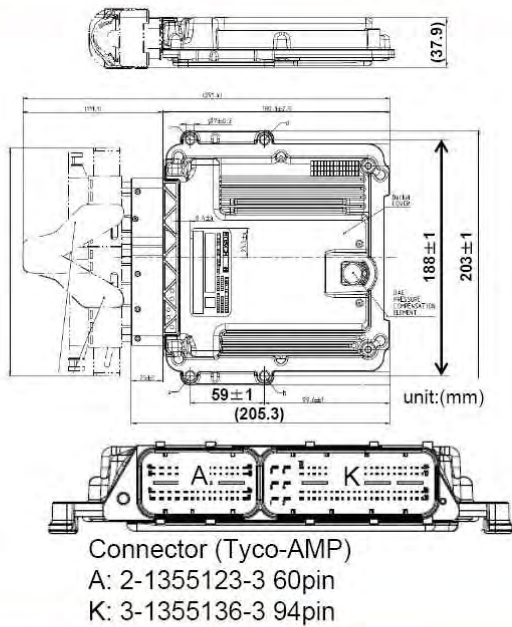
<그림 1-32> 특허 출원된 ECU배치구조



<그림 1-33> 시제품에 장착된 ECU 배치위치

현재는 <그림 1-33>과 같이 ECU를 장착하였다. Cooling system의 풍속에 의한 효율성을 높이기 위해, ECU를 Cooling system의 가장자리에 위치하였으며, 진동의 영향을 줄이기 위해 엔진부와 직접으로 연결된 파트에 장착한 것이 아니라, 라디에이터 지지대에 부착함으로써, 엔진과의 직접적인 접촉을 피하였다. 하지만 시제품을 통해 약간의 진동이 발생하여, 차후에 제작될 시제품에 이를 개선하여 적용할 예정이다.

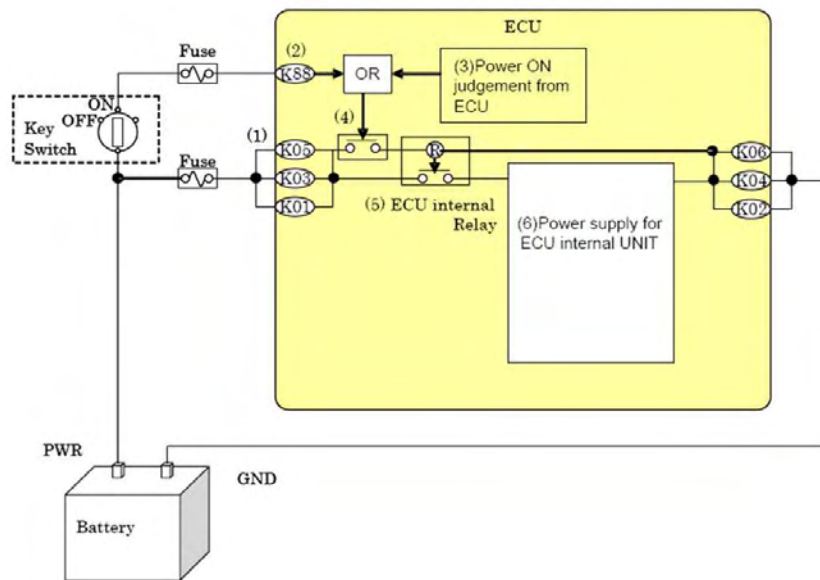
(나) ECU 부품 사양.(SPECIFICATION)



ECU Type : EDC17CV54
 Weight : 850g
 Supply Voltage : DC12V or DC24V
 Consumption : Approx. 40W
 Mounting : On Chassis
 (Not on Engine)

<그림 2-34> ECU 사양도

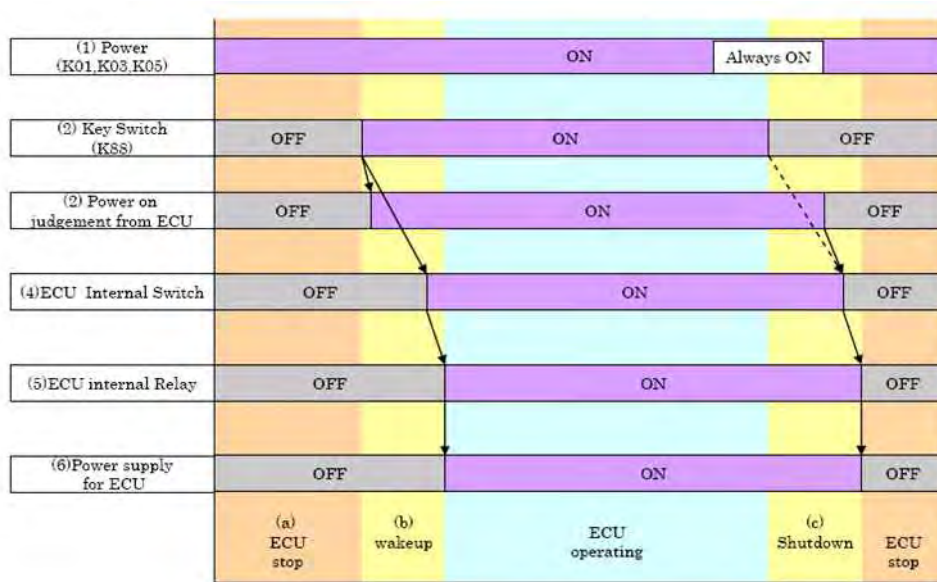
(다) ECU 전원 공급 레이아웃



<그림 1-35> ECU 레이아웃

<그림 1-35>과 같이 ECU는 배터리에서 B+,시동스위치에 의한 KEY"ON" 전원등 두 가지 동시에 연결 구성되어 있으며 시동스위치 KEY"ON"시 퓨즈를 거쳐 K88회로에 따라 ECU 내부에서 전원 신호의 입력을 판단하여 B+전원으로 연결된 K05, K03, K01회로 전원을 릴레이를 통하여 ECU에 내부전원을 구동 하고 있다. ECU는 노이즈와 예상치 않은 대전류의 위험으로부터 새시 접지를 사용하지 않으며 항상 배터리 접지회로를 구성해야 한다.

(라) ECU 전원 동작 시퀀스



<그림 1-36> ECU 전원 동작 시퀀스

숫자(1)~(6)은 <그림 1-36>에 대응하여 ECU 전원라인의 절차를 나타낸다.

○ ECU 정지 (ECU STOP)

<그림 1-36>에서 ECU 전원라인(1) K01, K03, K05는 전원은 연결되어 있지만 전원은 공급되지 않는다. 왜냐하면 K88회로와 구성된 시동스위치(2)가 "ON" 상태에 위치하지 않기 때문이다. 이것은 전원라인 K01, K03, K05회로는 시동스위치가(2) "ON"에 위치해야만 ECU 내부유닛(6)이 전원이 공급되는 것으로 판단하기 때문이다.

○ ECU 동작(WAKE UP)

시동스위치(2)가 "ON"으로 동작될 경우 시동스위치(2) K88 회로는 ECU 내부스위치(4)를 "ON" 시켜 ECU 내부릴레이(5)를 구동 하게 하여 ECU 내부유닛(6)을 동작하게 한다. 이것은 ECU 내부에 전원을 공급하는 것을 의미한다.

○ ECU 동작정지(SHUTDOWN)

시동스위치가 다시 "OFF"로 동작할 경우 ECU 내부스위치(4)는 "ON" 상태로 ECU가 엔진의 동작 프로세스를 기억하는 절차를 완전히 끝내기 전까지 ECU내부유닛(6)의 전원을 "OFF" 시키지 않는다. ECU의 내부 프로세서가 완료 되게 되면 ECU 내부스위치(4)는 "OFF" 상태로 변경되어 ECU이 전체전원을 "OFF" 시키는 동작을 진행한다.

(마) 엔진 제어 유닛(ECU) 부품의 제약조건

- 세척 시 수압에 의해 직접적으로 물리적 영향을 받거나, 습기가 발생하는 곳에 장착해서는 안 된다.
- 환기가 잘되고, 직사광선에 노출되는 않는 곳에 장착해야 한다.
- ECU의 단자는 물고임에 부식이 발생할 수 있으므로, 커넥터가 하단으로 놓이게 장착해야 한다.
- 바닷가 근처에서 사용하는 경우, 엔진제어유닛(ECU)을 보호할 수 있는 커버를 설치해야한다.
- 엔진제어유닛(ECU) 전원 공급용 와이어의 총 길이는 5M 이내이어야 한다. 퓨즈에서 => 메인 릴레이 => ECU까지의 (+)선 전체의 길이와 접지위치에서부터 ECU 접지선의 길이를 모두 더한 길이이다.
- 기타 사항
 - 정격전압 : 12V
 - 동작온도 : -30 ~ 80℃
 - 최저 동작 전압 :6.0V
 - 방수 조건 : S2 조건 이상.

(3) WIRE-HARNESS

(가) WIRE-HARNESS 3D 경로선정

와이어 하네스는 3D 소프트웨어를 사용하여 만든 3차원 제품 모델 내에서 설계된다. 이러한 3차원 모델링 접근 방식은 정확한 설계 및 어셈블리 데이터를 보장하고, 실제 프로토타입 제작하여 경로 및 길이의 오류를 확인하는 절차를 줄이거나 없애 준다. 설계자는 케이블과 와이어를 대화식 및 자동으로 하네스에 라우팅하고, 클리어런스를 확인하고, 와이어 및 케이블 길이를 결정하고, 번들 지름을 계산하고, 제조 문서를 작성할 수 있다.



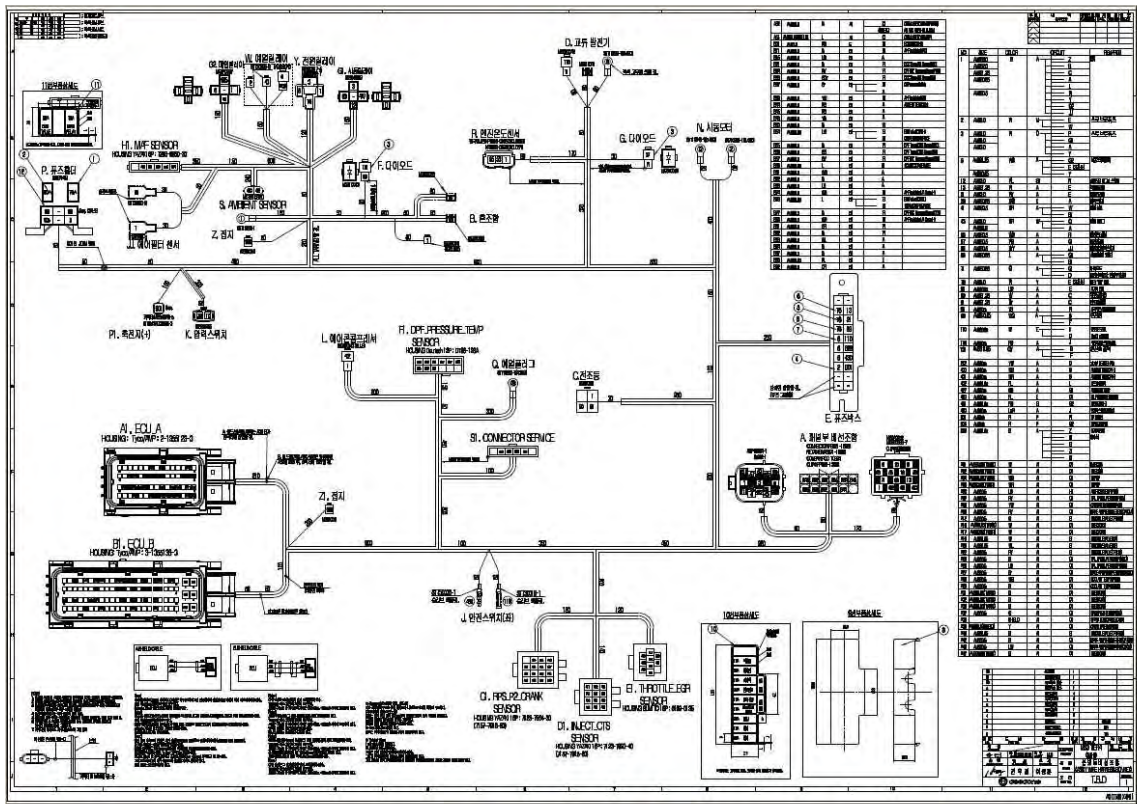
<그림 1-37> 배선경로

3D 모델은 자동으로 펼쳐져서 하네스 layout 설정을 위해 정확한 2D 폼보드 어셈블리 드로잉을 생성할 수 있으며 사용자 정의 가능한 자동화된 데이터 추출 및 포맷 기능은 보고서를 생성하고, 자동으로 폼보드 드로잉에 빠르고 정확하게 주석을 표시한다. 선택적 분석 기능은 전자 간섭 감지 뿐 아니라 응력 및 진동 분석을 수행 할 수 있다. 설계자는 실제 배선 설계와 동일한 검증 작업을 수행할 수 있다.

온도와 진동을 고려한 배선 경로에 관한 공간설정은 전기적인 장치의 운영에 가장 중요한 부분이다. 고온 재생 모드 시 발생하는 DPF 발열에 인해, 배선의 손상 및 변형을 방지하기 위해 고열의 영향을 받는 곳을 회피하여 배선 경로를 선정한다.

(나) WIRE-HARNES 2D 배선 수행

<그림 1-38>는 2D 배선 설계 시 실제 엔진룸에 배치된 ECU 와 매칭하기 위해서는 WIRE 전기적 부하가 충분히 검토되어 설계되어야 한다.



<그림 1-38> 배선 회로도

와이어는 허용된 전류의 지정된 선경에 충분히 만족하도록 사용하고 하우징 및 단자는 반드시 지정품을 사용하여야 한다. 링단자 사용부위는 열수축튜브를 사용하여 전선가닥의 이탈을 방지하며 전선의 내부 연결은 WIRE SPLICES를 사용하여 연결한 후 전용 절연테이프를 사용하여 테이핑 한 후 외부 피복을 씌워야 한다. 퓨즈 장착 부위는 터미널을 삽입하여 퓨즈를 고정하고, 이탈 되지 않아야 한다.

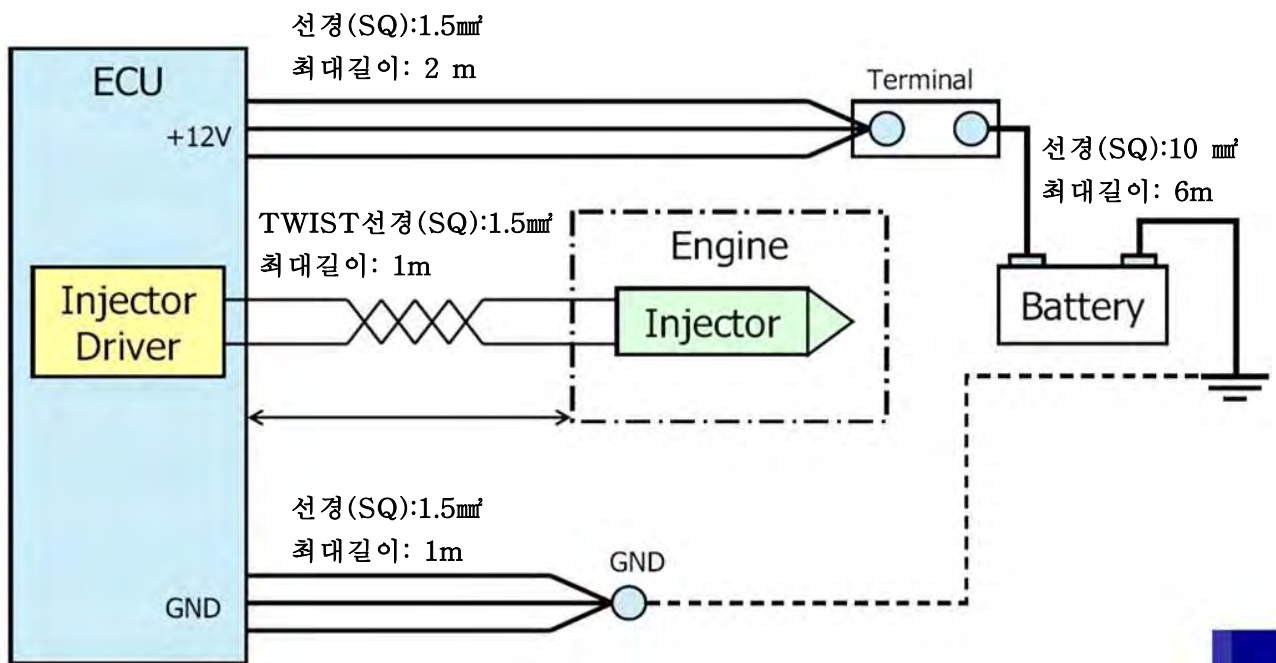
(다) 와이어의 규격

각 와이어의 허용 전류는 와이어의 단면적에 의해 결정되며 와이어의 피복에 명시 되어있다. 선택 전기부품을 장착할 때 전기적 부하에 알맞은 규격의 와이어를 사용하여, 와이어가 전류에 의해 손상 받지 않도록 해야 한다. 전선의 굵기는 주의온도, 전선의 길이, 전류 통전시간, 진동 등에 의해서 결정되어지며 <표 1-13>에 맞는 와이어를 선정하여야 한다.

<표 1-13> 와이어 규격

규정규격(mm ²)	SAE 게이지 번호	허용전류	
		엔진관련전류	다른 부분
0.5	AWG20	7A	13A
0.85	AWG18	9A	17A
1.25	AWG16	12A	22A
2.0	AWG14	16A	30A
3.0	AWG12	21A	40A
5.0	AWG10	31A	54A

(라) ECU 배선 설계 시 규제 사항



<그림 1-39> ECU 전원회로도

○ 배터리(+)와 ECU공급 사이의 DC저항은 약 10A의 최고점 전류에서의 전압강하를 피하기 위해 최소화되어야 한다. 최대 40mOhms(합계)의 값이 요구되며 Splice는 가능한 한 ECU에 가까이 있어야 한다.

○ 배터리(-)와 ECU GND 사이의 DC저항은 약 20A의 최고점 전류에서 전압강하를 피하기 위해 최소화되어야 한다. 최대 20mOhms의 값이 요구된다. CISPR 25 권고사항을 충족시키기 위해 로컬 그라운드 연결은 ECU의 200mm 안에서 만들어져야 한다. Splice는 가능한 한 ECU에 가까이 있어야 한다.

전선의 최소 굵기는 8AWG이다.

* 국제전과장해특별위원회(CISPR)

☞ CISPR 25 : 자동차탑재 수신기 보호를 위한 무선방해특성의 한 도치 및 측정법

○ 엔진블록 가속도계 연결은 차단전선(screened wire)으로 구성되어야 한다.(single wire, shielded). 총 커패시턴스는 450pF을 넘지 않아야 하며 어떠한 경우에도 차단(screen)은 새시 혹은 엔진 GND에 연결되어야 한다. 차단은 연속되어야 하고 'in-line' 커넥터는 피해야 한다. 차단은 가능한 한 커넥터로부터 가까운 곳에서(i. e.<50mm) 시작하고 끝나야 한다. 그리고 오직 ECU의 내부 GND로의 연결을 가지고 있어야 한다.

○ CRANK POSITION SENSOR 전선은 전체 길이에 걸쳐 꼬여있어야 한다. 1Meter당 최소 33번의 꼬임이 요구된다.

꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.

○ 모든 RAIL PRESSURE SENSOR 전선은 그 전체 길이에 걸쳐 서로 꼬여 있어야 하며 1M당 최소 33번의 꼬임이 요구되며 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e.<50mm) 시작하고 끝나야 한다.

커넥터 접점은 금도금되어 있어야 한다. 하네스 길이는 2M 이하가 되어야 한다.

○ 연료분사장치(injector) 전선은 그 전체 길이에 걸쳐 서로 꼬여 있어야 하며 1meter당 최소 33번의 꼬임이 요구된다. 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.

총 DC저항은 20°C에서 50~200mOhms사이의 값을 가져야 한다.

○ 모든 연료분사장치 쌍은 각각 15mOhms이내여야 한다.

○ CAN 전선은 그 전체길이에 걸쳐 꼬여있어야 노이즈의 부담을 줄이고 1M당 최소 33번의 꼬임이 요구된다. 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.

(마) Screened Wire(차단전선, 쉴드선)

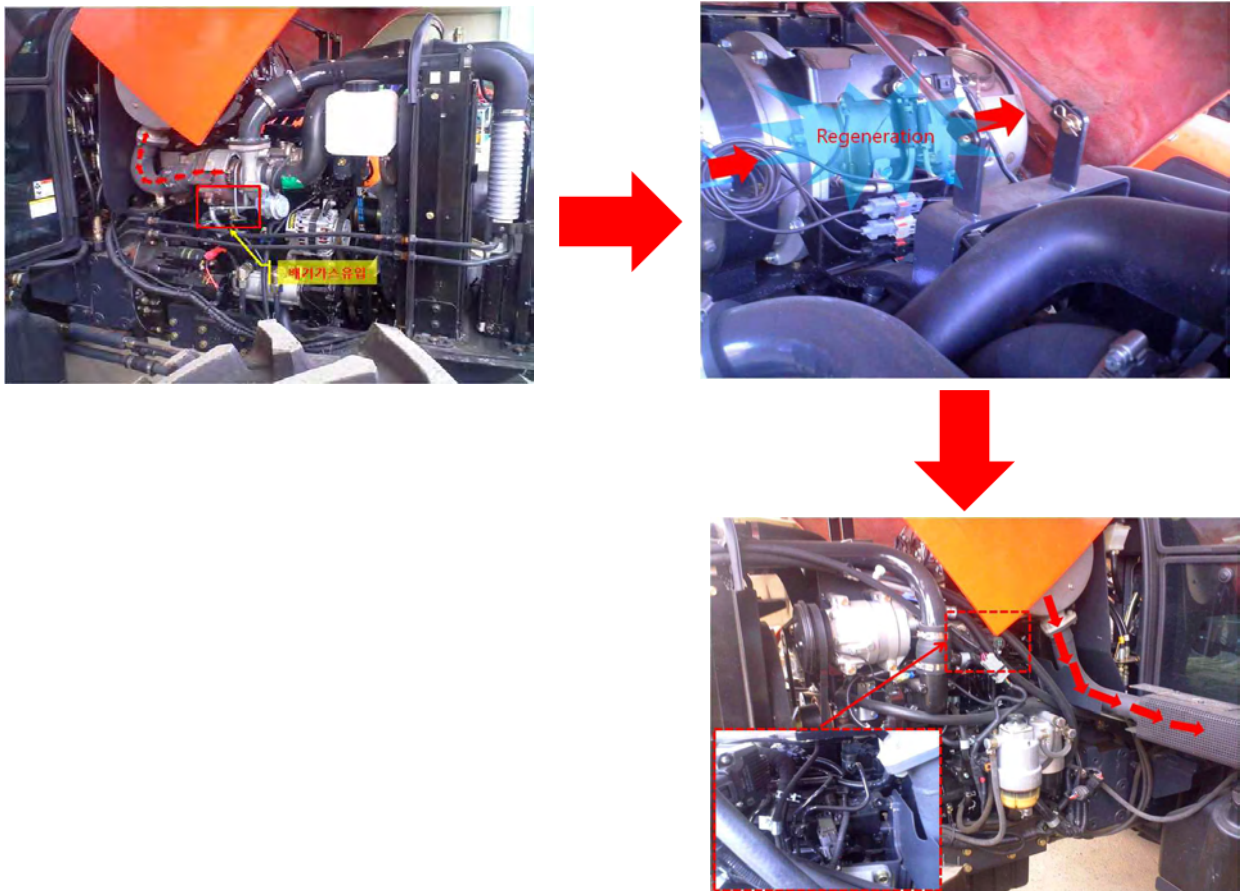
차단 케이블의 구조는 호일 테이프가 나선으로 겹쳐서 싸여진 구조이며(커넥터에서 50% 최소노출)쉴드는 전력 귀환 핀의 300mm내의 관련된 모듈의 전력 귀환을 종료한다. 드레인 전선은 18AWG와 같거나 커야 되며 차단은 전체 길이에 걸쳐 연속되어야 한다. In-line 커넥터는 사용을 피해야 하고 쉴드 커넥터로부터 50mm내에서 종료되어야 한다.

(바) Twisted Wires

Twisted Wires의 1m당 최소 33번 꼬여져야 하며 한 꼬임은 180도 회전으로 구성된다. 꼬임은 전체 길이에 걸쳐 연속이어야 한다. 그리고 커넥터로부터 50mm내에서 종료되어야 한다. 꼬인 전선은 전력과 귀환 연결에서 떨어져서 위치한 터미널에 근접한 곳에서 종료되어야 한다.

나. 엔진룸 배치구조 개선사항

시제품 트랙터의 엔진룸에 배치구조 및 문제점에 대하여 MHI社와 협의하였으며, 이에 따르는 개선 및 최적화 작업을 현재 진행 중이다. <그림 1-40>는 미MHI社에서 통보한 고온 상태가 되는 구간을 나타낸 것이다.



<그림 1-40> 배기가스 이동 경로

배기가스는 Turbo charger의 임펠러를 돌려 흡입공기를 압축시키며 DPF로 들어간다. DPF는 PM과 유해가스를 필터링한 후 배기튜브를 통해 밖으로 배출되거나, NOx 조절을 위해서 DPF내로 들어가지 않은 배기가스는 EGR밸브에 의해 다시 실린더로 들어가 연소가 된다. 이 때 배기가스가 지나가는 경로는 매우 고온상태를 유지하며, 특히 DPF 경우 표면에서 300℃ 이상의 고온을 발생 시킨다. 이

구간에는 열에 약한 부품의 배치는 이를 고려하여 설계하여야 한다. 본 과제에서 제작한 시제품 또한 이러한 문제점에 노출되어 이를 수정하고 있는 중이다.



<그림 1-41>소음기파이프 주변 배치구조

<그림 1-41>는 배기가스가 나오는 파이프 주변 배치를 보여준다. 배기파이프는 100℃이상의 고열을 발생하기에 차단판을 부착하여 호스류를 보호하였다. 하지만 차단판은 열전도율이 높은 금속 재질 이기에, 상황에 따라서 호스류가 파손 및 변형이 일어날 수 있을 것이라 예측된다. 현재 차단판 재질 변경이나 호스류 이동경로 변경을 통해 이후에 제작될 시제품에 대해서는 개선하여 적용할 예정이다. 현재까지는 시험 도중 배기파이프에 의한 손상은 발생되지 않았다.



<그림 1-42> ECR 밸브 주변 배치구조

<그림 1-42>은 EGR 밸브 주변 배치를 보여준다. EGR 밸브는 배기가스를 다시 흡입공기로 순환시켜 연소실로 보내는 역할을 하는 제어기 중에 하나이다. DPF에서 나온 배기가스는 고온상태를 유지하기 때문에 이를 고려하여 설계를 하여야한다. 현재 시제품에서는 EGR 밸브 옆에 에어컨호스가 있어, 호스 파손 및 변형이 우려 된다. 현재까지는 문제는 발생되지 않았으나, 잠재적인 문제를 가지고 있다고 판단되어, 현재 에어컨 호스 경로 위치 변경을 검토하고 있다.



<그림 1-43> DPF 센서라인 배치구조

<그림 1-43>은 DPF 센서라인을 표시 한 것이다. 센서라인은 기존에는 일반케이블타이로 선을 정리하였으나, 잠재적 손상이 우려되어, 내열이 우수한 특수 케이블타이로 선을 정리하였다. 센서라인과 손 또한 우려되었으나, 개발사인 MHI社에서 이에 대한 문제제기가 없었으며, 시험 도중에도 어떠한 변형 및 파손이 발생하지 않아, 이상이 없는 것으로 판단된다. 하지만 잠재적인 위험이 있을 수 있기에 라인 위치를 검토하고 있다.



<그림 1-44> 오일필터 배치구조

<그림 1-44>은 오일필터를 나타낸 것이다. 시험 중 오일필터가 육안으로 보았을 때, 진동의 영향을 다소 받는 것으로 판단하였다. 그 이유는 오일필터가 직접적으로 브라켓을 이용하여 엔진에 취부가 되어 이러한 문제점이 발생한 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위해 방진 system 도입, 배치위치 변경을 검토 중에 있다.



<그림 1-45> 오일필터 하단 부

<그림 1-45>는 오일필터 하단 부를 나타낸 것이다. 작동 및 기능상에는 아무런 문제가 없으나, 차후 오일필터 교체 시 어려움이 발생할 수 있다. 오일필터 위치 변경이나, 케이블 경로 변경을 통해 해결할 예정이다.



<그림 1-46> 엔진룸 호스 및 케이블류 배치

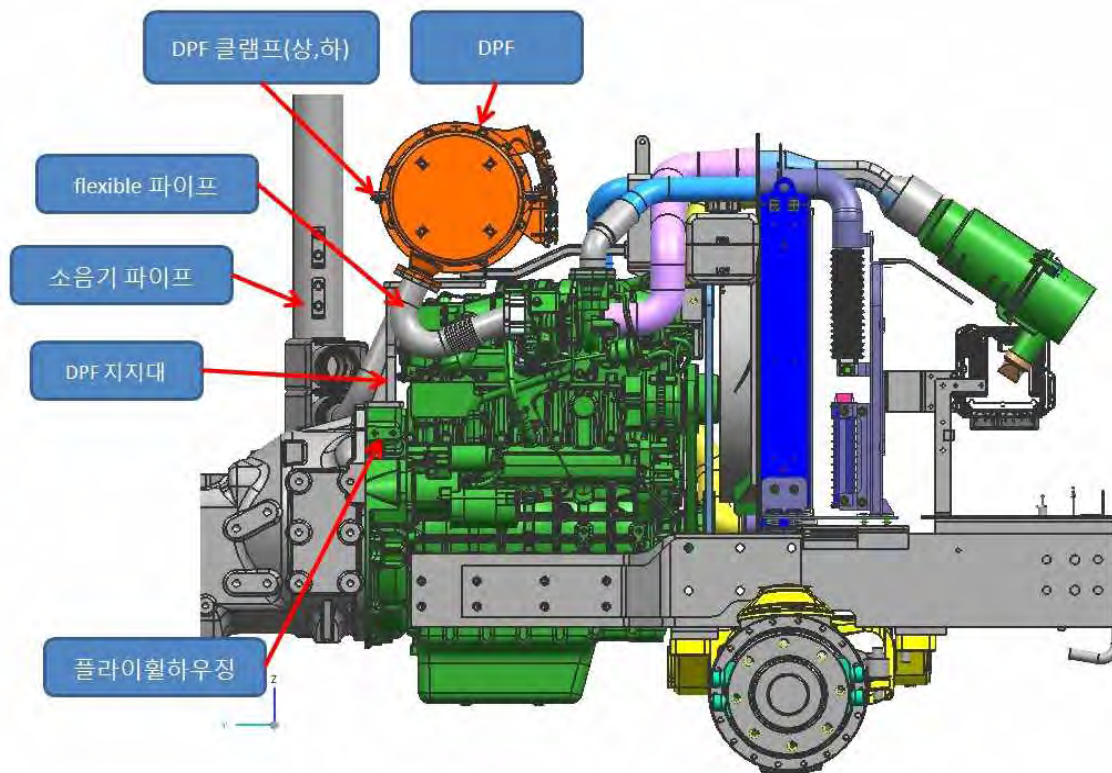
<그림 1-46>은 엔진룸의 우측면은 나타낸 것이다. 시제품이기 때문에 호스류, 케이블류 등등 유연성이 있는 라인형의 부품에 대한 명확한 경로를 체계적으로 정립되어 있지 않기 때문에 매우 복잡하다. 이는 차후에 제작될 시제품의 그 경로가 체계적으로 정립되어 매우 안정적이며, 조잡하지 않게 정리가 될 것이다.

본 과제에서 제작한 시제품은 양산품이 아니기 때문에 중요부품의 layout은 명확하게 설계되었지만, 그 밖의 부품은 아직 체계적으로 정립이 되어 있지 않다. 하지만, 필드에서 작업이 가능할 정도로 그 완성도는 매우 높은 편이다. 몇몇 문제점이 노출되었지만, 치명적인 것은 없으며, 향후 수정이 가능함으로, 2차 시제품 제작 시에는 현재 제작된 시제품보다 훨씬 더 완성도 높은 트랙터가 제작될 것으로 예상된다.

6. 후처리장치 배치구조의 최적설계 및 제작

가. 후처리장치 배치구조 및 특성

<그림 1-47>은 본 과제에서 대동이 후처리 장치 배치 구조를 나타낸 그림이다.



<그림 1-47> 후처리 장치 배치 구조

후처리 장치의 배치 고려사항에 충분히 검토하고, 제 기능을 발휘 할 수 있도록 후처리장치의 지지대 및 브라켓을 설계 하여 장착하였다. 첫 번째로 엔진룸 공간 최대 확보 및 엔진과 matching이 유리하도록 DPF를 가로 방향으로 배치하였으며, DPF가 받을 수 있는 진동 및 하중에 충분히 견딜 수 있도록 플라이휠 하우징 상단에 DPF 메인 지지대를 세워 고정 지지하였다. 특히 DPF의 메인 지지대는 DPF가 받을 수 있는 10G의 진동에 대해서 충분한 강도 계산 및 검토 후에 설계 제작하였다. DPF를 고정 하기위해서 DPF에 좌, 우에 각각 40mm이상의 두께의 클램프를 설치하여, 최대한 안정된 상태로 고정 될 수 있도록 하였다. 또한 외부 충격이나 갑작스런 움직임에 의해 DPF와 터보와의 연결관에 비틀림 및 벤딩 모멘트가 작용할 수 있으므로, 이에 대한 대비로 flexible pipe로 연결하여 발생할 수 있는 위험에 대해서 대비하여 설계 하였다. 일반적으로 DPF가 소음기의 역할도 함께 할 수 있으므로, 소음기는 장착 하지 않는 경우가 있으나, 본 기대의 트랙터의 경우 DPF에서 나온 배기가스로부터 사람이 받을 수 있 영향을 최대한 없애고자 소음기 파이프를 설치하여 배기가스가 트랙터 캐빈 위쪽으로 향할 수 있도록 창작하였다.

나. 후처리장치 DPF- Regeneration

(1) DPF 심벌 규격

(가) Regeneration 심벌 표시.

Regeneration emission 심벌은 ISO 7000 규약에 따라 설계 되어야 한다.

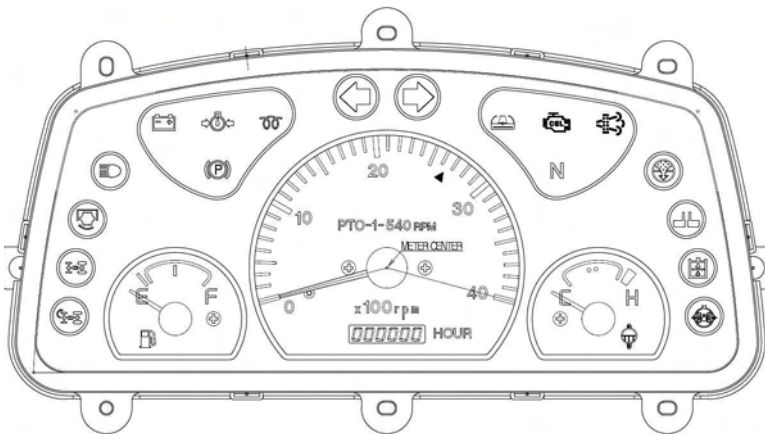
○ Active Regeneration : ISO 7000-2433



○ ENGINE CHECK : ISO 7000-2424

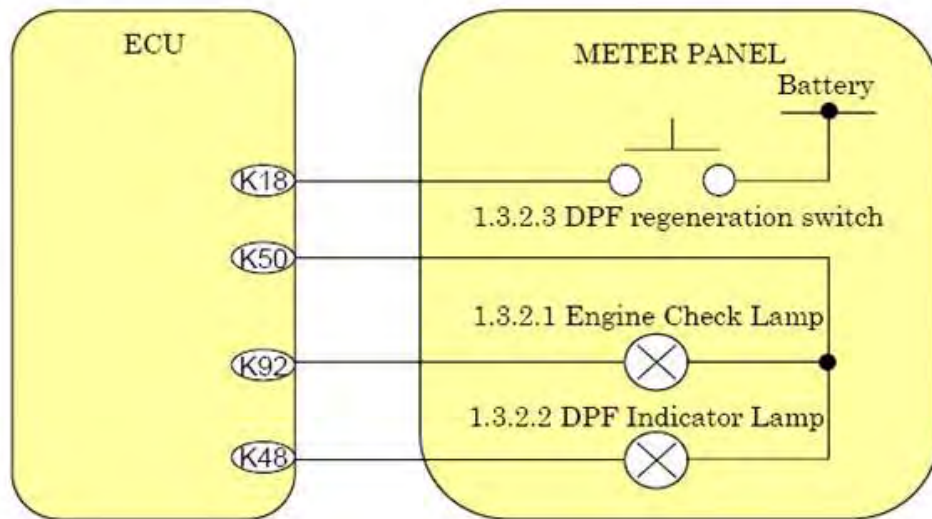


(나) 계기판 Regeneration LAMP 심벌 표시 및 사양



(2) ECU 계기판램프 연결 관계

현재 Mitsubishi 계기판에 표시되는 Regeneration 심별은 Passive Regeneration 시 램프를 점등하지 않으며 강제 Regeneration 혹은 DPF의 온도상승 시 램프를 점등시킨다. 계기판램프 연결 관계는 아래와 같다.



<그림 1-48> ECU 계기판램프 연결 관계

- Engine check lamp 적용 사양
 - Output current 0.6[A]
 - Leak-off current 15[μ A]

- DPF Indicator Lamp 적용 사양
 - Max. current 0.6[A]
 - Leak-off current 15[μ A]

- DPF regeneration switch 전압 12[V] (12V battery 사용 시)
 - "OFF" voltage of ECU 1.33[V]
 - "ON" voltage of ECU 5.34[V]

(3) Regeneration Mode

(가) Passive Regeneration

엔진 운전 중, DPF내 soot는 지속적으로 축적되므로, ECU나 운전자의 별도 조작 없이 자동으로 시행되는 재생모드이다.

(나) Active Regeneration

ECU는 배기가스온도, DPF 압력저하 그리고, 엔진상태를 실시간 모니터링 한다. 일단 엔진이 워밍업이 된 후, 연료분사량과 흡입공기량을 조절하여 축적된 soot를 효과적으로 재생할 수 있는 적절한 시점을 찾아 배기가스온도를 상승시켜 Active 재생을 시행하게 된다.

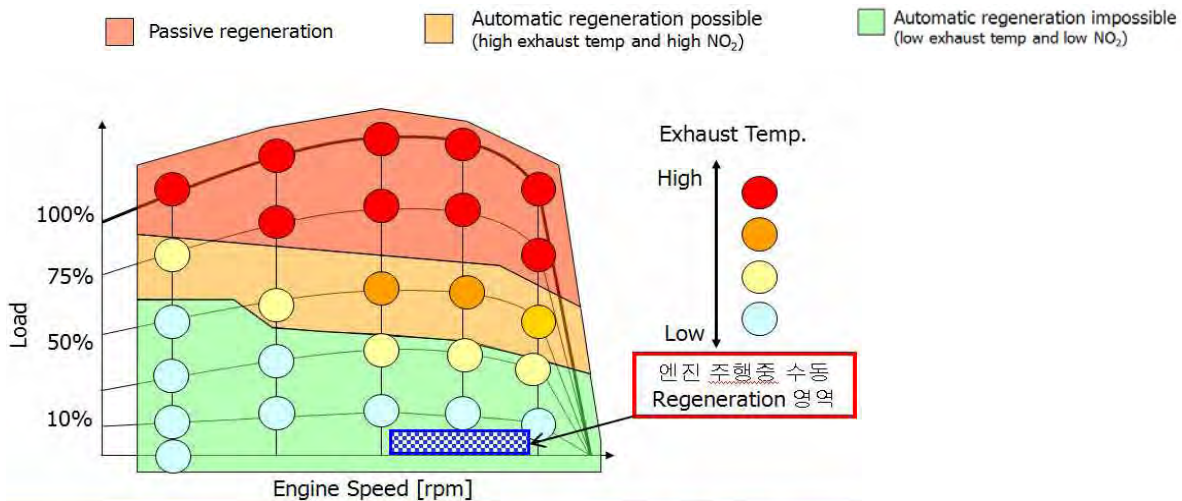
(다) Manual Regeneration

일반적인 운전 중에는 DPF내 soot 축적량이 Passive/Active 재생모드를 통해서 초기 셋팅값을 초과하지 않는다. 하지만, 어떤 운전조건에서 soot가 과다하게 축적되면, DPF가 과열로 인한 파손 위험성이 높아지게 된다. 이런 경우, Active 재생을 실시하기 보다는 Manual 재생스위치를 작동시켜 Manual 재생을 시킨다.

☞ DPF 재생 강제/금지 기능 : DPF Regeneration Active/Manual, DPF는 디젤엔진이 배기가스 규제(Tier-4)를 만족시키기 위해 장착하는 필터로써 필터에 SOOT가 쌓이면 DOC(촉매)에 온도를 높여 화염을 일으켜 재생을 하여야 한다.

차량의 경우는 장거리 주행을 많이 하고, 일정 속도로 달리므로 조건이 안정적이며, ECU에서 자동 재생을 행하여 DPF 재생을 많이 한다. 하지만, 농기계는 장거리 주행이 거의 없고 작업 시에도 재생을 위한 조건들이 불충분한 경우가 많다. 그래서 농기계에서는 DPF 재생을 강제로 하는 스위치가 있어야 하며, 건초지에서는 화재의 위험이 있으므로 DPF 재생을 임의로 방지하는 별도의 스위치가 있어야 한다. 수동 강제 재생을 위한 조건은 ECU Mode가 OFF이고 안전을 위해 브레이크 스위치나 클러치 스위치가 ON 상태이어야 한다. 현재 Mitsubishi (K42) 브레이크 스위치에 Manual 해제 기능이 구성되어 있다. <그림 1-49>은 SOOT량에 따른 Regeneration mode의 운용 조건을 나타내고 있다.

(라) Regeneration mode 운영 조건.



<그림 1-49> Soot에 따른 Regeneration 구간별 동작영역

Mitsubishi K42(Tier-4)의 Passive regeneration의 운용 조건은 엔진 냉각수 온도가 70℃ 이상, Regeneration switch "ON"시 엔진 rpm 2,000이상 상승되어야 한다. 이것은 엔진의 온도를 높여 배기가스를 태우는 과정으로 볼 수 있다.

Manual regeneration을 중지하는 방법으로는 PEDAL THROTTLE SENSOR의 값을 MAX치 까지 높이는 방법과 Regeneration switch(BRAKE) "OFF" 상태 그리고 배기가스를 모두 연소 시킬시 자동으로 꺼지게 동작되는 방법이 있다.

다. SENSOR 위치 및 특징

(1) INJECTOR

ECU에서 산정된 연료분사 시간동안 정확한 양의 연료를 최적의 분무상태로 엔진의 흡기밸브를 향하여분사하는 솔레노이드밸브(Solenoid Valve)형 분사기.

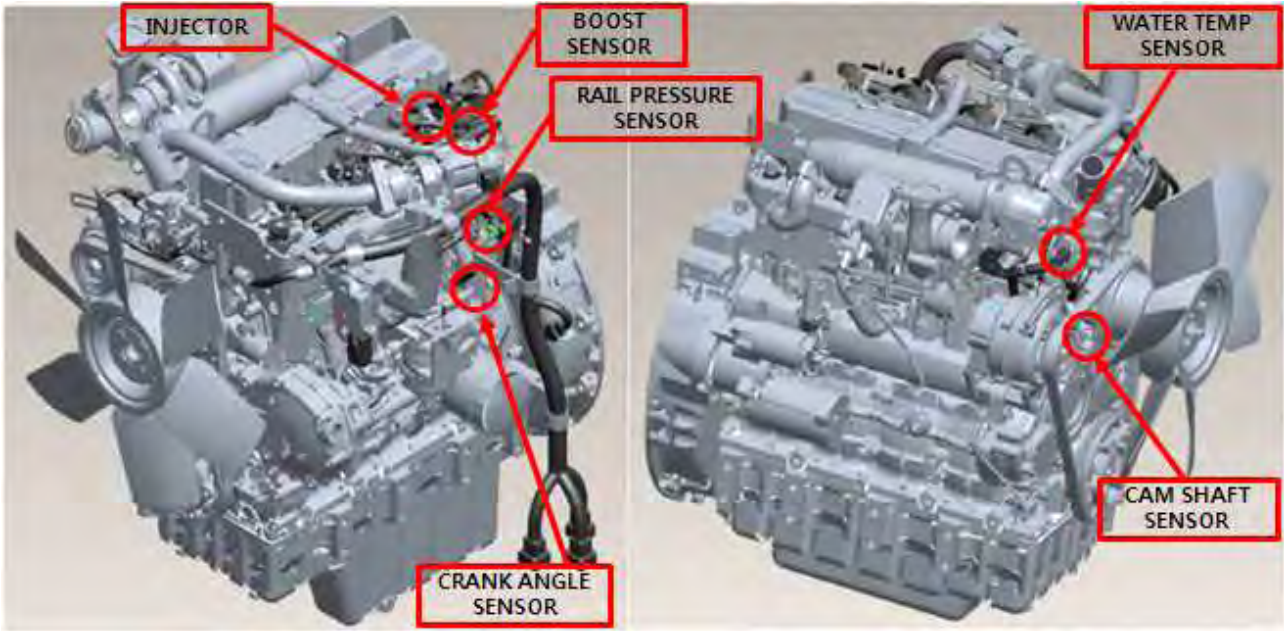
(2) WATER TEMP SENSOR

냉각수의 온도 변화를 센서로 출력하고, 다양한 집화, 연료와 배기가스 제어 기능을 조절하고 설정하여 검출된 온도를 신호로 변환하여 엔진 ECU에 전달한다.

(3) BOOST PRESSURE SENSOR

흡기 매니폴더 공기의 압력을 감지하는 센서.

- Operation temperature -40℃~+130 [degC]



<그림 1-50> ENGINE SENSOR 위치

- Vibration proof 18 [G]
- Water/dust proof DIN IPx4K

(4) RAIL PRESSURE SENSOR

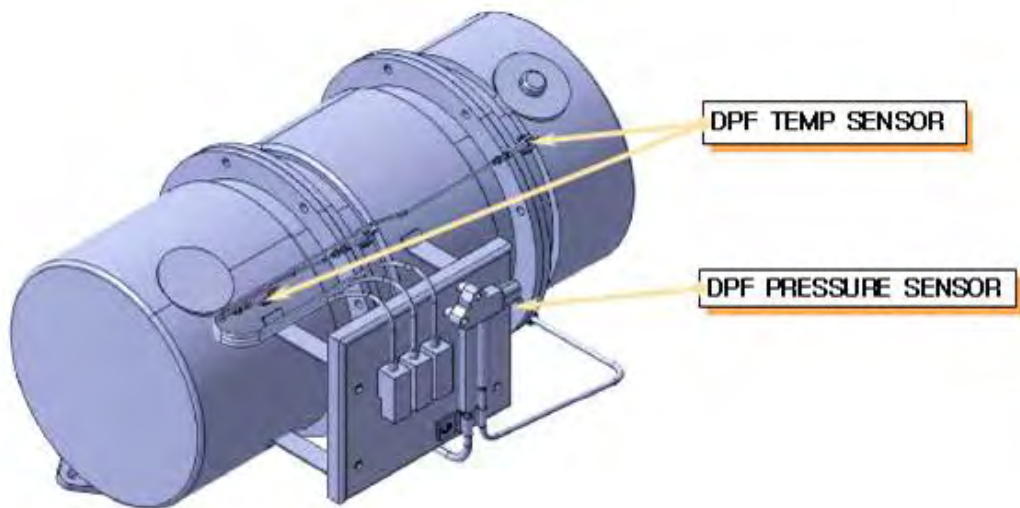
커먼레일 가운데에 꼽혀 있는 레일 압력 센서는 연료 압력 변화를 순간적으로 감지 ECU로 입력되어 ECU는 이 신호를 받아 연료량, 분사시기를 조절하는 신호로 쓰게 된다.

(5) CRANK ANGLE SENSOR

크랭크 각 센서(CAS: Crank Angle Sensor)는 크랭크축의 회전수 및 위치를 검출하여 점화시기 결정하는 역할을 한다.

(6) CAMSHAFT SENSOR

캠축에 장착된 타켓 휠 위에 장착되어 캠축의 회전정보를 감지하는 센서로, ECU는 전달된 회전 정보를 바탕으로 엔진 실린더의 행정 및 위치를 판별하고 연료분사시기를 제어



<그림 1-51> DPF SENSOR 위치

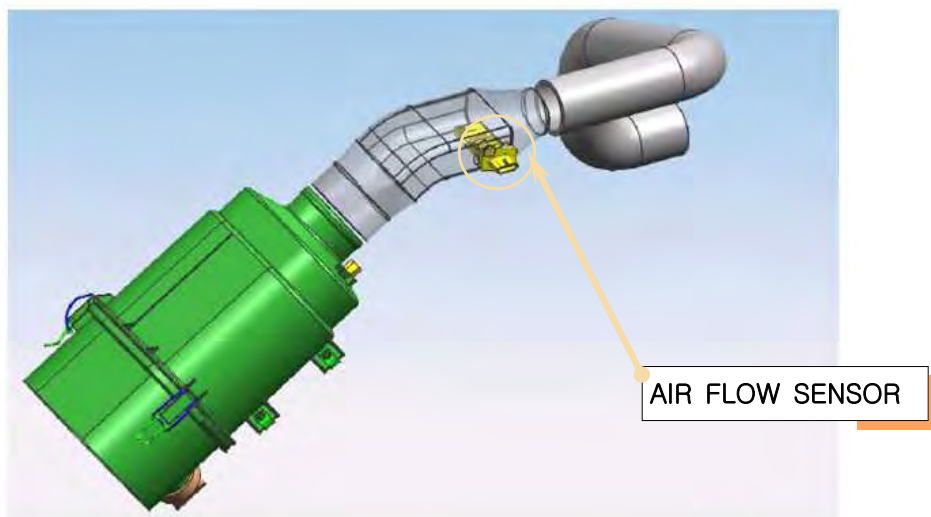
(7) DPF TEMP SENSOR : 흡기 매니폴더의 공기의 온도를 감지하는 센서

- Operation temperature $-20^{\circ}\text{C}\sim+100[\text{degC}]$
- Vibration proof 10[G]
- Water/dust proof IP54 and JIS D0203 S2

(8) DPF PRESSURE SENSOR

DPF의 Soot의 량을 감지하는 센서, DPF 입/출구 단에 압력차를 읽어서 ECU DPF재생을 할 시기를 결정하게 한다.

- Operation temperature $-40^{\circ}\text{C}\sim+140[\text{degC}]$
- Vibration proof 16[G]
- Water/dust proof IP54 and DIN IPx9K



<그림 1-52> AIR FLOW SENSOR 위치

(9) AIR FLOW SENSOR

엔진에 흡입되는 공기량을 측정하여 주파수를 ECU에 전달하며, ECU는 이 신호를 이용하여 EGR(Exhaust Gas Recirculation)량과 연료량을 제어한다.

- Operation temperature $-20^{\circ}\text{C}\sim+100[\text{degC}]$
- Vibration proof 10[G]
- Water/dust proof IP54 and JIS D0203 S2

라. DPF Installation Guideline

DPF는 동작 특성상 진동 및 작동 중 고온상승 등으로 인하여 설치 조건이 요구 되어 지고 있다. 다음은 DPF의 설치 제약 조건들이며, K42 엔진의 DPF를 탑재 시 이러한 설치제약 조건을 모두 고려하여 브라켓 및 DPF와 엔진 레이아웃 부품들의 간격을 설정 하고 있다.

< DPF Installation Guideline>

- ①. DPF inlet angle : DPF의 inlet부는 DPF플랜지 볼트자리에 따라 매 45도로 회전하여 장착 할 수 있다.
- ②. DPF outlet angle : DPF의 outlet부는 압력센서 파이프와 드레인 플러그가 고정되어 있으며, outlet은 수직방향으로 고정되어 있기 때문에 방향을 변경할 수 없다.
- ③. DPF installation angle : DPF는 엔진에서 가로 방향(냉각팬을 마주보는 방향)으로 설치 되게 되어 있다. 세로방향으로 설치할 경우에는 DPF의 canning과 설치 조건이 매치되어 있지 않으므로, 반드시 가로방향으로 설치되어야 한다.
- ④. DPF install position : DPF의 기능을 최적으로 하기위해서 최대한 배기가스의 온도가 떨어지지 않도록 근접해서 설치해야 한다.
(배기 파이프전단에서 후단까지는 20도 이상 온도가 떨어지지 않도록 설계되어야 한다.)
- ⑤. Pressure drop : DPF inlet과 Outlet 파이프는 전체 파이프내의 압력이 5kPa 이하의 압력이 강하되어야 한다.
- ⑥. Flexible tube : DPF inlet과 엔진의 배기매니폴드와의 연결은 진동 및 충격을 흡수할 수 있는 플렉시블 파이프를 사용해야 한다.(DPF는 10G의 중력에서 견뎌야 하고, DPF와 배기 매니폴드의 연결관이 충격에 의해 파손 될 수 있기 때문)
- ⑦. DPF band : DPF 밴드는 40mm 넓이를 추천함.(DPF의 하중과 장착성을 고려하였을 때)
- ⑧. Cushion rubber : Cushion rubber는 DPF 주변 온도에 따른 열 저항 및 작동 시 적어도 10G의 중력하중에 견뎌야 함. (Cushion rubber에 의해서 충격이 흡수 할 수 있도록 설치되어야 함)
- ⑨. DPF Pressure sensor pipe/ temperature sensor : 모든 센서의 위치는 액화된 물에 의해 고장의 원인이 되지 않도록 DPF의 옆측 상단에 설치해야 함.
- ⑩. DPF surface temperature : Regen시 DPF의 외관 표면 온도는 300도 이상 올라가게 되

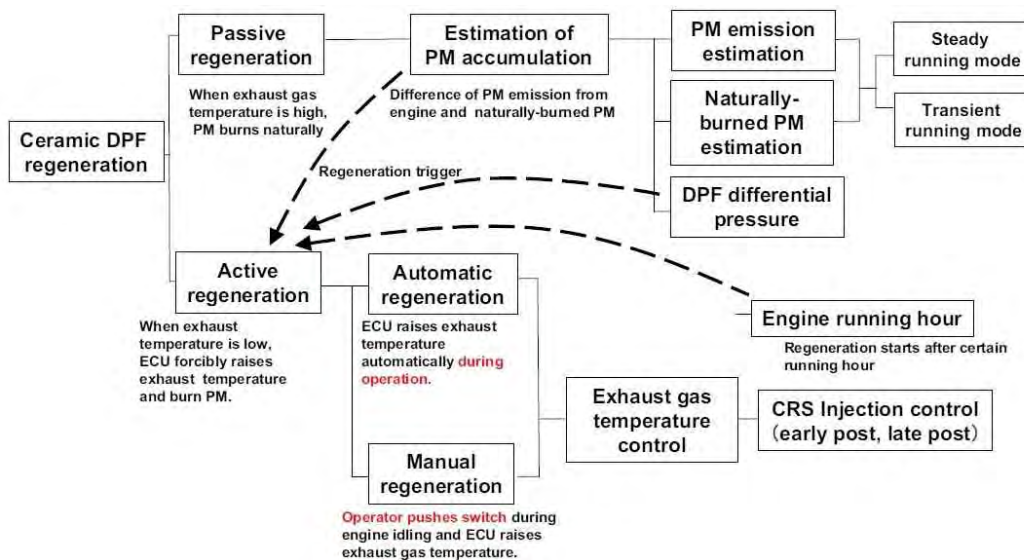
므로 근처에 영향을 받을 수 있는 부품들은 상당한 거리를 띄워놓고 설치해야 함(각종 케이블 및 고무호스 등)

- ⑪. Interspace : DPF와 센서 조합 및 트랙터 부품은 15mm 이상 간격을 벌려 놓는 것을 추천함.(센서의 측정을 다른 부품이 방해 하지 않도록 거리를 띄어 놓아야 함)
- ⑫. DPF support : DPF는 2개의 밴드를 사용하는 브라켓에 의한 고정되어 있어 함.
- ⑬. Exhaust direction : DPF 배기온도는 600도 이상이므로 outlet 방향은 사람에게 직접 영향을 줄 수 있지 않는 방향으로 설계되어야 한다.

마. DPF Regeneration Strategy

<그림 2-27>은 DPF 재생에 관련된 시퀀스를 나타내는 전체적인 그림이다. 각 시퀀스는 DPF에 부착된 여러 가지 센서에서 측정된 값들을 가지고 ECU에서 판단하게 되어있다. (DOC IN.Temp Sensor, DPF Lamp, DPF Differential Sensor, DPF IN.Temp Sensor, DPF EX.Temp Sensor, DOC temperature rise error, DPF temperature rise error, Exces soot mass, Rise in DPF inlet temperature, Rise in DPF outlet temperature)

각 센서에서 측정된 값들은 전부 ECU 내부로 들어와 연산되고, 그 flow를 따라 ECU는 다시 DPF의 작동 부위와 실린더 내부의 연료 인젝션 타이밍 및 분사량 등을 조절하여 각 상황에 맞게 Regeneration 기능을 수행한다.



<그림 1-53> DPF Regeneration strategy

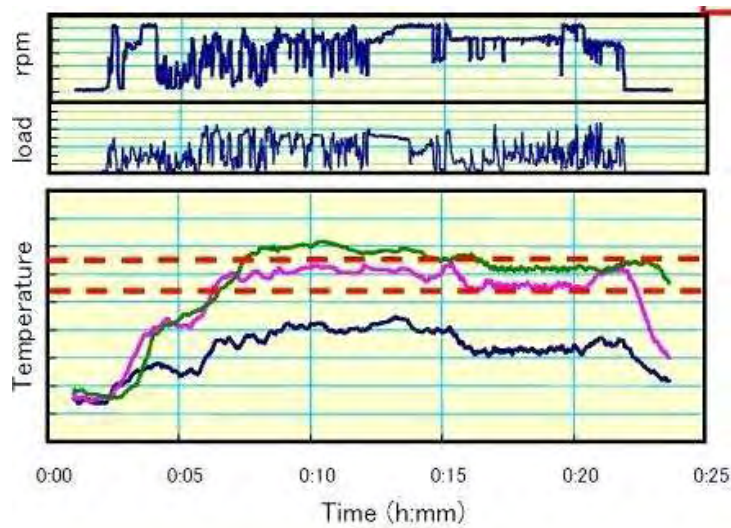
DPF의 Regeneration 기능은 크게 배기가스의 온도가 충분히 높거나 NO2가 풍부할 때 자연적으로 PM을 태워버리게 되는 상태인 Passive regeneration과 배기가스의 온도가 낮을 때, ECU가 강제적으로 배기가스의 온도를 올려 PM을 태워버리는 동작인 Active regeneration 두 가지로 구분할 수 있다. Active regeneration은 엔진스피드와 출력에 영향의 유무에 따라 다시 Automatic과 Manual로 나눌

수 있다.

Automatic은 ECU의 Automatic regeneration program에 의해서 엔진 동작 시 인젝터의 연료 분사 패턴을 변화시킴으로써 엔진 스피드와 출력의 변화 없이 배기가스의 온도를 상승시켜 PM을 태워버리는 방식이고, Manual 방식은 automatic regeneration이 일어날 수 없는 상태(저 부하)에서 PM은 더욱 DPF에 축적되었을 때, 정지 상태에서 사용자가 작동 버튼을 누르면 동작하는 기능으로, 엔진 RPM을 일정 RPM(2000rpm)까지 인위적으로 상승시켜 배기가스온도를 높여 regeneration 하는 방식이다.

<그림 1-53>에서 볼 수 있듯이 DPF에 장착된 차압 센서 및 각 온도 센서에서의 측정값을 ECU에서 판단하여 DPF의 작동에 대해서 판단하고 결정하게 된다.

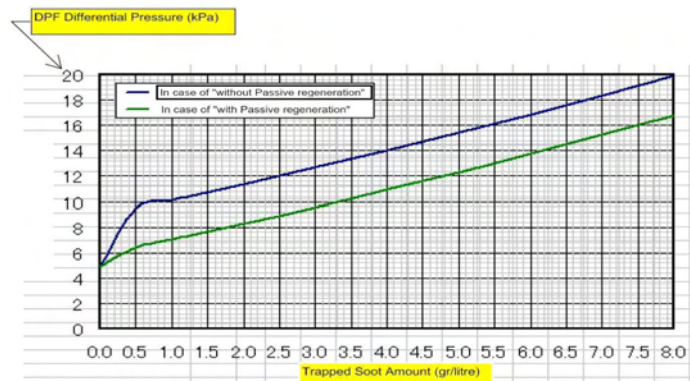
<그림 1-54>은 일정 경과시간에서 엔진의 RPM, load, 배기가스 온도에 대한 서로의 상관관계를 나타낸 그림이다.



<그림 1-54> 엔진의 RPM, load, 배기가스로의 상관관계

<그림 1-54>에서 빨간 점선의 구간은 Regeneration이 가능한 영역 대를 나타낸다.

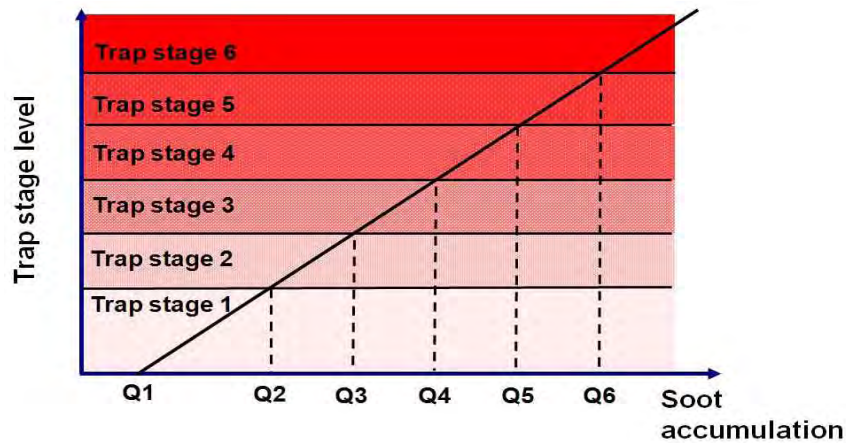
<그림 1-55>은 DPF 전, 후단부의 차압에 따른 soot 량에 따른 그래프이다.



<그림 1-55> DPF 차압에 따른 Soot 축적량

<그림 1-56>의 without passive regeneration 그래프 0.0~1.0gr/litre 구간을 제외하고는 DPF의 차압 측정치와 soot의 축적량이 거의 비례적으로 증가하는 것으로 볼 수 있다. 즉, DPF의 차압 센서에 의한 측정치로 ECU는 DPF내부에 어느 정도 soot가 쌓여있는지 파악 할 수 있고, 계기판에 각종 경고 등 및 상태 창을 점등 시켜 사용자가 확인 할 수 있을 뿐만 아니라, 각 stage별로 나누어 DPF의 regeneration 기능을 사용할 수 있게 한다.

K42 engine은 위의 차압 및 soot 측정량에 따라 다음과 같이 6 단계로 구분하였다.



<그림 1-56> Soot량에 따른 Trap stage

위의 stage를 6단계로 나누는 기준은 soot의 축적량이 기준이 되는데, 다음과 같다.

- ①. Stage. 1
 - soot 축적량 0 ~ 5.5g/L
 - Trap operation 및 Passive Regeneration 기능 작동상태
- ②. stage. 2
 - soot 축적량 5.5 ~ 6g/L
 - Auto Regeneration이 시작 되고, Manual regeneration 기능은 비활성화 됨
- ③. stage. 3
 - soot 축적량 6 ~ 6.5g/L
 - Auto Regeneration 기능이 취소되고, Manual regeneration 기능이 준비단계로 전환
- ④. stage. 4
 - soot 축적량 6.5 ~ 7g/L
 - stage.3 와 동일 한태로 유지되지만, 엔진 자체 동력 저하 발생
- ⑤. stage. 5
 - soot 축적량 7 ~ 7.5g/L
 - DPF가 스스로 Regeneration 기능을 수행할 수 없음.
 - 서비스엔지니어에 의한 Regeneration을 수행할 수 있음.

- 엔진 자체 동력 저하 발생
- Regeneration 후 오일 교환이 필요

⑥. stage. 6

- soot 축적량 More 7.5g/L
- Regeneration 기능 수행 불가능, DPF 교체 작업을 진행해야함.
- 엔진 시동 불가.

7. 캐빈 최적 설계 및 제작

가. ISO 및 EEC 법규를 만족하는 최적 캐빈 설계 및 제작

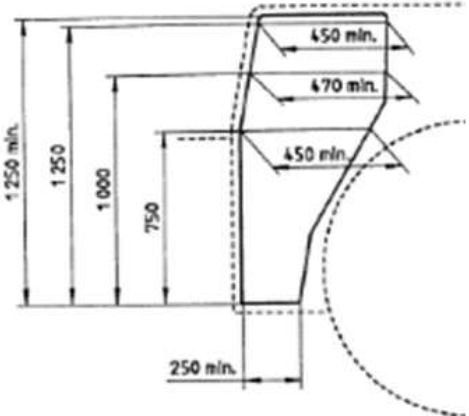
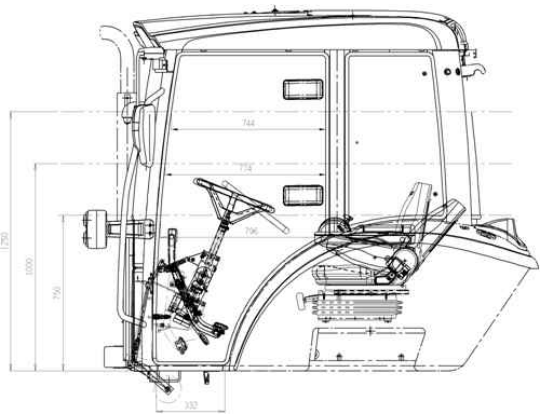
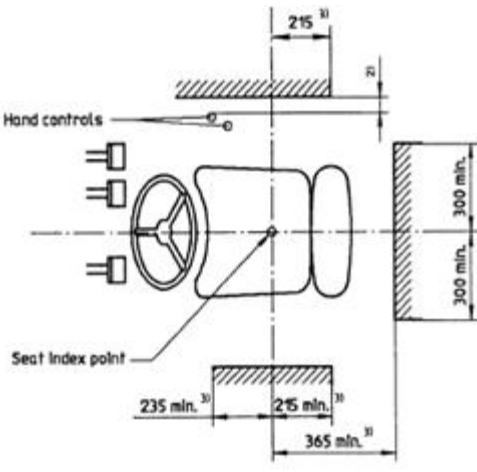
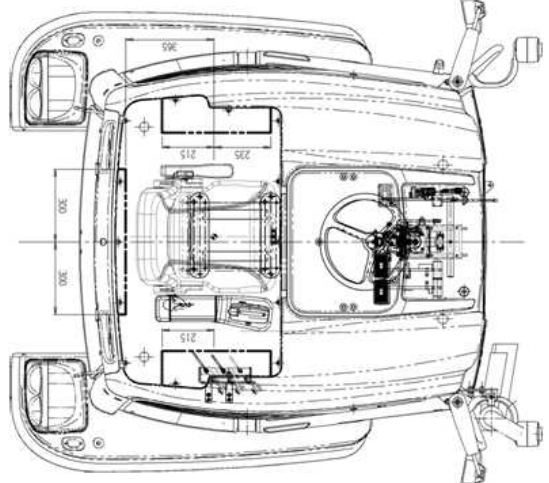
(1) 운전석 공간

운전자가 작업을 하기 위한 공간에 대하여 ISO 4252와 ISO 12508 기준으로 설계하였으며, 이 기준에 맞는지를 다음 항목을 기준으로 검증하였다.

<표 1-14> ISO 4252(운전자 작업공간, 출입구-치수) 기준과 시제품 도면 비교

	ISO4252 기준	시제품 캐빈 도면
1		
2		

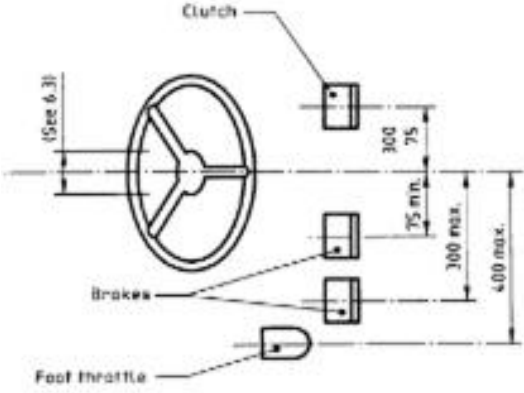
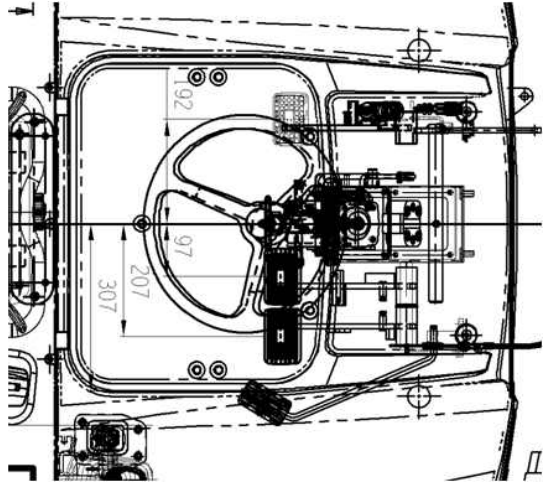
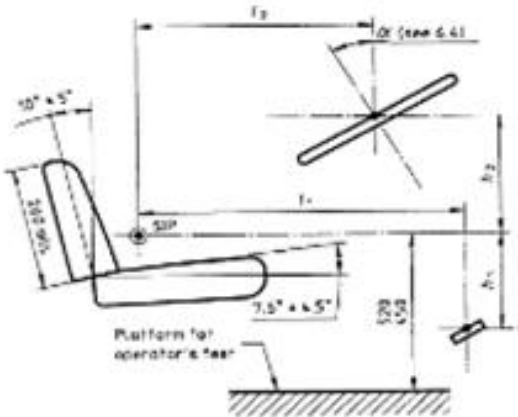
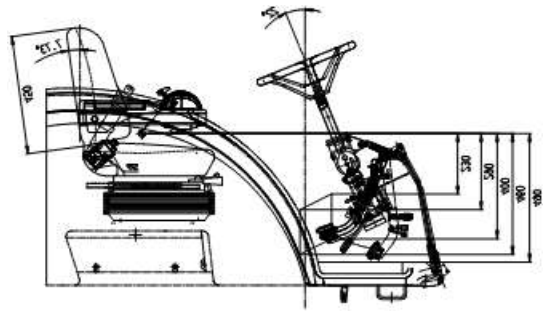
<표 1-15> ISO 4252(운전자 작업공간, 출입구-치수) 기준과 시제품 도면 비교

	ISO4252 기준	시제품 캐빈 도면
3		
4		

<표 1-14>와 <표 1-15>은 ISO 4252(운전자 작업공간, 출입구-치수) 기준과 시제품 도면을 비교한 것이다. 본 과제에서 제작된 캐빈은 ISO 4252 기준으로 설계하여, 운전자가 작업 시 공간 내에 운전자의 안전성을 높이고, 불편함이 없을 정도로 충분한 공간을 확보하였으며, 긴급 상황 발생 시 캐빈내부에서 열 수 있는 규정에 맞게 탈출 수단 및 크기를 고려하여 설계하였다. 또한 본 과제에서 제작된 캐빈은 ISO 4252의 최소수치보다 다소 높게 설계하여, 운전자 공간적 측면에서 우수하다고 할 수 있다.

(2) 작업자 편의성

<표 1-16> ISO 4253(운전자 좌석 치수) 기준과 시제품 도면 비교

	ISO4253 기준	시제품 캐빈 도면
1		
2		

<표 1-16>는 ISO 4253(운전자 좌석 치수) 기준과 시제품 도면을 비교한 것이다. 이 기준은 차륜 거리가 1150mm 이상인 농업용 트랙터에서 운전석 치수와 좌석 지표점(SIP)에 대한 조정장치의 위치를 규정한다. 조정 장치는 조향핸들, 클러치 페달, 브레이크페달, 스로틀 페달이 포함된다. 이 기준은 IEC 및 ISO 기관은 유효하다. 본 과제에서 제작된 캐빈은 ISO 4253의 기준에 부합함을 알 수 있다.

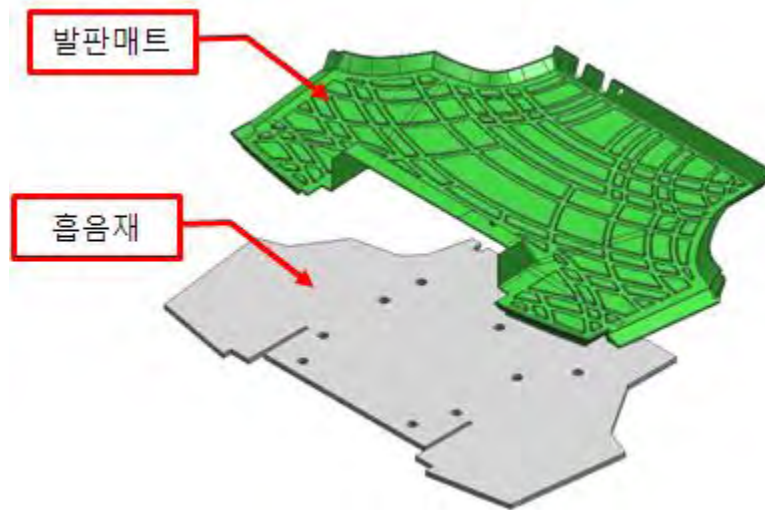
나. 진동 및 소음을 고려한 캐빈설계

농업공학 연구소의 “농용트랙터 운전자소음에 관한 연구(2006)”에 따르면 농용트랙터 운전자소음을 누적소음노출량측정기(TH : 80dBA, ER : 5dBA)를 이용해 측정 시 그 소음수준은 최소 48dBA 최고 101dBA이고 전체 트랙터 중 54%의 트랙터가 90dBA 이상의 소음수준을 보이며, 69% 트랙터가 85~95dBA에 집중되어 있다. 캡이 있는 트랙터의 평균 및 최고소음수준은 85dBA, 93dBA이고 캡이 없는 트랙터는 평균 및 최고 소음수준이 91dBA, 101dBA로 조사되었다. 오래되고 규격이 작을수록 90dBA 이상 소음률이 높고, 같은 규격조건에서 캡이 없는 것이 90 dBA이상의 소음수준을 보이는 트랙터 비율이 높은 경향을 보여 구입년도가 오래되고 캡이 없는 중소형 트랙터일수록 소음수준이 높은 경향을 보이고 있으며, 소음이 유해하다고 답한 운전자가 전체 응답자의 47%나 되었다. 그 만큼 소음이 트랙터 구입 요소 중에 큰 비중을 차지하고 있다. 본 과제에서 제작한 시제품은 현재 진동 소음을 문제를 해결하기 위해 흡차음재를 아직은 도입하지 않았다. 하지만, 현재 흡, 차음재 적용 및 방진 시스템에 대한 설계를 진행하고 있다. 1차 시제품은 이 부분은 아직 제외 되어 있지만, 2차 시제품 제작 시 운전자의 안전과, 쾌적한 작업환경을 만들기 위해 진동, 소음 파트를 비중 있게 설계 진행 중에 있다. 흡차음재 전문회사와 협의를 통해 흡차음재 종류 및 배치위치를 협의 중에 있다.



<그림 1-57> 개발단계 흡차음재 위치

<그림 1-57>은 현재 1차 시제품 캐빈을 기반으로 제작한 흡차음재를 나타내고 있다. 상기 흡차음재는 엔진과 캐빈 사이 조향장치에 적용할 예정이며, 현재 시제품을 제작하고 있다.



<그림 1-58> 발판 흡음재

<그림 1-58>은 발판매트 파트에 적용할 흡차음재의 형상을 나타내고 있다. 발판은 캐빈의 마운트 파트와 직접적으로 엔진으로부터의 진동, 소음의 영향을 받는 구간으로, 방진의 중요 포인트 중에 하나이다. 발판은 차음재와 흡음재를 2단으로 적용하여, 작업자의 피로를 최대한 줄일 예정이다.



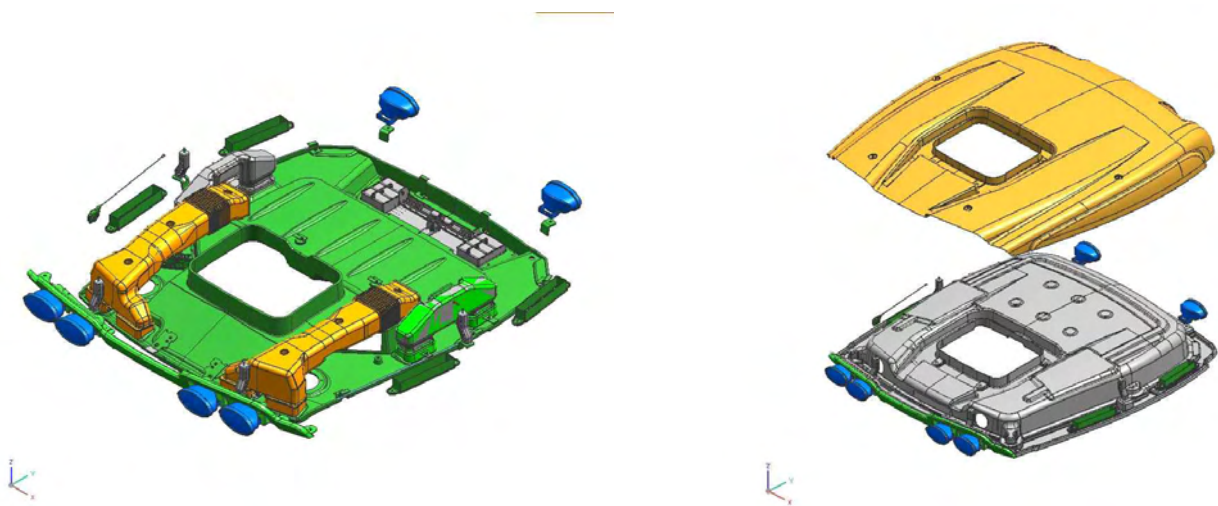
<그림 1-59> 시제품 레버가이드

<그림 1-59>는 트랙터의 다양한 작업을 하기 위한 레버를 보여주고 있다. 레버는 작업자가 직접으로 인체를 이용하여, 조작하는 곳으로, 진동 및 소음에 가장 민감한 구간 중에 하나이다. 현재 레버가이드에 흡음재를 적용하여 진동 및 소음을 줄일 예정이다.

아직 흡차음재 설계 및 검토 단계이기 때문에, 2차 시제품부터 적용할 예정이다. 이외에도 현재 캐빈 내에 흡차음재를 적용할 파트를 설정하고 있는 단계에 있으며, 2차 시제품에는 흡차음재가 적용되어, 1차 시제품에 비해 진동 소음 측면에서 크게 향상 될 것이라 판단된다.

다. 지붕 설계 및 제작

본 과제에서 개발한 지붕은 생산성, 원가절감, 품질향상, 작업효율성을 기준으로 삼고 설계를 하였다. 우선 개발은 지붕 외부는 본 과제에서 개발한 본넷트와 동일한 재질을 적용하였다. 이는 혹한기, 혹서기 때 극한 환경에서 변형 및 파손을 방지 및, 외부에서의 물리적 충격에 의한 손상을 방지하기 위함이다. 또한 개발된 지붕에 비해 그 구조가 매우 심플하여, 높은 생산성과 부품 개수가 줄어들어, 소비자의 부담을 줄일 수 있도록 하였다. 또한, 지붕 전면커버에 작업등을 4개를 부착, 작업자가 전방 시야성을 확보하여 편의성을 향상하였다.



<그림 1-60> 시제품 캐빈 지붕 개략도

<그림 1-60>은 지붕의 3D 형상이다. 본 과제에서 대동공업이 보유하고 있는 일반적인 지붕구조와는 100% 다르며, 과제를 통하여, 전 부품을 개발하였다. 또한 냉각시스템 전문 업체와 협의하여, 지붕에 적합한 에어컨시스템을 개발하였으며, 기존의 대동에서 동급트랙터에 적용하고 있는 에어컨시스템 대비 단가를 낮추고 품질을 유지시켰다.

라. THROTTLE (FOOT & HAND) 설계

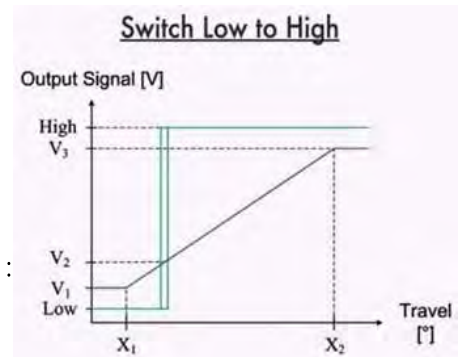
농기계는 일반적으로 HAND/FOOT THROTTLE 두 가지를 사용하고 있다. 주행 시에는 FOOT THROTTLE을 주로 사용하지만 작업 시에는 THROTTLE을 고정하여 작업하기 때문에 엔진 RPM을 고정 할 수 있는 HAND THROTTLE이 필요하다. 기존의 기계식 엔진은 엔진 거버너에 케이블을 연결 고정하여 작업을 진행 하였으나 Tier-4 전자식 엔진은 THROTTLE의 변화량이 ECU에 전달되어 분사시기를 조절해야 함으로 THROTTLE 센서를 사용하고 있다.

Mitsubishi社의 HAND/FOOT THROTTLE 센서는 각각의 전압을 조절할 수 있는 아날로그센서와 IVS(IDLE VALIDATION SWITCH)스위치를 가진다. IVS는 THROTTLE의 동작 시 스위치 접점을

감지하여 THROTTLE의 이상동작을 감지한다.

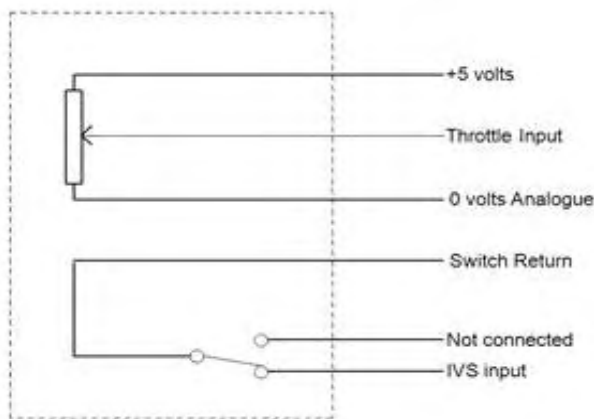
(1) FOOT/HAND Calibration Setting

- SENSOR TYPE : ANALOGUE + SWITCH
- SUPPLY VOLTAGE : 5V
- OUTPUT at MIN(IDLE) POSITION : 0.5V
- OUTPUT at MAX(FULL) POSITION : 4.5V
- IVS SWITCH : OPEN VOLTAGE 12V(MIN/MAX : 10V /16V)
- IVS SWITCH : CLOSE VOLTAGE 0V
- IVS SWITCH OPENING THRESHOLD : 4.4V

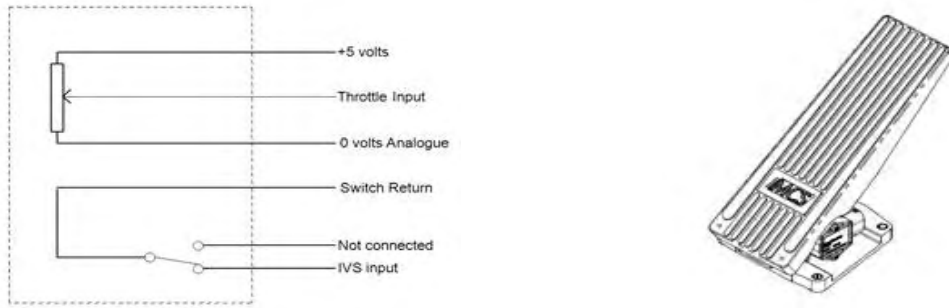


아날로그센서의 전압은 5V를 사용하고 포텐셔미터 방식으로 THROTTLE의 변화량을 감지한다. 출력IDLE MIN 포지션 0.5V이하일 경우 IDLE 상태를 유지하며 IDLE MAX 포지션 4.5V 이상일 경우는 IDLE MAX를 유지한다. IVS는 정지 상태에서는 스위치 접점이 붙어 있지만 전압의 변화가 없지만THROTTLE이 변화할 경우 12V 전원을 출력한다.

(2) 아날로그 THROTTLE(HAND/FOOT) & IDLE VALIDATION SWITCH

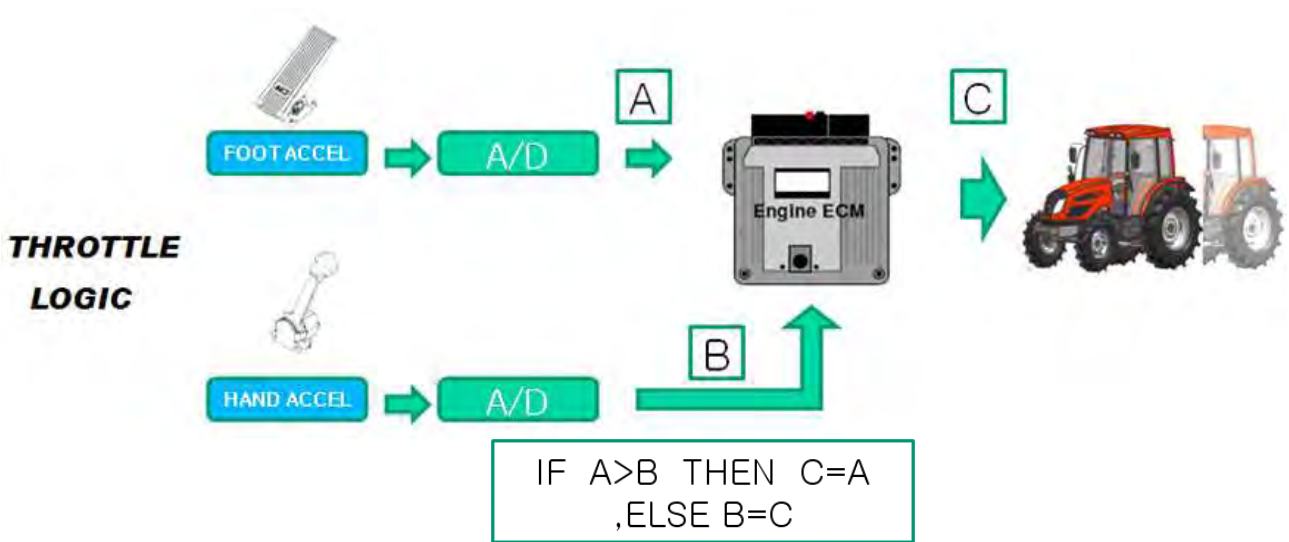


<그림 1-61> HAND THROTTLE



<그림 1-62> FOOT THROTTLE

(3) THROTTLE & IDLE VALIDATION SWITCH 로직



<그림 1-63> Throttle logic 개념도

(4) ACCELERATION SENSOR 위치 규제

(가) 방수

- 센서의 컨넥터부 혹은 센서축에 물이 고일 수 있는 구조가 아닐 것.
- 세척 시 스팀 혹은 고압의 물이 가해지는 공간이 아닐 것.
- 배선이 너무 팽팽하게 되지 말 것. (방수 씬에 손상을 주어 내부로 수부유입)

(나) 진동

- 2.4Grms (5~1000Hz 모든 방향) 이상의 진동이 가해지지 않는 구조
- 공진이 발생되지 않는 곳에 장착.
- 악셀 레버 진동이 레버 암에 진동이 전달되지 않을 것.
- 진동에 의해서 악셀레이션 센서의 출력 값이 1.6mVp-p 범위 내 혹은 그 이하의 범위일 것.

(다) NOISE

출력 전압에 영향을 미치지 않게 하기 위해 아래의 내용을 준수해야 한다.

- ECU와 악셀레이션 센서간의 와이어 거리는 최대 5M를 초과할 수 없을 것.
- 대전력 소자와 같은 NOISE 소스 근처에 케이블을 위치하지 말 것.

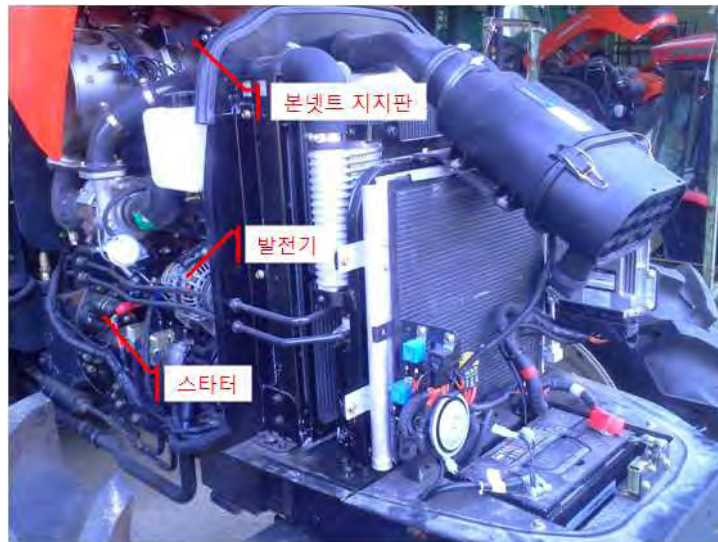
만약 이 소음원으로 부터 분리가 불가하다면, TWISTED 혹은 SHIELD 케이블을 사용 할 것.

- 출력에 미치는 영향은 50mV_{p-p} 혹은 그 이하의 범위 이어야 할 것.

8. Target 검증 및 기본 성능시험

가. 엔진룸 내부 온도 측정

엔진룸에서 온도제한 조건을 가지는 부품에 대하여 온도를 측정하였다. <그림 1-50>은 온도 측정 부위를 표시한 것이다.



<그림 1-64> 엔진룸 내 온도 측정부분

<표 1-17> 부품별 온도 평가

평가항목		에어컨off			
		단위	기준	Pmax	Tmax
표면온도	발전기	℃	110↓	95	103.5
	스타터	℃	110↓	105	113.5
	본넷지지판	℃	110↓	80	88.5
주위온도	발전기	℃	130↓	78	78.5
	스타터	℃	130↓	102.8	112.5

<표 1-17>는 엔진룸에 배치되어 있는 파트에 대한 온도 측정 결과이다. 기준은 대동공업 기준과 비교 하였으며, 대동공업 기준은 현재 대동공업에서 양산되고 있는 농기계에 대한 기준으로 적용하기 때문에 신뢰할 만한 데이터이다.

측정 부품은 발전기, 스타터 그리고 본넷지지판으로 선정하였다. 발전기와 스타터는 기준이상의 온도가 상승하거나, 주위온도가 높으면, 장치내의 부품의 파손 및 변형으로 인하여, 그 기능을 제대로 작동하지 않을 수도 있기 때문이다. 그렇기 때문에 발전기 및 스타터 제조사들은 온도에 대한 기준을 표기하여, 관리하고 있다. 대동공업 기준은 일반적인 발전기, 스타터 제조사가 요구하는 조건보다 더 엄격하게 적용하고 있다. 측정결과 최대토크 Tmax에서 스타터 표면온도가 3.5℃ 초과하였다. 본 과제에 스타터는 MHI社에서 적용한 것으로, MHI社와의 협의해야할 상황이다.

나. 방열성능 및 배압 시험

엔진이 과열되는 것을 방지하기 위해 트랙터에는 Cooling system이 필수적으로 탑재되어 있다. Cooling 성능은 방열 성능 시험으로 통하여, 엔진제조사 또는 트랙터완성업체의 기준에 따라 평가되며, 본 과제의 시제품에 탑재된 미쓰비시사의 K42는 현재 시제품이기 때문에 제조사에서 아직 정량적 수치에 의한 명확한 기준을 가지고 있지 않다. 그러므로 본 방열성 성능평가는 대동공업 기준으로 평가하였다.

<표 1-18> 흡, 배기 평가표

평가항목		에어컨off			
		단위	기준	Pmax	Tmax
흡, 배기 저항	흡기 부압	mmAq	508↓	-	
	배기 배압	mmAq	2000↓	1470	

<표 1-18>은 배기 배압을 측정한 값을 나타내었다. 현재 대동공업 양산 트랙터 기준으로는 2000 mmAq 이하를 기준으로 하기 때문에, 본 시제품은 이 기준으로 통과하므로, 배압상태는 아무런 문제가 없음을 알 수 있다.

<표 1-19> 방열성 시험항목

에어컨 상태		off	off	on	on	
캐빈		Close	Close	Close	Close	
시험항목		Pmax	Tmax	Pmax	Tmax	
항 목	단위					
출력	HP	72.4	67.5	67.5	63.3	gross 대비(시험시간:3.0hr)
수정출력	HP	73.6	68.4	68.9	64.2	출력(hp)*수정계수
PTO 효율	%	73.6	-	68.9	-	
PTO 회전수	rpm	623	468	623	468	
엔진회전수	rpm	2400	1800	2400	1800	Idle max:2364 , Idlemin:986
배기가스	℃	440.6	460	446.6	471.3	
엔진룸	℃	82.1	86.6	86.2	92.5	엔진룸온도
T_Win	℃	80.6	83	85.4	88.3	엔진기준
TW_out	℃	85	88.7	89.8	94.3	엔진기준
캐빈내 온도	℃	36.3	33	19.9	18	내기온도
△TR	℃	4.4	5.7	4.4	6	T_Wout - T_Win
DT	℃	49.2	58	51.5	62	T_Wout - T_Rin
T_air_cleaner	℃	35.8	31.8	38.6	33.2	에어클리너 입구
T_Acin-Tair		6.1	4.9	7.1	5	에어클리너 입구- 외기온도
TE_OIL	℃	107	108.7	111	113	엔진오일 필터 입구
ACT_WATER	℃	54.7	48.2	51.7	43.9	대동기준 : 46℃ 이상

대동공업 기준에서 시제품 트랙터는 에어컨 ON상태에서 Tmax 일 때를, 제외하고 모두 통과하였으나, 이 상태에서 기준치보다 2.1℃ 로 조금 낮다. 하지만 본넷트의 그릴 영역 확대를 통하여, 공기흐름을 보다 원활하게 한다면, 기준을 통과할 것이라 사료된다. 현재 시제품의 그릴영역을 확장을 통해, 2차 시제품 조립 부품을 적용하여 다시 측정할 예정이다.

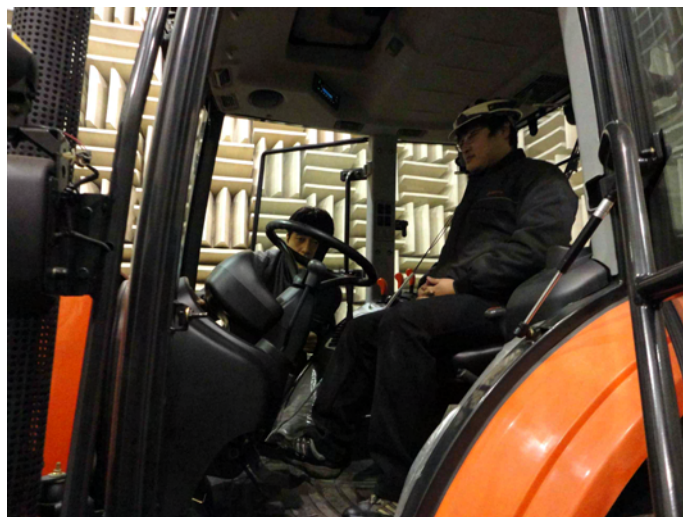
다. 소음 및 진동 시험

소음 및 진동 시험은 (주)대동공업 기술연구소에서 보유 중인 측정 장비를 이용하여, 무향실에서 측정 하였다.



<그림 1-65>소음진동 시험 환경

<그림 1-65>은 무향실에서 진동, 소음 시험을 하기위한, 세팅 단계를 나타낸 것이다. 무향실은 외부로부터 발생하는 소음을 방지하기 위해 대동공업에서 보유한 시설이다. 무향실은 밀폐된 공간이기 때문에 배기가스를 밖으로 배출하는 시설 또한 갖추고 있다.

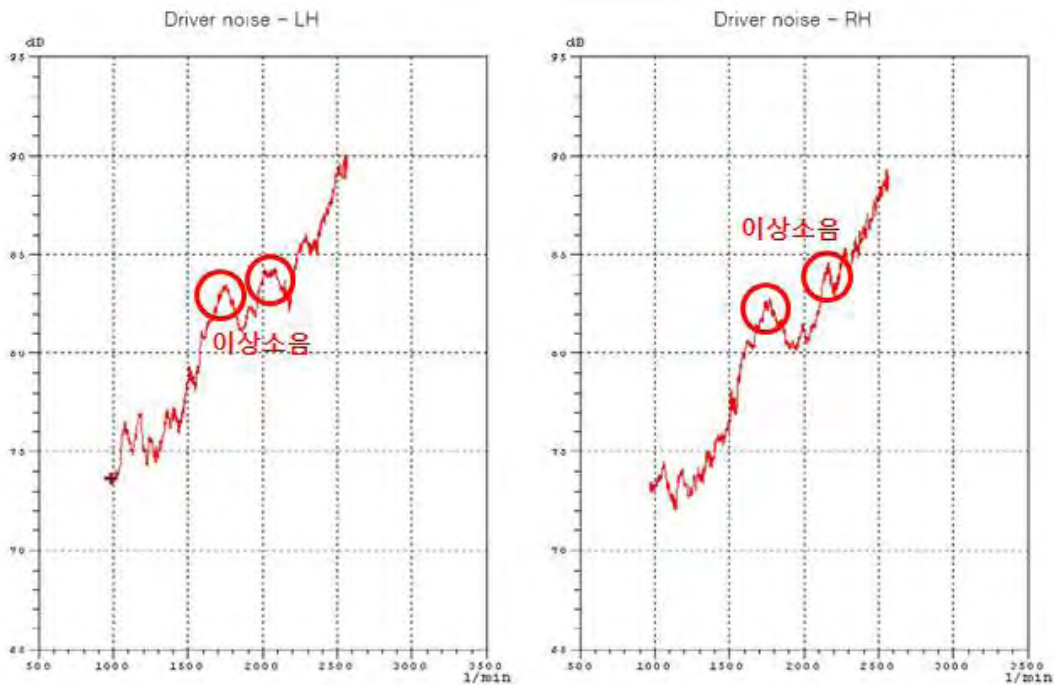


<그림 1-66> 캐빈 내 진동 소음 센서 부착 및 테스트

<그림 1-66>은 진동 소음 측정을 위해 세팅하는 모습이다. 작업자의 소음을 측정하기 위해, 실험자 좌우 귀 부분에 마이크로폰을 설치하여, 소음을 측정한다. 본 시험에서는 작업자의 귀 부분의 소음을 측정하기 위해 마이크로폰이 장착된 헬멧을 써서 그 데이터값을 측정하였다.

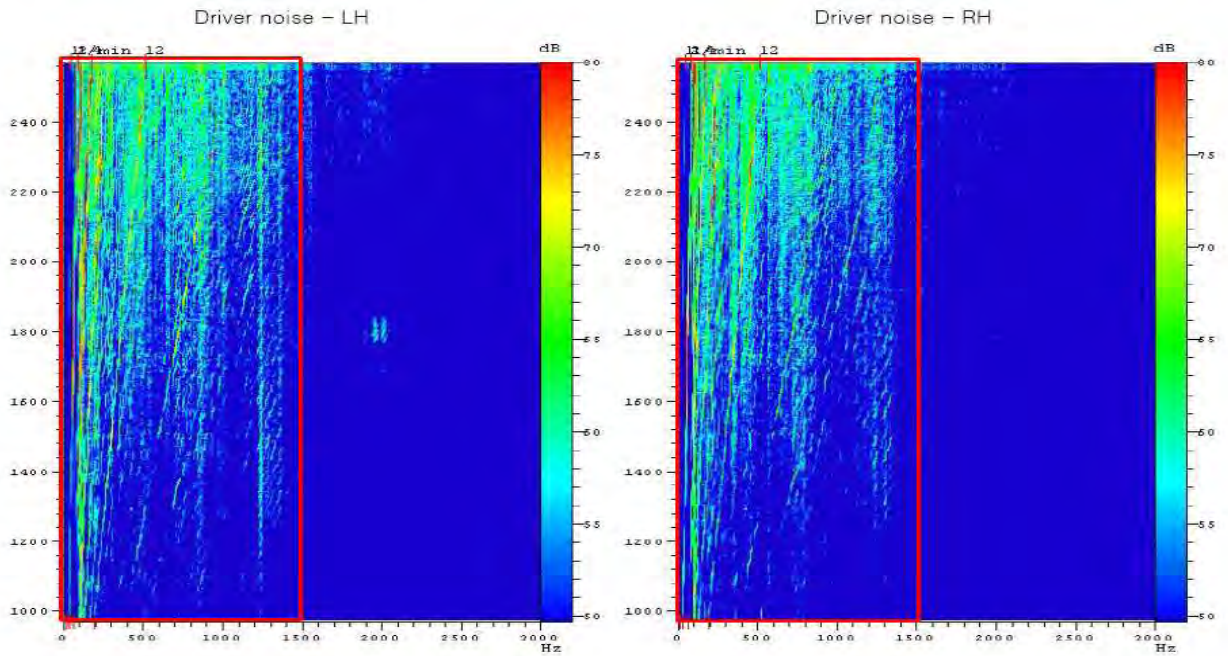
진동의 소스인 엔진과 직접적으로 연결된 캐빈 마운트를 기점으로 발판의 좌우 1개씩 그리고 의자 밑판에 진동감지 센서를 부착하여, 그 데이터값을 측정하였다.

실험은 트랙터가 정지 상태에서 진행하였으며, 무 부하 상태에서 액셀러레이터를 밟아 Max 값과 Min 값을 도출하였다.



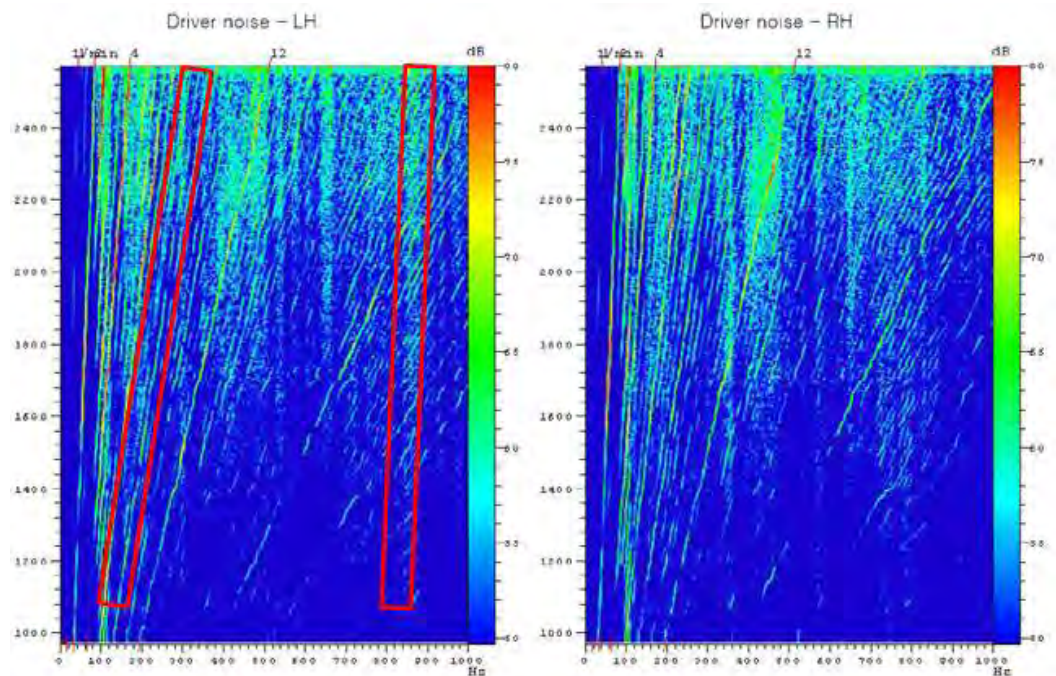
<그림 1-67> 운전자 소음에 대한 SPL 그래프

<그림 1-67>은 시제품의 SPL(Sound Pressure Level)그래프를 나타낸 것이다. 좌측을 기준으로 최대값은 약 2600rpm에서 90dB이며, 최소값은 약 1000rpm에서 73dB 값을 보이고 있다. 약 1700~2300rpm 구간에 2번의 peak point가 있다. 이는 이상소음이 발생한 것이다. 본 시제품과 동급의 주력 대동트랙터 DX9010이 83dB 임으로, 현재 양산트랙터보다 소음이 다소 높은 것으로 판단된다.



<그림 1-68> 운전자 소음에 대한 APS 맵

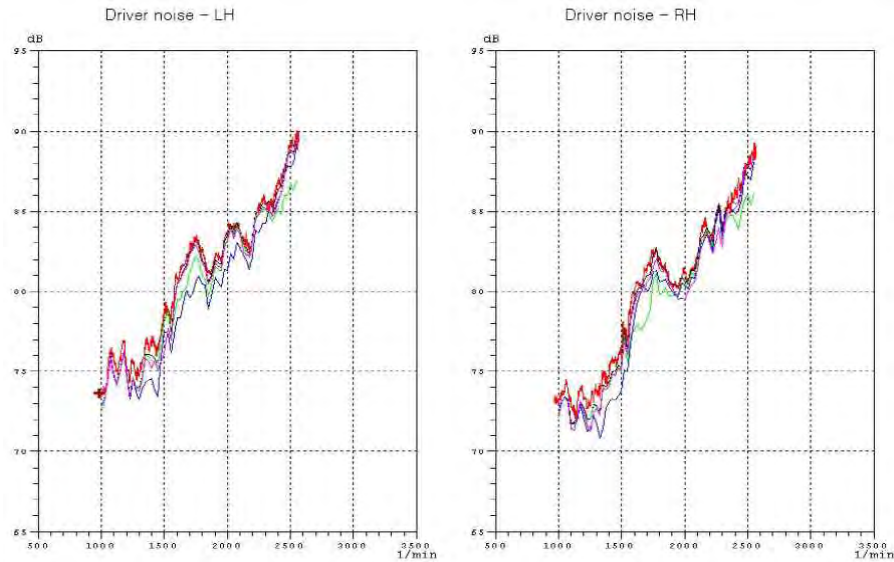
<그림 1-68>는 본 시제품의 APS(Auto Power Spectrum) color map을 나타낸 것이다. 주파수 구간은 0~3kHz로 하였다. 그 결과 1500Hz 이하 영역에서 소음이 발생하였으며, 75dB 이상의 소음은 500Hz이하에서 구간에서 발생하였다. 소음은 저주파 영역에서 주로 발생하며, 80dB이상의 고소음은 200Hz이하 저주파 구간에서 발생하였다.



<그림 1-69> 운전자 소음에 대한 0-1kHz 구간 APS 맵

<그림 1-69>은 0~1kHz 구간을 나타내고 있다. 상기 map에서 비스듬하게 보이는 라인은 rpm에 증

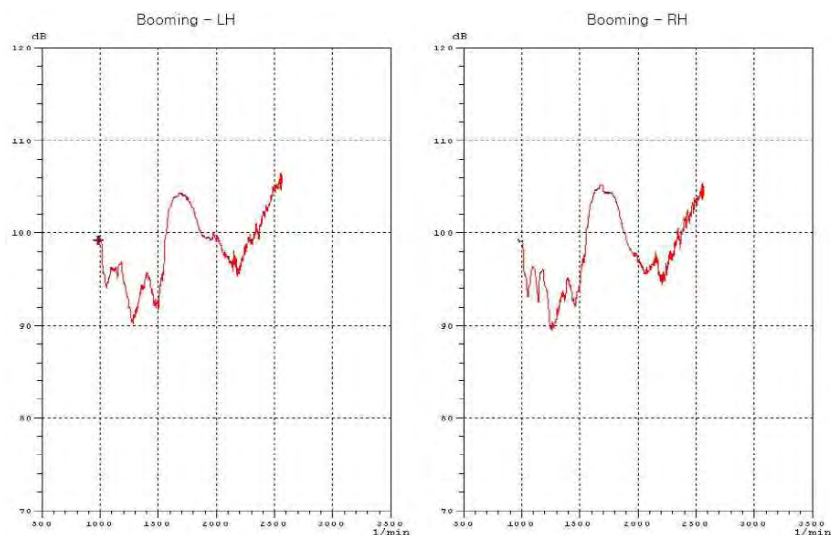
가함에 따라 비례적으로 증가하는 소음을 나타낸 것이며, 수직으로 나타내는 라인은 캐빈 자체에서 발생하는 소음을 나타낸다. 상기 map을 통해 캐빈 자체 소음보다는 rpm에 증감됨에 따라 소음이 영향이 큰 것을 알 수 있다. 또한 저주파수영역대에서 소음이 심하다는 것을 볼 수 있다.



<그림 1-70> 운전자 소음에 대한 0-1kHz 구간 Order analysis filter

<그림 1-70>은 Order analysis-filter 한 것이다. raw data(red), C1(black), C4(blue), C12(pink)를 나타낸다. C2는 엔진 폭발행정일 때를 나타내며, C4는 C2의 조화함수이다. 상기 그래프에서는 2000rpm 이하일 때는 C2의 영향을 크지만, 2000rpm 이상일 때는 C4(C2의 harmonic) 성분이 강함을 나타낸다. 하지만 500Hz이하에서 소음이 주요 발생하였으므로, 소음의 원인으로써 C2의 성분이 강하다는 것을 보여 준다.

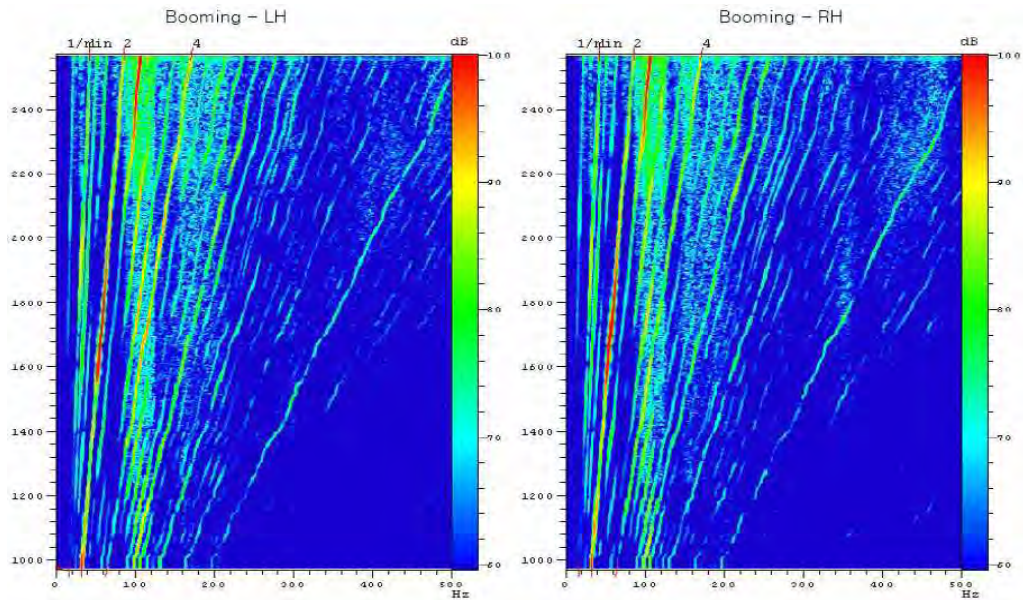
<그림 1-71>는 운전 Booming 소음(dBC)을 측정된 것이다.



<그림 2-71> Booming 소음(C-weight)

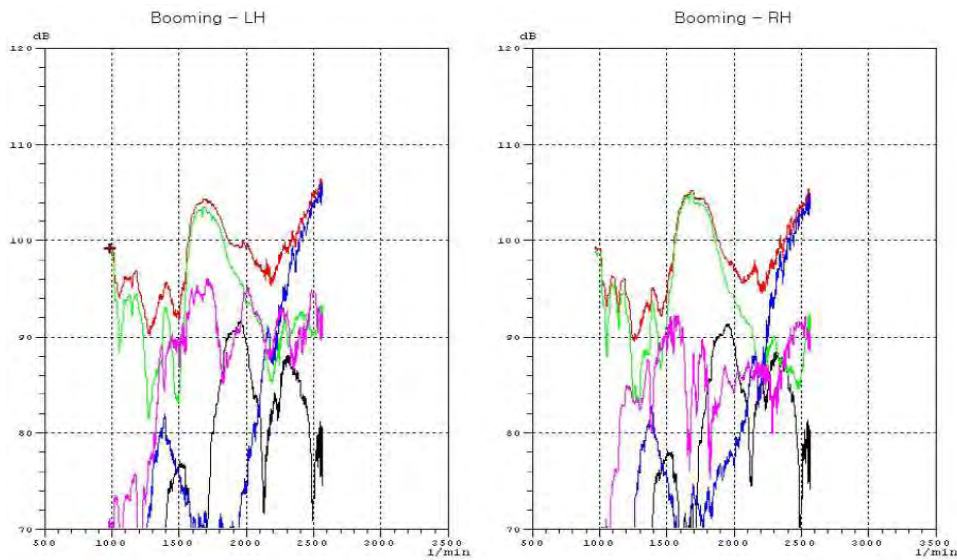
C-weight 필터를 이용하였으며, 최대값이 좌측 106dBC, 우측 105.5dBC 값이 도출되었다. 상기 그

래프를 살펴보면 좌측을 기준으로 대략 1650rpm에서 booming이 발생하였으며, 2500rpm에서 최대값이 보이고 있다.



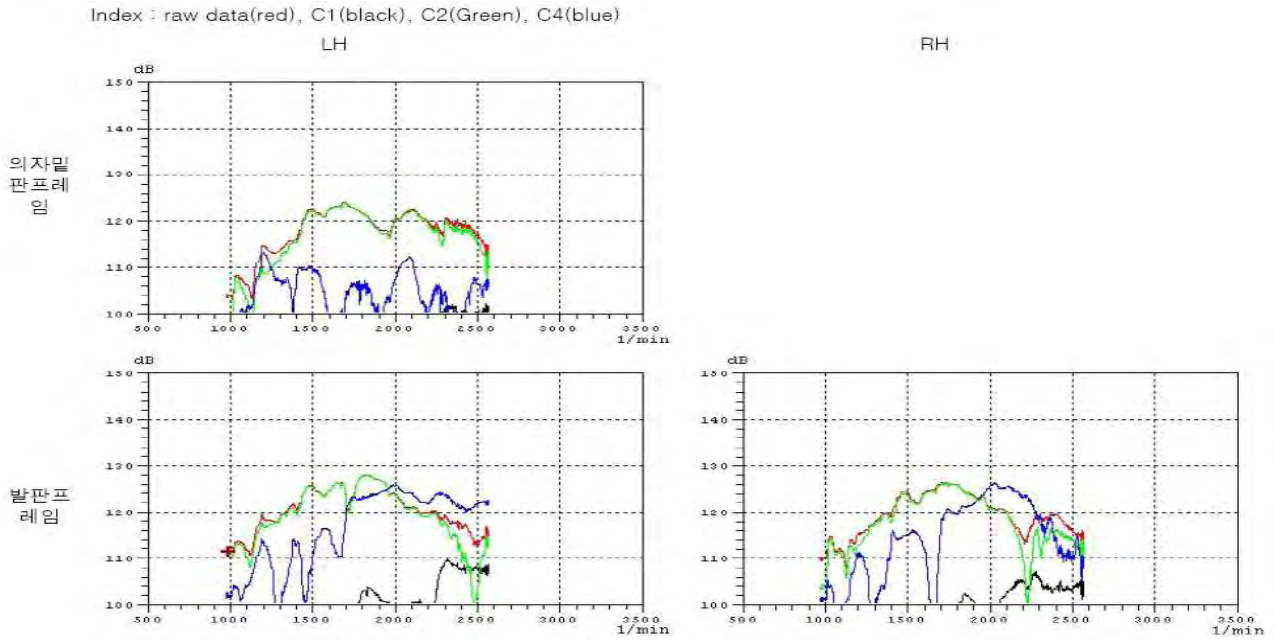
<그림 1-72> Booming 소음에 대한 APS 맵

<그림 1-72>은 APS(Auto Power Spectrum) color map을 나타낸 것이다. 상기 map에서 1500-2000rpm 영역 내에서 소음이 심하게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그리고 2차에서 발생함을 알 수 있다. 2차는 엔진이 폭발하는 시점을 말함으로, 엔진이 폭발행정일 때 그리고 1500-2000rpm일 때 소음이 심하게 발생함을 알 수 있다.



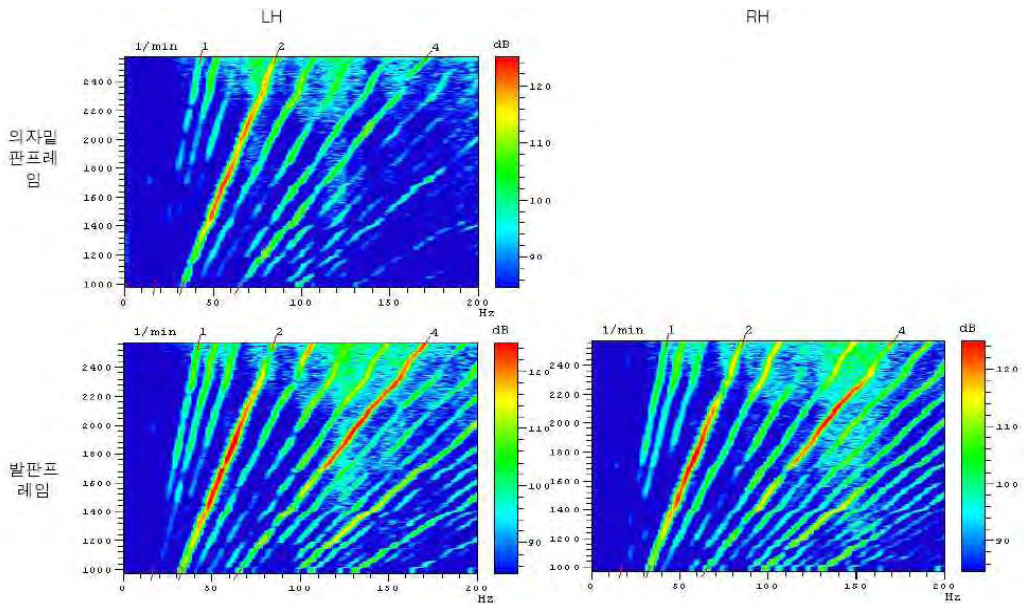
<그림 1-73> 1.5-2kHz 구간에서 Booming 소음(C-weight)

<그림 1-73>는 Order analysis를 한 것이다. raw data(red), C1(black), C4(blue), C12(pink)를 나타낸다. 2000rpm 이하 영역에서는 C2 즉, 엔진 폭발 시점에서 소음이 있으며, 2000rpm 이상에서는 C2.5 성분이 강하다.



<그림 1-74> 운전자 진동 그래프

<그림 1-74>는 의자밀판 프레임, 발판프레임에 장착한 진동센서로 감지한 데이터이다. raw data(red), C1(black), C4(blue), C12(pink)를 나타낸다. C2성분(엔진폭발)이 대부분이지만, 대략 2000rpm이상에서는 C4성분이 강하게 나타났다.



<그림 1-75> 운전자 진동 APS 맵

<그림 1-75>은 0에서 200Hz 영역대의 진동을 나타낸 것이다. 그 결과 의자밀판프레임은 C2 성분이 강하게 나타났으며, 발판프레임은 C2,C4 성분이 강하게 나왔다.

9. 2차 시제품 부품개발 및 수정 보완

가. 품질 검증 및 양산성평가

배기가스 후처리장치를 위한 Packaging System에 대한 품질 검증 및 양산성 평가를 하였다. 하기의 그림은 기본성능시험 중 발생한 문제점들 중 하나이다.



<그림 1-76>열로 인한 파손부분

DPF에서는 나오는 배기가스는 고온 상태이기 때문에 소음기 파이프 주변 파트들이 열적 영향으로 주변 부품이 손상이 되었다. 본넷트 같은 경우 통상적으로 110℃ 정도 까지 열적 내구성을 가지지만 시험 중 열변경이 발생하여 일그러졌다. 또한 주변 배선 또한 심하게 손상이 되었다. 이는 Packaging System에서 소음기파이프의 layout에서 열적 영향을 고려하지 않았기 때문에 이러한 문제가 발생이 되었다.

<그림1-77>는 소음기파이프의 고온 현상으로 인하여 시동모터 마그네틱스위치의 표면 150℃을 보이고 있다. 이는 열로 인하여, 시동모터 마그네틱스위치 파손 및 내구성 저하가 발생 될 것으로 판단 하다고 있다.



<그림 1-77> 시동모터 마그네틱스위치

150℃을 보이고 있다. 이는 열로 인하여, 시동모터 마그네틱스위치 파손 및 내구성 저하가 발생 될 것으로 판단 하다고 있다.



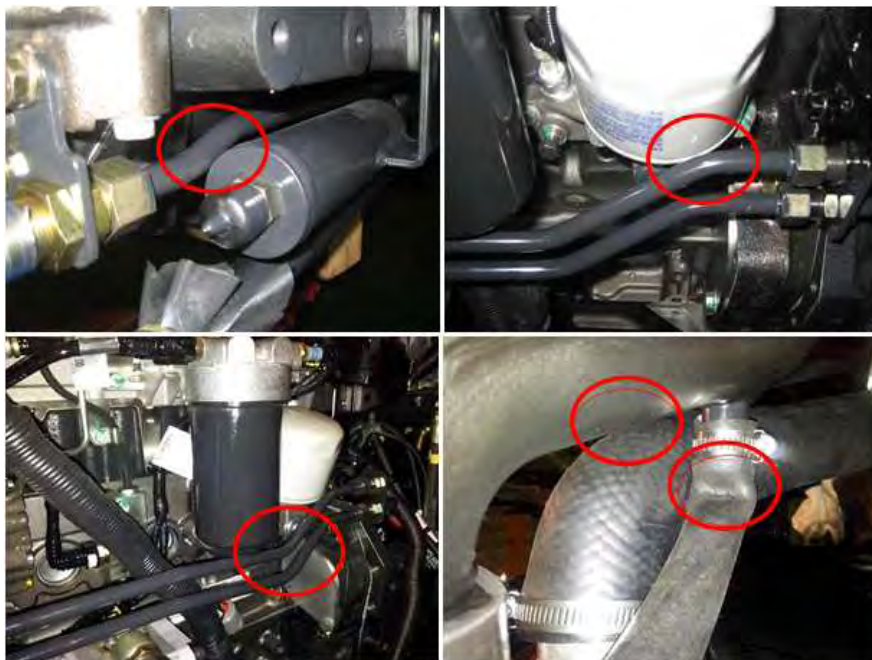
<그림 1-78> 에어실린더

<그림 1-78>은 에어실린더에 온도스티커는 부착한 그림이다. 에어실린더는 작업자가 본넷트를 오픈 시 쉽게 열 수 있도록 하기 위해서 적용하였다. 일반적으로 에어실린더는 80℃이상의 온도에서 노출 시 내구성이 급격히 줄어든다. 2차 시제품의 경우 시험 후 에어실린더의 내구성이 급격히 떨어져 본넷트를 열 수 없는 상태가 되었다. 이를 확인하기 위해 에어실린더에 온도스티커를 부착해 보았으며, 그 결과 에어실린더 표면온도가 95℃도 나와, 에어실린더에 내구성을 확보하지 못했다.



<그림 1-79> 인터쿨러호스

<그림1-79>는 성능시험에 호스가 부풀어져 터지는 부분을 표시하였다. 인터쿨러 입구 부분에 약 150℃의 고압고온의 공기가 들어온다. 2차 시제품 경우 일반적으로 가장 많이 쓰이는 에틸렌프로피렌 (EPDM) 호스를 적용하였다. 에틸렌프로피렌(EPDM) 호스 경우 온도가 -40℃~130℃에서 물리적 화학적 변경이 발생하지 않는다. 하지만 Tier-4엔진 경우 150℃이상의 고온이 발생함으로, 호스가 변경된 것으로 판단하고 있다.



<그림 1-80> 엔진룸 개선사항

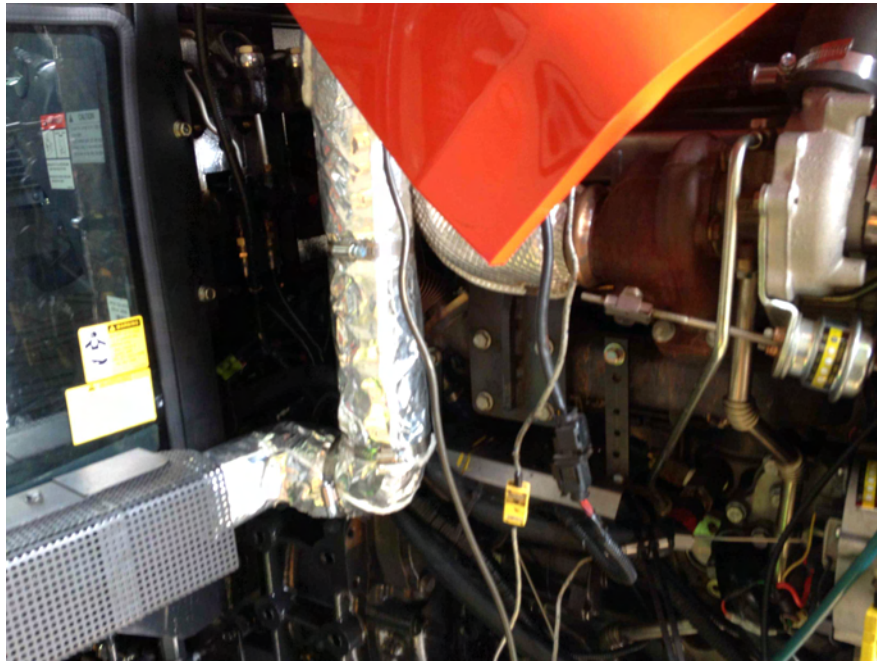
시제품 단계이기 때문에 아직 최종사양의 layout이라 할 수 없다. 그리고 시제품은 제품의 성능을

평가하기 위해 제작되어 간섭부가 발생할 수 있다. 차후에 위치 변경이 필요하다.

<그림1-80>는 간섭으로 인한 위치변경이 필요한 부분을 보여주고 있다. 유압파이프와 유압펌프간의 간섭이 다소 발생되었다. 파이프는 직접적으로는 접촉하지 않지만, 진동에 의한 fretting wear 및 반복적인 접촉으로 피로파괴 발생이 예상된다. 호스류 경우 접힘 현상으로, 호스내부의 공기 및 유동의 흐름을 방해하거나, 차단될 수도 있으며, 심할 경우 호스가 터질 수도 있다. 트랙터경우는 대부분의 작업환경이 Off-road이기 때문에 돌이나 자갈이 튀어 유압펌프나, 파이프에 직접적인 물리적 영향을 줄 수 있으므로, 시험을 통하여 최적의 layout 을 구성할 예정이다.

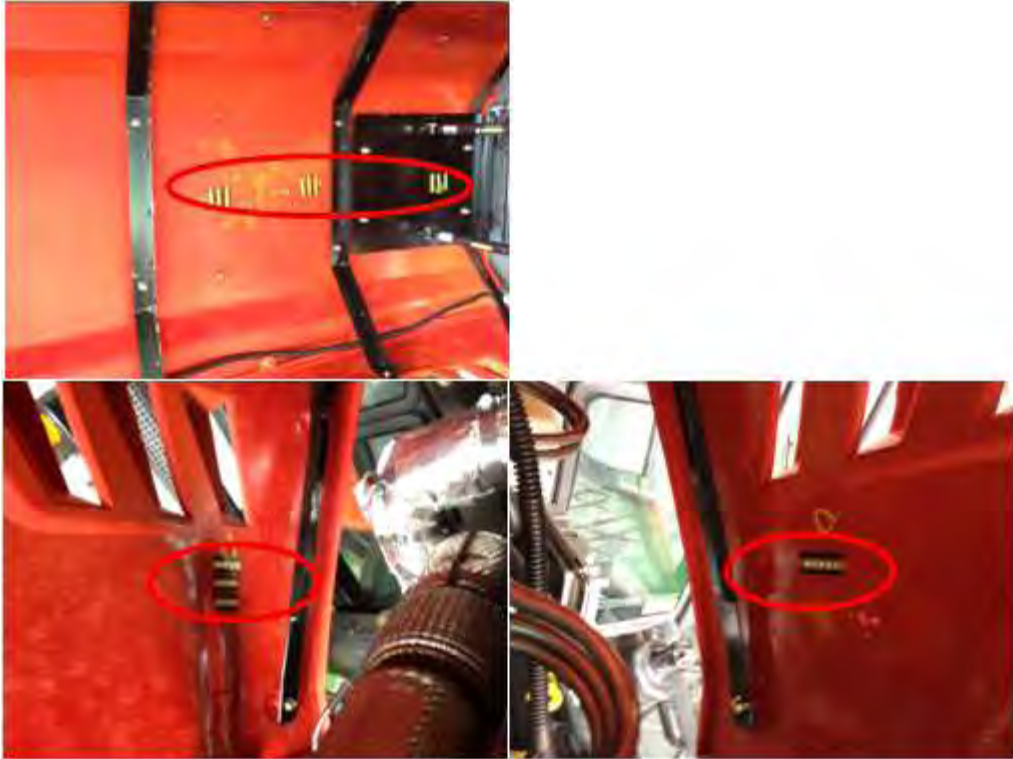
나. 품질 문제점 개선

(1)엔진룸 관련 부품



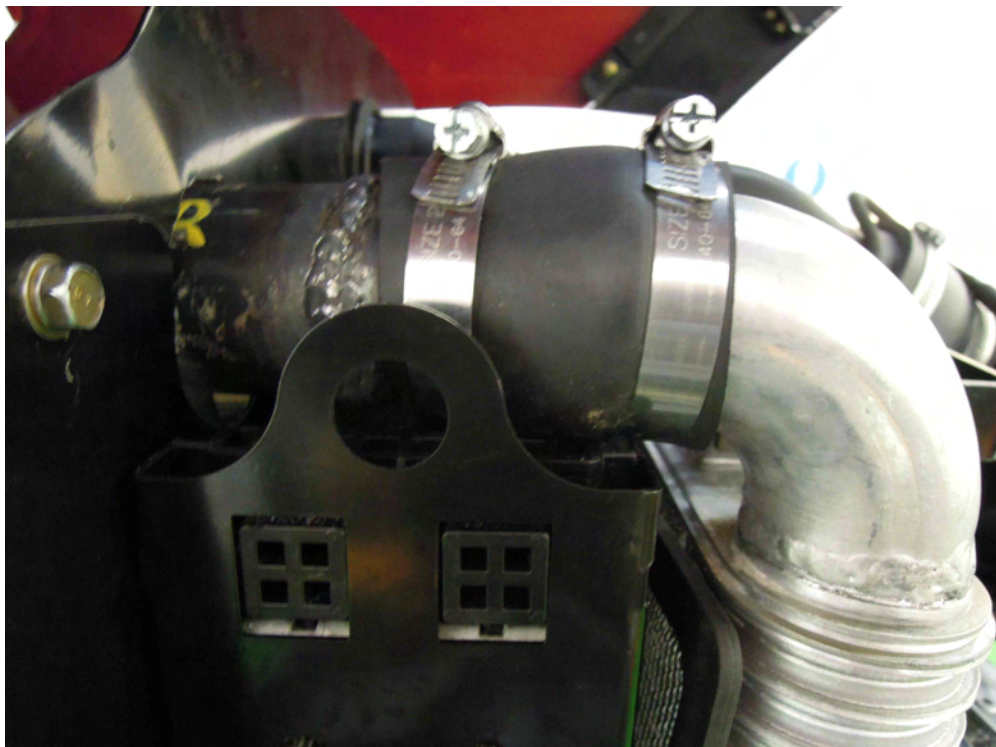
<그림 1-81> 내장재를 적용한 소음기파이프

<그림1-81>은 소음파이프 온도 영향으로 배선, 시동모터 그리고 본넷트의 변형 및 손상을 방지하기 위해 소음파이프에 단열재를 적용한 그림이다. 소음기파이프의 layout 변경은 엔진룸의 공간 협소하여, 위치 변경을 배치하고 단열재 적용하였다. 그 결과, 에어실린더 그리고 배선 또한 열적인 영향을 더 이상 받지 않았다. 하지만 시동모터 경우 150℃에서 80℃까지 표면온도를 낮추었어, 시동스위치 내구성 측면에서 해결하였다.



<그림 1-82> 본넷트 내부 온도스티커

본넷트 일그러짐을 방지하기 위해, 각 취약한 부분에 온도 스티커를 부착하여 확인하였다. 3시간 가량 정격에서 온도를 측정하였다. 본넷트 상단부는 75℃, 사이드 좌측은 75℃이하였으며, 우측은 105℃로 측정되었다. 이론적인 물성치 상으로는 변형이 발생되지 않았다.



<그림 1-83> 인터쿨러호스 연결상태

인터쿨러호스 부풀림에 의한 파손을 방지하기 위하여 상기 그림과 같이 라디에이터에서 7자로 벤

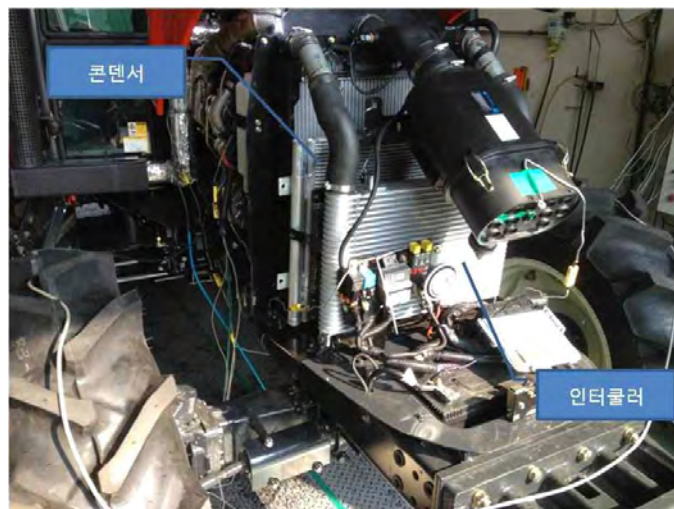
딩된 파이프를 용접하여, 호스가 받은 압력을 줄어 주고 호스 재질을 아크릴로 변경하였다. 아크릴은 물성치 상 160℃까지 고온에서 물리적 화학적 변경이 발생하지 않는다. 기본성능시험하는 동안 어떠한 형상변경이나, 부풀림이 발생되지 않아, 호스변형 문제점을 해결 하였다. 하지만 물성치상 인터쿨러의 온도가 150℃이기 때문에, 실제 필드에서 복사열 등등 기타 환경 조건의해 변경이 발생할 거라 예상이 된다. 현재 자동차에서 많이 쓰이는 실리콘재질의 호스를 개발하고 있다.



<그림 1-84> 인터쿨러 용량증대

완전연소를 유도하기 위해 인터쿨러를 40% 증가 시켰다. Pmax에서 기존의 인터쿨러는 약 75℃정도 냉각 효과 있었으며, 인터쿨러 용량을 증가 시킨 후에는 86℃정도 냉각효과를 얻을 수 있었다.

퍼킨스의 sign off를 받기 위해서는 인터쿨러 출구온도가 외기온도+30℃가 되어야한다., 외기온도를 30℃라 가정한다면 sign off 값은 60℃이다 현재 인터쿨러의 출구온도가 50℃ 이기 때문에 sign off는 통과되지만 그림과 같이 인터쿨러와 콘덴서의 위치를 변경하여, 엔진출력을 보다 증대시킬 예정이다.



<그림 1-85> Coolings System 배치구조

상기그림은 인터쿨러의 효율을 증대시키기 위해 콘덴서와 인터쿨러의 배열위치를 바꾸었다. 그리

고 전면부에 있던 ECU의 위치를 변경하여, 냉각효과를 구조적으로 증대 시켰다. Cooling system를 배열한 변경과 ECU 위치 변경 타입의 트랙터는 Cooling system의 재현은 되었으나, 트랙터 진장 배선 및 ECU 테스트가 필요하기 때문에 본 과제에서는 결과를 도출할 수 없었다.



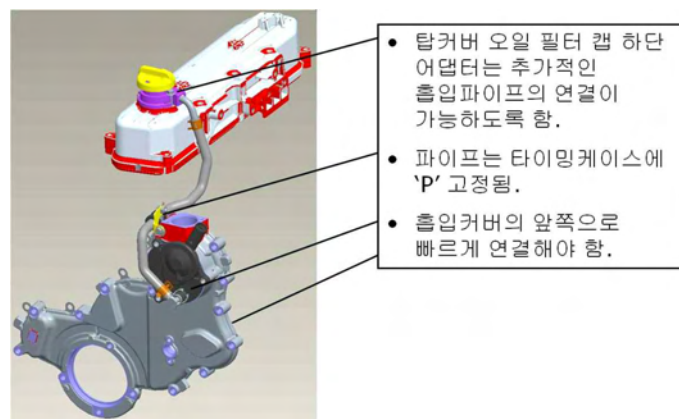
<그림 1-86> ECU 위치

ECU 위치는 현재 Cooling system 전방에 위치하고 있으나, 이를 엔진 뒤로 위치 변경을 검토하고 있다. 이는 Cooling system의 효율 증대 및 엔진 내의 hardness 경로를 단순하기 위한 것이다.

현재 시제품에는 구현이 되지 않았지만, 현재 시제품에 적용되어 시험할 예정이다.

(2) Tier-4 엔진

(가) Top cover Filler



<그림 1-87> ICA에 대한 변경내용

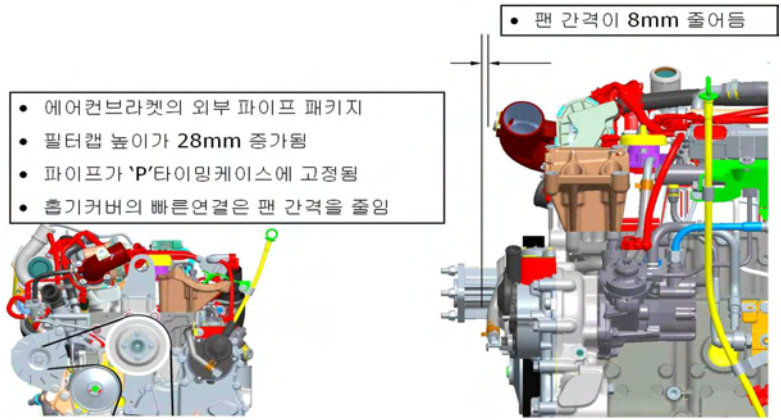
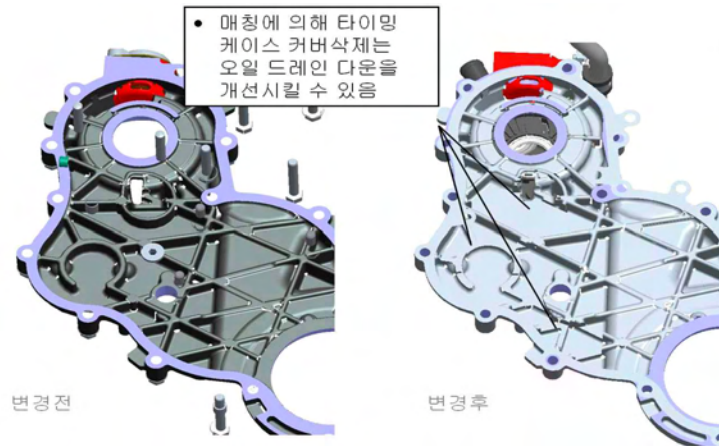


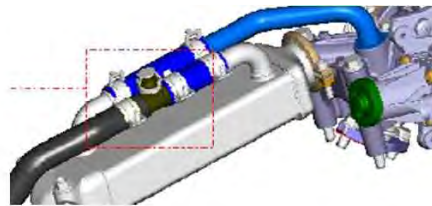
그림 3- 88외적인 패키지 영향



<그림 1-89> 타이밍 케이스커버 내부변경

(나) EGR Cooler Vent

ECR cooler exit pipe에 적합한 T pieces 개발
 호스는 새 T piece에 고정하고 잘라야 함.
 10mm hose required to fit onto T piece
 T piece에 적합한 10mm 호스 필요함.



<그림 1-90> ECR cooler vent

10. 2차 시제품 제작 및 성능평가

가. 퍼킨스 엔진 탑재 시제품 제작

퍼킨스엔진이 탑재된 1차 시제품은 대동공업 기술연구소 자체에서 총 4대를 제작하여, 조립 검토하였으며, 양산성 및 조립성 검토 및 문제점들을 파악하기 위해 대동공업 정식 라인 공정으로 2차 시제품을 3대 제작하였다.

(1) 본넷트 설계 및 제작

(가) 본넷트 설계

본넷트는 3차년도에 최종 양산타입으로 개발되었다. 재질은 물리적, 화학적 특성과 내열성 및 성형성이 뛰어난 ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)수지 70%와 PC(Polycarbonate)수지 30%를 합성한 재료로 확정하였다.

2차년도에 제작한 Mock-up 본넷트의 기본형상은 동일하며, 조립을 용이하기 위해, 조립부 위치를 조금 변경하여, 제작하였다.



<그림 1-91 최종 본넷트>

상기 그림은 고마력 Tier-4 트랙터 최종 본넷트 그림이다. 시제품을 양산품 단계로 제작하였다. 본넷트는 본넷트 상판, 사이드커버, 작업등, 전조등, 사이드그릴, 앞그릴 사이드커버하로 크게 7가지 부품으로 구성되어 있다. 이는 최적의 금형설계 및 A/S 용이성을 높이기 위하여, 파트별로 구성하

여, 제작되었다. 또한 방열성을 확보하기 위해 그릴 면적을 증가 시켰다(노란색영역) 또한 야전조등은 좌우 각각 2EA의 전구가 상하로 장치되어 있으며, 사이드에도 작업등을 탑재하여 시야성을 증가 시켰다.

(2) 엔진 제어 유닛(ECU) 위치 설계

2차년도에는 3D Modeling 및 Mock-up 제작을 하였으며, MHI社 엔진에 적합한 엔진룸 layout으로 설계 및 제작하였다. 3차년도에는 퍼킨스사의 엔진을 탑재하기 위한 엔진룸 설계 및 제작하였으며, 양산형 본넷트를 적용하였다. ECU 위치는 MHI社와 달리 퍼킨스에는 라디에이터 정면부에 위치하였다. 그 이유는 작업 시 작업자의 작업 효율을 증대시키기 위해, 전조등의 사양을 높여, Cooling system 전면부의 공간이 축소되었기 때문이다. 하지만, 이 위치는 ECU에서 발생하는 열을 효과적으로 냉각시킬 수 있으며,

하기 그림은 MHI社와 퍼킨스사 엔진의 탑재한 트랙터의 전면부를 보여주고 있다.



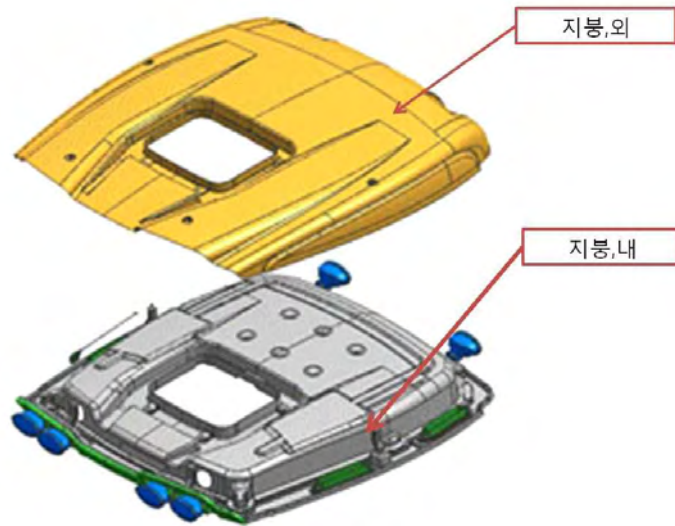
<그림 1-92> ECU위치(좌:MHI社, 우: 퍼킨스사)

현재 2차 시제품의 경우는 ECU가 전면부에 위치하고 있지만, 차후 1차 시제품에서는 ECU의 위치가 엔진룸 뒤쪽으로 이동할 예정이다.

(3) 캐빈 최적 설계 및 제작

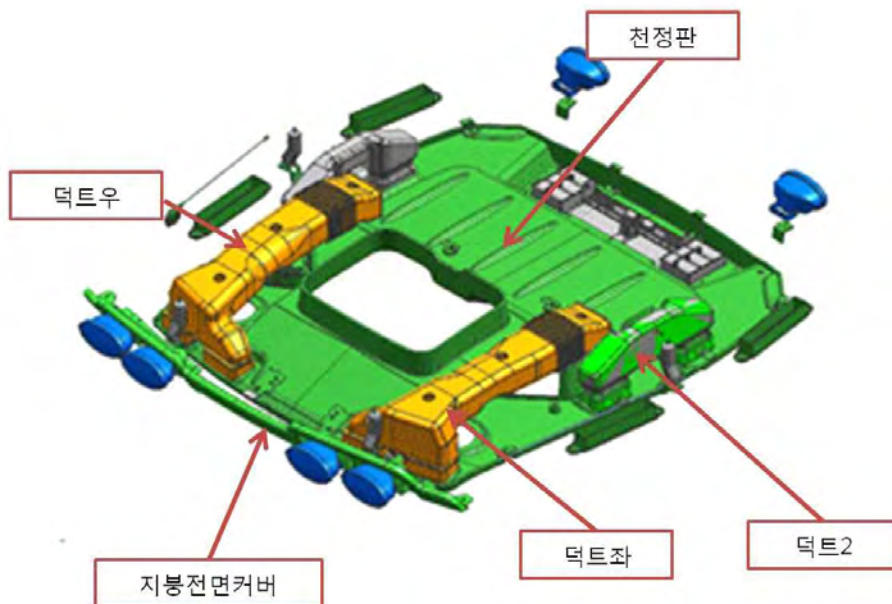
2차년도에서는 설계 및 개발을 하였으며, 3차년도에는 실차에 조립하여 조립성 검증, 양산성 평가를 통하여 통하여 품질 문제점을 수정 보완하였다.

(가) 지붕부 개발



<그림 1-93> 지붕부

(나) 공조장치부 개발



<그림 1-94> 공조장치부

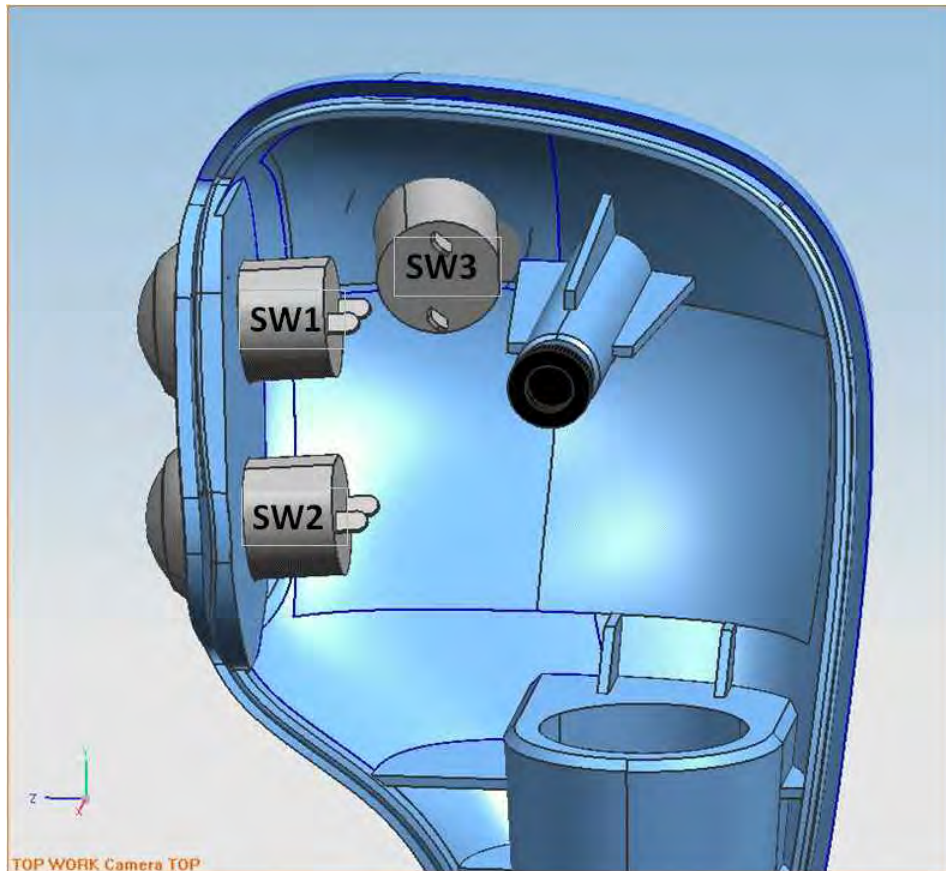
(다) 웬더부 개발



<그림 1-95> 웬더부

(라) 편의장치

2차 시제품에는 작업자의 조작성을 향상시키기 위하여, 핸드클러치 기능을 추가하여 제작하였다. 핸드 클러치는 버튼 식으로 고급승용차에 주로 적용되는 기술로, 국내 자동차회사 들이 90년 중반 부터 특허를 출원하기 시작한 기술이다. 이 기술은 2005년에 국내 농기계 업체로써는 대동공업이 “농업용 주행작업 차량의 전자식 핸드 클러치 장치”로 특허를 첫 출원하였으며, 본 과제를 통해 Tier-4 엔진 탑재 트랙터에 첫 도입하였다.



핸드클러치는 주변속레버에 그 기능을 넣었다. 핸드클러치는 스위치 조작으로 클러치 페달을 밟

는것과 같은 기능을 하며 버튼을 누른 상태에서 주변속기어 변경이 가능하다.

스위치를 누르면 서틀클러치의 비례솔레노이드 출력을 낮춰서 클러치 동력을 끊어서 기어변경이 되며, 스위치를 떼면 비례솔레노이드 출력을 정해진 맵에 따라 증가시켜 부드럽게 출발시킨다.

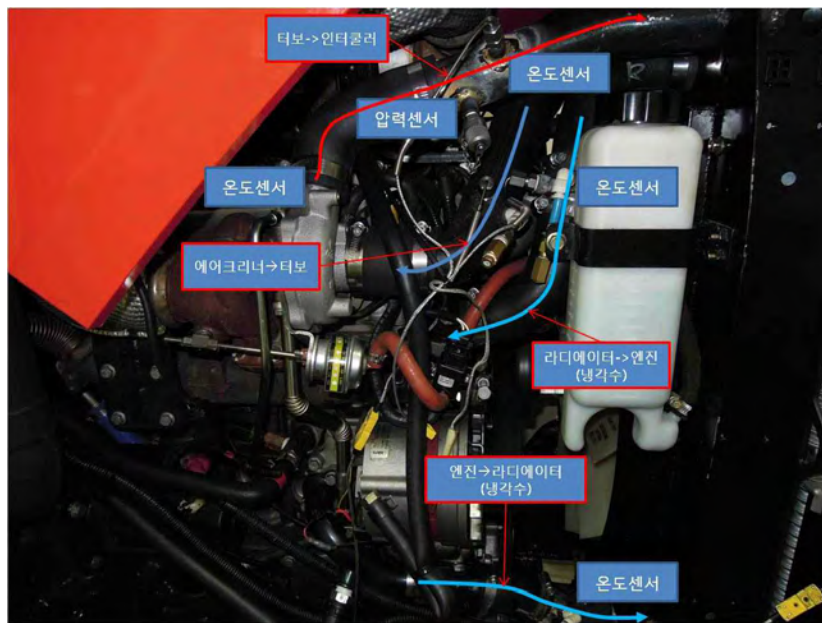
SW3버튼은 핸드클러치 스위치이며, 클러치페달 조작없이 스위치를 눌러 기어변경을 할 수 있다.

또한, Hi-LOW 기능은 주변속레버 추가 하였다. HI-LOW기능은 HI-LOW클러치 솔레노이드에 전기를 인가하여 HI-LOW클러치 기어를 HI 또는 LOW로 변경하여, 기대주행상태에서 버튼조작만으로 변속이 가능하게한다. SW1 스위치는 HI-LOW클러치 기어를 HI로 변경하여 주행속도를 증가시킨다. SW2 스위치는: LOW 스위치 HI-LOW클러치 기어를 LOW로 변경하여 주행속도를 감소시킨다.

나. 기본 성능 시험

(1) 엔진룸 내부 온도 측정

Tier-4는 엔진 특성상 고열을 발생한다. 그러므로, 엔진룸 내의 외부 온도에 민감하게 반응하거나 파손이 발생 우려 있는 부품의 layout 검토 및 방열성 평가를 위해 엔진룸 내부 온도를 측정 하였다. 측정 부위는 하기 그림과 같다.



<그림 1-97> 온도 및 압력센서 부착위치

라디에이터 입구 및 출구에 온도센서를 장착하여, 라디에이터의 사양을 검증하였다. Tier-4 엔진의 경우 엔진 특성상 고온화경을 형성하기 때문에, 방열성 측면에서 꼭 검증해야할 항목이다.

하기 표는 중요 온도 측정값을 나타낸 표이다.

<표 1-20> 각 부분온도측정

항목	단위	기준	측정값	비고
대기압	mmAq		1007.3	엔진동력계
라디에이터 전 온도	℃		35	
라디에이터 후 온도	℃		71	
엔진룸	℃		83.4	
캐빈내 온도	℃		45.2	내기온도
발전기	℃	110 ↓	95	표면온도
스타터	℃	110 ↓	150	표면온도
스타터모터	℃	110 ↓	105	표면온도
본넷 에어실린더	℃	80 ↓	95	표면온도
인터쿨러 IN	℃		157.4	
인터쿨러 OUT	℃		50	

인터쿨러 용량을 40% 증가 시켜 인터쿨러 출구 온도가 50℃임으로 기준 외기+30℃(약60℃)의 퍼킨스 기준에 만족시켰다.



<그림 1-98> 엔진내부온도 측정>

엔진룸 내의 내부 온도를 평가하기 하기 위해 Cooling system 와 라디에이터 사이에 온도센서를 장착하여, 온도를 측정하였다.

11. 설계 보완 및 최종 사양 확정

가. 후처리장치 Packaging System 사양확정

(1) 탑재 엔진배기가스 사양

당사에서 목표로 하는 배기가스 성능은 2012년부터 북미 및 유럽에서 시행되는 배기규제인 interim Tier-4 기준을 만족하는 것으로써, 후처리 장치를 포함하는 엔진에서 보증할 수 있는 배기가스 성능 값은 하기와 같으며 이는 interim Tier-4 규제를 만족하는 수치이다.

<표 1-21> 배기가스성능 만족 수치

항목	수치
배출가스 시험모드	8mode/NRTC
HC(g/kWhr)	0.19 미만
NOx(g/kWhr)	3.3 미만
CO(g/kWhr)	5.0 미만
PM(g/kWhr)	0.02 미만

(2) 탑재성 개발 항목

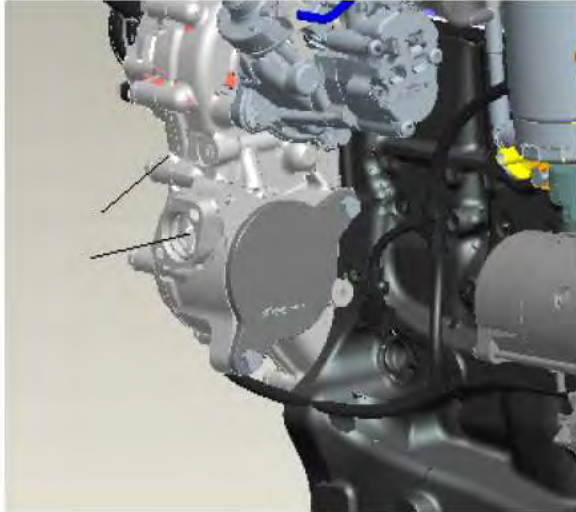
(가) 유압펌프 구동용 PTO 드라이브

트랙터의 작업기를 구동시키기 위한 조건으로 엔진부에 유압펌프의 적용 및 적상적인 구동이 필요하다. 기본적으로 엔진에서 PTO 장치를 구동시키기 위하여 유압펌프의 취부면은 SAE 규격을 적용하여 일반적인 유압펌프의 적용이 가능할 수 있도록 매칭성을 확보 하였다. 엔진에 의해 구동될 수 있는 최대 허용 토크는 142Nm이므로 당사에서는 이에 적합한 용량의 유압펌프를 적용하여 안정성을 확보 하였다. 유압펌프의 용량 계산법은 아래와 같다.

$$Power(kW) = \frac{Flow(l/min) \times Pressure(Bar)}{600 \times 0.9(efficiency^*)}$$

$$Torque(Nm) = \frac{\Delta Pressure(Bar) \times Displacement(cc/revolution)}{20\pi \times 0.9(efficiency^*)}$$

* 0.9 is a generic value at the time of printing. Actual pump efficiency may vary with pump type and your pump manufacturer should supply the value for accurate calculation of power and torque requirements.



(나) 플라이휠 조합

① 플라이휠 설계 기준

플라이휠은 폭발 행정으로 인해 생기는 에너지를 저장하여 나머지 행정 주기에서 그것을 다시 쓰는데 이는 크랭크축과 변속기에 생기는 주기적인 속도의 변동을 줄이는 역할을 한다. 따라서 적절한 플라이휠의 관성을 갖도록 설계가 이루어진다면 만족스러운 엔진 동력 성능을 확보 할 수 있다.

설계 검토 항목	설계 기준값
플라이휠 최대 허용 중량	50kg
플라이휠 최소 허용 중량	19.9kg
실린더 블록면으로부터 플라이휠 무게 중심까지의 최대 허용 거리	80mm
최대 허용 관성 모멘트	5.2GD ²
최소 허용 관성 모멘트	1.44GD ²
플라이휠 조립 토크 관리 기준	30Nm + 90°

② 플라이휠 발란스 기준

개발된 플라이휠의 발란스는 링기어 등 회전계통에 영향을 줄 수 있는 모든 기계적 요소가 적용된 상태에서 적당한 발란스 요구량을 만족시켜야 한다. 허용 언발란스량은 플라이휠의 중량을 반영하여 아래 표를 기준으로 하여 설정하였다. 시제품용 플라이휠의 중량은 약 42kg으로 측정되어 B등급에 해당하나 정적 발란스 조건을 최상의 조건으로 세팅하여 타 시험에 영향을 줄 수 있는 미연의 소지를 방지하고자 A등급의 세팅 기준을 적용하여 허용 언발란스량을 0.4g/m으로 하였다.

등급	플라이휠 중량(kg)	허용 언발란스량(g/m)
A	0~25	0.4
B	25~55	1.4
C	55~95	3.0

④ 개발 완료된 플라이휠 사양

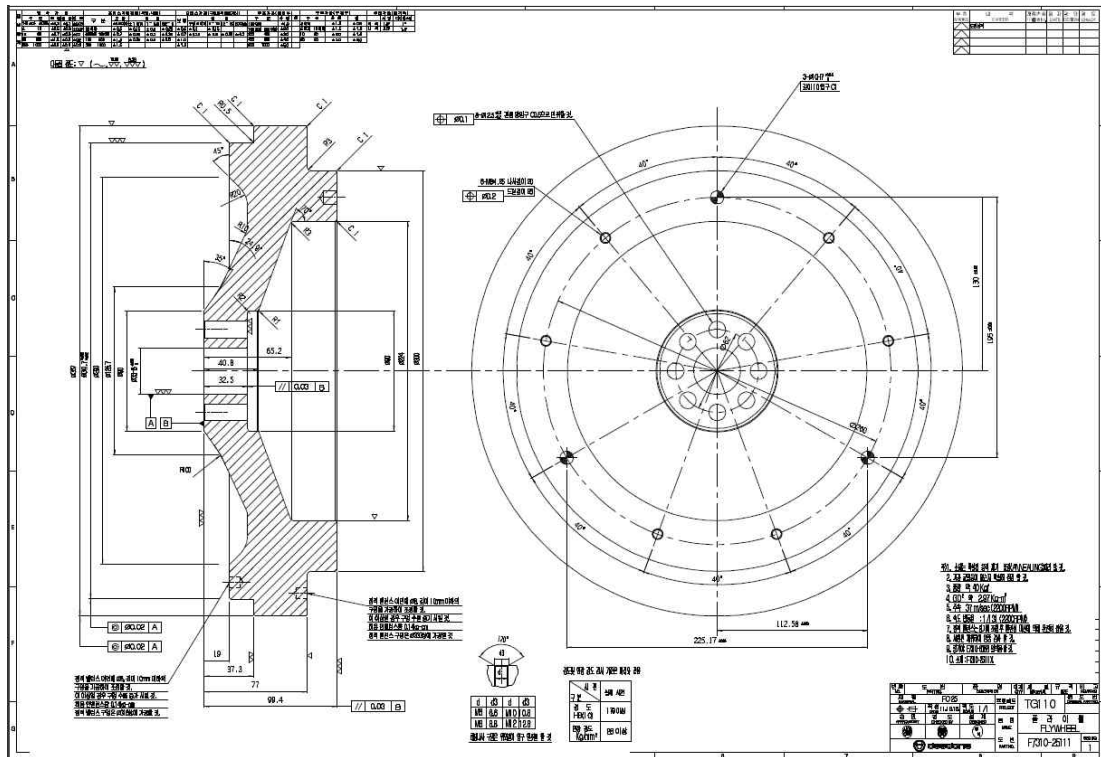
당사 트랙터의 트랜스미션 구동을 위하여 요구되는 플라이휠 사양을 만족함과 동시에 엔진 제조사에서 요구하는 플라이휠의 성능 기준 또한 동시에 만족할 수 있도록 모든 설계 기준치를 반영하여 플라이휠을 개발하였다.

낮은 관성의 플라이휠은 빠른 가감속을 요구하고 높은 엔진 회전속도를 요구하는 것에 적용하는 것이 적절함으로써, 농기계와 같이 회전 변동률이 비교적 적고 저속 회전상에서 고부하를 요구하는 트랙터에 적용되는 것은 비효율적인 것으로 판단된다.

높은 관성의 플라이휠은 속도 변동률이 적거나 가변적인 속도를 요하는 기계 장비에 이용하는 것이 엔진 및 트랙터 운전 주기의 불규칙성을 줄일 수 있으므로 비교적 높은 회전 관성을 갖을 수 있는 플라이휠을 디자인하였다. 이렇게 설계된 비교적 높은 관성효과로 인하여 엔진 운전 중 갑작스런 부하 발생 시, 엔진이 정지되는 것과 같은 상황에 도움이 될 수 있다. 그러나 너무 높은 관성을 갖는 플라이휠의 경우 가감속에 의한 응답성이 다소 둔화되고 냉시동성이 나빠지는 단점이 있으므로 엔진에서 요구되는 적정 회전 관성량을 고려하여 설계 되어야 한다.

아래는 당사 트랙터에 적용된 플라이휠의 디자인과 계산값으로써 엔진제조사에서 요구하는 중량 및 관성모멘트값을 모두 만족하고 있으며 엔진 회전 시, 진동을 최소화 할 수 있도록 발란스 셋팅량을 A등급으로 셋팅하였다.

기준 항목	수치	평가 결과
중량	40kg	최대 허용 중량 만족
GD ²	2.97kgm ²	허용 관성 모멘트 범위 만족
정발란스 측정값	0.4g/m	A 등급



(다) DPF 차압센서 모듈

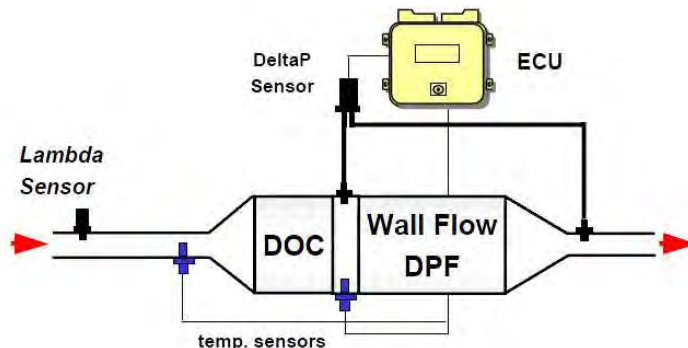
후처리 장치에서의 재생 제어를 위하여 Soot의 축적량을 감지하고자 후처리 장치의 입력측과 출력측에 대하여 각각 압력을 감지할 수 있도록 압력 센서를 통한 측정이 될 수 있도록 시스템이 구성된다. 입력측과 출력측으로부터 감지된 압력값의 차압에 의하여 후처리 장치 내의 Soot 누적량을 추정할 수 있다.

이 장치의 정상적인 기능 구현을 위하여 필수적으로 설계에 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

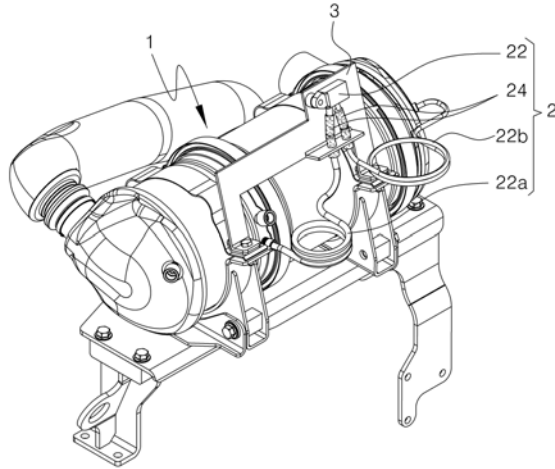
- ① 압력포트의 호스는 뜨거운 배기가스가 빠져 나가는 것을 막고 안전한 작동을 보장할 수 있도록 빠지지 않아야 한다.
- ② 압력포트의 호스는 최소 20mm의 길이를 갖을 수 있도록 한다.
- ③ 호스는 동일 캐리어 상에 움직임과 관련 없는 곳에 압력 포트와 가능한 가깝게 고정한다.
- ④ 호스와 파이프의 총 길이는 최소 400mm 이상이 되어야 한다.
- ⑤ 파이프의 재질은 반드시 304 SS 재질을 사용하여야 한다.
- ⑥ 호스는 항상 센서 방향을 향하고 배기가스의 응축에 의한 결빙을 막기 위해 차가운 역품으로부터 보호될 수 있도록 한다.
- ⑦ 파이프와 호스의 경로는 응축수가 생성되어 고이는 것을 방지할 수 있도록 설계되어야 한다.
- ⑧ 금속 파이프는 호스의 온도 안전성을 고려하여 배기가스 시스템에 직접적으로 연결되어야 한다.
- ⑨ 센서에서 허용되는 최대 온도는 130°C이며 포트의 방향은 수직 하향 방향으로 설정하고 ±15°를 벗어나지 않도록 한다.

상기 내용들을 만족할 수 있는 조건을 기준으로 설계 및 적용된 디자인의 내용은 하기와 같으며, 트랙터의 좁은 본넷 내부에서 센서를 고온의 배기가스로부터 보호 하기 위한 압력 전달 파이프의 최소 길이 확보를 위하여 파이프는 코일 형태로 설계되었다. 또한 온도차에 의해 생성된 응축수가 압력 전달을 위한 파이프 모듈에 고인 상태에서 엔진이 구동될 경우 수분이 센서로 유입되어 고장을 초래할 수 있으므로 파이프의 경로는 항상 수평방향을 유지함으로써 생성된 수분이 고이지 않고 본래의 배기 경로를 통하여 배출 될 수 있도록 설계 및 트랙터에 적용하였다.

(특허 출원 완료: 10-2011-0147517)



<그림 1-99> 후처리 장치에서의 압력 측정 방법



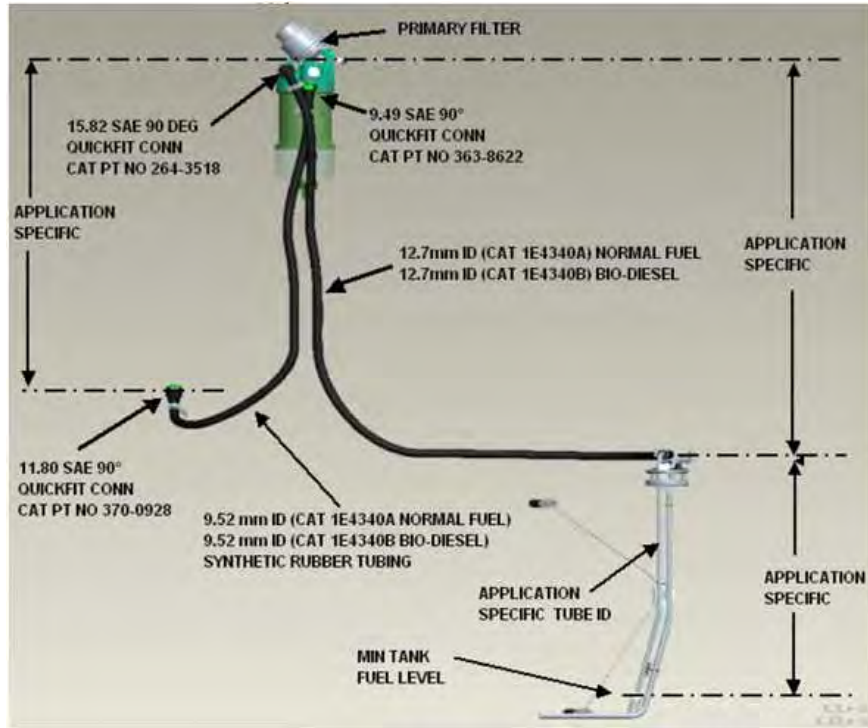
<그림 1-100> 후처리 장치에서의 압력 측정 모듈 설계 이미지

(라) 연료 시스템

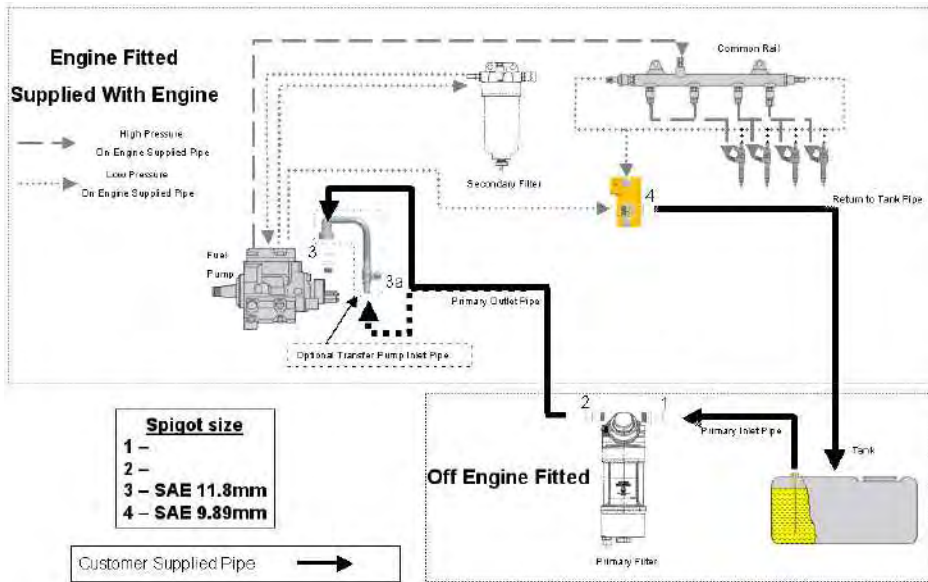
① 연료시스템의 설계 기준

트랙터의 연료 저장탱크로부터 엔진까지 연결되는 연료 공급 시스템의 구성에 있어 관련되는 부품의 위치 및 높이 등이 정상적인 연료공급을 위하여 다음과 같이 설계 시 고려되어야 한다.

- ㉠ 연료 공급과 리턴 라인은 연료 탱크 내부의 종결점에서 최소 150mm 이상 분리되어야 한다.
- ㉡ 1차 유수분리필터에서 피드펌프까지 연결되는 라인의 규격은 SAE J30R7을 사용하여야 한다.
- ㉢ 연료 리턴라인은 연료의 Jetting 현상과 엔진 정지 시 연료 누유 방지를 위하여 연료 탱크 내부의 최소 수위 이하에서 종료되어야 한다.
- ㉣ 엔진부터 연료 쿨러까지의 연료 리턴라인은 최고 140°C까지 견딜 수 있어야 한다.
- ㉤ 연료 차단 밸브는 전자식 밸브를 적용하지 않는 한 연료 공급과 리턴 라인에 동시에 사용할 수 없다.
- ㉬ 연료 라인은 구부러지거나 뒤틀림, 처짐없이 가능한 짧고 직접적으로 연결되어야 한다.
- ㉭ 연료라인의 공급 저항을 최소화하기 위하여 90도 형태의 커넥터 연결은 피하도록 한다.
- ㉮ 피드펌프에서 메인 필터까지 연결되는 연료라인의 내경은 최소 8mm 이상이어야 한다.



<그림 1-101> 연료시스템의 설계 기준 이해도



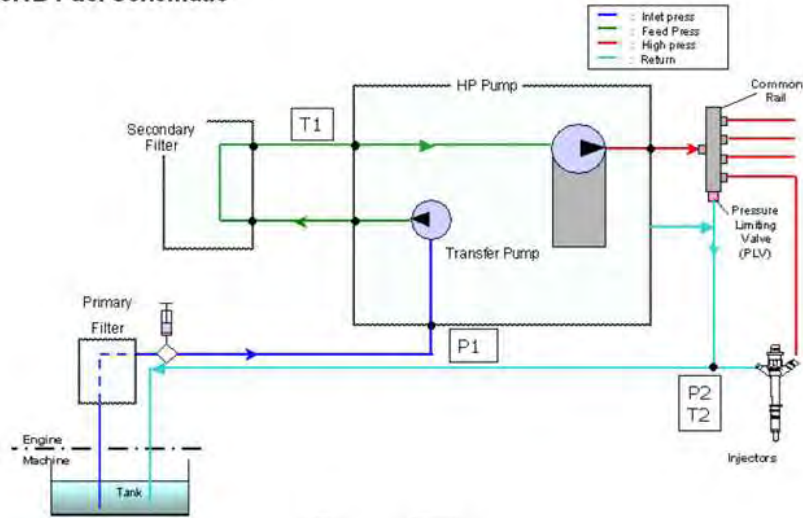
<그림 1-102> 전체 연료시스템 이해도

② 연료 시스템의 요구 성능

연료 시스템의 설계 기준에 의해 적용된 전체 연료시스템은 엔진으로의 안정적인 연료 공급을 위해 규정된 주요 부위에서 제한하고 있는 온도 및 압력 기준치를 초과해서는 안 된다. 해당 모델은 1600bar의 고압 분사를 위한 고압 펌프가 적용되어 있으므로 연료탱크로부터 고압펌프까지 압

송시키고 커먼레일에서 연료탱크로 연료가 리턴되는 과정에서 기존 기계식 엔진 대비 매우 높은 열이 발생한다. 따라서 엔진이 운전되는 동안 안정성을 확보하기 위해서는 주요 부위 별 온도와 압력이 엔진에서 요구되는 제한 규제치를 만족할 수 있도록 시스템이 구축되어야 한다. 하기 다이어그램[그림. 8]은 온도와 압력의 측정 위치를 도시하고 있으며 위치 별 제한 규제치는 하기 표를 따른다.

C3.4B Fuel Schematic



<그림 1-103> 연료시스템 기준치 측정

<표 1-22> 연료시스템 주요 부위 별 온도, 압력 제한 기준치

	측정 위치	최소	최대	측정조건
P1	피드펌프 입구 압력	-50kPa	0kPa	오염상태
P2	리턴라인 압력	-20kPa	0kPa	청정상태
T2	리턴라인 온도	NA	130°C	
T1	고압펌프 입구	-40°C	80°C	

(마) 냉각시스템

① 라디에이터 디자인

모든 내연기관은 연소와 마찰의 부산물로서 열을 발생한다. 엔진 내부의 피스톤, 밸브와 실린더 헤드는 모두 수냉식이고 윤활 오일 온도는 냉각수의 사용을 통해 허용 가능한 제한 범위 이내에서 유지된다. 후처리 장치와 추가적인 배출가스 제어 전략, 증가된 부스트 압력과 온도를 활용한 2-stage 터보와 같은 새로운 기술의 도입에서, 추가적인 열적 부하에 대한 중요도는 매우 높다.

냉각수로의 열과 엔진 수명, 성능, 내구성과 배출가스 준수를 위한 흡기 온도에 대한 관리가 모두 필수적이고 이러한 성능을 보장할 수 있도록 냉각 시스템은 트랙터가 접하게 될 극한의 조건과 동작 중에 명시된 조건에서 엔진 온도를 유지할 수 있도록 설계 되어야 한다.

- 냉각시스템 요구 조건

* 0.95~1.1bar의 압력 유지 가능한 시스템과 압력캡

- * 냉각 시스템을 통과하는 외부 저항치의 합은 35kPa 초과 금지
- * 물과 부동액은 50:50의 비율 조건
- * 핫 셋 다운 시험 시 방출되는 냉각수의 누적량은 냉각수 전체 량의 10%이내일 수 있도록 설계
- * 냉각 시스템 내에 공기가 머무르는 공간이 없어야 함.
- * 냉각 시스템의 호스는 내경이 부드러운 재질을 사용
- * 워터펌프 유입 압력의 기준은 하기 그래프에서와 같이 1.45bar@103°C 또는 그 이상 유지될 수 있어야 한다.

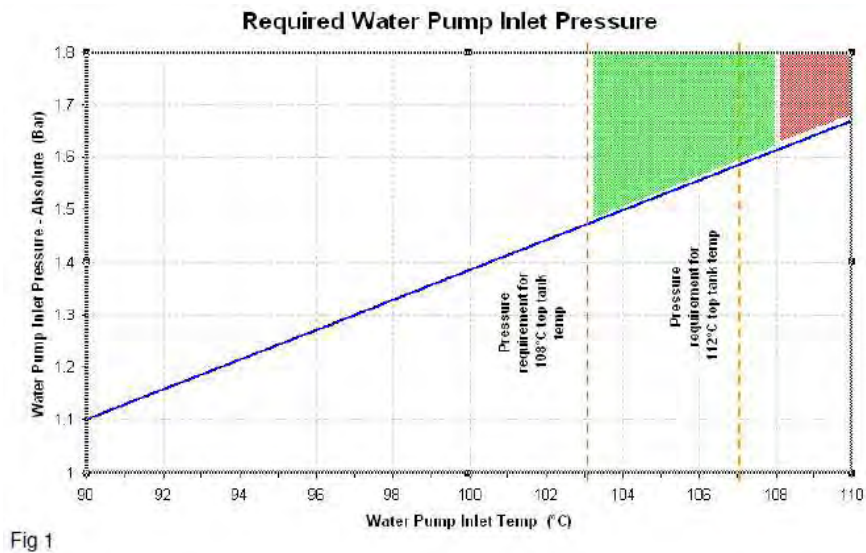
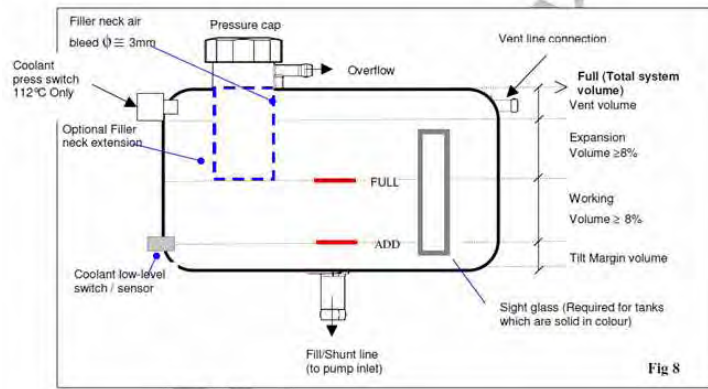


Fig 1

<그림 1-104> Required Water Pump Inlet Pressure

② 보조물탱크 디자인

엔진의 냉각 시스템의 구성에 있어 엔진의 모든 운행 조건에서 만족스러운 냉각수 레벨을 유지하고 압축에 의해 충분한 압력이 생성되도록 충분한 용량을 갖출 수 있도록 하는 보조물탱크의 설계가 필수 사항이다. 보조물탱크의 용량 선정은 전체 냉각 시스템 용량의 최소 16% 이상이 적당하고 기대가 기울어 졌을 때, 보충선이 공기 중으로 분출되지 않도록 탱크에서 요구되는 최소 공간을 확보하여야 한다.



<그림 1-105>

나. 엔진 탑재성 개발 요구 성능 기준

(1) 엔진 방열량

아래 표는 각각의 엔진회전수에 따른 최대 부하 조건에서 복사, 배기, 냉각 관련 총 방열량을 보여 주며, 총 방열량에서 윤활유에 의한 열량과 공기에 의한 냉각량은 제외되었고 외기 온도 25°C, 냉각수 온도 79°C로 고정된 조건에서 측정된 결과값을 기준으로 한다.

항목	단위	엔진 회전수(정격 2,200rpm)				
		1,400rpm	1,600rpm	1,800rpm	2,000rpm	2,200rpm
연료 에너지	kW	150.0	169.1	182.8	196.5	201.8
엔진 출력	kW	60.4	67.9	73.3	74.8	75.0
복사	kW	10.5	11.8	12.8	13.8	14.1
배기	kW	32.2	37.8	40.9	48.2	49.7
냉각	kW	40.4	42.5	45.1	47.9	51.6
인터쿨러	kW	6.4	9.4	10.7	11.6	11.3

(2) 배기 시스템

아래 표에서와 같이 배기가스의 유동량은 정격 출력에서의 최대 허용 가능 배기압에 따라 변경될 수 있다.

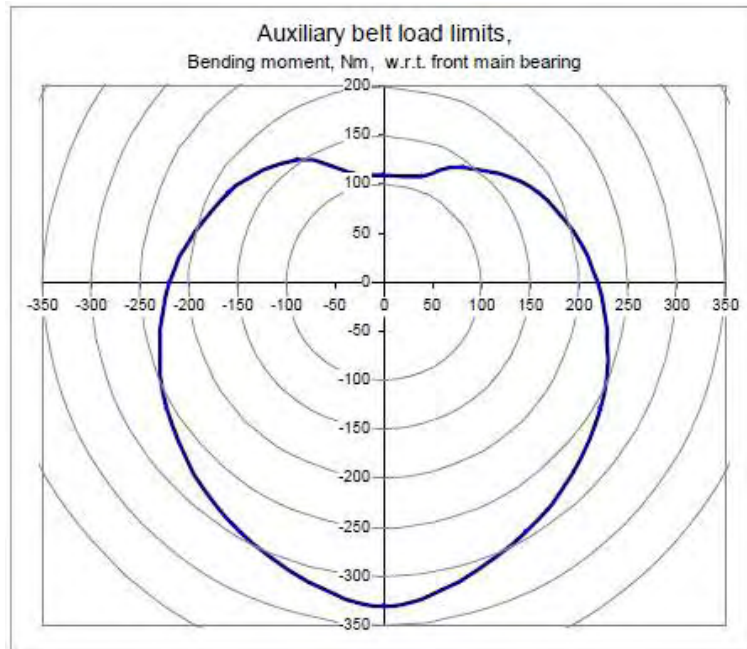
	단위	엔진 회전수(정격 2,200rpm)				
		1400	1600	1800	2000	2200
배기온도	°C	439.0				484.0
배기질량	kg min	4.1	4.9	5.5	6.1	6.4
배기압	kPa	최대 허용 가능 배기압: 5KPa				

(3) 벨트 전단 부하 제한량

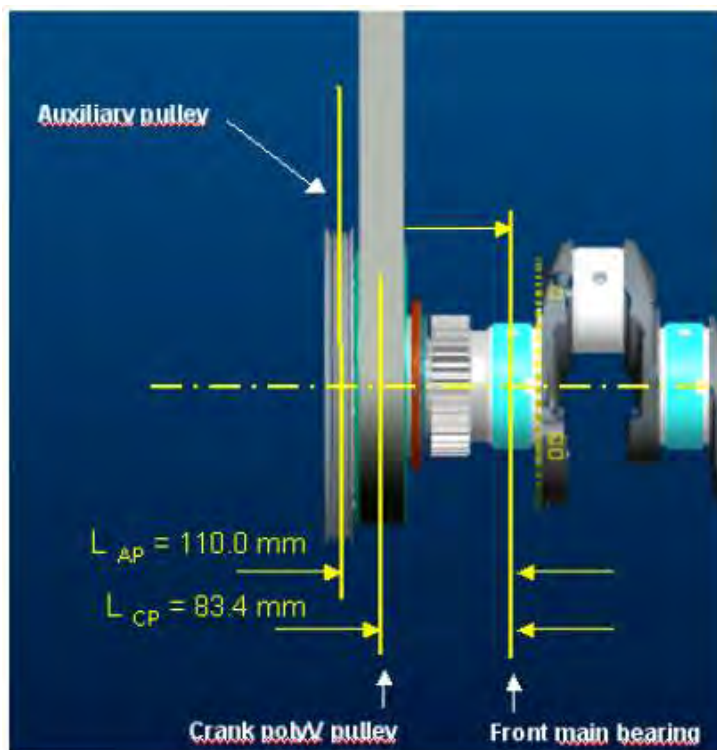
벤딩 모멘트 다이어그램은 탑재성 개발 시 크랭크샤프트 풀리와 추가적으로 연결되는 벨트의 장력에 의해 주어지며 제한량에는 크랭크샤프트 풀리의 무게와 오버행 값도 포함된다.

아래의 차트는 추가적으로 연결되는 벨트에 의해 생성되는 벤딩 모멘트에 의한 크랭크샤프트 메인

베어링의 허용 한계량을 도시화하고 있다. 당사에서는 해당 옵션 크랭크 풀리에 에어컨펌프를 적용하여 구동하고자 하므로 이에 따라 발생하는 벤딩모멘트 값이 적정한가에 대하여 검토를 실시하였다.



추가적으로 사용하고자 크랭크 풀리의 중심선은 크랭크샤프트 메인베어링의 중심선으로부터 110mm 떨어져 있으므로 계산에 적용될 수 있는 벤딩 모멘트 암의 길이로 110mm를 반영하여 검토를 실시하였다.



(4) 흡기 시스템

하기 기준표는 정격 출력점에서 허용되는 최대 배압을 기준으로 하는 전형적인 수치로써 그 최대 허용 기준값을 보여준다.(외기온도 25°C 기준)

○ 흡기 필터의 흡기 부압 기준

측정위치	단위	최대 허용 부압	
		청정 흡기 필터	오염 흡기 필터
터보차저 인테이크	mm H ₂ O	509.86	815.77
	in H ₂ O	20.09	32.12
	kPa	5	8

○ 공기 유량 기준

항목	단위	엔진 회전수				
		1400	1600	1800	2000	2200
공기온도(인터쿨러 입구)	°C	140.2	160.3	168.3	167.2	165.4
공기온도(인터쿨러 출구)	°C	외기온도 기준 최소 30°C 이상				
공기 질량(Air mass)	kg/min	4.1	4.9	5.5	6.1	6.4
입구 공기 압력 (drop across ACC)	kPa	Max 10				
입구 공기 압력 (filter out clean)	kPa	Max 5				

(5) 엔진오일 선정 기준

기본적으로 윤활 계통의 안전성 확보를 위하여 오일 압력 경고등의 적용에 대하여 필수적인 사항으로 적용되어야 한다.

해당 모델은 EPA int. Tier-4 배기 규제를 만족하기 위하여 후처리 장치를 구비함으로써, 이 장치의 성능 및 내구성에 영향을 줄 수 있는 엔진 오일의 사용에 있어서 일반 엔진들과 달리 사양 선정에 주의가 필요하다. 통상적으로 엔진 제작사에서 권장되는 엔진 오일의 사양을 고지하고 있으며 잘못된 엔진 오일의 사용은 엔진 및 후처리 장치의 내구 수명을 단축시킬 수 있다.

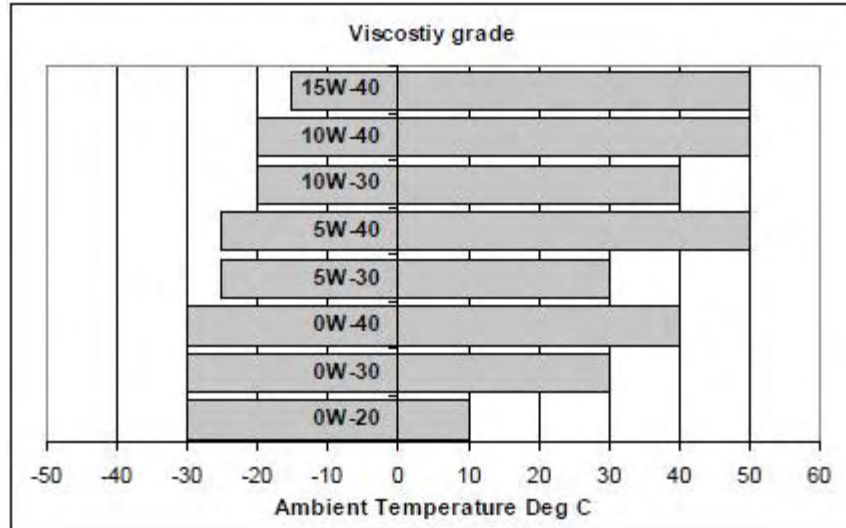
통상 사용되는 일반적인 디젤용 엔진 오일 중 일부는 납 또는 구리 성분을 함유하고 있어 탑재하고자 하는 엔진에 호환 적용될 수 없다. 이러한 성분을 함유하고 있는 엔진오일은 후처리 장치와 화학적 반응을 일으켜 문제를 초래할 수 있다. 따라서 후처리 장치가 적용되고 있는 엔진들의 경우 이러한 화학적 반응을 방지할 수 있는 CJ-4 등급의 엔진 오일을 사용 기준으로 설정하고 있다.

후처리 장치의 수명은 내부 필터표면에 누적된 Ash의 양에 의해 정의된다. 미세 먼지(PM) 중에 불연성을 갖는 Ash는 후처리 시스템에 의해 포집될 수 있도록 설계되고 이것은 전체 미세먼지(PM) 중에 매우 적은 비중을 차지한다.(1%미만) 이것이 Soot 연소 후에 남게 되어 누적되면 결국 필터를 막게 되고, 결과적으로 출력 손실과 함께 연료소비율 증가를 가져온다. Ash가 생성되는 주요 요인은 정상적인 엔진의 구동 시에도 서서히 소모되는 엔진 오일이 배기 시스템을 통과할 때 생성되는 것으

로써, 후처리 장치의 최소 수명을 보장하기 위하여 적절한 등급의 엔진오일의 선택이 필수적이다.

아래 표는 사용하고자 하는 지역의 외기 온도에 따른 엔진 오일의 점도 등급 선택 기준표이다.

따라서 당사 트랙터 탑재성 개발을 위해 국내의 4계절 온도 특성을 고려하여 CJ-4 등급의 엔진 오일을 필수 기준으로 선택하고, 5W-30의 점도를 갖는 엔진 오일을 선정하여 시험에 적용하였다.



<그림 1-106> 엔진 오일 점도 선정 기준표

다. 엔진 탑재성 개발 요구 성능 기준을 고려한 시험 방법 및 기준

(1) 방열성 시험

타사 엔진을 당사의 트랙터에 적용하기 위하여 필수로 확인 되어야 할 성능 중 가장 필수적이며 기본적인 성능은 엔진 방열성능이다. 엔진에서 요구되는 발열량에 맞도록 냉각계통, 흡기계통, 배기계통, 윤활계통 등이 적용되어야 하며 이러한 시스템들이 최적화 될 때 엔진의 안전성 및 내구성을 확보할 수 있으며 트랙터의 구동 효율을 높일 수 있다. 따라서 각 항목 별로 시험 절차 및 기준치에 부합할 수 있도록 관련 시스템을 설계하고 평가하여야 한다. 다음은 이러한 방열성을 평가하기 위하여 기준이 되는 시험 항목 및 기준치이고 당사 트랙터의 방열성 시험 및 평가는 다음을 기준으로 하여 실시하였다.

○ 흡기 부압 측정 시험

- 측정 방법

- * 에어클리너 신폼 장착
- * 레인캡, 싸이클론과 같은 본기 옵션 품목이 있을 경우 모두 장착
- * 진공 측정 장비의 케이블 튜를 뜨거운 표면에 유의하여 설치
- * 엔진과 구동 장비가 정상적인 구동 조건이 될 때 까지 시운전
- * 정격 출력점에서 풀부하로 기대 구동
- * 결과 측정 및 초기 결과 값 확인/반복 측정

- 허용 기준

*(-)5kPa 이내

○ 인터쿨러 저항 측정 시험

- 측정 방법

- * 엔진 워밍업 후 엔진 폴쓰로틀로 구동(A/C on)
- * 동력계 부하 증가시켜 정격 출력 속도로 감속
- * ACC 온도와 압력이 안정화 될 때까지 부하 조건 유지
- * 최대 출력이 정격 출력속도에서의 출력보다 높으면 상기 절차 반복

○ 데이터 산출

- * 전체 ACC 시스템 압력 강하량=터보차저 후단 압력-흡기포트 입구 압력
- * ACC 압력 강하량=ACC 입구 압력-ACC 출구 압력

○ 허용 기준

item	unit	Engine Speed rev/min					
		1400	1600	1800	2000	2200	2400
Air temperature(ACC in)	°C	140.2	160.3	168.3	167.2	165.4	
Air temperature(ACC out)	°C	Max 30°C above ambient					
Air mass(flow wet)	kg/min	4.1	4.9	5.5	6.1	6.4	
Air pressure Inlet (drop across ACC)	kPa	10 kPa max					
Air pressure Inlet (filter out clean)	kPa	5kPa max					

○ 인터쿨러 효율 시험

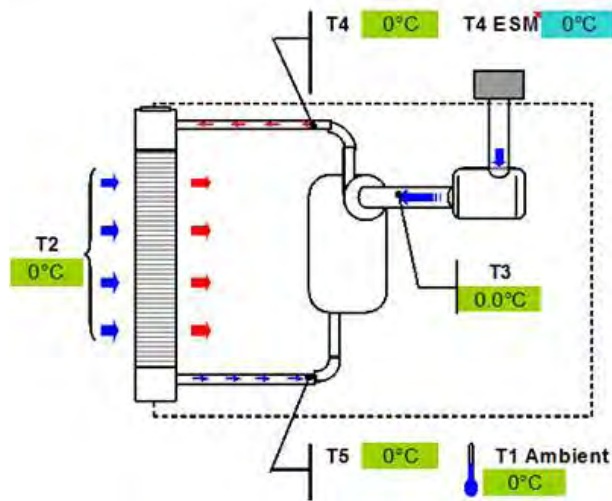
- 측정 방법

- * 시험실 온도 25°C로 안정화
- * 정상적인 구동온도 조건에서 엔진 폴쓰로틀로 구동(A/C on)
- * 동력계 부하 증가시켜 정격 출력 속도로 감속
- * ACC 온도와 압력이 안정화 될 때까지 유지
- * 연료온도는 40°C로 조절
- * 결과 기록
- * 엔진속도를 감소시킬 수 있도록 동력계 부하를 증가시켜 엔진 회전속도를 최대토크점까지 떨어뜨림.
- * 온도가 안정화되면 결과를 기록-> 최대 마력/토크점 각각 기록

- 데이터 산출

- * $T4c = T4 \text{ Corrected to a } 25^{\circ}\text{C ambient}$
- * $T4 \text{ spec} = \text{Turbo outlet temp from engine data sheet in a } 25^{\circ}\text{C ambient}$
- * $T4c = T4 \text{ spec} + (T3 - T1)$
- * $T2c = 25 + (T2 - T1)$
- * $e = (T4 - T5) / (T4 - T2)$
- * $T5c = \text{Corrected NRS inlet temp to } 25^{\circ}\text{C ambient}$

- * $T5c = T4 - e(T4c - T2c)$
- 허용 기준
- * $T5c \leq 55^\circ\text{C}$, ambient 25°C 조건



<그림 1-107> 인터쿨러 효율 계산 시험 방법

○ 엔진 냉각성능 시험

- 시험 방법

- * 개방된 써모스탯(propped-open)을 장착하고 냉각수 채움
- * 부동액과 물의 희석 비율 50/50
- * 공기 빼기 실시, 필요시 엔진 구동하여 완전 배출 실시 후 냉각수 보충(Full level)
- * 대기온도 5°C 이상, 38°C 이하인 건조한 날 시험 실시하여야 함.
- * 시험 중 냉각수 온도 108°C 초과 시, 즉시 엔진 정지

- 데이터 산출

- * Ambient Temperature: $5^\circ\text{C} \leq T1act \leq 38^\circ\text{C}$
- * Coolant Ambient Clearance:

$$ROA(\text{Rise over ambient}) = T2act - T1act = 108 - ROA \geq 48^\circ\text{C}$$

- * Coolant radiator temperature drop:

$$\Delta T_x = T2act - T3act, 3^\circ\text{C} \leq \Delta T_x \leq 5^\circ\text{C}$$

- * Engine oil Ambient clearance:

$$\text{Continuous use: } 125 - ROA \geq 48^\circ\text{C}$$

$$\text{Intermittent use: } 135 - ROA \geq 48^\circ\text{C}$$

- * Radiator Air Temperature:

$$\text{Air onto radiator } T5act - T1act < 10^\circ\text{C}$$

- 허용 기준

* 상부 호스 최대 허용 온도 108℃

* W_ACT ≥ 48℃

○ 핫 셋 다운 시험

- 시험 방법

* 가혹한 조건에서의 열간유지(heat soak)를 위해 엔진 풀부하 실시

* 최고온도 108℃에서 10분간 유지

* 엔진 강제 정지 이전에 엔진회전속도를 최고로 올린 후 15초간 유지

* 엔진 아이들에서 5초안에 엔진을 강제 정지

* 냉각수 아웃렛의 최고 온도와 냉각수 손실량을 기록(5~10분 동안)

* 냉각수 펌프 인렛과 아웃렛 압력과 온도를 가용한 데이터 로거를 통해 초단위로 기록

* 최소 3회 이상 연속 시험 실시

- 허용 기준

* 냉각수 손실량: 냉각수 유실량이 전체 냉각시스템 용량의 10% 이내일 것.

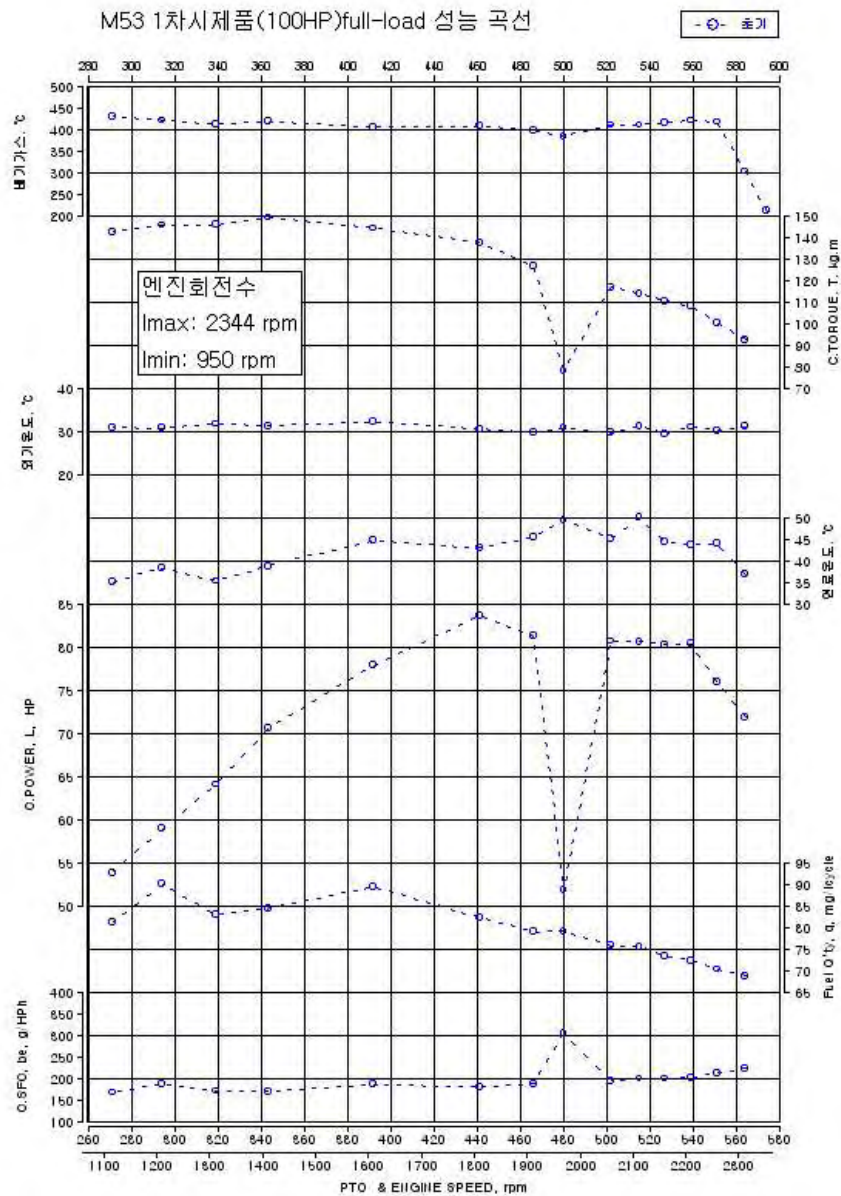
<표 1-23> 라디에이터 사양표

규격						
구분	항목	단위	규격치	조건		
성	방열량	Kcal/h	Pmax. 56000±5%	전면풍속	6 m/sec	
			Tmax. 41000±5%	냉각수 유량	155 l/min	
	공기쪽 압력손실	mmAq	Pmax.: 25±20%	전면풍속	6 m/sec	
				냉각수 유량	40 l/min	
냉각수쪽 압력손실	mmHg	Pmax.: 205±20%	입구 온도차	50.4 °C		
하	기변압력	kg/cm ²	0.9±0.15			
	시험압력	kg/cm ²	1.5			
	내진성		3G 20 Hz 상하 1.8x10 ⁶ Cycles			
구	코아 형식		CF(WAVE)/DIMPLE TUBE			
	코아 지수	너비	mm	488		
		높이	mm	570		
		두께	mm	66		
	힌피지	mm	4/2			
	방열면적	핀	m ²	16.5322		
		튜브	m ²	3.5174		
		계	m ²	20.0496		
		전면면적	m ²	0.2782		
	조	냉각수통과단면적	m ²	0.003746		
냉각수 용량		l	APPROX.			
건조 중량		kg	APPROX.			
표면처리			NONE(MEMBER:BLACK PAINTED)			
비고						

○ 연료시스템

연료 시스템에 대하여 주요 부위 별 제한 기준을 확인하기 위하여 압력 및 온도를 측정된 결과 연료 쿨러 미적용 시 연료 리턴라인의 연료 온도가 급격하게 상승하여 고압펌프로 유입되는 연료의 온도가 80°C를 초과하는 현상이 발생하였다. 고압펌프로 공급되는 연료의 온도가 제한 규정치인 80°C를 초과할 경우 엔진 시스템을 보호하기 위해 ECU에 의해 강제적으로 엔진의 출력이 일정 비율 미만으로 De-rate 되는 기능이 동작 된다.

아래의 시험 결과표에서와 같이 고압펌프에서 측정되는 연료의 온도가 50°C를 초과하지 않도록 하기 위하여 연료의 리턴라인에 연료쿨러를 설치하여 리턴되는 연료의 온도가 최대 130°C를 초과하지 않도록 연료시스템을 구성하였고 이로써 연료 온도 상승에 따른 엔진 운전 안정성을 확보 하였다.



마. ECU(electronic control unit)

(1) ECU 부품 사양.(SPECIFICATION)

<표 1-24> ECU 사양

Mitsubishi	Perkins
<p>unit:(mm)</p> <p>Connector (Tyco-AMP) A: 2-1355123-3 60pin K: 3-1355136-3 94pin</p>	<p>Fastener Holes</p> <p>Heat Sink Path</p> <p>J2 Connector</p> <p>J1 Connector</p>
ECU EDC17CV54	ECU EDC17C49

두 기종 모두 엔진 ECU는 Bosch社를 채택하여 적용하는 것을 특징으로 하며 60P(ENGINE), 94P (VEHICLE) 하네스 콘넥터 사양도 동일하게 사용 된다.

(2) ECU 세부 사항 항목

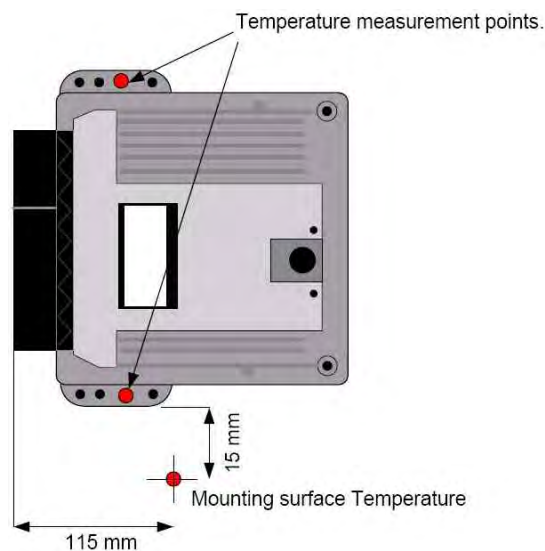
<표 1-25> ECU 세부 사항 항목

NO.	Voltage Supply System	12V
1	Max Peak Current	150 A(1ms)
2	Max Peak Current Running	60 A
3	Peak Current Cranking	50 A
4	Max RMS Current	25 A
5	Suggested Fuse Rating	30 A
6	Sleep Current	100 μ A
7	Min Running Voltage	10 V
8	Max Running Voltage	16 V
9	Minimum ECM Voltage during Cranking	6 V
10	Recommended total ECM power circuit wire resistance	50 mOhms
11	Target circuit resistance	40 mOhms
12	Recommended Resistance of Inject wire	50 mOhms

<표1-25>, <표1-26>과 같이 ECU의 마운팅 온도 측정 POINT에 따라 대류(對流)에 따른 온도 규제를 두고 있다.

<표 1-26> ECUA 마운팅 온도측정 포인트에 온도규제치

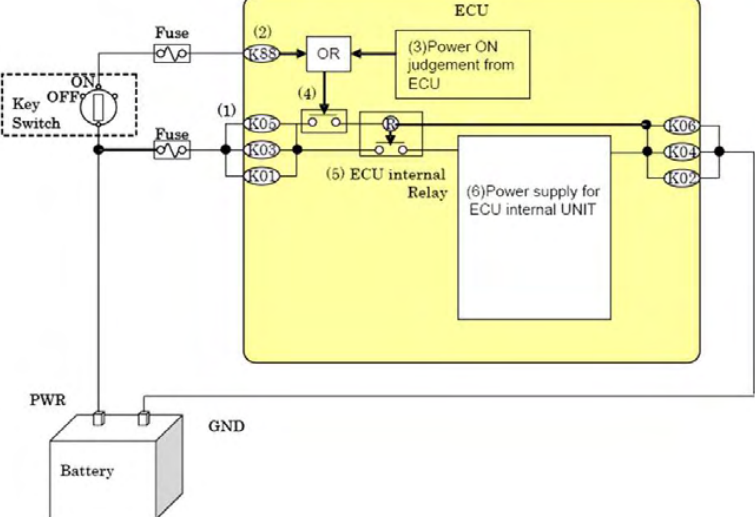
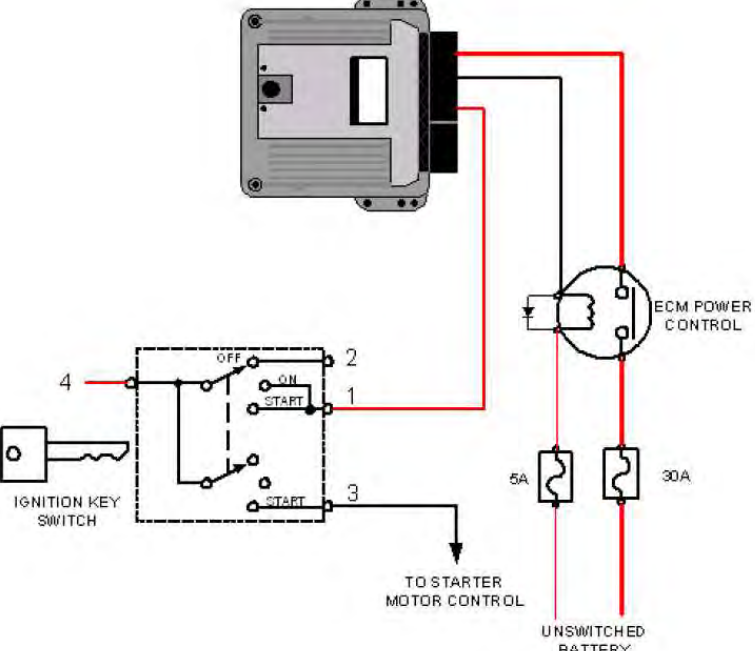
Airflow (m/sec)	Thermally Isolated	Chassis
Free Convection	74	83
0.5	83	89
1	93	96
1.5	97	100
2	102	103



<그림 1-108> 온도측정위치

(3) ECU 전원 공급 레이아웃

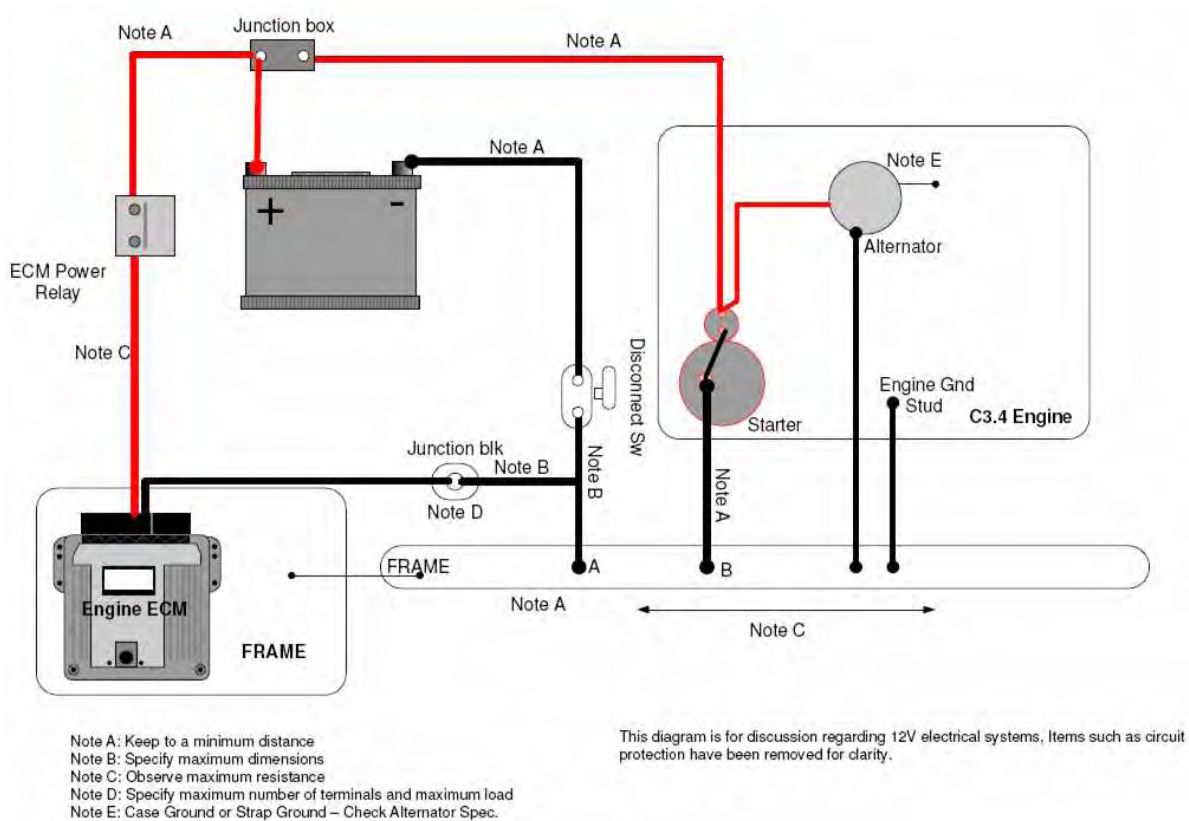
<표 1-27> ECU 전원 공급 레이아웃

항 목	ECU POWER SYSTEM	비 고
Mitsubishi	 <p>The diagram shows the power supply system for a Mitsubishi ECU. It starts with a battery (PWR and GND) connected to a Key OFF Switch. The switch has two paths: one through a fuse to terminal (2) K88, and another through a fuse to terminals (1) K05, K03, and K01. Terminal (2) K88 is connected to an OR gate, which also receives input from (3) Power ON judgement from ECU. The output of the OR gate is terminal (4) K06, which is connected to the coil of (5) ECU internal Relay. The relay's contacts provide (6) Power supply for ECU internal UNIT. The battery is connected to PWR and GND.</p>	
Perkins	 <p>The diagram shows the power supply system for a Perkins ECU. It features an Ignition Key Switch with terminals 1, 2, 3, and 4. Terminal 4 is connected to the battery. Terminal 1 is connected to the coil of the ECM POWER CONTROL relay. Terminal 2 is connected to the contact of the ECM POWER CONTROL relay. Terminal 3 is connected to the starter motor control circuit. The ECM POWER CONTROL relay is protected by a 5A fuse, and the starter motor control circuit is protected by a 30A fuse. The battery is labeled UNSWITCHED BATTERY.</p>	

<표1-27>과 같이 Mitsubishi ECU는 배터리에서 B+,시동스위치에 의한 KEY"ON" 전원등 두 가지 동시에 연결 구성되어 있으며 시동스위치 KEY"ON"시 퓨즈를 거쳐 K88회로에 따라 ECU 내부에서 전원신호의 입력을 판단하여 B+전원으로 연결된 K05, K03, K01회로 전원을 릴레이를 통하여 ECU에 내부전원을 구동 하고 있다. 반면 Perkins ECU는 KEY"ON"시 ECU 내부에 전원 신호를 판단하여 ECU MAIN RELAY를 구동하기 위한 GROUND 출력을 보내 ECU가 동작하도록 시스템이 구성되어 있다.

Perkins의 시스템 사양 기준서와 동일하게 Key 스위치의 전원 신호에 따라 ECU MAIN RELAY 단 GROUND 출력을 제어 하는 것이 안정적인 측면에서 ECU 전원 제어하는데 훨씬 유리 하다고 판단된다. 그리고 ECU 회로들의 접지 입출력단은 노이즈와 예상치 않은 대전류의 위험으로부터 사 시 접지를 사용하지 않으며 반드시 배터리 접지회로를 구성해야 한다.

(4) ECU 장착시 안정적인 전원 및 접지조건



<그림 1-109> ECU 전원 및 접지조건

(5) 엔진 제어 유닛(ECU) 부품의 제약조건

- 1) 세척을 위해 증기 혹은 고압의 물이 가해지는 장소에 장착해서는 안된다.
- 2) 직사광선에 노출하지 말고 환기가 잘되는 곳에 장착해야 한다.
- 3) 커넥터가 하단으로 놓이게 장착해야 한다. 커넥터에 고인물이 단자 부식의 원인이 된다.
- 4) 바닷가 근처에서 사용하는 경우, 엔진제어유닛(ECU)를 보호할 수 있는 커버를 설치해야한다.
- 6) 엔진제어유닛(ECU) 전원 공급용 와이어의 총 길이는 5M 이내이어야 한다.

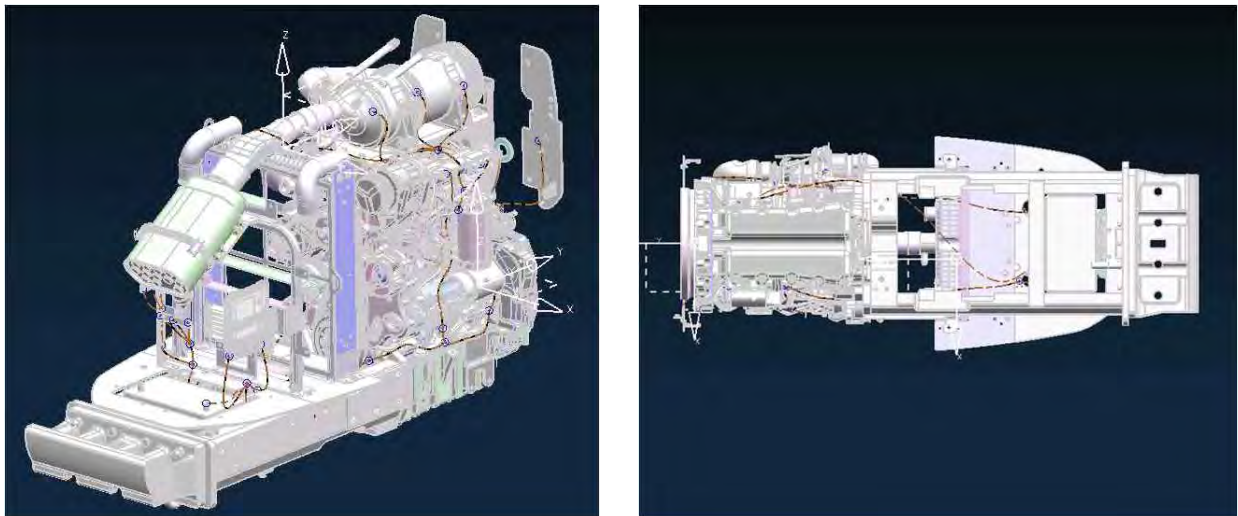
퓨즈에서 => 메인릴레이 => ECU까지의 (+)선 전체의 길이와 접지위치에서부터 ECU 접지선의 길이를 모두 더한 길이이다.

7) 기타 사항

- 정격전압 : 12V
- 동작온도 : -30 ~ 80℃
- 최저 동작 전압 :6.0V
- 방수 조건 : S2 조건 이상.

사. WIRE-HARNESS 3D 경로선정

하기그림은 Tier-4 엔진 환경에서는 와이어 하네스가 3D 소프트웨어를 사용하여 만든 3차원 형상 제품 모델 내에서 설계된다. 이러한 3차원 모델링 접근 방식은 정확한 설계 및 어셈블리 데이터를 보장하고, 실제 프로토타입의 필요성을 줄이거나 없애 준다. 설계자는 케이블과 와이어를 대화식 및 자동으로 하네스에 라우팅하고, 클리어런스를 확인하고, 와이어 및 케이블 길이를 결정하고, 번들 지름을 계산하고, 제조 문서를 작성할 수 있다.



<그림 1-110> 배선경로

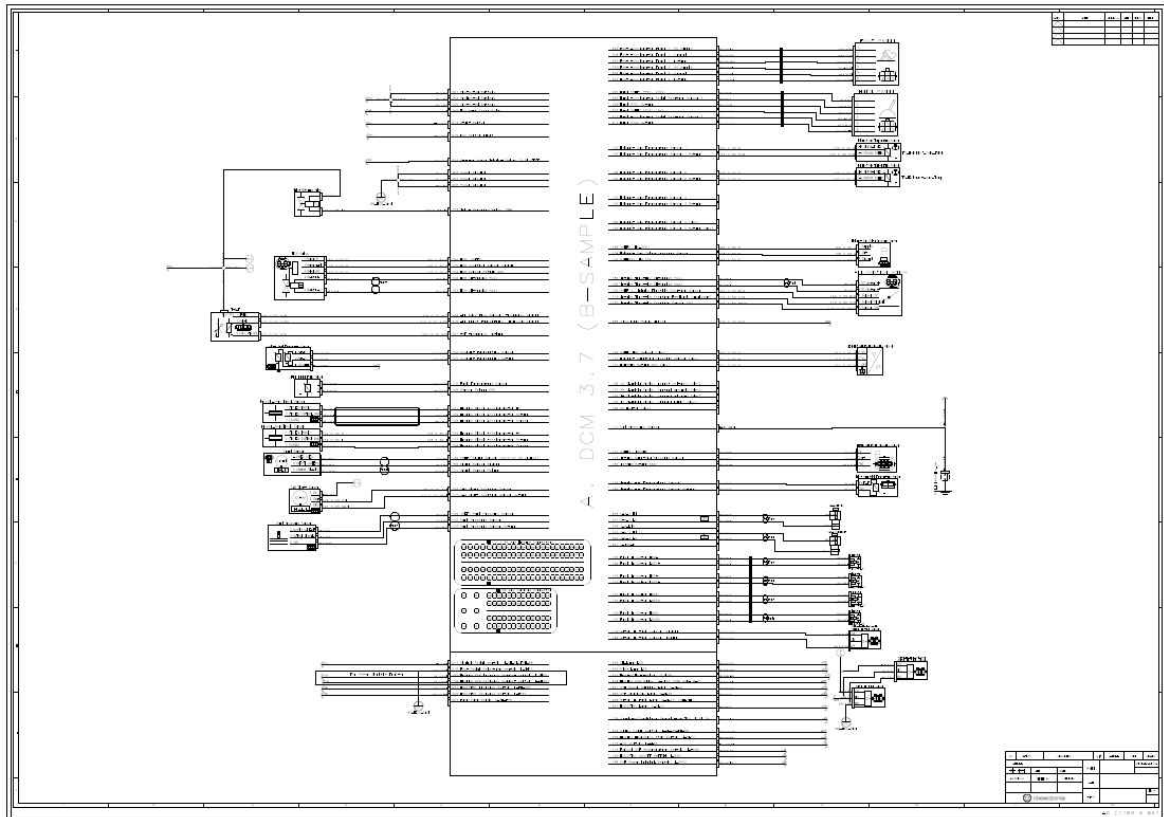
3D 모델은 자동으로 펼쳐져서 하네스 제조를 위해 정확한 2D 폼보드 어셈블리 드로잉을 생성할 수 있으며 사용자 정의 가능한 자동화된 데이터 추출 및 포맷 기능은 보고서를 생성하고, 자동으로 폼보드 드로잉에 빠르고 정확하게 주석을 표시한다. 선택적 분석 기능은 전자 간섭 감지뿐 아니라 응력 및 진동 분석을 수행 할 수 있다. 설계자는 실제 배선 설계와 동일한 검증 작업을 수행할 수 있다.

온도와 진동을 고려한 배선 경로에 관한 공간설정은 전기적인 장치의 운영에 가장 중요한 부분이다. 고온의 재생모드시 발생하는 DPF로부터의 발열로 인해 엔진 후 처리시 재생 중 고열에 따른 회피지역으로 배선 경로 선정한다.

(나) WIRE-HARNESS 2D 배선 수행

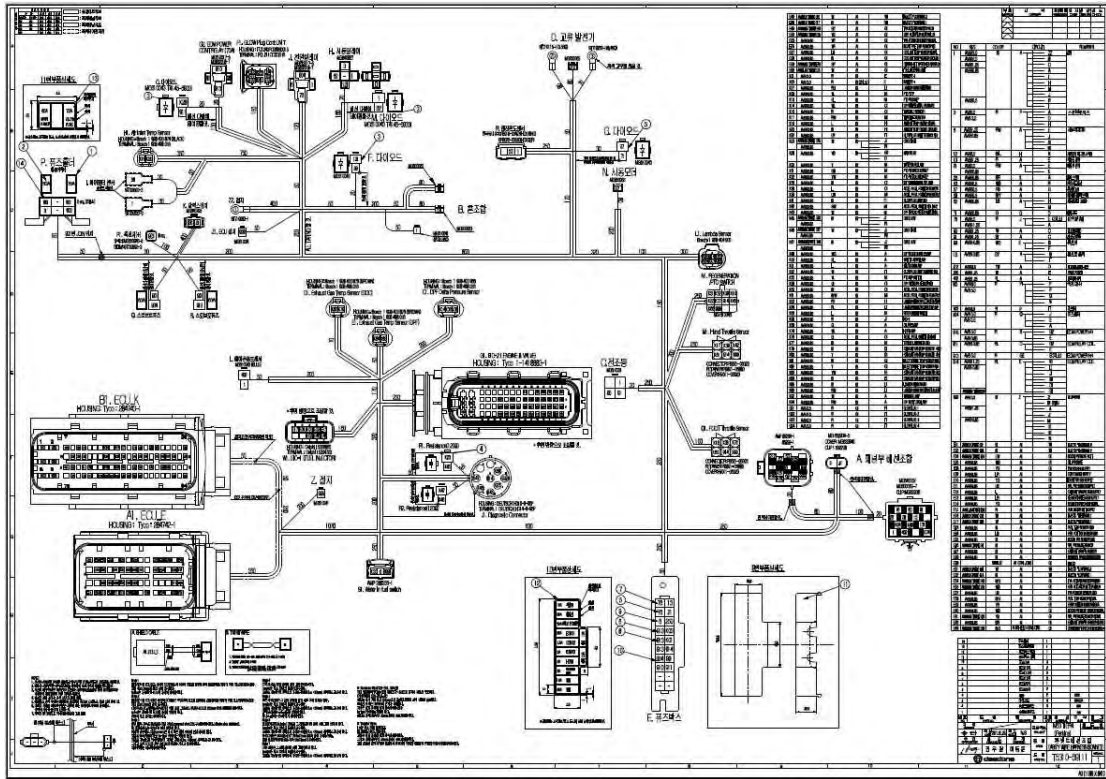
<그림1-111> 3D 모델 설계 환경에서 최적의 레이아웃이 이루어진 후 2D 배선 설계 시에는 실제 엔진룸에 배치된 ECU 와 매칭하기 위해서는 WIRE 전기적 부하가 충분히 검토되어 설계되어야 한다.

와이어는 허용된 전류의 지정된 선경에 충분히 만족하도록 사용하고 하우징 및 단자는 반드시 지정품을 사용하여야 한다.



<그림 1-111> 배선회로도

링단자 사용부위는 열수축튜브를 사용하여 전선가닥의 이탈을 방지하며 전선의 내부 연결은 WIRE SPLICES를 사용하여 연결한 후 전용 절연테이프를 사용하여 테이핑 한 후 외부 피복을 씌워야 한다. 퓨즈 장착 부위는 터미널을 삽입하여 퓨즈를 고정하고, 이탈 되지 않아야 한다.



<그림 1-112> 배선회로도

(다) 와이어의 전류 규격

각 와이어의 허용 전류는 와이어의 단면적에 의해 결정되며 와이어의 피복에 명시 되어있다. 선택 전기부품을 장착할 때 전기적 부하에 알맞은 규격의 와이어를 사용하여, 와이어가 전류에 의해 손상 받지 않도록 해야 한다. 전선의 굵기는 주의온도, 전선의 길이, 전류 통전시간, 진동 등에 의해서 결정되어지며 <표 1-28>에 맞는 와이어를 선정하여야 한다.

<표 1-28> 와이어 규격

규정규격(mm ²)	SAE 게이지 번호	허용전류	
		엔진관련전류	다른 부분
0.5	AWG20	7A	13A
0.85	AWG18	9A	17A
1.25	AWG16	12A	22A
2.0	AWG14	16A	30A
3.0	AWG12	21A	40A
5.0	AWG10	31A	54A

(라) 와이어의 전류 규격

각 와이어의 허용 전류는 와이어의 단면적에 의해 결정되며 와이어의 피복에 명시 되어있다. 선택 전기부품을 장착할 때 전기적 부하에 알맞은 규격의 와이어를 사용하여, 와이어가 전류에 의해 손상 받지 않도록 해야한다. 전선의 굵기는 주의온도, 전선의 길이, 전류 통전시간, 진동 등에 의해서 결정된다.

<표 1-29> 와이어 전류규격

규정규격(mm ²)	SAE 게이지 번호	허용전류	
		엔진관련전류	다른부분
0.5	AWG20	7A	13A
0.85	AWG18	9A	17A
1.25	AWG16	12A	22A
2.0	AWG14	16A	30A
3.0	AWG12	21A	40A
5.0	AWG10	31A	54A

(마) ECU 와이어의 선경 규격 (SAE vs ISO)

ECU에 사용되는 최소 선경 : 0.75 SQ

ECU 전원단에 사용되는 최소 WIRE : 2.5 SQ

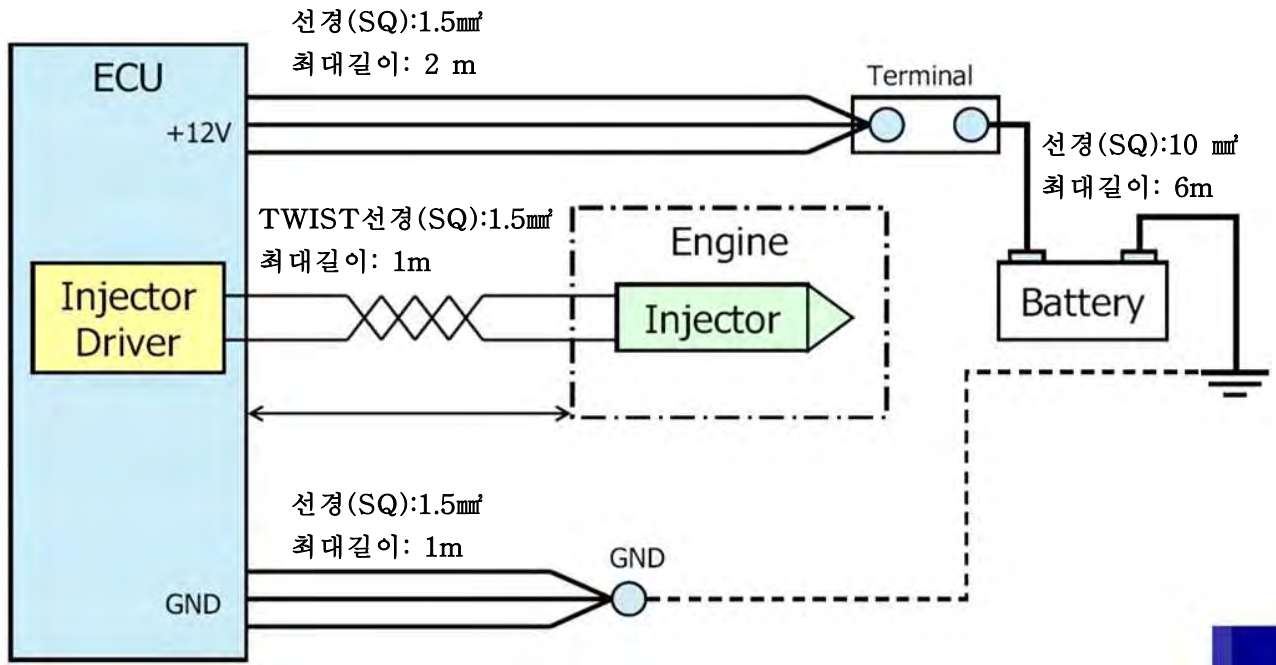
Injector & Actuators : 1.5 SQ

Engine Wire Size는 ISO 6722 규격을 준수하며 다음과 같다.

<표 1-30> ISO 6722

mm ²	SAE spec	Diameter	Max Outside Diameter	Wall Thickness MAX mm	Wall Thickness MIN mm
0.5	20	1.1	1.60	0.28	0.22
0.75	18	1.3	1.90	0.3	0.24
1	16	1.5	2.10	0.3	0.24
1.5	-	1.8	2.40	0.3	0.24
2	14	2.0	2.80	0.35	0.28
2.5	-	2.2	3.00	0.35	0.28
3	12	2.4	3.40	0.4	0.32

(사) ECU 배선 설계 시 규제 사항



<그림 1-113> ECU 전원회로도

- 배터리(+)와 ECU공급 사이의 DC저항은 약 10A의 최고점 전류에서의 전압강하를 피하기 위해 최소화되어야 한다. 최대 40mOhms(합계)의 값이 요구되며 Splice는 가능한 한 ECU에 가까이 있어야 한다.
- 배터리(-)와 ECU GND 사이의 DC저항은 약 20A의 최고점 전류에서 전압강하를 피하기 위해 최소화되어야 한다. 최대 20mOhms의 값이 요구된다. CISPR 25 권고사항을 충족시키기 위해 로컬 그라운드 연결은 ECU의 200mm 안에서 만들어져야 한다. Splice는 가능한 한 ECU에 가까이 있어야 한다. 전선의 최소 굵기는 8AWG이다.

* 국제전자장해특별위원회(CISPR)

☞ CISPR 25 : 자동차탑재 수신기 보호를 위한 무선방해특성의 한 도치 및 측정법

- 엔진블록 가속도계 연결은 차단전선(screened wire)으로 구성되어야 한다.(single wire, shielded). 총 커패시턴스는 450pF을 넘지 않아야 하며 어떠한 경우에도 차단(screen)은 새시 혹은 엔진 GND에 연결되어야 한다. 차단은 연속되어야 하고 'in-line' 커넥터는 피해야 한다. 차단은 가능한 한 커넥터로부터 가까운 곳에서(i. e.<50mm) 시작하고 끝나야 한다. 그리고 오직 ECU의 내부 GND로의 연결을 가지고 있어야 한다.
- CRANK POSITION SENSOR 전선은 전체 길이에 걸쳐 꼬여있어야 한다. 1Meter당 최소 33번의 꼬임이 요구된다. 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.
- 모든 RAIL PRESSURE SENSOR 전선은 그 전체 길이에 걸쳐 서로 꼬여 있어야 하며 1M 당 최소 33번의 꼬임이 요구되며 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e.<50mm) 시작하고 끝나야 한다. 커넥터 접점은 금도금되어 있어야 한다. 하네스 길이는 2M 이하가

되어야 한다.

- 연료분사장치(injector) 전선은 그 전체 길이에 걸쳐 서로 꼬여 있어야 하며 1meter당 최소 33번의 꼬임이 요구된다. 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.

총 DC저항은 20℃에서 50~200mOhms사이의 값을 가져야 한다.

- 모든 연료분사장치 쌍은 각각 15mOhms이내여야 한다.
- CAN 전선은 그 전체길이에 걸쳐 꼬여있어야 노이즈의 부담을 줄이고 1M당 최소 33번의 꼬임이 요구된다. 꼬임은 가능한 한 커넥터의 가까운 곳에서(i. e. <50mm) 시작하고 끝나야 한다.

(아) Screened Wire(차단전선, 쉴드선)

차단 케이블의 구조는 호일 테이프가 나선으로 겹쳐서 싸여진 구조이며(커넥터에서 50% 최소노출)쉴드는 전력 귀환 핀의 300mm내의 관련된 모듈의 전력 귀환을 종료한다. 드레인 전선은 18AWG와 같거나 커야 되며 차단은 전체 길이에 걸쳐 연속되어야 한다. In-line 커넥터는 사용을 피해야 하고 쉴드 커넥터로부터 50mm내에서 종료되어야 한다.

(자) Twisted Wires

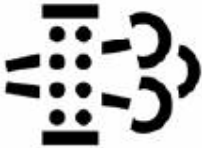


Twisted Wires의 1m당 최소 33번 꼬여져야 하며 한 꼬임은 180도 회전으로 구성된다. 꼬임은 전체 길이에 걸쳐 연속이어야 한다. 그리고 커넥터로부터 50mm내에서 종료되어야 한다. 꼬인 전선은 전력과 귀환 연결에서 떨어져서 위치한 터미널에 근접한 곳에서 종료되어야 한다.

아. 후처리장치 DPF- Regeneration

(1) Regeneration 심벌 표시.

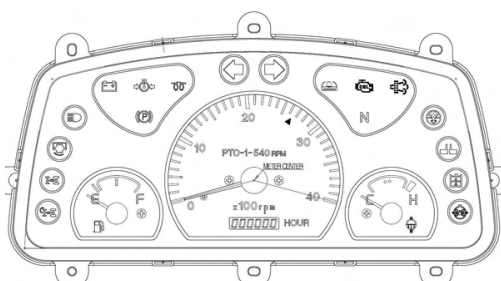
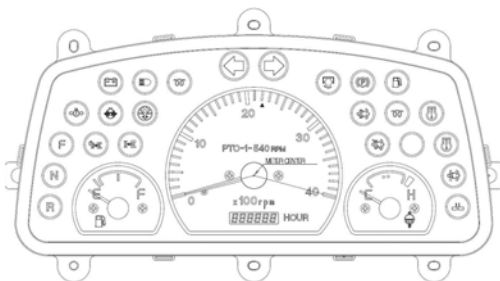
Regeneration emission 심벌은 ISO 7000 규약에 따라 설계 되어야 한다.

<표 1-31> 규격별 심벌

SYMBOL	Symbol Title(ISO)	Description	ISO Ref No.
	Engine Emissions System Filter	DPF가 Regeneration이 필요할 시 표시.	ISO 7000-2433
	Engine Emissions System Temperature	Regeneration시 DPF온도가 Regeneration 이하 일 경우 Regeneration을 할 수 있는 온도가 되는 조건으로 올라가는 것을 표시하는 심벌	ISO 7000-2844A
	Engine Emission filter Active Regeneration Disabled	DPF가 Regeneration 을 강 제금지 하는 심벌	ISO 7000-2947

(2) 계기판 Regeneration LAMP 심벌 표시 및 사양

<표 1-32> 계기판 심벌 표시 및 사양

Mitsubishi	Perkins	비고
		Emission Symbol 동일하게 적용

1) Engine check lamp

적용 사양

- Output current 0.6[A]

- Leak-off current 15[μ A]

2) DPF Indicator Lamp

적용 사양

- Max. current 0.6[A]

- Leak-off current 15[μ A]

- 전압 12[V] (12V battery 사용시)

"OFF" voltage of ECU 1.33[V]

"ON" voltage of ECU 5.34[V]

(3) Regeneration Mode.

1) Passive Regeneration

운전중 자동 재생모드

2) Active Regeneration

엔진 시동시, 배기가스온도, DPF 압력저하 및 엔진조건에 따라 ECU에서 연료분사량과 흡기 스크로틀밸브를 임의 조절하여 재생하는 모드.

3) Manual Regeneration

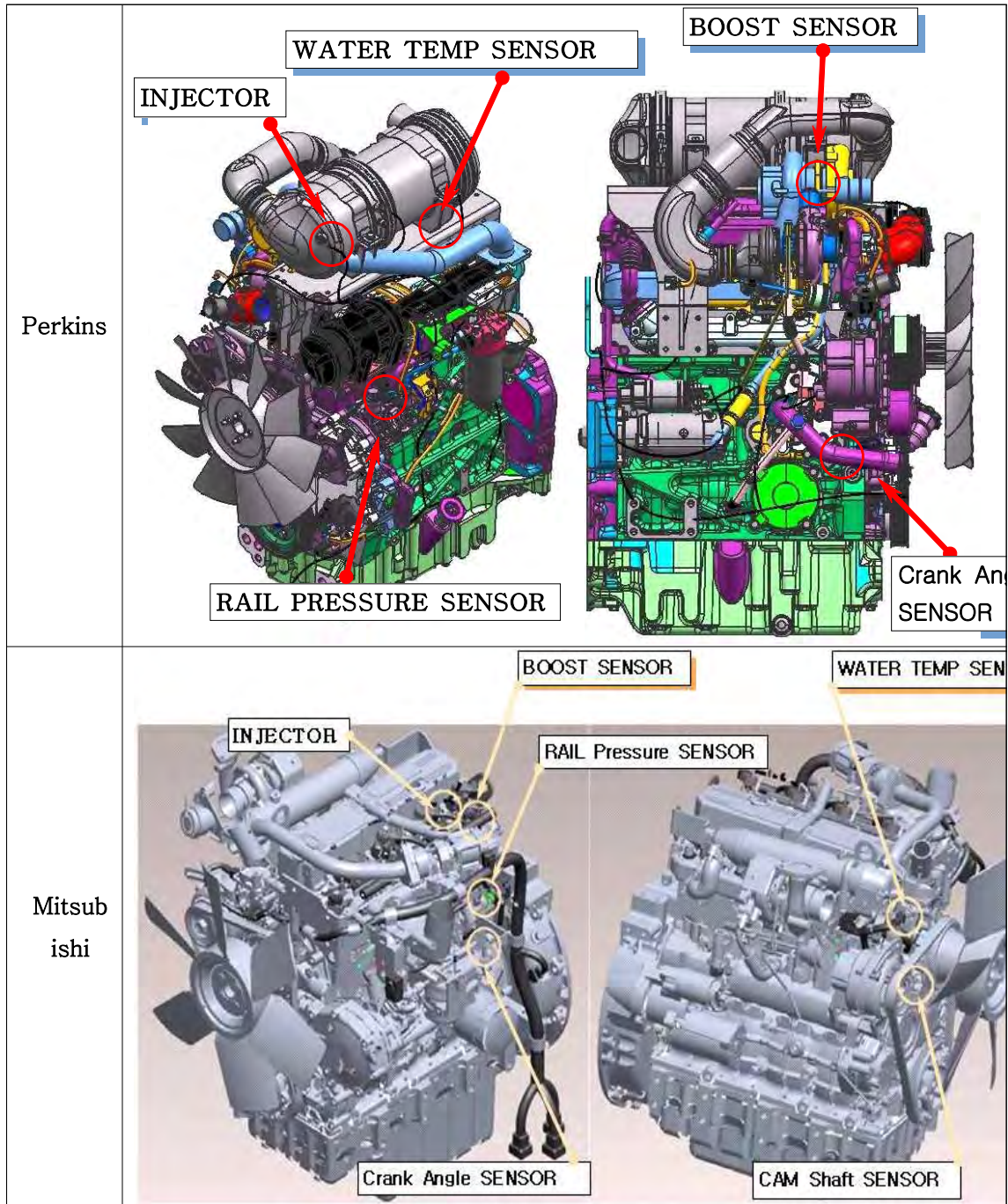
축적된 SOOT량이 기준을 초과하여 Passive 와 Active Regeneration이 어려울 경우, 엔진 low idle rpm 조건에서 실시되는 재생모드.

☞ DPF 재생 강제/금지 기능 : DPF Regeneration Active/Manual, DPF는 디젤엔진이 배기가스 규제(Tier-4)를 만족시키기 위해 장착하는 필터로써 필터에 SOOT가 쌓이면 DOC(촉매)에 온도를 높여 화염을 일으켜 재생을 하여야 한다.

차량의 경우는 장거리 주행을 많이 하고, 일정 속도로 달리므로 조건이 안정하여, 자연 재생과 ECU에서 자동 재생을 행하여 DPF 재생을 많이 한다. 하지만, 농기계는 장거리 주행이 거의 없고 작업시에도 재생을 위한 조건들이 불충분한 경우가 많다. 그래서 농기계에서는 DPF 재생을 강제로 하는 스위치가 있어야 하며, 건초지에서는 화재의 위험이 있으므로 DPF 재생을 임의로 금지하는 별도의 스위치가 있어야 한다. 수동 강제 재생을 위한 조건은 ECU Mode가 OFF이고 안전을 위해 브레이크 스위치나 클러치 스위치가 ON 이어야 한다. 아래 그림은 SOOT량에 따른 Regeneration mode의 운용 조건과 DPF Regeneration을 나타내고 있다.

자. SENSOR 위치 및 특징

<표 1-33 Engine sensor 위치>



○ INJECTOR

ECU에서 산정된 연료분사 시간동안 정확한 양의 연료를 최적의 분무상태로 엔진의 흡기밸브를 향하여분사하는 솔레노이드밸브(Solenoid Valve)형 분사기.

○ WATER TEMP SENSOR

냉각수의 온도 변화를 센서로 출력하고, 다양한 점화, 연료와 배기가스 제어 기능을 조절하고 설정하여 검출된 온도를 신호로 변환하여 엔진 ECU에 전달한다.

○ BOOST PRESSURE SENSOR

흡기 매니폴더 공기의 압력을 감지하는 센서.

- Operation temperature $-40^{\circ}\text{C}\sim+130$ [degC]
- Vibration proof 18 [G]
- Water/dust proof DIN IPx4K

○ RAIL PRESSURE SENSOR

커먼레일 가운데에 꼽혀 있는 레일 압력 센서는 연료 압력 변화를 순간적으로 감지 ECU로 입력되어 ECU는 이 신호를 받아 연료량, 분사시기를 조절하는 신호로 쓰게 된다.

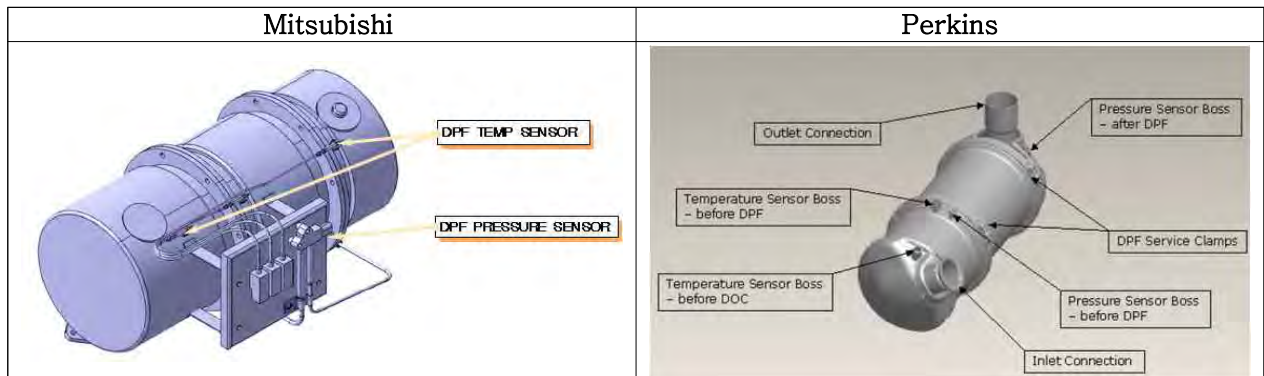
○ CRANK ANGLE SENSOR

크랭크 각 센서(CAS: Crank Angle Sensor)는 크랭크축의 회전수 및 위치를 검출하여 점화시기 결정하는 역할을 한다.

○ CAMSHAFT SENSOR

캠축에 장착된 타겟 휠 위에 장착되어 캠축의 회전정보를 감지하는 센서로, ECU는 전달된 회전 정보를 바탕으로 엔진 실린더의 행정 및 위치를 판별하고 연료분사시기를 제어

<표 1-34> DPF 위치



○ DPF TEMP SENSOR : 흡기 매니폴더의 공기의 온도를 감지하는 센서

- Operation temperature $-20^{\circ}\text{C}\sim+100$ [degC]
- Vibration proof 10[G]
- Water/dust proof IP54 and JIS D0203 S2

○ DPF PRESSURE SENSOR

DPF의 Soot의 량을 감지하는 센서, DPF 입/출구 단에 압력차를 읽어서 ECU DPF재생을 할 시기를 결정하게 한다.

- Operation temperature $-40^{\circ}\text{C}\sim+140[\text{degC}]$
- Vibration proof 16[G]
- Water/dust proof IP54 and DIN IPx9K

○ AIR FLOW SENSOR

엔진에 흡입되는 공기량을 측정하여 주파수를 ECU에 전달하며, ECU는 이 신호를 이용하여 EGR(Exhaust Gas Recirculation)량과 연료량을 제어한다.

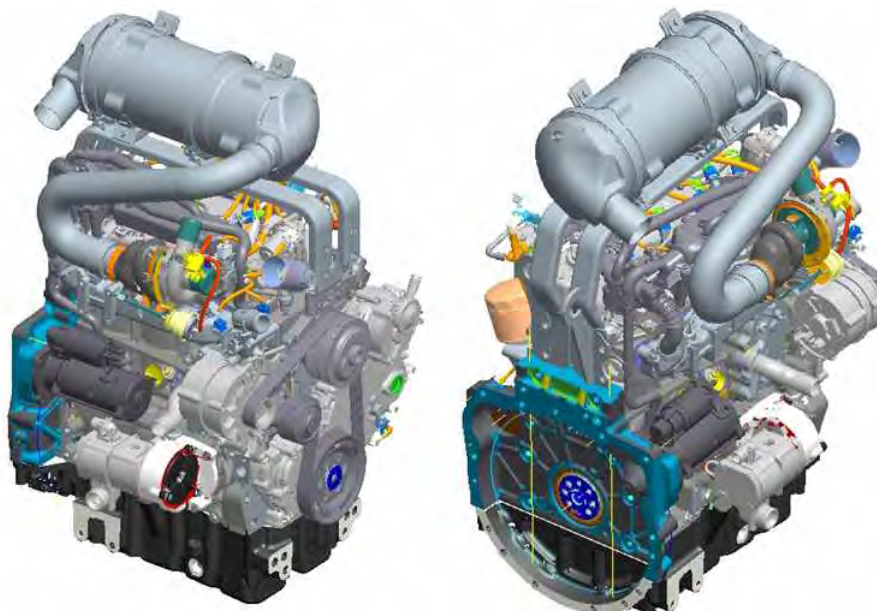
- Operation temperature $-20^{\circ}\text{C}\sim+100[\text{degC}]$
- Vibration proof 10[G]
- Water/dust proof IP54 and JIS D0203 S2

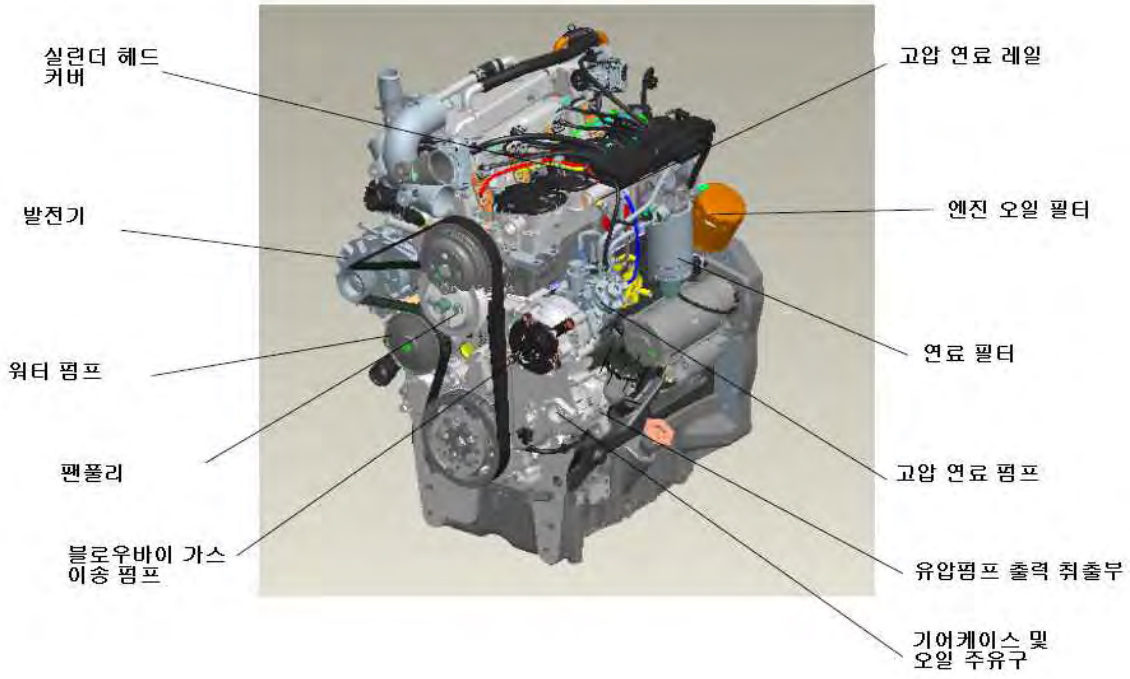
12. 최종양산 엔진 선정

당사 트랙터에 적용하고자 하는 모델은 Perkins(사)의 854E-E34TA 엔진으로써, 기본적으로 1600bar의 높은 압력으로 연료를 분사하는 커먼레일 방식을 적용하고 있다. 디젤 엔진의 연소 과정에 있어 공기 이용률이 낮은 확산 연소의 특징으로 인해 매연의 발생이 많고 국부적인 고온 영역의 다발로 인해 NOx가 많이 발생하는 문제점이 있어, 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중 한 가지로 커먼레일 형태의 연료 분사시스템이 최근 많이 적용되고 있으며, 강화되는 배기가스 규제를 만족하기 위하여 당사에서 이러한 시스템이 적용된 엔진을 선택하였다. 이러한 커먼레일 엔진의 연료 분사시스템은 연료의 분사량, 압력, 시기 등을 엔진 회전수 및 부하와 관계없이 독립적으로 제어할 수 있고 고압 연료 분사를 통한 연료의 미립화가 가능하여 출력 및 연비를 향상시킬 수 있다. 또한 커먼레일 시스템의 자유도를 활용한 파일럿 분사를 적용할 경우 연료의 착화 지연을 단축시키고 급격한 열방출로 인한 엔진의 연소소음과 Nox 배출을 저감시킬 수 있다. 따라서 이러한 커먼레일 시스템이 적용된 엔진의 탑재를 통하여 트랙터의 목표 출력 확보 및 연료소비율 향상, 유해 배기가스를 저감할 수 있고 북미 배기규제인 EPA Tier-4를 만족할 수 있다.

<표 1-35> 엔진 사양

구분	사양
모델명	Perkins 854E-E34TA
실린더 배열 형태	직렬 4기통
행정	4행정
흡기 시스템	터보차저, 인터쿨러
연소 방식	직접 분사식
보어*스트로크(mm)	99*110
압축비	17:1
배기량(liter)	3.4
점화순서	1-3-4-2
냉각방식	수냉식
길이*폭*높이(mm)	610*662*822
건조 중량(kg)	313
최대출력(kW/rpm)	75(100HP)/2,200
최대토크(Nm/rpm)	420/1,400
토크라이즈	29%
연료소모율	
분사시스템	커먼레일, 로터리 펌프
연료분사 압력	160MPa
최대흡기 부압-흡기 필터 청정 조건(KPa)	-5.0
최대흡기 부압-흡기 필터 오염 조건(KPa)	-8.0
냉시동 대응 허용 온도(°C)	-25
엔진 출력 보장 고도(m)	1,676
엔진 허용 최대 회전수(rev/min)	3,125
엔진 출력 허용 공차(%)	3





<그림 1-114> 탑재 엔진 외관 이미지

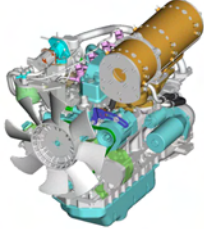


제2절. [협동1(동양물산기업)] 트랙터 본기의 Cooling System 개발 및 엔진룸 Air Flow 최적화

본 연구의 목표는 세계 각국의 배기가스 규제 강화(Tier-4, Stage IV)로 인해 볼륨이 큰 배기가스 후처리장치인 DPF(Diesel Particulate Filter)가 추가되고 인터쿨러와 EGR(Exhaust Gas Recirculation) 등 배기가스 저감을 위한 장치에 의해 엔진 발열량이 증대되어 기존 양산, 수출중인 트랙터의 냉각 시스템을 적용하는 데는 많은 문제점이 있다. 이와 같이 보닛 내부의 온도 증가에 따라 기존 대비 향상된 방열 성능을 발휘하는 냉각 시스템을 개발하여 고마력 트랙터의 수출증대 및 환경 친화적인 트랙터의 보급을 목적으로 한다.

1. 선행조사

가. 엔진 제조사별 배기가스규제 대응방안

<표 2-1> 엔진 제조사별 배기가스 규제 대응방안

엔진 MAKER	배기가스규제 대응방안	엔진 layout
PERKINS	HPCR(High Pressure Common Rail) ECU(Electronics Control Unit) Cooled EGR(Exhaust Gas Recirculation) BPS(Back Pressure Valve) CCRT=DOC(Diesel Oxidation Catalysts) +DPF(Diesel Particulate Filter)	
YANMAR	HPCR(High Pressure Common Rail) ECU(Electronics Control Unit) Cooled EGR(Exhaust Gas Recirculation) ITS(Intake Throttle Device) CCRT=DOC(Diesel Oxidation Catalysts) +DPF(Diesel Particulate Filter)	
MITSUBISHI	HPCR(High Pressure Common Rail) ECU(Electronics Control Unit) Cooled EGR(Exhaust Gas Recirculation) CCRT=DOC(Diesel Oxidation Catalysts) +DPF(Diesel Particulate Filter)	
CUMMINS	HPCR (High Pressure Common Rail) ECM (Electronics Control Module) Cooled EGR (Exhaust Gas Recirculation) VGT (Variable Geometry Turbocharger) CCRT=DOC(Diesel Oxidation Catalysts) +DPF(Diesel Particulate Filter)	

디젤엔진의 배기가스 유해 물질을 저감시키고 환경 친화적 엔진을 생산하기 위해서는 연료 분사 장치, 연소 장치, 흡기 장치, 배기 정화장치, 최적 설계요소 등 5가지 요소에 대한 상호 작용이 최적화 될 수 있도록 집중적인 연구 개발이 필요하다.

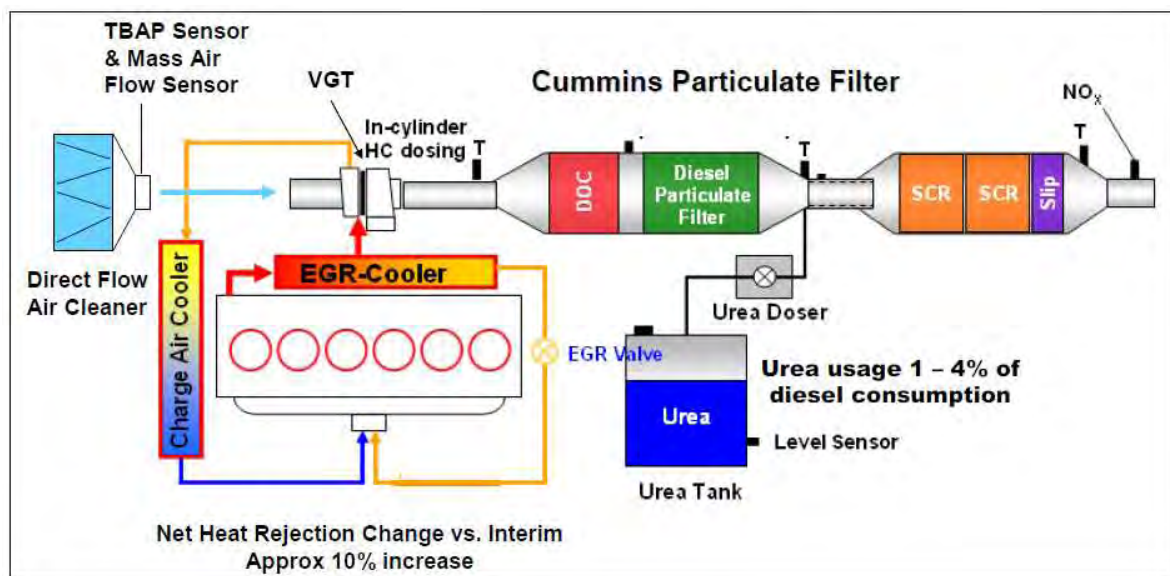
디젤엔진의 배기가스 저감 기술은 환경과 엔진 성능에 직접적인 영향을 끼치고 있는 NOx, CO, PM의 저감이 가장 큰 관건이다.

우선 엔진의 연소효율 자체를 최적화하여 배기오염을 저감시키는 기술로는 인-실린더 연소기술 (In-Cylinder Solution)과 배기가스 재 연소 기술인 EGR (Exhaust Gas Recirculation)이 대표적이다.

또한 배기가스 후처리 장치(After Treatment)를 통하여 궁극적으로 대기환경으로 방출되는 오염 물질들을 최소화시킬 수 있는 기술로는 디젤 산화 촉매장치인 DOC(Diesel Oxidation Catalysts), 흑연 필터장치인 DPF(Diesel Particulate Filter), 및 요소 촉매 저감장치인 SCR(Selective Catalytical Reduction)등을 대표로 들 수 있다.

<표 2-1>에서 보는 바와 같이 엔진 제조사별 배기가스 규제방안도 이런 맥락에서 각 제조사별로 유사한 기술을 접목하고 있음을 알 수 있다.

아래 <그림 2-1>은 디젤엔진에서 저감해야할 가장 큰 배기가스 요소인 PM과 NOx를 저감할 수 있는 대표적인 기술과 장치들을 보여주고 있다.



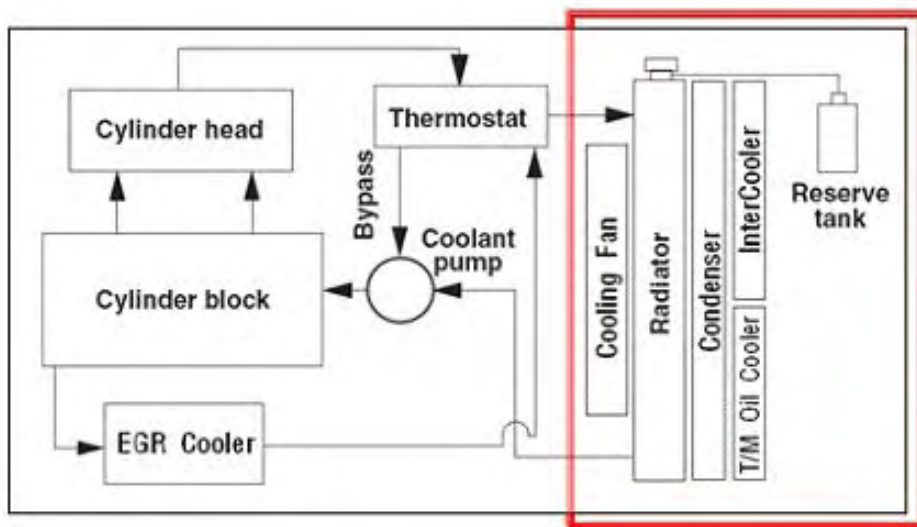
<그림 2-1> 배기가스 후처리 장치 SYSTEM 구성도

나. 냉각시스템의 요소부품 특성 조사

냉각장치는 엔진 실린더의 과열을 방지하고 기관의 온도가 항상 적당한 온도를 유지하도록 냉각하여 주는 역할을 한다. 실린더내의 연료가 연소하여 생기는 온도는 1400~2000 °C에 달하는 고온이므로, 엔진을 적당한 온도로 냉각시켜주지 않는다면 엔진이 과열되어 엔진이 소결, 융착된다. 또한 엔진이 지나치게 냉각되면 열효율이 나빠지므로 알맞은 엔진의 온도를 유지하는 것이 필요하다.

엔진 냉각수의 적정온도 유지 목적 외에 캐빈 내부 공조시스템을 위한 콘덴서 냉각 및 트랜스미션 오일용 오일쿨러냉각, 터보차저에서 고온으로 압축 된 흡입공기의 냉각, 배기가스 규제에 대응 하기 위해 설치된 EGR쿨러 냉각 등 여러 가지 부가 장치들로 인한 엔진룸 내부의 온도 증가에 따라 트랙터의 공조계통과 엔진 냉각계통의 주요 제품인 라디에이터 와 콘덴서, 오일쿨러 등의 열 교환기 부품을 모듈화 하여 트랙터 엔진룸을 Compact화하고 트랙터의 성능을 극대화 하는 기존 대비 향상된 방열 성능을 발휘하는 냉각 시스템 요소부품의 개발은 매우 중요하다.

트랙터의 냉각시스템은 기본적으로 아래 <그림 2-2>와 같이 구성된다.



<그림 2-2> 냉각 SYSTEM의 구성도

(1) 냉각시스템의 요소부품

아래 <표 2-2>와 같이 냉각시스템의 구성품인 요소부품에 대한 요구사항 및 개발 방향, 개발 주요 포인트에 대해 간단하게 정리 해 보았다.

<표 2-2>에서와 같이 냉각시스템 요소부품에 요구되는 특성은 고성능화 및 저중량화, 고강성화와 통과공기의 압력저하 최소화가 요구된다.

<표 2-2> 냉각 요소부품들의 개발 방향

Trend	Component development	Key points
Emission legislation (Especially diesel engine)	High performance radiator High performance motor fan High performance CAC High performance condenser	
High power engine	High performance radiator (high pressure)	
Fuel savings	Weight reduction component High efficiency motor fan	
Pedestrian protection	Compactness components Reduce height & length	
Noise	Low noise	
Cost reduction		
Lifetime reliability		

(가) 각 요소부품에 요구되는 사항

① 라디에이터

- 고성능화 및 압력저하의 최소화(신규 pin 및 tube적용)
- 저중량화 (thin core & narrow tank적용)
- Compact화 (small size clinch & narrow tank적용)
- 고 강도와 (고강도 알루미늄합금 적용 및 Clinch 기술)



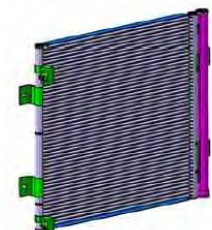
② 인터쿨러, 오일쿨러

- 고성능화 및 압력저하의 최소화(신규 pin 및 tube적용)
- Recyclability(all aluminium design)
- Compact화 (small size clinch & narrow tank적용)
- 고 강도화 (고강도 알루미늄합금 적용 및 Clinch 기술)



③ 콘덴서

- 리시버드라이어 일체형 콘덴서 (Separated type→ United type)
- 고성능화 및 압력저하의 최소화(신규 pin 및 tube적용)
- Compact화 (small size clinch & narrow tank적용)
- 고 강도화 (고강도 알루미늄합금 적용 및 Clinch 기술)



2. 냉각시스템 Layout 설계 및 Design Review

가. 평가항목 선정 및 평가기준 선정

트랙터의 냉각시스템이 올바르게 구성되어졌는지의 판단 기준으로서 평가 항목을 선정하고 평가 기준을 마련하였다. 평가항목 선정 및 평가 기준은 각 엔진 제조사에서 추천하는 항목들을 분석하여 트랙터에 적용 가능한 주요 항목을 발췌하여 선정 하였다. 평가 항목 및 평가 기준은 아래 <표 2-3> 과 같다.

(1) 주요 평가 항목

- 엔진룸 내부온도 및 배기가스온도
- 에어클리너 입구온도- 외기온도, 엔진오일 온도
- 고온성능지수(Air to Boil) 및 ACT(Ambient Clearance Temperature)
- 냉각풍 입구온도-출구온도, 연료온도 등

<표 2-3> 평가항목 및 평가기준

Heat Balance Performance Sheet							
◇ 기종명 :		◇ 측정일자 :		◇ 시험구분 :			
◇ 형식명 :		◇ Eng' 형식명 :		◇ 측정자 :			
◇ 기대NO :		◇ Eng' NO :		◇ 참고사항 : 배기 집합부 출구부			
◇ 대기압 : 753mmHg, 건구/습구 : 3.5/ 1.9℃ ※ 부동액 농도 : 50%, Cap = 1.1kg/cm ² .							
NO	측정회수(회)		1	2	평 균	평가기준	비 고
	측정시간(min)	기호					
01	외기온도(AT)	AT					
02	BONNET 온도(RT)	RT				< 75	
03	배기gas온도[집합부)	EXT				< 650	
04	Eng' Oil온도	LOT				< 110	정격연속운전시
						< 120	최대 Torque운전시
05	에어클리너 입구온도	IAT				< 45	
	T=IAT-AT	ΔT				< 5	
06	냉각풍 입구온도	CAIT				< 40	
07	냉각풍 출구온도	CAOT					
	T=CAOT-CAIT	ΔT				< 30	

08	냉각수 입구온도 (Radiator 기준)	CWIT				< 120	
9	냉각수 출구온도 (Radiator 기준)	CWOT					
	고온성능(Air TO Boil) AtoB=X-CWIT+AT	ATB				>55	
10	냉각수 Over flow량	OFQ					
11	연료온도(FOT)	FOT				< 60	
	T=FOT-AT	ΔT				< 20	
12	Battery 표면온도	BRT				< 55	
13	Starter Moter	STT				< 80	
	Alternator	ALT					
	ECU	RET					
14	냉각정수(CWIT-AT)	ΔT				< 65	
15	냉각수차(CWIT-CWOT)	ΔT				< 8	
16	ACT	ACT				>46	
17	Eng' 회전수(rpm)	N			0/4 최저회전수		rpm
					0/4 최고회전수		rpm

- 주 기 1) 운전조건의 윤활유는 CD급, 냉각수 LLC 50%, 섬머스타트는 강제개방 상태에서 온도를 측정한다.
- 2) 상기 평가기준의 최고 외기온도 40℃ 경우, 이상의 외기온도가 될 경우는 온도차 값을 평가기준에 가산해서 판단한다.
- 3) 주위온도 24℃이하에서 냉각시험을 해서는 안 된다(공기밀도 변화나 냉각계와의 상이한 부품으로 부터의 복사결과에 차질발생)

- 주) 1) 상기계산식 [AtoB= (X) - (CWIT) + AT] > 55℃(정격점), >49℃(최대 Torque점)의 기준값 ATB의 (X)값 : LLC 50% / 0.9kg/cm²(Radiator Cap 개변압력) 일때 = 126.5℃
/ 1.1kg/cm² 일때 = 129.0℃
청수100% / 0.9kg/cm²(Radiator Cap 개변압력) 일때 = 116.5℃
- 2) ACT(Ambient Clearance Temperature) : 110℃ - CWIT + AT
- 3) 14~16번 항은 업체 관리 용도에 따라 적용유무 판단함

나. 과제 수행을 위한 선행 해석 및 TEST

“고 마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발”의 세부과제인 “트랙터 본기의 Cooling System 개발 및 엔진룸 Air Flow 최적화” 기술 개발을 위하여 당사에서 보유하고 있는 T1003(SATURN)트랙터를 이용하여 선행 해석 및 TEST를 수행하였다.

트랙터의 냉각 시스템은 적은 연료소비, 공해감소, 엔진수명 향상을 포함한 엔진의 성능향상과 밀접한 관계가 있으나 실제 설계과정에서 냉각 시스템의 각 요소들의 성능과 복잡한 반응 때문에 시험차량에 의한 하드웨어 실험은 많은 비용과 시간을 소비하고 여러 조건에 의한 시스템의 반응을 분명히 이해하기 힘들다. 그래서 컴퓨터 시뮬레이션은 설계자들에게 설계과정에서의 반복 작업을 덜어주어 값싸고, 효과적인 설계, 광범위한 조건에서 트랙터 엔진 냉각 시스템의 설계, 개발, 최적화 할 수 있는 분석도구이다. 본 연구는 해석을 통하여 하드웨어 실험과의 격차를 줄일 수 있는 이론적인 방법을 도출함으로써 각종 조건의 변화에 따른 최적화된 냉각시스템을 공급하는데 그 목적이었다.

시험에 사용된 트랙터는 PERKINS社 Tier-2 엔진을 탑재하고 있으며 과제 수행엔진인 MHI 社 K42엔진과 출력은 유사하고 배기량은 약 1L정도 크다.

시험 및 해석용 엔진의 사양은 <표 2-4>와 같다.

<표 2-4> 시험용 트랙터 사양

구분		시제품 사양
트랙터 기종명		T1003(SATURN)
엔진	모델명	1104D-44TA
	정격출력/rpm	99.5HP/2200rpm
	최대토크/rpm	410Nm/1400rpm
	배기가스 규제	Tier-2
	토크라이즈	27%
밋선부	서틀변속	유압식
	주x부변속	32 x 32
유압부	3pt 전자유압제어	적 용
	3rd 외부유압밸브	옵 션
	보조램실린더	옵 션

(1) 냉각시스템 해석

(가) 해석목적

냉각 팬 회전 시 에어컨 콘덴서 전방의 풍속 해석을 통해 에어클리너 등 냉각성능에 영향을 미치는 인자들을 파악하여 하드웨어 실험에서 도출된 측정값과의 차이를 비교하고 그 오차를 줄이고 냉각성능을 극대화 할 수 있도록 최적배치를 목적으로 한다.

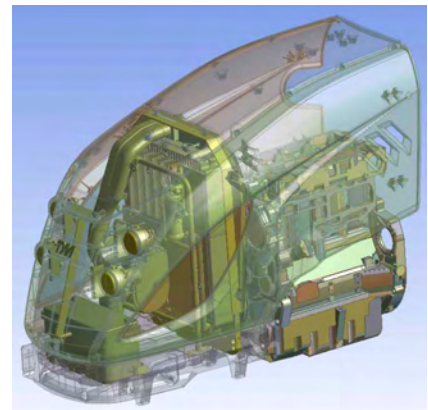
(나) 해석조건

- 냉각 팬 회전속도 : 2200rpm(엔진 정격 회전수)
- 전면 그릴 망 : Ø3.0, Pitch 4.5, 배치각도 60°, 배면구멍Ø2.5이상
- 측면 그릴 망 : Ø3.0, Pitch 4.0, 배치각도 60°

해석 조건은 위와 같으며 해석은 기존 트랙터 상태에서 에어컨 콘덴서 전방 풍속 및 에어클리너 제거 시의 전방 풍속 2가지로 해석 한다.

(다) 엔진룸 구조

엔진룸의 구조는 <그림 2-3>과 같으며 라디에이터 전방에 오일쿨러와 에어컨콘덴서가 배치하고 그 전방에 에어클리너 및 배터리가 위치한 구조로 되어 있다.



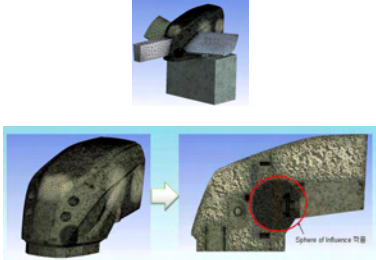
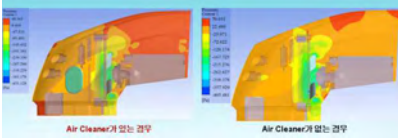
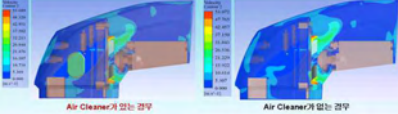
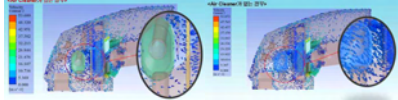
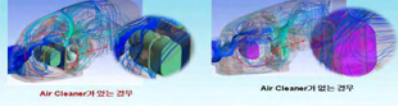
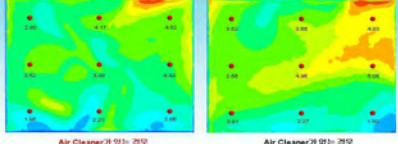
<그림 2-3> 엔진룸 구조

(라) 해석방법 및 순서

해석방법 및 순서를 알기 쉽도록 하기위해서 <표 2-5>에 정리 하였다.

<표 2-5> 해석방법 및 순서

NO	항 목	작업 내용	작업 내용 설명
1	CAD 모델 단순화 및 MODELING		1.MESH작업을 원활하게 하기위하여 엔진은 외곽 면만을 이용하여 엔진모델을 단순화하고 나머지 부품도 단순화.
2	유동장 MODELING		1.엔진룸으로 유/출입 되는 외부공간 경계조건을 설정하기 위하여 grill 및 엔진 하부에 duct를 연결한 것과 유사한 개념으로 front, side grill, outlet 외부영역을 확장하여 생성함.

3	MESHING		<p>1. Fan 주변부의 격자질 향상을 위해 sphere of Influence 기능사용.</p> <p>2. 약 650만개의 사면체 요소 사용.</p>												
4	SOLVING & RESULT		<p>1. Center line에서의 압력분포를 나타냄</p> <p>2. Fan 주변부의 압력변화가 가장 크게 나타남</p> <p>3. Fan을 지난 유동이 엔진부에 의해 흐름이 막혀 유동과 만나는 엔진부의 압력이 크게 상승함</p> <p>4. Air cleaner가 없는 경우 전체적인 엔진룸 내부 압력이 상승함. (압력강하량이 감소함.)</p>												
			<p>1. Center line에서의 속도분포를 나타냄.</p> <p>2. Fan의 영향으로 Fan끝단의 속도분포가 가장 크게 나타남.</p>												
			<p>1. Center line에서의 속도벡터를 나타냄</p> <p>2. Air Cleaner 주변으로 따라 유동이 우회하여 condenser로 유입되는 것을 볼 수 있음</p>												
			<p>1. Stream line을 나타냄</p>												
			<p>1. Air Cleaner유무에 따른 속도 값을 비교 하여 나타냄</p> <p>2. Air Cleaner가 없을 때 중앙부의 속도가 다소 높아짐</p>												
<p>-Solving Conditions-</p> <p>1. 각 Component (pipe, engine, panel) - Wall</p> <p>2. Fan Rotation Media로 구현 (냉각 팬 회전 속도 : 2200rpm 적용)</p> <p>3. 유동의 유/출입이 이루어지는 영역 Opening 으로 구현</p> <table border="1" data-bbox="268 1585 1150 1787"> <thead> <tr> <th></th> <th>규격</th> <th>조건</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Condenser</td> <td>9.0 mmAq</td> <td>5 m/sec</td> </tr> <tr> <td>Radiator</td> <td>30 mmAq이하</td> <td>8 m/sec</td> </tr> <tr> <td>Oil Cooler</td> <td>40mmAq</td> <td>8.4 m/sec</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 공기측 압력손실</p> <p>-Condenser/ Radiator/ Oil Cooler에 대한 단품해석을 수행하여 압력강하조건과 일치 하는 저항 계수를 반복 해석법으로 추정하여 적용하였음.</p> <p>-Porous media로 구현 (계산된 저항계수 적용)</p>					규격	조건	Condenser	9.0 mmAq	5 m/sec	Radiator	30 mmAq이하	8 m/sec	Oil Cooler	40mmAq	8.4 m/sec
	규격	조건													
Condenser	9.0 mmAq	5 m/sec													
Radiator	30 mmAq이하	8 m/sec													
Oil Cooler	40mmAq	8.4 m/sec													

(마) 결론

- Air Cleaner 유/무에 따라 콘덴서 전방의 유속분포가 다르게 나타남.
- Air Cleaner 없을 때 콘덴서 전방의 유속이 전체적으로 증가 함.
- Air Cleaner 없을 때 압력손실이 감소 함.
- Fan 회전조건에 따라 회전력이 변화하여 유동특성이 변할 수 있으므로 Fan 회전수 및 성능특성을 최대한 반영하는 것이 해석결과의 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단 됨.

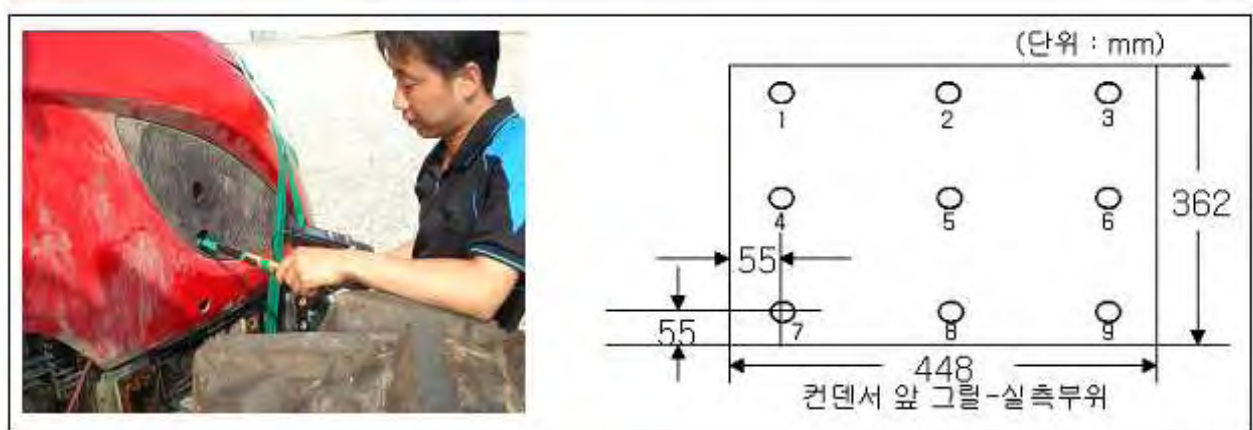
(2) 냉각시스템 TEST

(가) TEST목적

냉각 팬 회전 시 에어컨 콘덴서 전방의 풍속을 측정하여 해석 값과의 비교, 분석을 통해 실험에 소요되는 많은 시간과 비용의 절감을 목적으로 한다.

(나) 해석 대상물의 풍속 측정 방법 및 측정부위

아래 <그림 2-4>와 같은 방법으로 에어컨 콘덴서 전방 각 부위의 풍속을 측정 하였으며 풍속 측정 위치는 아래 그림 오른쪽과 같이 에어컨콘덴서 전방을 9개 구역으로 나누어 측정 하였다.



<그림 2-4> 풍속 측정 방법 및 측정 위치

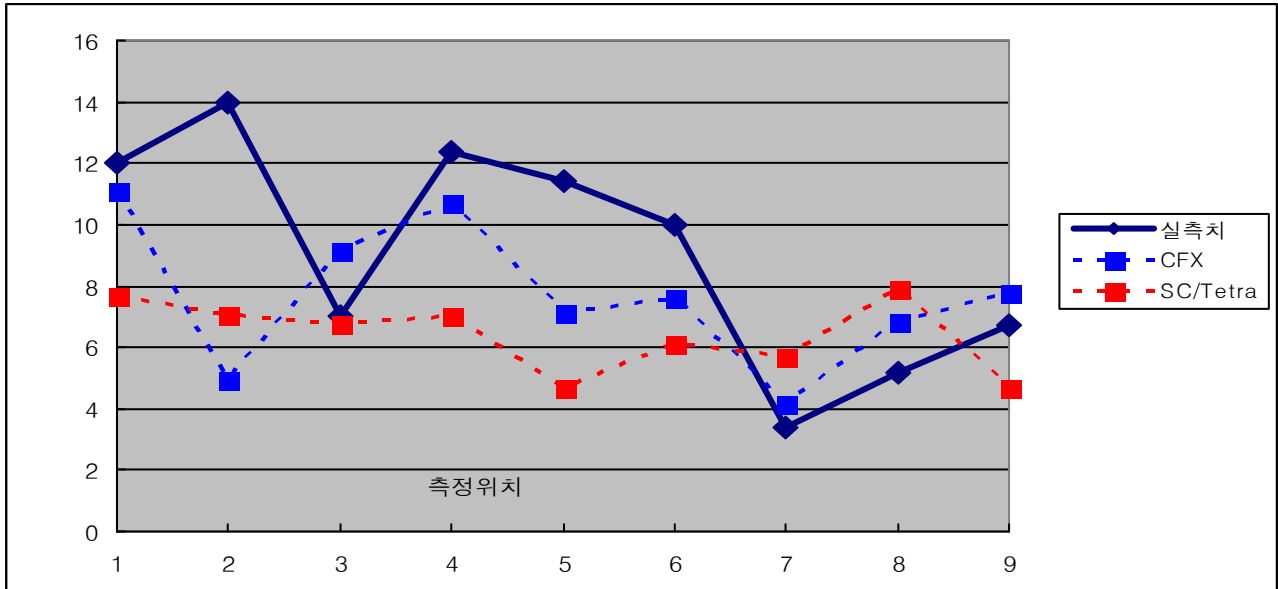
(다) 해석치와 측정치와의 비교 분석

아래 <표 2-6>과 같이 해석 값과 측정 값 과의 비교 분석을 실행 하였다. 표에서 보는바와 같이 많은 차이를 보이고 있는데 이는 측정방법의 불 균일과 입력정보의 부정확 때문이라고 판단된다. 과제 2차년도 에는 측정방법의 표준 확립과 정확한 Back Data의 입력 및 반복적인 해석업무를 통하여 좀 더 실험 치에 근접하는 정확한 해석이 될 수 있도록 업무를 진행할 계획이다.

<표 2-6> 해석치와 측정치와의 비교

(단위:m/sec)

구 분	1	2	3	4	5	6	7	8	9
실 측 치	12.0	14.0	7.0	12.4	11.4	10.0	3.4	5.2	3.1
CFX해석치	11.1	4.9	9.2	10.7	7.2	7.6	4.2	6.8	7.8
SC/Tetra 해석치	7.7	7.1	6.8	7.0	4.7	6.1	5.7	7.9	4.7

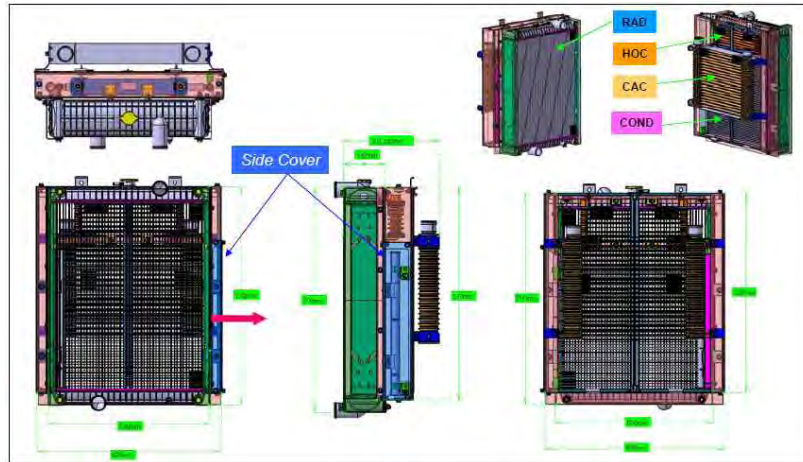


다. 냉각시스템 Layout 설계 및 Design Review

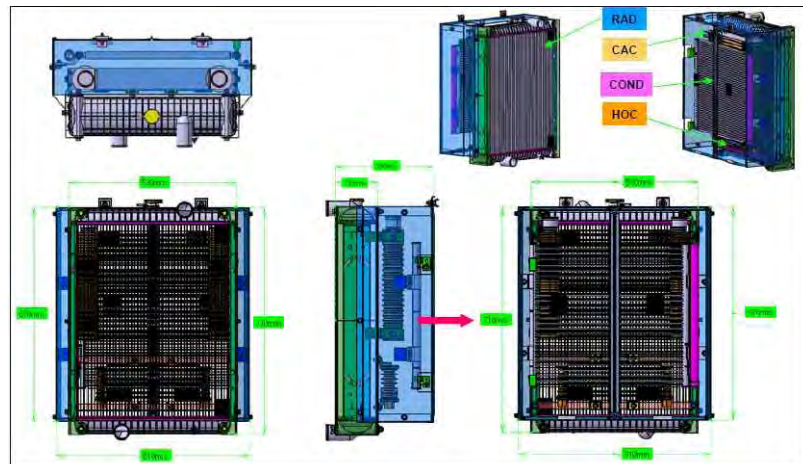
본 과제에서는 냉각시스템을 패키지 개발 추진 중에 있으며, 패키지에는 라디에이터, 인터쿨러, 오일쿨러, 연료쿨러가 포함된다. 패키지 항목 중 콘텐서는 캐빈내의 공조장치와 함께 개발되어야 하므로 기존 캐빈 공조장치 공급업체에서 제작기로 협의 하였다. 패키징은 제한된 엔진룸 내부에 설치되는 냉각시스템의 전체 크기를 콤팩트화하고 시스템의 방열 효율성을 최적화 함과 동시에 생산성 향상 및 원가절감을 그 목적으로 하고 있다.

(1) 냉각시스템 LAYOUT 설계

냉각시스템 Layout은 아래 <그림 2-5, 2-6>과 같이 Case1/ Case2의 2가지 방안으로 설정 하였다. Case1은 인터쿨러가 시스템의 전방에 배치되는 구조이고 , Case2는 에어컨콘덴서가 시스템의 전방에 배치되는 구조이다. 2가지 방안 모두 장단점이 있어 CFD해석을 통해 최적사항을 선정하여 개발 할 예정이다.



<그림 2-5> CASE 1

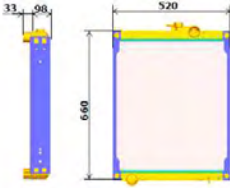
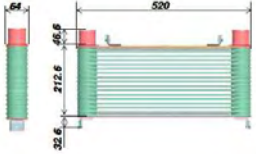


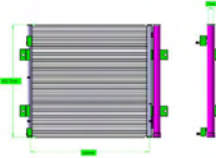
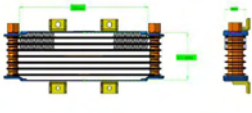
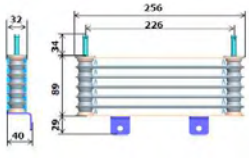
<그림 2-6> CASE 2

(2) 최적 방열성능의 설정

엔진 공급업체인 MHI 社에서 제공한 냉각 팬 성능곡선 등 Data와 트랙터에서 요구되는 냉각성능을 기초로 하여 최적의 방열성능을 발휘할 수 있도록 각 요소부품들의 방열성능을 선정하였다. 아래 <표 2-7>에 각 요소부품들의 적정 방열량등 주요 사양을 정리 하였다.

<표 2-7> 각 요소부품의 사양

구 분			RADIATOR	INTER COOLER
CORE	TYPE		AL TUBE & FIN	DRAWN CUP
	WxHxD	mm	405x549x62	399x213x64
	TUBE ROW	열	2	1
PERFOR MANCE	AIR FLOW	m3/sec	From Fan Curve	<--
	INNER FLOW	lpm	155	420 kg/h
	INLET TEMP. DIFFERENCE	°C	51.4	119
	HEAT REJECTION CAPACITY	kcal/h	63,700	8,500
LAYOUT				

구 분			CONDENSER	OIL COOLER	FUEL COOLER
CORE	TYPE		AL TUBE & FIN	DRAWN CUP	DRAWN CUP
	WxHxD	mm	300x111x49	300x111x49	85x200x32
	TUBE ROW	열	1	1	1
PERFOR MANCE	AIR FLOW	m3/sec	From Fan Curve	<--	<--
	INNER FLOW	lpm	205 kg/h	28	2.6
	INLET TEMP. DIFFERENCE	°C	50	55	47.3
	HEAT REJECTION CAPA.	kcal/h	8,830	4,573	860
LAYOUT					

(3) 신뢰성 시험항목 선정

각 요소 부품들 및 패키지 조합의 신뢰성을 보증하기 위해 요소부품별 신뢰성 시험 항목을 부품 제작업체 및 과제 수행 업체와 협의하여 선정 하였다. 각 요소부품들에 대한 신뢰성 시험 평가항목은 <표 2-8>과 같다.

<표 2-8> 신뢰성 평가 항목

NO	시 험 명	RADIATOR	INTER COOLER	CON DENSER	OIL COOLER	FUEL COOLER	시험항목/사양
1	방열성능시험	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -Coolant Flow -Charge Air Flow -Oil Flow
2	LEAK TEST	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -압력 -온도 -Cycle Time
3	내진성 시험	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -실차진동 -Random 진동 -Sweep 진동
4	IMPULSE TEST	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -압력 -온도
5	열충격 시험	O	O	X	X	X	Model별 요구조건으로 시험 -Coolant 온도 -Charge Air 온도 -Cycle Time
6	BURST TEST	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -압력
7	내부부식시험	O	X	X	X	X	Model별 요구조건으로 시험 -온도 -유량
8	EROSION TEST	O	X	X	X	X	Model별 요구조건으로 시험 -온도 -유량
9	외부부식시험	O	O	O	O	O	Model별 요구조건으로 시험 -최대온도 -염수분무 -최저온도 -건조 -습도 -습윤
비 고		O: TEST X: NOT TEST					

라. 시제품 개발추진

시제품은 기본 성능 시험용 1대, 필드시험 및 신뢰성 평가용 2대, 후처리장치 재생 Logic 개발용 1대로 구분하여 제작할 것이다. 각 세부 과제별 개발된 시제품으로 중간 조합체를 최종적으로는 주관 업체인 대동공업 연구소에서 통합할 것이다.

(1) 시제품 추진일정

- ① Layout 및 상세 부품설계 : 2010년 03월 한
- ② 시제품 제작 (5대분) : 2010년 05월 한
- ③ 시제품 조립 (4대) : 2010년 06월 한

(2) 시제품 시험항목

- ① 엔진탑재 평가시험
- ② 방열성능, 배압, 부압시험 등

3. 냉각 시스템 부품 개발

엔진 공급업체인 MHI社에서 제공한 냉각 팬 성능곡선 등 Data와 트랙터에서 요구되는 냉각 성능을 기초로 하여 1차 년도에 추진 한 Layout을 바탕으로 최적의 방열성능을 발휘할 수 있도록 각 요소부품들의 설계를 진행하였다.

가. 냉각 시스템의 요소부품 설계

(1) 라디에이터

라디에이터는 MHI社에서 제공한 냉각 팬 성능곡선과 냉각수 펌프 용량, 보닛 사이즈를 기준으로 설계 하였으며 주요 사양 및 설계도면은 아래 <표 2-9>와 같다

<표 2-9 > 라디에이터의 주요사양 및 설계도면

ITEM		RADIATOR		LAYOUT
CORE	TYPE	AL TUBE & FIN		
	W x H x D	mm	488x 570x66	
PERFORMANCE	Pmax 방 열 량 (6 m/sec, 155 l/min)	Kcal/h	56,000	
	Tmax 방 열 량 (6 m/sec, 40 l/min)	Kcal/h	41,000	
	공기 쪽 압력 손실	mmAq	Pmax : 25	
	냉각수 쪽 압력 손실	mmHg	Pmax : 205	

(2) 인터쿨러

인터쿨러는 MHI社에서 제공한 입, 출구 온도 차 및 압력손실 등을 기준으로 설계 하였으며 주요 사양 및 설계도면은 아래 <표 2-10>과 같다.

<표 2-10> 인터쿨러의 주요사양 및 설계도면

ITEM		INTER COOLER		LAYOUT
CORE	TYPE	DRAWN CUP		
	W x H x D	mm	399x212.6x64	
PERFORMANCE	HEAT REJECTION CAPACITY)	kW	14 Min	
	CHARGE AIR SIDE PRESSURE DROP	kPa	13 Max	
	AIR SIDE PRESSURE DROP	kPa	0.5 Max	
	LEAK TEST PRESSURE	kPa	180	

(3) 콘덴서

콘덴서는 대동공업에서 제시한 CABIN사이즈와 열 교환 능력을 기준으로 설계 하였으며 주요사양 및 설계도면은 아래 <표 2-11>과 같다.

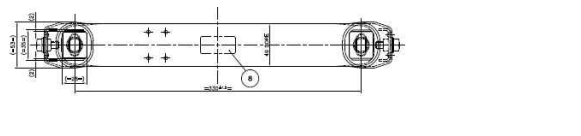
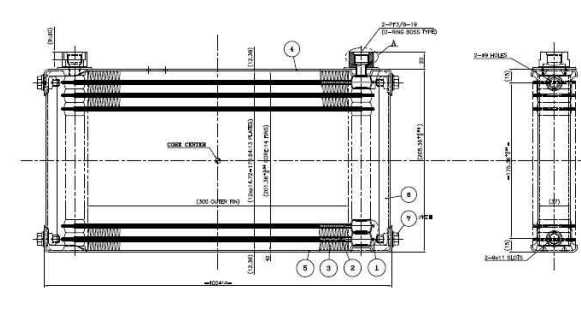
<표 2-11> 콘덴서의 주요사양 및 설계도면

ITEM		CONDENSER		LAYOUT
CORE	TYPE	DRAWN CUP		
	W x H x D	mm	467x461.4x22	
PERFORMANCE	HEAT REJECTION CAPACITY)	kcal/h	8,000	
	AIR FLOW RESISTANCE	mmAq	10 Max	

(4) 오일쿨러

오일쿨러는 대동공업과 협의한 트랜스미션 및 유압 부품들의 사용온도 등을 기준으로 설계 하였으며 주요사양 및 설계도면은 아래 <표 2-12>와 같다.

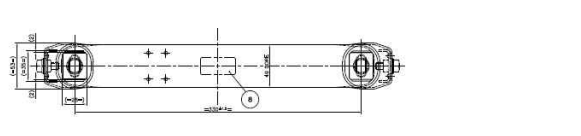
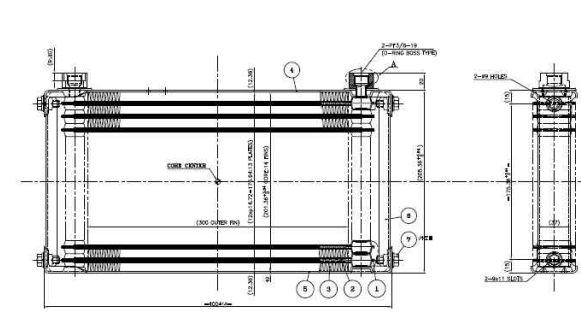
<표 2-12> 오일쿨러의 주요사양 및 설계도면

ITEM		OIL COOLER		LAYOUT
CORE	TYPE	DRAWN CUP		
	W x H x D	mm	300x201.4x49	
PERFORMANCE	HEAT REJECTION CAPACITY)	kcal/h	3,000	
	OIL FLOW	l/min	25	
	INLET TEMP. DIFFERENCE	℃	60	
	LEAK TEST PRESSURE	MPa	2	

(5) 연료쿨러

연료쿨러는 MHI社에서 엔진개발 시 제시한 고압펌프로 공급되는 연료온도 제한치를 기준으로 설계 하였으며 주요사양 및 설계도면은 아래 <표 2-13>과 같다.

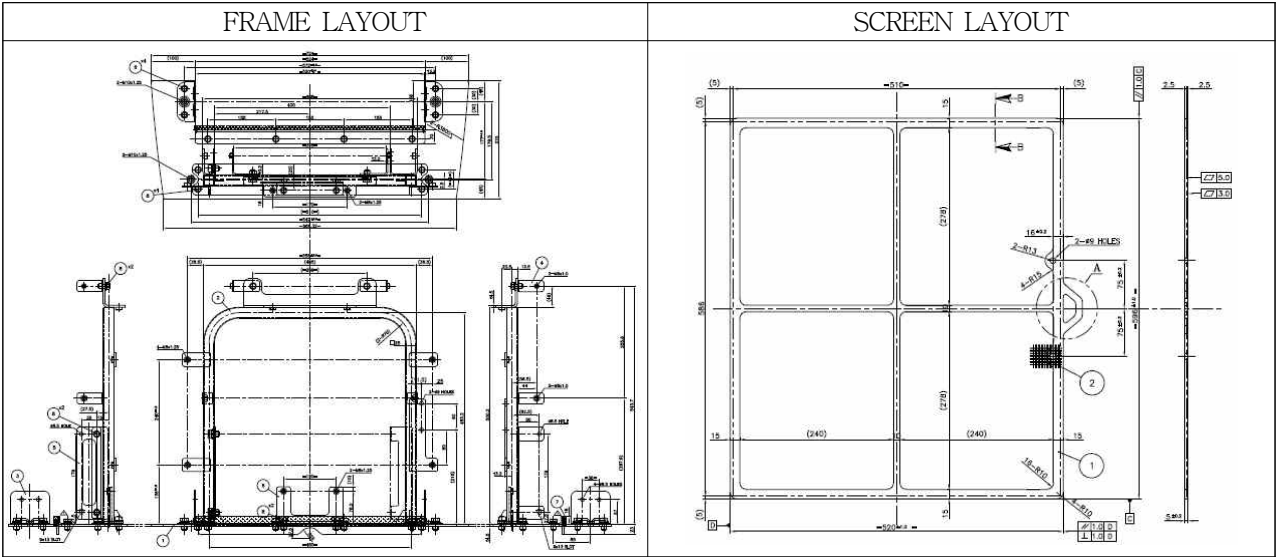
<표 2-13> 연료쿨러의 주요사양 및 설계도면

ITEM		FUEL COOLER		LAYOUT
CORE	TYPE	DRAWN CUP		
	W x H x D	mm	300x201.4x49	
PERFORMANCE	HEAT REJECTION CAPACITY)	kcal/h	3,000	
	OIL FLOW	l/min	25	
	INLET TEMP. DIFFERENCE	℃	60	
	LEAK TEST PRESSURE	MPa	2	

(6) 프레임 및 스크린

프레임은 각각의 Module 구성을 위해 각 요소 부품들을 장착할 수 있도록 설계하였다. 스크린은 보닛 내부로 유입된 먼지 등이 Cooling Module내로 유입되지 못하도록 하였으며 청소 및 정비가 용이한 구조로 설계 하였다. 설계도면은 아래 <표2-14>와 같다.

<표 2-14> 프레임 및 스크린의 설계도면



나. 냉각 시스템의 요소부품 성능시험

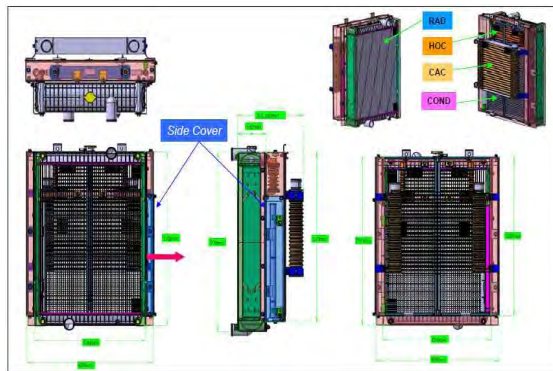
냉각 시스템을 구성하고 있는 각 요소부품들의 성능시험은 각각의 부품 별로 방열량 위주로 시험 하였다. 추후 3차년도 개발 추진에서는 각 요소부품들에 대한 상세 성능시험 및 내구시험을 실시 할 예정이다. 아래 <표 2-15>는 각 요소부품의 방열량 시험 Data를 나타낸 것이다.

<표 2-15> 냉각시스템 요소부품들의 방열량 시험 Data

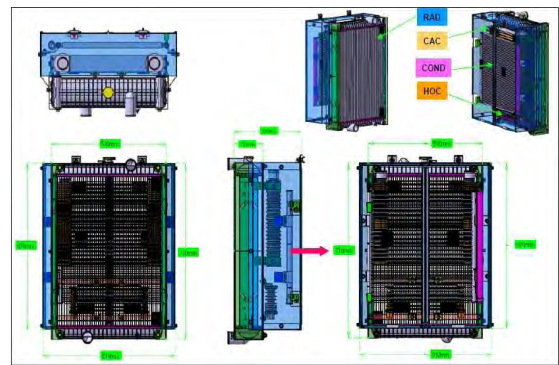
인터쿨러 방열량 DATA	오일쿨러 방열량 DATA	연료쿨러 방열량 DATA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 INTER COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [kg/h]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [kg/h]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>140.93</td><td>84.13</td><td>19.75</td><td>1.12</td><td>10.18</td><td>12394</td><td>67.78</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>159.33</td><td>95.73</td><td>19.99</td><td>1.12</td><td>21.22</td><td>13357</td><td>74.30</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>159.10</td><td>95.32</td><td>20.36</td><td>1.12</td><td>31.78</td><td>13960</td><td>78.50</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>159.85</td><td>95.44</td><td>19.12</td><td>1.12</td><td>49.73</td><td>14512</td><td>83.27</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>159.63</td><td>92.97</td><td>19.07</td><td>1.12</td><td>67.36</td><td>14904</td><td>83.97</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]	1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0	6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0	8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0	10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0	12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>35.0</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>103.60</td><td>95.51</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>103.72</td><td>95.22</td><td>22.60</td><td>6.51</td><td>3.44</td><td>5603</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.73</td><td>93.36</td><td>25.23</td><td>10.82</td><td>3.45</td><td>6853</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.65</td><td>92.30</td><td>23.43</td><td>13.49</td><td>3.45</td><td>7546</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.51</td><td>91.39</td><td>23.91</td><td>15.22</td><td>3.46</td><td>8128</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>103.36</td><td>90.53</td><td>24.42</td><td>19.19</td><td>3.47</td><td>8974</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0	4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0	9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0	9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0	9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0	10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20080708_CONDITION FILE: OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9.0</td><td>4.66</td><td>33.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>94.48</td><td>87.91</td><td>32.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>94.62</td><td>87.05</td><td>32.35</td><td>8.96</td><td>1.12</td><td>1345</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>94.61</td><td>86.08</td><td>33.67</td><td>14.86</td><td>1.12</td><td>1554</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>94.65</td><td>85.42</td><td>35.29</td><td>21.65</td><td>1.12</td><td>1717</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>94.62</td><td>84.36</td><td>36.72</td><td>30.30</td><td>1.12</td><td>1947</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0	8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0	10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0	12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 INTER COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [kg/h]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [kg/h]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>140.93</td><td>84.13</td><td>19.75</td><td>1.12</td><td>10.18</td><td>12394</td><td>67.78</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>159.33</td><td>95.73</td><td>19.99</td><td>1.12</td><td>21.22</td><td>13357</td><td>74.30</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>159.10</td><td>95.32</td><td>20.36</td><td>1.12</td><td>31.78</td><td>13960</td><td>78.50</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>159.85</td><td>95.44</td><td>19.12</td><td>1.12</td><td>49.73</td><td>14512</td><td>83.27</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>159.63</td><td>92.97</td><td>19.07</td><td>1.12</td><td>67.36</td><td>14904</td><td>83.97</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]	1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0	6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0	8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0	10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0	12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>35.0</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>103.60</td><td>95.51</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>103.72</td><td>95.22</td><td>22.60</td><td>6.51</td><td>3.44</td><td>5603</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.73</td><td>93.36</td><td>25.23</td><td>10.82</td><td>3.45</td><td>6853</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.65</td><td>92.30</td><td>23.43</td><td>13.49</td><td>3.45</td><td>7546</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.51</td><td>91.39</td><td>23.91</td><td>15.22</td><td>3.46</td><td>8128</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>103.36</td><td>90.53</td><td>24.42</td><td>19.19</td><td>3.47</td><td>8974</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0	4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0	9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0	9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0	9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0	10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20080708_CONDITION FILE: OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9.0</td><td>4.66</td><td>33.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>94.48</td><td>87.91</td><td>32.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>94.62</td><td>87.05</td><td>32.35</td><td>8.96</td><td>1.12</td><td>1345</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>94.61</td><td>86.08</td><td>33.67</td><td>14.86</td><td>1.12</td><td>1554</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>94.65</td><td>85.42</td><td>35.29</td><td>21.65</td><td>1.12</td><td>1717</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>94.62</td><td>84.36</td><td>36.72</td><td>30.30</td><td>1.12</td><td>1947</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0	8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0	10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0	12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 INTER COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [kg/h]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [kg/h]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>140.93</td><td>84.13</td><td>19.75</td><td>1.12</td><td>10.18</td><td>12394</td><td>67.78</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>159.33</td><td>95.73</td><td>19.99</td><td>1.12</td><td>21.22</td><td>13357</td><td>74.30</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>159.10</td><td>95.32</td><td>20.36</td><td>1.12</td><td>31.78</td><td>13960</td><td>78.50</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>159.85</td><td>95.44</td><td>19.12</td><td>1.12</td><td>49.73</td><td>14512</td><td>83.27</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>159.63</td><td>92.97</td><td>19.07</td><td>1.12</td><td>67.36</td><td>14904</td><td>83.97</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]	1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0	6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0	8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0	10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0	12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>35.0</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>103.60</td><td>95.51</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>103.72</td><td>95.22</td><td>22.60</td><td>6.51</td><td>3.44</td><td>5603</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.73</td><td>93.36</td><td>25.23</td><td>10.82</td><td>3.45</td><td>6853</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.65</td><td>92.30</td><td>23.43</td><td>13.49</td><td>3.45</td><td>7546</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.51</td><td>91.39</td><td>23.91</td><td>15.22</td><td>3.46</td><td>8128</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>103.36</td><td>90.53</td><td>24.42</td><td>19.19</td><td>3.47</td><td>8974</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0	4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0	9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0	9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0	9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0	10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20080708_CONDITION FILE: OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9.0</td><td>4.66</td><td>33.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>94.48</td><td>87.91</td><td>32.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>94.62</td><td>87.05</td><td>32.35</td><td>8.96</td><td>1.12</td><td>1345</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>94.61</td><td>86.08</td><td>33.67</td><td>14.86</td><td>1.12</td><td>1554</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>94.65</td><td>85.42</td><td>35.29</td><td>21.65</td><td>1.12</td><td>1717</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>94.62</td><td>84.36</td><td>36.72</td><td>30.30</td><td>1.12</td><td>1947</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0	8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0	10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0	12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	94.62	87.05	32.35	8.96	1.12	1345	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	94.61	86.08	33.67	14.86	1.12	1554	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	94.65	85.42	35.29	21.65	1.12	1717	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	94.62	84.36	36.72	30.30	1.12	1947	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 INTER COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [kg/h]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [kg/h]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>140.93</td><td>84.13</td><td>19.75</td><td>1.12</td><td>10.18</td><td>12394</td><td>67.78</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>159.33</td><td>95.73</td><td>19.99</td><td>1.12</td><td>21.22</td><td>13357</td><td>74.30</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>159.10</td><td>95.32</td><td>20.36</td><td>1.12</td><td>31.78</td><td>13960</td><td>78.50</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>159.85</td><td>95.44</td><td>19.12</td><td>1.12</td><td>49.73</td><td>14512</td><td>83.27</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>12.0</td><td>159.63</td><td>92.97</td><td>19.07</td><td>1.12</td><td>67.36</td><td>14904</td><td>83.97</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]	1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0	6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0	8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0	10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0	12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20041001_CONDITION FILE: H2-14 OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>35.0</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>103.60</td><td>95.51</td><td>22.56</td><td>5.63</td><td>3.44</td><td>5332</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>103.72</td><td>95.22</td><td>22.60</td><td>6.51</td><td>3.44</td><td>5603</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.73</td><td>93.36</td><td>25.23</td><td>10.82</td><td>3.45</td><td>6853</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.65</td><td>92.30</td><td>23.43</td><td>13.49</td><td>3.45</td><td>7546</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9.0</td><td>103.51</td><td>91.39</td><td>23.91</td><td>15.22</td><td>3.46</td><td>8128</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>103.36</td><td>90.53</td><td>24.42</td><td>19.19</td><td>3.47</td><td>8974</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0	4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0	9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0	9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0	9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0	10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	<p>DATA FILE: 20080708_CONDITION FILE: OIL COOLER</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Go [t/min]</th> <th>Q [kW]</th> <th>Ta1 [°C]</th> <th>Ta2 [°C]</th> <th>Ta3 [°C]</th> <th>Ta4 [°C]</th> <th>ΔPa [kPa]</th> <th>Q [t/min]</th> <th>ΔPo [kPa/cm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>9.0</td><td>4.66</td><td>33.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>94.48</td><td>87.91</td><td>32.05</td><td>4.66</td><td>1.12</td><td>1171</td></tr></tbody></table>	No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]	1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0	4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171																																																																																			
No.	Go [kg/h]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [kg/h]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	140.93	84.13	19.75	1.12	10.18	12394	67.78	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
6.0	159.33	95.73	19.99	1.12	21.22	13357	74.30	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
8.0	159.10	95.32	20.36	1.12	31.78	13960	78.50	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	159.85	95.44	19.12	1.12	49.73	14512	83.27	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
12.0	159.63	92.97	19.07	1.12	67.36	14904	83.97	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	35.0	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.5	103.60	95.51	22.56	5.63	3.44	5332	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
7.0	103.72	95.22	22.60	6.51	3.44	5603	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.73	93.36	25.23	10.82	3.45	6853	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.65	92.30	23.43	13.49	3.45	7546	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
9.0	103.51	91.39	23.91	15.22	3.46	8128	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
10.0	103.36	90.53	24.42	19.19	3.47	8974	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
No.	Go [t/min]	Q [kW]	Ta1 [°C]	Ta2 [°C]	Ta3 [°C]	Ta4 [°C]	ΔPa [kPa]	Q [t/min]	ΔPo [kPa/cm²]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	9.0	4.66	33.05	4.66	1.12	1171	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
4.0	94.48	87.91	32.05	4.66	1.12	1171																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

(3) 엔진룸 구조

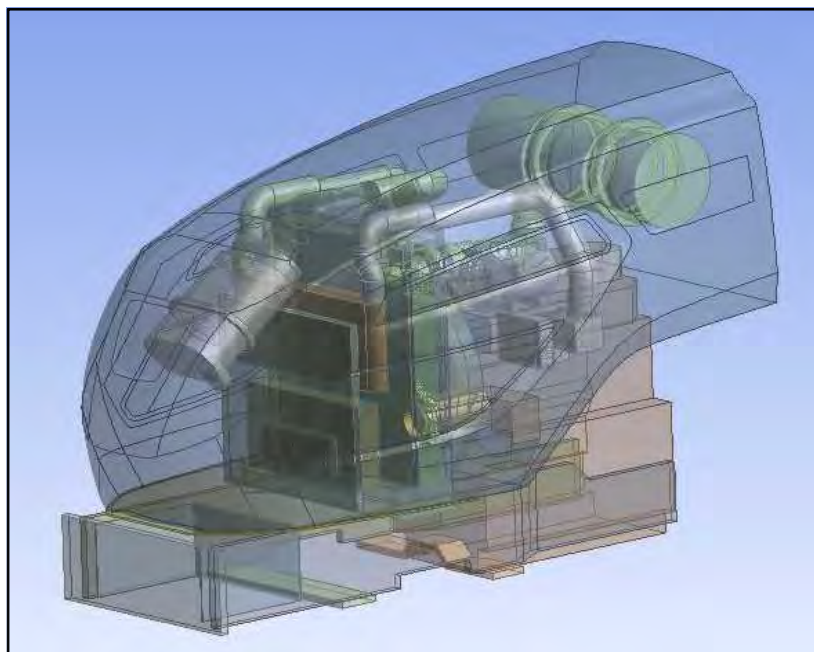
선행해석에서 적용된 1, 2차 엔진룸의 구조는 <그림 2-7>, <그림 2-8>과 같으며 <그림 2-9>는 선행해석을 통해 도출된 엔진룸 설계 최적안의 구조이다. 라디에이터 전방 상부에 인터쿨러를 배치하고 전방 하부에는 오일쿨러를 배치하였다. 그리고 오일쿨러 전방에 연료쿨러가 배치되었고, 그 전방에 콘덴서가 위치한 구조로 되어 있다.



<그림 2-7> 1차 설계안 엔진룸 구조



<그림 2-8> 2차 설계안 엔진룸 구조

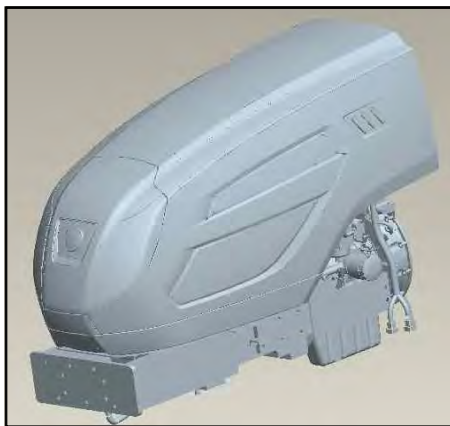


<그림 2-9> 최적안 엔진룸 구조

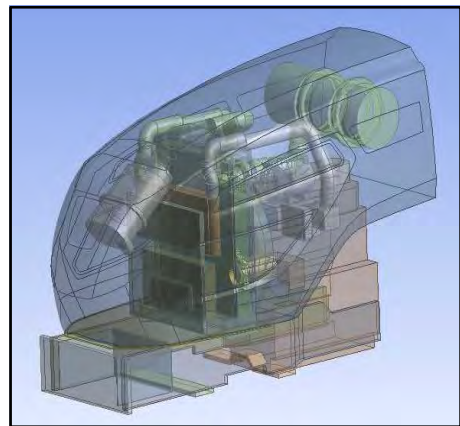
(4) 해석방법 및 순서

(가) 3D 및 유동장 모델링

실제 트랙터 엔진룸의 형상을 해석에 적용하는 경우 불필요한 부분으로 인하여 Mesh가 증가됨에 따라 고성능의 컴퓨터가 필요하며 해석시간이 상당히 지연된다. 따라서 Mesh 작업을 원활하게 하기 위하여 해석에 영향을 주지 않는 볼트, 너트 등은 제거하였고, 곡선부분과 복잡한 형상은 단순화 하였다. 특히 엔진의 경우는 외곽 면만을 이용하여 엔진모델을 단순화 하였다. <그림2-10>과 <그림2-11>은 각각 단순화 작업을 하기 전 · 후의 형상 모습이다.



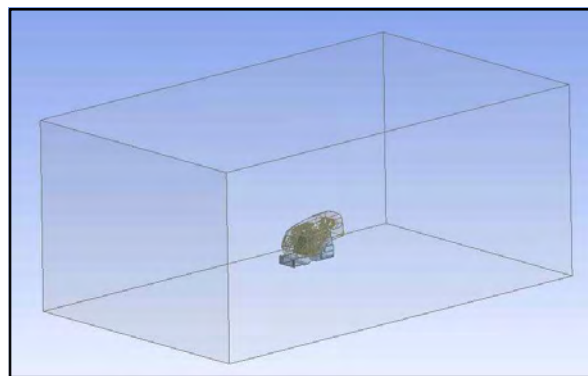
<그림 2-10> 단순화 적용 전 형상



<그림2-11> 단순화 적용 후 형상

단순화 적용 후 트랙터 엔진룸으로 공기의 유입이 가능하도록 12M * 7M * 5M 크기의 사각박스 형태를 갖는 외부공간을 생성하였다. <그림 2-12>는 생성된 외부 공간 영역을 나타낸다. 유동영역이 아닌 에어크리너, 호스류, DPF 등의 Solid는 유동영역에서 제외시켰으며 냉각시스템 영역은 Porous media 영역으로 설정하고 상사모델로 압력 강하량을 모사하였다. Porous media의 압력 강하량은 냉각시스템 제작 업체에서 제공한 공기의 속도에 따른 압력강하 데이터를 이용하여 그 조건을 만족할 때의 저항계수를 구하여 실제 해석에 적용하였다.

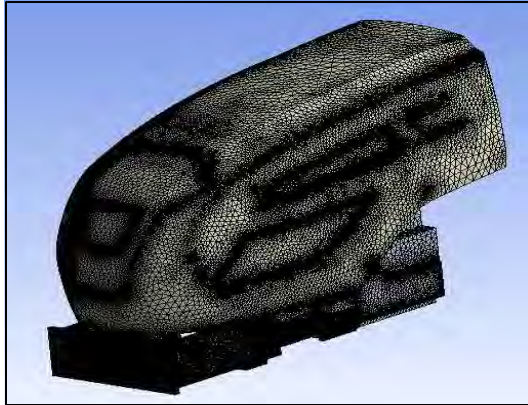
냉각팬은 실제 형상을 모델링하고 냉각팬 주변 일부 영역에 상대 속도 개념의 회전 영역을 설정하여 팬 회전에 의한 유동의 유입과 와류 효과를 반영하였다.



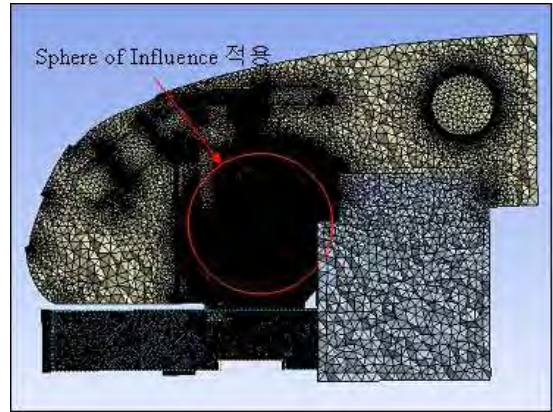
<그림 2-12> 외부 공간 영역

(나) 유한요소 모델링 (Meshing)

유동장 모델링이 완성된 후 약1500만 개의 사면체 요소를 사용하여 유한요소 모델링을 완성 하였다. 그리고 냉각팬 주변부의 격자의 질을 향상시키기 위해서 Ansys CFX의 Sphere of Influence 기능을 사용하여 냉각팬 주변의 격자를 세밀하게 적용하였다. <그림 2-13>은 트랙터 엔진룸 전체 모델의 격자 형상을 나타내며, <그림 2-14>는 엔진룸 내부 격자 형상을 나타낸다.



<그림 2-13> 엔진룸 전체 격자 형상



<그림 2-14> 엔진룸 내부 격자 형상

(다) 경계조건

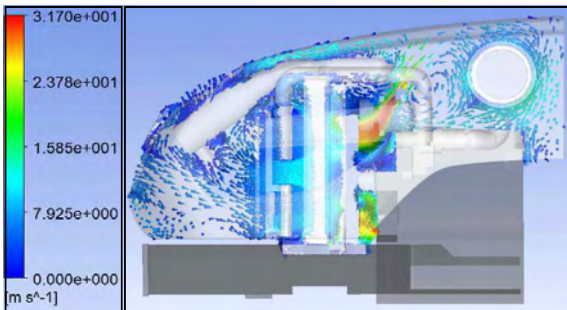
Navier-Stokes을 기본방정식으로 하여 층류는 기본으로 계산할 수 있도록 하였으며 난류모델은 k-ε 모델을 이용하였다. 유동영역이 아닌 엔진, 파이프 등은 Wall 처리 하였고, 냉각팬 회전속도는 최대회전수인 2880 rpm을 적용하였으며 유동의 유입과 출입이 이루어지는 외부 공간 영역은 Opening으로 구현하였다. Porous Media인 냉각시스템은 각각 단품 해석을 수행하여 업체에서 제공한 압력강하 조건과 일치하는 저항계수를 반복 해석법으로 계산하여 해석에 적용하였다. <표 2-16>은 업체에서 제공한 압력강하 데이터이다.

<표2-16> 냉각 시스템 압력 강하 데이터

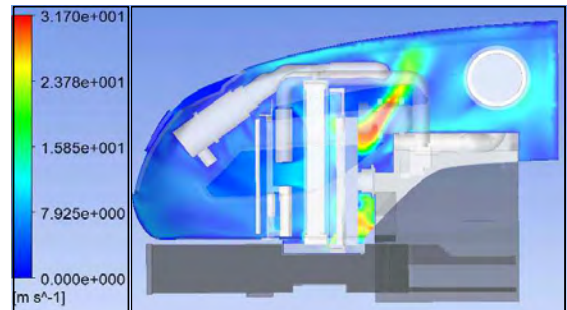
Radiator		Fuel Cooler		Inter Cooler		Oil Cooler		Condensor	
풍속 (m/s)	압력 강하값 (mmAq)	풍속 (m/s)	압력 강하값 (mmAq)	풍속 (m/s)	압력 강하값 (mmAq)	풍속 (m/s)	압력 강하값 (mmAq)	풍속 (m/s)	압력 강하값 (mmAq)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	4.19	2	4.68	2	10.88	4.5	5.63	1	0.014
4	13.49	4	8.96	4	21.22	5	6.51	2	0.791
6	26.45	6	14.86	6	33.73	7	10.82	3	1.896
8	42.57	8	21.65	8	49.73	8	13.49	4	3.278
10	61.77	10	30.30	10	67.36	9	16.22	5	4.998
						10	19.19		

(라) 해석 결과

<그림 2-15>와 <그림 2-16>은 각각 엔진룸 내부 Center line에서의 속도 벡터와 속도 분포를 나타낸다. Front grill로부터 유입된 공기는 에어크리너를 우회한 후 냉각시스템을 거치면서 유속이 점차 빨라지는 결과를 나타내었다. 그리고 냉각팬의 영향으로 냉각팬 끝단에서 속도 분포가 가장 크게 나타났으며 냉각팬으로부터 강제로 방출된 공기는 DPF 주변을 우회한 후 외부로 배출되는 결과를 나타내었다. <표 2-17>은 냉각시스템 각 컴포넌트의 전방 풍속 결과를 나타낸다. Condenser, Fuel Cooler, Inter Cooler, Oil Cooler의 경우 전방에 미치는 공기의 유속이 전반적으로 8~10 m/s의 속도를 나타내었으며, Radiator의 경우 냉각팬의 영향이 다소 적게 미치는 상부는 5~7 m/s로 유속이 다소 낮았으나 냉각팬의 영향을 많이 받는 중·하부의 경우는 10 m/s 이상으로 유속이 크게 발생하였다.



<그림 2-15> 엔진룸 내부 속도 벡터



<그림 2-16> 엔진룸 내부 속도 분포

<표 2-17> 냉각 시스템 각 요소부품 전방 풍속 결과

단위 m/sec

<p style="text-align: center;">Condenser</p>	<p style="text-align: center;">Fuel Cooler</p>
<p style="text-align: center;">Inter Cooler</p>	<p style="text-align: center;">Oil Cooler</p>
<p style="text-align: center;">Radiator</p>	

(5) 결론

유동해석을 효율적으로 진행하기 위하여 해석에 불필요한 부품 등은 제거하거나 단순화 하였고, 엔진룸 내부로 공기가 유입될 수 있도록 외부 공간 영역을 생성하였다. 냉각시스템 영역은 Porous media 영역으로 설정하고 상사모델로 압력 강하 량을 모사하였으며 냉각팬은 팬회전에 의한 유동의 유입과 와류 효과를 반영하였다.

해석 결과 냉각팬의 영향으로 냉각팬 끝단에서 공기의 유속 분포가 가장 크게 나타났다. Condenser, Fuel Cooler, Inter Cooler, Oil Cooler 전방에 미치는 공기의 유속은 8~10 m/s 내외로 분포하였으며 Radiator의 경우는 전방 상부를 제외한 중·하부에 10 m/s 이상의 유속이 분포하는 결과를 나타내었다.

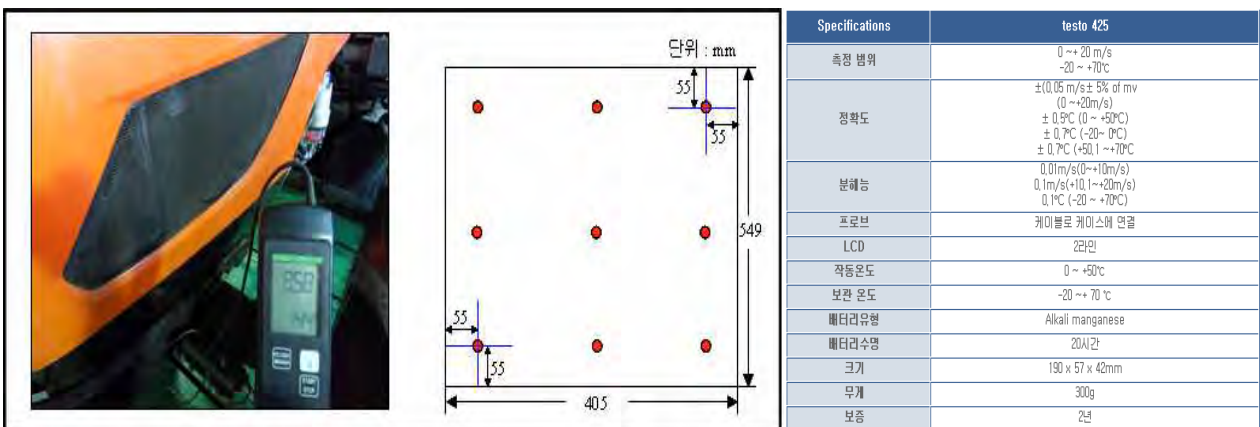
라. 냉각 시스템 TEST

(1) TEST목적

냉각 팬 회전 시 라디에이터 전방의 풍속을 측정하여 해석 값과의 비교, 분석을 통해 해석의 타당성을 검증한다.

(2) 해석 대상물의 풍속 측정 방법 및 측정부위

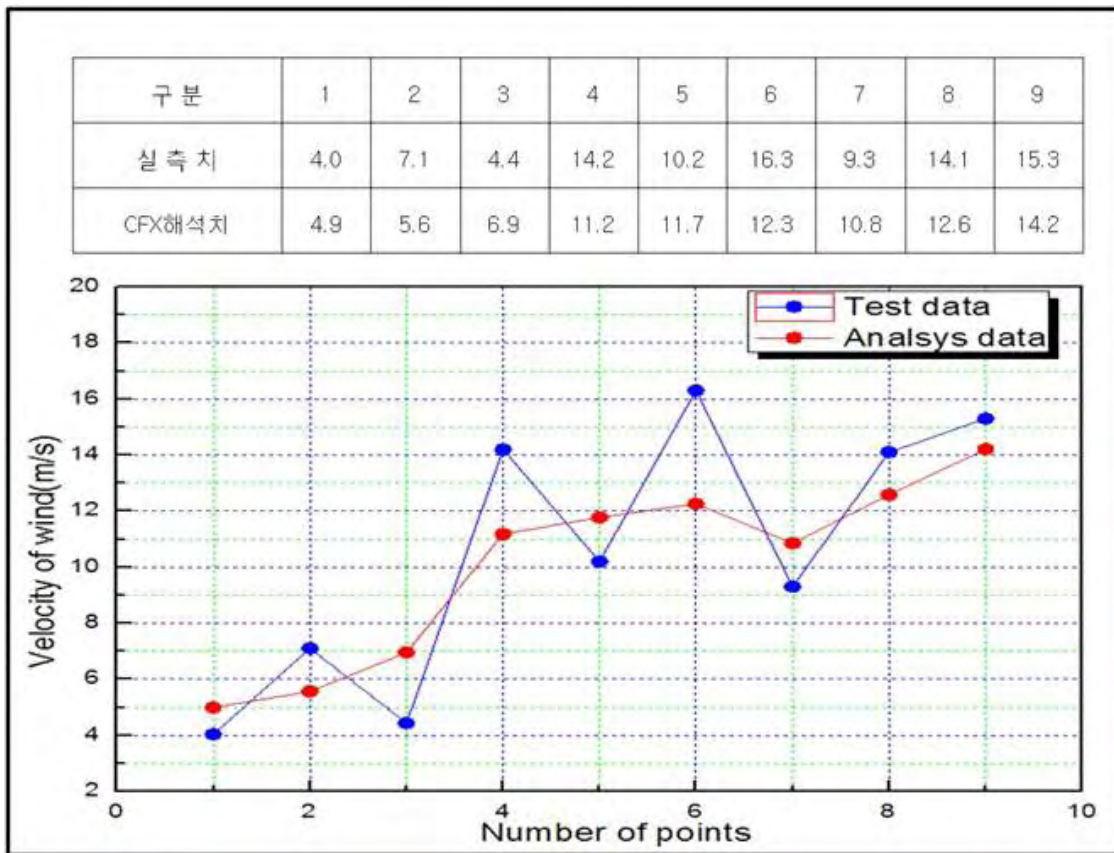
아래 <그림 2-17>과 같은 방법으로 testo社의 testo 425 풍속계를 이용하여 라디에이터 전방 각 부위의 풍속을 측정 하였으며 풍속 측정 위치는 아래 그림과 같이 라디에이터 전방을 9개 구역으로 나누어 측정 하였다.



<그림 2-17> 풍속 측정 방법 및 측정 위치 & 풍속계 사양

(3) 해석치와 측정치와의 비교 분석

<표 2-18>에서는 해석 값과 측정 값 과의 비교 분석을 실행 한 것이다. 비교 분석 결과 유사한 경향을 나타내었지만 2~3Point에서 실제적 값이 다소 차이를 보이고 있다. 이는 원활한 해석을 수행하기 위하여 모델의 단순화와 불필요한 부품들을 제거함으로써 해석 결과에 영향을 준 것으로 판단된다. 그러나, 실측치와 해석치의 경향으로 볼 때 해석치가 실측치 대비 신뢰성이 높은 것으로 판단된다.



4. 시제품 기대 조립

가. Cooling Module 시제품 조립

Cooling Module 시제품을 제작하여 과제 수행용 시제품 트랙터를 조립하기 위해 대동공업으로 송부하여 아래 <그림 2-18>과 같이 시제품 트랙터를 제작 하였다. 시제품 트랙터 조립 시의 문제점은 대동공업에서 정리 하였다.



<그림 2-18> Cooling Module 및 과제수행용 시제품 트랙터

5. TARGET검증 및 성능시험

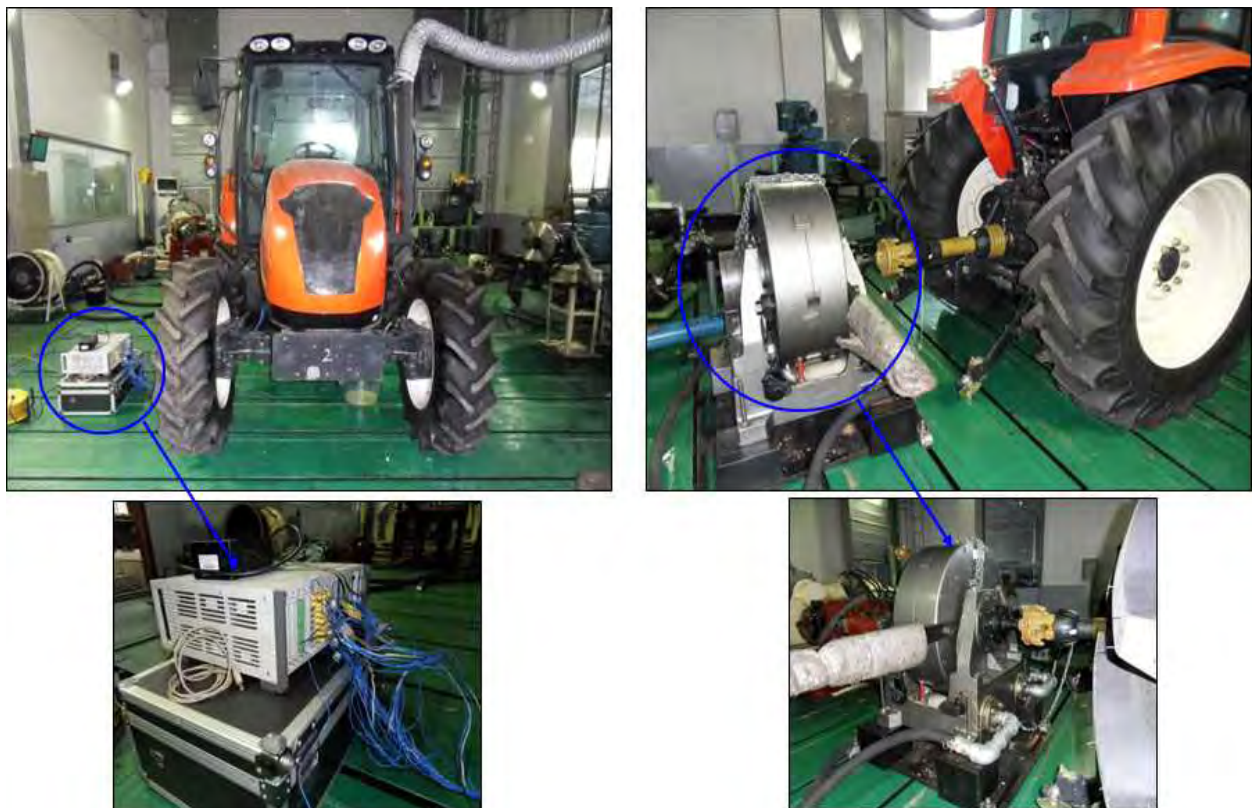
가. 운전 영역별 방열 특성 및 온도평가 & 실차 적합성 평가

1차 년도에 선정된 평가기준에 따라 트랙터의 냉각시스템이 올바르게 구성되어 졌는지를 판단하기 위하여 정격출력 점과 최대토크 점의 실차 적합성 평가를 시행하였다. 본 과제의 시제품 트랙터에 탑재된 MHI社의 K42 엔진은 Proto 엔진이기 때문에 엔진 제조사로부터 아직 정량적 수치에 의한 명확한 기준을 제공 받지 못하였으므로 본 방열 성능 평가는 동양물산 사내기준으로 평가하였고 방열 성능의 최종 판정은 ACT 수치로 판단하게 된다.

(1) 시험 평가 방법 및 온도 측정 위치

(가) 시험 평가 방법

본 과제 트랙터를 Dynamo에 세팅하고 부하를 가하면서 정격출력 점 및 최대토크 점에서의 방열 성능을 측정하였다. Dynamo와 시제품 트랙터의 Matching방법은 <그림 2-19>와 같다.



<그림 2-19> Dynamo와 시제품 트랙터와의 Matching

(나) 온도 측정 위치

온도센서는 총 18개소에 부착 하였으며 각각의 위치는 <표 2-19>와 같다. 추후 시험 시에는 온도 측정 위치를 수를 늘려 좀 더 정밀한 측정이 될 수 있도록 시험 할 예정이다.

<표 2-19> 온도센서 부착위치

	외기 온도	배기가스 온도	보닛 내부 온도
센서부착위치			
	엔진오일 온도	에어클리너입구 온도	냉각수입구 온도
센서부착위치			
	냉각수출구 온도	연료입구 온도	연료출구 온도
센서부착위치			
	콘덴서전면 온도	연료쿨러전면 온도	인터쿨러전면 온도
센서부착위치			
	오일쿨러전면 온도	라디에이터전면 온도	냉각풍축구 온도
센서부착위치			
	엔진좌측부 온도	엔진우측부 온도	엔진후면부 온도
센서부착위치			

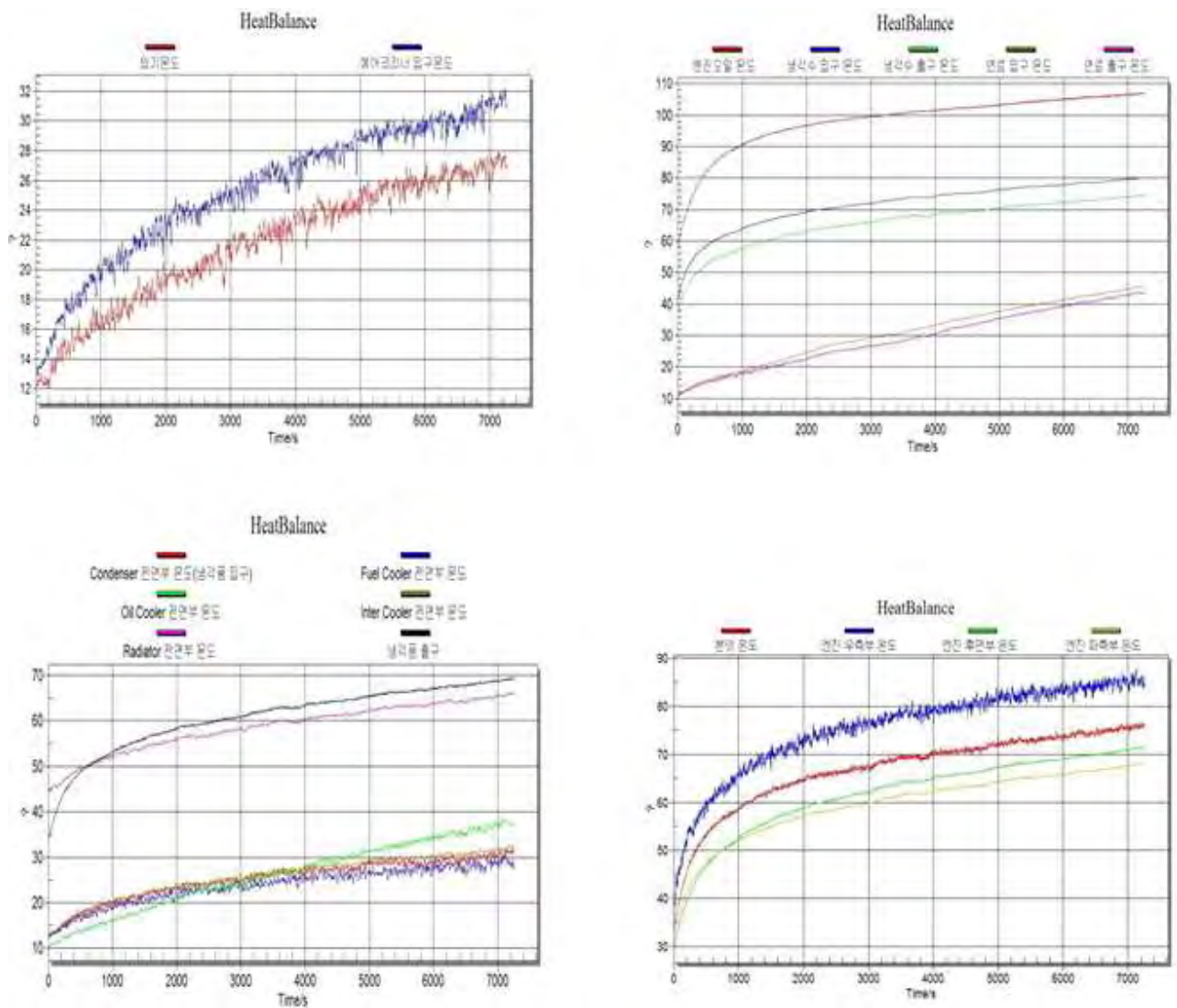
(2) 주요 평가 항목

- 엔진룸 내부온도 및 배기가스온도
- 에어클리너 입구온도- 외기온도, 엔진오일 온도
- 고온성능지수(Air to Boil) 및 ACT(Ambient Clearance Temperature)
- 냉각풍 입구온도-출구온도, 연료온도 등

(3) 각부 온도 측정 결과

(가) 정격출력 점의 온도 측정

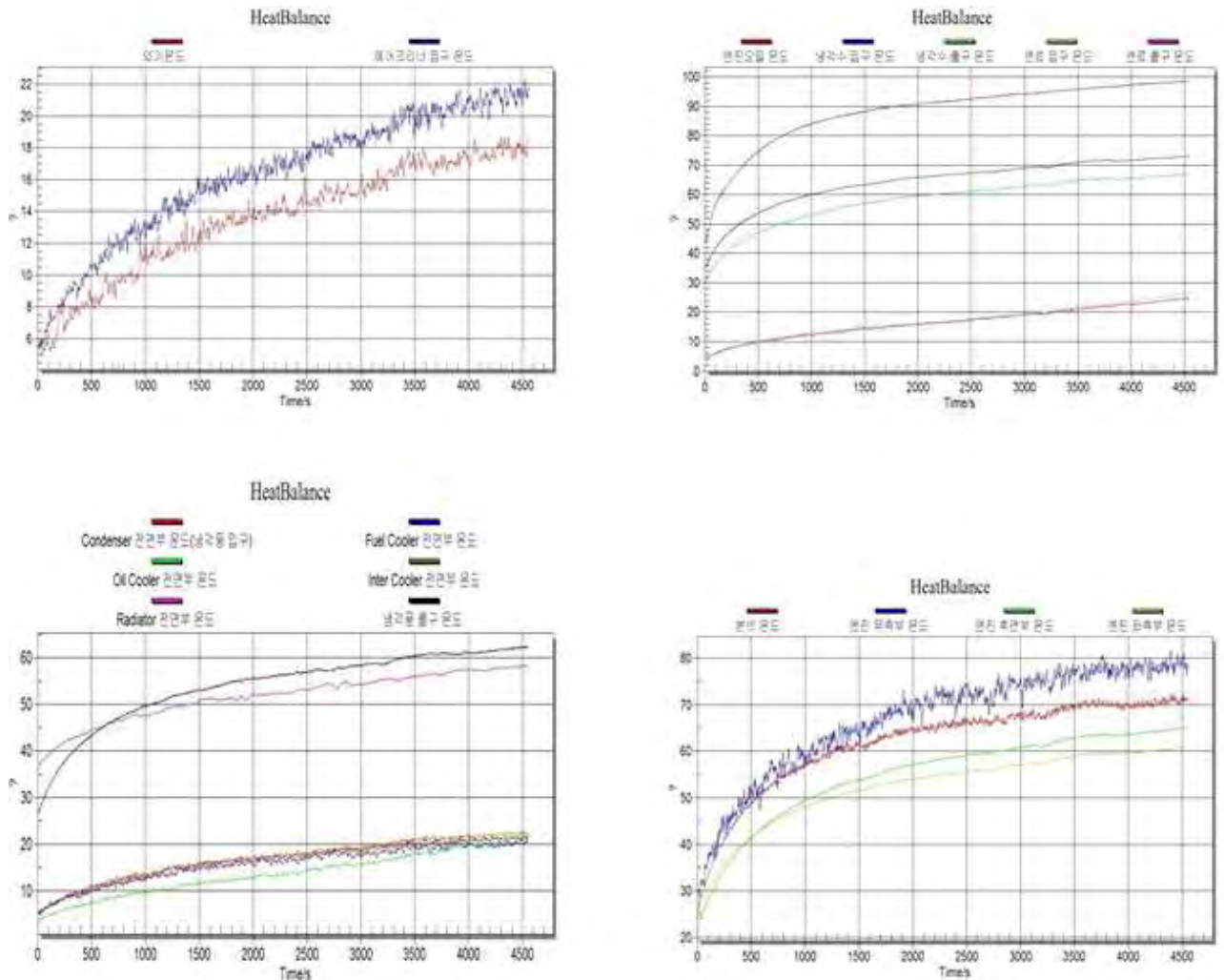
정격출력 점의 각부 측정 온도그래프는 <그림 2-20>과 같다.



<그림 2-20> 정격출력 점의 각부 온도

(나) 최대토크 점의 온도 측정

최대토크 점의 각부 측정 온도그래프는 <그림 2-21>과 같다.



<그림 2-21> 최대토크 점의 각부 온도

(4) 시험평가 결과 분석

전장에서 기술한 바와 같이 방열성능의 최종 판정은 ACT 수치로 판단하게 되며 ACT(Ambient Clearance Temperature)란 기온이 ACT일 때까지 냉각수나 엔진오일이 허용온도 범위를 벗어나지 않고 기체를 작동 시킬 수 있음을 나타내는 수치이다. 이를 계산식으로 나타내면 아래와 같다.

$$“ACT = 110^{\circ}C - T_{wout} + \text{외기온도} \geq 46^{\circ}C \text{임. (정격출력점, 최대토크점은 } 40^{\circ}C \text{ 임.)}”$$

이는 외기 온도가 46°C에 이를 때까지 냉각수 출구 온도가 한계 온도인 110°C를 넘지 않을 정도의 냉각 성능을 갖추어야 한다는 의미를 지니고 있다. 냉각수 출구 한계 온도 110°C는 라디에이터 캡 0.9 kgf/cm²의 압력 하에서 순수 물의 끓는점을 118°C라고 하면 이 온도에서 엔진 블록 내부의 국소적 온도 상승을 감안한 여유 8°C를 뺀 것이다. 그러나 실제 냉각수는 부동액이 50% 함유되어 있으므로 실제 끓는점은 126°C이고 8°C의 여유를 준다 해도 118°C가 되어 상기의 식과는 상이함. 그러나 실제 사용 고객은 부동액을 계속 사용한다는 보장이 없고 순수 물을 사용하는 경우가 Field에서 발

생하기 때문에 부동액의 함유 여부에 관계없이 상기의 식을 만족해야 한다.

(가) 정격출력 점의 시험평가 결과

정격출력 점의 ACT는 약 58정도로 기준치인 46이상을 만족하나 엔진오일 온도가 약간 높게 측정되어 엔진 오일쿨러의 추가부착을 엔진 제조사인 MHI社와 협의 예정이다. 정격출력 점의 시험 평가 결과는 아래<표 2-20>과 같다.

<표 2-20> 정격출력 점의 시험평가 결과

Heat Balance Performance Sheet							
◇ 기종명 : ARPC 과제용 트랙터		◇ 측정일자 :		◇ 시험구분 : 정 격 점			
◇ 형식명 :		◇ Eng' 형식명 :		◇ 측정자 : 조 한 성			
◇ 기대NO : 2		◇ Eng' NO :		◇ 참고사항 :			
◇ 대기압 :		건구/습구 : ℃		※ 부동액 농도 : 50%, Cap = 0.9kg/cm ³ .			
NO	측정회수(회)		1	2	평 균	평가기준	비 고
	측정시간(min)	기호	105	120			
01	외기온도(AT)	AT	26.6	27.2			
02	BONNET 온도(RT)	RT	74.8	75.5		< 85	
03	배기gas온도[집합부]	EXT	390.2	392		< 650	
04	Eng' Oil온도	LOT	105.6	106.8		< 110	정격연속운전 시
						< 120	최대 Torque운전 시
05	에어크리너 입구온도	IAT	30.7	31.6		< 45	
	T=IAT-AT	△T	4.1	4.4		< 5	
06	냉각풍 입구온도	CAIT	29.9	31.0		< 40	
07	냉각풍 출구온도	CAOT	67.5	69.5			
	T=CAOT-CAIT	△T	37.6	38.5		< 30	
08	냉각수 입구온도 (Radiator 기준)	CWIT	78.6	80.1		< 110	
09	냉각수 출구온도 (Radiator 기준)	CWOT	72.9	74.5			
	고온성능(Air TO Boil) AtoB=X-CWIT+AT	ATB	74.5	73.7		> 55	
10	냉각수 Over flow량	OFQ					
11	연료온도(FOT)	FOT	40.6	43.5		< 60	
	T=FOT-AT	△T	14.1	16.3		< 25	
12	Battery 표면온도	BRT				< 55	
13	Starter Moter	STT				< 80	
	Alternator	ALT					
	ECU	RET					
14	냉각정수(CWIT-AT)	△T	52.0	52.9		< 65	
15	냉각수차(CWIT-CWOT)	△T	5.7	5.6		< 8	
16	ACT	ACT	58.0	57.2		> 46	
17	Eng' 회전수(rpm)	N	2400		0/4 최저회전수		992 rpm
					0/4 최고회전수		2531 rpm

(나) 최대토크 점의 시험평가 결과

최대토크 점의 ACT는 약 56정도로 기준치인 40이상을 만족하였으나 과냉각의 우려가 있어 PTO 출력증대를 위해 개선이 필요할 것으로 판단된다. 최대토크 점의 시험 평가 결과는 아래 <표 2-21>과 같다.

<표 2-21> 최대토크 점의 시험평가 결과

Heat Balance Performance Sheet							
◇ 기종명 : ARPC 과제용 트랙터		◇ 측정일자 :		◇ 시험구분 : 최대토크 점			
◇ 형식명 :		◇ Eng' 형식명 :		◇ 측정자 : 조 한 성			
◇ 기대NO : 2		◇ Eng' NO :		◇ 참고사항 :			
◇ 대기압 :		건구/습구 : °C		※ 부동액 농도 : 50%, Cap = 0.9kg/cm ² .			
NO	측정회수(회)		1	2	평 균	평가기준	비 고
	측정시간(min)	기호	60	75			
01	외기온도(AT)	AT	17.5	17.8			
02	BONNET 온도(RT)	RT	70.7	70.0		< 75	
03	배기gas온도[집합부)	EXT	395.3	394.6		< 650	
04	Eng' Oil온도	LOT				< 110	정격연속운전 시
			96.2	98.5		< 120	최대 Torque운전 시
05	에어크리너 입구온도	IAT	20.3	21.1		< 45	
	T = IAT - AT	△T	2.8	3.3		< 5	
06	냉각풍 입구온도	CAIT	20.7	21.2		< 40	
07	냉각풍 출구온도	CAOT	60.9	62.2			
	T = CAOT - CAIT	△T	40.2	41.0		< 30	
08	냉각수 입구온도 (Radiator 기준)	CWIT	71.4	73.0		< 110	
9	냉각수 출구온도 (Radiator 기준)	CWOT	65.2	66.9			
	고온성능(Air TO Boil) AtoB = X - CWIT + AT	ATB	72.6	71.3		> 49	
10	냉각수 Over flow량	OFQ					
11	연료온도(FOT)	FOT	21.6	24.9		< 60	
	T = FOT - AT	△T	4.1	7.1		< 20	
12	Battery 표면온도	BRT				< 55	
13	Starter Moter	STT				< 80	
	Alternator	ALT					
	ECU	RET					
14	냉각정수(CWIT-AT)	△T	53.9	55.2		< 65	
15	냉각수차(CWIT-CWOT)	△T	6.2	6.1		< 8	
16	ACT	ACT	56.1	54.8		> 40	
17	Eng' 회전수(rpm)	N	1800		0/4 최저회전수	992 rpm	
					0/4 최고회전수	2531 rpm	

(다) 결론

정격출력 점 및 최대토크 점의 ACT는 기준치를 만족하였으나 과냉각의 우려가 있어 개선시험 예정이며 엔진오일 온도가 약간 높게 측정되어 엔진오일쿨러의 추가부착을 엔진 제조사인 MHI社에 요청 할 예정이다.

6. PERKINS社 854E엔진 탑재용 냉각 시스템 부품 개발

3차년도 과제수행의 목표는 2차년도에 실시하였던 MHI社 K42엔진의 연구결과를 바탕으로 Perkins社 854E엔진을 동일한 Layout으로 시제품 트랙터에 장착하여 MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진의 성능 비교평가 시험을 통해 보다 안정적인 성능을 발휘하는 고 마력 트랙터용 Tier-4 엔진을 선정, 탑재하여 수출 증대에 기여하며 2015년 발효되는 Tier-4F 규제 시 본 연구 결과를 활용하여 보다 친환경적이며 우수한 성능을 발휘하는 트랙터 개발을 그 목표로 한다.

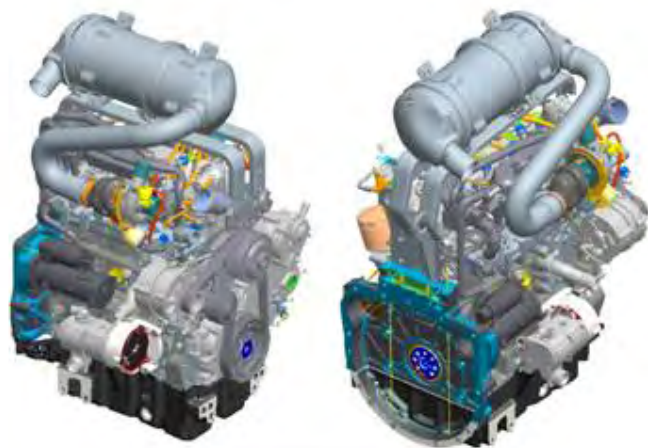
아래 <표 2-22> 및 <그림 2-22>에 MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진의 사양과 Layout을 비교하여 나타내었다. K42엔진과 854E엔진의 Tier-4 대응기술은 HPCR+cEGR+CCRT로 동일하다.

<표 2-22> Mitsubishi社 K42엔진과 Perkins社 854E 엔진 사양 비교

사 양	Unit	K42	854E-E34T
제조사		Mitsubishi	Perkins
배기량	cc	3,331	3,400
Bore × Stroke	mm	94 × 120	99 × 110
실린더수	기통	4	4
Gross 출력	HP	99	100.5
정격 RPM	rpm	2,400	2,200
Turbo 유/무		Turbo	Turbo
Fuel System		CRDI	CRDI
TIER4I 대응기술		HPCR+cEGR+CCRT	HPCR+cEGR+CCRT
배기가스규제 만족		.Tier-4	.Tier-4



MITSUBISHI社 K42 엔진



PERKINS社 854E 엔진

<그림 2-22> Mitsubishi社 K42엔진과 Perkins社 854E 엔진 Layout 비교

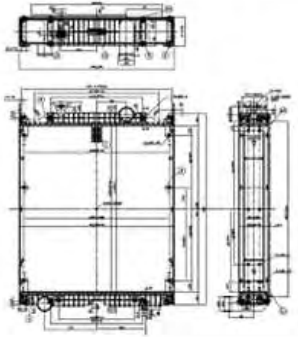
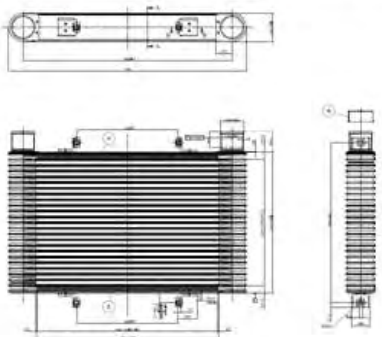
엔진 공급업체인 Perkins社에서 제공한 냉각 팬 성능곡선 등 DATA와 트랙터에서 요구되는 냉각 성능을 기초로 하여 2차년도 에 추진 한 Layout을 바탕으로 최적의 방열성능을 발휘할 수 있도록 각 요소부품들의 설계를 진행하였다. Perkins社 854E엔진의 Induction System에의 요구사양이 MHI社 K42엔진의 요구사양과 약간 상이하여 인터쿨러의 방열성능만 약간 개선하였으며 그 외 주요 요소 부품의 사양은 2차년도와 동일하다.

가. 냉각 시스템의 요소부품 설계

(1) 라디에이터 및 인터쿨러

라디에이터는 Perkins社에서 제공한 냉각 팬 성능곡선과 냉각수 펌프 용량, 보닛 사이즈를 기준으로 설계 하였으며 2차년도의 설계사양과 동일하다. 인터쿨러는 Perkins社에서 제공한 입, 출구 온도 차 및 압력손실 등을 기준으로 설계 하였으며 2차년도의 설계사양보다 Heat Rejection Capacity 를 14kW(Min)에서 20.1kW(min)으로 약 6kW정도 증대 하였다. 주요 사양 및 설계도면은 아래 <표 2-23>과 같다.

<표 2-23> 라디에이터 및 인터쿨러의 주요사양 및 설계도면

ITEM			RADIATOR	ITEM			INTER COOLER
코어 사양	TYPE		AL TUBE & FIN	코어 사양	TYPE		DRAWN CUP
	W x H x D	mm	488x 570x66		W x H x D	mm	399x315x64
성능	P_{max} 방열량 (6 m/sec, 155 l/min)	Kcal/h	56,000	성능	HEAT REJECTION CAPACITY)	kW	20.1 Min
	T_{max} 방열량 (6 m/sec, 40 l/min)	Kcal/h	41000		CHARGE AIR SIDE PRESSURE DROP	kPa	13 Max
	공기 쪽 압력 손실	mmAq	P_{max} : 25		AIR SIDE PRESSURE DROP	kPa	0.46 Max
	냉각수 쪽 압력 손실	mmHg	P_{max} : 205		LEAK TEST PRESSURE	kPa	180
LAYOUT			LAYOUT				

(3) 콘덴서, 오일 쿨러 및 연료 쿨러

콘덴서는 대동공업에서 제시한 CABIN사이즈와 열 교환 능력을 기준으로 설계하였고 오일쿨러는 대동공업과 협의한 트랜스미션 및 유압 부품들의 사용온도 등을 기준으로 설계 하였으며 연료쿨러는 Perkins社에서 제시한 고압펌프로 공급되는 연료온도 제한치를 기준으로 설계 하였다. 세 가지 부품 모두 2차년도의 설계사양과 동일하다. 주요사양 및 설계도면은 아래 <표 2-24>와 같다.

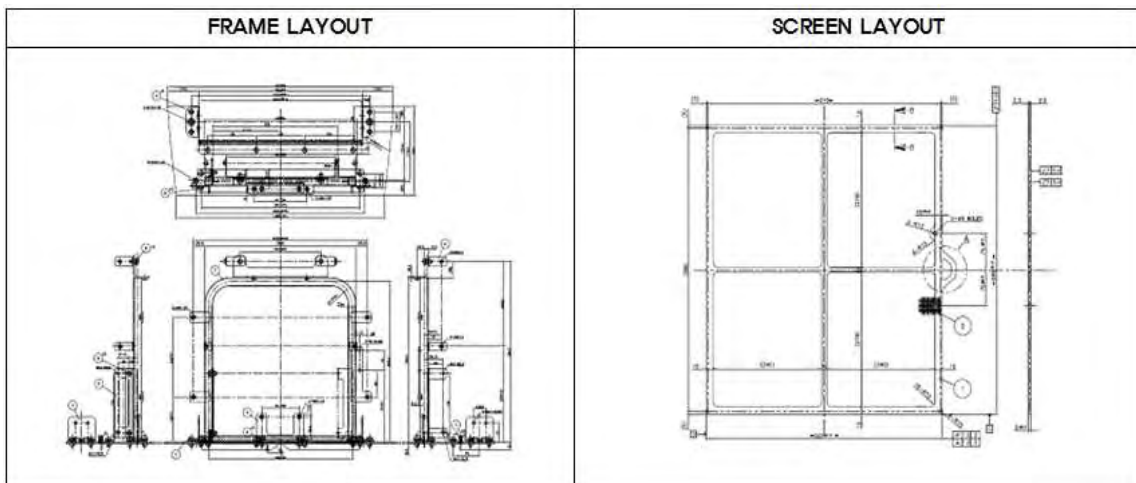
<표 2-24> 콘덴서, 오일쿨러 및 연료쿨러의 주요사양 및 설계도면

ITEM		CONDENSER		ITEM		OIL COOLER		ITEM		FUEL COOLER				
크어 사항	TYPE		DRAWN CUP		크어 사항	TYPE		크어 사항	TYPE		DRAWN CUP			
	W x H x D	mm	467x461.4x22			W x H x D	mm		300x201.4x49		W x H x D	mm	300x201.4x49	
방열 성능	HEAT REJECTION CAPACITY	kcal/h	8,000		방열 성능	HEAT REJECTION CAPACITY	kcal/h	3,000		방열 성능	HEAT REJECTION CAPACITY	kcal/h	3,000	
	AIR FLOW RESISTANCE	mmAq	10 Max			OIL FLOW	l/min	25			OIL FLOW	l/min	25	
						INLET TEMP. DIFFERENCE	℃	60			INLET TEMP. DIFFERENCE	℃	60	
						LEAK TEST PRESSURE	MPa	2			LEAK TEST PRESSURE	MPa	2	
LAYOUT				LAYOUT				LAYOUT						

(6) 프레임 및 스크린

프레임은 Cooling Module 구성을 위해 각 요소 부품들을 장착할 수 있도록 설계하였고 스크린은 보닛 내부로 유입된 먼지 등이 Cooling Module내로 유입되기 어렵고, 청소 및 정비가 용이한 구조로 설계 하였으며 2차년도 대비 FRAME의 설계 사양 만 인터쿨러의 Layout변경으로 인하여 약간 변경 되었다. 설계도면은 아래 <표2-25>와 같다

<표 2-25> 프레임 및 스크린의 설계도면



나. 냉각 시스템의 요소부품 성능시험

(1) 신뢰성시험 장비 현황

냉각 시스템의 요소 부품들의 신뢰성 시험에 사용된 신뢰성 시험용 장비를 아래 <표 2-26>에 나타내었다.

<표 2-26> 냉각시스템 요소 부품의 신뢰성 시험 장비

NO	시험 명	시험장비명	시험항목/사양	보유 시험기 약도
1	방열시험	Heat Rejection Tester	◆Model 별 요구 조건으로 시험 *Coolant flow : 0~600 l/min *Charge air Flow : 0~3000 kg/h *Oil flow : 0~400 l/min	 <p>*종합방열성능시험기 -Radiator -Inter Cooler -Oil Cooler 공냉식,수냉식시험가능</p>
2	열충격 시험	Thermal Tester	◆Model 별 요구 조건으로 시험 *Coolant 온도범위 : -30~120℃ *Cycle time : 5 CPH	
3	Pressure Cycle Test	Pressure Cycle Tester	◆Model 별 요구 조건으로 시험 *압력: 0~5 bar *온도: 110℃ *Cycle time : 0~75CPM	
4	Impulse Test	Pressure cycle Tester	◆Model 별 요구 조건으로 시험 *온도범위 : 50~300 ℃ *압력변위 : 0~5 bar	
5	내식성 시험	*복합부식 시험기 or *염수분무 시험기	◆Model 별 요구 조건으로 시험 *염수분무, 건조, 습윤 상태를 연속 또는 사이클로 줄 수 있음	

(2) 신뢰성시험 평가 항목

과제 1차년 도에 부품 제작업체 및 과제 수행업체와 협의하여 선정된 신뢰성 시험 항목 별로 냉각 시스템을 구성하고 있는 각 요소부품들의 신뢰성을 보증하기 위해 신뢰성시험을 실시하였다. 각 요소부품들에 대한 신뢰성 시험 평가 항목은 <표 2-27>와 같으며 그 시험 결과는 <표 2-28>, <표 2-29>, <표 2-30>, <표 2-31>과 같다.

<표 2-27> 주요 요소부품의 신뢰성 평가 항목

NO	시험명	RADIATOR	INTER COOLER	OIL COOLER	FUEL COOLER
1	방열성능시험	O	O	O	O
2	기밀시험	O	O	O	O
3	내압파괴시험	O	O	O	O
4	압력주기시험	O	O	O	O
6	연수분부시험	O	O	O	O
5	열충격 시험	O	O	X	X
비고		O: TEST// X: NOT TEST			

<표 2-28> RADIATOR단품 신뢰성시험 Data

RADIATOR																																																																																																								
방열시험 DATA	기밀시험 DATA	내압파괴시험 DATA																																																																																																						
<p>방열시험 DATA</p> <p>HEAT REJECTION TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 22일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2012년 03월 09일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20120301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>방열시험기</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 내압성능 확인</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>3) 시험조건</p> <ul style="list-style-type: none"> • 방열시험용기: 1.6kg/sec • 유입유량: 4.0LCPM • Flow: 155 l/min, Time: 40 l/min • 시험온도: 50°C <p>3) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측값</th> <th>기준</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>방열률</td> <td>1480W</td> <td>1480W</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>압력강하</td> <td>30.4 kPa</td> <td>30.4 kPa</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>32.7%</td> <td>30.0%</td> <td>시험후 수량 부족이 없음</td> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>32.1%</td> <td>30.0%</td> <td>시험후 수량 부족이 없음</td> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>32.00-36%</td> <td>30.00 MAX</td> <td>시험후 수량 부족이 없음</td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301	시험장소	시험실	시험용어	방열시험기	시험목적	PROTO SAMPLE 내압성능 확인			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	항목	실측값	기준	비고	방열률	1480W	1480W	OK	압력강하	30.4 kPa	30.4 kPa	OK	시험후 수량	32.7%	30.0%	시험후 수량 부족이 없음	시험후 수량	32.1%	30.0%	시험후 수량 부족이 없음	시험후 수량	32.00-36%	30.00 MAX	시험후 수량 부족이 없음	<p>기밀시험 DATA</p> <p>LEAK TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 22일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2012년 03월 09일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20120301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>AIR LEAK TESTER</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 기밀성 확인</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>1) 시험조건</p> <p>1.5 kg/cm² 내부 공기압을 30분 가한 후 누출이 없음</p> <p>2) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측값</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>누출률</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301	시험장소	시험실	시험용어	AIR LEAK TESTER	시험목적	PROTO SAMPLE 기밀성 확인			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	항목	실측값	비고	누출률	OK		<p>내압파괴시험 DATA</p> <p>BURST TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 09일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2012년 03월 14일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20120301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>BURST TESTER</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 내압파괴 실험</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>3) 시험조건</p> <ul style="list-style-type: none"> • 모든 측정부를 밀폐하고 물을 채워 1.6kg/cm² 수압을 가하여 30분 가한 후 누출이 없음 • 1.6kg/cm²에서 가압하여 누출이 없음 • 2.0kg/cm²에서 가압하여 누출이 없음 <p>3) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측</th> <th>기준</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>No.1</td> <td>누출 없음</td> <td>OK</td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2012년 03월 14일	시험 No.	S20120301	시험장소	시험실	시험용어	BURST TESTER	시험목적	PROTO SAMPLE 내압파괴 실험			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	항목	실측	기준	비고	시험후 수량	No.1	누출 없음	OK				
시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	방열시험기																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 내압성능 확인																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
항목	실측값	기준	비고																																																																																																					
방열률	1480W	1480W	OK																																																																																																					
압력강하	30.4 kPa	30.4 kPa	OK																																																																																																					
시험후 수량	32.7%	30.0%	시험후 수량 부족이 없음																																																																																																					
시험후 수량	32.1%	30.0%	시험후 수량 부족이 없음																																																																																																					
시험후 수량	32.00-36%	30.00 MAX	시험후 수량 부족이 없음																																																																																																					
시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	AIR LEAK TESTER																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 기밀성 확인																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
항목	실측값	비고																																																																																																						
누출률	OK																																																																																																							
시험명	2012년 03월 14일	시험 No.	S20120301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	BURST TESTER																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 내압파괴 실험																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
항목	실측	기준	비고																																																																																																					
시험후 수량	No.1	누출 없음	OK																																																																																																					
<p>압력주기시험 DATA</p> <p>PRESSURE CYCLE TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 22일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2012년 03월 09일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20120301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>PRESSURE CYCLE TESTER</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 내압 내구성 확인</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>1) 시험조건</p> <table border="1"> <tr> <th>CYCLING PRESSURE</th> <th>TEMP.</th> <th>CYCLE RATE</th> <th>TIMES</th> </tr> <tr> <td>0~1.5kg/cm²</td> <td>90°C</td> <td>30CPM</td> <td>50,000</td> </tr> </table> <p>2) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측값</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301	시험장소	시험실	시험용어	PRESSURE CYCLE TESTER	시험목적	PROTO SAMPLE 내압 내구성 확인			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	CYCLING PRESSURE	TEMP.	CYCLE RATE	TIMES	0~1.5kg/cm ²	90°C	30CPM	50,000	항목	실측값	비고	시험후 수량	OK		<p>염수분부시험 DATA</p> <p>SALT SPRAY TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 09일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2007년 08월 14일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20070301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>SALT SPRAY TESTER</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 내식성 확인</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>3) 시험조건</p> <p>3) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>TEST FLUID</th> <th>TEST TEMP.</th> <th>TIMES</th> </tr> <tr> <td>NaCl 5%</td> <td>55°C</td> <td>1,000hr</td> </tr> </table> <p>2) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측</th> <th>기준</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>OK</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2007년 08월 14일	시험 No.	S20070301	시험장소	시험실	시험용어	SALT SPRAY TESTER	시험목적	PROTO SAMPLE 내식성 확인			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	TEST FLUID	TEST TEMP.	TIMES	NaCl 5%	55°C	1,000hr	항목	실측	기준	비고	시험후 수량	OK			<p>열충격시험 DATA</p> <p>THERMAL SHOCK TEST REPORT</p> <p>작성일: 2012년 03월 09일</p> <table border="1"> <tr> <th>시험명</th> <td>2012년 03월 14일</td> <th>시험 No.</th> <td>S20120301</td> </tr> <tr> <th>시험장소</th> <td>시험실</td> <th>시험용어</th> <td>THERMAL TESTER</td> </tr> <tr> <th>시험목적</th> <td colspan="3">PROTO SAMPLE 열충격 내구성 확인</td> </tr> </table> <p>1. 시험품의 개요</p> <table border="1"> <tr> <th>명</th> <td>방열시험, 내동시험</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>TEC110 RADIATOR</td> </tr> <tr> <th>용</th> <td>10914120</td> </tr> <tr> <th>제</th> <td>CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE</td> </tr> </table> <p>2. 시험조건 및 시험결과</p> <p>3) 시험조건</p> <table border="1"> <tr> <th>TEST FLUID</th> <th>TEMP.</th> <th>CYCLE RATE</th> <th>TIMES</th> </tr> <tr> <td>LLC 30%</td> <td>10~90°C</td> <td>15CPM</td> <td>2,000</td> </tr> </table> <p>2) 시험결과</p> <table border="1"> <tr> <th>항목</th> <th>실측값</th> <th>비고</th> </tr> <tr> <td>시험후 수량</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table> <p>특기사항</p>	시험명	2012년 03월 14일	시험 No.	S20120301	시험장소	시험실	시험용어	THERMAL TESTER	시험목적	PROTO SAMPLE 열충격 내구성 확인			명	방열시험, 내동시험	용	TEC110 RADIATOR	용	10914120	제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE	TEST FLUID	TEMP.	CYCLE RATE	TIMES	LLC 30%	10~90°C	15CPM	2,000	항목	실측값	비고	시험후 수량	OK	
시험명	2012년 03월 09일	시험 No.	S20120301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	PRESSURE CYCLE TESTER																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 내압 내구성 확인																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
CYCLING PRESSURE	TEMP.	CYCLE RATE	TIMES																																																																																																					
0~1.5kg/cm ²	90°C	30CPM	50,000																																																																																																					
항목	실측값	비고																																																																																																						
시험후 수량	OK																																																																																																							
시험명	2007년 08월 14일	시험 No.	S20070301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	SALT SPRAY TESTER																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 내식성 확인																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
TEST FLUID	TEST TEMP.	TIMES																																																																																																						
NaCl 5%	55°C	1,000hr																																																																																																						
항목	실측	기준	비고																																																																																																					
시험후 수량	OK																																																																																																							
시험명	2012년 03월 14일	시험 No.	S20120301																																																																																																					
시험장소	시험실	시험용어	THERMAL TESTER																																																																																																					
시험목적	PROTO SAMPLE 열충격 내구성 확인																																																																																																							
명	방열시험, 내동시험																																																																																																							
용	TEC110 RADIATOR																																																																																																							
용	10914120																																																																																																							
제	CORE: W48R3H370nD68/WFP: 4.0/21, IN/OUTLET PORT: 0.43 PIPE																																																																																																							
TEST FLUID	TEMP.	CYCLE RATE	TIMES																																																																																																					
LLC 30%	10~90°C	15CPM	2,000																																																																																																					
항목	실측값	비고																																																																																																						
시험후 수량	OK																																																																																																							

<표 2-29> FUEL COOLER단품 신뢰성시험 Data

COOLER																																																																																																																																																																																																																																
방열시험 DINTER ATA	기밀시험 DATA	내압파괴시험 DATA																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">HEAT REJECTION TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>방열시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>압력</td> <td>MPa</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>°C</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	HEAT REJECTION TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	방열시험	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		압력	MPa	0.10	0.10	OK		온도	°C	100	100	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">LEAK TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>AIR LEAK TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>누출률</td> <td>cc/min</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	LEAK TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	AIR LEAK TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		누출률	cc/min	0	0	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">BURST TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>BURST TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>파괴압력</td> <td>MPa</td> <td>> 3.0</td> <td>> 3.0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	BURST TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	BURST TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		파괴압력	MPa	> 3.0	> 3.0	OK	
HEAT REJECTION TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	방열시험																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
압력	MPa	0.10	0.10	OK																																																																																																																																																																																																																												
온도	°C	100	100	OK																																																																																																																																																																																																																												
LEAK TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	AIR LEAK TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
누출률	cc/min	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												
BURST TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	BURST TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
파괴압력	MPa	> 3.0	> 3.0	OK																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">PRESSURE CYCLE TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>PRESSURE CYCLE TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>누출률</td> <td>cc/min</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	PRESSURE CYCLE TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	PRESSURE CYCLE TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		누출률	cc/min	0	0	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">SALT SPRAY TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>SALT SPRAY TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>부식률</td> <td>%</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	SALT SPRAY TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	SALT SPRAY TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		부식률	%	0	0	OK																																																																																
PRESSURE CYCLE TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	PRESSURE CYCLE TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
누출률	cc/min	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												
SALT SPRAY TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	SALT SPRAY TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
부식률	%	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												

<표 2-30> OIL COOLER단품 신뢰성시험 Data

INTER COOLER																																																																																																																																																																																																																																
방열시험 DATA	기밀시험 DATA	내압파괴시험 DATA																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">HEAT REJECTION TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>방열시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>압력</td> <td>MPa</td> <td>0.10</td> <td>0.10</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td>온도</td> <td>°C</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	HEAT REJECTION TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	방열시험	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		압력	MPa	0.10	0.10	OK		온도	°C	100	100	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">LEAK TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>AIR LEAK TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>누출률</td> <td>cc/min</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	LEAK TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	AIR LEAK TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		누출률	cc/min	0	0	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">BURST TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>BURST TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>파괴압력</td> <td>MPa</td> <td>> 3.0</td> <td>> 3.0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	BURST TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	BURST TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		파괴압력	MPa	> 3.0	> 3.0	OK	
HEAT REJECTION TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	방열시험																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
압력	MPa	0.10	0.10	OK																																																																																																																																																																																																																												
온도	°C	100	100	OK																																																																																																																																																																																																																												
LEAK TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	AIR LEAK TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
누출률	cc/min	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												
BURST TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	BURST TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
파괴압력	MPa	> 3.0	> 3.0	OK																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">PRESSURE CYCLE TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>PRESSURE CYCLE TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>누출률</td> <td>cc/min</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	PRESSURE CYCLE TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	PRESSURE CYCLE TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		누출률	cc/min	0	0	OK		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">SALT SPRAY TEST REPORT</th> </tr> <tr> <td colspan="6">시험일: 2023년 1월 27일</td> </tr> <tr> <td>시험번호</td> <td>시험장</td> <td>시험 No.</td> <td>시험품명</td> <td>시험품사</td> <td>시험품종</td> </tr> <tr> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>320024101</td> <td>서원</td> <td>서원</td> <td>SALT SPRAY TEST</td> </tr> <tr> <td colspan="6">시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험</td> </tr> <tr> <td colspan="6">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>일</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>제</td> <td>명</td> <td>명</td> </tr> <tr> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> <td>11200109</td> </tr> <tr> <td colspan="6">2. 시험조건 및 시험방법</td> </tr> <tr> <td colspan="6">3. 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>단위</td> <td>측정값</td> <td>기준</td> <td>비고</td> <td></td> </tr> <tr> <td>부식률</td> <td>%</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OK</td> <td></td> </tr> </table>	SALT SPRAY TEST REPORT						시험일: 2023년 1월 27일						시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종	320024101	서원	320024101	서원	서원	SALT SPRAY TEST	시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험						1. 시험품의 개요						일	제	명	제	명	명	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	2. 시험조건 및 시험방법						3. 시험결과						항목	단위	측정값	기준	비고		부식률	%	0	0	OK																																																																																
PRESSURE CYCLE TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	PRESSURE CYCLE TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
누출률	cc/min	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												
SALT SPRAY TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																
시험일: 2023년 1월 27일																																																																																																																																																																																																																																
시험번호	시험장	시험 No.	시험품명	시험품사	시험품종																																																																																																																																																																																																																											
320024101	서원	320024101	서원	서원	SALT SPRAY TEST																																																																																																																																																																																																																											
시험목적: PHOTO SAMPLE 제작용 시험																																																																																																																																																																																																																																
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																
일	제	명	제	명	명																																																																																																																																																																																																																											
11200109	11200109	11200109	11200109	11200109	11200109																																																																																																																																																																																																																											
2. 시험조건 및 시험방법																																																																																																																																																																																																																																
3. 시험결과																																																																																																																																																																																																																																
항목	단위	측정값	기준	비고																																																																																																																																																																																																																												
부식률	%	0	0	OK																																																																																																																																																																																																																												

<표 2-31> INTER COOLER단품 신뢰성시험 Data



IINTER COOLER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
방열시험 DATA	기밀시험 DATA	내압과괴시험 DATA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">HEAT REJECTION TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2009년 02월 25일</td> <td>시험 No.</td> <td>20090202</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">방열시험기</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 내압시험 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* water(순환량) : 1.0 m³/sec</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* Co(회전) : 1430 RPM</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* inlet(순환온도) : 12.5°C</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* inlet(순환속도) : 1.00 C</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* P(순환압력) : 1.10 MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td>SPEC.</td> <td>14 MIN.</td> <td>0.3 MAX.</td> <td>12 MAX.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>시험결과</td> <td>13</td> <td>0.33</td> <td>0.76</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	HEAT REJECTION TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2009년 02월 25일		시험 No.	20090202	시험 장소	시험실	시험 장비	방열시험기		시험 목적	PROTO SAMPLE 내압시험 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					* water(순환량) : 1.0 m ³ /sec					* Co(회전) : 1430 RPM					* inlet(순환온도) : 12.5°C					* inlet(순환속도) : 1.00 C					* P(순환압력) : 1.10 MPa					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고	SPEC.	14 MIN.	0.3 MAX.	12 MAX.		시험결과	13	0.33	0.76	OK	특이사항					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">LEAK TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2009년 02월 25일</td> <td>시험 No.</td> <td>S20090201</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">AIR LEAK TESTER</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 기밀시험 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1.5 kg/cm²에 내부 수압을 20분 동안 가한 후 누출이 없음</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td></td> <td>누출량</td> <td></td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	LEAK TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2009년 02월 25일		시험 No.	S20090201	시험 장소	시험실	시험 장비	AIR LEAK TESTER		시험 목적	PROTO SAMPLE 기밀시험 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					1.5 kg/cm ² 에 내부 수압을 20분 동안 가한 후 누출이 없음					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고		누출량		OK		특이사항					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">BURST TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2007년 02월 23일</td> <td>시험 No.</td> <td>S20070201</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">BURST TESTER</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 내압시험 및 파괴 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* Temperature Range: Normal Temperature</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* Test Fluid: Water</td> </tr> <tr> <td colspan="5">* Maximum Pressure: 400 MPa</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td></td> <td>400 MPa에서 누출이 없음</td> <td></td> <td>No.1</td> <td>누출 없음 OK</td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	BURST TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201	시험 장소	시험실	시험 장비	BURST TESTER		시험 목적	PROTO SAMPLE 내압시험 및 파괴 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					* Temperature Range: Normal Temperature					* Test Fluid: Water					* Maximum Pressure: 400 MPa					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고		400 MPa에서 누출이 없음		No.1	누출 없음 OK	특이사항				
HEAT REJECTION TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2009년 02월 25일		시험 No.	20090202																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	방열시험기																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 내압시험 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* water(순환량) : 1.0 m ³ /sec																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* Co(회전) : 1430 RPM																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* inlet(순환온도) : 12.5°C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* inlet(순환속도) : 1.00 C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* P(순환압력) : 1.10 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
SPEC.	14 MIN.	0.3 MAX.	12 MAX.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험결과	13	0.33	0.76	OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
LEAK TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2009년 02월 25일		시험 No.	S20090201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	AIR LEAK TESTER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 기밀시험 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1.5 kg/cm ² 에 내부 수압을 20분 동안 가한 후 누출이 없음																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	누출량		OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
BURST TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	BURST TESTER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 내압시험 및 파괴 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* Temperature Range: Normal Temperature																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* Test Fluid: Water																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
* Maximum Pressure: 400 MPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	400 MPa에서 누출이 없음		No.1	누출 없음 OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
압력주기시험 DATA	염수분무시험 DATA	열충격시험 DATA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">PRESSURE CYCLE TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2007년 02월 23일</td> <td>시험 No.</td> <td>S20070201</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">PRESSURE CYCLE TESTER</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 내압 시험 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">CYCLING PRESSURE TEMP. CYCLE RATE TIMES</td> </tr> <tr> <td colspan="5">20-200kPa 130C 20CPM 50,000</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 파손 및 변형이 없음</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음</td> <td></td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	PRESSURE CYCLE TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201	시험 장소	시험실	시험 장비	PRESSURE CYCLE TESTER		시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					CYCLING PRESSURE TEMP. CYCLE RATE TIMES					20-200kPa 130C 20CPM 50,000					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고		시험후 파손 및 변형이 없음					시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		OK		특이사항					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">SALT SPRAY TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2007년 02월 23일</td> <td>시험 No.</td> <td>S20070201</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">SALT SPRAY TESTER</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 내압 시험 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">TEST FLUID TEST TEMP. TIMES</td> </tr> <tr> <td colspan="5">NaCl 5% NaOH 50% 33C 1,000hr</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 파손 및 변형이 없음</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음</td> <td></td> <td>No.1</td> <td>누출 없음 OK</td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	SALT SPRAY TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201	시험 장소	시험실	시험 장비	SALT SPRAY TESTER		시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					TEST FLUID TEST TEMP. TIMES					NaCl 5% NaOH 50% 33C 1,000hr					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고		시험후 파손 및 변형이 없음					시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		No.1	누출 없음 OK	특이사항					<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">THERMAL SHOCK TEST REPORT</th> </tr> <tr> <th>별</th> <th>담당</th> <th>검토</th> <th>승인</th> <th>승인</th> </tr> <tr> <th>번호</th> <th>K.S. Jin</th> <th>H.S. Kim</th> <th>Y.S. Song</th> <th>Y.S. Song</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>시험 일자</td> <td colspan="2">2007년 02월 23일</td> <td>시험 No.</td> <td>S20070201</td> </tr> <tr> <td>시험 장소</td> <td>시험실</td> <td>시험 장비</td> <td colspan="2">THERMAL TESTER</td> </tr> <tr> <td>시험 목적</td> <td colspan="4">PROTO SAMPLE 내압 시험 확인</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1. 시험품의 개요</td> </tr> <tr> <td>입</td> <td>출</td> <td colspan="3">용량/용선, 대용량</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">TG110 CAC</td> </tr> <tr> <td>용</td> <td>용</td> <td colspan="3">12000000</td> </tr> <tr> <td>제조 회사</td> <td colspan="4">양광공조</td> </tr> <tr> <td>세</td> <td>별</td> <td colspan="3">CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2. 시험조건 및 시험결과</td> </tr> <tr> <td colspan="5">1) 시험조건</td> </tr> <tr> <td colspan="5">TEST FLUID TEMP. CYCLE RATE TIMES</td> </tr> <tr> <td colspan="5">AIR 50-140C 20CPM 2,000</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2) 시험결과</td> </tr> <tr> <td>항목</td> <td>시험명</td> <td>단위</td> <td>결과</td> <td>비고</td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 파손 및 변형이 없음</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음</td> <td></td> <td>OK</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">특이사항</td> </tr> </tbody> </table>	THERMAL SHOCK TEST REPORT					별	담당	검토	승인	승인	번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song	시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201	시험 장소	시험실	시험 장비	THERMAL TESTER		시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인				1. 시험품의 개요					입	출	용량/용선, 대용량			용	용	TG110 CAC			용	용	12000000			제조 회사	양광공조				세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE			2. 시험조건 및 시험결과					1) 시험조건					TEST FLUID TEMP. CYCLE RATE TIMES					AIR 50-140C 20CPM 2,000					2) 시험결과					항목	시험명	단위	결과	비고		시험후 파손 및 변형이 없음					시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		OK		특이사항									
PRESSURE CYCLE TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	PRESSURE CYCLE TESTER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
CYCLING PRESSURE TEMP. CYCLE RATE TIMES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
20-200kPa 130C 20CPM 50,000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	시험후 파손 및 변형이 없음																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SALT SPRAY TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	SALT SPRAY TESTER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TEST FLUID TEST TEMP. TIMES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NaCl 5% NaOH 50% 33C 1,000hr																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	시험후 파손 및 변형이 없음																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		No.1	누출 없음 OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
THERMAL SHOCK TEST REPORT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
별	담당	검토	승인	승인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
번호	K.S. Jin	H.S. Kim	Y.S. Song	Y.S. Song																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 일자	2007년 02월 23일		시험 No.	S20070201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
시험 장소	시험실	시험 장비	THERMAL TESTER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
시험 목적	PROTO SAMPLE 내압 시험 확인																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1. 시험품의 개요																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
입	출	용량/용선, 대용량																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	TG110 CAC																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
용	용	12000000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
제조 회사	양광공조																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
세	별	CORE: W399KH112-6x264(WFF: 5.07), INOUTLET PORT: 0.50 PIPE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2. 시험조건 및 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1) 시험조건																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
TEST FLUID TEMP. CYCLE RATE TIMES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
AIR 50-140C 20CPM 2,000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2) 시험결과																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
항목	시험명	단위	결과	비고																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	시험후 파손 및 변형이 없음																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	시험후 압력 1.38kPa에서 누출이 없음		OK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
특이사항																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

다. 냉각시스템 해석

냉각 팬 회전 시 엔진룸 내부로 유입되는 공기는 인터쿨러, 라디에이터 등의 각 요소 부품들을 통과하면서 열 교환을 통하여 냉각 시스템의 온도를 적정한 수준으로 유지시킨다. 그러나 배터리, 에어 크리너 등이 공기의 유속을 저하시키는 곳에 위치해있거나 냉각 시스템이 부적절하게 배치되어 있는 경우 열교환이 제대로 이루어지지 않아 냉각효율이 떨어져 엔진의 성능을 저하시킬 우려가 있다. 2차년도 에는 MHI社 K42엔진을 장착하여 냉각시스템 해석을 실시하였고 3차년도 에는 동일 공시 기대 에 Perkins社 854E엔진을 장착하여 냉각시스템 해석을 수행하여 MHI社 K42 엔진 장착 시와 해석 결과를 비교하였다. MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진의 가장 큰 차이점은 엔진 정격rpm과 DPF의 장착 위치이다. MHI社 K42엔진은 정격 rpm이 2400rpm이고 Perkins社 854E엔진은 정격 rpm이 2200rpm으로 약 200rpm의 차이가 있으며 DPF의 위치는 K42 엔진은 엔진 위 후방에 장착 되어있고 854E엔진은 엔진 위 중간에 장착 되어있다. 아래 <표 2-32>에 두 엔진의 차이점을 간략하게 나타 내었다. 냉각시스템의 해석은 2차년도와 동일하게 트랙터 엔진 냉각 시스템의 설계 및 개발 시에 최적화 할 수 있도록 상용화 되어있는 Ansys CFX 소프트웨어를 이용하여 엔진룸 내 공기의 유동해석을

실시하였다.

<표 2-32> MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진 차이 점

엔진 제작사	엔진 모델	정격 회전수(rpm)	냉각팬 경(mm)	냉각팬 회전수(rpm)	DPF 장착위치
Mitsubishi	K42	2400	500 (날개 수 6매)	2880	
Perkins	854E	2200	457 (날개 수 10매)	2860	

(1) 해석목적

2차년도 에 실시한 Mitsubishi社 K42엔진을 장착한 엔진룸의 냉각시스템 해석 결과와 3차년도 에 동일 공시 기대에 Perkins社 854E엔진을 장착하여 냉각시스템 해석을 수행하여 Mitsubishi社 K42엔진 장착 시와 해석 결과를 비교하여 엔진 변경 전, 후 엔진룸 내부로 유입되는 공기의 흐름이 원활히 이루어지는 지를 파악하고 냉각시스템의 각 컴포넌트들에 미치는 공기의 유속이 균일하게 분포하고 있는지를 파악하는 것을 목적으로 한다.

(2) 해석조건

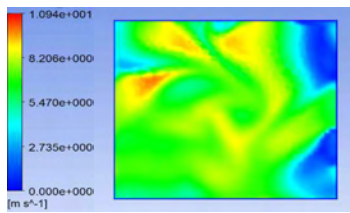
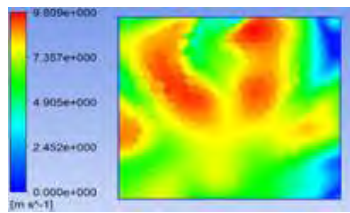
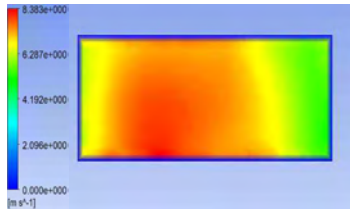
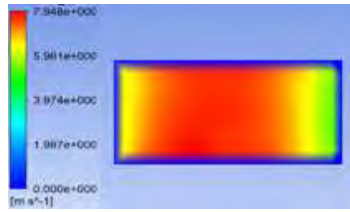
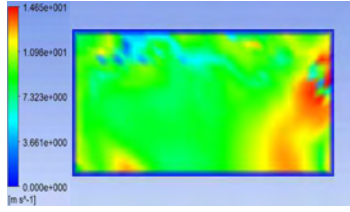
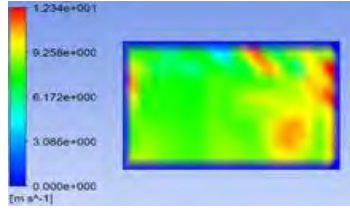
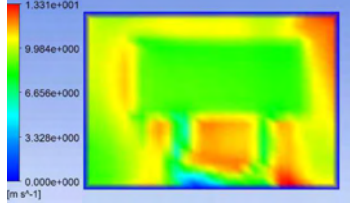
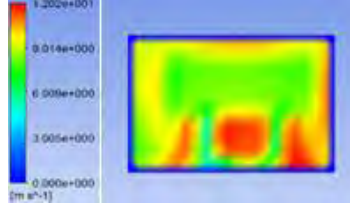
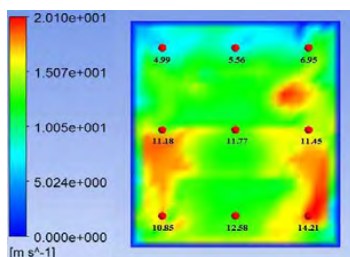
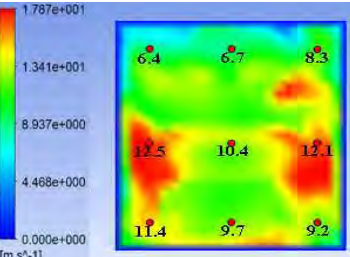
- 냉각 팬 회전속도 : 2860rpm (Perkins社 854E엔진 냉각 팬 회전속도)
- 전면 그릴 망 : Ø3.5, Pitch 5.5, 배치각도 60° (2차년도와 동일)
- 측면 그릴 망 : Ø3.5, Pitch 5.5, 배치각도 60° (2차년도와 동일)

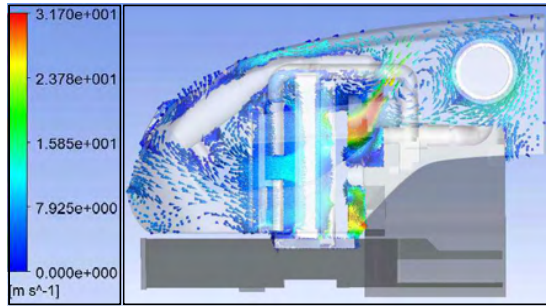
(3) 해석 결과 비교

<그림 2-23>과 <그림 2-24>는 MHI社 K42 엔진이 장착된 트랙터의 엔진룸 내부 Center line에서의 속도 벡터와 속도 분포를 나타내며 <그림 2-25>와 <그림 2-26>은 Perkins社 854E 엔진이 장착된 트랙터의 속도 벡터와 속도분포를 나타낸다. Mitsubishi社 K42 엔진이 장착이 된 경우의 유동해석 결과와 Perkins社 854E 엔진이 장착이 된 경우의 유동해석 결과 엔진 룸 내의 유속 분포는 유사함을 나타내었다. Front Grill로부터 유입된 공기는 에어크리너를 우회한 후 냉각시스템을 거치면서 유속이 점차 빨라지는 결과를 나타내었다. 그리고 냉각팬의 영향으로 냉각팬 끝단에서 속도 분포가 가장 크게 나타났으며 냉각팬으로부터 강제로 방출된 공기는 Perkins社 854E 엔진의 경우 DPF주변을 우회한 후 외부로 배출되는 결과를 나타내었으나 MHI社 K42 엔진의 경우는 DPF 주변을 우회한 후 엔진룸내로 재 유입되는 결과를 나타내었다. 따라서 Perkins社 854E 엔진이 장착된 트랙터가 엔

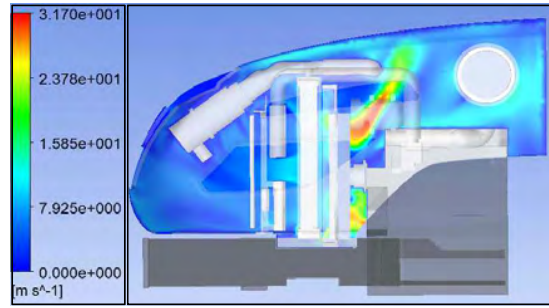
진룸 내의 각 컴포넌트의 방열성능 및 엔진 냉각에 효과적인 것으로 판단된다. <표 2-33>은 냉각시스템 각 컴포넌트의 전방 풍속 비교결과를 나타 낸다. 비교결과 엔진 변경에 따른 각 컴포넌트의 전방 유속은 차이를 나타내지 않았다. Condenser, Fuel Cooler, Inter Cooler, Oil Cooler의 경우 전방에 미치는 공기의 유속이 전반적으로 8~10 m/s의 속도를 나타내었으며, Radiator의 경우 냉각팬의 영향이 다소 적게 미치는 상부는 5~7 m/s로 유속이 다소 낮았으나 냉각팬의 영향을 많이 받는 중·하부의 경우는 10 m/s 이상으로 유속이 크게 발생하였다.

<표 2-33> 냉각 시스템 각 요소부품 전방 풍속 비교결과

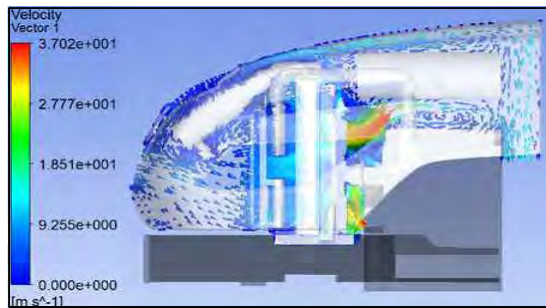
Component	Mitsubishi社 K42 엔진	Perkins社 854E 엔진
Condenser		
Fuel Cooler		
Inter Cooler		
Oil Cooler		
Radiator		



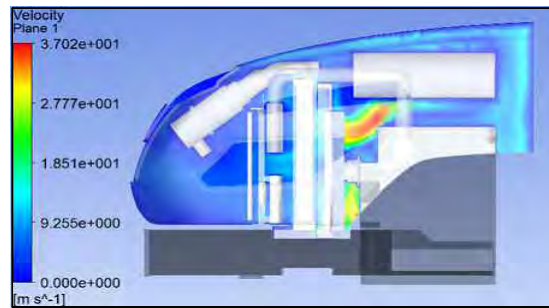
<그림 2-23>엔진룸 내부 속도 벡터-MHI



<그림 2-24> 엔진룸 내부 속도 분포-MHI



<그림 2-25> 엔진룸 내부 속도 벡터-퍼킨스



<그림 2-26> 엔진룸 내부 속도 분포-퍼킨스

7. 시제품 기대 조립

가. 2차 Cooling Module 시제품 조립

Perkins社 854E엔진을 장착한 시제품 트랙터 제작을 위하여 2차 Cooling Module 시제품을 아래 <그림 2-27>과 같이 제작하였고 2차년도 대비 냉각시스템 요소 부품의 사양 변경 내용은 인터쿨러 용량 증대와 인터쿨러 고정용 브래킷의 형상변경이 주요 변경 사항이다. 2차 Cooling Module 시제품을 과제 수행용 시제품 트랙터를 조립하기위해 대동공업으로 송부하여 아래 <그림 2-28>과 같이 시제품 트랙터를 제작 하였다.



<그림 2-27> 2차 Cooling Module 시제품



<그림 2-28> 2차 시제품 트랙터

8. TARGET검증 및 성능시험

가. 운전 영역별 방열 특성 및 온도 비교 평가 & 실차 적합성 비교 평가

2차년 도에 실시하였던 Mitsubishi社 K42엔진 탑재 트랙터의 평가결과와 비교하기 위하여 3차년 도에 선정한 Perkins社 854E엔진 탑재 트랙터를 평가기준에 따라 트랙터의 냉각시스템이 올바르게 구성되어 졌는지를 판단하기 위하여 정격출력 점과 최대토크 점의 실차 적합성 평가를 시행하였다. 방열 성능 평가는 1차년 도에 설정한 평가기준에 따라 평가 하였고 방열성능의 최종 판정은 ACT 수치로 판단하게 된다.

(1) 시험 평가 방법 및 온도 측정 위치

(가) 시험 평가 방법

본 과제 트랙터를 Dynamo에 세팅하고 부하를 가하면서 정격출력 점 및 최대토크 점에서의 방열 성능을 측정하였다. Dynamo와 시제품 트랙터의 Matching방법은 <그림 2-29>와 같다.









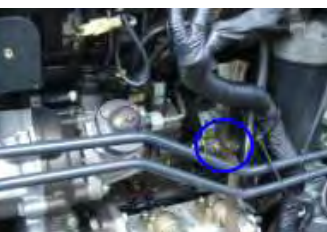



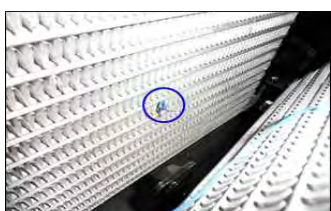

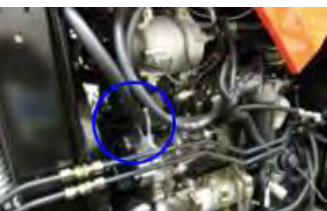





<그림 2-29> Dynamo와 시제품 트랙터와의 Matching

(나) 온도 측정 위치

온도센서는 총 18개소에 부착하여 Mitsubishi社 K42엔진과 Data 비교가 가능하도록 설치 하였으며 각각의 위치는 <표 2-34>와 같다.

<표 2-34> Perkins社 854E엔진 온도센서 부착위치

	외기 온도	배기가스 온도	보닛 내부 온도
센서부착위치			
	엔진오일 온도	에어클리너입구 온도	냉각수입구 온도
센서부착위치			
	냉각수출구 온도	연료입구 온도	연료출구 온도
센서부착위치			
	콘덴서전면 온도	연료쿨러전면 온도	인터쿨러전면 온도
센서부착위치			
	오일쿨러전면 온도	라디에이터전면 온도	냉각풍축구 온도
센서부착위치			
	엔진좌측부 온도	엔진우측부 온도	엔진후면부 온도
센서부착위치			

(2) 주요 평가 항목

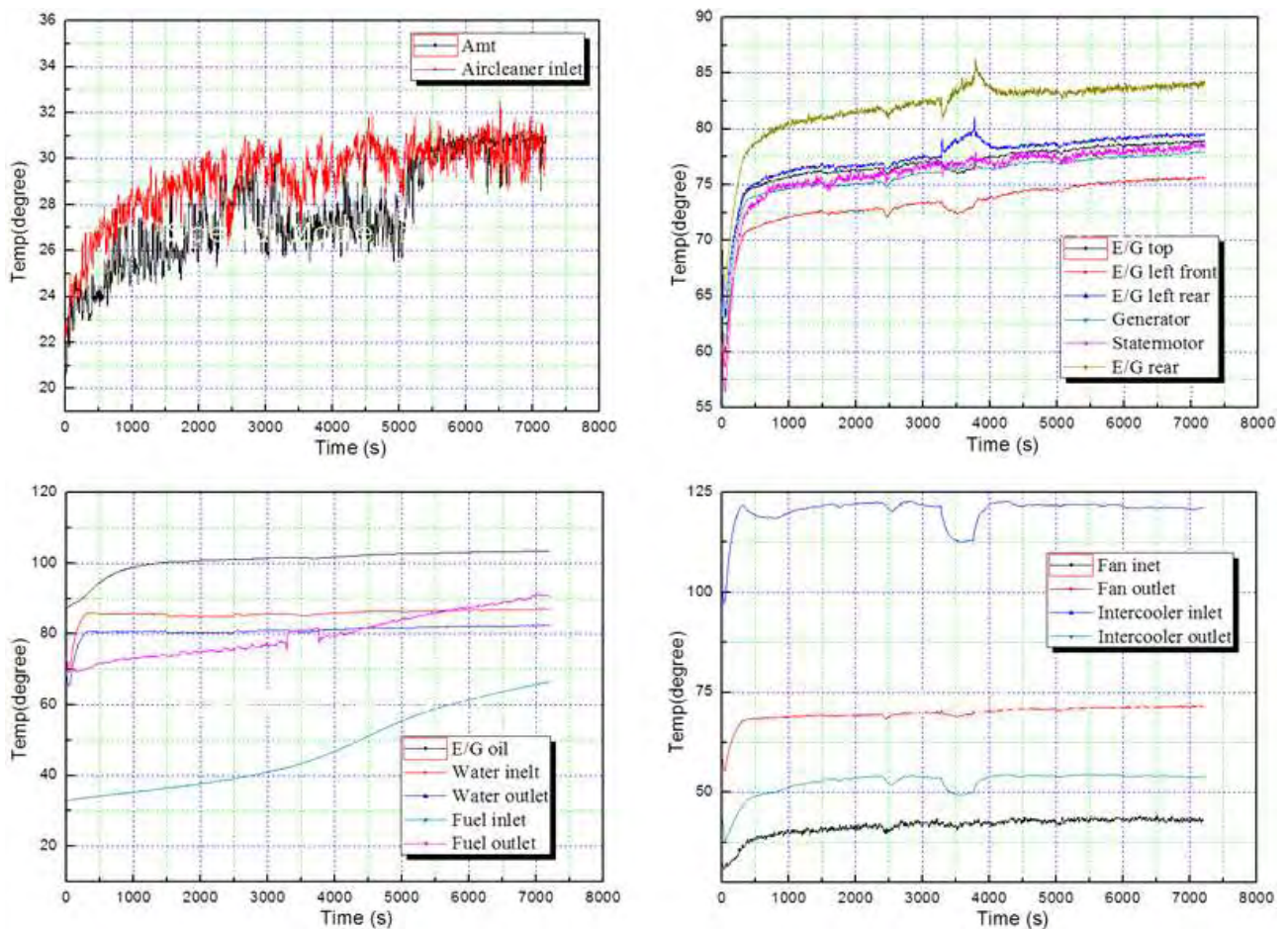
주요 평가항목은 MHI社 K42엔진과의 비교 평가를 위해 2차년도 평가 시와 동일하게 선정하였다.

- 엔진룸 내부온도 및 배기가스온도
- 에어클리너 입구온도- 외기온도, 엔진오일 온도
- 고온성능 지수(Air to Boil) 및 ACT(Ambient Clearance Temperature)
- 냉각 풍 입구온도-출구온도, 연료온도 등

(3) 각부 온도 측정 결과

(가) 정격출력 점의 온도 측정

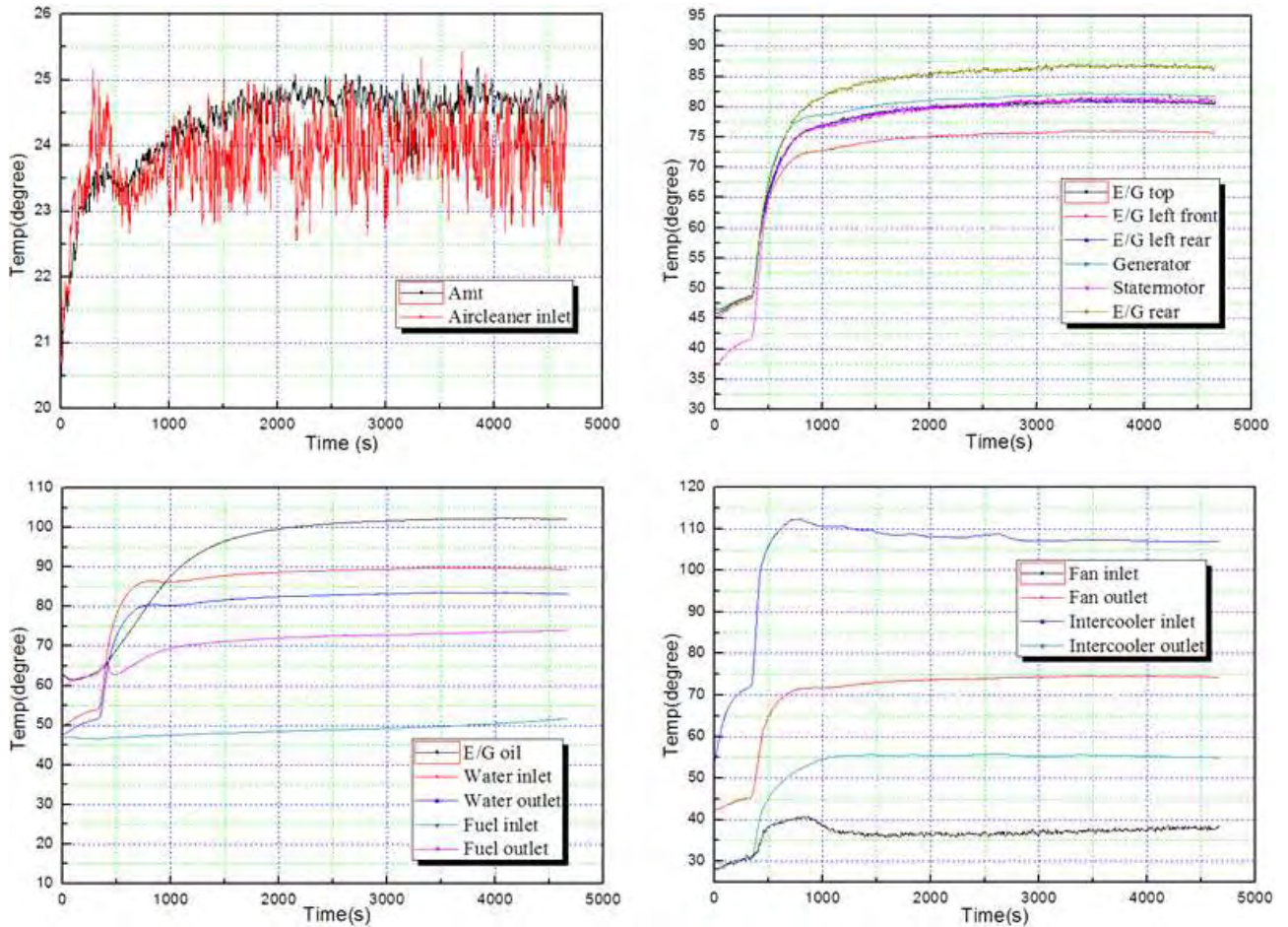
Perkins社 854E엔진의 정격출력 점 각부 측정 온도그래프는 <그림 2-30>과 같다.



<그림 2-30> Perkins社 854E엔진의 정격출력 점 각부 온도 그래프

(나) 최대토크 점의 온도 측정

Perkins社 854E엔진의 최대토크 점 각부 측정 온도그래프는 <그림 2-31>과 같다.



<그림 2-31> Perkins社 854E엔진의 최대토크 점 각부 온도 그래프

(4) 비교 시험 평가 결과 분석

2차년도 년차 보고서에서 언급한 바와 같이 방열성능의 최종 판정은 ACT 수치로 판단하게 되며 ACT(Ambient Clearance Temperature)란 기온이 ACT일 때까지 냉각수 온도가 허용 온도 범위를 벗어나지 않고 기대를 작동 시킬 수 있음을 나타내는 수치이다. 이를 계산식으로 나타내면 아래와 같다.

$$“ACT = 108^{\circ}C - T_{wout} + \text{외기온도} \geq 48^{\circ}C \text{임. (정격 출력 점, 최대 토크 점은 } 40^{\circ}C \text{ 임.)}”$$

아래 정격출력 점 및 최대토크 점의 비교표를 보면 MHI社 K42엔진에 비해 Perkins社 854E엔진의 ACT가 다소 낮게 측정 된 것으로 보이나 이는 MHI社 K42엔진의 PTO출력이 71.1HP으로(PTO효율 71.8%) Perkins사 854E엔진의 PTO출력인 84.3HP보다(PTO효율 82.7%) 약 13HP정도 낮게 측정 된 이유가 원인으로 판단되며 비록 Perkins社 854E엔진의 ACT가 다소 낮더라도 기준 치인 정격출력 점의 48과 최대토크 점의 42을 상회하므로 냉각 성능에는 문제가 없는 것으로 보여 진다.

(가) 정격출력 점의 시험평가 결과

Perkins社 854E엔진 정격출력 점의 ACT는 51정도로 MHI社 K42엔진의 57보다 약 6℃정도 낮으나 기준치인 48이상을 만족하므로 사용상 이상 없을 것으로 판단된다. 정격출력 점의 시험평가 비교 결과는 아래<표 2-35>와 같다.

<표 2-35> MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진의 정격출력 점 시험평가 비교표

Heat Balance Performance Sheet							
◇ 기종명 : ARPC 과제용 트랙터		◇ 측정일자 :		◇ 시험구분 : 정 격 점			
◇ 형식명 :		◇ Eng' 형식명 :		◇ 측정자 : 박 성 운			
◇ 기대NO : 2		◇ Eng' NO :		◇ 참고사항 :			
◇ 대기압 :		진구/습구 : ℃		※ 부동액 농도 : 50%, Cap = 0.9kg/cm ² .			
NO	엔진 모델		MHI K42	PERKINS 854E	평 균	평가기준	비 고
	측정시간(min)	기호	120	120			
01	외기온도(AT)	AT	27.2	28.7			
02	BONNET 온도(RT)	RT	75.5	77.5		< 85	
03	배기gas온도[집합부)	EXT	392	421		< 650	
04	Eng' Oil온도	LOT	106.8	102.1		< 120	엔진업체기준
05	에어크리너 입구온도	IAT	31.6	30.0		< 45	
	T=IAT-AT	△T	4.4	1.3		< 5	
06	냉각풍 입구온도	CAIT	31.0	42.4		< 40	
07	냉각풍 출구온도	CAOT	69.5	70.4			
	T=CAOT-CAIT	△T	38.5	28.0		< 30	
08	냉각수 입구온도 (Radiator 기준)	CWIT	80.1	86.0		< 110	
09	냉각수 출구온도 (Radiator 기준)	CWOT	74.5	81.4			
	고온성능(Air TO Boil) AtoB=X-CWIT+AT	ATB	73.7	71.7		>55	
10	냉각수 Over flow량	OFQ					
11	연료온도(FOT)	FOT	43.5	51.4		< 60	
	T=FOT-AT	△T	16.3	22.7		< 25	
12	Battery 표면온도	BRT	-	-		< 55	
13	Starter Moter	STT	-	-		< 80	
	Alternator	ALT	-	-			
	ECU	RET	-	-			
14	냉각정수(CWIT-AT)	△T	52.9	57.3		< 65	
15	냉각수차(CWIT-CWOT)	△T	5.6	4.6		< 8	
16	ACT	ACT	57.2	50.7		> 48	
17	Eng' 회전수(rpm)	N	2400	2200	0/4 최저회전수		
					0/4 최고회전수		

(나) 최대토크 점의 시험평가 결과

Perkins社 854E엔진 최대토크 점의 ACT는 43.3정도로 MHI社 K42엔진의 56보다 약 13℃정도 낮으나 기준치인 42이상을 만족하므로 사용상 이상 없을 것으로 판단된다. 최대토크 점의 시험평가 비교 결과는 아래<표 2-36>과 같다.

<표 2-36> MHI社 K42엔진과 Perkins社 854E엔진의 최대토크 점 시험평가 비교표

Heat Balance Performance Sheet							
◇ 기종명 : ARPC 과제용 트랙터		◇ 측정일자 :		◇ 시험구분 : 최대토크 점			
◇ 형식명 :		◇ Eng' 형식명 :		◇ 측정자 : 박 성 운			
◇ 기대NO : 2		◇ Eng' NO :		◇ 참고사항 :			
◇ 대기압 :		건구/습구 : °C		※ 부동액 농도 : 50%, Cap = 0.9kg/cm ² .			
NO	측정회수(회)		MHI K42	PERKINS 854E	평 균	평가기준	비 고
	측정시간(min)	기호	60	75			
01	외기온도(AT)	AT	17.5	24.6			
02	BONNET 온도(RT)	RT	70.7	80.3		< 85	
03	배기gas온도[집합부)	EXT	395.3	425		< 650	
04	Eng' Oil온도	LOT	96.2	101.1		< 120	엔진업체기준으로대체
05	에어크리너 입구온도	IAT	20.3	24.3		< 45	
	T=IAT-AT	△T	2.8	-0.3		< 5	
06	냉각풍 입구온도	CAIT	20.7	37.0		< 40	
07	냉각풍 출구온도	CAOT	60.9	74.2			
	T=CAOT-CAIT	△T	40.2	37.2		< 30	
08	냉각수 입구온도 (Radiator 기준)	CWIT	71.4	89.3		< 110	
9	냉각수 출구온도 (Radiator 기준)	CWOT	65.2	83.0			
	고온성능(Air TO Boil) AtoB=X-CWIT+AT	ATB	72.6	64.3		> 49	
10	냉각수 Over flow량	OFQ					
11	연료온도(FOT)	FOT	21.6	49.6		< 60	
	T=FOT-AT	△T	4.1	25.0		< 25	
12	Battery 표면온도	BRT	-	-		< 55	
13	Starter Moter	STT	-	-		< 80	
	Alternator	ALT	-	-			
	ECU	RET	-	-			
14	냉각정수(CWIT-AT)	△T	53.9	64.7		< 65	
15	냉각수차(CWIT-CWOT)	△T	6.2	6.3		< 8	
16	ACT	ACT	56.1	43.3		> 42	
17	Eng' 회전수(rpm)	N	1800	1400	0/4 최저회전수		
					0/4 최고회전수		

(다) 결론

Perkins社 854E엔진이 탑재 된 과제 수행용 트랙터의 실차 평가 결과 정격출력 점 및 최대토크 점의 ACT는 기준치를 만족하였으며 냉각 시스템은 적합하게 구성되어 졌다고 판단된다. 본 과제에 서 얻은 연구결과를 바탕으로 2015년에 도래하는 Tier-4 Final 규제 시에 본 연구결과를 활용하여 수출증대 및 친 환경 트랙터 개발에 노력하겠다.

제3절. [협동2(국제종합기계)] 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술

1. 선진업체 기술동향 조사

디젤엔진은 에너지 경제성, 지구 온난화 가스 배출억제 정책 등에 힘입어 전 세계적으로 수요가 증가하고 있다. 특히 수년간 에너지 가격이 급등하면서 가솔린엔진 대비 20 ~ 40% 유리한 연비를 가진 디젤엔진에 대한 관심이 급증 하고 있으나, 경유 매연 및 오존 농도 문제가 또 다른 환경문제를 일으키고 있는 실정이다. 따라서 이러한 경유 배출 가스를 저감할 수 있는 기술이 국제적인 공통 관심사가 되고 있다.

디젤엔진은 기상 변화를 일으키는 지구 온난화의 주요인인 CO₂ 의 배출량이 가솔린 엔진에 비해 30%가 낮아 CO₂ 의 총량을 줄이는 측면에 있어 효과적인 대책으로 각광 받고 있으나, 연소 방식 특성상 가솔린 엔진에 비해 소음과 진동이 심하고 질소 산화물(NOx)과 입자성물질(PM)이 다량으로 배출되는 단점을 지니고 있다. 이미 선진국에서는 환경오염 문제를 극복하기 위하여 배기 규제를 단계적으로 강화하고, 관련 기술 개발 및 실차 적용을 적극적으로 유도하고 있다. 최근의 규제 동향으로 고려할 때, 가까운 미래에는 첨단 후처리 기술을 적용하지 않고서는 PM 및 NOx 규제를 만족시키기 어려울 것이며, DPF 또는 DeNOx 장치가 디젤엔진의 필수부품이 될 것으로 전망하고 있다.

PM은 불완전 연소에 의해서 생성 되는 물질이며 NOx는 연소 온도가 높을수록 생성되는 물질이기 때문에 이들 두 물질은 서로 상반적인(Trad-off)관계를 가지고 있다. 이러한 NOx와 PM을 제어하기 위해서 여러 가지 방법들이 강구되어 왔는데 그중 가장 보편화 및 상용화된 기술은 EGR(Exhaust Gas recirculation)기술과 후처리 장치인 DPF(Diesel particulate filter) + DOC(Diesel Oxidation Catalysts)를 사용하여 배기가스를 저감하는 기술이다.

PM(입자상물질)은 연소 시간이 증가함에 따라 후처리 장치(DPF) 내에 포집되며, 이로 인해 배기 압력은 증가하게 되고 입자를 재생하기 위하여 후 분사를 하게 된다. 이때 적당한 온도 및 산소 농도 조건에서 입자는 쉽게 재생되지만, 타지 않은 연료/오일 찌꺼기 등으로 필터 내부에 재(ash)가 축적되며, 얼마나 짧은 시간동안 재가 축적 되느냐에 따라 필터의 수명이 결정된다. 따라서 작업기의 운전 영역별 작업 환경에 적합한 재생 Logic 매칭을 최적화하여 장치의 신뢰성을 확보하여야 한다.

특히, 트랙터는 자동차의 배기가스 규제와는 달리 그 기술 도입이 이루어지지 않았으며, 사용 조건도 자동차용과 상이함으로 그 특성에 맞는 최적의 배기 정화 장치 사용을 위한 재생 Logic 매칭이 새롭게 진행되어야 한다. 트랙터에 대한 배기가스 규제의 경우 2008년부터 Tier-3, 2012년부터는 Tier-4의 배기가스 규제를 받게 된다. Tier-3 단계에서는 별도의 장치 없이 연소 개선을 통해 배기가스 규제를 충족시킬 수 있었지만, Tier-4 단계에서는 규제치 만족을 위해 연소개선 외에 별도 후처리 장치를 요한다. 이를 위해서는 실차 조건에서 주행 시는 물론이고 각종 작업기를 탑재하여 작업 시 배기 온도 및 부하율 등을 시험 분석함으로써 재생 온도제어 성능 평가(Duty Cycle 평가)를 하여 운전패턴에 맞는

재생 Logic을 생성하여야 한다.

배출 가스 저감을 위한 별도의 후처리 장치는 상당한 고가의 비용 부담을 요하는 것으로, 이에 따른 엔진 가격의 큰 상승 요인이 될 수 있다. 따라서 향후 Tier-4 배기가스 규제에 대응한 고마력 디젤엔진의 개발이 이루어지지 않고, 계속 수입에만 의존하게 된다면 Tier-4 규제 단계에서 국내업체가 안게 될 엔진 수입에 대한 가격 부담은 더욱 증가 될 수밖에 없다. 이러한 고마력 엔진의 수입 가격에 대한 부담 증가는 결국 국내·외 소비자에게로 이어질 수밖에 없으며, 고마력 트랙터의 세계 경쟁 시장에서 국내 기업의 설자리를 잃게 만들 것이다. 결국 국내 농기계 산업의 발달과 국가 경제력에 큰 손실을 야기하게 되는 것이다.

<표 3-1>과 같이 북미지역의 2001년 이후 90마력급 이상 엔진을 탑재한 고마력 트랙터의 수요는 연평균 3.3%의 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 향 후 고마력 트랙터의 수요는 계속 증가될 것으로 예상된다. <표 3-2>에서와 같이 국내시장규모도 마찬가지로 100마력 급 고마력 트랙터뿐만 아니라 엔진 시장의 시장 규모도 꾸준히 증가하고 있다. 하지만, 이러한 수요 증가에도 불구하고, 국내 자체 수급 가능한 고마력 농용 디젤엔진이 없는 실정으로 인해 국내 농기계 회사에서는 전량 수입에 의존하고 있다.

<표 3-1> 북미 지역의 90마력급 이상 트랙터 시장 규모

구분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	연 평균 증가율 (2001 ~ 2006)
90HP이상	30,256	26,718	26,691	34,310	34,760	31,262	3.3

* 출처 : AEM(Association of Equipment Manufacturers)

<표 3-2> 국내 시장 규모-연도별 생산 현황

(단위: 천억원)

구분	2004	2005	2006	연평균증가율 (2004~2006)
전체 시장 규모	3.07	3.88	4.24	38.1
100마력 대형 트랙터	0.21	0.24	0.31	47.6
60~90마력 급 엔진 시장	0.23	0.32	0.35	51.7

* 출처 : 농기계협동조합

결론적으로 배기가스 규제 강화에 따른 기술 개발 경쟁력 확보 등으로 날로 치열해지고 있는 세계 농기계 시장에서 국내 농기계 산업의 지속적 발전을 위해서는, 가격 경쟁력 확보 및 강화된 배기가스 규제를 만족하는 친환경적인 엔진의 국내 개발이 필요하다. 이를 위해서 선진업체에서 개발 완료되어

진 엔진을 국내 트랙터에 탑재하는 기술을 바탕으로 운전 영역별 작업 환경에 적합한 재생 Logic 매칭을 최적화하는 기술을 축척해야 한다.

기술 개발 및 축척 시 예상되는 파급효과는 기술적으로 환경규제에 적절히 대응함으로써 지속적인 시장경쟁력을 유지하며, 다양한 촉매물질, 세라믹, 금속 필터에 기술을 적용함으로써 재료 제조, 성형 기술 등의 파생기술을 개발하는 발판이 될 수 있다. 또한 제어 과정에 대한 노하우 축척과 데이터프로 세싱, 해석, 알고리즘 및 프로그램 기술을 확보하며 중국에는 디젤 배기가스 분석 기술을 향상시킬 수 있다. 향후 디젤엔진 배기처리 분야의 핵심기술을 확보함으로써 무역수지 개선 및 국가 경쟁력의 우위를 확보할 수 있으며, 이는 고부가가치 산업인 후처리장치 수출이라는 경제적 파급 효과도 얻을 수 있을 것이다.

가. 선진 업체 기술 동향 조사

(1) 각 국의 Emission 규제 현황

오늘날 환경오염 문제에 대한 심각성과 중요성 인식 증가에 따라 세계 각국에서의 배기가스 규제가 날로 엄격해지고 있다. 엔진출력 75마력 ~ 100마력급의 고마력 디젤엔진 경우 Tier-4 규제가 적용됨에 따라 Tier-3 대비 NOx 약 87.5% 강화되고, PM은 95% 강화된다.

미국은 환경보호청인 EPA와 캘리포니아주의 독자적 환경보호청인 CARB로 2가지가 존재하며 Tier로 구분된다. 유럽은 STAGE로 구분되어지며 배기가스 규제 값은 미국과 같이 엔진 용량에 따라 단계적으로 이뤄진다. 미국, 유럽, 일본의 적용 년도에 의한 배기가스 규제 값은 <그림 3-1>과 같다.

MOBILE OFF-HIGHWAY EMISSIONS REGULATIONS SCHEDULES

NOx / HC / CO / PM (g/kWh) [Conversion: (g/kWh) x 0.7457 = g/bhp-hr]
 NOx-NMHC / CO / PM (g/kWh)

U.S. EPA		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0 - 7 (0 - 10)	[19.5] / 8.0 / 1.0																						
8 - 18 (11 - 24)	[9.5] / 6.6 / 0.80																						
19 - 36 (25 - 48)	[9.5] / 6.5 / 0.80																						
37 - 55 (49 - 74)	[7.5] / 5.0 / 0.40																						
56 - 74 (75 - 99)	[7.5] / 5.0 / 0.40																						
75 - 129 (100 - 173)	[6.8] / 5.0 / 0.30																						
130 - 224 (174 - 301)	[6.8] / 3.5 / 0.20																						
225 - 449 (302 - 602)	[6.4] / 3.5 / 0.20																						
450 - 560 (603 - 751)	[6.4] / 3.5 / 0.20																						
>560* (≥751)*	[6.4] / 3.5 / 0.20																						

EUROPE

EUROPE		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
18 - 36 (24 - 48)	[8.0] / 1.5 / 5.5 / 0.8																						
37 - 55 (49 - 74)	[7.5] / 5.5 / 0.6																						
56 - 74 (75 - 99)	[4.7] / 5.0 / 0.4																						
75 - 129 (100 - 173)	[4.7] / 5.0 / 0.4																						
130 - 560 (174 - 751)	[3.3] / 0.19 / 5.0 / 0.025																						

JAPAN (Tier 1 standards applicable by application. Tier 2 and Tier 3 applicable by power category. Introduction dates October of year listed.)

JAPAN		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
19 - 36 (25 - 48)	Tier 1 application specific standards.																						
37 - 55 (49 - 74)	8.0 / 1.5 / 5.0 / 0.8																						
56 - 74 (75 - 99)	8.0 / 1.3 / 5.0 / 0.7																						
75 - 129 (100 - 173)	7.0 / 1.3 / 5.0 / 0.4																						
130 - 560 (174 - 751)	4.0 / 0.7 / 5.0 / 0.30																						

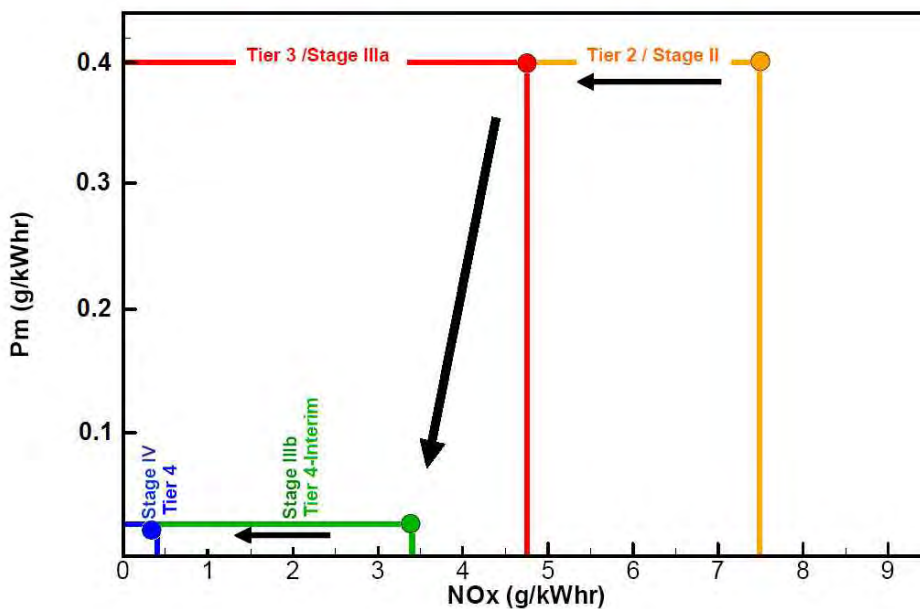
<그림 3-1> 각 나라별 배기가스 규제 값

이러한 규제치를 만족하기 위해서는 엔진의 연소기술 향상뿐만 아니라 각종 신기술이 적용되어야

달성 가능한 수치이다. 따라서 전 세계적으로 강화된 규제를 만족하는 친환경적 엔진에 대한 기술 경쟁력을 확보하기 위해 많은 기업과 국가에서 활발한 연구 개발과 투자를 하고 있는 실정이다.

(2) 기술 개발 현황

<그림 3-2>은 농용 디젤엔진에 대한 현재의 국내 기술개발 수준을 보여주는 것으로, 75마력 (56kW) 이상 엔진의 경우 NOx+NMHC 4.7g/kW.hr 이하, PM 0.4g/kW.hr 이하로 Tier-3 규제단계 수준에 있다.



<그림 3-2> 75 ~ 99마력 급 엔진의 Emission 성능

<그림 3-2>와 같이 Tier-4 규제의 경우 Tier-3 대비 배출가스 규제가 매우 엄격해진다. 따라서 일부 선진업체에서는 이미 Tier-4 대응 기술개발을 시작하였다. 하지만 국내 농기계 업체에서는 아직 Tier-4 대응 관련 기술 개발이 미비한 실정이며, 향후의 규제 대응을 위한 기술개발이 매우 급박한 실정이다.

(3) Emission 저감을 위한 업체별 기술 보유 현황

디젤엔진의 배출 가스 저감을 위한 기술은 국내 기업보다 국외, 특히 일본의 경우 특히 수만 해도 미국, 독일 등 디젤엔진의 선진 기업보다 월등히 많은 수치이다.

Tier-4에 만족하는 배출 가스 저감 기술을 국산화하지 못할 경우 농용 엔진 공급 구조가 일본 등 선진 업체에 의해 재편성될 것으로 예상되며, 이에 따라 국내 농기계 업체는 큰 어려움을 겪을 수밖에 없다. 현재까지의 선진업체들의 기술보유 현황을 보면 다음 <표 3-3>과 같다.

<표 3-3> 엔진 업체별 Emission 저감기술 개발 현황 및 대책

엔진업체	수행 연구 및 기술보유 현황
Hyundai	<ul style="list-style-type: none"> - 자가진단기능의 2세대 커먼레일 분사시스템 적용 - E-VGT(전자제어 가변 터보차저) 적용 - 고강도 주철(CGI: Compacted Graphite Iron) 실린더 블록의 내구 신뢰성 및 경량화 기술 보유. - 냉시동을 위한 급속 승온 기능의 전자제어식 특수 예열 장치 적용 - PM 저감을 위한 CCCPF 시스템 적용
Yanmar	<ul style="list-style-type: none"> - 4밸브 TNV 직분식 엔진 개발 - 1/100초 단위로 연료분사량을 제어하는 에코 모노 플렌저식 MP2 기계식 고압분사펌프 자체 개발(1,000bar) - 전자식 가버너 시스템 채택 - NOx 저감을 위한 Cooled-EGR 적용 - PM 저감을 위한 CCRT(DOC +CDPF) 후처리 기술 적용 - 냉시동을 위한 2-stage Rack position control 기술 확보
Kubota	<ul style="list-style-type: none"> - 커먼레일 직분식 엔진 개발 - PF type Common-Rail Pump 적용(1,400bar) - NOx 저감을 위한 Cooled-EGR 적용 - PM 저감을 위한 CCRT(DOC +CDPF) 후처리 기술 적용
Mitsubishi	<ul style="list-style-type: none"> - 커먼레일 직분식 엔진 개발 - Intake 유량 제어를 위한 Throttle valve 기술 적용 - NOx 저감을 위한 Inter-cooler 시스템 적용 - PM 저감을 위한 CCRT(DOC +CDPF) 후처리 기술 적용 - DPF 재생을 위한 전자 제어 기술 보유
Mahindra	<ul style="list-style-type: none"> - 커먼레일 직분식 엔진 개발 - Common-Rail Pump 적용(1,600bar) - NOx 저감을 위한 EGR 적용 - PM 저감을 위한 CCRT(DOC +CDPF) 후처리 기술 적용
John deere	<ul style="list-style-type: none"> - Denso 커먼레일 직분식 엔진 개발 - Common-Rail Pump 적용(1600bar) - 출력 보상 및 NOx저감을 위한 Inter-cooler 적용 - NOx 저감을 위한 Cooled EGR 적용 - PM 저감을 위한 DOC+DPF 후처리 기술 적용

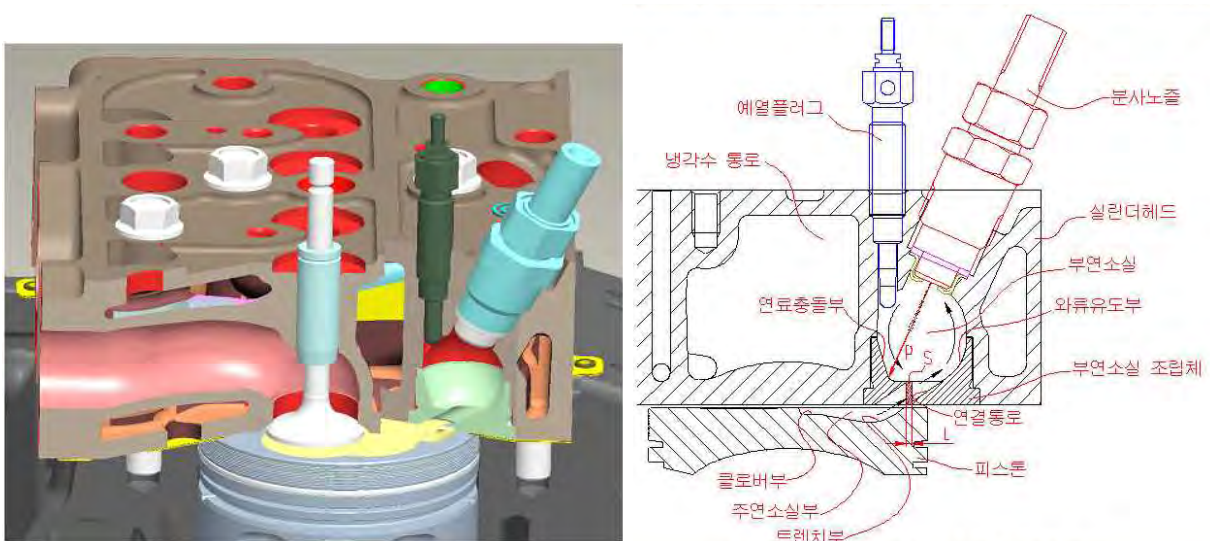
나. 배기가스 저감 기술

(1) 엔진 기술

환경 규제에 대응하기 위한 디젤엔진 기술은 매우 다양하며, 핵심 기술의 개발과 더불어 각각의 기술들을 최적으로 매칭하는 것이 엔진 제조사의 기술력과 직결된다. 엔진 기술로는 연소실 형상/유동 및 밸브 트레인과 같은 전통적인 엔진 기술뿐만 아니라 연료 분사 시스템과 과급을 비롯한 신소재 개발 및 저마찰 코팅에 이르기까지 매우 광범위하다. 다양한 엔진 기술 중 차세대 디젤엔진의 핵심 기술로 인식되는 연료 분사 시스템, 저압축비 등이 이에 속한다. 직접분사, 연료 고압 분사 및 전자 제어는 연료가 최적의 분사 시기, 분사 기간 및 분사 압력으로 분사 되도록 하여 연소의 효율을 향상시켜 유해한 배기가스를 줄이는 효과가 있다. 또 EGR은 NOx를 저감시키는 효과적인 수단으로 사용되어진다.

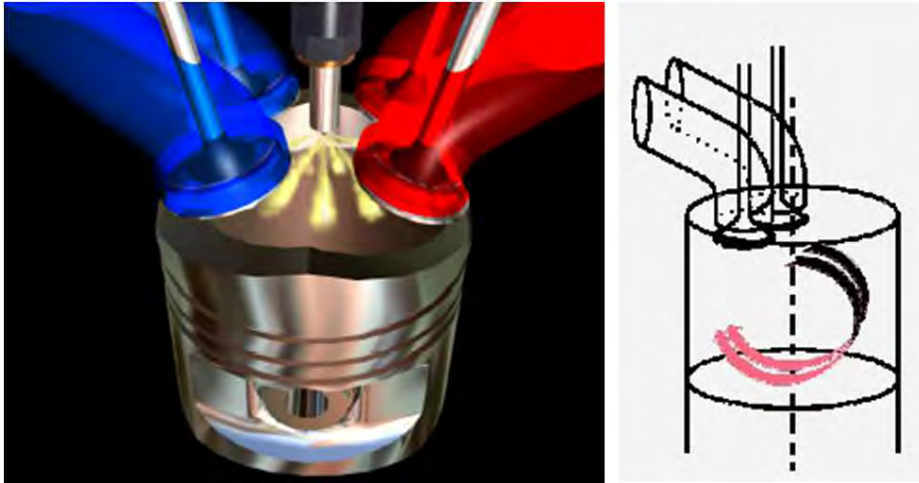
(가) 연소실 형상의 개선

디젤엔진의 연소실은 <그림 3-3>과 같이 pre-chamber(스웰 챔버 및 예연소실) 형태의 간접분사 방식(IDI; Indirect Injection)과 직접분사방식(DI; Direct Injection)으로 구분되어 진다. 배기가스와 연료소비량 특성은 연소실의 형상에 따라 큰 영향을 받는다. Pre-Chamber 형태의 엔진은 연소과정 중 연료와 공기가 원활하게 섞이며 직접분사방식의 엔진보다 낮은 농도의 CO를 배출하며, 보다 적은 농도의 NOx와 HC를 배출한다. 그러나 연소실의 표면적이 직접분사방식 엔진에 비해 상대적으로 크고 표면 온도가 과도하게 높기 때문에 벽으로의 열손실이 많아 연료소비량이 높으며, 직접분사방식의 엔진은 다양한 방법에 의해 Emission을 낮출 수 있으므로 직접분사방식 엔진의 개발이 앞으로는 주류를 이룰 것으로 기대된다.



<그림 3-3> Ricardo's Advanced Comet V형 연소실

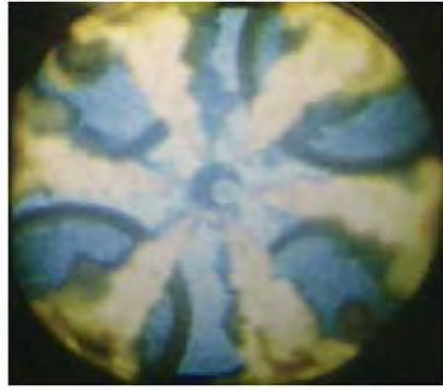
직접 분사 디젤엔진은 Air Dispersion 방식과 Wall-film Dispersion 방식으로 구분된다. Air dispersion 방식은 주로 연료를 공기에 직접 분사시키는 것이고, wall-film dispersion 방식은 연료를 실린더 벽위에 분사시키는 방식으로 연료는 공기의 Swirl에 의해 벽에서 분리되어 연소된 공기와 섞이게 된다.



<그림 3-4> 4밸브 직분식 연소 시스템과 Swirl 형상

분사 과정의 선택은 배기가스특성과 연료소비율에 많은 영향을 끼치는데 Air dispersion 방식은 연료소비율, HC emission, Smoke, 출력 등에 장점을 가지며 더 많이 적용되어 진다. Air dispersion 방식의 디젤엔진이 보다 효율적이기 위해서는 다음과 같은 점들을 고려할 필요가 있다.

- Swirl Inlet Port : swirl, 분사압, 연소실 구조를 향상시키는 것은 Air dispersion 방식의 효과를 위해서는 필수적이다. Swirl의 형태는 또한 연료와 공기가 효과적으로 혼합될 수 있는지가 중요한 요소로 작용된다. 이때 NOx를 줄이기 위해서는 Swirl을 줄여 연소실의 온도를 낮춰야 한다. 또한 swirl은 엔진 출력에도 영향을 미치는데 swirl이 강해질수록 연소실에 공급되는 공기량이 줄어들므로 출력은 감소하게 된다.
- Bowl의 모양 : 디젤엔진에서 bowl은 <그림 3-5>과 같이 피스톤 내에 위치하며 피스톤 중심축에 관하여 대칭이면, 그 특성들은 양호한 것이다. 이러한 설계는 분사노즐이 중앙에 오는 것을 요구함에 따라 4밸브를 적용하여 다양한 형태의 swirl을 구현할 수 있고, 이는 공기와 연료의 고른 혼합을 얻을 수 있어 효과적이다. <그림 3-5>은 Bowl과 6홀 노즐에 의한 연료 분사 형상을 나타낸다.



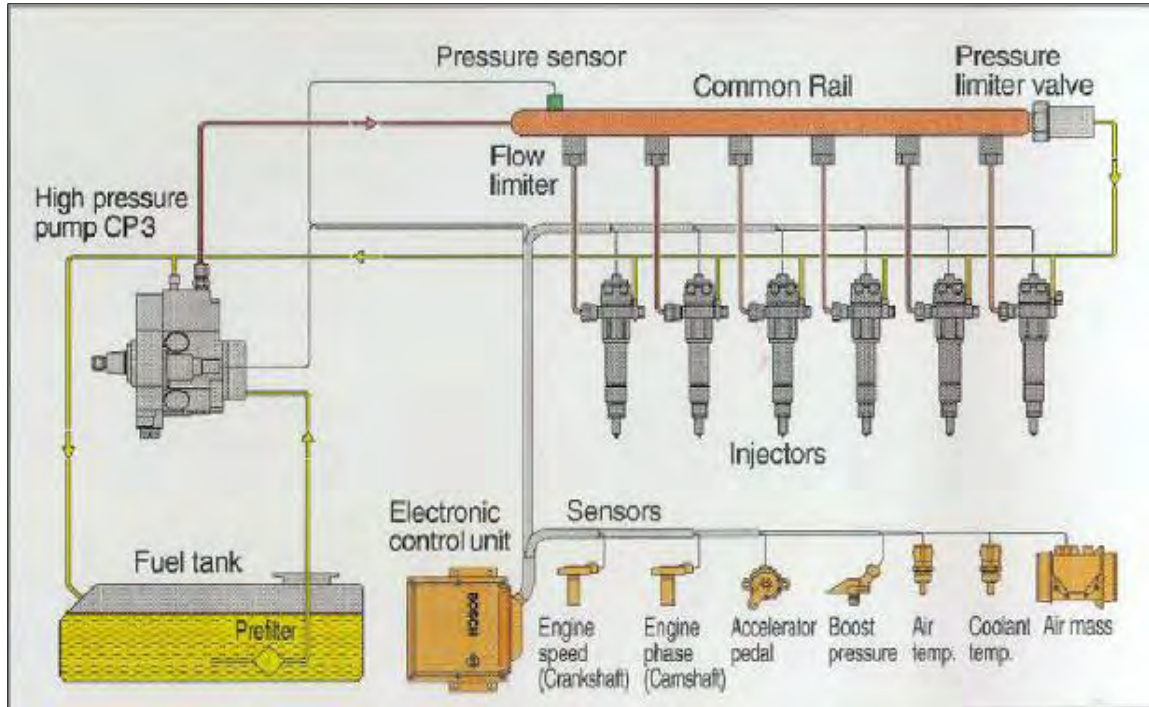
<그림 3-5> 피스톤에 위치한 Bowl과 연료 분사 형상 (6홀 Nozzle)

(나) 고압분사

디젤엔진은 연료가 연소실 내에 분사되어 공기와 혼합된 다음, 압축에 의해 자기 착화하므로 엔진의 성능을 최대한 발휘하게 하고 안정된 운전을 확보하기 위해서는 연료 분사 펌프에 의한 적절한 분사량, 분사 시기에 분사 되어야 하고 분사노즐에 의한 연소에 적합한 분무가 형성되어야 한다.

연료 분사 방법을 변경 하는 것은 NOx와 입자상 물질을 감소시키는 효과적인 방법 중의 하나로 초기의 분사 속도가 빠르면 연료가 급속히 연소하여 연소 온도가 높아지고 따라서 NOx 배출이 증가한다. 분사속도를 점차로 증가시키는 방법은 NOx 배출을 감소시켜 주므로 더 좋은 방법이라 할 수 있다. 또한 분사 종료가 깨끗하게 한 번에 이루어지지 않으면 연료는 구동싸이클에서 늦게 저압으로 분사된다. 이렇게 늦게 저압에서 분사된 연료는 연소가 잘 안되며 입자상물질을 발생시킨다. 반면에 저압 분사를 방지하는 급작스런 분사 중지는 미립자를 상당히 감소시켜 주는 것으로 밝혀졌다.

또한 분사 압력을 높여 분사를 하게 되면 연료가 미립화하여 공기와 더욱 잘 혼합되어 연소가 효율적으로 일어나게 되고, 연소지연시기가 짧아지며 출력이 증가한다. 그러므로 분사압력을 높여 분사시간을 단축하는 방향으로 나아가고 있다. 이러한 고압분사를 위하여 common rail injection, unit injector, pump line nozzle system 등이 사용된다. 이 중 common rail injector는 고압분사(최대 1,600bar)가 가능하며, 엔진속도에 관계없이 분사압력과 분사시기가 조절이 가능하여 emission 저감에 있어서 효과적이라고 할 수 있다. <그림 3-6>은 전자식 고압분사 방식 중 하나인 Common Rail System의 구성도이다.



<그림 3-6> 전자식 고압분사 시스템의 구성도

기존의 기계적 in-line injector는 현재 많은 디젤엔진에 장착되어 있으며 최대 분사압은 약 800bar 정도이고, 이보다 한 단계 진보한 전자제어고압분사 in-line injector는 최대 분사압력이 1,000bar 정도이나 엔진 속도와 분사량에 영향을 받으며 저속이나 저부하에서 분사압을 높이는 어렵다. 반면에 차세대 고압 분사 방식으로 가장 널리 상용되고 있는 common rail injector는 차량 상태를 ECU(Electronic Control Unit)에서 제어하여 분사시기, 분사압력, 분사량을 최적화한 후 common rail injector에서 배송된 연료를 고압의 상태로 저장하는 축압기에서 고압(1,600bar 이상)의 연료를 연소실에 직접 분사하는 방식으로 엔진 속도에 맞게 분사압이나 분사시기를 조정할 수 있으므로 emission 저감면에 효과적이라고 할 수 있다.

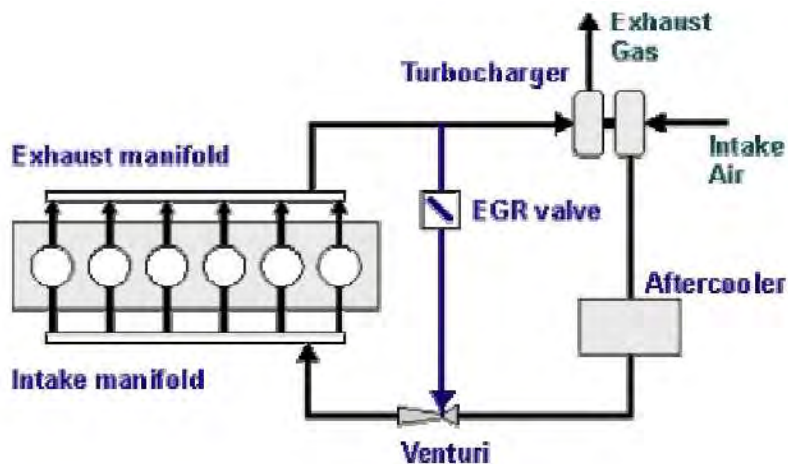
(다) 전자 제어

엔진에 대한 배출가스의 정화, 저연비, 출력향상의 사회적 요구가 점차 높아지면서 디젤용 분사장 치에 있어서도 회전속도에 상응하는 분사량이나 분사시기의 제어뿐만 아니라 회전 속도와 부하에 부합하는 복잡한 패턴 제어를 하기 위해서는 기계적인 제어만으로는 한계가 있어서 전자 제어의 도입이 필요하게 되었다. 자동차용 디젤엔진에 대한 전자제어는 이미 1980년 초에 도입이 시작되었고 그 기능도 점차 확대되어 가는 추세에 있다. 엔진의 모든 운전 조건에서 분사의 시작을 최적에 맞추는 것은 혼합기 형성과 연소를 최적으로 하기 위해 중요한 요구 조건이다. 단편으로 분사의 시작 시기가 늦춰질수록 NOx 양은 줄어드나 HC와 PM은 반대로 증가한다. 이런 점을 볼 때 전자제어는 디젤엔진에 대한 다양한 요구 조건을 충족시키는데 필수 요소로 작용 하고 있다.

(라) EGR(Exhaust Gas Recirculation)

디젤엔진 자체에서 NO_x를 원천 저감하는 방법으로 비교적 저비용과 제어의 용이성이 있는 EGR이 현재까지는 가장 많이 이용되고 있다. 엔진의 중, 저부하에서 배기 재순환(exhaust gas recirculation)을 하는 것으로 배기가스의 일부를 연소실에 순환시켜 연소온도를 낮추어서 NO_x를 저감하는 것이다. EGR의 양이 증가하면 급격히 NO_x의 농도가 감소하는데, 고부하로 될 수록 NO_x 농도의 저감율은 크지만 산소농도의 감소 현상 때문에 출력감소 및 PM의 농도가 현저하게 증가하게 된다.

EGR을 변화에 따른 디젤엔진의 NO_x 배출량에 미치는 영향을 조사한 보고서에 의하면, EGR을 채용하면 연소실에 들어가는 흡입공기의 일부가 낮은 산소농도의 배기가스로 치환되어 연소가스 온도가 낮아지고 연소속도가 늦어져 NO_x 농도가 현저하게 감소되지만, 고부하에 있어서는 출력이 제한되므로 부하에 따라서 순환량을 가감하는 제어기구가 필요하다. <그림 3-7>은 EGR 시스템의 개략도를 나타내며 EGR Valve를 통해 EGR율을 제어한다.



<그림 3-7> EGR 시스템의 개략도

단점으로는 재순환 배기가스 중에 포함되어 있는 카본과 기타성분의 영향에 의해 엔진의 흡기계가 손상을 입고 다량의 침전물이 축적되면 엔진 성능이 저하되고 연소실 부품의 마모를 촉진시킨다는 점이다. 또 재순환 배기가스 중 카본이 윤활유 속에 혼입하여 윤활유를 녹이고 윤활유 중의 마모방지제의 효과를 억제해서 엔진 부식 및 마모를 촉진시키기 때문에 특히 대형엔진에서는 EGR율을 크게 증대시키는 것은 불가능하다. 따라서 미립자의 포집 및 소각 효율이 높고 내구성이 뛰어난 장치를 개발함과 동시에 엔진 부하율 등을 측정하여 재순환 배기가스 양을 필요한 최소한도로 제어할 수 있는 기구의 개발이 필요하다. 또한 NO_x의 저감을 보다 효율적으로 하기 위해서는 급기 냉각장치를 설치하여 재순환배기가스를 냉각하는 Cooled EGR을 개발하는 등 새로운 EGR 시스템의 확립이 필요하다.

(2) 후처리기술(After Treatment Technology)

배기가스 규제가 강화됨에 따라 연소실 형상개선, 분사압력 증가, EGR 등 엔진 내부에서의 유해가스 저감기술만으로는 배기가스 규제 만족하기에 한계가 있어 후처리기술 적용이 불가피해졌다. 디젤엔진의 경우 입자상물질(PM)과 NOx 배출이 많아 이를 저감하는 기술이 우선적으로 필요하며, PM대책으로 매연여과장치(DPF)가 연구되고 있으며, NOx 저감을 위한 여러 장치들이 속속히 개발되어지고 있다.

디젤 후처리장치에는 디젤산화촉매(DOC; Diesel Oxidation Catalyst), 매연여과장치(DPF; Diesel Particulate Filter), SCR(Selective Catalytic Reduction; 주로 요소를 사용한 DeNOx 장치를 칭하며 이를 Urea SCR이라고 부름), LNT(Lean NOx Trap) 등이 있으며 그 외에 디젤연료를 환원제로 사용하는 HC-SCR이 있다.

후처리장치는 엔진에서 배출되는 오염물질을 줄이는 장치이므로 엔진에서 어떤 물질이 배출되는냐에 따라 다른 특성이 요구된다. 기존의 엔진에서 배출되는 입자상물질은 육안으로 확인이 가능하고 인간의 폐에 직접적인 영향을 주는 것으로 알려져 일찍부터 관심의 대상이 되었으며, Tier-4 규제값에 대응하기 위해서는 필수적으로 DPF를 장착되어야 할 것이다.

이에 비해 눈에는 보이지 않지만 오존생성이나 산성비에 영향을 미치는 NOx를 저감하는 기술은 점차 디젤엔진에서 가장 중요한 기술로 여겨지고 있으며, NOx를 저감시키는 동시에 NOx와 Trade-off관계에 있는 연비의 악화를 방지하기 위해 전 세계적으로 많은 관심과 노력을 더하고 있다.

(가) DOC(Diesel Oxidation Catalyst)

최근에는 엔진실린더 내 연소 온도와 연소 후 온도를 낮추어 NOx를 줄이려는 움직임이 활발하다. HCCI(Homogeneous Charge Compression Ignition) 또는 PCCI(Premixed Charge Compression Ignition)이라 불리는 연소방식은 연료를 미리 공기와 혼합시키고 자연발화시키는 방식으로 부하가 낮은 경우에 적용할 수 있으며, 실린더 내의 온도가 낮아 NOx 발생량이 적다. 그러나 이 방식은 연비가 나빠지고 HC와 CO의 발생이 많아질 수 있으므로 이를 저감할 수 있는 DOC의 개발이 필수적이다.



<그림 3-8> 산화촉매제(DOC)와 원리

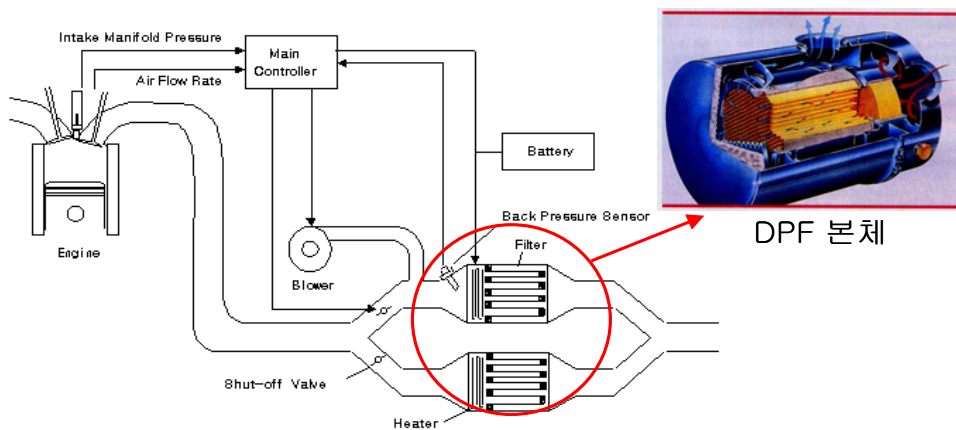
DOC는 주로 HC와 CO를 산화시키는 역할을 하며, NO_x를 NO₂로 산화시켜 DPF에서의 Soot 산화에 이용하거나 Urea SCR의 효율을 높이는 NO/NO₂비율을 만들기 위해 사용한다. 저온에서의 활성이 중요하여 주로 백금촉매를 사용하였으나 최근 가격이 급상승하여 Pd로 대체하고 있다. 연료에 황이 있는 경우 Sulfate가 생성되어 입자상물질이 증가할 수 있으므로 황 함유율이 낮은 연료를 사용하여야 한다.

(나) DPF(Diesel Particulate Filter)

디젤 배기가스의 PM성분은 크게 Soot, Soluble Organic Fraction(SOF), Sulfate 로 구성되며, 일반적으로 검은 매연은 Soot 성분을 의미한다. 디젤 배기가스 후처리장치의 대표적인 DPF를 사용하면 정화율이 85%이상으로 매우 우수한 반면, 엔진연비가 저하되고, 포집된 PM을 재생해야하는 기술이 필요하다. 재생기술로써는 Electrical Heat, Burner 등을 이용한 강제 재생방식과 플라즈마 등의 보조 장치를 이용한 자연재생 방법이 있으나 내구성, 경제성, 엔진 효율 등의 문제를 최소화하는 기술이 필요하게 된다.

매연여과장치(DPF)는 디젤엔진에서 배출되는 입자상물질(PM)을 필터로 포집한 후 이것을 태우고(재생), 다시 PM을 포집하여 계속적으로 사용하는 기술로 PM을 80%이상 저감할 수 있는 장치이다. DPF 장치는 가격이 높고 내구성 측면에서 약간의 단점을 가지고 있다. 하지만, 매연저감 성능 면에서 아주 우수한 장점을 가지고 있어 날로 강화되고 있는 환경규제와 치열해지고 있는 세계 경쟁시장에서 살아남기 위해 꼭 필요한 핵심기술이라고 할 수 있다.

DPF 기술은 크게 PM 포집(trapping)기술과 재생(regeneration) 기술로 나누어지며 시스템은 기본적으로 필터, 재생장치, 제어장치의 3부분으로 구성되어 있다. 개략적인 구조도는 <그림 3-9>과 같다.



<그림 3-9> 매연여과장치(DPF) 시스템 개략도

DPF의 여과장치 원리는 좁은 유로를 벌집모양으로 배치하고 입, 출구를 교대로 막아 유동이 유

로 사이사이를 오가는 동안 입자가 포집되는 방식이다. 이러한 방식은 포집효율이 높고 가격이 싼 반면 파손에 의한 고장 발생가능성 및 높은 배기 배압을 형성함으로 엔진 효율 저감을 야기할 수 있다는 단점을 가진다. 필터 재질로는 세라믹 파이버, 금속필터 등이 있다.

DPF 장치는 필터 내 PM 축적 문제에 따른 배압 증가 및 이로 인한 엔진 효율 감소 등의 문제로 주기적인 재생을 통해 필터 내 PM을 제거해주어야 하는 난제가 있다. 여과장치는 공기 및 열을 가하여 재생하며, 재생방법에는 외부열원을 이용한 전기히터 방식, 디젤버너를 통한 재생, 연료첨가제 방식, 촉매코팅 방식 등이 있다. <표 3-4>에 여과장치의 재생방법 종류와 그 특성에 대해 간략히 설명하였다.

<표 3-4> DPF 재생 방식의 종류

여과장치 재생방법	내용 및 특징
전기히터 방식	전기히터에 의한 외부열원을 통해 재생.
버너재생 방식	퇴적량이 일정량을 넘어서면 디젤버너를 구동시켜 PM을 태우는 방식으로 장치구조가 간단하나 엔진의 다양한 운전 상태에 대응하는 정교한 제어가 어려움.
연료첨가제 방식	연료에 입자상물질의 산화를 촉진하는 첨가제를 주입하여 배기가스의 온도만으로 반응을 일으키게 하여 여과기를 재생하는 방식으로 구조가 간단하고 가격이 저렴하나 첨가제에 의한 2차오염이 문제가 됨.
촉매코팅 방식	필터 내에 촉매를 입혀 PM의 산화를 촉진하는 방식으로 매우 가능성이 높은 것으로 평가되나 연료의 황 성분 제거가 문제가 됨.

(다) SCR(Selective Catalyst Reduction)

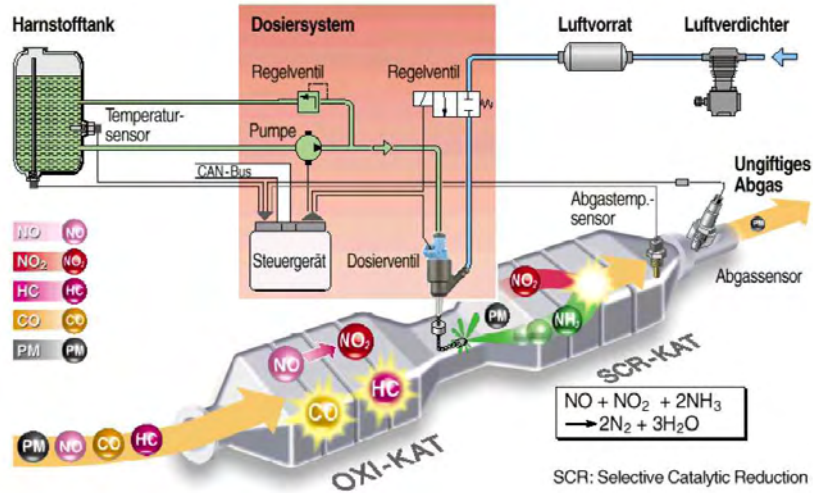
SCR시스템은 NOx 제어를 위해 연속적으로 작용하는 배기가스 처리시스템으로 NOx 저감을 위한 다양한 기술들이 최근 활발히 연구되고 있으며 NOx 저감효율이 가장 높은 기술로써 현재 상용화 또는 준비 중에 있다. 크게 암모니아를 환원촉매로 사용하는 Urea-SCR과 디젤연료를 환원제로 사용하는 HC-SCR로 두 종류가 있다.

Urea-SCR의 원리는 NOx가 촉매에 도달하기 전에 배기가스에 첨가되는 암모니아를 이용하여 NOx를 저감시킨다. 이때 암모니아는 순수한 형태가 아닌 요소액(Urea Solution)의 형태로 첨가된다. 하지만, Urea-SCR 시스템은 비교적 높은 효율에도 불구하고 많은 문제점을 지니고 있다. 요소의 사용에 대한 전략의 문제가 그것이다. 한 가지 방안으로 비교적 적은 양을 차량에 준비하고 지속적인 공급에 대한 책임을 맡기는 것으로 운전자는 일정한 주기마다 요소를 충전해야 한다. 또 다른 방안으로는 비교적 긴 주기동안 지속할 수 있는 충분한 양의 요소를 준비하는 것이지만 여전히

문제점을 내포하고 있다.

전자의 방안에도 내포하고 있는 문제점으로 요소의 보급이 그것이다. 이 반응된 암모니아는 유독 물질로 대기유출로 인한 2차 오염 유발의 가능성 또한 내포하고 있어 전반적으로 Urea-SCR 시스템보다 효율이 상대적으로 높고 피독된 촉매의 재생이 용이한 HC-SCR 기술 개발에 관심이 모아질 것으로 판단된다.

<그림 3-10>은 Urea Dosing System이 포함된 Urea-SCR의 개략도를 나타낸다.



<그림 3-10> Urea Dosing System이 포함된 Urea-SCR의 개략도

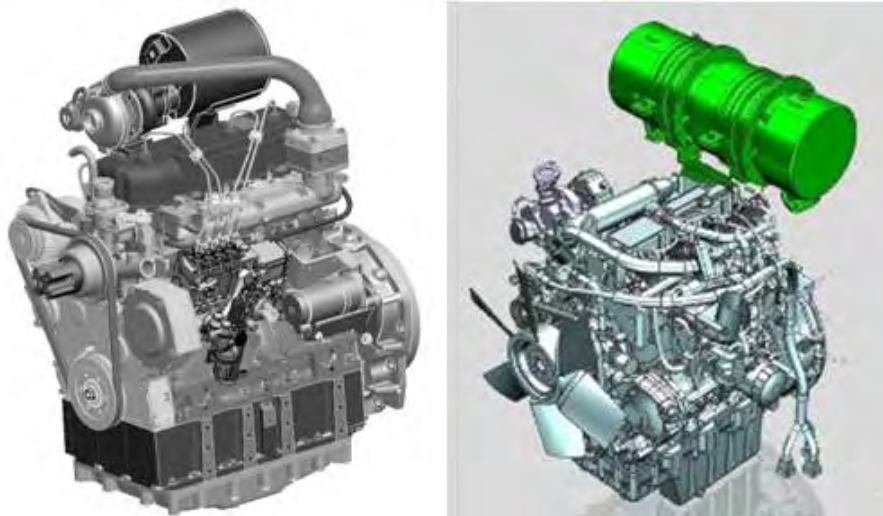
Urea-SCR의 경우 NOx 저감율은 90% 이상으로 상당히 효율적이거나 주로 공장에 사용되며, 산업용 대형엔진에 사용되기도 하나 자동차에 실용화하기에는 별도의 암모니아 공급장치와 장치규모 등의 측면이 어려움이 많다. 최근에는 장치구조의 소형화와 Reducing Agent를 Urea로 사용하는 SCR 촉매가 실용화에 접근하고 있어 더욱 지켜봐야 할 시스템이다.

2. 트랙터의 운전패턴 분석

연구 개발 과제 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술” 개발을 위하여 구매 진행 중인 MHI社의 K42엔진 입고 전에 운전 패턴에 따른 배기 후처리 경향을 파악하고자 현재 국제종합기계(주)에서 양산중인 3.4리터급 기계식 디젤 DI 엔진으로 시험을 진행하였다. 본 시험에 사용된 엔진은 국제 종합 기계의 차량(865콤바인, 7505트랙터)에 탑재되어 국내에만 판매되고 있으며 내부 EGR을 적용한 수출사양의 경우 배기가스 규제치는 Tier-3을 만족시키는 정도로 <표 3-5>과 같이 구입하고자 하는 배기가스 규제치를 제외하고는 K42엔진과 비슷한 사양이다. <그림 3-11>은 국제종합기계(주)의 D3400T엔진과 MHI社의 K42엔진의 외형도를 나타낸다.

<표 3-5> 엔진 사양 비교

사 양	Unit	D3400T	K42
제조사		KMC	MHI
배기량	cc	3,409	3,331
Bore × Stroke	mm	98 × 113	94 × 120
실린더수	기통	4	4
Gross 출력	HP	82	99
정격 RPM	rpm	2,500	2,400
Turbo 유/무		Turbo	Turbo
Fuel System		Mechanical	CRDI
Emission 규제 만족		Tier-3	Tier-4



<그림 3-11> KMC의 D3400T엔진과 MHI社 K42 엔진의 외형도

3.4L엔진에 배기가스 저감 핵심 기술인 Cooled-EGR과 후처리 장치(DPF+DOC)를 적용하였을 경우 Tier-4 Interim을 만족시킬 수 있으며, 구입 하고자하는 K42 엔진으로 시험하기 전에 유사한 조건에서 어떤 결과를 도출하는지 시험을 통하여 예측 하고자 했다. 또한 트랙터 운전 패턴 시험은 장비 입고 후에 진행할 예정이나 우선 대략적인 운전 패턴 경향을 파악하기 위해 국제에 보유하고 있는 장비로 1차 트랙터 주행 시 배기온도 평가 시험과 트랙터 작업에 가장 많이 사용되는 로터리 작업 시의 배기온도 변화와 로터리 작업에 따른 엔진 부하율 확인 시험을 진행 하였다.

본 연구 과제 수행을 위해 크게 두 가지로 시험을 수행하였다. 첫 째로 트랙터 운전패턴 분석을 위해 국제 종합 기계(주)에서 양산하고 있는 트랙터(7505) 상태에서 작업기(로터리)를 부착하여 작업 시 실시간으로 엔진의 부하량과 배기온도, 압력 변화 등을 측정 하였고, 둘째로 기존에 국제 종합 기계(주)에서 양산되고 있는 디젤엔진(모델명:D3400T-ATC)에 NO_x 및 PM의 경향 파악을 위해 외부 EGR 및 후처리 장치(DPF+DOC)를 장착하여 배기가스 저감 효과를 확인하였다.

가. 트랙터 주행 및 작업에 따른 배기가스 및 작업 부하 측정

(1) 트랙터의 운전 패턴 분석 평가 시험

트랙터의 운전 패턴 분석은 차량의 주행 시나 작업 시의 배기 온도 분포와 부하량을 파악하여 후처리 장치 개발 시 Passive 혹은 Active type의 적용을 선택하거나 엔진 운전 조건에 따른 EGR을 설정의 기초 자료로 사용되며 엔진 단독으로 동력계에서 후처리장치와 EGR의 내구나 성능시험에 적용될 운전 모드 설정 시에 필요하다. 차량 시험에 사용된 트랙터는 국제종합기계(주)에서 양산중인 7505 트랙터를 사용 하였고 기본적인 사양은 <표 3-6>과 같다. <그림 3-12>는 실제 시험에 사용한 트랙터와 작업기 및 시험 장치 구성을 나타낸다.

<표 3-6> 시험 장치 구성 및 제원

사 양		7505 트랙터
트랜스미션	변속단수	전진12 / 후진12
PTO	출력	65 HP
	회전수	540 rpm
기체크기(L× W× H)		4300× 1970× 2690
중 량		3,740 kg
엔진	탑재엔진	3.4L(4기통) 수냉식 T/C
	출력	82 HP
	연소방식	직접분사식
	Valve Type	4valve, OHV



<그림 3-12> 트랙터 작업기 시험 장치 구성



<그림 3-13> 시험용 계측장비



트랙터 운전 패턴 시험을 진행하기 위해 <그림 3-12>와 같이 7505 트랙터의 PTO(Power-Take Off)와 로터리 구동 조인트 축에 Torque-meter를 부착 하였고 엔진의 고압 파이프에 디지털 RPM 측정 장비를 부착하여 RPM 변화의 신뢰성을 확보 하였다. 그리고 배기가스의 온도경향을 확인하기 위해 배기 매니폴더에 1개소와 터보 차저 후단에 Tail pipe의 거리에 따른 배기가스 온도 변화를 측정하기 위해 배기 파이프에 100mm 간격으로 Thermo-couple을 9개소 부착하였다. 트랙터에 작업을 장착하여 시험을 할 때에는 <그림 3-14>와 같이 여러 종류의 작업기 중 가장 많이 사용하는 로터리를 장착하여 작업별 부하 및 배기 온도를 측정하였다. <그림 3-13>은 시험 시 사용된 계측장비에 대해 각각 보여주고 있다.



<그림 3-14> 트랙터 작업기 종류

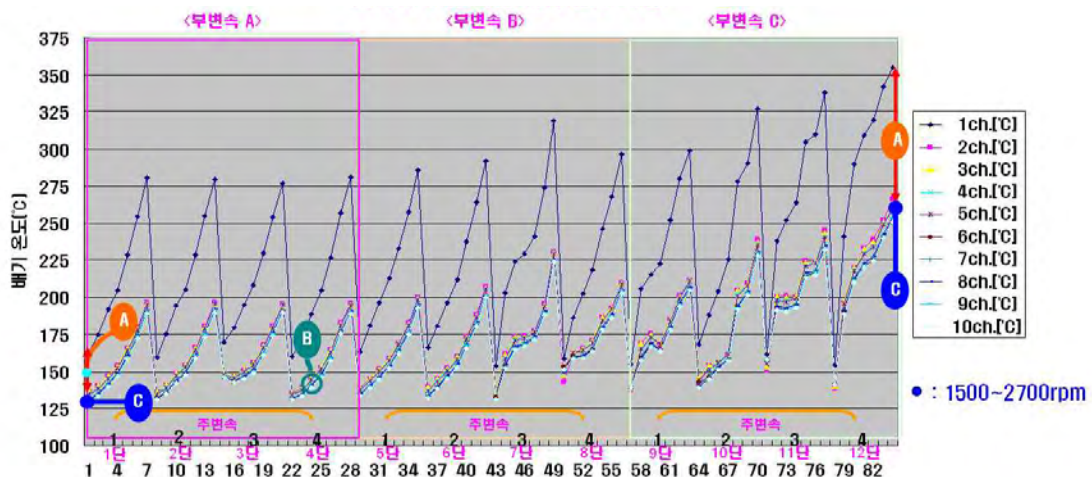
시험은 작업기를 부착한 상태에서 주행시험과 작업기 부하 측정의 두 가지로 실시하였다. <표 3-7>은 주행시험 및 작업기 부하 측정 시험에 대한 조건을 보여준다.

<표 3-7> 시험 종류 및 조건

시험종류	작업 단수	측정 항목 및 측정 개소	데이터 저장	
주행시험	총 12단	총 12단 각각에 대하여 1,500rpm ~ 2,700rpm까지 200rpm 단위로 배기온도 측정(10개소:배기매니폴드(1개소), 터보후단 1m 파이프에 10cm 간격(9개소)) 	1. 배기온도 - 각 RPM에서 2분간 주행 후 1분간 20초 단위로 배기온도 측정.	
	부변속			주변속
	A			1
	B			2
	C			3
작업기 (로터리) 부착시험	총 3단	총 3단 각각에 대하여 1,500rpm ~ 2,500rpm 까지 200rpm 단위로 배기온도 및 작업 부하 측정 	1. 배기온도 - 각 RPM에서 2분간 주행 후 1분간 20초 단위로 배기온도 측정. 2. 작업부하 - Torque는 2분 작업 후 1분간 1초 단위로 측정.	
	부변속			주변속
	A			3
	A			4
	B			1

(가) 트랙터 주행 및 로터리 작업 시 배기온도 변화 경향 평가 시험

<그림 3-15>는 <표 3-7>과 같은 시험조건 하에서 실제 도로 주행 시의 트랙터의 배기온도 변화를 측정된 데이터이다.



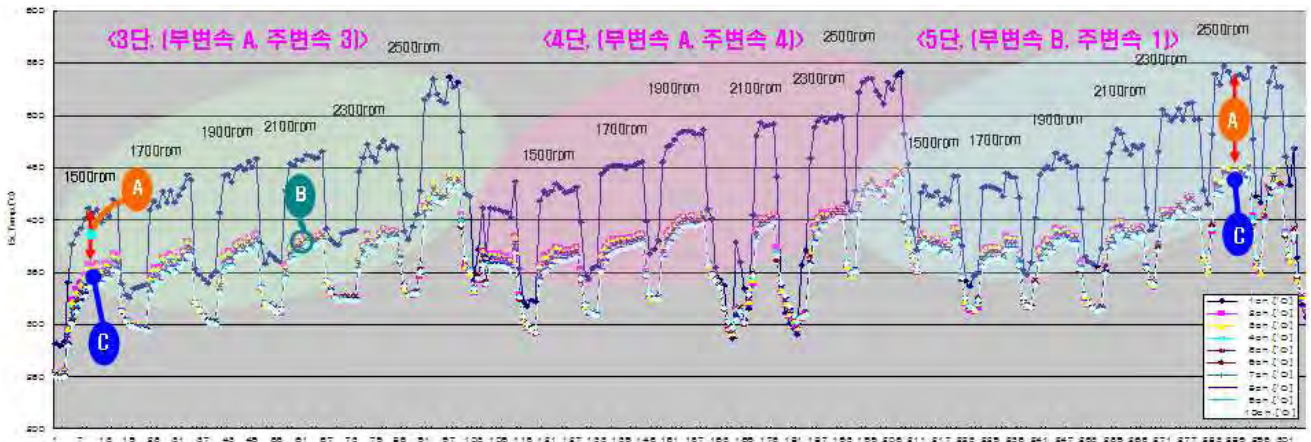
<그림 3-15> 트랙터 도로 주행 시 배기온도 측정 데이터

시험결과 배기파이프 전체 구간에서 배기 온도의 하강은 7℃(<그림 3-15>의 “B”구간)정도로 매우 작은 것으로 나타났다.

1ch[℃]에서 확보된 배기온도는 터보 차저 전단에서의 배기 온도이고, 2ch[℃]부터 10ch[℃]까지는 터보 차저를 지난 뒤 배기파이프에서 일정 간격(100mm)으로 측정된 데이터로써, 터보 차저 전·후단에서 최소 26℃에서 최대 89℃(<그림 3-15>의 “A”구간)까지 배기온도가 하강하는 것을 볼 수 있다. 배기가스의 온도는 터보 차저를 지나면서 급속하게 하강하는 것을 알 수 있는데 이는 배기가스가 터보 차저를 지나는 동안 터빈을 회전시키면서 열에너지가 운동에너지로 소실된 결과이다.

2ch[℃]이후부터 10ch[℃]까지 배기파이프를 지나 대기로 방출되는 동안의 배기온도변화는 각 Channel 간 온도 변화가 평균 7℃정도 하강되는 경향을 보였다. 주행 시험 결과 배기파이프 내 배기온도의 분포는 최소 130℃에서 최대 266℃(<그림 3-15>의 “C”구간)를 보여주는데, 이는 일정 구간 300℃이상 유지되어야 가능한 Passive 방식을 적용하기에는 배기온도가 낮은 것을 보여준다.

<그림 3-16>은 트랙터에 로터리를 부착하여 트랜스미션을 <표 3-7>과 같이 변속하여 각 엔진 RPM별 온도 변화를 측정된 데이터이다.



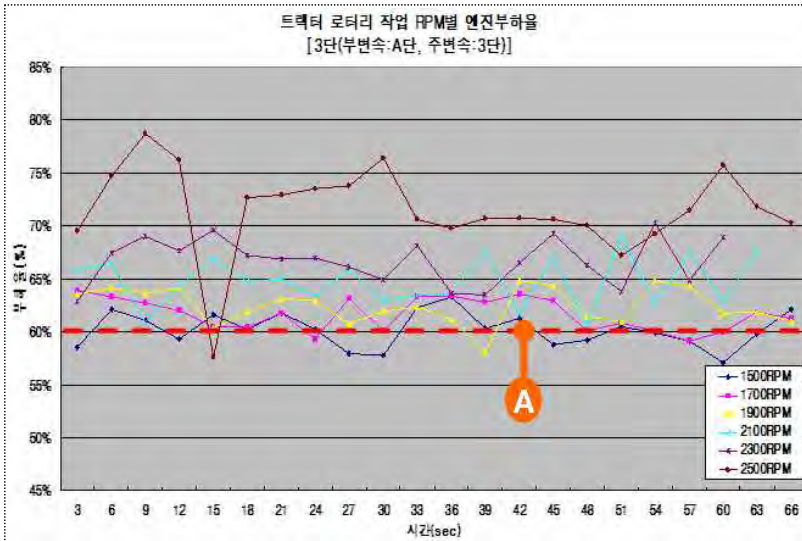
<그림 3-16> 트랙터 로터리 작업시 부하별 배기온도 측정 데이터

시험결과 배기 파이프 전체 구간에 있어서 배기 온도의 하강은 10℃(<그림 3-16>의 “B”구간)정도로 매우 작은 것으로 나타났다.

로터리 작업시에도 터보 차저 전·후단(1ch[℃]에서 2ch[℃] 구간)에서 최소 50℃에서 최대 95℃(<그림 3-16>의 “A”구간)까지 배기온도가 하강하는 것을 볼 수 있으며, 2ch[℃]이후부터 10ch[℃]까지 각 Channel 간의 배기온도의 하강은 평균 9℃임을 확인할 수 있다. 그리고 트랜스미션 변속단 수 증가와 엔진 RPM이 증가할수록 배기온도가 상승되는 경향을 보여준다. 배기파이프 내 배기온도 분포는 트랜스미션의 3단상태의 1500RPM에서 최소 247℃, 5단 2500RPM에서 최대 455℃의 온도분포(<그림 3-16>의 “C”구간)를 보여준다. 일반적으로 로터리 작업시에는 배기온도가 300℃보다 높게 측정되었지만, Field에서 로터리 작업 특성에 따라 그 영역이 매우 한정될 수 있으므로 PM을 88%이상 저감시키기 위해서는 재생효율 측면에서 유리한 Active Type의 DPF의 적용의 검토가 필요할 것으로 생각된다.

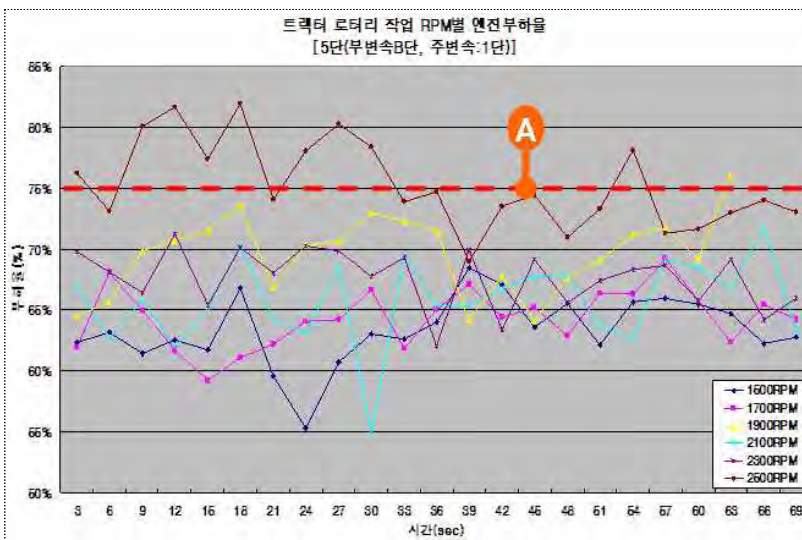
(나) 트랙터 로터리 작업 시 엔진 부하율 경향 평가 시험

작업기(로터리)를 장착하여 시험 시 Field 작업 환경에서 사용 빈도가 높은 작업 단수에서의 엔진 RPM 별로 작업기의 부하량을 측정하여 엔진의 부하량으로 환산하였다. 시험 조건은 <표 3-7>과 같이 작업단수를 3단(A-3단), 4단(A-4단), 5단(B-1단)으로 변속하여 로터리 작업을 실시하였고, 각각의 대하여 RPM을 변경하여 부하량을 측정하였다.



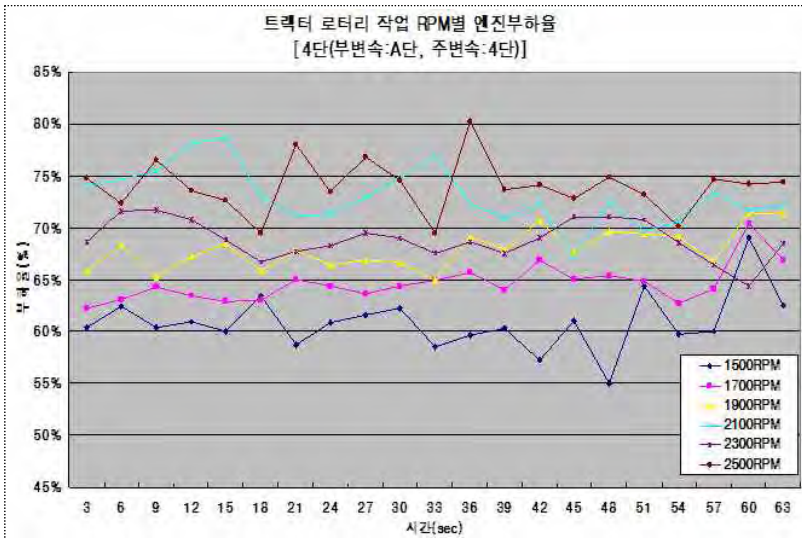
<그림 3-17> 작업 단수 3단에서의 RPM 별 부하율

작업 단수는 3단(부변속 A, 주변속 3)에서 로터리 작업 시 받는 부하량을 평균하여 엔진 토크로 환산하면 1,500rpm에서 18.9kg·m 이고, 이를 엔진에서 낼 수 있는 토크량은 31.6kg·m으로 이를 비교하면 부하율은 60%로 <그림 3-17>의 A지점에서 나타내었다.



<그림 3-18> 작업 단수 5단에서의 RPM 별 부하율

작업 단수는 5단(부변속 B, 주변속 1)에서 로터리 작업 시 받는 부하량을 평균하여 엔진 토크로 환산하면 2,500rpm에서 17.6kg·m 이고, 이를 엔진에서 낼 수 있는 토크량은 23.5kg·m으로 이를 비교하면 부하율은 75%로 <그림 3-18>의 A지점에서 나타내었다.



트랙터 작업시 작업기(로터리)의 부하량은 엔진에서 낼 수 있는 부하량에 최소 60%(3단)에서 최대 75%(5단)수준으로 나타났다.

<그림 3-19> 작업 단수 4단에서 RPM 별 부하율

작업기(로터리)를 장착하고 시험한 결과의 그래프에서 알 수 있듯이 작업기 작업시의 엔진에 걸리는 부하량은 대략 60~75%수준이며 고 RPM, 고 단수에서 더 큰 부하가 발생하는 것을 알 수 있다.

(다) 트랙터의 운전 패턴 분석 시험 결과

트랙터 주행 시의 배기온도는 130℃에서 최대 270℃까지 분포되며 Passive Type의 DPF 장착하여 자연재생에는 어려움이 있을 것으로 판단되며, 배기온도를 승온(昇溫)시키기 위한 별도의 장치가 필요할 것이다.

<표 3-8> 트랙터 주행 및 작업기 장착 시험 결과

시험 항목	시험조건	배기파이프 내의 평균 온도[℃]	엔진 출력 대비 PTO축에서 받는 평균 부하율[%]
주행 시험	작업 단수 및 rpm 변경	130 ~ 266	-
작업기 장착 시험		321 ~ 442	60 ~ 75

<표 3-9> 트랙터 시험 상세 데이터

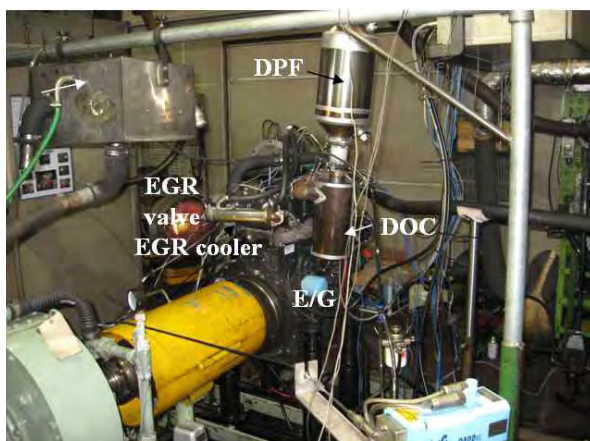
항목	작업단수			엔진 회전수 [rpm]	평균 배기 온도 [°C]			PTO에서 받는 평균 부하율 [%]	평균 부하량 [kg · m] <PTO 부하를 엔진 부하로 환산>	엔진의 최대 부하량 [kg · m]
	변속 단수	부변속	주변속		1ch	2ch	10ch			
트랙터 주행시험	1단	A	1	1,500	163	137	130			
				2,700	281	196	190			
	12단	C	4	1,500	175	138	136			
				2,700	355	266	251			
작업기 장착시험	3단	A	3	1,500	387	337	321	60	18.9	31.6
				2,500	524	432	421	72	16.9	23.5
	5단	B	1	1,500	416	359	347	63	19.9	31.6
				2,500	537	442	433	75	17.9	23.5

※ 트랙터 작업기 장착 시의 배기파이프 내 평균 배기온도는 최소 321°C에서 최대 442°C의 분포를 가지며, 평균적으로 300°C 이상이 되지만, Field에서 로터리 작업 특성에 따라 온도 편차가 매우 크게 나타날 것으로 예상되고 있어 Passive Type의 DPF를 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

본 시험은 국제에서 양산 중인 3.4L 엔진이 탑재된 트랙터로 시험한 결과로써 추가적으로는 실질적으로 Field에서 이루어지는 작업 조건을 바탕으로 시험을 하여 엔진 Test Bench Mode를 생성하고, 추후에는 K42 엔진으로 시험 시 적용하여야 한다.

(2) EGR 및 배기후처리 적용에 따른 엔진 단독 평가 시험

배기가스 저감을 위해 외부 EGR 시스템 및 DPF를 장착하여 엔진 단독 평가 시험을 하였으며, 이를 통해 EGR의 적용성 파악하고 NOx 및 PM 저감 효과를 검토하였다. 시험 장비는 <그림 3-20>과 같이 구성하였다.

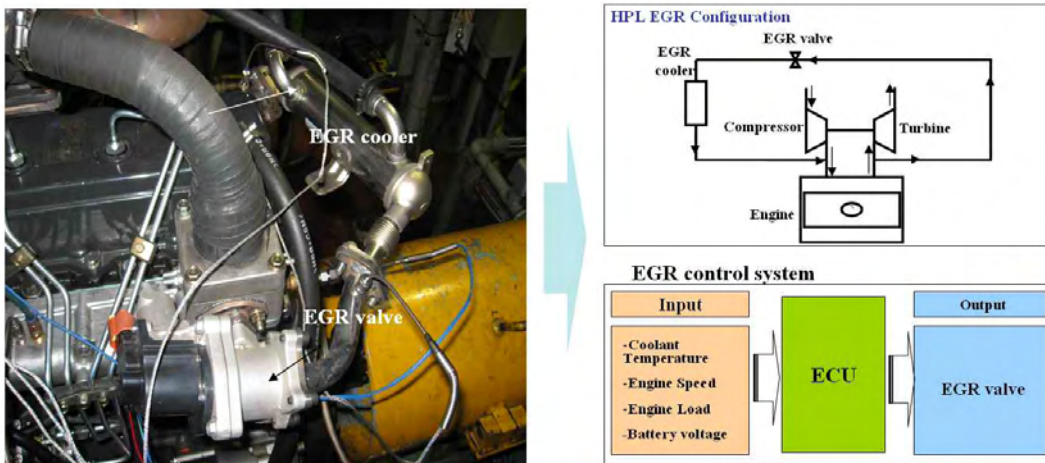


<그림 3-20> 시험 장비 구성 계략도

시험 장비 구성은 터보차저 후단에 DOC/DPF를 장착하였다. 외부 EGR System으로 EGR 밸브 및 쿨러를 장착하였다. 본 실험에 적용되는 EGR방식은 HPL방식으로 터보차저 후단의 배기가스 일부를 EGR 밸브 콘트롤을 통해 흡기매니폴드로 공급하는 것이다. EGR 밸브는 냉각수온, 기관회전수 및 부하, 배터리 공급전원이 ECU로 입력되어 해당 파라미터 변화에 따른 duty에 의해 제어된다.

(가) EGR 장착시 엔진 시험 평가

EGR 장착된 상태에서 엔진 시험 평가시 System은 <그림 3-21>과 같이 구성되었다.



<그림 3-21> EGR System 구성도

시험 구성과 같은 조건에서 EGR 적용시 엔진에 미치는 영향을 우선 평가하였다. 여기서 EGR율은 <식 3-1>과 같이 배기, 흡기, 대기 중 CO2농도로 계산된다.

$$EGR_{rate} = \frac{CO_{2[In]} - CO_{2[atm]}}{CO_{2[Ex]} - CO_{2[atm]}} \quad \text{<식 3-1>}$$

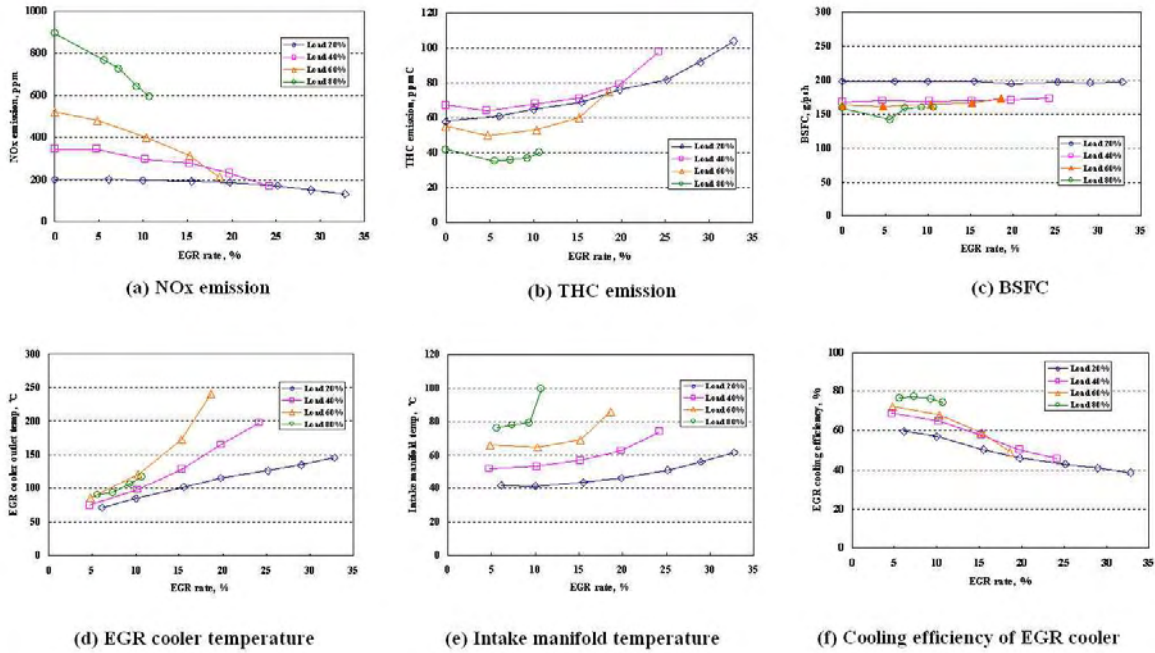
Here,

$CO_{2[ex]}$: CO2 concentration of exhaust

$CO_{2[in]}$: CO2 concentration of intake

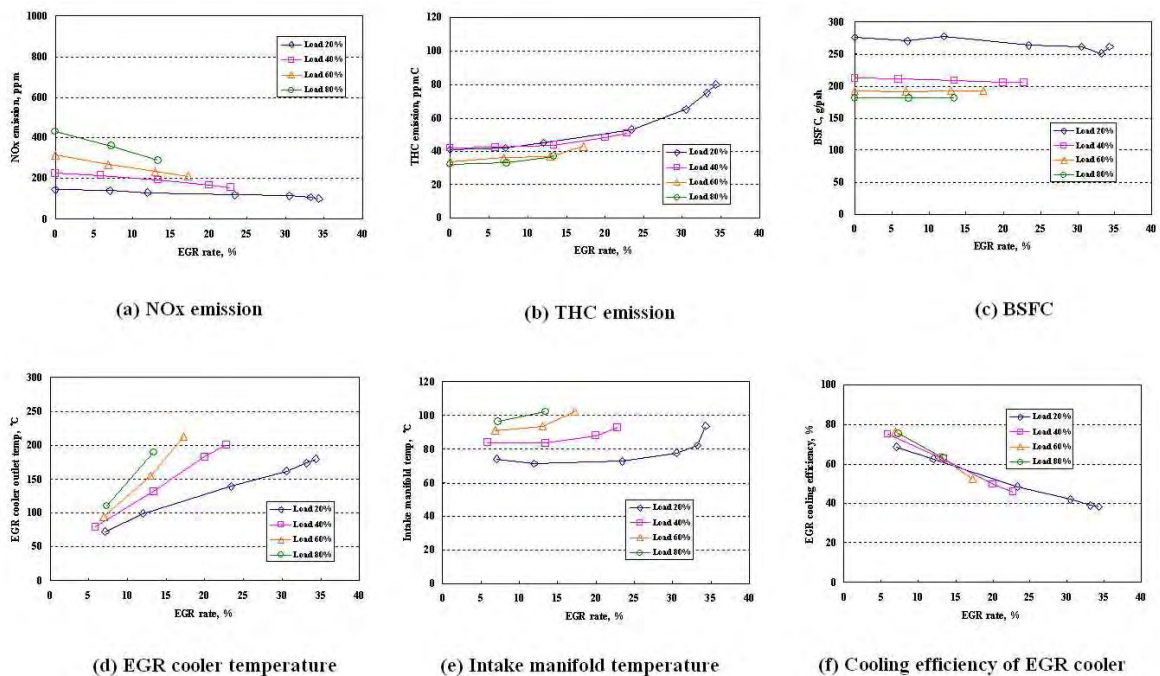
$CO_{2[atm]}$: CO2 concentration of atmosphere

시험 조건은 1,300rpm에서 2,300rpm 까지 부하율을 20%에서 100%까지 20%씩 증가하여 EGR 운전영역을 확인하였다. <그림 3-22>는 1,400rpm에서, <그림 3-23>은 2,300rpm에서의 시험결과를 각각 보여주고 있다.



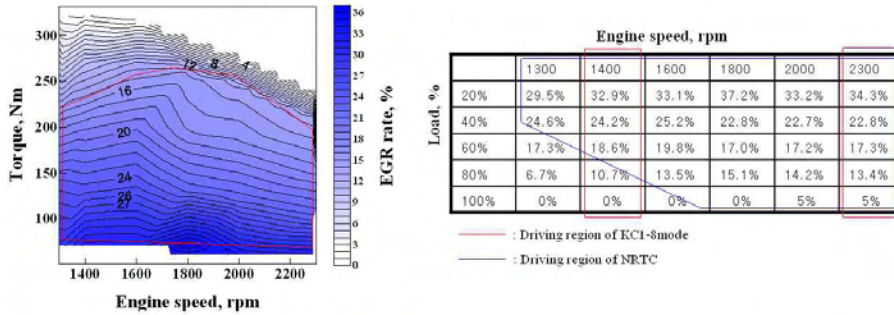
<그림 3-22> 1,400rpm에서 EGR 작동시 엔진 특성 비교

<그림 3-22>는 배기수준을 판단하는 KC1-8모드 영역에 해당되는 1,400rpm에서 EGR율을 증가시킨 경우 엔진특성을 나타낸다. 시험 결과 NOx는 EGR율 증가에 따라 감소되는 반면 THC는 증가하는 경향을 보인다. BSFC의 경우 감소한 후 증가하는 경향을 나타내나 그 증가량은 미미한 것을 보인다. 또한 EGR율 증가에 따른 배기유량의 증가로 쿨러 및 흡기매니폴드의 온도는 증가한다. 특히 EGR 밸브가 작동될 수 있는 최대온도는 250도로 약 200도가 넘는 경우는 EGR이 불가능할 것이며 이로 인해 EGR율의 한계선도 영향을 받게 된다.



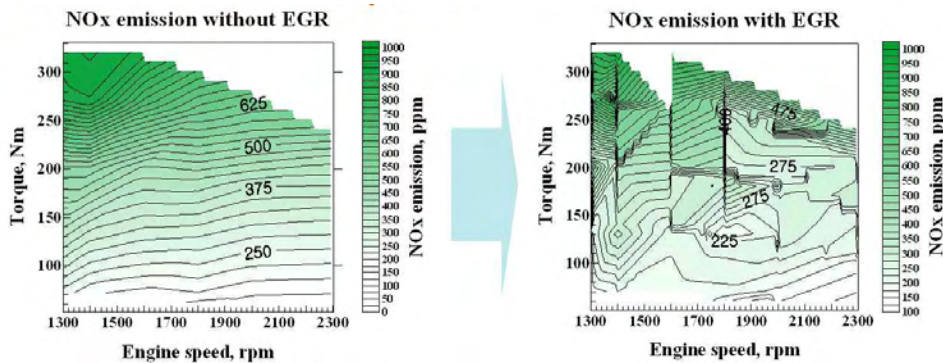
<그림 3-23> 2,300rpm에서 EGR 작동시 엔진 특성 비교

2,300rpm의 경우도 1,400rpm과 유사한 결과 값을 보인다. NOx의 경우 EGR을 증가에 따라 감소되나 1400rpm에 비해 저감율은 감소한다. 따라서 EGR은 기관회전수가 낮은 영역에서 EGR을 증가시켜 NOx 저감효율을 향상시켜야 되는 것으로 판단된다. 또한 배기유량 증가로 인해 약간의 EGR을 하더라도 EGR밸브작동에 영향을 미치는 온도가 상승되어 고 기관회전수에서 적용할 수 있는 EGR율이 감소되는 것을 알 수 있다.



<그림 3-24> EGR 운전 영역 분포도

<그림 3-24>는 각각의 rpm 및 부하에서 최대 EGR율을 나타낸다. 상기의 EGR율은 흡배기의 압력, EGR 밸브의 작동에 영향을 끼치는 온도를 감안하여 결정된 것으로 전체적으로 저부하영역의 경우 적용 가능한 EGR율은 30%이상이며 부하가 증가함에 따라 적용 가능한 EGR율은 감소되는 것을 알 수 있다.



<그림 3-25> EGR 적용 전후 NOx 저감 효과 분포도

<그림 3-25>는 EGR적용 유·무에 따라 EGR 적용시 EGR율에 따른 NOx저감은 중·저 부하 영역에서 뚜렷한 것을 알 수 있으며 추후 저감율 향상을 위해 각 영역에 대해 EGR을 증감에 대한 검토가 필요하다.

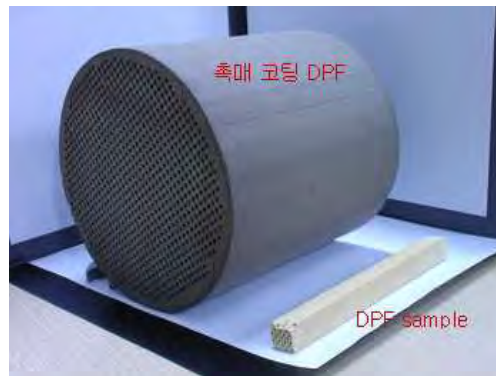
(나) 배기 후처리 적용 시 엔진 시험 평가

배기후처리 적용 시 엔진 특성 평가는 <그림 3-26>과 같이 배기후처리 장치로 DOC(산화촉매제)와 DPF(매연여과장치)를 적용하여 시험 평가하였다. <그림 3-27>은 본 시험에 사용한 DOC의 외부 형상과 촉매를 나타내며, 일반적으로 DOC는 배기량을 1배 이하로 선정하고 PM저감 목표는 50%이상으로 한다. 본 시험에 사용한 DOC는 체적 2.7L로 내경 57.3mm, 외경 125mm 이다.

<그림 3-27>은 DPF 촉매형상으로 일반적으로 배기량의 1.5~2배로 선정하고 PM저감 목표는 90%이상이며, 본 시험에 사용한 DPF는 5.7L로 직경 750mm, 길이 800mm이다.



<그림 3-26> DOC 외형 형상과 촉매



<그림 3-27> DPF 촉매 형상

DOC와 DPF를 장착 전·후의 KC1-8Mode Emission 시험한 결과는 <표 3-10>과 같다.

<표 3-10> 배기후처리 장착 전·후의 KC1-8 Mode 시험 결과

구분	THC+NOx (g/kWh)		CO (g/kWh)	PM (g/kWh)	Max. Power (HP)
Tier-3	4.7		5.0	0.4	
Tier-4 Interim	NMHC	NOx			
	0.19	3.4	5.0	0.02	
장착 전	0.1813	4.634	1.083	0.296	79.24
장착 후	0.0055 (-97.0%)	4.589 (-0.01%)	0.0513 (-95.3%)	0.00 (-100%)	77.22 (-2.5%)

배기후처리 장착 후 시험 결과 PM은 100% 저감되었으며, 이는 PDF가 OVERSIZE로 추후 최적화된 용량을 선정하여 시험할 필요가 있다.

3. 고마력 트랙터 엔진의 후처리 시스템 사양 시험

1차년도에 실시한 트랙터 운전 패턴 분석 평가에 이어 2차년도에도 운전 영역별 배기온도 특성 및 배기온도 평가를 위해 실제 Field에서 주로 사용되어지는 작업기 중 가장 부하를 많이 받는 쟁기로 부하를 측정하였다. 쟁기는 로터리 등과 같은 경우 작업용으로 주로 사용하고 있으며, 국내와 같이 논농사가 주가 되는 경작지에서는 필수적인 경우 작업이다.

당사는 본 과제 수행을 위해 실제 Field에서 사용하는 조건으로 쟁기작업을 하였으며, 이때 측정되는 부하율 및 배기온도의 특성을 파악하여 운전패턴 분석에 의한 시험 기준을 산정하는 자료로 활용할 수 있을 것이다. 또한 실제 Field가 아닌 차축부하측정기나 트랙터 주행시험기(Running Tester)에서도 Field에서 사용하는 조건으로 Test Mode를 선정할 수 있고, 추가적으로 엔진 단독 성능시험 시 필요한 Test Bench Mode를 생성할 수 있을 것이다.

현재 Field에서 배기가스를 정확하게 측정하기는 어려운 실정에 있으며, Field에서의 작업 조건을 바탕으로 생성한 Test Bench Mode로 Test Cell에서 부하율에 따른 배기온도 및 배기가스(EM)를 측정하고, 이를 저감시키는 후처리장치를 매칭하는 자료로 활용 할 수 있을 것이다.

현재 과제수행을 위한 트랙터(모델명 : DX100, 제조사 : 대동공업)에 탑재된 K42엔진은 배기가스저감을 위한 후처리장치로 EGR과 DPF가 장착되어 있으며, 당사는 DPF를 중점적으로 검토하였다.

DPF는 PM을 저감시키는 장치로 엔진 운전 시 발생하는 PM을 포집하였다가, 일정 주기 또는 미리 설정한 조건이 되면 재생하는 장치로 자연재생이 가능한 Passive Type과 Active Type처럼 Logic에 의한 강제 재생방식이 있다. K42엔진은 강제 재생방식 중 하나인 Post Injection방식을 도입하여 재생하고 있으며, 전자제어장치(ECU)에 재생 주기 또는 조건을 미리 입력하여 자동재생 할 수 있도록 설정되어 있다. 이를 배기온도 특성에 따른 PM 재생방식을 검토하였다.

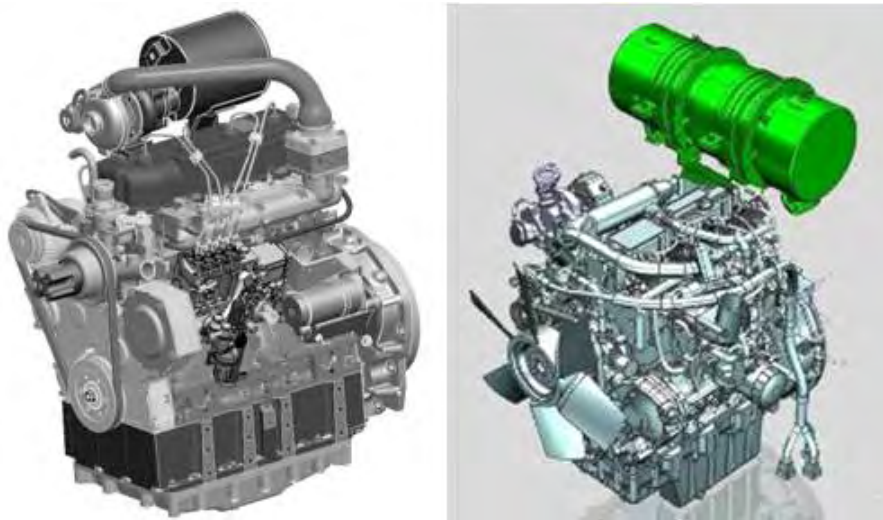
엔진 부하에 따른 배기온도 특성 및 후처리장치 평가는 엔진이 실차에 탑재된 상태로 주행 시 축적되는 Soot의 축적량을 측정하며 이때 후처리장치 전·후단부의 배기온도 및 압력을 측정하였다. 또한 주행 시험 시 주행 조건 외에 발생할 수 있는 오차를 제한하고자 트랙터 주행시험기에서 실시하였으며, 엔진 부하에 따른 배기온도 특성 외에도 실차 적합성 평가를 실시하였다. 이는 향후에는 K42 엔진 시험 시 적용할 수 있는 Logic을 생성하고, 시험 결과를 분석하여 이를 제조사에 개선요청을 할 수 있는 자료를 산출 할 수 있을 것으로 판단된다.

연구 개발 과제 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술” 개발을 위하여 구매한 K42엔진의 운전패턴에 따른 후처리 시스템 경향 분석 이전에 현재 국제종합기계(주)에서 양산중인 3.4 Liter급 기계식 직접분사식 디젤엔진이 탑재된 트랙터로

시험을 진행하였다. 시험에 사용된 트랙터는 현재 내수용으로 판매하고 있으며, 내부 EGR을 적용한 수출사양의 경우 배기가스규제 치는 Tier-3을 만족시키는 정도로 배기가스규제를 제외하면 K42엔진과 비슷한 사양이다. <표 3-11>은 3.4Liter급 당사 D3400T엔진과 K42엔진의 사양에 대해 비교하였다. <그림 3-28>은 엔진의 외형도를 나타낸다.

<표 3-11> 엔진 사양 비교

사 양	Unit	D3400T	K42
제조사		KMC	MHI
배기량	cc	3,409	3,331
Bore × Stroke	mm	98 × 113	94 × 120
실린더수	기통	4	4
Gross 출력	HP	82	99
정격 RPM	rpm	2,500	2,400
Turbo 유/무		Turbo	Turbo
Fuel System		Mechanical	CRDI
배기가스규제 만족		Tier-3	Tier-4



<그림 3-28> KMC의 D3400T엔진과 MHI의 K42 엔진 외형도

D3400T엔진에도 배기가스 후처리장치인 EGR과 DPF를 적용하였을 경우 Interim Tier-4를 만족시킬 수 있으며, K42 엔진의 전부하·전영역 엔진 성능데이터가 부재하여 1차년도에 진행한 D3400T엔진의 성능데이터를 바탕으로 유사한 조건에서 어떤 결과를 도출하는지 시험을 통하여 예측하고자 했다. 2차 년도에 진행하기로 하였던 K42 엔진의 엔진단독 성능시험은 엔진 Application 자료가 부족하여 시험을 진행에 어려움이 있었으며, 2차년도 내에 성능시험을 마무리하여 전부하·전영역 성능데이터를 확보할 것이다.

가. 운전 영역별 배기온도 특성 및 배기온도 평가

1차년도에 실시한 트랙터 주행시험과 로터리 작업 시 운전패턴 분석평가에 이어 2차년도에는 트랙터 작업 중에서 많은 부하를 요구하는 견인작업의 대표적인 플라우 작업을 실시하면서 플라우 작업의 운전 패턴과 작업 깊이, 엔진 회전수 등의 여러 가지 변수를 가지고 쟁기작업시의 운전 영역별 배기온도 특성 및 평가를 하였다.

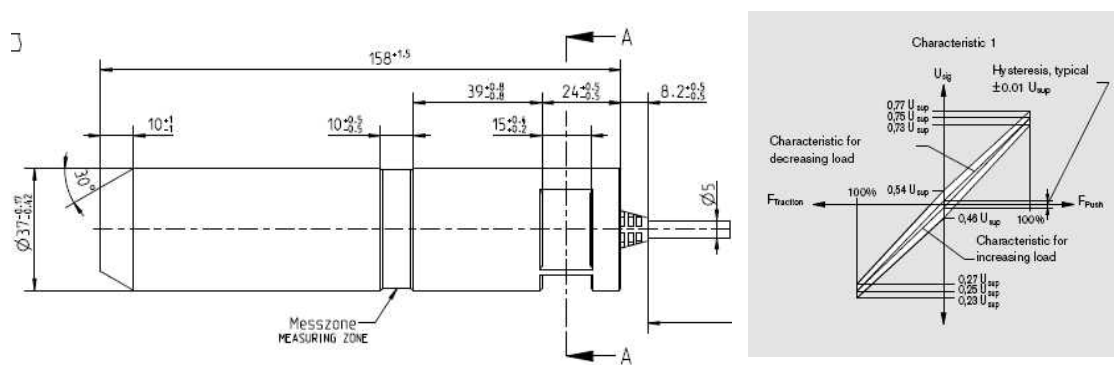
플라우 작업은 트랙터 등으로 견인되면서 흙을 절삭·반전·파쇄 하는 경운용 작업기이다. 플라우는 농작업기 중에서 가장 오래된 것으로 기원전 6000년경에 이집트에서 이미 사용 되어졌다고 한다. 서양 플라우는 원래 구미에서 주로 밭의 경운작업용으로 발달하였으며, 동양 쟁기에 비하여 각 부분의 기능이 분화되어 있고, 심경성·반전성 및 안정성은 우수하지만 견인 저항이 큰 편이다. 플라우는 로터리 등과 같은 경운 작업용으로 사용하고 있으며, 국내와 같이 논농사가 주가 되는 경작지에서는 필수적인 작업으로 1차년도에 진행한 D3400T엔진의 전부하·전영역 성능데이터를 바탕으로 실제 Field에서 사용하는 조건으로 플라우작업을 실시하였다. 플라우는 농작업 가운데 가장 重作業이며 트랙터의 견인능력이나 크기는 주로 플라우의 저항에서 결정하고 있다. 또 트랙터가 주어졌을 때 경심과 경폭 등을 추정할 필요가 있고 플라우의 저항은 실제적으로 중요한 문제가 된다. 플라우에 작용하는 견인저항은 총 소요 동력의 예측뿐만 아니라 플라우와 견인동력원 사이의 적절한 연결법 등의 필요성 때문에 중요하다. 즉 견인 출력 시험을 실시하므로 엔진에 작용하는 견인 부하를 분석할 수 있다. 견인 부하 시 엔진에 작용하는 부하 토크가 엔진에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 플라우의 견인력, 수평견인저항 및 비저항 중에서 수평견인저항을 측정하기 위하여 플라우 작업 시 부하를 측정할 수 있는 견인력 측정 장치를 개발 하였다. <그림 3-29>는 플라우 작업 시 부하를 측정할 수 있는 장치의 개략도와 실제 장착된 모습을 나타내고 있다.



<그림 3-29> 플라우 부하측정기 모델링 및 형상

견인력 측정 장치는 크게 두 부분으로 나누어지며, 앞쪽 부분은 플라우와 연결이 되며 뒷부분은 트랙터의 3점 히치부와 연결된다. 견인력 측정 장치의 앞부분과 뒷부분은 슬라이드로 연결되어 있으며, 중간에 견인력 센서(Load-cell)를 설치하여 작업(주행)시의 견인력을 측정하게 됩니다. 뒷부분은 트랙터의 3점 히치에 고정이 되고 앞부분은 서로 연결된 슬라이드에 의하여 플라우 쪽으로 이동을 하게 되어 있다. 이는 트랙터가 주행 방향으로 진행을 계속하지만 플라우는 토양의 저항을 받아서 제자리에 멈추고자 하는 원리를 이용한 것으로, 플라우에 토양의 저항이 받게 되면 견인력 측정 장치의 앞부분은 뒤쪽으로 당겨지게 된다. 이 때 설치된 견인센서의 측정 부분에 인장력이 발생하게 되며 이 인장력은 센서 내에서 전압(V)로 환산하여 부하를 측정하였다. <그림 3-30>은 견인부하 측정 장치에 사용된 센서의 외관도와 특성 그래프를 보여준다.



<그림 3-30> 견인부하 측정 장치 센서 외관도 및 특성 그래프

견인부하 측정 장치의 센서는 견인 및 플라우 작업 시 발생하는 인장력을 전압으로 환산하고 특성 그래프와 같은 연관식으로 부하를 측정한다.

(1) 트랙터 플라우의 견인부하측정 시험조건 선정

플라우작업에 의한 견인부하측정 시험에 앞서 국제종합기계 시험장에서 센서와 견인부하 측정 장치를 부착하여서 예비 실험을 실시하였다. 이는 플라우 작업을 실시할 경우 같은 장소에서 시험을 반복하지 못하기 때문 센서의 오작동 및 신호 처리장치의 작동 현황, 그리고 예측된 부하 패턴과 실제 작업시의 견인부하 패턴의 일치여부, 이 때 엔진 배기온도의 경향을 파악하기 위하여 실시하였다. 트랙터에 장착된 플라우는 농민들이 많이 사용을 하고 있는 4(四)륜 이랑쟁기를 사용하였으며, 트랙터의 작업 속도는 A-4단으로 실제 쟁기작업을 하는 속도이다. 트랙터의 작업 속도는 엔진의 회전수와 비례하기 때문에 엔진 회전수를 1,600 rpm에서 2,600 rpm까지 100 rpm 단위로 변경을 하면서 실시를 하였다. 이는 엔진 토크와 엔진 회전수별로 차이가 있으며, 이에 따라 견인부하에 의한 엔진 토크의 영향을 확인 할 수 있다. 즉 엔진 회전수별로 견인부하 및 배기 온도의 경향을 파악할 수 있다. 트랙터 플라우의 작업은 55 m를 직선 주행을 하였으며, 이 때 주행 속도는 0.45 m/sec이며, 55 m를 작업 할 경우 2분이 소요되었다. 시험 시 온도 및 각종 데이터는 20Hz로 샘플링 하였다.

<그림 3-31>는 실제 Field에서 쟁기부하측정기로 경운작업을 하며 시험하는 모습과 측정 장비를 나타내고 있다.

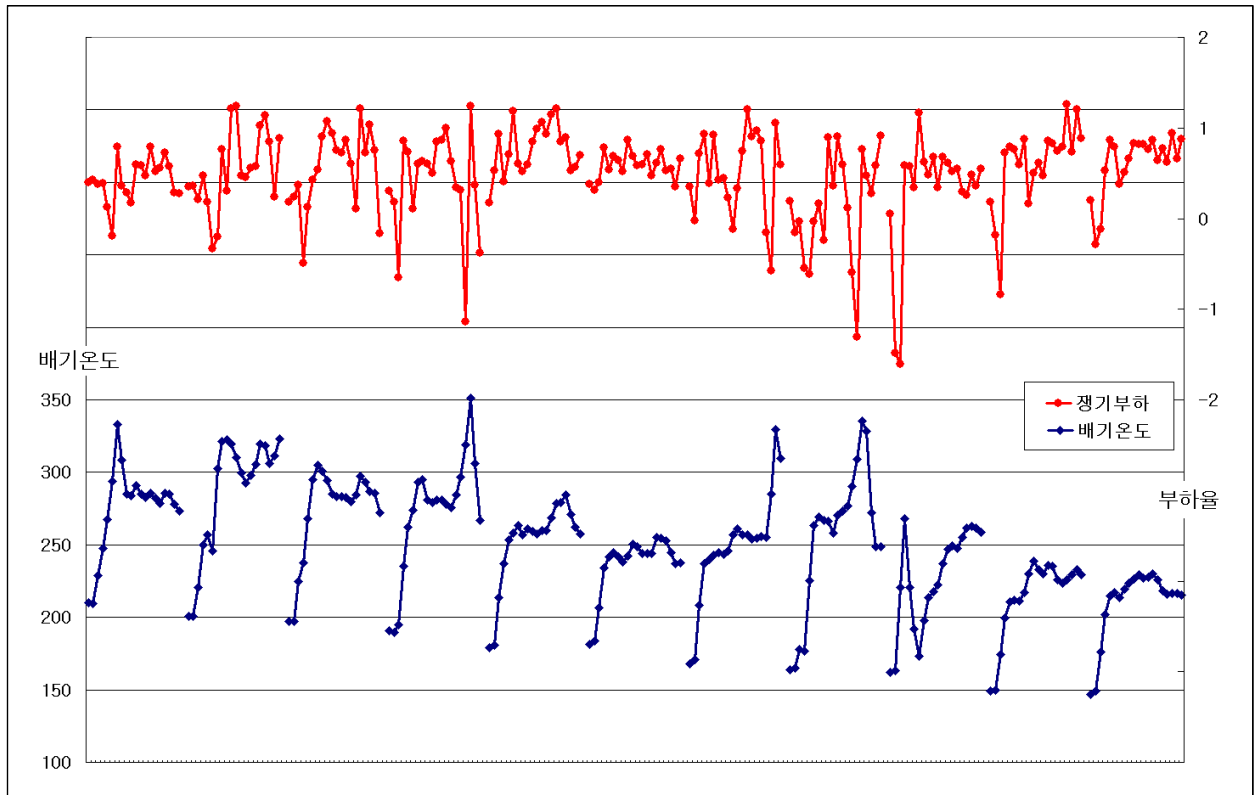


<그림 3-31> 쟁기부하측정 작업 모습(a)과 측정 장비(b: 데이터 저장장치, c: RPM측정기)

견인 부하는 쟁기의 깊이에 의해 견인 부하의 차이가 발생하기 때문에 일정한 경운 깊이(경심)를 유지하면서 엔진 회전수를 조정하는 것이 무엇보다 중요하다. 이 트랙터는 전자유압식 히치가 장착되어 있기 때문에 컨트롤 레버를 일정한 위치에 고정을 하면 일정한 경심을 유지 할 수 있다. 쟁기의 작업 깊이는 일반적으로 많이 사용하는 150mm로 고정을 하였다. 견인력 측정은 쟁기의 작업 깊이를 150 mm로 고정을 하고 핸들 엑셀레버로 엔진 회전수를 조정하면서 측정을 실시하였다. 트랙터에 부착된 계기판의 엔진 회전수는 아날로그로 오차가 있기 때문에 별도로 rpm 측정기를 부착하여서 엑셀 레버를 조정하면서 rpm측정기를 확인하는 방법으로 엔진 회전수를 고정하면서 쟁기 작업을 실시하였다.

트랙터의 작업경로는 길이 방향으로 시험 운영을 한 후에 엔진 회전수를 2,600rpm부터 1,600rpm까지 100rpm 단위로 작업을 하면서 실시를 하였다.

<그림 3-32>는 쟁기의 견인 부하측정 결과로서 엔진 회전수를 2,600 rpm, 작업 깊이를 150mm로 설정하고 쟁기작업을 한 결과를 나타내는 그래프이다.



<그림 3-32> 쟁기 작업 시 부하율 및 배기온도

<그림 3-32>의 시험 결과 그래프는 쟁기 작업 시 부하 변동에 대한 엔진 배기 온도의 변화 경향을 파악할 수 있다. 실제 견인 부하가 클수록 엔진의 배기 온도를 높게 나타냈다. 이는 엔진이 견인 부하를 극복하기 위하여 보다 많은 연료를 소모하여서 엔진 토크를 증대하는 것으로 나타난다. 이 경우에 엔진 토크가 견인 부하를 극복하지 못하면 엔진의 스톨 현상이 발생하게 된다. 작업 중 일정한 작업 깊이를 유지하면서도 견인 부하의 변동이 나타나는 것은 시험장내의 토질의 상태에 따라서 변경되는 것으로 나타났다. 이러한 토질은 국제 토양학회에 흙의 분류법에 의해 크게 점토, 미사, 고운모래, 거친 모래, 자갈로 나누어진다. 실제 우리가 사용하는 토양의 특성은 점토에서 미사토가 대부분을 차지하고 있다. 여기서 토양의 특성에 덧붙여서 토양의 경도에 따른 견인부하의 차이도 현격하게 나타난다. 이는 자주 경운을 한 토양과 경운을 하지 않은 토양의 경도는 자주 경운을 한 토양은 흙 사이의 공극이 넓어서 파쇄가 쉽게 이루어질 수 있으나 자주 경운을 하지 않은 토양은 침식을 통하여 공극이 좁아서 서로 응집력이 커지므로 토양 경도가 높아진다.

그래프에서 나타나는 이러한 견인부하의 변동은 시험장 내의 토양의 경도에 의해 나타나는 현상으로 보이며, 토양 속의 작은 자갈이나 흩덩어리에 의해 순간적인 충격과 이에 따르는 과부하가 발생되어 부하가 갑자기 증가하는 데이터가 발생되었다. 이러한 작업 중에 발생하는 순간적인 충격에 의해 발생하는 견인부하는 쟁기가 부하를 극복함과 동시에 갑작스런 부하의 감소가 뒤 따른다. 이는 데이터 처리과정에 있어서 편차의 증대를 유발시킬 수 있는 요인으로 작동을 할 수 있다. 이러한 편차를 줄이기 위해서는 샘플링 주기를 조정하고, 데이터 처리 과정에서 통계학적 기법을 사용하면 이

러한 데이터의 편차를 줄일 수 있다. 또한 심의 깊이에 따른 부하측정의 어려움이 있어 정확한 시험결과를 얻기 위해서는 동일한 깊이로 쟁기작업을 하며 부하 및 부하율 측정을 해야 할 것으로 판단된다. 이는 1차년도에 실시한 로터리 작업과 작업 방법 및 조건이 상이하여 시험의 어려움이 있으며, 보다 정확한 시험을 위한 방안을 협의하였다.

앞서 실시한 쟁기부하측정시험을 바탕으로 정확한 데이터 취득을 위한 시험조건 선정 협의결과 정확한 시험결과를 취득하기 위하여 쟁기작업 전에 경작지의 지질확인을 위한 시험이 제안되었다. 또한 지질의 상태에 따라 초기에 경심을 조정한 후 동일조건에서 시험을 실시하고, 경작지 전 영역에서 동일하게 시험을 할 수 있도록 초기 경심에 따른 쟁기작업 결과를 분석하였다.

(2) 트랙터 쟁기 작업 시 초기 경심에 따른 경향 평가

쟁기 작업 시 발생하는 여러 변수들에 대해 최대한 편차를 줄이기 위한 방안으로 초기 경심깊이를 확인하는 시험을 실시하였다. 이 때 지질의 조건에 따른 편차를 감소하고자 쟁기의 크기를 증대하였으며, 발생 부하를 높이기 위해 6조 쟁기를 사용하였다. <그림 3-33>은 초기 쟁기 경심 측정을 위한 모습을 나타낸다.



<그림 3-33> 지질에 따른 초기 경심 측정

초기 경심의 깊이 선정은 경작지의 조건 및 지질의 상태에 따라 변동하는 부하의 편차를 줄이기 위해 제안된 방법으로 쟁기부하측정을 하고자 하는 경작지에서 측정시험 전에 실시하여야 한다. 또한 초기 경심의 깊이도 중요하지만 쟁기 작업 시 쟁기가 경작지를 경운할 때의 경운 폭, 쟁기 날의 입사각 등도 고려하여 초기 경심의 깊이를 선정하여야 한다. 쟁기 날의 입사각의 경우 지면으로부터 완만한 각도로 선정을 하면 쟁기의 깊이가 얕아지고 부하가 낮아 주행 속도가 증가하게 된다. 반면 입사각의 각도가 높으면 쟁기작업을 위한 주행 시 점점 쟁기가 깊게 들어가고 부하가 증가하며, 높은 부하에 의해 바퀴의 슬립이 발생하게 된다. 깊은 경운작업은 이듬해 이앙 작업 시 뜯 묘가 발생시키는 요인으로 작용 할 수 있다. 이처럼 쟁기작업은 차년도 고른 이앙을 위해 일정한 높이로 작업해야 하며, 실제 Field에서 작업하는 경운작업과 동일하게 실시할 경우 엔진 부하를 확인하기가 어려

운 점이 있어 시험의 정확한 결과를 도출하기 위해서는 쟁기 작업 전에 초기 경심 및 입사각 설정이 중요한 요인으로 작용함을 확인하였다.

나. 배기온도 특성에 따른 PM포집 후 재생방식 검토

트랙터의 작업기(쟁기) 작업 시 배기온도 특성을 파악하여 후처리장치 개발 시 Passive 혹은 Active type의 적용을 선택하거나, 엔진 운전 조건에 따른 EGR을 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한 동력계에서 엔진 단독으로 후처리장치 및 EGR을 적용하여 Emission 성능시험 또는 내구성시험을 실시할 때 적용될 Test Bench Mode 선정 시 필요한 조건으로 앞서 실시한 예비테스트결과 쟁기 작업 시 트랙터에 발생하는 부하 및 배기온도 특성을 파악하여 Test Bench Mode 선정을 위한 기초자료로 활용 할 수 있을 것이다. <표 3-12>는 실제 시험에 사용한 트랙터의 기본사양이다.

<표 3-12> 트랙터 사양

구 분		사 양
트랜스미션	변속단수	전진12 / 후진12
PTO	출력	65 HP
	회전수	540 rpm
기체크기(L× W× H)		4,300× 1,970× 2,690
중 량		3,740 kg
엔진	탑재엔진	3.4L(4기통) 수냉식 T/C
	출력	82 HP
	연소방식	직접분사식
	Valve Type	4valve, OHV

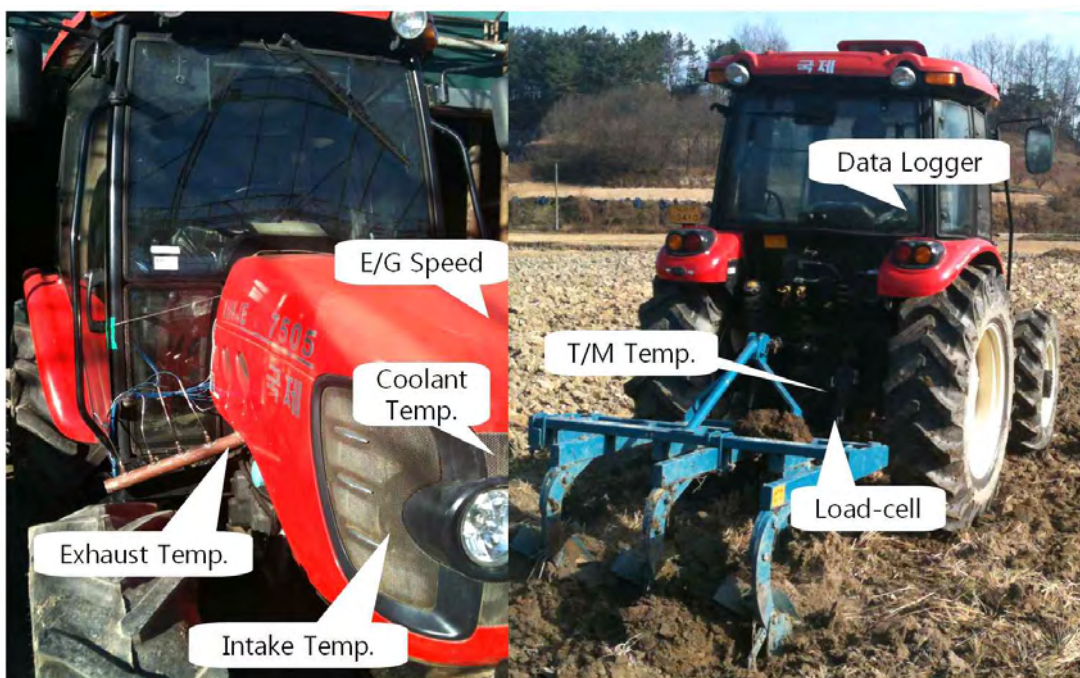
과제 수행을 위한 트랙터로 시험을 실시하려 하였으나, K42 엔진의 전부하·전영역 엔진 성능데이터가 부재하여 1차년도에 진행한 D3400T엔진의 성능데이터를 바탕으로 유사한 조건에서 어떤 결과를 도출하는지 시험을 통하여 예측하고자 했다. 따라서 D3400T엔진을 탑재한 7505트랙터를 사용하여 쟁기 작업 시 부하 및 배기온도 경향 파악을 위한 시험을 실시하였다.

<그림 3-34>은 견인 부하 측정 시험에 사용된 공시 트랙터, 공시 작업기(영신쟁기, YS 6P)와 각각의 센서 및 데이터 로거의 위치를 전반적으로 나타내었다. 실제 주요 센서부는 본넷트 안의 엔진룸 쪽에 설치가 되었고 견인부하를 측정하기 위하여 후방에 부하측정기를 부착하여 쟁기를 연결하였다. 그리고 모든 데이터는 트랙터의 캐빈 내부에 설치된 데이터 로거와 연결되도록 하였다. 이는 쟁기 작

업 시 견인 부하의 변동에 따른 배기온도의 특성 변동에 대한 경향을 파악하기 위한 것으로 쟁기 작업시의 배기 온도 특성에 영향을 미칠 수 있는 모든 변수를 확인하기 위하여 데이터를 수집하였다.

<그림 3-35>은 견인 부하 측정에 사용된 공시 작업기로서 영신(주)의 6(六)륜 이랑형 쟁기이다. 이는 현재 일반 농가에서 사용되고 있는 6(六)륜 쟁기로서 일반적인 반전 쟁기보다 견인 부하가 많이 걸린다.

<그림 3-36>는 견인 부하 측정에 사용된 센서들의 데이터 수집 블록 다이어그램이다. 엔진룸과 견인부하 측정 장치의 Load cell의 신호는 데이터 로거로 수집이 되며, 수집된 데이터는 마이크로컴퓨터로 전달되어서 데이터 처리를 수행하도록 되어있다.

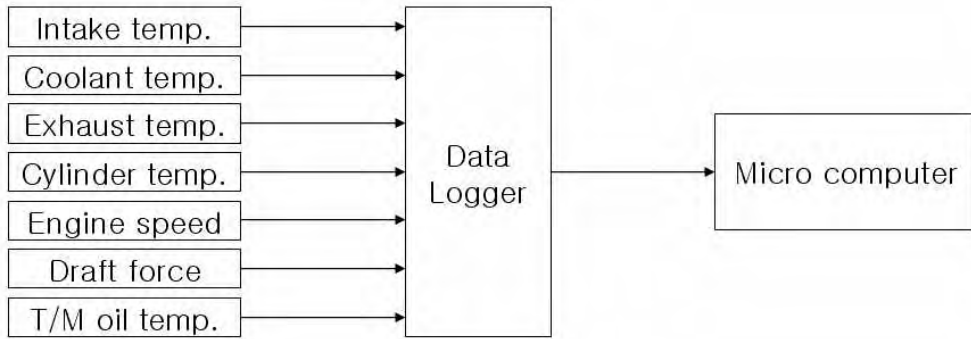


<그림 3-34> 트랙터 작업기 시험장치 구성



구분	사양
형식	YS6P
길이(mm)	2000
폭(mm)	1579
높이(mm)	1275
중량(kg)	331

<그림 3-35> 공시 작업기의 외관 및 사양



<그림 3-36> 데이터 수집 블록다이어아 그래프



<그림 3-37> 트랙터에 장착된 센서 및 계측장비

견인 부하 측정에 사용되어지는 데이터 수집 구성 장비는 크게 데이터 수집을 위한 Data Logger와 부하 측정을 위한 측정 회로와 견인력 센서 및 각 부 온도 측정을 위한 센서(온도)로 구성되어진다. <그림 3-37>과 같이 트랙터에 장착된 센서는 <표 3-13>과 같다.

<표 3-13> 트랙터에 장착된 센서 및 사양

그림 번호	장비명	사 양	비 고
a	부하측정 Common Center	부하측정 데이터 및 각종 온도 데이터를 취합하는 부분이다.	
b	Data Logger	견인 부하 및 온도 센서로부터 측정된 온도를 실시간으로 저장하는 장비	
c	작업기 부하 컨트롤러	쟁기부하 측정 시 센서에 전원을 공급하고, 센서에서 출력되는 신호를 전압으로 변환시켜주는 장치	
d	작업기 부하 측정기	쟁기 작업 시 부하 쟁기에 발생하는 견인저항을 감지하기 위해 트랙터 3 점 히치에 부착된 견인 부하 측정 장치	
e	배기온도 센서 (Thermo-couple)	- 배기매니폴드 1개소 - 터보차저 후단부 Tail Pipe 내에 100 mm 간격으로 9개소 - Thermo-couple을 장착하여 거리에 따른 온도 변화를 측정	(Thermo-couple) 10개소
f, g	RPM 게이지	엔진의 연료 고압파이프에서 연료가 흐를 때 발생하는 진동 신호(PULSE)를 받아 엔진의 회전수를 측정하고, 신호를 디지털로 변환하는 장치	
h	흡기온도 센서	견인 부하 작업 시 작업 포장지로부터 트랙터 에어클리너로 유입되는 흡기온도를 측정	(Thermo-couple)
i	실린더온도 센서	엔진 내부의 실린더 내부 온도 측정	(Thermo-couple)
j	냉각수(출구)온도 센서	엔진을 냉각시켜 주는 냉각수 출구쪽 온도 측정	(Thermo-couple)

<그림 3-37>과 같이 엔진과 관련된 6개항 14개소 온도 외에도 트랙터의 트랜스미션에 하단 퇴유 볼트 부에 온도 센서를 장착하여 Transmission Oil 온도를 측정하여 견인 부하 작업 시 부하에 따른 트랙터 트랜스미션의 온도 평가 및 트랜스미션의 이상여부를 확인하였다.

작업기 부하에 따른 배기온도별 특성 평가 시 배기가스의 온도경향을 확인하기 위한 배기매니폴드 부 1개소와 터보차저 후단부의 Tail Pipe에 100 mm 간격으로 Thermo-couple 9개소를 부착하여 거리에 따른 배기가스 온도 변화를 측정하였다. 또한 정확한 엔진 회전수를 측정하기 위하여 엔진의 고압파이프에 디지털 RPM 측정 장비를 부착하여 RPM 변화를 측정 및 기록하여 데이터의 신뢰성을 확보하였다. 따라서 작업기 부하에 따른 배기온도 특성 평가 시험 시 Data Logger에서는 1초당 1번의

Data를 받아들이며, 총 15개의 Channel을 사용하여 2분가량 시험을 할 경우 약 1,800개의 온도 및 RPM 등을 기록 및 저장하는 것이다. <그림 3-38>은 시험을 위한 센서 및 계측장비를 장착하고 실제 Field(경작지)에서 쟁기작업을 하는 모습을 보여주고 있다.

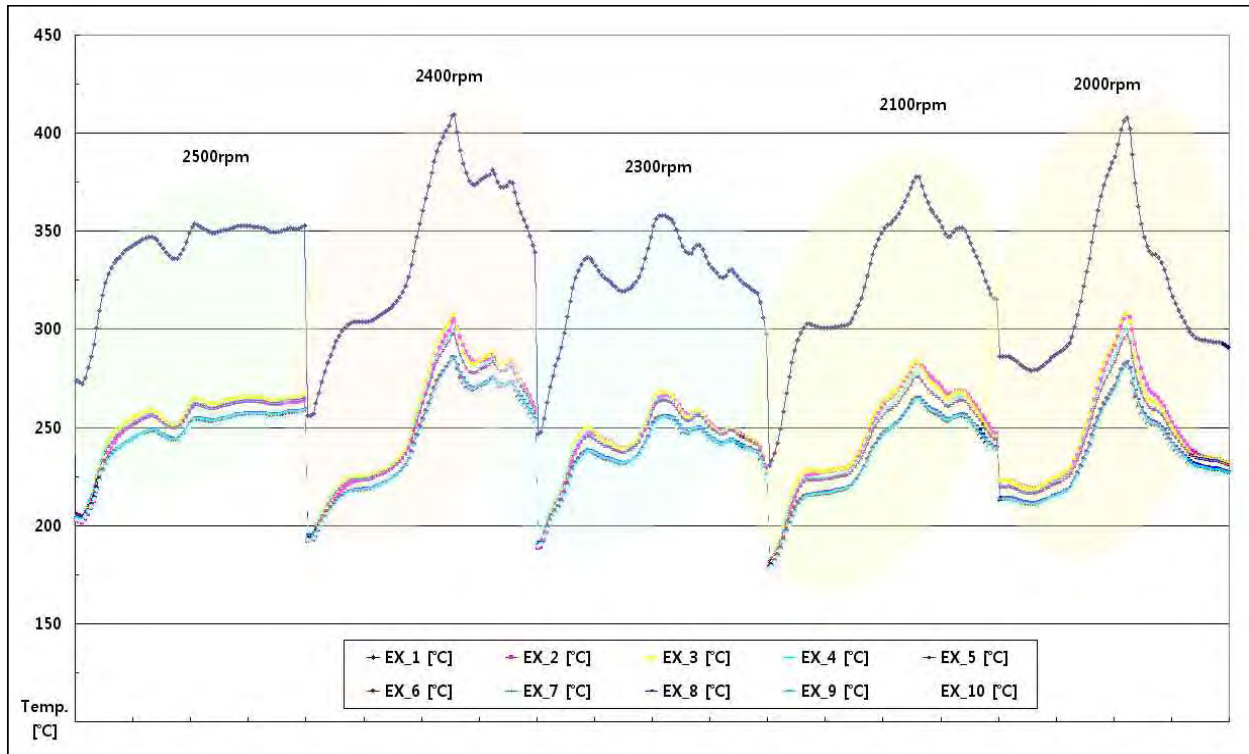


<그림 3-38> 실제 경작지에서 쟁기작업을 하는 모습

견인 부하 측정 시에, 트랙터의 작업 속도는 A-4단으로 실제 쟁기작업을 하는 속도이다. 트랙터의 작업 속도는 엔진의 회전수와 비례하기 때문에 엔진 회전수를 2,000 rpm에서 2,500 rpm까지 100 rpm 단위로 변경을 하면서 실시를 하였다. 이는 엔진 토크와 엔진 회전수별로 차이가 있으며, 이에 따라 견인부하에 의한 엔진 토크의 영향을 확인 할 수 있다. 즉 엔진 회전수별로 견인부하 및 배기 온도의 경향을 파악할 수 있다. 트랙터 플라워의 작업은 55 m를 직선 주행을 하였으며, 이 때 주행 속도는 0.45 m/sec이며, 55 m를 작업 할 경우 2분이 소요되었다. 시험 시 온도 및 각종 데이터는 20 Hz로 샘플링 하였다.

견인 부하는 쟁기의 깊이에 의해 견인 부하의 차이가 발생하기 때문에 일정한 경운 깊이(경심)를 유지하면서 엔진 회전수를 조정하는 것이 무엇보다 중요하다. 이 트랙터는 전자유압식 히치가 장착되어 있기 때문에 컨트롤 레버를 일정한 위치에 고정을 하면 일정한 경심을 유지 할 수 있다. 쟁기의 작업 깊이는 일반적으로 많이 사용하는 150 mm로 고정을 하였다. 견인력 측정은 쟁기의 작업 깊이를 150 mm로 고정을 하고 핸들 엑셀레버로 엔진 회전수를 조정하면서 측정을 실시하였다. 트랙터에 부착된 계기판의 엔진 회전수는 아날로그로 오차가 있기 때문에 별도로 rpm 측정기를 부착하여서 엑셀레버를 조정하면서 rpm측정기를 확인하는 방법으로 엔진 회전수를 고정하면서 쟁기 작업을 실시하면서 부하 및 각 부의 온도를 측정하였다.

다만, 초기 트랙터 시험장에서 예비테스트를 통해 선정된 경심은 실제 경작지에서 작업 결과 토양의 조건이 상이하어 재선정 후 시험을 실시하였다. <그림 3-39>는 시험결과 각 엔진 회전수별 부하에 따른 배기온도 경향을 그래프로 보여주고 있다.



<그림 3-39> 작업 시 엔진 회전수 별 배기온도 경향

시험결과 작업 시 측정된 배기온도 EX_1[°C]은 터보차저 전단의 배기매니폴드부 온도이고, EX_2 [°C]부터 EX_10[°C]까지는 터보차저 후단부의 Tail Pipe에서의 배기온도 데이터로써, 터보차저 전·후 단에서 최대 106°C(<그림 3-39> 2,400rpm 데이터)에서 최소 52°C(<그림 3-39> 2,100rpm 데이터)까지 배기온도가 하강하는 것을 알 수 있다. 이는 배기가스가 터보차저를 지나는 동안 터빈을 회전시키면서 열에너지가 운동에너지로 소실된 결과이다. <표 3-14>는 각 회전수별 배기온도의 최대, 최소값을 보여주고 있다.

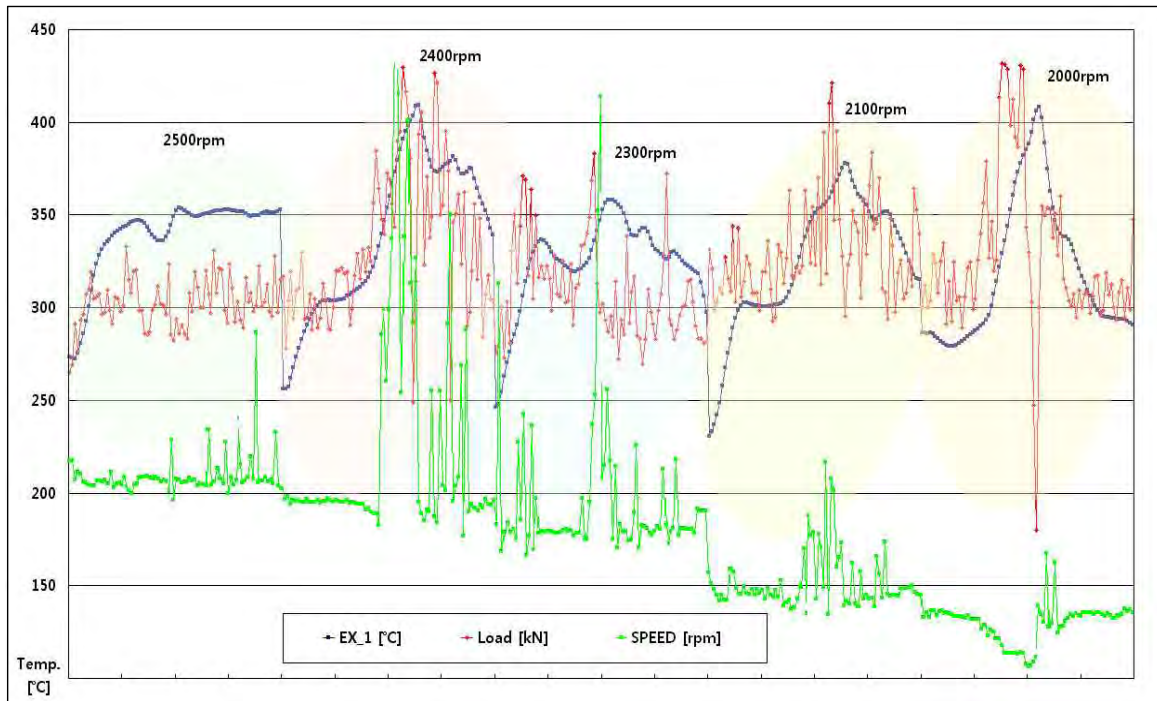
<표 3-14> 각 회전수별 배기온도의 최대, 최소값

회전수		EX_1	EX_2	EX_3	EX_4	EX_5	EX_6	EX_7	EX_8	EX_9	EX_10
2500	MAX	353.9	263.9	267.2	265.7	265	258.2	259	259.6	259.1	257.3
	MIN	272.3	201.6	203.4	205	205.1	202.3	203	203.4	203.3	202.3
2400	MAX	409.4	304.8	307.9	300.7	297.6	285.8	286.1	286.3	285.4	283.2
	MIN	256	191.9	194.3	195.6	195.3	192.6	193.3	193.6	193.1	192.3
2300	MAX	358.2	266.2	268.6	264.7	263.8	255.4	255.8	256.1	255.4	253.4
	MIN	246.4	188.2	190.3	191.7	191.6	189.5	190.1	190.4	190.2	189.5
2100	MAX	377.8	283.3	284.2	278.2	275.9	265.1	265.7	265.6	264.4	261.9
	MIN	230.6	178.3	182.3	182.9	181.7	179.1	179	179	178.6	178
2000	MAX	408.1	307.7	308.8	299.5	296.9	283.3	283.7	283.4	281.7	278.8
	MIN	279.1	218.9	219.1	216.9	216.4	210.3	211.9	211.9	211	209.2

시험결과 각 구간에서의 배기온도 분포를 보면 1차년도에 실시한 주행 및 로터리 작업 시 측정되었

던 배기온도경향과 같이 터보차저 전·후단의 배기온도는 큰 차이를 보이고 있다. 이를 바탕으로 주행 및 작업 시 DPF가 자연재생을 위해 유지되어야 하는 배기온도인 300℃보다 낮은 온도로 운전되고 있음을 확인 하였고, DPF 재생 시 필요한 배기온도를 유지하기 위한 조건을 Logic에 적용하여야 한다.

또한 작업기 작동 시 부하에 따른 엔진 회전수 변동과 배기온도 경향을 확인하였다. <그림 3-40>은 엔진 회전수 별 부하에 따른 배기온도 및 엔진 회전수 변동을 보여주고 있다.



<그림 3-40> 부하에 따른 배기온도 및 엔진 회전수

시험 결과 엔진 회전수 별 부하에 따른 배기온도 경향을 확인한 결과 작업기 작동 시 부하에 따라 배기온도도 변동됨을 알 수 있었다. <그림 3-40>과 같이 부하 변동에 따라 엔진 회전수는 낮아지는 반면에 부하에 따른 배기온도는 증가되었다. 다만, 부하가 발생함과 동시에 엔진 회전수가 낮아지고 얼마 후 배기온도는 올라가는 모습을 볼 수 있다.

시험을 통한 배기온도의 경향 분석 결과 DPF의 자연재생이 불가능하여 자연재생이 가능한 배기온도를 유지할 수 있는 조건을 만들어 주기 위한 Logic이 필요함을 알 수 있었다.

다만 시험 결과는 쟁기의 높이를 고정하여 일정한 경심으로 시험을 하고자 했으나, 지질의 조건 및 주행조건에 따라 경심의 깊이가 변하며 부하 변동이 심하게 나타났다. 경심의 깊이가 깊어지면 경운면적이 넓어지며 부하율이 높아져 배기온도는 올라가고 엔진 회전수가 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 부하에 따른 온도변화는 명확하게 나타나고 있으나, 보다 정확한 경향 분석을 위해 정확한 시험이 필요할 것으로 판단되며, 작업기 작동 시 발생하는 부하율을 바탕으로 차축부하측정시험을 수행하여 부하율에 따른 배기온도 경향을 분석 할 것이다.

다. 재생 방식에 따른 시험결과 통보

작업기 부하에 따른 배기온도 경향을 확인 한 결과 배기온도가 DPF를 자연재생하기 위한 온도에는 못 미치는 것으로 확인되었으며, K42엔진에서 적용한 DPF는 Active Type으로 Post Injection으로 포집된 PM을 강제 재생하는 Logic이 적용되었다. PM은 크게 Soot, Soluble Organic Fraction(SOF), Sulfate 로 구성되며, 일반적으로 검은 매연은 Soot 성분을 의미한다.

DPF는 엔진 운전 시 발생하는 PM을 포집한 후 이것을 재생하여 PM을 저감시키는 장치로, PM을 80% 이상 저감시킬 수 있는 기술이다. DPF는 크게 포집(Trapping)기술과 재생(Regeneration)기술로 나눌 수 있으며 시스템은 기본적으로 필터, 재생장치(Injector), 제어장치(ECU)의 3부분으로 구성된다.

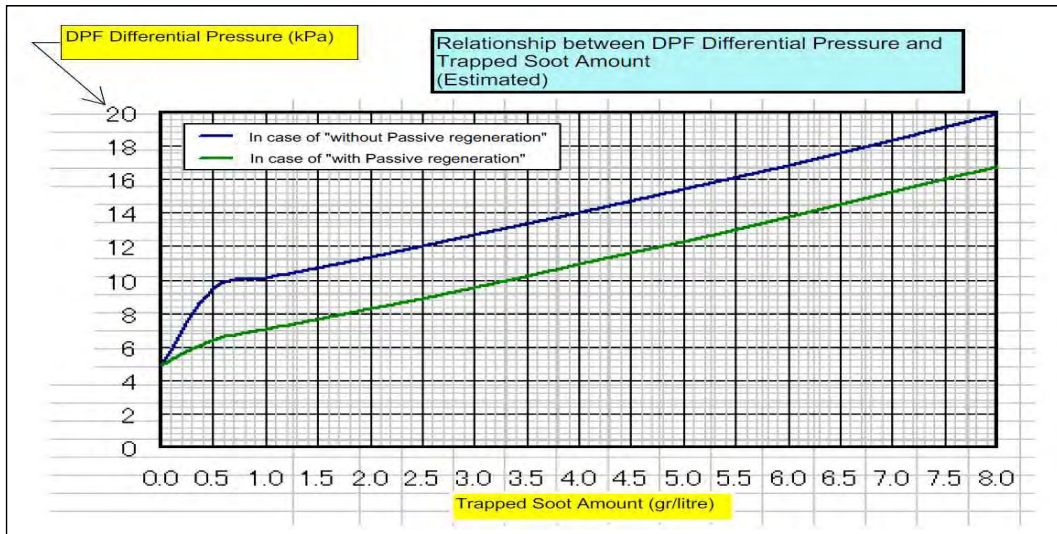
DPF는 필터 내 PM 축적 문제에 따른 배압 증가 및 엔진 효율 감소 등의 문제가 야기되고 있으며 주기적인 재생을 통해 필터 내 PM을 제거해주어야 한다. PM 제거는 전자제어장치(ECU)에 미리 설정한 조건이 되거나 일정 주기가 되면 재생하도록 설정하였다. 또한 재생 S/W를 추가하여 사용자가 필터 내 PM을 임의로 재생 할 수 있도록 하였다. <그림 3-41>는 트랙터에 탑재된 후처리장치(DPF, DOC 포함)와 재생하는 모습을 보여주고 있다.



<그림 3-41> 트랙터에 탑재된 DPF와 재생하는 모습

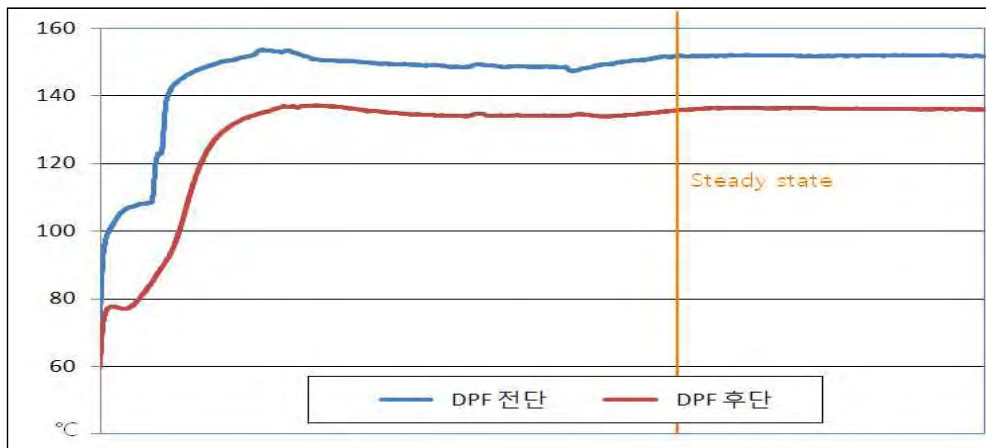
탑재한 후처리장치에는 DPF 전단에 포집된 PM을 재생하기 위해 온도 조건을 만들어 주는 DOC가 포함되어 있다. DPF의 체적은 6.3 Liter로 외경 228.6 mm, 길이 152.6 mm 이고, DOC는 동일한 외경에 76.2mm 길이로 체적은 3.1 Liter이다. 후처리장치에는 <그림 3-41> 좌측 그림과 같이 필터 전·후단의 압력(차압)과 전·후단 및 필터 내부를 포함하여 3개소 온도를 측정하여 ECU에 재생을 위한 조건을 전송하여 준다. 따라서 ECU에서 미리 설정된 Logic에 의해 자동으로 재생을 실시하여 DPF 필터를 초기상태로 만들어 준다.

<그림 3-42>와 <그림 3-43>은 PM(Soot) 축적량에 따른 후처리장치 전·후단의 압력(차압)관계와 배기온도 그래프를 각각 보여준다.



<그림 3-42> Soot 축적량에 따른 필터 전·후단의 압력 차이

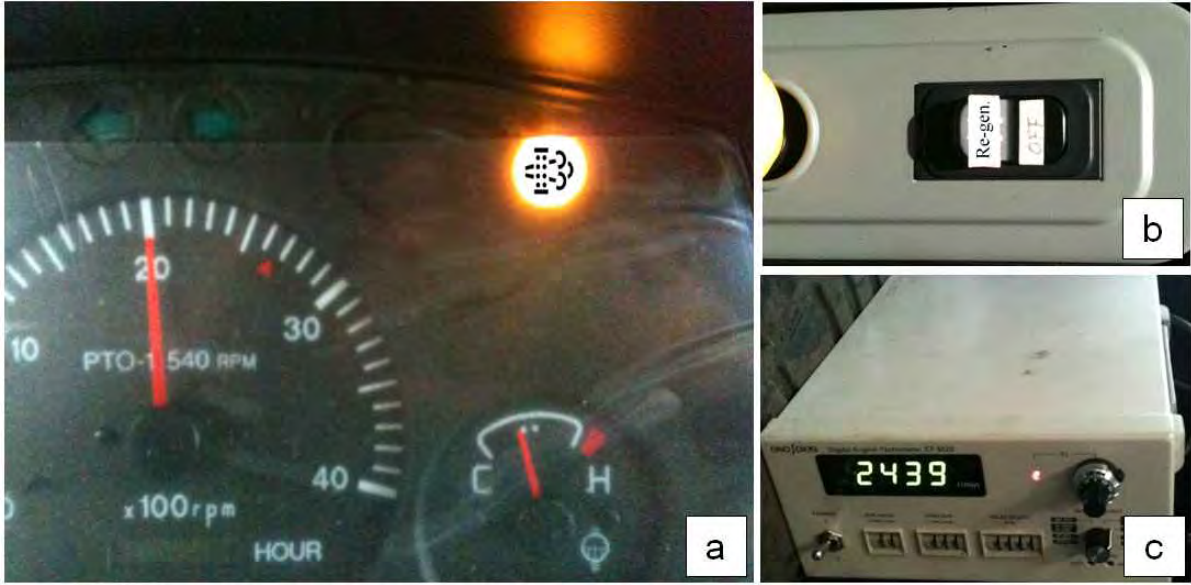
Soot 축적량에 따른 차압 관계는 축적량이 증가함에 따라 압력도 증가하는 비례관계가 있으며, DPF의 용량이 6.3 Liter 인 점을 감안하면 21 gram이 축적되면 후처리장치 전·후단의 압력은 10 kPa 차이가 난다.



<그림 3-43> DPF 전·후단의 온도(1,400rpm)

배기후처리 장치의 전·후단 배기온도는 <그림 3-43>과 같이 전단 150℃, 후단 138℃로 각 각 측정 되었으며, 전·후단 부의 온도 차이는 12℃정도로 후단부가 낮게 측정되었다. 배기 온도는 엔진 회전수 1,600rpm에서 무부하 조건에서 측정하였고, 엔진 시동 후 40여분이 지난 후에 안정 상태(Steady state)로 유지 되었다.

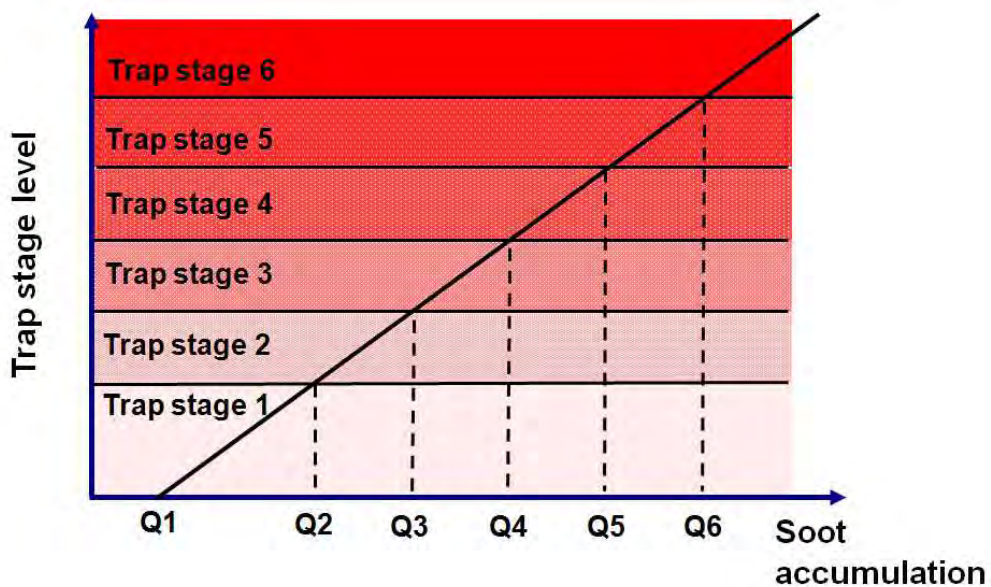
DPF에 축적된 PM을 재생하기 위해 모의 주행을 하여 일정시간 PM을 포집한 후에 재생을 하였다. K42엔진의 전자제어장치(ECU)에 설정된 재생방식이 정상적으로 작동하는지를 검토하였다. <그림 3-44>은 재생 시 계기판의 Re-generation lamp의 형상(a) 및 재생을 위한 S/W(b)와 디지털 RPM 측정기를 보여주고 있다.



<그림 3-44> 계기판의 재생 lamp형상 및 S/W와 디지털 RPM

<그림 3-44>의 (b)는 재생을 위한 S/W를 나타내고 있으며, (a)는 DPF 재생 시 계기판의 형상으로 타코미터(엔진 회전수 측정)와 점등된 Re-generation lamp를 보여주고 있다. (c)는 디지털 RPM측정기로 트랙터에 부착된 계기판의 엔진 회전수는 아날로그로 오차가 있기 때문에 별도로 RPM 측정을 하였다. 측정 결과 트랙터에 부착된 계기판과 디지털 RPM 측정기에서 측정한 엔진 회전수가 400rpm 정도의 차이가 발생하였다. 이는 기존에 사용하던 계기판을 적용하여 생긴 오차로 3차년도에는 계기판을 신규로 개발하며 Calibration하여 정확한 엔진 회전수를 표시할 수 있도록 할 것이다. RPM측정은 반사식으로 냉각팬 폴리에 반사 테이프를 부착하여 엔진 회전수를 측정하였다.

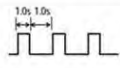
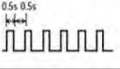
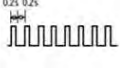
또한 Re-generation lamp는 DPF 재생 시뿐만 아니라 Soot 축적량에 따른 DPF 상태별 단계(Stage)에 따라 점등되며 <그림 3-45>은 Soot 축적량에 따른 DPF 상태별 단계(Stage)를 보여준다.



<그림 3-45> Soot 축적량에 따른 상태별 단계

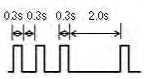
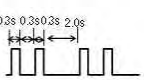
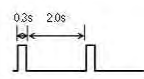
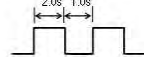
Soot 축적량이 많아질수록 단계는 올라가며, 단계에 따라 lamp 점등 주기가 짧아지며 재생이 필요함을 운전자에게 알려준다. <표 3-15>와 <표 3-16>은 상태별 단계에 따른 Re-generation lamp의 점등 조건 및 엔진을 상태를 나타내고 있다.

<표 3-15> 상태별 재생 및 엔진 상태별 lamp 점등 주기

Trap stage # or Regeneration	Regeneration	Engine behavior	DPF lamp lighting pattern
Trap Stage 1	- (Trap operation/Passive regen)	Normal	No light
Trap Stage 2	Auto regen started Manual regen disabled	Normal	No light
Trap Stage 3	Cancel auto regen Prompt manual regen	Normal	
Trap Stage 4		• Reduce engine power*	
Trap Stage 5	Disable regen (conduct a special regen in the presence of a service engineer).	• Reduce engine power* • Oil change needed after regen	
Trap Stage 6	Disable regen	Failure	Continuous light

2단계까지는 엔진이 정상상태로 작동할 수 있으며 lamp는 점등되지 않고, 3단계에 이르면 엔진은 정상상태로 작동할 수 있으나 lamp는 1초 간격으로 점등·점멸되어 재생이 필요함을 알려준다. Trap 상태가 4단계에 이르면 lamp의 점등·점멸 주기는 0.5초로 더 짧아지면 엔진 출력도 저하된다. 5단계 및 6단계에서는 재생이 불가능해지며 6단계에 이르면 엔진은 Fail이 되며 lamp는 상시점등 된다.

<표 3-16> 상태별 재생 및 엔진 상태별 lamp 점등 주기

Trap stage # or Regeneration	Regeneration	Engine behavior	DPF lamp lighting pattern
During manual/auto regen (during DOC heating)	—	Normal	
During manual/auto regen (during DPF temp control)	—	Normal	
Manual/auto regeneration completed	—	Normal	
Cancel manual/auto regen	—	Normal	

<표 3-16>은 상기 <그림 3-45>의 상태별 단계에 따른 lamp 점등을 제외한 재생 조건에 따른

lamp 점등 주기를 보여주고 있다. 이 때 엔진은 모두 정상적으로 작동 할 수 있으며, lamp의 점등·점멸 주기는 <표 3-16>과 같다.

본 과제를 수행하며 상태별 단계 5, 6에서의 lamp 점등·점멸 조건을 확인하기는 어렵지만, Soot 축적량을 증가에 따른 단계별 Soot 량과 Lamp 점등·점멸 주기를 확인할 수 있다.

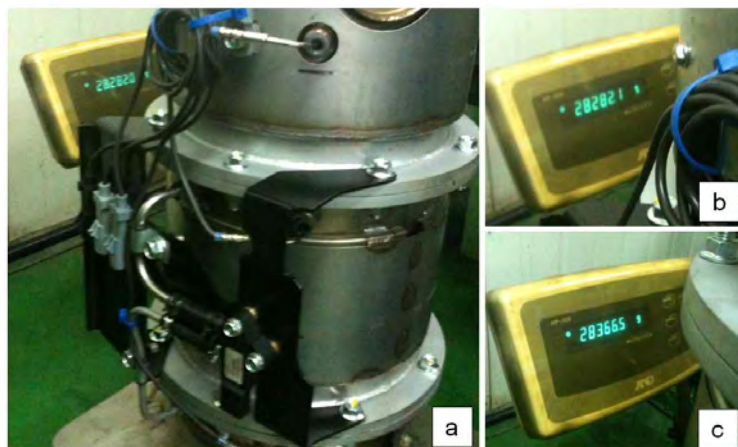
4. 실차 적합성 평가

본 과제 수행을 위한 트랙터(모델명 : DX100, 제조사 : 대동공업)에 탑재된 K42엔진의 배기가스 저감을 위한 후처리장치 중 하나인 DPF에 대해 실차적합성 및 PM(Soot) 축적량에 대한 평가를 하였다. 트랙터 주행 시 Soot 축적량에 대해 평가하였으며, 주행 시험 시 차량의 주행 조건 변동에 따른 오차를 줄이고자 트랙터 Running 시험장에서 모의 주행으로 주행 시험을 실시하였다. 주행 시험 시 축적된 Soot 량을 측정하고 주행 시간에 따른 Soot 량을 평가하여 DPF를 재생하지 않았을 때 발생하는 문제점 등을 예측하고자 했다. 또한 추가로 실작업 조건(작업기 부하)에서의 Soot 축적량을 평가하여 주행 시간과 동일한 시간을 작업 했을 시 Soot 량에 대한 전체적인 평가를 실시할 계획이다.

DPF에 대한 실차적합성과 PM 축적량에 대한 평가 자료를 바탕으로 실차 탑재 상태에서 Duty Cycle을 적용하여 DPF 내구성을 검증할 계획이다. 이러한 데이터를 바탕으로 Cycle을 선정하여 추 후 엔진 단독 성능 시험 또는 내구성 시험 시 적용하여 활용할 계획이다.

가. Ash(Soot) 퇴적량 측정 평가

실작업 조건에서 Soot 축적량 확인에 대해 주행 시험을 통하여 Soot 축적량 및 축적량에 따른 DPF 전·후단의 배기온도 변화와 차압관계를 확인하였다. Soot 축적량은 K42엔진에 적용된 배기후처리장치(DPF, DOC 및 브래킷, 각종 센서 포함)의 실 무게를 측정하였으며, 재생 후와 10시간 주행 후의 무게 차이를 바탕으로 Soot 축적량을 계산하였다. <그림 3-46>은 배기후처리장치의 무게를 측정하는 모습을 보여주고 있다.



<그림 3-46> 배기후처리장치(DPF) 무게 측정

Soot의 무게는 1/10 Gram까지 측정이 가능한 정밀 저울을 사용하여 측정하였으며, 배기후처리장치의 무게를 측정한 결과 주행 시험 전 무게는 28,282.0 gram 이었고, 10시간 주행 시험 후 무게는 28,366.5 gram 이었다. 이 때 무게 측정 시 발생 가능한 오차를 배제하면 배기후처리장치의 무게는 84.5 gram 증가하였으며, 결과적으로 84.5 gram의 Soot가 축적되었다고 볼 수 있다. <표 3-17>은 주행 시험 시 측정한 데이터를 간략하게 정리하였다.

<표 3-17> 주행 시험 전·후의 배기온도 및 압력 측정 결과

No.	측정 내용	Unit	측정위치	측정값(주행 시간)		차이 (b-a)
				40분(a)	600분(b)	
1	배기압력	kPa	전단	1.39	1.95	0.56
2			후단	0.46	0.91	0.45
3	배기온도	℃	전단	149.6	150.1	0.5
4			후단	134.0	135.0	1.0

<표 3-17>은 주행 시험 전·후 배기온도 및 압력을 측정한 결과로 측정위치는 배기후처리장치 전단 부와 후단부로 <그림 3-41>의 (b)와 (c)에서와 같이 센서 및 계측기를 설치하여 측정하였다. 초기 압력 및 온도는 엔진 시동 후 안정구간에 접어든 40분에 측정되었으며, 600분(10시간) 후 배기온도 및 압력을 측정하여 비교 분석하였다. 측정 결과 배기차압은 전단부에서 0.56 kPa, 후단부에서는 0.45 kPa 만큼 증가하였다. 주행시험 전·후 배기후처리 장치의 압력 차이를 보면 주행 시험 전 압력 차이는 0.93 kPa이고, 주행 후는 1.04 kPa로 배기차압은 0.11 kPa 정도로 10시간 주행 시험까지는 크게 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 <그림 3-42>의 그래프와 같이 압력관계를 가리키는 그래프가 동일한 배압차이를 가지며 조금씩 증가하고 있음을 알 수 있다.

배기온도는 배기후처리 장치 전·후단의 온도 변화는 15 ℃ 정도로 배기후처리장치를 지나며 온도가 낮아졌음을 알 수 있었다. 단, 주행 시험 전·후의 온도 차이는 1℃도 내외로 크게 차이가 없음을 알 수 있다.

지금까지 시험한 내용을 바탕으로 동일 조건에서 주행 시간을 증대하여 Soot 축적량에 따른 배기온도 및 압력을 평가하고, 10시간 단위로 배기후처리장치의 무게를 측정하여 Soot 포집량을 측정, 기록하여 Soot 축적량과 배기 온도 및 압력에 대한 관계를 확인하고자 한다.

나. 실작업 조건에서의 Soot Loading 평가

실작업 조건에서의 트랙터의 배기후처리 장치, 특히 DPF에 포집되는 Soot의 축적량에 대해 트랙터 주행 시험을 통해 확인하였다. 우선 주행 시 Soot 포집에 따른 배기후처리장치(DPF) 전·후단부의 온도 및 압력에 대해 평가하였다. 트랙터 주행 시험은 당사 외곽의 공도에서 실시하였으며, 예비테스트를 통한 주행시험 결과 노면상태, 도로의 경사도 등 주행 조건의 변동에 따라 발생하는 오차 등을 최

대한 줄이고자 당사 트랙터 주행시험기에서 모의 주행시험을 하며 포집되는 Soot에 따른 배기후처리 장치(DPF) 전·후단의 배기온도 및 압력 등을 측정하였다. 또한 엔진 단독 성능 데이터 확보시 실제 주행을 위해 소비된 출력 등을 파악하기 위한 엔진 회전수 외에도 냉각수 입·출구 온도, 흡기온도 등을 측정하였다. <그림 3-47>는 주행 시 Soot 축적량에 따른 배기후처리장치(DPF) 성능을 확인하기 위한 예비테스트 중인 모습을 나타내고 있다.



<그림 3-47> 주행 시험을 위한 예비테스트 모습

주행 시험을 위한 예비테스트 결과 노면의 상태, 경사도 등에 따라 엔진 회전수의 변동이 발생하였고, 주행 외 다른 변수에 따른 오차를 줄이고자 트랙터 주행 시험기에서 시험을 실시하였다. <그림 3-48>은 트랙터 주행시험기에서 주행 시험 중인 모습을 보여주고 있다.



<그림 3-48> 트랙터 주행시험기에서 주행 시험 중인 트랙터

주행 시험 시 실주행 조건과 동일하게 후륜(2WD)으로 주행하였으며, 안전을 위해 전륜은 고정시킨 상태에서 시험을 실시하였고, 후단부의 견인 고리에 와이어로 고정하여 트랙터의 이탈을 방지하였다. 주행 시험 조건은 정격점보다 800 rpm이 낮은 1,600 rpm에서 주행 조건 외에 별도의 부하를 작동시키지 않았으며, 동일한 엔진 회전수를 고정하기 위해 핸들 엑셀 레버로 고정하고 시험하였다. <표 3-18>은 DX100 트랙터의 기어 감속비로 엔진 회전수 대비 감속비를 보여준다. <표 3-18>에 나타난 주행 속도는 엔진 회전수가 정격점인 2,400 rpm으로 설정하였을 때의 속도를 나타내고 있다.

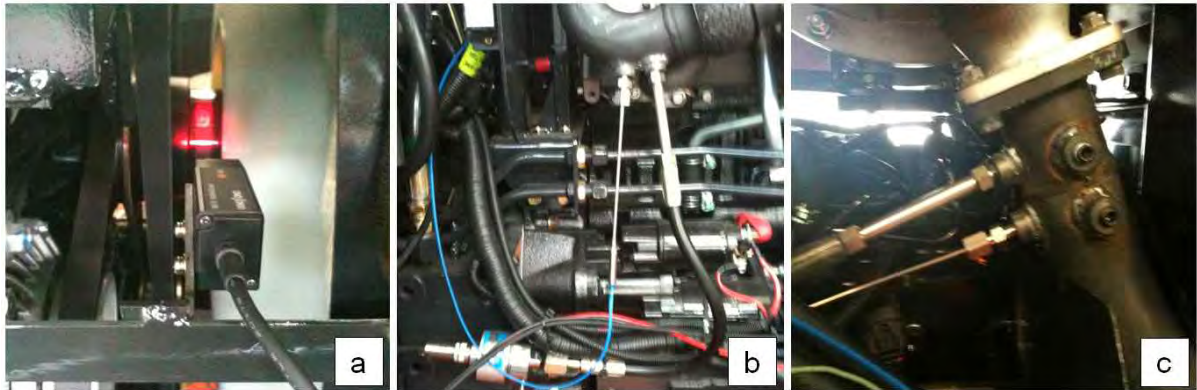
<표 3-18> DX100 트랙터 감속비(2,400rpm)

* DAEDONG T/M & F/A MODEL *

MODEL : DX100 / DK1002C-AU					
RANGE	RATIO	WITH ENGINE AT 2,400 RPM			
		FORWARD		REVERSE	
		감속비(i)	속도(km/h)	감속비(i)	속도(km/h)
1	$\frac{22}{41} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{17}{40} \times \frac{13}{44} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00037	0.27	0.00033	0.24
2	$\frac{27}{35} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{17}{40} \times \frac{13}{44} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00054	0.38	0.00048	0.03
3	$\frac{32}{31} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{17}{40} \times \frac{13}{44} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00072	0.51	0.00064	0.46
4	$\frac{35}{27} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{17}{40} \times \frac{13}{44} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00090	0.64	0.00080	0.57
5	$\frac{22}{41} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00298	2.12	0.00265	1.89
6	$\frac{27}{35} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00428	3.05	0.00381	2.72
7	$\frac{32}{31} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00573	4.09	0.00510	3.64
8	$\frac{35}{27} \times \frac{21}{43} \times \frac{12}{43} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00720	5.13	0.00641	4.57
9	$\frac{22}{41} \times \frac{21}{43} \times \frac{25}{30} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.00890	6.34	0.00792	5.65
10	$\frac{27}{35} \times \frac{21}{43} \times \frac{25}{30} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.01279	9.12	0.01138	8.12
11	$\frac{32}{31} \times \frac{21}{43} \times \frac{25}{30} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.01711	12.21	0.01523	10.86
12	$\frac{35}{27} \times \frac{21}{43} \times \frac{25}{30} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.02149	15.33	0.01913	13.64
13	$\frac{22}{41} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.02186	15.59	0.01946	13.88
14	$\frac{27}{35} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.03143	22.41	0.02797	19.95
15	$\frac{32}{31} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.04205	29.99	0.03743	26.70
16	$\frac{35}{27} \times \frac{8}{37} \times \frac{13}{13+56}$	0.05281	37.66	0.04700	33.52
THE REVERSE SPEEDS ARE SLOWER 11.12% THEN FORWARD SPEED.		최대차속	43.94		

시험 시 변속 조건은 L-3으로 엔진 회전수 대비 1대 0.00573의 감속비를 가지는 것을 알 수 있으며, 엔진 회전수를 1,400rpm으로 설정하였을 경우 실제 주행 시 2.3 km/h의 속도로 주행하는 것과 동일하다.

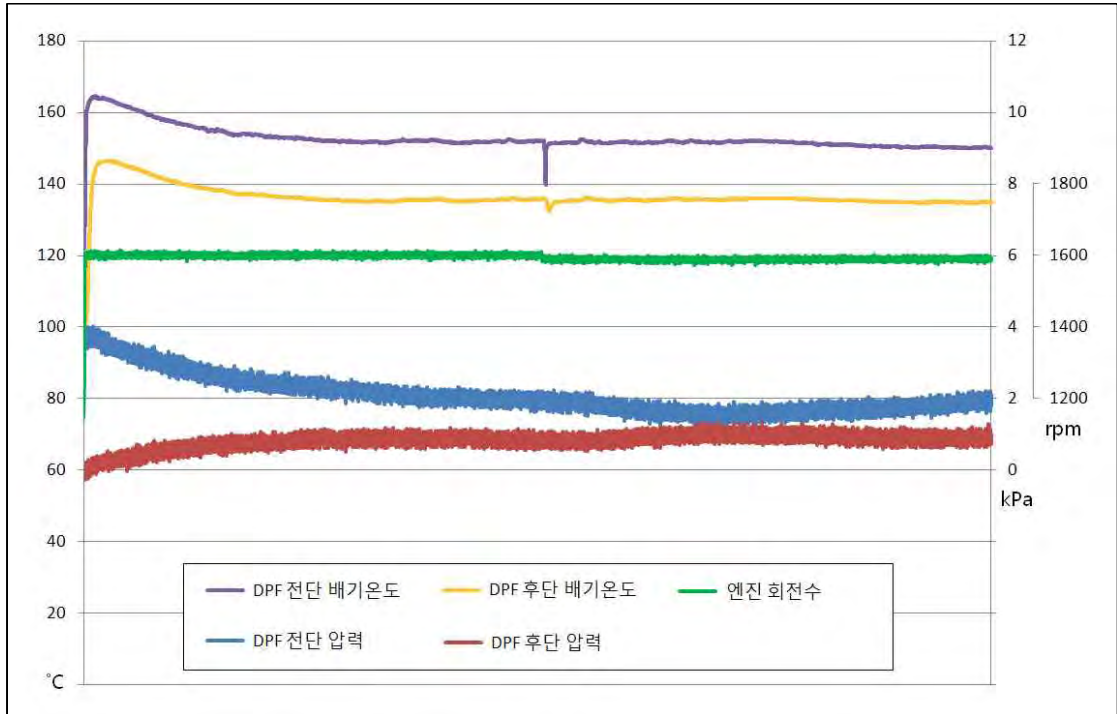
주행 시험 시 정확한 엔진 회전수 조정을 위해 디지털 RPM 측정기를 사용하였으며, 엔진 회전수 외에도 시험 시 후처리장치(DPF) 전·후단의 온도 및 압력 등을 측정하여 데이터를 취득하였다. <그림 3-49>은 시험 시 사용된 계측장비 및 센서를 보여주고 있다.



<그림 3-49> 주행 시험 시 사용된 계측장비 및 센서

<그림 3-49>의 (a)는 반사식 RPM 측정기(디지털)로 냉각수펌프 폴리에 부착한 반사지를 통해 엔진 회전수를 측정하며, 멀티 DAQ(Data Acquisition)를 통해 정확한 엔진 회전수를 측정하고 동시에 실시간으로 기록할 수 있다. <그림 3-49>의 (b)와 (c)는 배기후처리장치(DPF) 전·후단부에 장착한 온도 센서(Thermo-couple)와 압력측정기로 DPF 전·후단부의 배기온도 및 압력을 측정하기 위한 장치이다. DPF 전단에서 측정하는 배기온도는 터보차저 후단부의 배기온도로써 엔진 회전수와 연계하여 추 후 엔진 단독 성능 데이터를 통해 주행 시 사용되는 엔진 출력 등을 추정할 수 있는 데이터로 활용 할 수 있다. 즉 배기온도와 엔진 회전수를 통해 엔진 부하를 계산 할 수 있을 것이다. 엔진 데이터는 트랙터 탑재상태에서 기본적인 시험을 마치고 3차년도에 트랙터에서 엔진을 탈거한 후 단독으로 성능시험을 실시하여 데이터를 확보할 예정이다.

DPF 전·후단의 배기온도 및 압력을 측정하여 DPF내 Soot의 축적량에 따른 배기온도 변화와 차압 관계를 확인하였다. <그림 3-50>는 트랙터 주행 시험 결과를 그래프로 나타내고 있다.



<그림 3-50> 주행 시험 결과 그래프

주행 시험 전 Low Idle로 Warm-up을 10분 실시하였으며, 멀티 DAQ를 작동시킨 후 엔진 회전수를 1,600 rpm으로 조정하였다. <그림 3-50>는 시험 결과는 나타내는 그래프로 실제 9시간 동안 주행 시험을 실시하였으며, 중간에 온도 및 엔진 회전수가 일시적으로 낮아지는 현상은 초기 설정된 엔진 회전수보다 일정 수준 올라가 있어 재조정을 하며 발생한 Error로 볼 수 있다. 또한 엔진 회전수의 경우 그래프 상에는 잘 나타나지 않았지만, 디지털 RPM 측정기를 통해 확인 해본 결과 초기 조정 회전수 1,600 rpm에서 50 rpm 정도 떨어진 1,550 rpm으로 주행하였다. 이는 엔진 회전 시 주행을 위한 미션 및 감속기어 작동 시 부하가 작용한 것으로, 엔진 회전수도 적고 부하도 작용하지 않아 실작업기 작동시보다 낮은 온도가 측정되었다.

또한 배기후처리장치 전·후단의 압력이 변하는 것을 볼 수 있는데, Soot 축적량에 따른 압력의 변화인지 확인하기 위하여 주행 시간 증가에 따른 Soot 축적량을 실제 무게(gram value)로 확인하여 축적량 대비 변화 관계를 확인하고자 한다. 축적량을 확인하기 위해 DPF를 재생한 후 무게를 측정하였으며, 10시간 주행 시험 이후 DPF 무게를 측정, 비교하고자 한다.

5. 작업 부하별 재생 성능 평가

연구 개발 과제 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭 기술” 개발을 위하여 K42엔진을 탑재한 트랙터로 작업 부하별 재생 성능 평가를 실시하였다. 1차년도 트랙터 주행시험과 로터리 작업 시험, 2차년도의 견인 부하 작업 시험에 이어서 3차년도에는 이러한 작업 부하에 대한 재생 가능 여부에 대한 성능 평가를 실시하였다.

트랙터의 작업은 주로 경운, 정지, 운반, 로더 및 방제 등이 있으며, 이 중에 가장 많이 사용되는 작업은 경운, 정지 및 운반이고, 경운에 사용되는 작업기는 쟁기이고, 정지작업에 사용되는 작업기는 로터리이며, 운반에 사용되는 작업기는 트레일러이다. 작업 부하별 성능은 경운, 정지 및 운반을 위주로 실시되어지며, 상기 트랙터의 작업기별 연간 사용 비율 및 작업속도는 <표 3-19>와 같다.

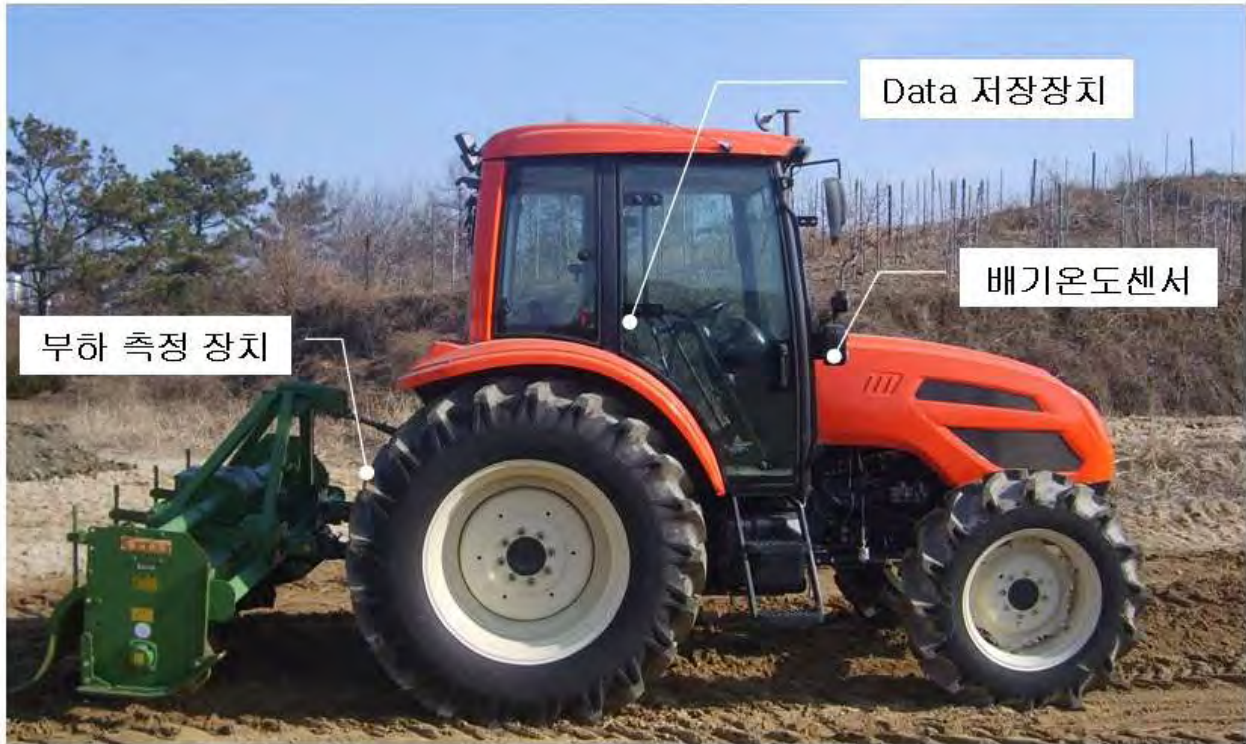
<표 3-19> 트랙터 년 간 작업비율과 시간

작업종류	연간비율(%)	작업속도(km/hr)	비 고
경 운	20.4	5 ~ 7	쟁 기
정 지	37.4	2 ~ 4	로 타 리
운 반	25.5	15 ~ 35	트레일러
로 더	4.8	6 ~ 7	로 더
방 제	2.0		방 제 기
기 타	9.9		

작업부하 시험에 사용된 트랙터의 기본 사양은 <표 3-20>과 같다. <그림 3-51>은 실제 시험에 사용한 트랙터와 시험 장치 구성을 나타내고 있다.

<표 3-20> 시제품 사양

구분	사 양	
트랙터 기종명 (가칭)		DX100-T4
엔진	모델명	MHI K42
	정격출력/rpm	99HP/2400rpm
	최대토크/rpm	340Nm/1800rpm
	배기가스 규제	Int. Tier-4
	토크라이즈	16%
밋션부	셔틀변속	기계식
	주x부변속	16 x 16
유압부	3pt 전자유압제어	미적용
	3rd 외부유압밸브	옵션
	보조램실린더	옵션



<그림 3-51> 시험에 사용된 트랙터

가. 주행시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가

1차년도에 실시한 트랙터의 운전 패턴 분석에 이어서 3차년도에는 트랙터 주행 시의 재생 가능성 여부를 확인하기 위한 주행 시험을 실시 하였다.

DPF는 디젤 엔진 배출가스 중의 PM을 벽류유동에 따른 유동저항으로 필터에서 포집하고 필터를 재생시키기 위해 포집된 PM을 저온에서 산화 또는 강제로 연소시켜 제거하는 배기후처리 기술이다. 재생은 크게 두 가지 방법으로 나뉘어진다.

첫째는 포집된 PM을 점화 온도범위인 550~600℃까지 외부에서 강제적으로 가열하는 방법 (Active regeneration, 1세대 DPF 기술)으로 이를 위해서는 전기히터, 버너 등이 사용되어진다.

두 번째는 현재까지 상용화된 기술로 가장 널리 적용되는 시스템은 PM의 자연 발화 개시온도인 550~600℃ 이하의 300℃ 수준에서 PM을 산화 연소 시키는 촉매를 적용한 자연재생 방식 DPF 시스템(passive DPF system)이 있으며, 이 시스템은 경유 차량의 주행 중 배기 온도가 충분할 경우 별도의 외부열원 없이 엔진 자체 배기 열만으로 필터의 재생이 가능하다.

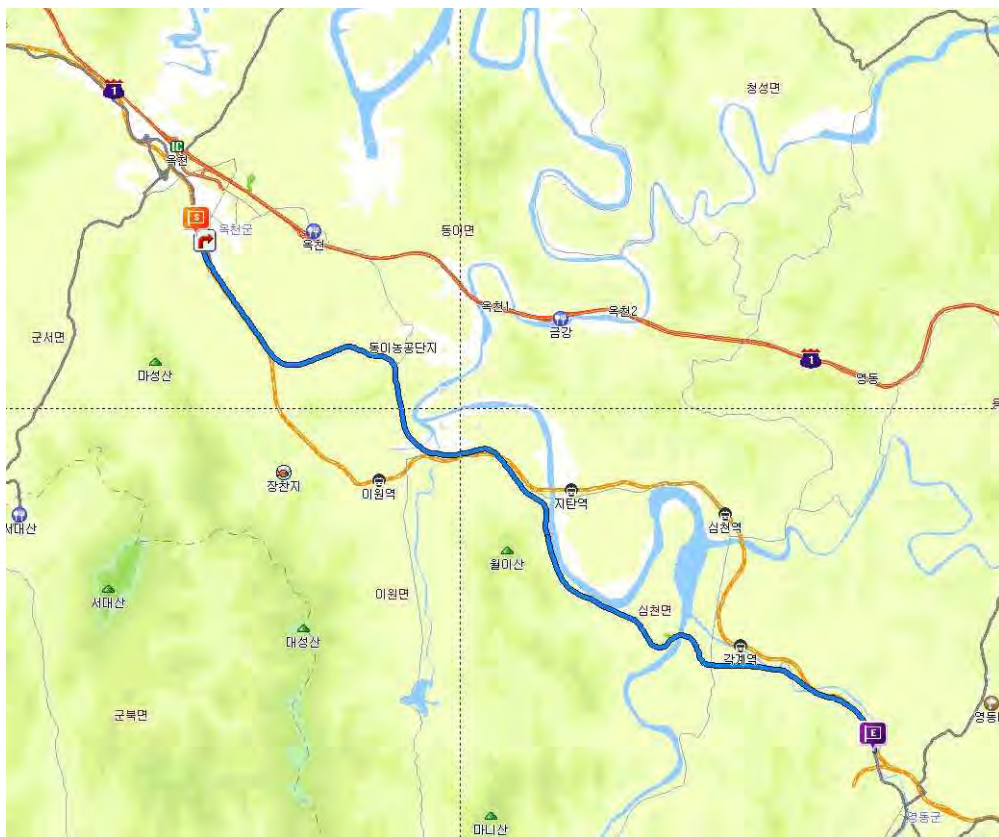
촉매방식의 DPF는 PM의 포집과 필터 재생이 연속해서 발생되기 위해서는 운행 중 엔진배출 배기 온도 조건이 재생 성능 및 장치의 내구성을 보장하기 위한 가장 중요한 요소로 작용한다. 적용 배기 온도 조건을 설정하거나, DPF 재생성능 평가하기 위하여 현재까지는 재생평형온도 (BPT : Balance Point Temperature)를 동력계에서 정량적으로 측정하는 방식을 채택하여 왔다.

외부 열원을 사용하는 강제재생방식 매연 여과장치의 경우, 재생시 필터가 과열되어 파손되지 않도록

록 하는 정확한 재생 제어가 중요하다. 재생제어가 잘못되어 필터내에 많은 양의 매연이 존재하는 상태에서 재생하게 되면 필터내 국부적으로 온도가 상승하여, 촉매 손상 또는 필터의 파손을 초래할 수 있다.

이 번 주행 시험에서는 트랙터 주행시의 배기가스의 온도 경향을 파악하기 위한 것으로, 일반 아스팔트 도로를 주행하는 것으로 하였으며, 실내에서 Running Test를 실시하였다.

도로 주행은 트랙터 공차의 상태로 주행을 실시하였으며, 배기 가스의 온도를 측정하여서 재생 방법 중 passive type와 active type 가능성을 판단하도록 하였다. 도로 주행 코스는 충북 옥천에서 출발을 하여서 영동까지 편도 25km 주행을 실시하였다. [그림 3-52]는 실제 도로 주행을 실시한 코스를 나타내고 있다.



<그림 3-52> 트랙터 도로 주행 시험 코스

주행 시험 시 배기 가스 온도를 측정하기 위하여 후처리장치(DPF) 전/후 단의 온도를 측정하기 위하여 온도 센서(Thermo-couple)를 설치하였다. DPF 전단에서 측정하는 배기온도는 터보차저 후단부의 배기온도를 측정함으로써 엔진 회전수와 연계하여 추후 엔진 단독 성능 데이터를 통해 주행 시 사용되는 엔진 출력 등을 추정할 수 있는 데이터로 활용 할 수 있다. 즉 배기 온도와 엔진 회전수를 통해 엔진 부하를 계산 할 수 있을 것이다.

시험 시 변속 조건은 15 ~ 30km/hr 이하의 속도인 13단에서 15단 사이의 임의 변속단수에서 실시를 하여서 실제 주행의 조건에서 배기가스 온도의 경향을 파악하고자 한다.

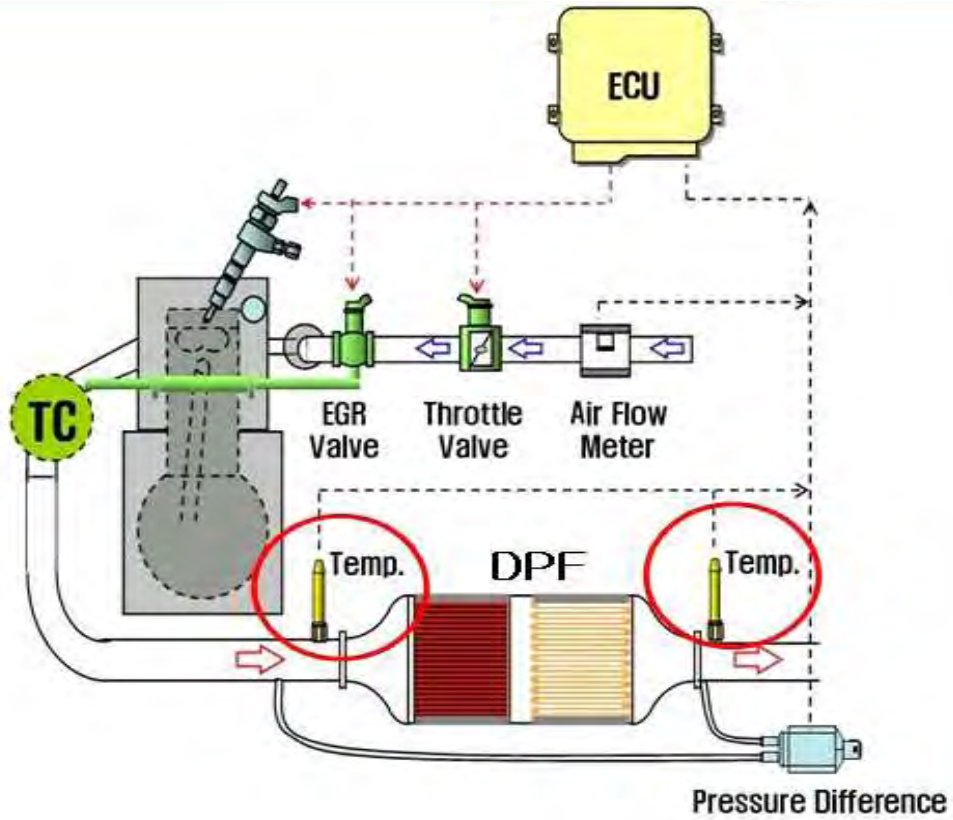
<그림 3-55>는 트랙터의 배기가스 온도 측정 위치와 실제 부착된 센서를 나타내고 있다.



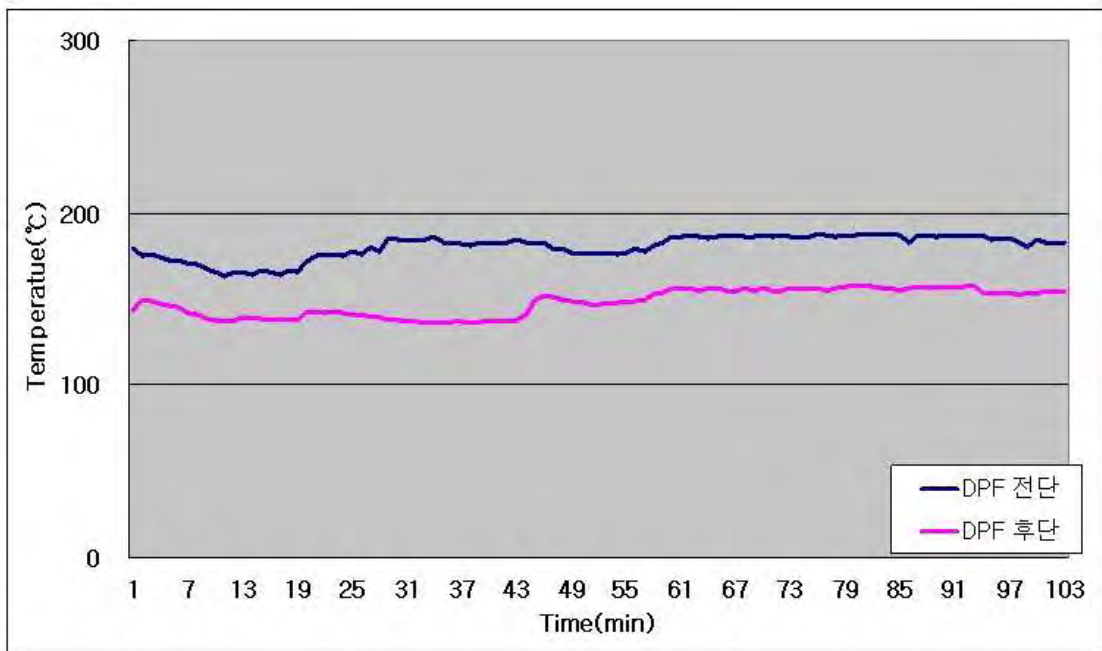
<그림 3-53> 도로 주행 사진



<그림 3-54> 주행 시험 시 사용된 배기 온도 센서



<그림 3-55> 배기 온도 센서 및 측정 위치



<그림 3-56> 도로 주행시 DPF 전/후단의 배기 가스 온도

배기후 처리 장치의 전/후단 배기 온도는 <그림 3-56>와 같이 측정 되었다. DPF 전단의 배기 온도는 DPF 입구 측의 가장 가까운 곳의 배기 온도이고, DPF 후단의 배기 온도는 DPF 배출쪽의 최대로 가까운 곳의 배기 온도이다. DPF 전/후에서 최소 30°C에서 최대 50°C까지 배기온도가 하강하는 것을 볼 수 있다. 배기가스의 온도는 DPF를 지나면서 급속하게 하강하는 것을 알 수 있는데 이는 배

기가스가 DPF내의 필터 엘리먼트를 지나는 동안 터빈을 회전시키면서 열에너지가 운동에너지로 소실된 결과이다.

주행 시험 결과 DPF 전/후단의 배기온도의 분포는 최소 130℃에서 최대 186℃를 보여주는데, 이는 일정 구간 300℃이상 유지되어야 가능한 Passive 방식을 적용하기에는 배기온도가 낮은 것을 보여준다.

이러한 결과는 트랙터가 주행 중에는 실제 엔진에 주는 부하는 매우 적은 것으로 나타났다. 이것은 실제 로타리 작업을 하기 위한 PTO 출력이나 쟁기 작업을 하기 위한 견인 출력을 사용하지 않고 단순히 도로의 노면 저항이나 공기 저항을 극복하기 위한 출력만이 필요한 것이다.

이러한 경우 단순히 포장지를 가기 위한 것이나 포장지와 포장지 사이는 이동하는 경우에는 많은 부하를 받지 않기 때문에 DPF 재생 방법 중에 자연 재생 방법을 택하는 것보다는 강제 재생 방법을 통하여 재생을 실시하여야 할 것으로 판단된다.

나. 작업 시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가

트랙터는 농작업 기계 중 국내외적으로 사용 빈도가 가장 높은 기종으로 국내 농작업 기계의 약 86%를 차지하고 있으며, 연간 작업 면적은 대당 13.5ha로 71.8%의 높은 가동률을 보이고 있다. 국내에서 트랙터 작업은 로타리(26%), 쟁기(45%) 중심의 농작업이 이루어지고 있다.

로타리의 경우 대부분의 농가에서 작업을 실시하며, 엔진 출력에 직결로 연결된 PTO 축을 사용하기 때문에 로타리에 걸리는 부하는 엔진에 직접적으로 영향을 미치고 있다. 쟁기의 경우에는 작물 수확 후 토양의 반전을 통한 숨쉬기 위해 필요한 작업이다. 쟁기 작업은 엔진에 직접적으로 연결은 되지 않았지만 쟁기를 견인하기 위한 힘이 필요하게 된다. 이는 차축을 통하여 미션을 걸쳐 엔진의 출력축으로 부하가 전달되는 것이다. 이 외에도 로더나 베일 작업이 있지만 사용 시간이 많지 않기 때문에 사용시간이 많은 작업을 위주로 실시를 하고자 한다.

(1) 트랙터 로타리 작업 시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가

로타리 작업의 경우 적정한 로타리를 장착하여 시험 시 실 작업 환경에서 사용 빈도가 높은 작업단수에서의 엔진 회전수별 작업을 실시하였다. 시험 시 작업단수는 로타리 작업을 주로 하는 3 ~ 5km/h를 기준으로 하여 작업 단수를 6단, 7단, 8단으로 변속하여 로타리 작업을 실시하였고, 작업을 하는 경우에 트랙터 PTO 출력축과 로타리 출력축 사이에 토크를 측정할 수 있는 토크미터(슬립링)를 장착을 하여서 로타리의 부하를 측정하고, DPF 전단과 후단에 배기가스 온도 센서를 장착을 하여서 배기가스의 온도를 측정하였다.



로타리



쟁기

<그림 3-57> 트랙터에 사용되어지는 주요 작업기

엔진 회전수는 로터리 작업 속도를 맞추기 위하여 정격회전수로 고정을 하여서 작업을 실시하였다. 각각의 회전수에 대한 작업 부하 및 배기가스 온도는 1차년도에 기 실시를 하였기 때문에 이번에서는 실 작업 환경을 기준으로 트랙터 로터리 작업 시 DPF 재생 가능 여부를 확인하고자 한다.

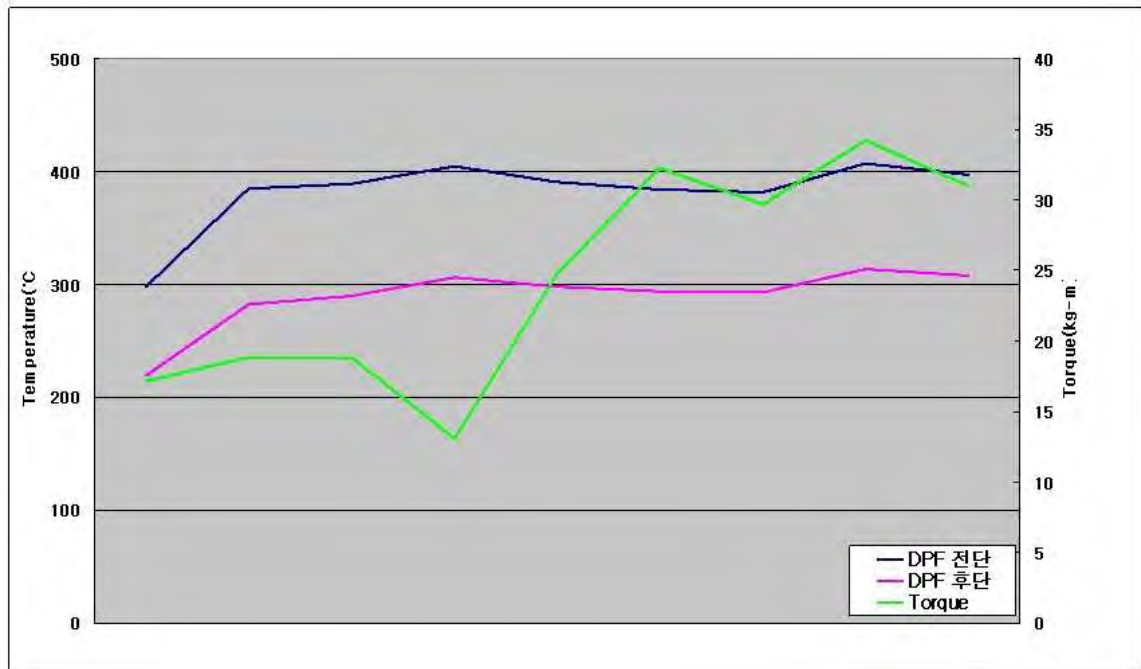
<그림 3-58>은 트랙터 로터리 작업 부하 시험에 실시된 공시 트랙터의 사진이다. 전방 본넷트 아래에 DPF 전단 / 후단 배기가스 온도 센서가 부착이 되어 있고, 트랙터 후방에 로터리 부하를 측정하기 위해 토크미터(슬립링)를 부착하였다. 센서들의 신호를 저장하기 위해서 트랙터 캐빈 내부에 데이터 저장장치를 장착하였다.



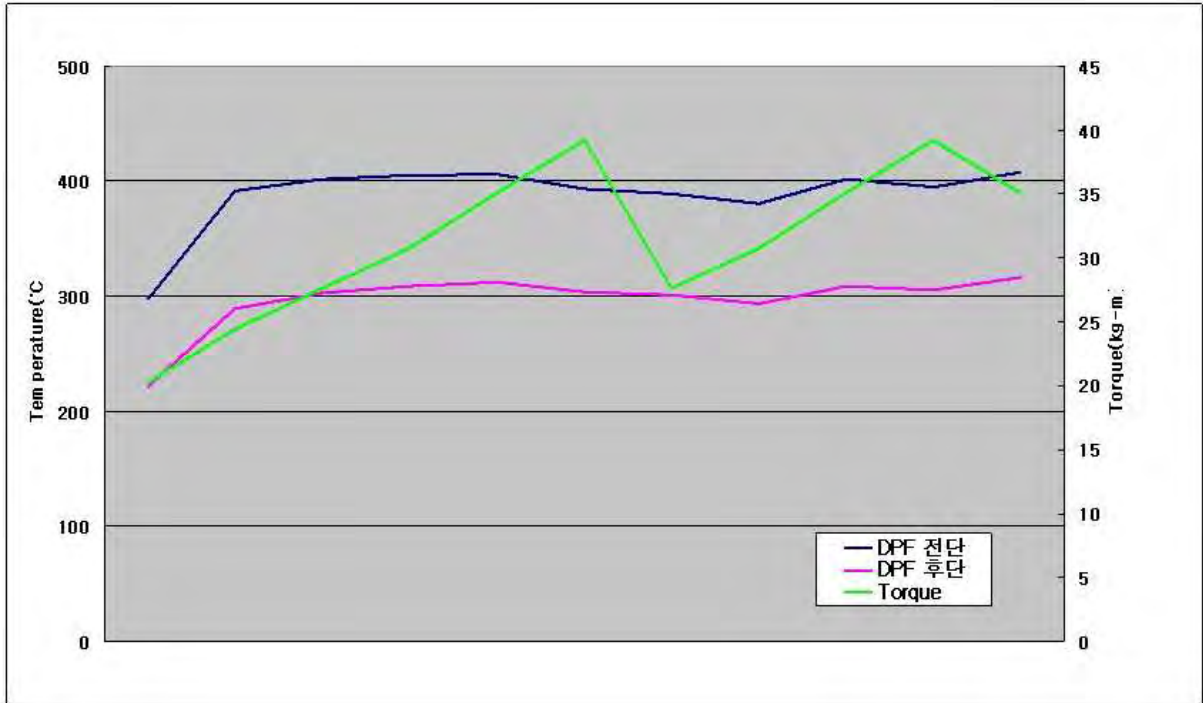
<그림 3-58> 로터리 작업 시험 트랙터의 시험 장치



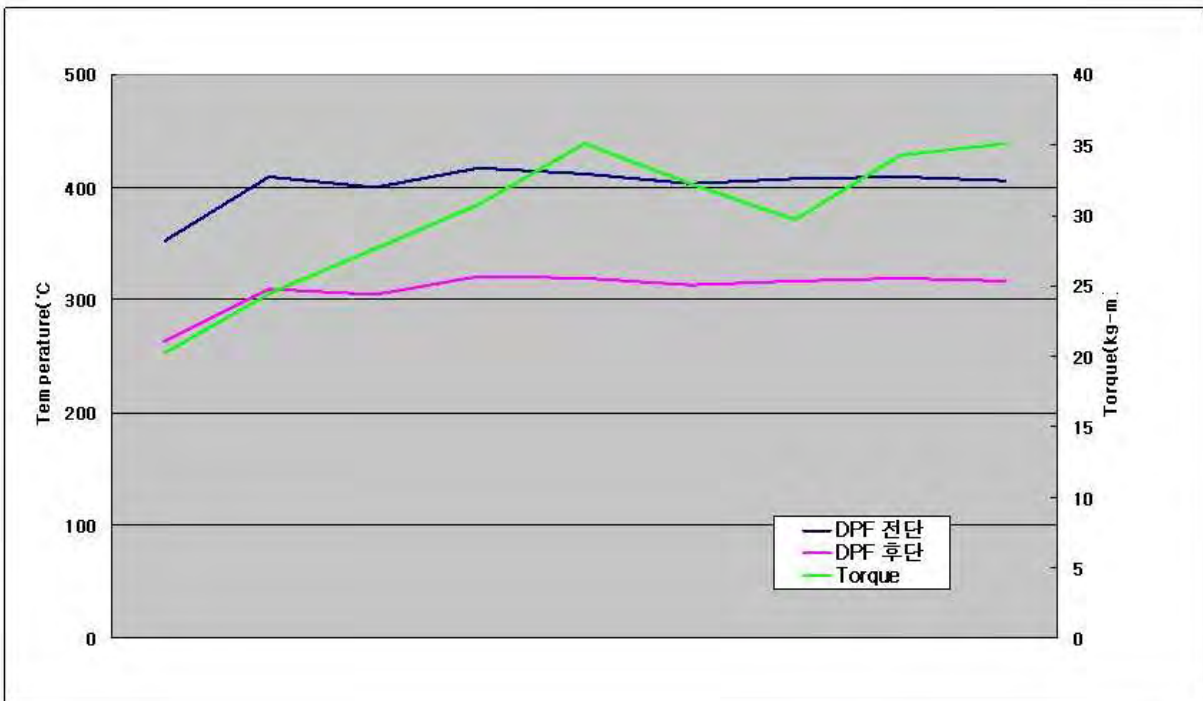
<그림 3-59> 로터리 작업 시험에 장착된 부하측정기 및 저장 장치



<그림 3-60> 작업단수 6단에서 배기 가스 온도 및 토크



<그림 3-61> 작업단수 7단에서 배기가스 온도 및 토크



<그림 3-62> 작업 단수 8단에서 배기가스 온도 및 토크

로터리 작업 시에도 DPF 전·후단에서 최소 220℃에서 최대 400℃까지 배기온도가 분포를 하고 있는 것을 볼 수 있으며, 배기 온도는 일정 작업 시간이 지나고 나서 일정하게 유지되고 있는 경향을 보이고 있다. 그리고 작업 단수가 증가할수록 배기온도가 상승되는 경향을 보여준다. DPF 전/후단의 배기온도분포는 작업 단수 6단에서 최소 220℃, 최대 400℃의 온도분포를 보여준다. 일반적으로 로터리 작업 시에는 배기온도가 300℃보다 높게 측정되었지만, Field에서 로터리 작업 특성상, 일정한 부하를 지속적으로 유지하는 시간이 한정되어 있다. 한국 지형의 논과 밭의 경우 직선주행 거리가 제한적이며 회전을 하거나 하는 경우에는 엔진 회전수를 줄이기 때문에 배기가스 온도는 줄어든다. 또한 봄철에 무논 로터리 작업을 할 경우에는 부하가 많지 않기 때문에 DPF 전단과 후단의 배기가스 온도는 작업 환경과 조건에 따라 그 영역이 매우 한정될 수 있으므로 PM을 88%이상 저감시키기 위해서는 재생효율 측면에서 유리한 Active Type의 DPF의 적용의 검토가 필요할 것으로 생각된다.

(2) 트랙터 쟁기 작업 시 재생 가능 여부확인 및 성능 평가

2차년도에 쟁기 부하 작업은 국제 종합기계(주)의 트랙터를 사용하여서 배기가스 특성을 파악하였다. 이러한 예비 실험을 통하여 실제 공시 트랙터로 견인 부하 작업을 실시하였다.

쟁기는 로터리 작업과는 별도로 트랙터 견인 성능을 시험하기 위하여 많이 사용되어진다. 이는 트랙터가 전진을 하려고 하고, 쟁기는 보습이 땅에 박혀서 트랙터의 진행 방향에 수직으로 저항을 발생 시키게 된다. 이것은 결국 트랙터의 견인부하를 발생시키게 된다. 이것은 평지에서 트레일러를 견인하는 경우 트레일러에 탑재된 무게에 수직 부하를 이겨내는 견인 부하와는 차이가 있다. 트레일러의 경우 노면 저항 계수가 토양 보다는 적으며, 한번 기동을 하게 되면 관성에 의하여 쉽게 견인이 된다. 하지만 쟁기의 경우에는 지속적으로 보습이 땅에 박히기 때문에 트레일러와 다른 경향의 견인 부하를 발생시킨다.

본 연구에서는 쟁기에 의한 견인 부하 작업에서 재생 가능 여부를 확인하였다.

<그림 3-63>은 견인 부하 측정 시험에 사용된 공시 트랙터, 공시 작업기(영신쟁기, YS 6P)와 각각의 센서 및 데이터 로거의 위치를 전반적으로 나타내었다. 엔진 DPF 전단 및 후단의 배기가스 온도를 측정하는 센서부는 본넷트 안의 엔진룸 쪽에 설치가 되었고 견인부하를 측정하기 위하여 후방에 부하측정기를 부착하여 쟁기를 연결하였다. 그리고 모든 데이터는 트랙터의 캐빈 내부에 설치된 데이터 저장 장치와 연결되도록 하였다. 이는 쟁기 작업 시 견인 부하의 변동에 따른 배기온도의 특성 변동에 대한 경향을 파악하기 위한 것으로 쟁기 작업시의 배기 온도 특성에 영향을 미칠 수 있는 모든 변수를 확인하기 위하여 데이터를 수집하였다.



<그림 3-63> 쟁기 작업 시험 트랙터의 시험 장치

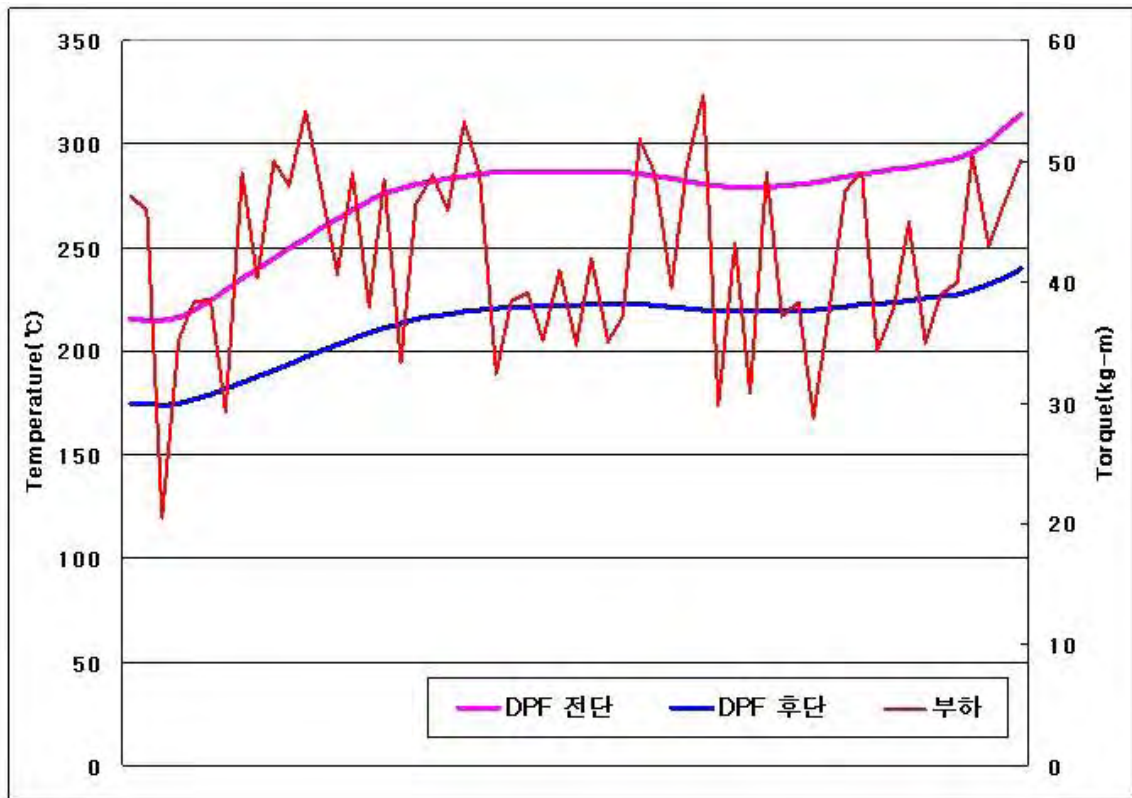
<그림 3-64>은 견인 부하 측정에 사용된 공시 작업기로서 영신(주)의 6(六)련 이랑형 쟁기이다. 이는 현재 일반 농가에서 사용되고 있는 6(六)련 쟁기로서 일반적인 반전 쟁기보다 견인 부하가 많이 걸린다.

엔진룸에 있는 DPF 전단과 후단의 배기 가스 온도 신호와 견인부하 측정 장치의 Load cell의 신호는 데이터 로거로 수집이 되며, 수집된 데이터는 마이크로컴퓨터로 전달되어서 데이터 처리를 수행하도록 되어있다.

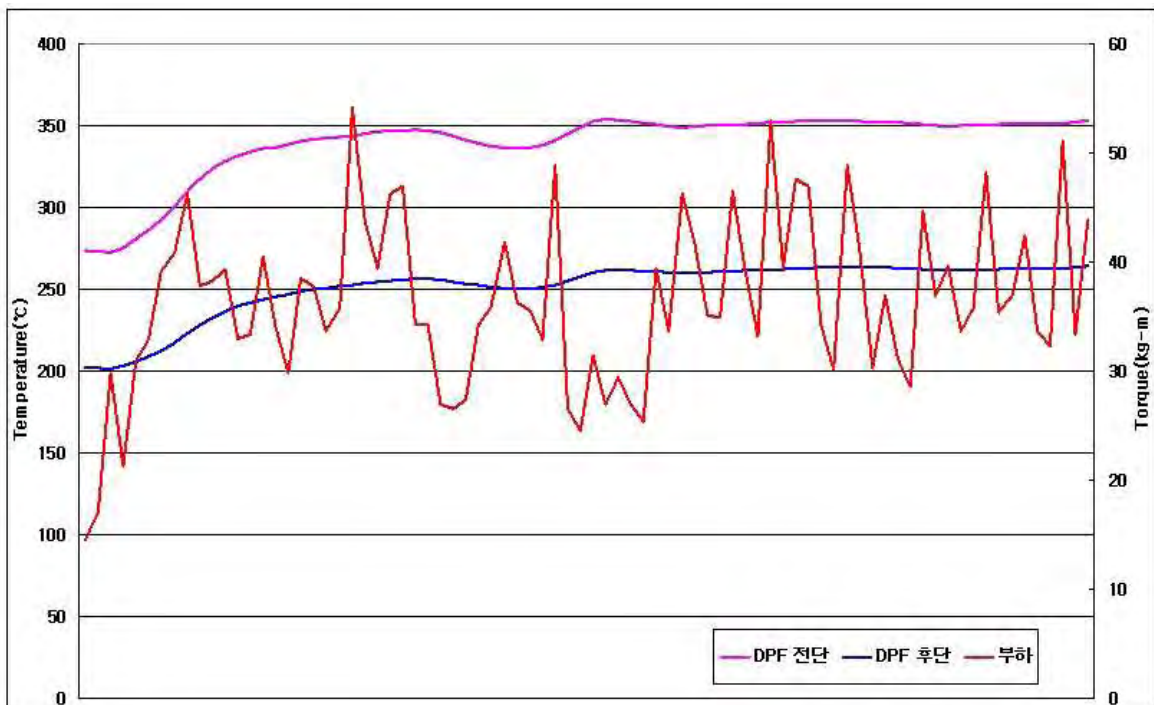


구분	시양
형식	YS6P
길이(mm)	2000
폭(mm)	1579
높이(mm)	1275
중량(kg)	331

<그림 3-64> 공시 작업기의 외관 및 사양



<그림 3-65> 쟁기 작업 시 엔진 회전수 2000rpm에서 배기가스 및 부하



<그림 3-66> 쟁기 작업 시 엔진 회전수 2400rpm에서 배기가스 및 부하

시험결과 쟁기 작업 시 배기온도 분포를 보면 2차년도에 실시한 쟁기 작업 시 측정되었던 배기온도 경향과 같이 DPF 전단과 후단의 배기온도는 큰 차이를 보이고 있다. 엔진 회전수가 2400rpm인 경우에 배기가스 온도는 전반적으로 300℃보다 높게 나타난다. 하지만 이러한 배기가스 온도의 지속 여부는 로터리 작업 시와 같이 지속성을 가지지 못하고 있다. 이는 일정한 부하를 유지하는 부하 제어 시스템을 장착하고 넓은 지역을 경운해야 하는 일부 서구 선진 트랙터에서는 가능하지만, 한국의 지형 및 일반 트랙터에서는 부하를 지속적으로 유지 하기는 힘이 든다.

대부분의 작업자는 쟁기 작업 시 트랙터의 정격 회전수인 2400rpm을 유지하지 않고 1800~2000rpm을 유지 하면서 작업을 실시한다. 엔진 회전수가 2000rpm인 경우의 DPF 전단과 후단의 배기가스를 보면 300℃보다 낮게 나타나고 있다. 이를 바탕으로 쟁기 작업 시 DPF가 자연재생을 위해 유지되어야 하는 배기온도인 300℃보다 낮은 온도로 운전되고 있음을 확인 하였고, DPF 재생 시 필요한 배기온도를 유지하기 위한 조건을 Logic에 적용하여야 한다.

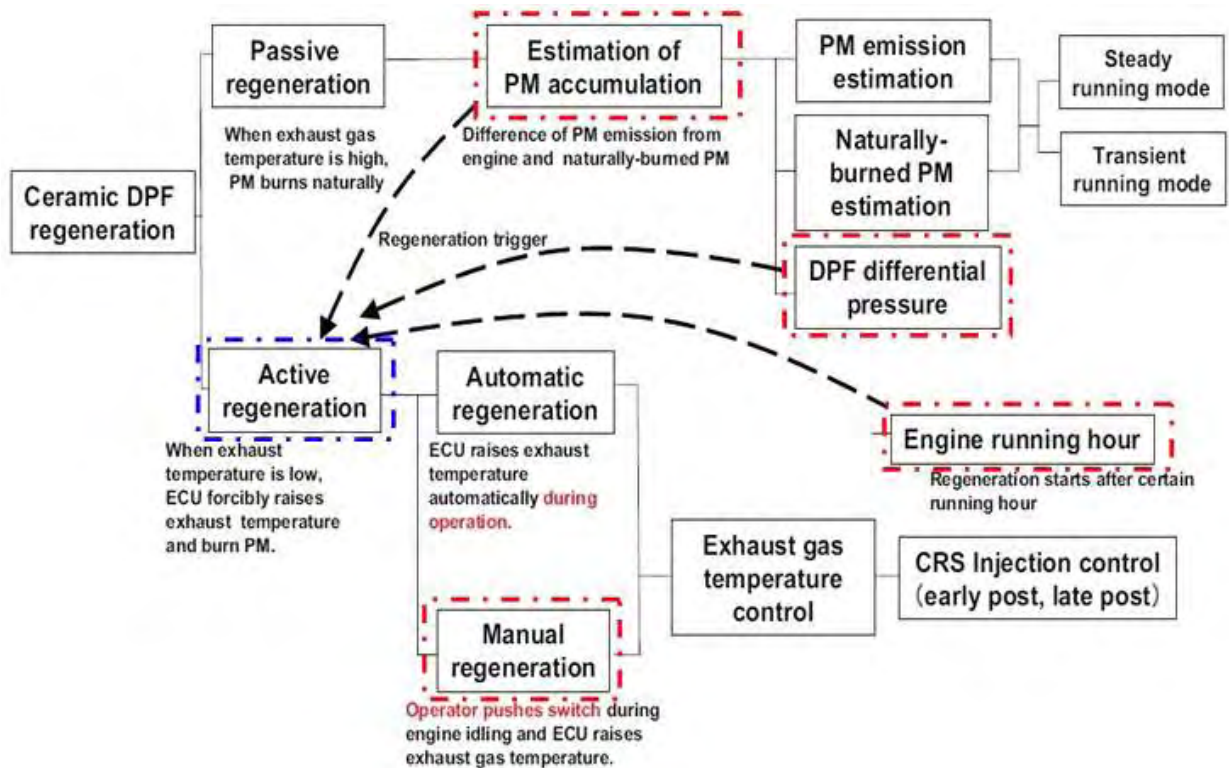
시험을 통한 배기온도의 경향 분석 결과 DPF의 자연재생이 불가능하여 자연재생이 가능한 배기온도를 유지할 수 있는 조건을 만들어 주기 위한 Logic이 필요함을 알 수 있었다.

다만 시험 결과는 쟁기의 높이를 고정하여 일정한 경심으로 시험을 하고자 했으나, 지질의 조건 및 주행조건에 따라 경심의 깊이가 변하며 부하 변동이 심하게 나타났다. 경심의 깊이가 깊어지면 경운면적이 넓어지며 부하율이 높아져 배기온도는 올라가고 엔진 회전수가 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 부하에 따른 온도변화는 명확하게 나타나고 있으나, 보다 정확한 경향 분석을 위해 정확한 시험이 필요할 것으로 판단되며, 작업기 작업 시 발생하는 부하율을 바탕으로 차축부하측정시험을 수행하여 부하율에 따른 배기온도 경향을 분석 할 것이다.

6. 재생 Logic 검증 및 성능 평가

본 과제 수행을 위한 트랙터(모델명 : DX100, 제조사 : 대동공업)에 탑재된 K42엔진의 배기가스 저감을 위한 후처리장치 중 하나인 DPF에 대해 재생 가능성에 대한 평가를 실시하였다. 기본적으로 배기 온도에 의한 자연재생 방식을 사용하려고 하였으나, 주행 시험 및 작업 부하 시험 시 배기 온도가 자연재생의 배기 온도의 기준인 550~600℃를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 트랙터의 배기후처리 장치의 재생을 하기 위해서는 배기가스 온도 외의 다른 방법을 사용하여야 한다. 이는 DPF내에 포집되는 soot의 축적량을 계측하여서 재생을 하는 방법을 사용하도록 한다.

공시 트랙터에 장착된 엔진의 DPF 재생은 자연 재생방법이 아닌 강제 재생 방법을 채택을 하였다. 엔진 DPF 재생 Logic은 자동재생과 매뉴얼 재생으로 두 가지로 나누어지며, 자동 재생의 경우 DPF내의 soot량에 따른 차압을 감지하거나 엔진 시동 후 일정한 작업시간이 지나면 자동 재생을 한다. 매뉴얼 강제 재생의 경우 순수하게 강제적으로 재생을 실시하는 경우이다.



<그림 3-67> DPF 재생 전략(강제 재생)

가. 재생 Logic 검증 및 개선 보완

재생 Logic 검증을 위해서는 필드 시험을 하지 않고, 로터리 작업을 위한 실내의 PTO 다이나모 시험을 실시하도록 하였다. 트랙터의 배기후처리 장치, 특히 DPF에 포집되는 Soot의 축적량에 대한 차압 시험을 통해 확인하였다.

(1) PTO 다이나모 테스트에 의한 Logic 검증

작업 시 Soot 포집에 따른 배기후처리장치(DPF) 전·후단부의 온도 및 압력에 대해 평가하였다. 트랙터를 PTO 다이나모에 연결을 하고, 엔진 회전수는 정격 회전으로, 부하는 전 부하를 주어서 내구 시험을 실시하였다.

<그림 3-68>는 PTO 부하 시 Soot 축적량에 따른 배기후처리장치(DPF) 성능을 확인하기 위한 테스트 중인 모습을 나타내고 있다.

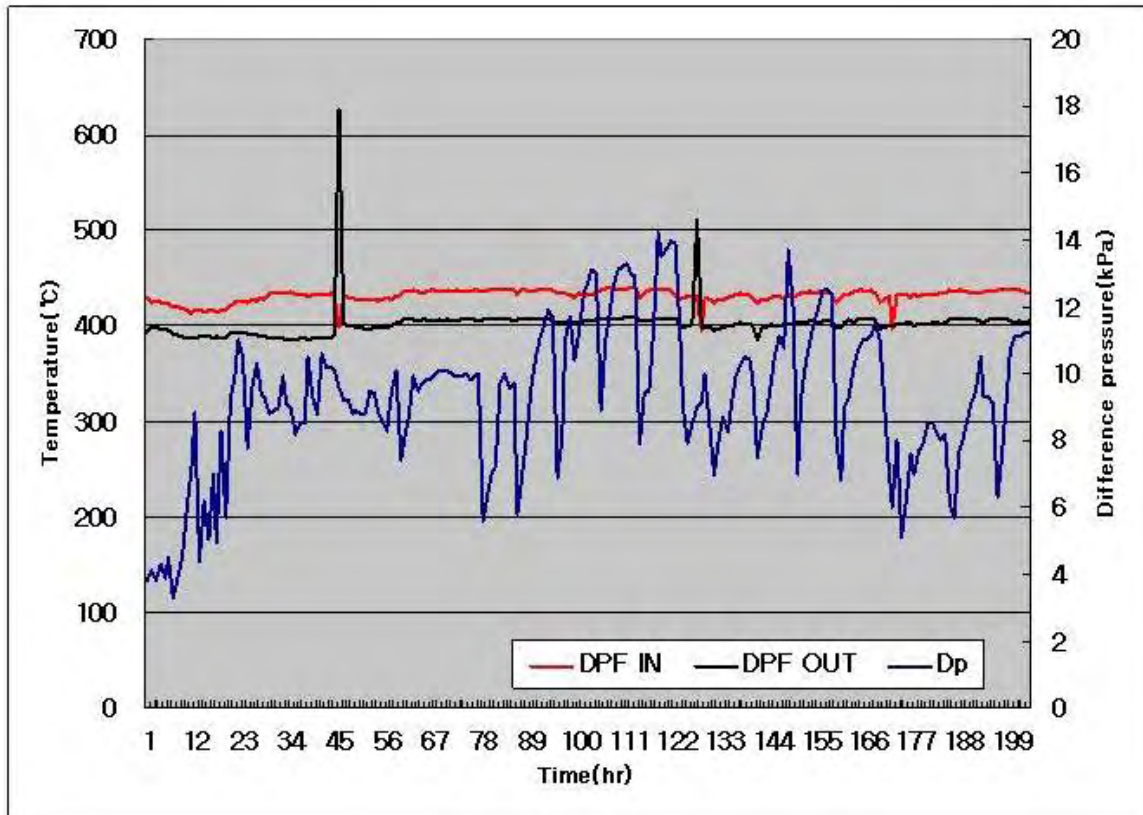


<그림 3-68> PTO 부하 테스트 사진

시험 평가는 국제종합기계(주) 시험동에서 장착된 PTO 다이나모를 사용하여서 실시하였다. 데이

터는 기본 데이터(토크, 냉각수 온도, 연료 온도 등)에 Logic을 평가하기 위하여 필요한 배기가스 온도와 압력 값을 측정 하였다. 시험 시간을 200시간을 실시하여 재생 여부를 확인하고자 하였다.

측정된 데이터는 데이터 저장 장치를 통하여 컴퓨터로 자동 저장이 되게 되어있다. 시험 진행 사항을 확인하기 위하여 컴퓨터 모니터를 통하여 상시 모니터링을 하도록 하였다.



<그림 3-69> Logic 검증을 위한 PTO 내구 시험 결과 그래프

재생 Logic을 검증하기 위하여 PTO 다이내모 시험 장치에서 평가 시험을 실시하였다. 시험 시 트랙터에 장착된 DPF 재생 선택 스위치를 자동으로 놓은 상태에서 실시를 하였다. DPF 재생 관련하여 측정 할 수 있는 데이터는 DPF 전단과 후단의 배기가스 온도와 압력을 측정 하였다. 측정된 압력은 전단과 후단의 압력 차이를 계산을 하여서 배기가스 온도와와의 관계를 표시 하였다.

시험을 초기에는 차압은 4 KPa에서 시작을 하여서 점차 증가하고 있다. 약 60시간 정도 지나고 나서 DPF 후단 배기가스 온도가 갑자기 600°C까지 상승을 하였다. 이때에 차압은 떨어지고 있다. 이는 DPF 재생이 되는 것으로 판단된다. 재생 후에 차압이 초기와 같은 값을 나타내지 않고 있는 것은 재생이 완전히 이루어지지 않은 것으로 판단이 된다.

실제 DPF내에 포집되어지는 soot량에 의해 발생이 되는 DPF 전단과 후단의 압력 차이로 인한 재생 로직은 작동이 되는 것으로 판단되었다.

나. 재생 Logic 최종 평가

공시 트랙터에 장착된 DPF의 재생은 배기가스의 온도가 낮아서 자연재생이 아닌 ECU가 강제적으로 배기가스 온도를 상승시켜서 Soot를 태워버리는 Active 재생 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서 사용되어지는 방법은 DPF내부에 포집되어지는 Soot의 축적 변화에 따른 DPF 내부의 압력 특성 변화를 파악하여서 재생을 하는 로직이다. 즉 Soot loading에 의한 압력 강하 특성을 파악하여서 재생을 실시한다.

재생 평가 시험은 실제 필드에서 작업을 하는 것이 아니라 필드 작업 조건을 실내에서 구현을 하는 방법을 채택을 하였다. 실제 로터리 작업, 쟁기 작업 및 주행 작업에 대한 시험을 실시하여야 하나, 그 중에서도 엔진에 가장 큰 부하가 걸리는 로터리 작업에 대한 실내 PTO 다이내모 시험을 통하여 재생 Logic에 대하여 평가를 하고자 한다.

시험 결과를 보면 DPF의 차압의 변화에 따라 배기가스 온도가 상승을 하여서 DPF 재생이 이루어지는 것을 알 수 있다. 재생에 걸리는 시간은 약 60시간 정도 소요가 되었으나, 이것은 연속적으로 부하를 주었기 때문에 발생하는 것이다. 실제 필드 작업 시에는 이러한 재생 시간은 작업의 조건 및 부하 정도에 의하여 결정이 될 것으로 판단된다.

7. 후처리시스템 최적화 검토

디젤을 사용하는 트랙터의 경우 입자상물질(PM : Particulate Matters)과 질소산화물이 다량으로 배출되고, 더욱이 PM을 발암물질로 규정됨에 따라 각 국에서는 디젤 차량에 대한 배기가스 규제를 매우 엄격하게 실시하고 있다. 따라서 디젤 차량에서 배출되는 유해물질 저감에 관한 연구는 매우 중요한 과제 중에 하나이다. 이러한 유해물질을 저감시키기 위한 후처리 장치에 대한 연구는 필수적이다.

배기 후처리 장치 중 우수하다고 평가되는 것은 디젤 산화촉매장치(DOC :Diesel Oxidation Catalyst)와 입자상 물질 여과장치(DPF :Diesel Particulate Filter)이다. 입자상 물질 여과장치는 어떠한 조건에서도 PM을 70~90%정도 저감시킬 수 있어 PM에 대한 매우 효과적인 후처리 장치로 평가된다.

DPF는 PM을 저감시키는 장치로 엔진 운전 시 발생하는 PM을 포집하였다가, 일정 주기 또는 미리 설정한 조건이 되면 재생하는 장치로 자연재생이 가능한 Passive Type과 Active Type처럼 Logic에 의한 강제 재생방식이 있다. K42엔진은 강제 재생방식 중 하나인 Post Injection방식을 도입하여 재생하고 있으며, 전자제어장치(ECU)에 재생 주기 또는 조건을 미리 입력하여 자동재생 할 수 있도록 설정되어 있다.

가. 후처리시스템 사양 검토

공시 트랙터에 장착된 DPF Assy의 기본사양과 탑재 요구사양은 다음과 같다.

<표 3-21> DPF 기본사양

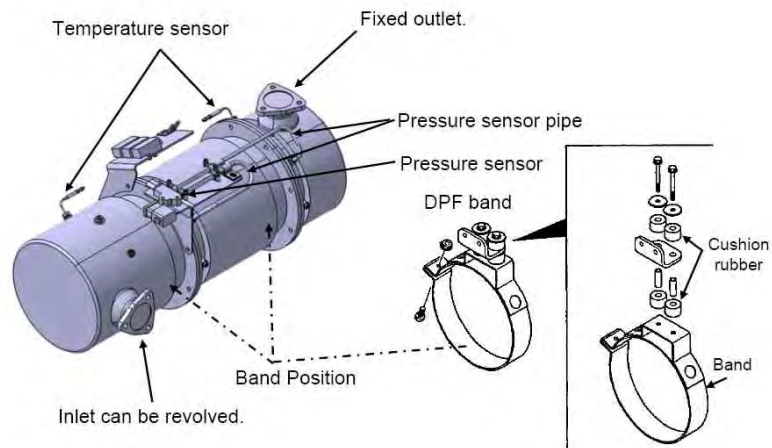
구 분	사 양
전체 외관 사이즈	App. D260mm x L585mm x H347
건조중량	App. 29kg
내구 진동레벨	Max 10G
최대 허용 파이프 압력강하	Max 5kPa
DPF assy 압력강하	Max 30kPa
소음레벨 저감율	App. 20dB
HC 정화 성능	63% or higher
PM 정화 성능	90% or higher

나. 탑재성 검토 및 성능 평가

DPF는 기본적으로 엔진 메이커에서 제시하는 다음과 같은 설치 가이드를 만족하도록 설계되어져야 한다.

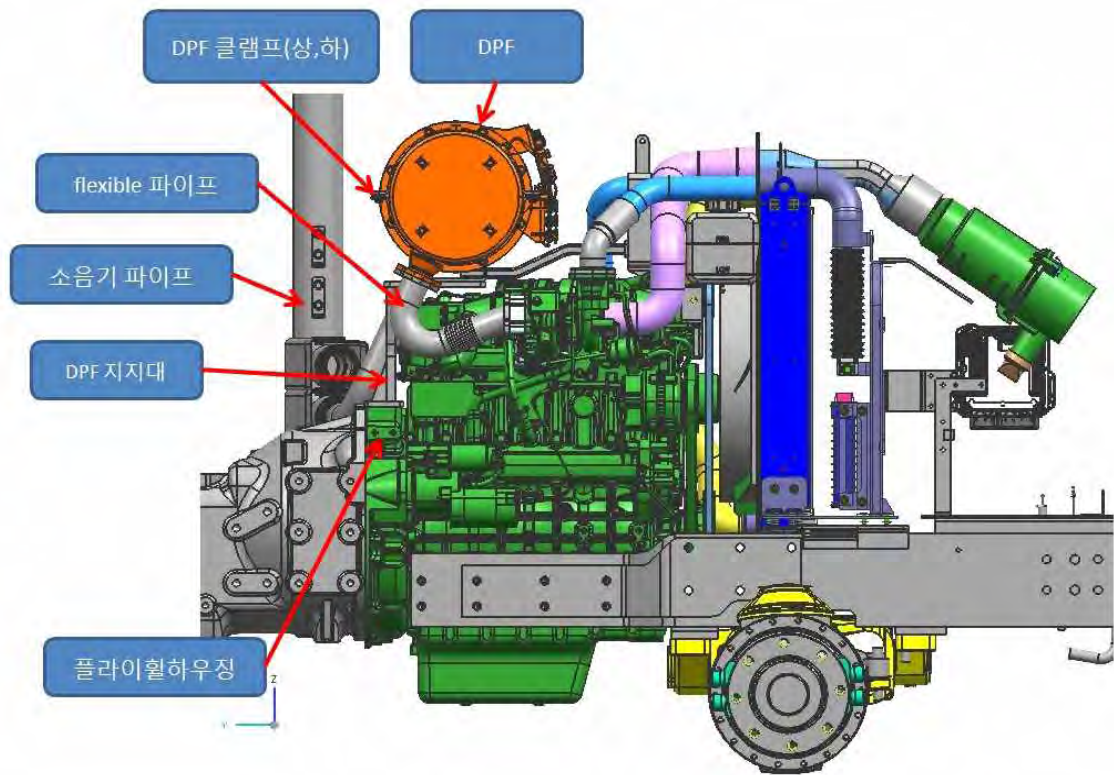
<표 3-22> DPF 설치 가이드 기준

항목	기준	평가
DPF outlet angle	수직방향	
DPF installation angle	가로방향	
DPF position	엔진 매뉴폴드에서 가장 가까운 곳	
Pressure drop	엔진 정격에서 5kPa 이하	
Flexible tube	입구/출구 플렉시블 튜브	
DPF band	두께 40mm	
Cushion rubber	진동 10G 이하	
DPF 압력 센서/온도 센서	DPF 상부 부착	
DPF 표면 온도	300℃	
Interspace	부품 간 15mm 이상	
배기가스 온도	재생 시 600℃ 이상	



<그림 3-70> DPF Installation Example

<그림 3-71>은 본 연구에서 공시 트랙터에 부착된 후처리 장치 배치 구조를 나타낸 그림이다.



<그림 3-71> 후처리 장치 배치 구조

후처리 장치의 배치 고려사항에 충분히 검토하고, 제 기능을 발휘 할 수 있도록 후처리장치의 지지대 및 브라켓을 설계 하여 장착하였다. 첫 번째로 엔진룸 공간 최대 확보 및 엔진과 matching이 유리하도록 DPF를 가로 방향으로 배치하였으며, DPF가 받을 수 있는 진동 및 하중에 충분히 견딜 수 있도록 플라이휠 하우징 상단에 DPF 메인 지지대를 세워 고정 지지하였다. 특히 DPF의 메인 지지대는 DPF가 받을 수 있는 10G의 진동에 대해서 충분한 강도 계산 및 검토 후에 설계 제작하였다. DPF를 고정 하기위해서 DPF에 좌, 우에 각각 40mm이상의 두께의 클램프를 설치하여, 최대한 안정된 상태로 고정 될 수 있도록 하였다. 또한 외부 충격이나 갑작스런 움직임에 의해 DPF와 터보와의 연결관에 비틀림 및 벤딩 모멘트가 작용할 수 있으므로, 이에 대한 대비로 flexible pipe로 연결하여 발생할 수 있는 위험에 대해서 대비하여 설계 하였다. 일반적으로 DPF가 소음기의 역할도 함께 할 수 있으므로, 소음기는 장착 하지 않는 경우가 있으나, 본 기대의 트랙터의 경우 DPF에서 나온 배기가스로부터 사람이 받을 수 있 영향을 최대한 없애고자 소음기 파이프를 설치하여 배기가스가 트랙터 캐빈 위쪽으로 향할 수 있도록 창작하였다.

제 4 절. [협동3(LS엠트론)] Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가

1. 실차 시험 평가 기술 정보조사 및 기준안 설정

지구 온난화에 따른 환경보전의 관점에서 디젤 엔진에 대한 배기가스규제가 점점 강화되고 있다. 특히 2005년에 미국 EPA가 발표한 Tier-4 배기가스규제에서는 Off-road용 디젤 엔진에 대하여 대폭적인 규제 강화를 2011년 이후 출력별 실시하기로 공표하였다.

Tier-4 규제에 의하면 출력별로 규제 값은 상당히 다르지만 NO_x의 저감 및 PM은 1/10이하로 저감되어야 하는 규제 값이 되어 있어 커먼레일 시스템화와 같은 엔진 성능 개선뿐만 아니라, EGR 및 DPF등의 배기정화장치와 그에 따른 냉각장치의 장착이 필수불가결하게 되었고, 이로 인해 적절한 EGR율과 재생방법 및 방열성능 적정성 검증이 중요하며 이러한 능력은 실 엔진 운전 조건에서 어느 정도 실현되는지 또한 중요하므로 엔진과 배기정화 및 냉각장치의 Application 기술 개발과 함께 이를 검증하는 시험 평가 기술 개발이 필요하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 강화된 엔진 배기가스규제를 충족하는 고마력 엔진의 Tier-4 규제 만족을 위한 실차시험의 기반 기술 확보하기 위해 선행기술 및 규제 동향 조사를 통하여 Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가 기준을 확립하는데 기초자료로 사용하고자 하였다.

가. 선행기술조사 및 기술 동향

(1) Vehicle Calibration 기술 조사

현재 Off-road용 Tier-4 대응 커먼레일 디젤엔진의 Vehicle Calibration에 관한 자료가 한정되어 있어, 이에 자동차에 적용되는 Vehicle Calibration 및 기타 항목들을 조사하여 표 4-1에 나타내었다.

<표 4-1> 자동차 적용 Vehicle Calibration 및 기타 항목 조사표

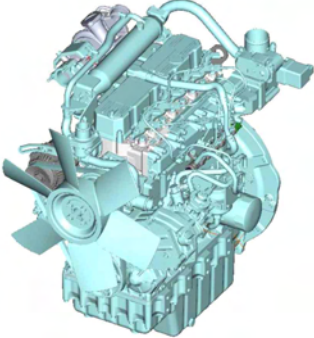
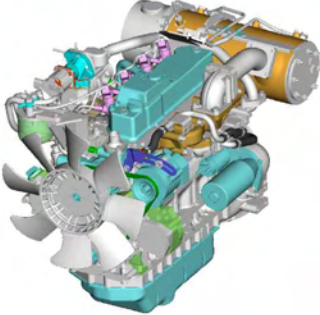
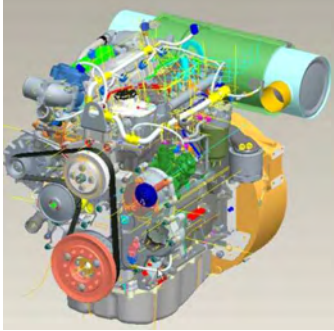
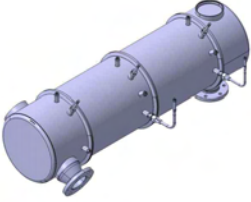
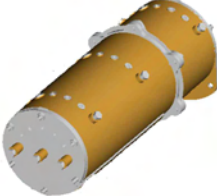
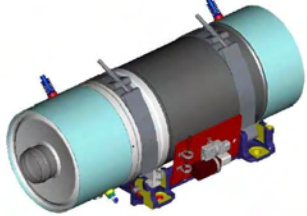
대분류	중분류	항목
Vehicle Calibration	CRS Calibration	1. Drivability 1) ASD(Active Surge Damper) 2) Low idle governing 3) Vehicle acceleration feeling
		2. Cold start(Cold start factor 최적화)
		3. Boost correction(터보 공기조절 최적화)
		4. Injector correction(IQA check, C-Balance, FBC, ZFC etc)
		5. High altitude test(고지보정 공기량 최적화)
		6. Emission Mapping(Emission target decision for Tier-3, Tier-4)
		7. Injection Strategy decision, Pilot fuel quantity decision, Injection stage decision (3 or 5 stage)
		8. System check : Hardware system check
		9. Lambda use of not
		10. Temperature Profiles : DPF System 설계 (Air Heater, Insulated Pipe등 적용 여부 결정)
		11. Soot Loading : 실차조건에서의 Soot Loading 특성 파악
		12. Regeneration Calibration / Fine Tuning / Robustness
		13. Regeneration Strategies / Fuel Cut Off / Idle : 환경조건별 비재생영역 Calibration
		14. Calibration of Diagnosis Functionalities and OBD
		15. DPF System Durability
		16. DPF Ash Accumulation : 3000hr(Service interval)
	기타 Application	17. Oil Dilution : 실차 주행 조건에서 Oil Dilution 평가
		18. Air intake system & Exhaust system 최적화
		19. Fuel system & Lubricating system 최적화
		20. Intercooler 및 Cooling system 최적화
		21. 진동/소음 최적화

(2) Tier-4 디젤엔진 기술동향 조사

Off-road용 56kW급 이상의 디젤엔진은 MHI社, 안마, 커민스, 퍼킨스와 같은 일본 및 북미 그리고 유럽의 선진업체에 의해 주도되고 있으며, 2013년 Tier-4 배기가스 규제와 더불어 저탄소 녹색성장을 향한 선진국의 치열한 경쟁이 예상된다. 이러한 강화된 배기가스 규제치를 만족하기 위해서는 기존의 엔진에 커먼레일 시스템을 적용하여 연소성능을 향상시켜야 할 뿐만 아니라, 배기정화장치 (DOC + DPF, Cooled EGR) 및 엔진에 가해지는 부하를 감지하여 엔진의 성능을 제어할 수 있는 전자 제어 시스템 등의 신기술이 적용되어야만 한다. 따라서 전 세계적으로 강화되는 배기가스 Tier-4 규제를 만족하는 친환경적 Off-road용 56kW급 이상의 디젤엔진에 대한 기술경쟁력을 확보하기 위하여 선진 업체와 국가에서는 많은 자금 및 연구 인력에 대한 투자를 활발히 진행하고 있는 실정이다.

이에 MHI社, 안마, 퍼킨스의 Off-road용 56kW급 이상 디젤엔진의 배기가스 저감을 위한 기술동향을 <표 4-2>에 나타내었다.

<표 4-2> 외국 선진업체의 56kW급 이상 디젤엔진의 기술 동향

항목	MHI社	안마	퍼킨스
엔진외형			
엔진명	K42	4TNV98(T)-CR	854E
연료분사 시스템	CRS 시스템 (Bosch 1600bar)	CRS 시스템 (Denso 1600bar)	CRS 시스템 (Bosch 1600bar)
NOx 저감기술	- Cooled EGR	- Cooled EGR	- 전자제어 Cooled EGR
PM 저감기술	- Inter cooler 시스템 - CCRT(DOC+CDPF) - 필터효율 : 90% ↑	- DOC/SiC DPF	- DOC/SiC DPF - 필터효율 : 90% ↑
DPF 재생방법	 - 강제재생 (Automatic + Manual)	 - 보조재생(흡기스로틀) + 강제재생(Post injection)	 - Oxy-Exotherm 강제재생 (post or pipe injection)
Ash서비스 주기	3,000 hr	3,000 hr	4,000 hr

(3) 디젤엔진 탑재 시험 평가 기술 조사

56kW급 이상 Tier-4 디젤 엔진의 본기 탑재 시험 평가 기술은 아직 선진업체에서도 본격적으로 적용된 바 없는 상황이어서, 이에 현재 LS엠트론 고마력 트랙터에 탑재 적용 중인 IVECO사의 71kW급 Tier-3용 엔진에 적용되어지고 있는 시험 평가 항목들을 조사하여 <표 4-3>에 나타내었다.

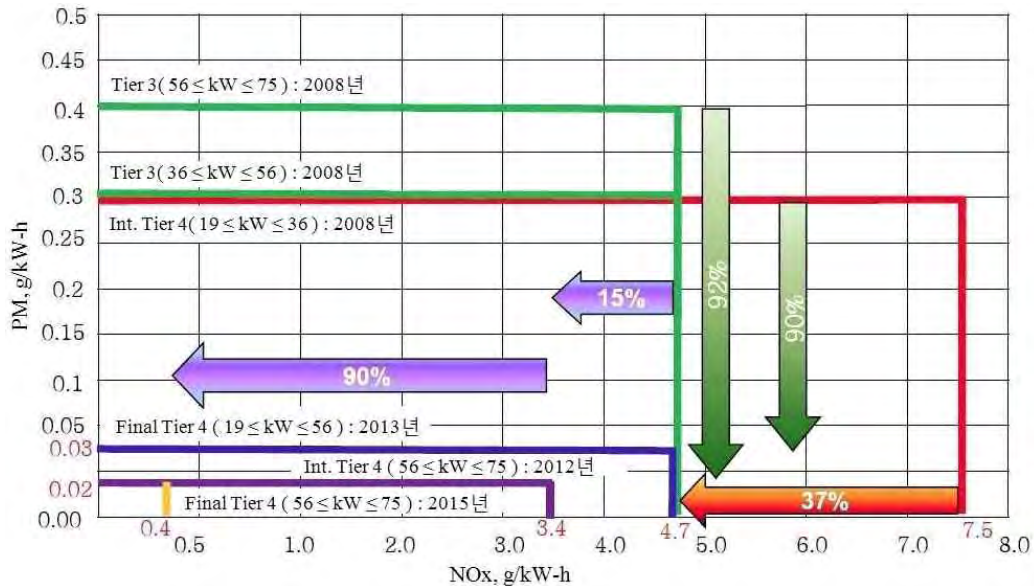
<표 4-3> I사의 71kW급 Tier-3용 고마력 엔진 탑재 시험 평가 항목

평가 항목		기준		
Air intake system		에어필터 상승온도	$T_3 - T_1$	$\leq 5^{\circ}\text{C}$
		인터쿨러 상승온도	$T_7 - T_1$	$\leq 25^{\circ}\text{C}$
		터보입구 압력 (신품 에어필터시)	P3	$\geq -35\text{mbar}$
		터보입구 압력 (사용품 에어필터시)	P3	$\geq -65\text{mbar}$
		터보출구 - 엔진입구 압력 손실	P4 - P7	$\leq 80\text{mbar}$
Exhaust system		최대부압 (터보통과후)	P10	100mbar
Cooling system		부동액과 물의 비율		50%
		최적 냉각수 온도 범위 (엔진 냉각수 출구측)		$83^{\circ}\sim 99^{\circ}\text{C}$
		냉각수 엔진 입출구 압력차	P9 - P8	$< 200\text{mbar}$
		냉각시스템 만충 속도		8~10LPM
		최대 냉각수 압력		2.75Bar
		냉각수펌프 입구측 압력	P8	> 0
Air to Boil Test		온대기후(40°C)	$\text{ATB} = T_{\text{bw}} - T_{\text{wo}} + T_{\text{air}}$	$\geq 42^{\circ}\text{C}$
		열대기후(50°C)		$\geq 50^{\circ}\text{C}$
		시막기후(60°C)		$\geq 60^{\circ}\text{C}$

나. Tier-4 규제 관련 배기규제 및 동향 분석

(1) 농기계 배기규제 동향

국내 트랙터 제조업체의 주요 수출국인 유럽, 미국 등 국가는 2012년부터 농업용 디젤엔진에 대해 현재보다 한층 더 강화된 규제를 적용함.



<그림 4-1> EPA 배기가스 규제 시기 및 규제치

(2) Tier-4 규제

(가) 적용엔진

- 기관차·선박·채광용 엔진, 교통수단이 아닌 취미용 엔진 및 레저카는 제외

<표 4-4> Tier-4 규제 적용 엔진

출력	생산년도
kW < 19	¹ 2008
19 ≤ kW < 56	² 2008
56 ≤ kW < 130	2012
130 ≤ kW ≤ 560	2011
kW > 560	2011

1. §1039.102에 명시된 19 kW 이하 엔진은 2010년 모델 적용
2. §1039.102에 명시된 19 kW - 56 kW 엔진은 2012년 모델 적용

(나) 규제적용 시기 및 방법

- 단계적인 배기규제(§1039.102, §1039.104 참조) 후 2014년 이후의 모델에 완벽하게 적용
- 인증기간 연기 가능(적용기준 §1039.105 참조)

(다) 배기 규제치

<표 4-5> Tier-4 배기규제 수치

최대 엔진출력	적용	PM	NO _x	NMHC	NO _x + NMHC	CO
kW <19	All	¹ 0.40			7.5	² 6.6
19 ≤ kW <56	All	0.03			4.7	³ 5.0
56 ≤ kW <130	All	0.02	0.40	0.19		5.0
130 ≤ kW ≤ 560	All	0.02	0.40	0.19		3.5
	Generator sets	0.03	0.67	0.19		3.5
kW >560	All except generator sets	0.04	3.5	0.19		3.5

1. 8 kW 이하급 엔진의 PM 규제치는 0.60 g/kW-hr
2. 8 kW 이하급 엔진의 CO 규제치는 8.0 g/kW-hr
3. 37 kW 이하급 엔진의 CO 규제치는 5.5 g/kW-hr

56kW 이상의 농기계의 Tier-4 규제에서는 PM과 NO_x성분에 대한 규제치가 PM: 0.02 g/kW-h 이하, NO_x: 0.4 g/kW-h이하로 Tier-3 대비 90 % 이상 절감 요구

(3) 농기계 시험방법

(가) 주요 수출국의 농기계 규제 및 시험방법

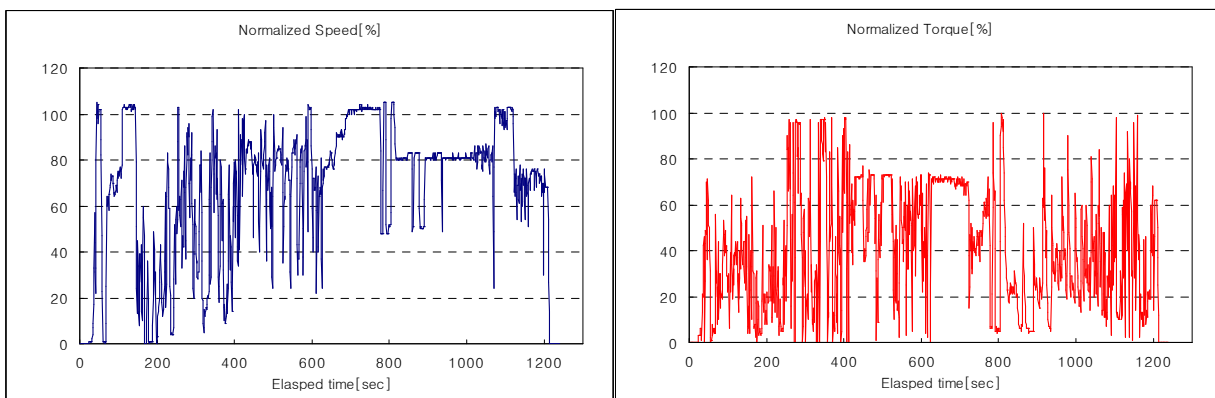
<표 4-6> 유럽 및 미국의 농기계 규제 및 시험방법

국가	규제치	시험 사이클	시험절차	계산식
유럽	EU-Off-Road Legislation		ISO 8178	
미국	Standard Setting Part		CFR-1065	

- 주요 수출국인 미국의 경우 새로운 CFR-1065 시험절차 적용
- Tier-4 규제 수준의 배기분석 및 PM 중량 분석을 위해서는 CFR-1065 절차를 준수하여야 함
- CFR-1065 절차와 기존 농기계 엔진 시험 평가 절차의 가장 큰 차이점은 과도운전(Transient) 사이클에서의 평가가 추가되어 기존 대비 시험 절차가 매우 복잡하고 까다로움

(나) Transient 사이클

- 엔진의 과도운전 조건으로 variable-speed 엔진에 적용
- 사이클의 구성은 시간에 따른 normalized speed와 torque 값으로 구성
- 엔진 mapping 작업을 위해 최소 회전수에서 엔진 최대출력의 50-75 % 영역이 발생하는 최대 속도까지 4 ~ 6분 안에 운전 되어야함
- 평균 피드백 값의 속도와 토크 값이 초당 1회 이상으로 기록되어야 함
- NRTC 운전조건인 normalized speed와 torque값 결정과 시험절차 및 배기계산방법은 CFR-1065에 의해 결정



<그림 4-2> NonRoad Transient Cycle(NRTC)

(다) CFR-1065 시험절차

○ CFR-1065 시험절차의 적용대상

- 미국의 SI/CI 기관의 모든 종류의 엔진 인증시험에 적용
- 인증시험에 대한 엔진선정, 시험방법 및 배기계산방법으로 구성

<표 4-7> CFR-1065 적용대상

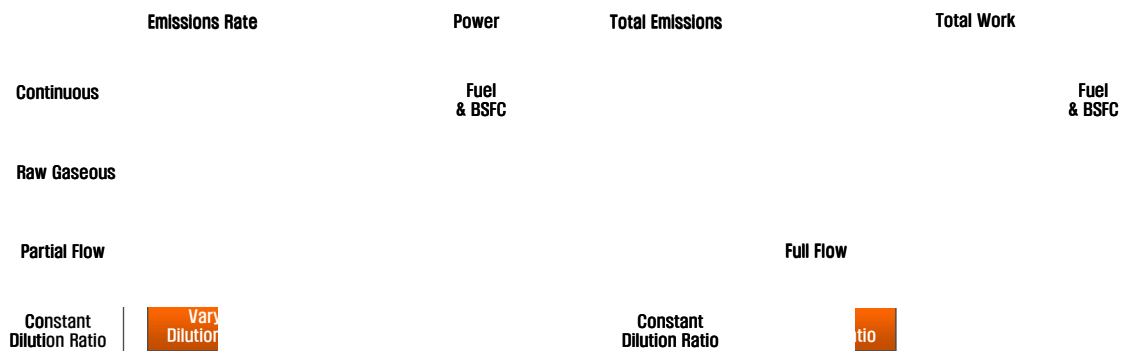
Standard Setting Part	Technical Specification
CFR-1036 Heavy Duty On-Road	CFR-1065
CFR-1030 Aircraft	
CFR-1054 Nonroad SI < 25 HP	
CFR-1033 Locomotives	
CFR-1039 Nonroad CI	
CFR-1042 Marine CI	
CFR-1045 Marine SI	
CFR-1048 Nonroad SI > 25 HP	
CFR-1051 Recreational vehicles	

○ CFR-1065 시험절차 구성

- 시험용 엔진선정, pre-test 및 사이클 선정, 사이클 수행에 따른 샘플링 방법과 사이클 수행 후 배기계산방법으로 구성
- 배기규제강화 및 시험 사이클 추가로 인하여 기존 시험방법에 비해 복잡함
- 사이클 모드에 따른 배기샘플링 방법 결정



<그림 4-3> CFR-1065 시험절차 구성



<그림 4-4> CFR-1065시험모드 종류에 따른 sampling 절차

○ CFR 1065 분석장비의 주요 차이점

- 배기분석계의 성능, PM 측정 장비 및 센서들의 고 정밀성 요구

<표 4-8> CFR-1065 분석장비의 주요 차이점

분류		Tier-4	
샘플링방법		CVS 장치 및 터널 leak test 설비 필수, 5Hz(200ms) 단위로 샘플링 유량조정 및 기록	
Gaseous 측정	CO/CO ₂	측정 중 gain값 고정, 측정값 1 Hz 기록	NDIR 분석계의 H ₂ O, CO ₂ 간섭 및 소염 작용 ±1% 이하
	HC		FID의 CH ₄ 응답검증 ±5% 이내
	NO _x		NDUV의 HC and H ₂ O 간섭 ± 1% 이내, Converter NO _x 변환효율 95% 이상
PM 측정	Preclassifier	입자분류를 위한 선 분류기 설치	
	Sampling 조건	희석공기 HEPA 필터사용필수, 필터 통과속도 5% 이내로 유지	
	입자 안정화 및 측정 환경실	온도 및 습도 ± 1℃ 유지 (측정센서의 고 정밀성 요구)	
	측정저울	평균측정무게의 2.0% 정밀도와 1.0% 재현성	

○ ISO 8178과 CFR-1065 시험 방법의 차이

- 기존 시험절차(ISO 8178) 보다 정밀한 시험 방법 요구
- 규제수치 강화에 따른 측정센서들의 정밀성 및 계산법 요구
- Variable-speed 엔진의 경우 transient 모드와 steady-state 모드 수행해야 하며, 정속엔진의 경우 steady-state 모드만 수행

<표 4-9> ISO 8178과 CFR-1065 시험 방법의 차이

분류		ISO 8178	CFR 1065
시험 준비 조건	엔진주변장치 (흡기, 배기, 냉각, 윤활) 사용연료(황함유량)	실제차량 조건 황 300ppm 이하	- 황 15ppm 이하
	측정장치	-	정밀성 NO _x 분석법 추가 (NDUV) 측정센서 정밀도 향상 (온도 및 압력센서)
	샘플링 장비 및 환경조건	-	입자 선 분류장치 추가(Preclassifier) PM 필터 측정 전·후 안정화 시간 단축(30min)
Duty Cycle 구성	시험모드	8 mode	NRTC / DMC / RMC
	시험절차		사이클 조건에 따른 시험절차 규정
배기측정	샘플링방법	PFD, CVS 가능	Transient 모드: CVS Steady-state 모드: PFD
Emission 계산방법		ISO 8178	ISO 8178 및 PM, NO _x 에 대한 습도 보정 수식 추가

(4) 사이클 구성 및 배기계산 방법

(가) Nonroad transient cycle (NRTC)

- Transient 사이클 절차는 cold start의 transient duty 사이클 수행 후, 20분간 엔진 정지 이후에 마지막 transient duty 사이클 수행
- 배기샘플링은 엔진 작동 후 즉시 샘플링 수행
- 공인 transient 배기결과 = $0.05 \times \text{cold-start emission rate} + 0.95 \times \text{hot-start emission rate}$

(나) Steady-state cycle

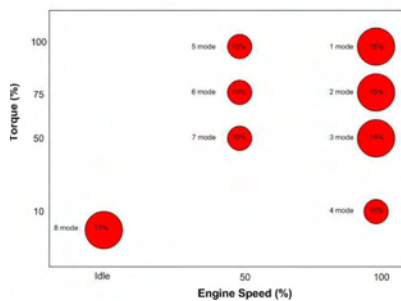
- 각 운전 포인트의 평균화된 속도와 토크(또는 출력)로 구성
- 각 모드와 모드 사이의 속도와 토크가 선형적인 표로 구성
- 배기 샘플링은 엔진을 예열한 이후 샘플링 시작

① Discrete-mode cycles

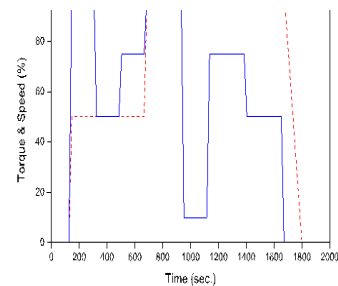
- 배기 샘플링 전, 첫 모드에서 엔진을 안정화
- 모드 평균값을 기록 후 다음 모드에서 엔진 안정화
- 각 모드별로 연속적으로 샘플링 후 가중치를 고려하여 배기결과를 계산

② Ramped-modal cycles

- Ramped-modal cycle 수행방법은 정상상태의 엔진운전 조건을 포함하는 것을 제외하고는 transient cycle 방법과 유사
- ramped-modal duty cycle은 속도와 토크 점의 기준으로 매초단위(1 Hz)로 구성
- ramped-modal duty cycle 시험은 transient cycle과 같은 방법으로 진행되고, 속도와 토크 값 기준의 1 Hz 사용하여 사이클을 확인
- 사이클 동안 배기물과 다른 파라미터를 비례적으로 샘플하고, 배기물을 계산



<Discrete-mode cycles>



<Ramped-modal cycles>

<그림 4-5> Steady-state cycle

2. 실차 조건 평가 항목 및 기준 설정

가. DPF 재생 로직 방법 및 기준 설정

(1) 후처리장치 평가

- 강화된 Tier-4 규제 만족을 위해서는 PM 저감장치인 DPF 장착이 필수적임
- 농기계의 운전조건에 맞는 DPF 적용에 대한 시험 평가 기술이 필요함
- 농기계의 운전특성을 고려한 DPF 시험방법이 필요함

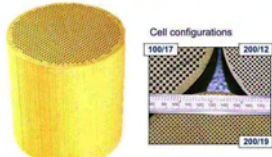
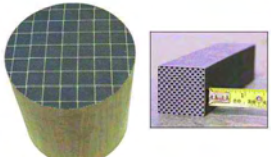
(가) 농기계용 DPF 평가방법

- 승용차 및 상용차용 후처리장치 평가에 대한 시험방법은 많으나, 농기계용 후처리장치의 시험 평가 및 엔진동력계 기반의 database의 경우 국내·외 미흡함
- DPF 재생로직은 승용차와 농기계 모두 동일하며, 운전조건이 서로 상이함
- 차량의 DPF 중요 설계인자(H/W spec.) 및 재생로직(S/W spec.)에 대한 사전조사를 통하여 농기계 운전특성에 맞는 시험방법 확립 필요함

(나) 차량의 DPF 중요 설계인자

- 필터의 재질이나 형상은 DPF 시스템의 성능을 결정하는데 가장 중요한 인자임
- 필터재질은 cordierite가 가장 보편적이며, 실리콘 카바이드, 파이버, 금속분말 등도 중요한 소재임
- 필터의 성능을 좌우하는 중요한 인자들로는 여과용량, 다공성, 압력강하, 열용량, 열 내구성, 열팽창과 강도, 열충격 저항, 화학적 내구성, 용융점과 가격 등이 있음

<표 4-10> 코디어라이트와 SiC 비교

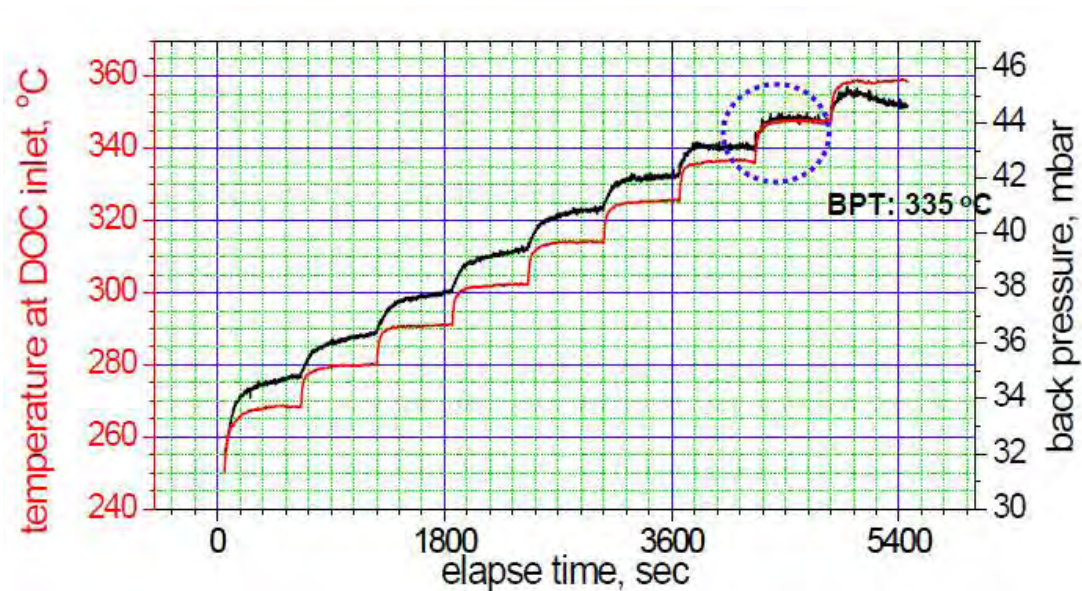
필터 재질	코디어라이트	SiC
장점	<ul style="list-style-type: none"> * 열팽창계수 낮음 * 기계적특성 우수 * 가격 경쟁력 우수 	<ul style="list-style-type: none"> * 높은 내열성 * 높은 열전도도
단점	<ul style="list-style-type: none"> * 낮은 내열온도 	<ul style="list-style-type: none"> * 원료와 완성품의 높은 가격 * 대형화의 어려움
적용차량	대형	중소형
사진		

○ BPT(Balance Point Temperature)

- DPF에서 PM이 축적되는 속도와 연소되는 속도가 평형을 이루는 온도
- 차량 운행 중 엔진 배출가스 온도조건이 재생 성능 및 장치의 내구성을 보장하기 위한 가장 중요한 요소임
- 일반적으로 DPF 연소반응속도가 아주 느리기 때문에 엔진의 매연발생 속도가 빨라지면 이를 연소시키는 속도와 평형을 이루는 온도는 높아짐
- 실제 자동차의 운전형태는 다양하며 오랜 시간 동안 연속적으로 운전할 경우에도 매연을 연속적으로 재생시키기 위해서는 평형(equilibrium)온도보다 높은 온도가 요구

① BPT 시험방법

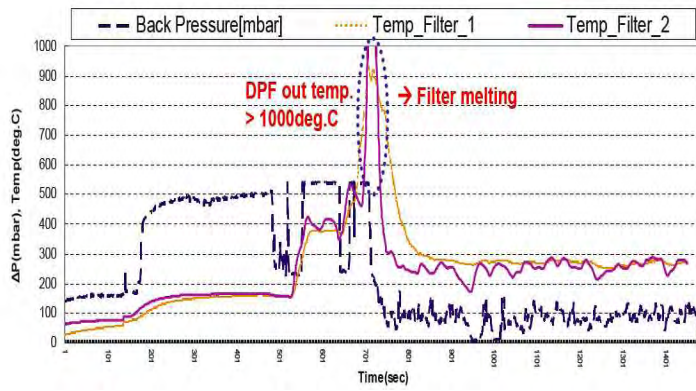
- 엔진을 일정한 속도로 운전을 하며 배출가스 온도를 일정한 간격으로 올려주기 위해 부하를 조금씩 올려줌
- PM이 축적되면 배압이 증가하는데 배출가스 온도와 일정하게 증가하다가 일정 온도에서 DPF의 재생이 이루어지는 온도가 BPT 임



<그림 4-6> Balance Point Temperature 시험방법

○ 최대필터온도(Maximum Filter Temperature)

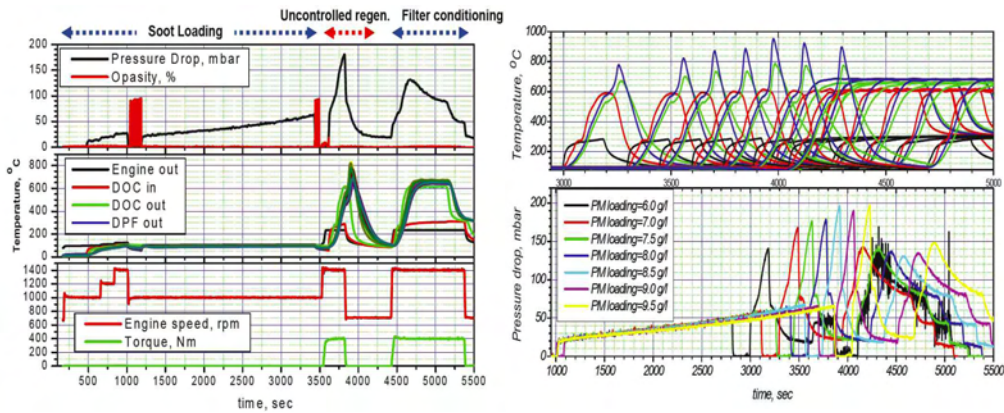
- 필터가 견딜 수 있는 최대 온도로 필터재질 의해 결정 차량의 운전조건이 고속 및 고부하 운전시 필터의 재질이 높은 배출가스 온도를 견딜 수 있어야 함
- 자연재생 방식 DPF의 경우 배출가스 온도가 낮아 재생이 이루어지지 않는다. 이로 인해 필터 내 PM이 많이 축적된 상태에서 외부 요인에 의해 발화가 되면 급속한 연소가 일어나며 열 발생이 급증함
- 열 발생 증가에 따라 필터내의 온도가 급상승하여 필터의 최대온도를 넘게 되면 필터는 균열 또는 용융등의 손상을 입게됨



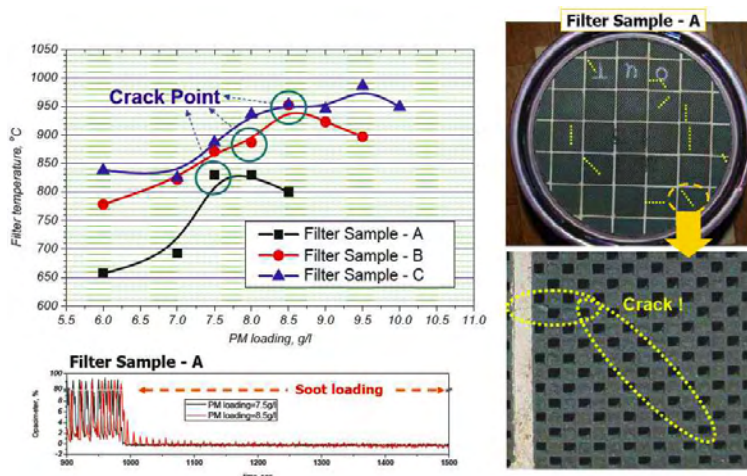
<그림 4-7> Maximum filter Temperature & 필터의 용융

○ Maximum Soot Loading

- 필터가 용융 또는 크랙 없이 재생이 가능한 한계 PM 포집량
- DPF 재생로직 방법 중 강제 재생방법 적용 시 필터의 최대 PM 포집량(배압기준)보다 낮은 점에서(safety factor 적용) 재생하도록 설정함
- 필터의 MSL 초과 시 이상연소로 인한 용융이나 크랙의 원인임



<그림 4-8> MSL 시험방법 및 시험결과



<그림 4-9> MSL 초과로 인한 필터 크랙

○ Ash

- 첨가제는 필터내에 무기산화물, 염분의 형태 또는 복합된 형태로 퇴적함
- 촉매 필터의 경우라 할지라도 엔진오일로부터 생성되는 회분으로 축적되며 시간이 경과하면 그 양이 계속 증가되고 이는 배압을 증가시키는 원인임
- 퇴적된 회분은 매우 미세하고 표면적이 커서 필터의 substrate와 쉽게 반응하며, 1000℃이상의 과도한 열에 노출되는 경우 회분은 소결되어 필터의 통로를 막고 필터를 균열시키고 용융시키는 원인임
- 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 고압의 물 또는 공기로 회분을 불어내어 필터 내부를 주기적으로 청소하거나 또는 필터재료가 내열성을 가지도록 해야 함

(다) DPF 재생로직 방법

○ 자연재생(Passive)

- 촉매나 첨가제를 사용하여 PM의 연소온도를 낮추어 배기가스 온도로 연속적으로 태우는 재
- DPF 기술의 핵심기술로 배기가스 온도가 상대적으로 높은 중량차에 유리하며, 현재 소형 경유 승용차에도 첨가제방식 장치가 부착되어 적용 중
- 현재 개발되고 있는 연속재생방식의 재생온도 수준은 아래 표와 같으며, 이를 낮추는 기술 개발이 가장 중요한 경쟁요인임
- 현재의 기술로는 경유승용차 등과 같은 배기가스 온도가 낮은 차량에 적용하기에는 어려움이 있으며, 추가 열원의 공급을 위한 보조재생장치가 필요함
- 보조 재생장치로 전기히터나 버너 등의 장치가 사용되며, 전자제어식 연료 공급장치에서 분사 시기를 지연시켜 배기가스 온도를 높여주는 기술도 적용됨

<표 4-11> 자연재생방식의 재생온도

업체명	Light-off(°C)	Equilibrium(°C)	Soot-free(°C)
CRT/Johnson Matthey	230	350	> 375
CSF/Engelhard	260	385	> 425
Catalytic coating/Buck	360	420	> 450
Additive Ce/Rhodia	350	400	> 425
Additive Fe/OCTEL	330	380	> 400
Additive Ce+Pt/CDT	300	350	> 375

○ 강제재생(Active)

- 포집된 PM을 soot 점화온도인 550 - 600 °C 까지 외부에서 강제적으로 가열하는 방법으로 전기히터, 버너, 트로틀링 등이 사용함
- 외부열원으로 가열하여 강제 재생시키는 경우는 높은 온도에 의한 열 안정성이 중요함
- 엔진에서 배출된 PM이 필터에 포집되고, 배기관 내부에 설치된 압력센서 값으로서 ECU에서 포집량이 일정량에 도달한 것을 판단하여 재생을 지시함

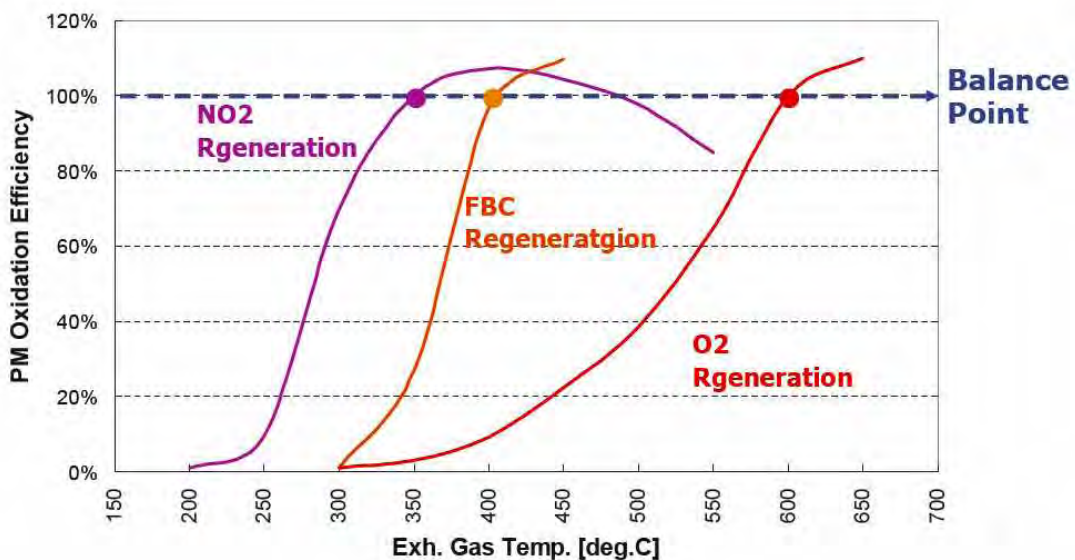
○ 복합재생(Passive + Active)

- 도심을 주행하는 대부분의 차량은 엔진배출가스 온도가 낮아 자연재생방식 적용이 곤란하기 때문에 촉매나 첨가제방식과 보조적인 강제방식을 복합하는 장치(active+passive+combination type: 복합방식)가 개발
- DPF 전단의 산화촉매(Oxidation Catalyst)를 사용하여 HC 연소에 의한 발열을 시키며, multiple post-injection으로 배출가스 온도를 상승함
- 필터내에서 연속재생이 일어나므로, 필터에서 엔진의 배압을 낮은 수준으로 유지함
- 타 장치에 비해 낮은 배압 수준으로 인한 연비악화와 엔진성능의 저하 요인이 적은 장점임

(라) DPF 재생제어를 위한 주요 Parameter

○ 목표 재생 온도

- 재생 Mechanism의 선택
- 재생 Mechanism에 의해 제어하고자 하는 목표 재생온도의 범위가 결정

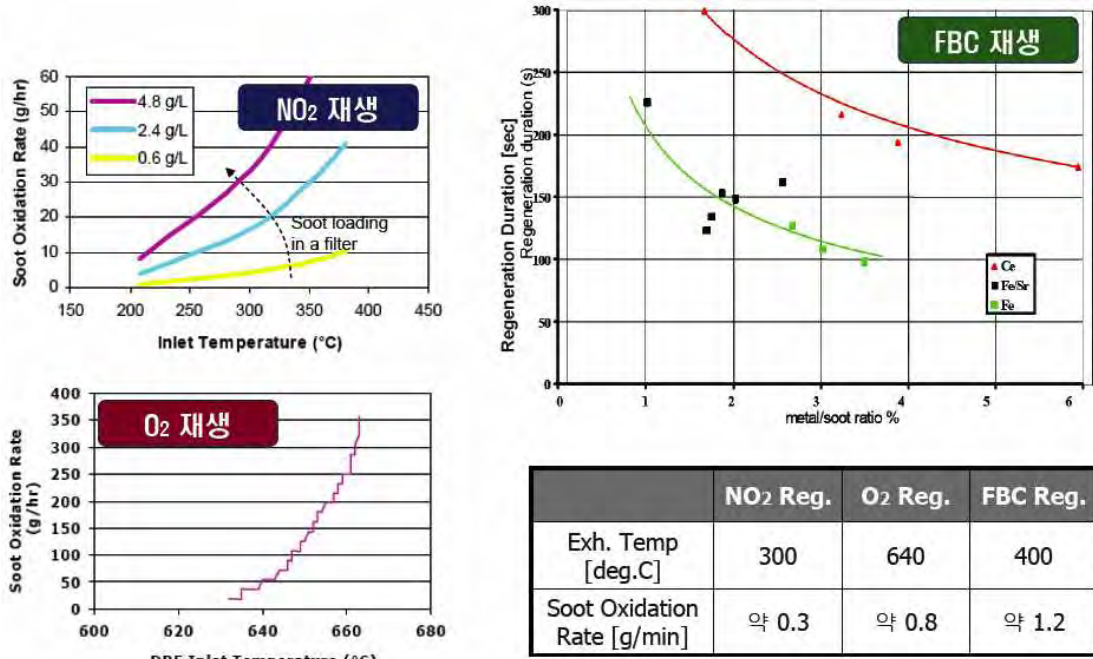


<그림 4-10> Balance Point 선정

○ 재생유지 시간

- 선택된 재생 Mechanism에 종속하여, 포집된 Soot를 제거하기 위한 소요시간

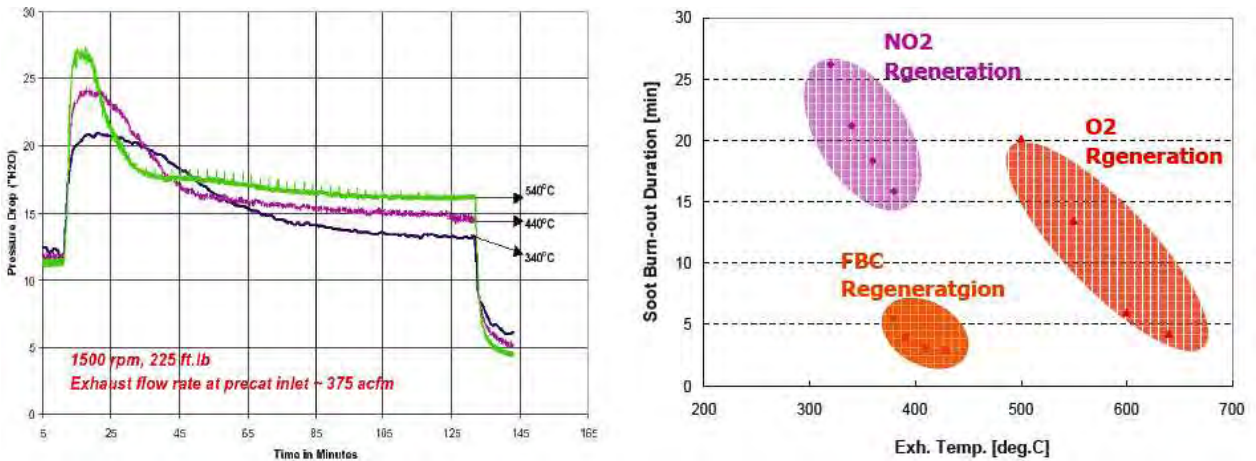
① 재생 Mechanism에 따른 재생속도



<그림 4-11> 재생 Mechanism에 따른 재생속도

② Soot Burn-out Duration (재생 소요 시간)

- 필터배압이 초기상태로 회복될 때까지의 시간
- 필터의 Soot loading량(엔진 특성과 차량의 운행조건), PM의 성분, 촉매 또는 FBC의 성능 등에 따라 달라질 수 있음



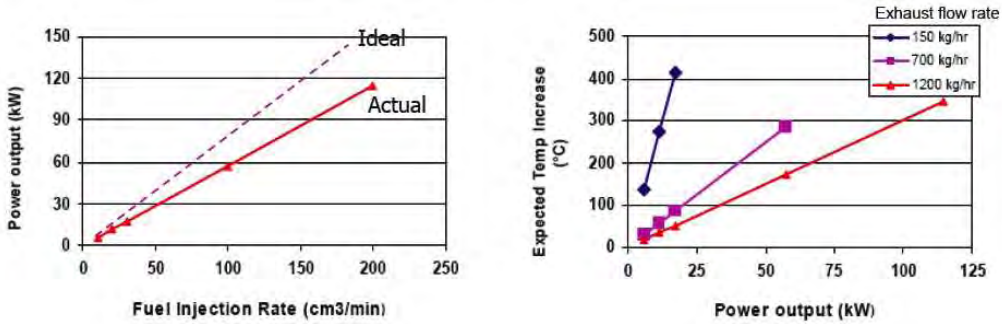
<그림 4-12> 재생 Mechanism에 따른 재생속도

○ 재생 열원 제어

- 외부열원의 제어를 통한 목표재생온도로 필터 온도 상승 및 유지함

① 차량에서 가용한 주요 재생열원의 형태

- 경유 : Fuel combustion → Burner, Catalytic combustion
- 전기 : Electric power → Electric heater (경유연료의 에너지 전환)



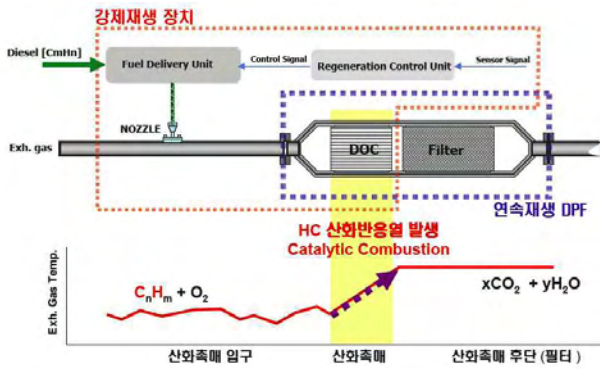
<그림 4-13> 2차 연료분사 & 촉매연소에서 온도상승을 위한 소요 경유 분사량

② HC 분사에서 분사량 제어방법

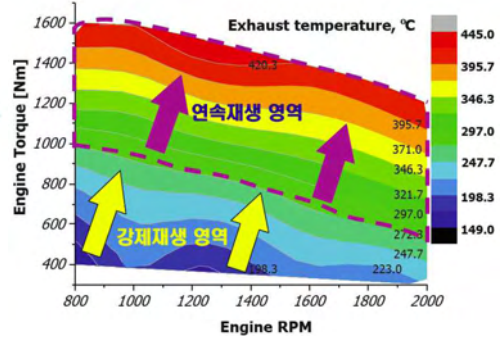
- 분사량 Mapping 제어
- 배기온도와 산화촉매 후단온도에 의한 Feedback 제어

○ 재생 개시 시기

- 필터의 비정상 재생을 방지할 수 있는 적절한 재생시점 및 주기



<그림 4-14> 강제재생 장치의 산화 메커니즘



<그림 4-15> 재생조건별 재생영역

나. DPF 재생로직 검증 및 실차 평가기준 설정

(1) 농기계 운전특성 및 DPF 재생 로직 검증

(가) 운전조건 특성

- 농기계의 경우 운행이 아닌 농작업을 목적으로 사용함
- 작업조건이 높은 torque를 요구하는 조건으로 주로 저 rpm의 고부하 조건을 사용함
- 운전조건은 쟁기, 로타리, 트레일러 등이 대표적인 조건임

(나) 농기계 DPF 재생 검증조건

- 운전조건이 자동차와 상이함으로 농기계 작업특성에 시험조건 필요
- 운전 조건에 따른 실제 배기 온도 및 배압 분석 필요
- 시험조건 선정 시 실 차량의 운전 조건(쟁기, 로타리, 트레일러)등을 고려한 DPF 로직검증 조건 필요

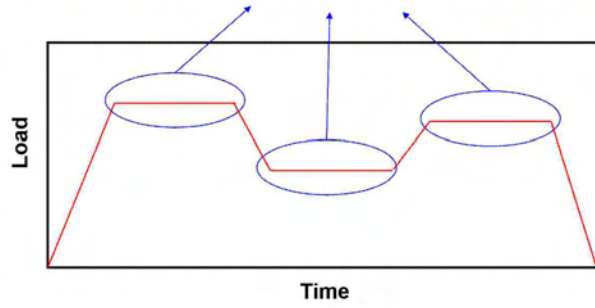
(다) DPF 로직검증

- 총괄 및 주관 기관의 선정한 DPF의 일반적인 재생특성(MSL, 재생로직, BPT, DPF 내구 및 H/W한계, Ash 축적한계등)을 바탕으로 재생로직 검증 수행
- 재생로직 검증 컨셉
 - 주관 및 국제의 DPF 재생 logic 검증 내용과 실차 운전조건을 선정한 사이클을 통하여 DPF 적용 이상 유무 파악 및 DPF 수명예상

① 실차 사이클 선정

- 쟁기, 로타리, 트레일러등 농기계 작업조건에 따른 실 엔진 rpm 및 부하조건 반영
- 각 운전 조건의 평균 사용시간을 반영한 시험시간 선정
- 농기계 작업조건 특성상 한 운전조건으로 일정시간 작업을 수행하므로 transient 조건을 고려하지 않고, steady-state 조건 선정

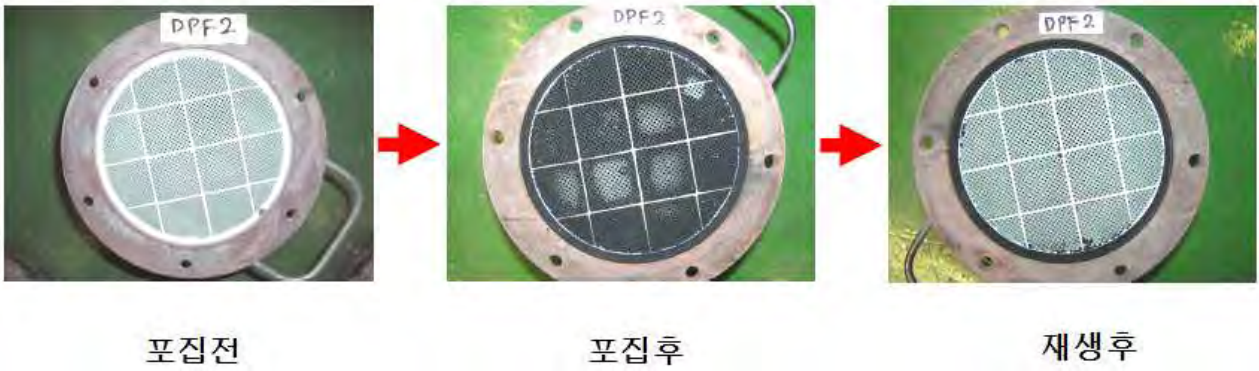
● 정기, 로타리, 트레일링등 엔진 속도 및 부하 조건에 따른 상세 조건 선정 예정



<그림 4-16> 실차시험모드 구성안

② DPF 재생로직 분석

- 실차모사조건을 통한 soot loading 반복
- 반복적인 soot loading과 재생을 통한 로직 분석 및 ash 퇴적량 측정

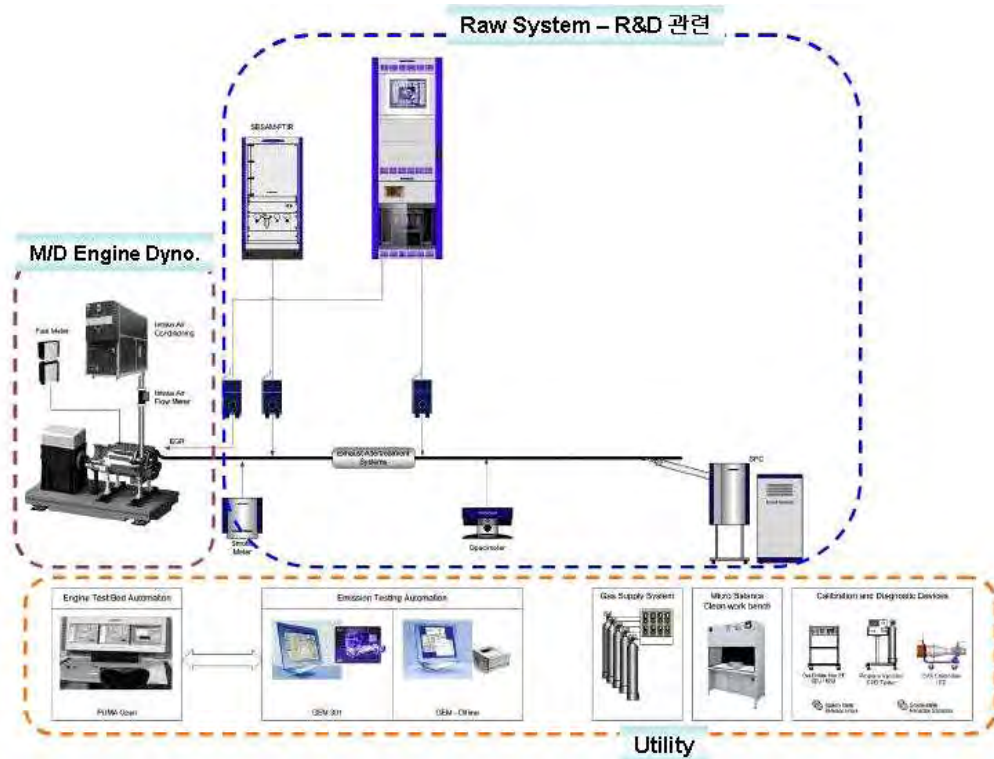


<그림 4-17> DPF 포집 전·후 및 재생 후

(2) 시험방법 결정

(가) 시스템 구성

○ 동력계 및 배기분석계 구성

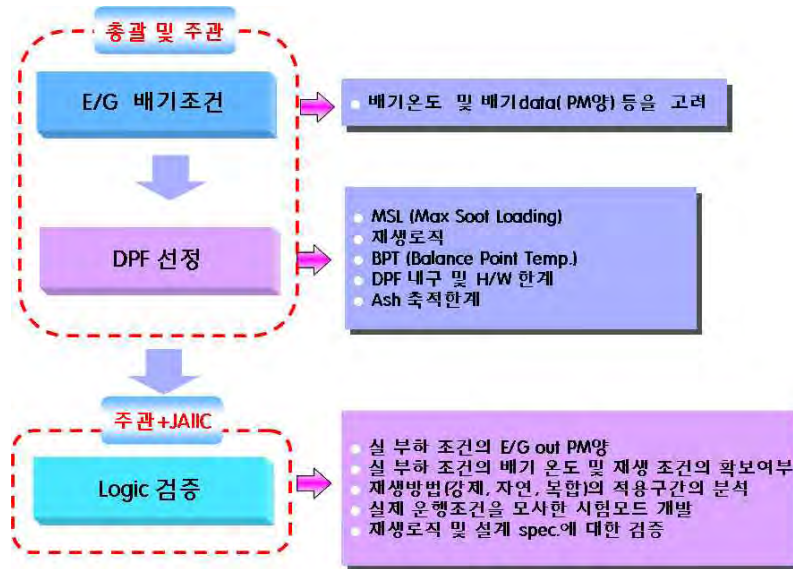


<그림 4-18> 엔진시험장치 구성도

- 동력계는 MD(Medium Duty)급으로 220kW이며, 배기분석계는 직접 샘플링법을 이용한 Raw gas 분석계 및 MDT(Micro Dilution Tunnel) 시스템으로 구성
- CFR-1065(Code of Federal Regulation-1065) 시험절차 규격을 만족하는 분석장비 구성
- CFR-1065의 PM을 측정하는 인증시스템은 현재 MDT를 허용하지 않지만 R&D로 사용 가능하며, 인증시험기관의 결과를 바탕으로 인증시험결과에 준하는 시험수행 가능

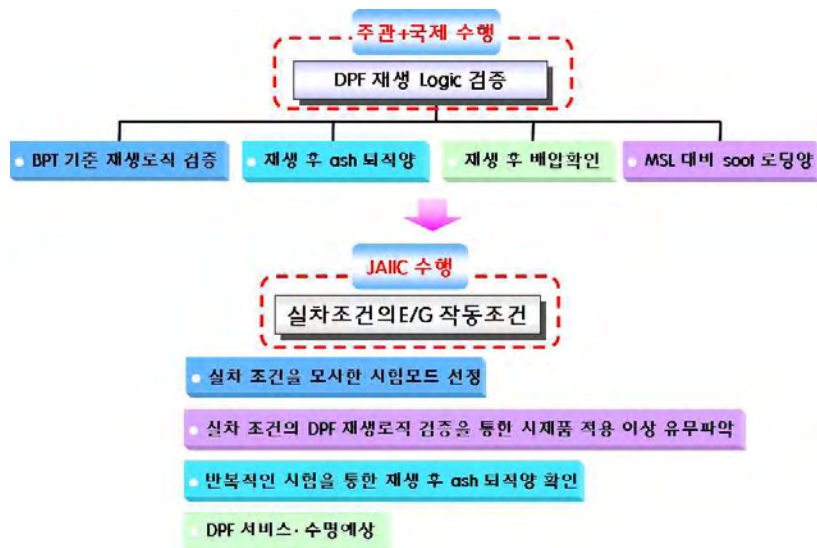
(나) 시험방법

○ DPF 선정절차



<그림 4-19> DPF 선정절차

○ DPF 재생로직 검증



<그림 4-20 > DPF 재생로직 검증 절차

○ 시험계획

<표 4-12> 시험계획

시험 단계	목적	시험방법	평가항목	평가목적	평가방법
1. NRTC 시험	1) Tier-4 규제인증을 위한 새로운 시험절차 습득	<ul style="list-style-type: none"> CFR-1065 시험절차에 의한 Transient Cycle 	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 및 후처리 장치 배기분석을 통한 성능 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 시제품 엔진에 대한 배기 인증 데이터와 자체 시험 데이터 비교분석을 통한 평가 기술 보완 및 확보 	<ul style="list-style-type: none"> DPF 전·후단 배압 체크 DPF 전·후단 및 내부 온도 체크 Emission 비교분석
	2) 시험 중 ash 축적에 의한 영향 검토		<ul style="list-style-type: none"> Fresh 상태와 ash가 loading 이 된 촉매의 각 배기 data 	<ul style="list-style-type: none"> 낮은 Emission 규제 레벨에 대하여 DPF 재생횟수에 따라 Emission에 미치는 영향파악 (PM, 연료소모율, 출력, 배압등) 	
2. DPF 시험	1) DPF 단품의 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> 정적 사이클 시험 	<ul style="list-style-type: none"> DPF의 MSL, BPT, 배압 및 온도 특성, 재생시기, 재생주기 	<ul style="list-style-type: none"> 시제품의 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 3세부 실시
	2) 실차모사 조건에 의한 DPF 성능 검증	<ul style="list-style-type: none"> 실제 트랙터 운전영역을 고려한 시험 사이클 선정 	<ul style="list-style-type: none"> Ash 퇴적량, 배기온도, 배압 	<ul style="list-style-type: none"> 각 운전조건에 따른 Ash 퇴적량 및 재생 여부 분석을 통한 시제품의 적용 이상 유무 파악 	<ul style="list-style-type: none"> DPF 무게측정을 통한 Ash 퇴적량 확인
	3) 실차모사 조건에서 DPF 재생로직 검증	<ul style="list-style-type: none"> Ash 축적 후 실차모사 조건 수행 		<ul style="list-style-type: none"> 실차조건에서 DPF 재생로직 검증 및 DPF 서비스수명 예상 	<ul style="list-style-type: none"> 반복적인 재생을 통하여 축적되는 ash량 분석
3. Field Test 지원	1) 주관기관의 실차 시험지원	<ul style="list-style-type: none"> 실차시험 	<ul style="list-style-type: none"> 온도, 압력 	<ul style="list-style-type: none"> 촉매 온도 및 배압 측정을 통한 soot 축적 및 재생여부를 통한 실차 시험기준에 의한 시제품 성능 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 촉매 전·후단 및 DPF 내부온도 취득

○ 평가기준

① NRTC 사이클

<표 4-13> NRTC 사이클 평가 기준

규제치	PM (g/kW-hr)	NOx (g/kW-hr)	NMHC (g/kW-hr)	CO (g/kW-hr)	비고
평가 기준치	< 0.02	< 3.4	< 0.19	< 5.0	Inter. Tier-4 Option 2 만족

3. Base엔진 기초 성능 평가

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 현재 구매 진행 중인 MHI社의 K42엔진 입고 전에 Tier-4 규제를 대비한 NRTC 모드의 시험평가기술을 확보하고자 현재 LS엠트론(주)에서 개발 중인 2.6L급 직분식 4-Valve 엔진으로 시험을 진행하였다.

가. Tier-4 시험 모드 시험 평가

(1) 시험 실시사항

- Tier-4 규제에서는 steady-state의 C1 모드에서 transient 모드인 NRTC 사이클 수행이 요구됨
- 본 연구에서는 기존의 C1 모드시험(자체)과 변경된 NRTC 모드시험(위탁)의 비교 평가를 실시

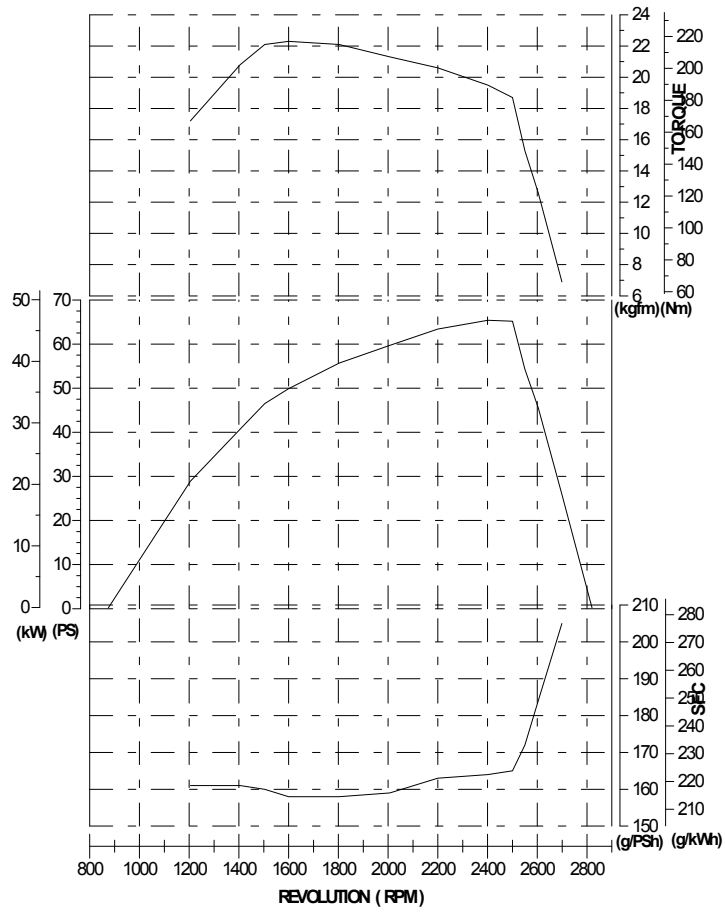
(2) 시험평가의 방법

(가) 공시기관

- 본 시험에 사용된 엔진은 향후 내수사양 트랙터(65마력급 트랙터)에 탑재용으로 개발 중인 2.6 L급 4기통 4-Valve 직분식 디젤기관으로 Tier 2 수준이며, 수출사양의 경우 배기가스 규제치를 Tier-3 수준으로 만족시키는 것을 목표로 함
- 공시기관의 외관 및 기본성능을 <그림 4-21>, <그림 4-22>에 제원을 <표 4-14>에 나타냄



<그림 4-21> 공시기관의 외관



<그림 4-22> 공시 기관의 성능 곡선

<표 4-14 > 공시기관의 제원

구 분	제 원
모델명	L4AL-DT
형식	직렬 4기통
배기량 (cc)	2,621
보어 × 스트로크 (mm)	90 × 103
압축비	18.0
연소방식	직분식
정격출력 (kW/rpm)	48/2500
흡기방식	터보 차저
밸브시스템	4-밸브 OHV형
분사펌프형식/압력	VE/650bar

(나) 시험장치

- 본 실험에 사용된 운전 계측 장치로는 기관의 부하를 조절하기 위한 동력계, 배기가스 성분을 분석하기 위한 배기가스 분석장치, PM을 측정하기 위한 장치, 기타장치(연료/공기유량계)등으로 구성함
- 운전 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-15>와 <그림 4-23>에 배기가스분석장치 및 PM 측정 장치의 외관도를 <그림 4-24>와 <그림 4-25>에 나타냄
- 연료 및 공기 유량계 외관도를 <그림 4-26>에 나타내었다.

<표 4-15> 운전 계측 장치의 제원

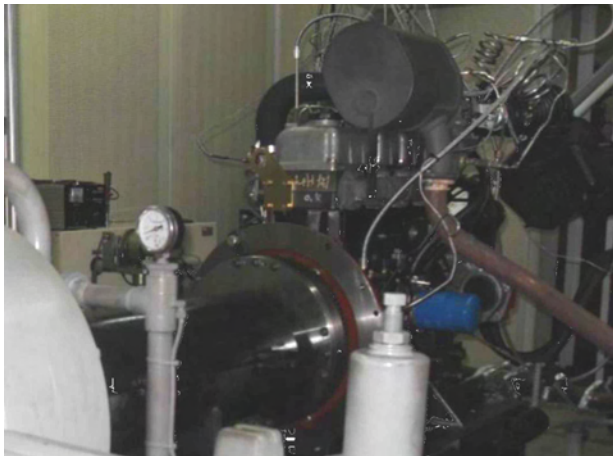
장비명	형식 및 사양	제조사
동력계	1) 동력계본체: EC80 ECDY PTW 110kW 2) 모드운전 및 데이터취득: PsyDaq	Meiden CNFoE&G
배기가스 분석장치	<ul style="list-style-type: none"> • MEXA-1600DEGR 1) THC Hot-FID (0-100~20000 ppmC) 2) CO NDIR (0-100~3000 ppm) 3) NO _x CLD (0-100~5000 ppm) 4) CO ₂ NDIR (0-1~16%)	HORIBA
PM 측정장치	Micro Dilution Tunnel : Microtrol5 Weighing Chamber	Nova 현민
연료유량계	1) Conditioning and data aquisition 2) CMF010 : CoriolisFlow Sensor	CNFoE&G Micro-motion
공기유량계	LaminarAir Flow Meter : P7205	Cusson



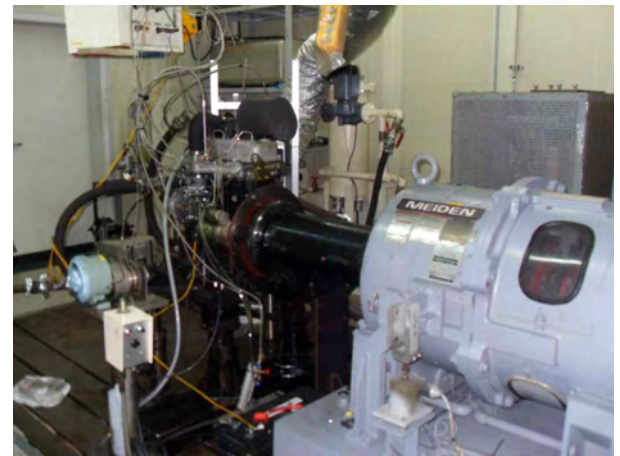
<동력계 컨트롤러 및 지시계>



<모드 운전 및 데이터 취득 장치>



<엔진 시험 전경>



<동력계>

<그림 4-23> 엔진 동력계상 운전 장치



<그림 4-24> 배기가스분석장치

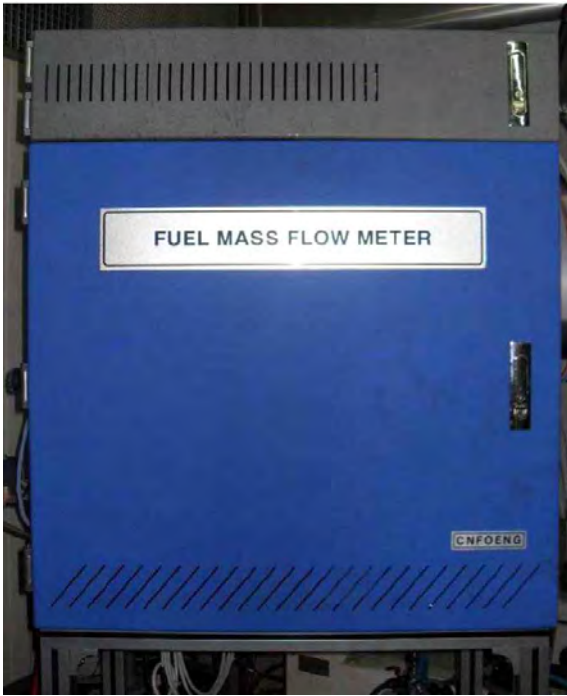


<마이크로 터널>



<항온항습 웨이징 챔버 와 전자저울>

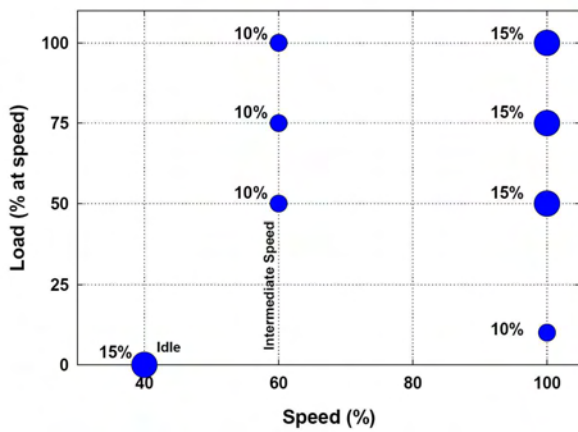
<그림 4-25> PM 측정장치



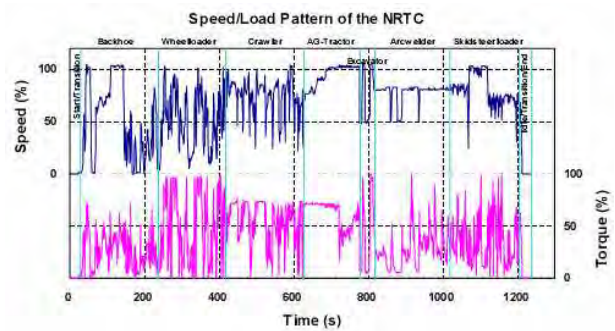
<그림 4-26> 연료 및 공기 유량계 외관도

(다) 시험방법

- 배기가스측정은 종래의 ISO 8178 C1 8-Mode 배기성능시험(정상모드, 자체시험)과 Tier-4의 시험 방법인 CFR-1065 NRTC 시험(과도모드, 위탁기관)으로 비교 평가를 실시함
- C1 모드와 NRTC 모드의 비교도를 <그림 4-27>에 나타냄



<C1 모드>



<NRTC 모드>

<그림 4-27> C1 모드 vs NRTC 모드 비교

- C1 모드는 정상상태의 8점에서 배기가스를 측정하는 방식이며, NRTC 모드는 엔진의 부하와 회전수가 초 단위로 변화하는 모드임
- <그림 4-28>은 NRTC 모드 측정 프로세스를 나타냄



<그림 4-28> NRTC 모드 측정 프로세스

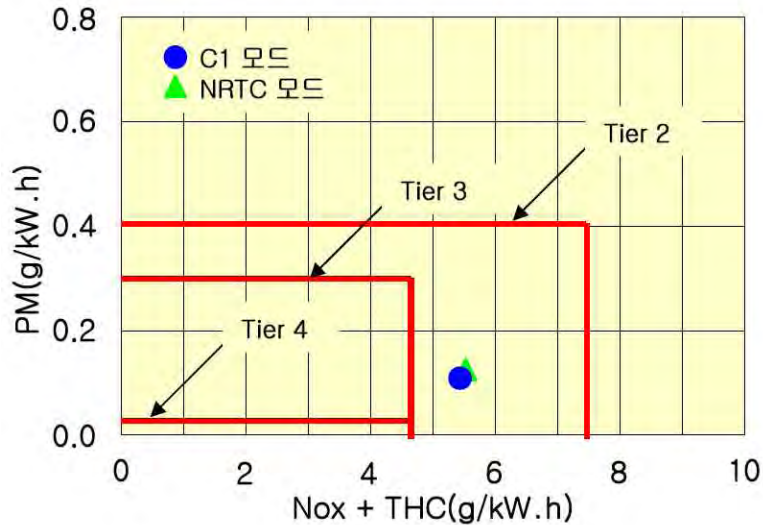
나. 시험평가 결과(C1 vs NRTC)의 비교 분석

(1) C1 모드의 시험 결과와 NRTC 모드 시험결과를 비교 결과

- CO의 경우 거의 차이가 없으며, NO_x의 경우 21% 정도 높게 나타남
- THC의 경우는 41 % 정도 낮은 수치의 값을 나타내며, PM의 경우 15 % 정도 높은 값을 나타냄
- C1 모드 시험 결과는 Tier 2 규제 값을 만족하는 수준임
- Transient 모드에 의한 측정결과는 steady-state 모드의 비해 높은 결과를 예상 하였으나, CO 및 THC는 반대 경향을 보였으며, NO_x 및 PM emission은 예상대로 높은 배기결과를 나타냄
→ 장비와 제어튜닝을 통한 NRTC 모드구현이 완성되고, 반복시험 및 타엔진을 대상으로 수행한 시험데이터를 취득 및 분석하여 NRTC 및 C1 사이클의 특성을 분석하여 두 사이클의 상관성을 연구할 예정임
- 표 4-16은 C1 모드 및 NRTC 모드의 배기가스 시험 측정 결과를 나타냄
- 그림 4-29은 Tier 규제 단계별 규제치에 시험결과 값을 적용한 그림임

<표 4-16> 배기가스 시험 측정 결과 (NRTC vs C1)

운전모드	CO	NO _x	THC	PM
	g/kW · h	g/kW · h	g/kW · h	g/kW · h
NRTC 모드	1.04	4.96	0.54	0.143
C1 모드	1.06	4.11	1.33	0.124



<그림 4-29> Tier 규제 단계별 규제치 및 시험결과

(2) NRTC 추종성 검증

(가) NRTC 사이클 전체에 대한 추종성 결과

- EC 동력계를 이용하여 transient 모드 사용 시, 토크 추종성이 부족($m \approx 0.6$)
- 당해 시험결과는 몇 번의 제어계수변경을 통하여 토크 응답속도를 높임으로 회전수에 대한 추종성이 조금 악화됨
- <표 4-17>은 당해 시험결과의 NRTC 모드의 추종결과를 나타냄

<표 4-17> NRTC 모드 추종 결과표

항목	엔진 회전속도		엔진 토크	
	기준	시험결과	기준	시험결과
SE	max 100 rpm	97.6	max 13 %	2.225
m	0.95 - 1.03	0.958	0.95 - 1.03	0.805
r^2	min 0.970	0.960	min 0.880	0.788
b	50 rpm	89.7	2.0 kgm	1.54

(나) 사이클 구간별 결과

- 엔진회전수의 급격한 변화구간에 대해서는 설정값을 지나치며, 변화가 적은 구간에서는 설정

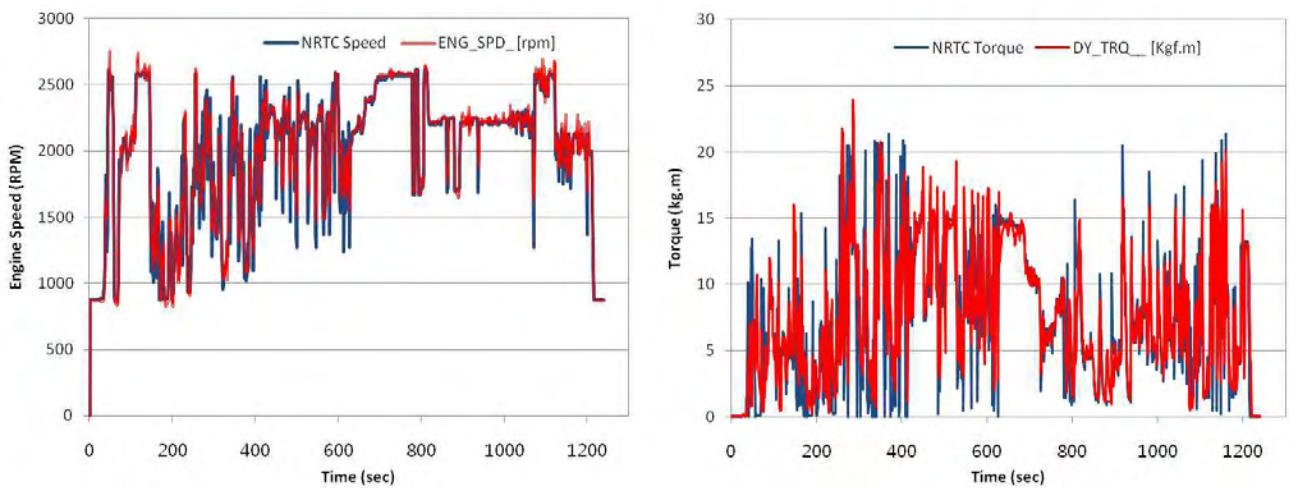
값에 도달하지 못함

→ 위 결과는 토크 응답속도를 높이기 위한 제어튜닝의 결과로 추후 AC 동력계를 사용하여 해결 예정임

○ 토크 값은 시험엔진이 기계식 연료분사펌프를 사용하기 때문에 동력계 요구값에 대한 응답속도가 빠르지 않아 전체적으로 설정 값에 조금씩 도달하지 못함

→ 전자식 엔진에 비하여 불리한 점으로 스로틀액추에이터 변경 및 제어튜닝을 통하여 수정가능함

○ <그림 4-30>은 NRTC 모드 구간별 rpm 및 torque 추종성을 나타냄



<그림 4-30> NRTC 모드 구간별 rpm 및 torque 추종성

4. 시제품 시험 평가

가. 시제품의 기본 성능 평가

(1) PTO 출력 성능 시험 평가

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 커먼레일 엔진인 MHI社의 K42엔진이 탑재되어 제작된 대동 DX 100트랙터로 시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 PTO (Power Take Off) 및 동력 전달 계통의 기어 등의 전달에 의한 PTO 출력 성능 확인하기 위하여, PTO 출력 성능 시험 수행이 요구됨.
- 본 연구에서는 시제품 트랙터 전부하 PTO 출력과 연료소모량을 측정하고, 동급의 VE펌프형 엔진이 탑재된 LS트랙터와의 비교분석을 실시하여, 시제품 트랙터의 기본성능수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 공시기종 및 계측장비 구성

- 공시트랙터는 74 kW(DX100, Daedong, Korea)로 4기통 디젤엔진을 탑재하고, 작업단수는 전진 12단, 후진 12단, PTO 단수는 3단(540 rpm, 750 rpm, 1,000 rpm)을 채택하고 있다.
- 공시트랙터의 외관 및 제원을 <그림 4-31>과 <표 4-18>에 나타내었다.



<그림 4-31> 공시트랙터의 외관

<표 4-18> 공시트랙터의 제원

구 분		제 원
모델명		DAEDONG DX100
엔진부	출력 (PS/rpm)(kw)	99PS/2400(74)
	배기량 (cc)	3331-TURBO
	연료탱크용량 (L)	125
주행부	조향장치	전유압식
	변속단수	F16-R16
	전진 주행속도 (km/h)	0.24-34.52
	후진 주행속도 (km/h)	0.22-30.73
	전륜 타이어 (inch)	12.4-24
	후륜 타이어 (inch)	18.4-34
3점부	PTO 형식	독립 / 속도비례
	PTO 회전수 (rpm)	540/750/1000
	승강장치 제어종류	위치 / 견인 / 수평
	유압인출구	8

② 시험장치

- 본 실험에 사용된 운전 계측 장치로는 전기 동력계를 이용하여 토크, 회전속도, 출력, 연비 등 트랙터 PTO 성능을 측정하기 위한 PTO 동력계 및 운전을 위한 컨트롤러, 데이터 취득을 위한 PTO 다이내모 DAQ 시스템으로 구성됨.
- 운전 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-19>와 <그림 4-32>에 나타내었다.

<표 4-19> 운전 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
PTO 동력계	1) 동력계본체: DC 130kW/3000rpm 2) 동력계컨트롤러 및 데이터취득장치: PTO 다이내모 컨트롤러/DAQ	SCHENCK(독일) SensorEye(한국)



<동력계 컨트롤러>



<데이터 취득장치>



<동력계 및 트랙터 시험 전경>

<그림 4-32> PTO 동력계상 운전 장치

③ 시험방법

- PTO 성능시험은 전부하 시험을 실시하였다. 전부하 시험은 조속기 레버를 정격엔진회전속수인 2400rpm으로 설정한 후 부하를 가하면서 엔진 회전수를 100rpm단위로 낮추어가면서 연료소모량, PTO 토크 등을 측정하는 방법이다.

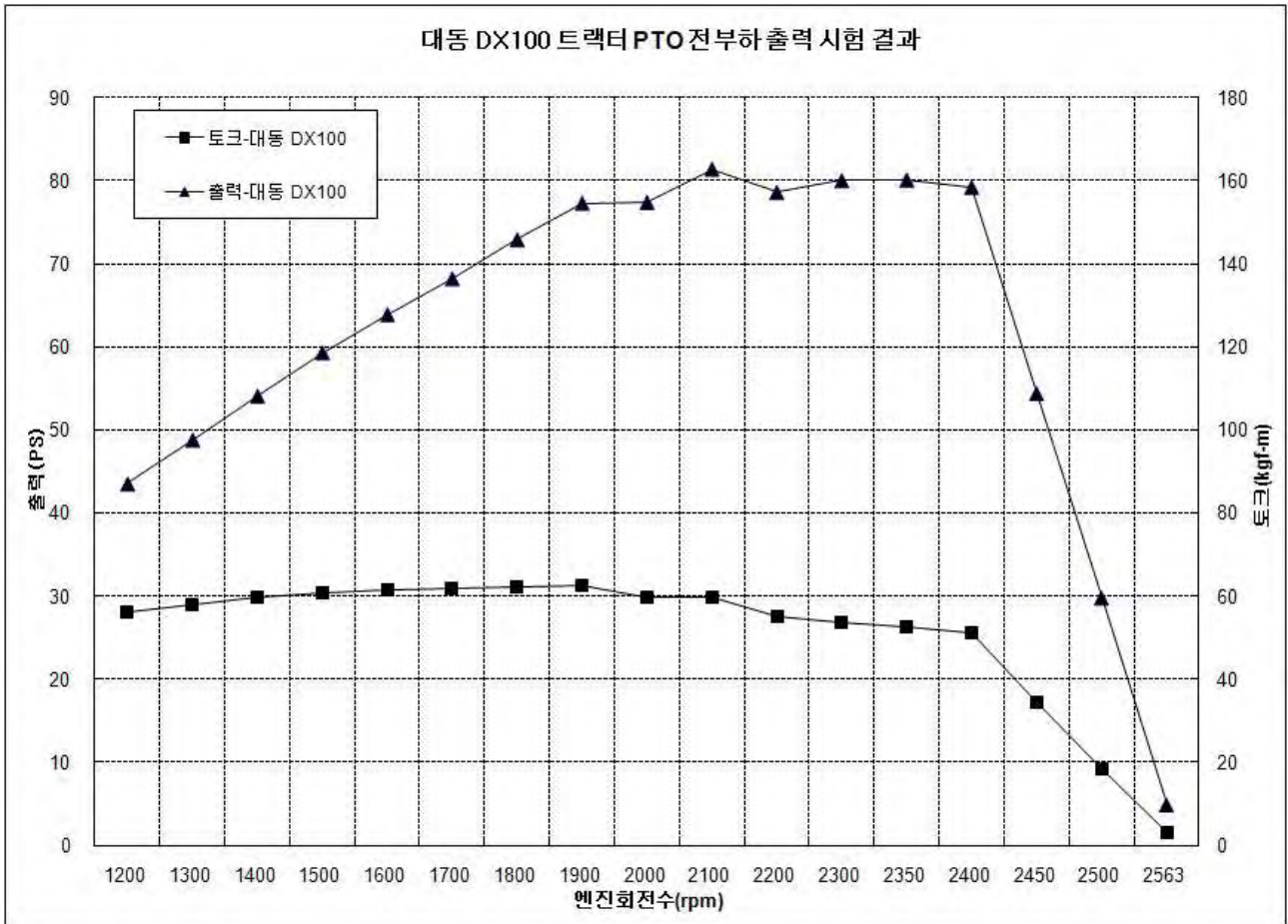
④ 시험평가 결과

㉞ 트랙터 PTO 성능시험 결과

- 공시트랙터의 전부하 PTO 성능시험 결과를 <그림 4-33>과 <그림 4-34>에 나타내었다.
- 공시트랙터의 전부하 PTO 정격출력은 79.2PS/2400rpm이며, Gross 출력 대비 PTO 출력 효율은 약 80%로 나타내었다.

PTO 출력 성능 시험 (모델명 : 대동공업-DX100 트랙터)												
1. 목적 :		대동공업 DX100트랙터(K42엔진) PTO 성능 시험			엔진회전수 (rpm) /출력(ps)		PTO 감속비/rpm					
2. 기대이력:		모델명 : DX100			정격회전수		2400		감속비		정격	
3. 시험조건:		시험 단수 : PTO 3 단			Low Idle		950± 20		1단	0.2600	624	
4. 시험방법:		PTO-DYNAMO 설비를 이용한 부하.			Max Idle		2600± 20		2단	0.3400	816	
5. 시험일자:		2010년 12월 28일 (화요일)			출력-PS(Gross)		99		3단	0.4651	1116	
Target 회전수		측정값			효율		온도			연료 소모량	연료 소비율	기타사항
엔진 rpm	PTO rpm	회전수 rpm	토크 kgm	출력 PS	Gross (%)	대기 ℃	E/G 오일 ℃	연료 ℃	kg/hr	g/ps.hr		
2563	1192.1	1192	3.0	4.9		-	-	-	-	-		
2500	1162.8	1163	18.3	29.8		27.1	109.7	39.3	10.56	354.4		
2450	1139.5	1140	34.4	54.4		29.8	110.7	39.5	13.43	246.9		
2400	1116.3	1116	51.0	79.2	80.0	28.8	112	38.3	16.28	205.6	정격점	
2350	1093.0	1093	52.6	80.1		28.4	112.6	39	15.94	199.0		
2300	1069.8	1070	53.6	80.0		29.2	112.7	38.5	15.63	195.4		
2200	1023.2	1023	55.0	78.6		28.6	112.1	39.7	14.85	188.9		
2100	976.7	977	59.8	81.4		28.3	112	38.3	15.02	184.5		
2000	930.2	930	59.8	77.4		28.2	111.7	38.6	14.68	189.7		
1900	883.7	884	62.7	77.3		28.6	112	39	14.81	191.6		
1800	837.2	837	62.3	72.9		28.7	111.9	39.6	14.3	196.2	최대토크점	
1700	790.7	791	61.9	68.2		28.7	112.3	39.1	13.37	196.0		
1600	744.2	744	61.4	63.9		29.0	111.7	39.5	12.58	196.9		
1500	697.7	698	60.8	59.3		28.1	111	38.5	11.63	196.1		
1400	651.2	651	59.6	54.1		28.0	110.2	38.7	10.71	198.0		
1300	604.6	605	58.0	48.8		28.7	108.9	38.2	9.65	197.7		
1200	558.1	558	56.2	43.5		27.6	108.2	39.1	8.6	197.7		

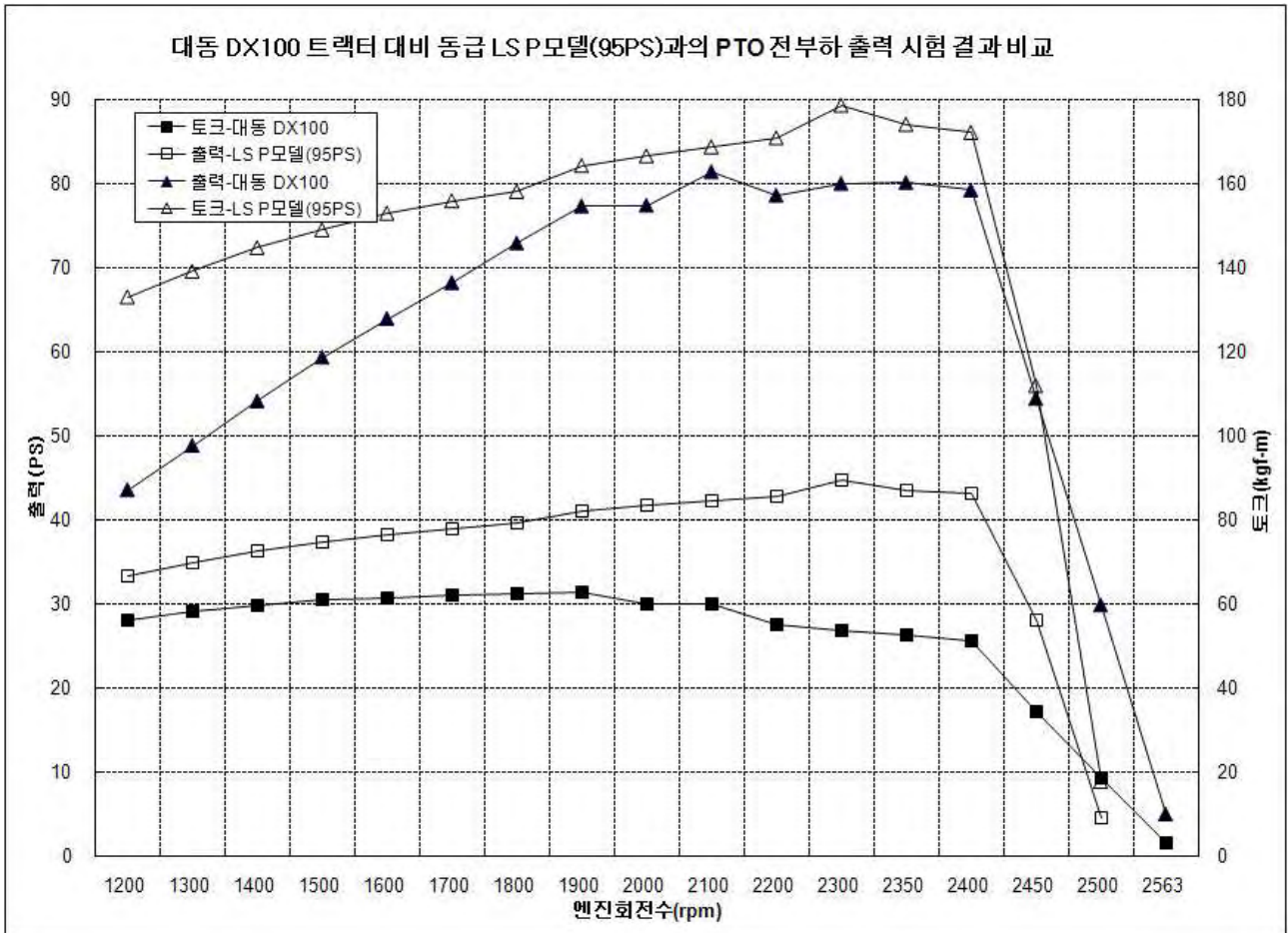
<그림 4-33> 공시트랙터의 전부하 PTO 성능 시험 결과표



<그림 4-34> 공시트랙터의 전부하 PTO 성능 시험 결과 그래프

㉔ 공시트랙터와 동급 LS엠트론 트랙터와의 PTO 성능 비교

- 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 및 동급 LS엠트론 P모델 트랙터(95PS, VE펌프형 엔진)의 전부하 PTO 성능시험 결과 비교 분석 그래프를 <그림 4-35>에 나타내었다.
- 전부하 PTO 정격출력을 비교하면, 공시트랙터는 79.2PS/2400rpm이며, P모델 트랙터는 89.3PS/2300rpm으로 P모델 트랙터가 약 13% 이상 출력이 높았으며, Gross 출력 대비 PTO 출력 효율도 공시트랙터는 약 80%인 반면에 P모델 트랙터는 약 94%의 효율을 나타내었다.
- 최대토크점에서의 토크를 비교하면, 공시트랙터는 62.3kgf.m/1800rpm이며, P모델 트랙터는 81.4 kgf.m/1300rpm으로 P모델 트랙터가 약 31% 이상 토크가 높았으며, 토크 라이즈도 공시트랙터의 경우 22%인 반면에 P모델 트랙터는 약 38%를 나타내었다.
- 기존 P모델 트랙터 대비 공시트랙터의 PTO 출력/효율 및 최대토크, 토크 라이즈가 낮은 것은 공시 트랙터의 K42엔진(MHI社)이 트랙터에 최적화 되어 있지 못한 것으로 판단되었다.



<그림 4-35> 공시트랙터와 동급 LS 트랙터와의 전부하 PTO 성능 시험 결과 비교

나. 시제품 Tier-4 시험모드 평가

(1) 커먼레일엔진에 의한 NRTC 예비시험 평가 실시

(가) 시험 목적

- 1차년도에 수행한 시험의 보완시험으로 전북자동차기술원에 새롭게 구축한 CFR-1065 규제를 만족하는 장비를 이용하여 Tier-4 규제를 대응하는 시험방법의 기술력 확보를 위함
- K42엔진 입고 전에 Tier-4 규제 대비를 위한 NRTC 모드의 시험평가기술을 확보 필요
- 현재 트랙터에 사용중인 IVECO社의 엔진계열 중에 하나인 NEF 시리즈 6 L 급 CRDI 엔진을 이용하여 커먼레일 시스템에 대한 시험을 진행

(나) Tier-4 규제 시험방법

① 시험 엔진

- 시험에 사용하는 엔진의 출력은 180kW급으로 Tier-4 규제에 $130 \leq kW \leq 560$ 군에 속하는 산업용 엔진으로 transient 시험이 필요한 variable-speed 엔진임

<표 4-20> Tier-4 규제 적용 엔진

출력	생산년도
kW < 19	¹ 2008
19 ≤ kW < 56	² 2008
56 ≤ kW < 130	2012
130 ≤ kW ≤ 560	2011
kW > 560	2011

¹§1039.102에 명시된 19 kW 이하 엔진은 2010년 모델 적용

²§1039.102에 명시된 19 kW - 56 kW 엔진은 2012년 모델 적용

<표 4-21> Tier-4 배기규제수치

최대 엔진출력	적용	PM	NOX	NMHC	NOX + NMHC	CO
kW < 19	All	¹ 0.40			7.5	² 6.6
19 ≤ kW < 56	All	0.03			4.7	³ 5.0
56 ≤ kW < 130	All	0.02	0.40	0.19		5.0
130 ≤ kW ≤ 560	All	0.02	0.40	0.19		3.5
	Generator sets	0.03	0.67	0.19		3.5
kW > 560	All except generator sets	0.04	3.5	0.19		3.5

¹ 8 kW 이하급 엔진의 PM 규제치는 0.60 g/kW-hr

² 8 kW 이하급 엔진의 CO 규제치는 8.0 g/kW-hr

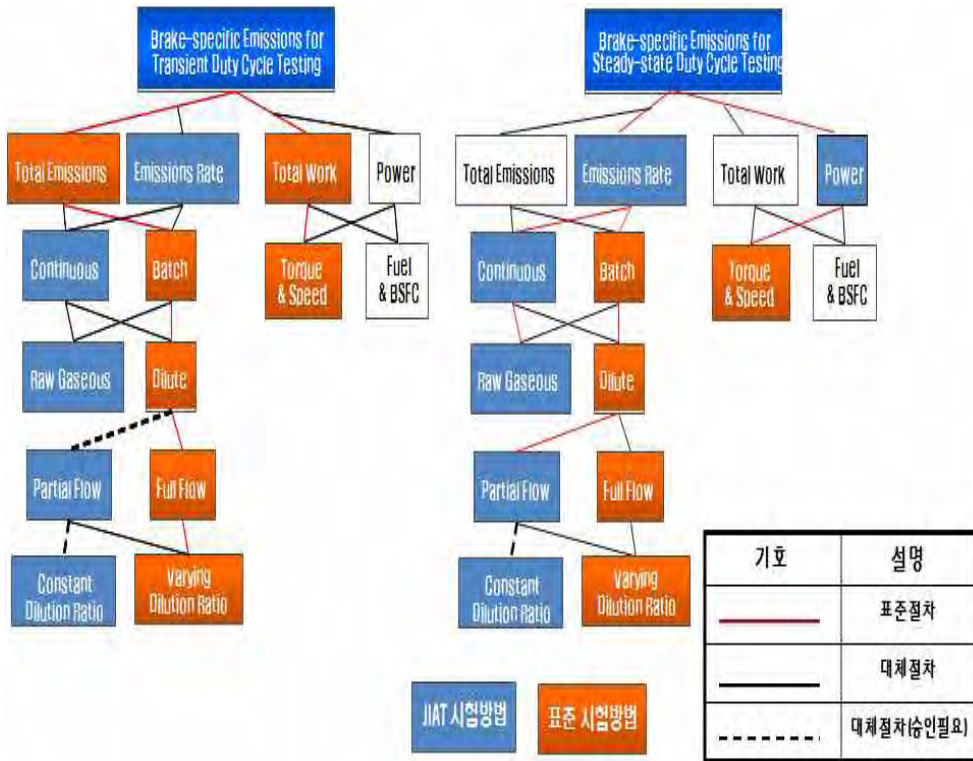
³ 37 kW 이하급 엔진의 CO 규제치는 5.5 g/kW-hr

② 시험방법

- 시험 엔진을 선정 후, pre-test(mapping)를 통하여 시험 사이클의 속도 및 토크점을 선정함
- 사이클 수행에 따른 샘플링 방법과 사이클 수행 후 배기계산방법으로 구성
- 사이클 모드에 따른 배기샘플링 방법 결정
 - Transient 시험모드에서 PM 샘플링시 CFR-1065 시험절차의 규정하는 방법은 Full 터널을 이용하여 배기유량에 따른 가변희석방식을 채택하고 있지만, JIAT에서 수행한 방법은 부분 유량을 샘플링하여 고정 희석비를 이용한 MDT 방식으로 현재 규정에서는 허용하지 않지만 R&D로 사용가능하며, 인증시험기관의 결과를 바탕으로 인증시험결과에 준하는 시험 방법임



<그림 4-36> CFR-1065 시험절차 구성

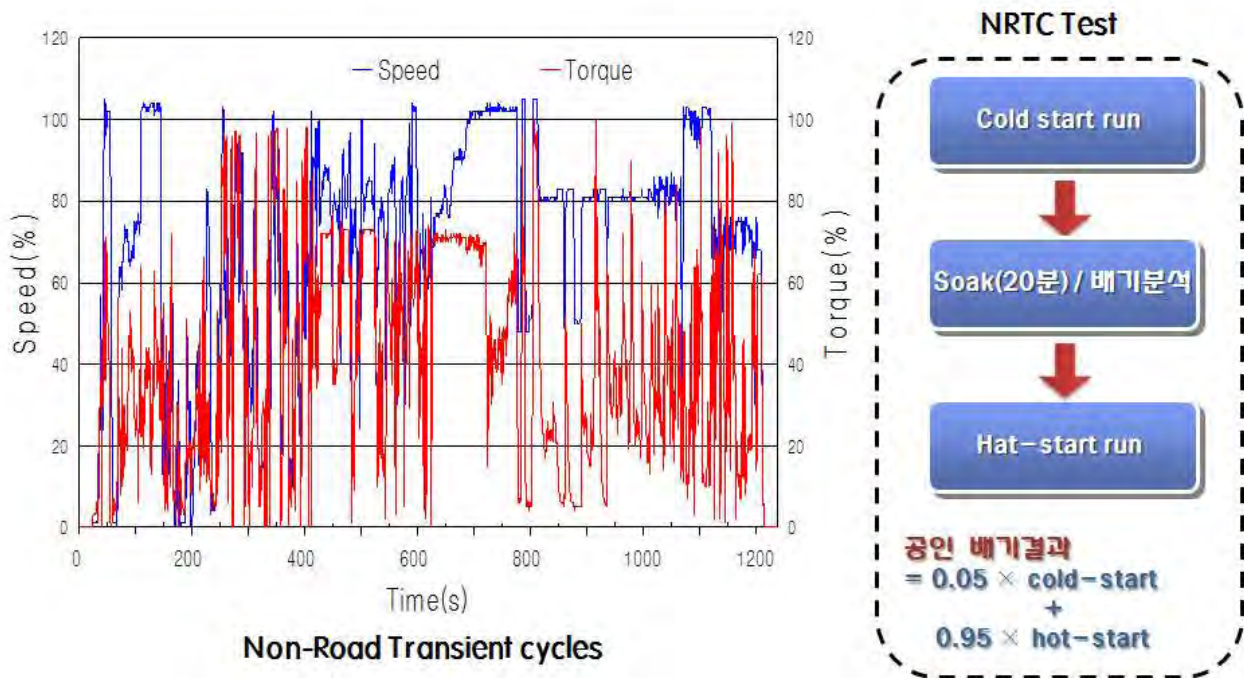


<그림 4-37> CFR-1065시험모드 종류에 따른 sampling 절차

㉞ NRTC(NonRoad Transient Cycle) 시험모드

- 시험모드의 구성은 시간에 따른(1초기준) 토크와 속도의 값으로 구성
- transient 사이클 절차는 cold start의 transient duty 사이클 수행 후, 20분간 엔진 정지 이 후에 hot 조건의 transient duty 사이클 수행
- 배기샘플링은 엔진 작동 후 즉시 샘플링 수행하며 공인 배기결과는 cold-start와 hot-start 조건의 배기결과에 가중치를 곱한 후 두 값을 더하여 최종 결과 값을 산출함

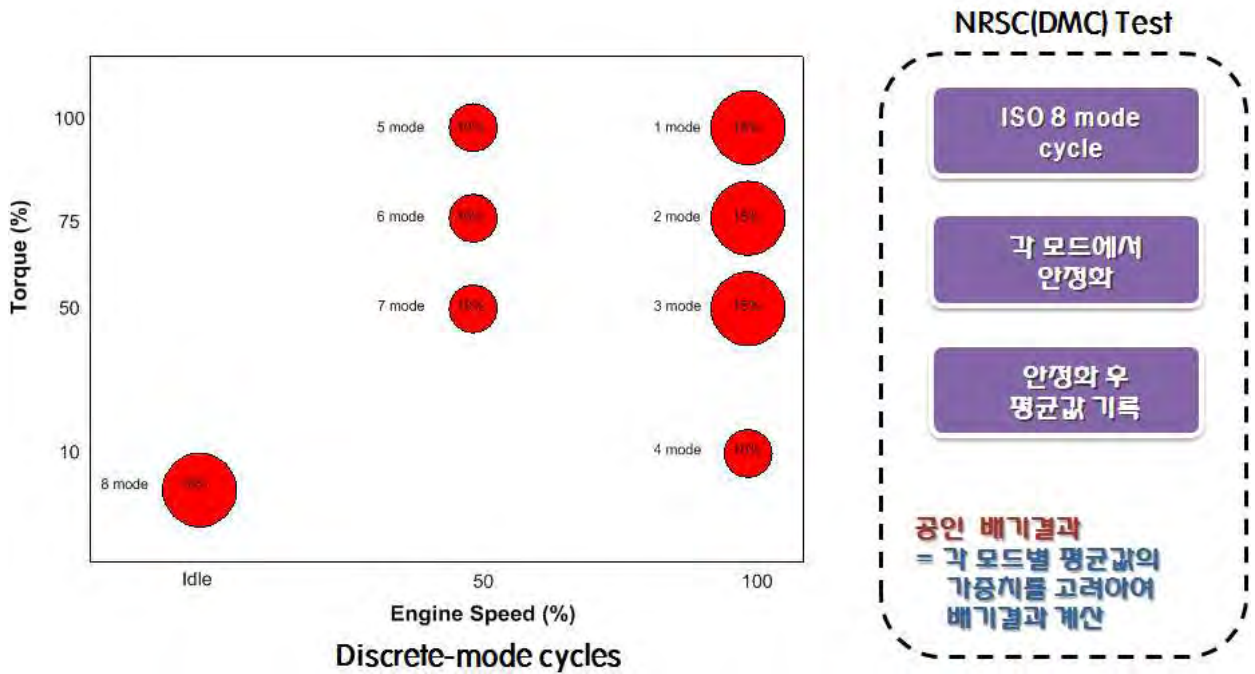
공인 transient 배기결과 = $0.05 \times \text{cold-start emission rate} + 0.95 \times \text{hot-start emission rate}$



<그림 4-38> NRTC 시험모드 및 시험방법

㉟ NRSC(NonRoad Steady-state Cycle = ISO 8mode) 시험모드

- 기존의 ISO 8mode와 동일한 사이클로 각 운전 포인트의 평균화된 속도와 토크(또는 출력)로 구성
- 각 모드와 모드 사이의 속도와 토크가 선형적인 표로 구성되어 있으며, 배기 샘플링은 엔진을 hot 상태로 예열한 후 샘플링을 시작함
- 각 모드별로 연속적으로 샘플링 후 엔진의 안정화된 이후에 값들을 평균을 내어 각 모드별 가중치를 고려하여 배기결과를 계산



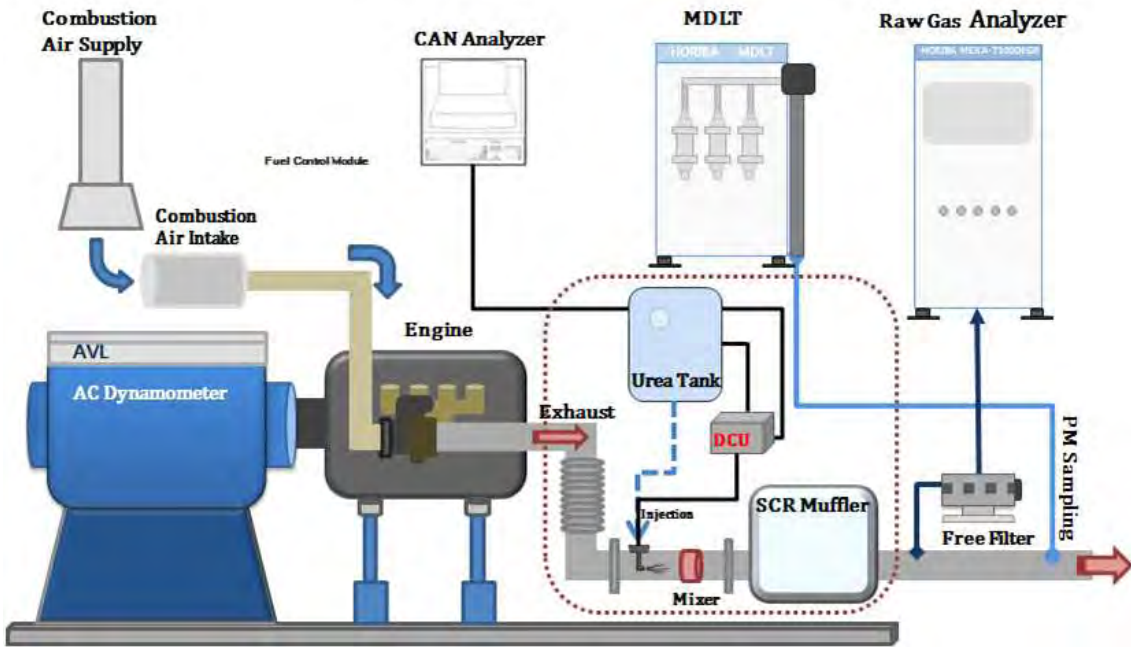
<그림 4-39> NRSC(DMC) 시험모드 및 시험방법

<표 4-22> NRSC(DMC) 시험모드 및 가중치

모드	엔진속도	토크(%)	가중치
1	Maximum speed	100	0.15
2	Maximum speed	75	0.15
3	Maximum speed	50	0.15
4	Maximum speed	10	0.10
5	Intermediate speed	100	0.10
6	Intermediate speed	75	0.10
7	Intermediate speed	50	0.10
8	Idle	0	0.15

㉔ 시험장비

- 본 실험에 사용된 엔진은 6 L급 CRDI 엔진을 사용하였으며, 엔진의 운전을 조정하는 AC 엔진동력계와 엔진에서 배출하는 배기분석을 위한 배기분석계 및 PM 포집을 위한 MDLT로 구성되어 있다.
- 위 장비의 주변장치로는 연료 온도 및 압력 조절장치, 연비계, PM측정을 위한 챔버 및 CAN 분석장치등이 있다.



<그림 4-40> 시험장치 구성도



<그림 4-41> 시험장치 사진

㉠ 시험엔진

- 시험에 사용한 엔진은 EURO-IV 규제를 만족하는 6 L 급 디젤 엔진으로 터보차저와 인터쿨러가 장착되어있음
- 연료분사시스템은 CRDI 방식으로 bosch사 제품이며, 최대출력은 250PS(@2,700rpm)임

- 시험엔진의 후처리장치는 SCR muffler가 장착되어 있으며, Urea 분사를 통하여 NOx를 저감하는 엔진임
- 시험엔진의 외관을 그림, 제원을 표에 나타내었다.



<그림 4-42> 시험엔진

<표 4-23> 시험엔진 사양

Item	Specifications
Engine Type	CRDI Diesel Engine
Rated Power / rpm (PS/rpm)	251/2700
Max.Torque/rpm (Kg-m / rpm)	86/1250
Displacement (L)	5.880
Aspiration	T/C & Intercooler
Engine model	NEF
Idle(Low/High)	650/ 2950

㉞ 엔진동력계

- 시험에 사용한 동력계 AC 동력계 steady-state의 ISO 8 mode 시험모드뿐만 아니라 transient 시험모드인 NRTC 시험모드 시험이 가능하며, 국내 및 국외(ECE/EPA/EC) 시험규격을 만족하는 동력계임

<표 4-24> 동력계 사양

Item	Specifications
Manufacturer	AVL
Type	AC Dyno.
Model	DynoRoad-204/8SL
Capacity (P/T/rpm)	220kW / 934Nm / 8000 rpm



<그림 4-43> 엔진 동력계

© 배출가스 분석기

- 배출가스 분석기는 호리바(Horiba)사의 MEXA-7100DEGR을 이용하여 CO, CO₂, THC, O₂, NO_x의 농도를 연속적으로 측정
- 각 가스의 분석 기법은 CO, CO₂의 경우 NDIR(Non-Dispersive Infrared)방식, HC의 분석에는 FID(Flame Ionization Detector), NO_x의 분석에는 CLD(Chemiluminescent Detector) 방식을 사용
- 배출가스 분석기에서 측정된 각 가스의 농도는 데이터 기록기에 기록하여 저장함



<그림 4-44> 배출가스 분석계

㉔ 입자상물질 측정장치

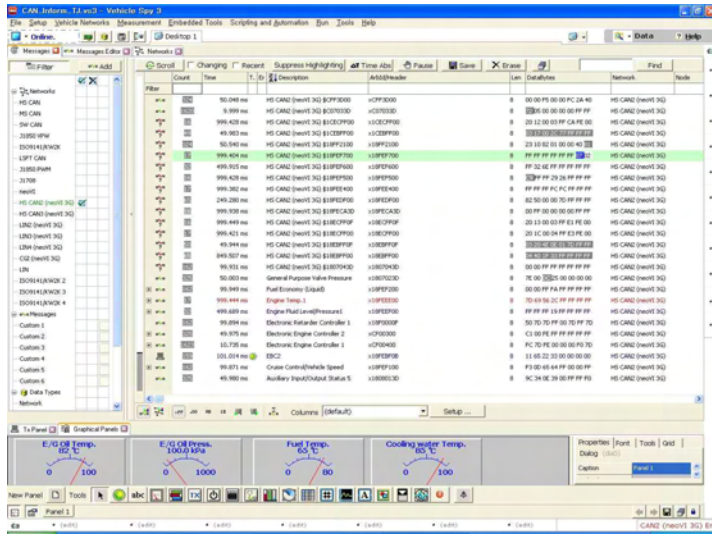
- 입자상물질 측정장치는 호리바(Horiba)사의 MDLT-1300T를 이용하여 입자상물질을 포집함
- 시험에 사용한 PM 필터는 측정 전 항온·항습 챔버에 2시간 안정화 후 시험에 사용하였으며, 측정 후 챔버에서 다시 1시간 안정시킨 후 무게를 측정함



<그림 4-45> 입자상물질 포집 및 측정장치

㉕ CAN 분석장비

- 시험에 사용한 CAN(Controller Area Network) 분석장비는 neoIV FIRE 장비를 이용하였으며, 소프트웨어는 Vehicle Spy를 이용함
- 시험에 사용한 엔진은 SAE J1939 통신규약의 CAN ID 값을 사용하며, K42 엔진 또한 위와 동일한 통신규약을 적용하므로, 기술력 확보를 위하여 시험용 엔진의 CAN ID를 분석하여 rpm, 촉매 전·후 단 온도 및 Urea 분사량을 취득함



<그림 4-46> CAN 분석장치 및 소프트웨어

① 기타장치

- 시험 엔진에 공급되는 연료의 온도는 40°C로 유지하였으며, 공급 연료압 및 리턴되는 연료 압력은 실차와 동일하게 대기압으로 유지함
- 엔진의 냉각수 온도 제어장치를 이용하여 시험 모드중 엔진의 냉각수 온도를 85±2 °C 로 유지함



<그림 4-47> 연료 공급 / 소모율 측정장치 및 냉각수 온도 제어장치

㉠ 시험조건

㉠ 엔진 Mapping 조건

○ 엔진회전수에 대한 출력 및 토크의 함수 결정(엔진 Mapping 시험)

① Mapping 시험의 회전수 범위 결정

- 최소 Mapping 회전수 = 아이들 회전수

- 최대 Mapping 회전수 = 최대출력의 50-75% 출력이 나오는 최대엔진회전수 또는 엔진 최대 안전회전수

② 엔진 출력 Mapping 시험

- 엔진상태를 안정시키기 위하여 엔진은 엔진 제작사가 원하는 시험조건에서 최고출력의 75% 상태로 운전하여 엔진의 각종 온도와 압력, 출력 등이 안정화 된 경우 아래의 절차대로 엔진 출력 Mapping 시험을 실시

○ Steady-state cycle만을 사용하는 엔진

① 무부하 또는 아이들 회전수로 운전.

② 최소 Mapping 회전수에서 엔진 최대출력의 50-75% 영역이 발생하는 최대속도까지 운전

③ 최소 Mapping 회전수에서 최대 Mapping 회전수까지 일정한 rpm으로 최소 20 포인트 기록. 각 포인트의 토크 및 속도는 최소 15초의 안정화 후 4-6초간의 피드백 데이터를 기록

○ Variable-speed 엔진

① 무부하 또는 아이들 회전수로 운전한다.

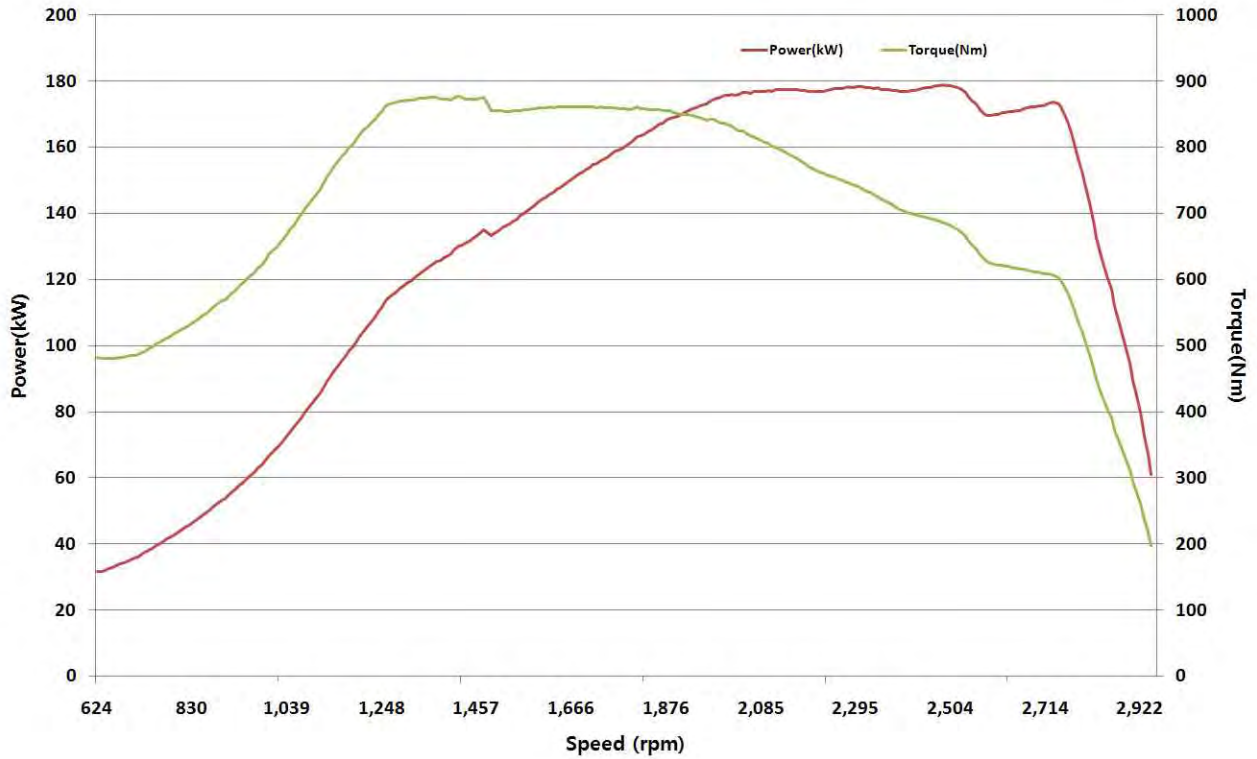
② 최소 Mapping 회전수에서 엔진 최대출력의 50-75% 영역이 발생하는 최대속도까지 일정한 속도로 4-6분안에 운전.

③ 평균 피드백값의 속도와 토크값은 초당 1회 이상으로 기록

○ NEF 엔진 Mapping

- 실제 시험엔진을 624 rpm에서부터 최대 운전영역인 2950 rpm까지 100% 부하조건으로 8 rpm/s 값으로 측정함

- 측정된 출력 및 토크값을 1 Hz로 기록하여 아래 그림과 같은 mapping data를 취득함



<그림 4-48> NEF 엔진 Mapping data

② 시험 사이클의 결정

○ 시험최대속도 f_{ntest}

- 전부하실험(mapping)을 출력 대 속도 맵을 통해 최대출력(P max)값과 최대출력이 발생하는 엔진속도(f_{nPmax})를 이용하여 결정. 최대출력이 여러점에서 발생할시 그 중 가장 낮은 엔진 회전수를 선정

- $f_{ntest} = f_i = (f_{nnormi}^2 + P_{normi}^2)$ 의 최대값

f_{nnormi} = 최대 출력이 발생하는 속도(f_{nPmax})값으로 엔진속도를 나눈 값.

P_{normi} = 최대 출력값(P max)으로 엔진출력을 나눈 값.

→ 실제 엔진 mapping 시험을 통하여 위 값을 계산함

- 최대 출력 $P_{max} = 178.78 \text{ kW} @ 2,488 \text{ rpm}(F_{nPmax})$

$$f_{ntest} = f_i = (f_{nnormi}^2 + P_{normi}^2) = [(2745.5/2488)^2 + (600.64/178.78)^2]$$

$$= 0.965936 + 2.150737 = 2.150737$$

이때 시험최대속도 $f_{ntest} = 2745.5 \text{ rpm}$

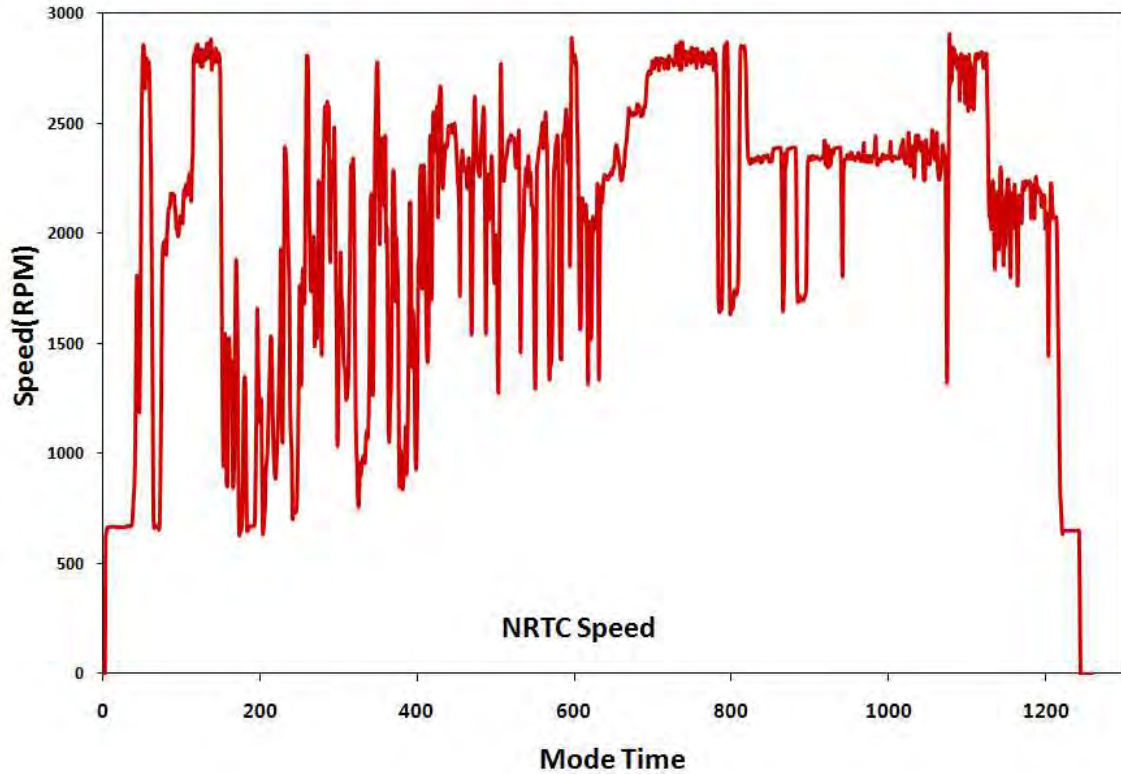
○ % Speed

- NRTC 시험모드의 % speed 값은 idle 회전수와 시험최대속도(f_{ntest})를 이용하여 다음 식과 같이 결정

$$f_{nref} = \% \text{ speed} \cdot (f_{ntest} - f_{nidle}) + f_{nidle}$$

→ 예로 % speed 가 85 % 일때

- $f_{nref} = 85\% \cdot (2745.5 - 650) + 650 = 2333.675 \text{ rpm}$



<그림 4-49> 시험엔진에 대한 NRTC 시험모드 speed 값

○ A, B, C 속도

- Discrete-mode cycle에서 A, B, C 모드 속도는 다음 식에 의해 선정함

$$\text{회전수 A} \quad f_{nrefA} = 0.25 \cdot (n_{hi} - n_{lo}) + n_{lo}$$

$$\text{회전수 B} \quad f_{nrefB} = 0.50 \cdot (n_{hi} - n_{lo}) + n_{lo}$$

$$\text{회전수 C} \quad f_{nrefC} = 0.75 \cdot (n_{hi} - n_{lo}) + n_{lo}$$

n_{lo} : 엔진의 최대출력의 50%에 해당하는 출력을 얻을 수 있는 가장 낮은 원동기 회전수 (rpm)

n_{hi} : 엔진의 최대출력의 70%에 해당하는 출력을 얻을 수 있는 가장 높은 원동기 회전수 (rpm)

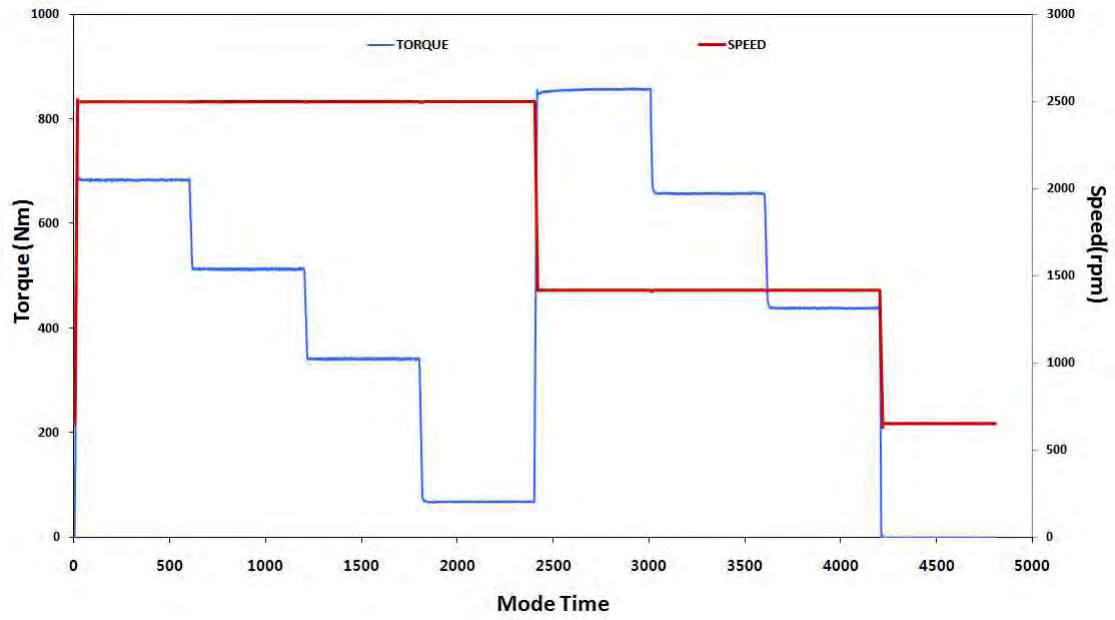
○ 중간속도(Intermediate speed)

- Ramped-modal에서 중간속도는 최대 토크가 발생하는 엔진 회전수에 의해 결정

- 최대 토크가 발생하는 회전속도가 f_{ntest} 의 60-75% 사이에 있을 때 최대 토크의 회전속도

- 최대 토크가 발생하는 회전속도가 f_{ntest} 의 60% 보다 작으면 f_{ntest} 의 60% 지점

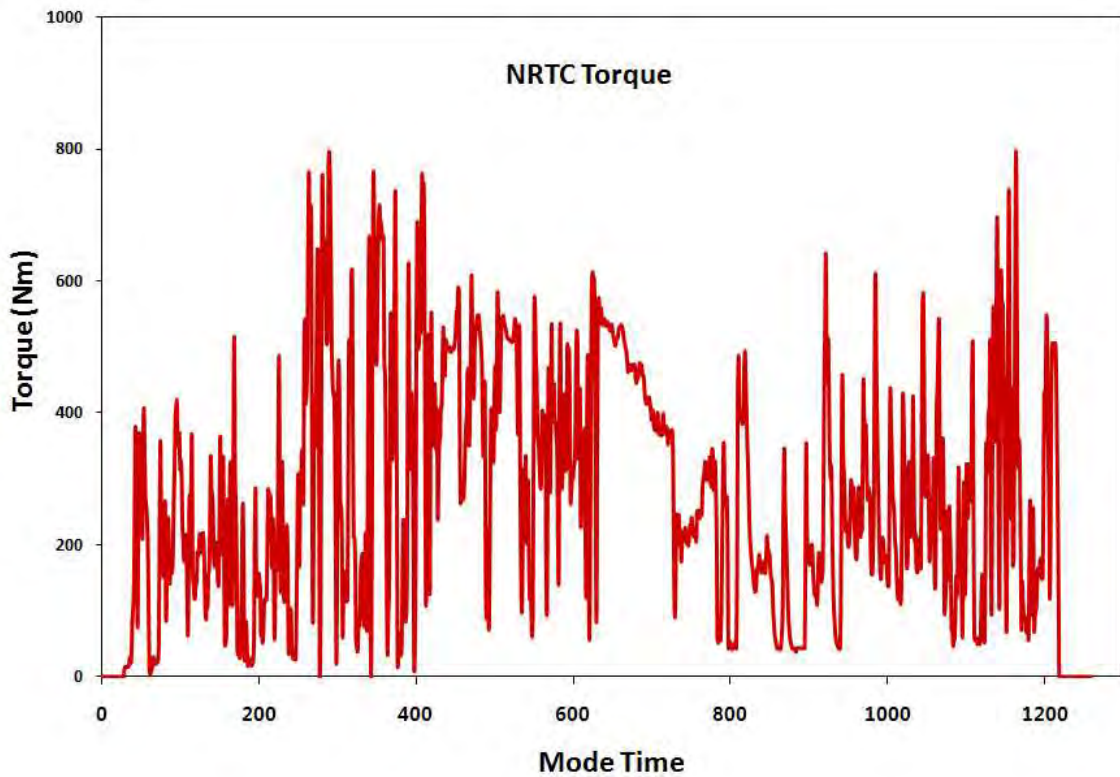
- 최대 토크가 발생하는 회전속도가 f_{ntest} 의 75% 보다 크면 f_{ntest} 의 75% 지점



<그림 4-50> 시험엔진에 대한 NRSC(DMC) 시험모드 값

○ 시험 토크 환산

$$Torque\% = \left(\frac{\%토크 \times \text{기준회전수에서의 최대토크}}{100} \right)$$



<그림 4-51> 시험엔진에 대한 NRTC 시험모드 torque 값

○ Motoring

- Motoring 점 (m)에서의 부(負)의 토크값은 기준 사이클 생성을 위해서는 아래의 방법 중 하나로 결정된 환산된 값으로 사용되어야한다.
- 관련 속도점(associated speed point)에서 이용 가능한 정(正) 토크의 -40%
- 최소에서 최대 Mapping 회전수까지 엔진을 Motoring시키기 위해 요구되는 부(負) 토크의 Mapping
- 아이들 및 기준회전수, 그리고 이 2점간의 선형보간된 회전수에서 엔진을 Motoring시키기 위해 요구되는 부(負) 토크의 결정

㉞ 시험 주변 장치 설치

- 시험 엔진을 Tier-4 규제에 의한 NRTC 및 NRSC 시험모드에서 정확한 평가를 위하여 엔진 주변장치의 설정을 CFR-1065 규정에 의하여 설치 및 구성함
- CFR-1065 규정에 명시된 시험 주변장치의 설치 및 구성 요구사항은 다음과 같다

㉠ 엔진냉각장치

- 동력계상에서 시험엔진이 시험기간 동안 일반적으로 작동 가능한 온도상태를 유지하기에 충분한 냉각장치를 갖추고 있어야 함
- 본 시험에서는 냉각수의 온도를 $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 조건으로 시험을 진행

㉡ 흡입공기계통

- 차량에 사용된 흡기장치와 동일한 부품을 사용. 흡입공기온도는 $25 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 유지
- 측정장치
 - 압력 : 흡기압력이 대기압의 $\pm 1\text{ kPa}$ 로 유지
 - 습도 : 흡기쪽으로 흡입되는 공기의 이슬점을 측정장치의 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지
 - 온도 : 시험중 가열된 엔진 표면 이나 흡입공기시스템 부품들의 복사열로부터 온도센서를 보호하여 측정오차를 방지해야 함
- 과급공기의 냉각장치
 - Charge-air coolant 후단 냉각온도는 최소 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지.
 - Charge-air coolant의 출구의 온도를 제작사가 설정한 온도의 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이내로 유지

㉢ 배기계통

- 차량에 사용된 배기시스템 사용
- 후처리장치는 배기매니폴드 플랜지부 또는 터보차저 출구로부터 엔진제조사에 명시된 거리에 위치
- 엔진 배기시스템에 다음과 같이 raw 샘플링 또는 희석단 연결
 - 배기관 길이를 최소로 하고 총 관 길이를 10m 또는 외부직경의 50배 이내로함

- flexible 배기관을 엔진 또는 배기시스템에 짧게 부분적으로 사용하며, 배기관 총길이는 외경에 10배까지 사용 가능
- 배기관 시작점에서 외부 직경의 25배 길이만큼 절연
- 배기관 재질은 smooth-walled, 전기 전동성과 배기 구성물질과 반응하지 않은 재질을 사용
- 배기관은 2 mm 이하의 벽두께 또는 배기와 배기관 벽 사이의 온도 차이를 최소화 시킬 수 있는 공기 절연간격 중 택일
- In-line 스모크측정기와 같이 측정장치를 배기관안에 설치. In-line 장치 사용시 각 장치의 옆부분을 외경의 5배의 길이를 절연하지 않고 남김
- 접지 : 전체 배기시스템을 전기적 접지
- 배기 후처리시스템을 위한 강제냉각 시스템 사용 가능

㉔ 입자상물질 시료채취용 여지

- 전체 두께가 $40 \pm 20 \mu\text{m}$ 인 PTFE 필터재질
- 입자상물질 필터의 직경은 $46.50 \pm 0.6 \text{ mm}$, 노출 직경은 최소 38mm
- 입자상물질이 필터에 최대한 침전할 수 있도록 필터홀더의 콘각도는 12.5° (중심에서)
- 필터를 통과하는 가스의 면속도는 100 cm/s 이내, 압력강하는 25kpa 이내이어야 함

㉕ PM 안정화환경 및 측정실

- 안정화실과 측정실을 공유할 경우 주변온도는 $22^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하여야 하며 독립적으로 사용할 경우는 $22^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 이어야 함
- 이슬점은 $9.5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지
- 안정화 및 측정실은 주위의 공기에 오염되지 않아야 하며, 압력은 $\pm 100 \text{ Pa}$ 유지
- 측정저울은 평균측정무게의 2.0% 정밀도와 1.0% 재현성을 가져야함

(다) 시험결과

① NRTC 시험모드 추종성 검증

- 시험엔진에 대한 NRTC 시험모드 수행 시 요구되는 torque 값의 대한 추종성을 확인이 필요함
- 엔진 mapping 시험에서 취득한 f_{ntest} 값을 기준으로 계산된 NRTC 사이클의 % speed 와 % torque로 구성된 NRTC 시험모드에서 CFR-1065 규정 만족여부를 확인함

㉠ CFR 규정

- 기준 값에 대한 rpm, torque 및 출력 피드백 값의 선형회귀분석이 이뤄져야 함
- Variable-speed 엔진 시험시 CFR-1065 규정에서 제시한 아래의 rpm, torque 및 출력 값들을 모두 만족해야함
- Constant-speed 엔진 시험시 아래의 torque 값을 만족해야함

<표 4-25> CFR-1065 사이클 확인을 위한 통계 규정 (§1065.514)

Parameter	Speed	Torque	Power
Slope, a_1	$0.950 \leq a_1 \leq 1.030$	$0.830 \leq a_1 \leq 1.030$	$0.830 \leq a_1 \leq 1.030$
Absolute value of intercept, $ a_0 $	$\leq 10\%$ of warm idle	$\leq 2.0\%$ of maximum mapped torque	$\leq 2.0\%$ of maximum mapped power
Standard error of estimate, SEE	$\leq 5.0\%$ of maximum test speed	$\leq 10\%$ of maximum mapped torque	$\leq 10\%$ of maximum mapped power
Coefficient of determination, r^2	≥ 0.970	≥ 0.850	≥ 0.910

<표 4-26> CFR-1065 규정에 의해 계산된 시험엔진의 기준 값

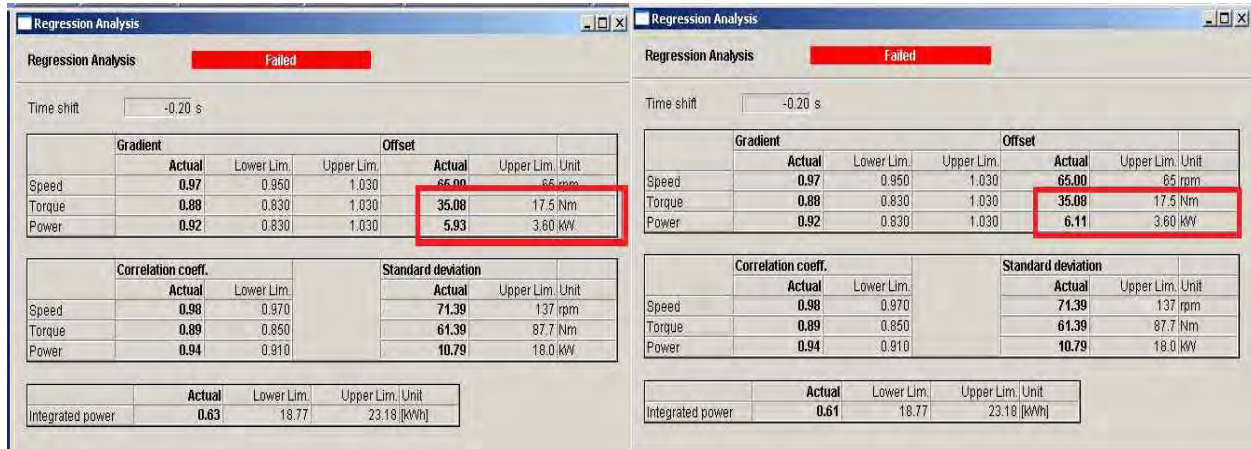
Parameter	Speed	Torque	Power
Slope, a_1	$0.950 \leq a_1 \leq 1.030$	$0.830 \leq a_1 \leq 1.030$	$0.830 \leq a_1 \leq 1.030$
Absolute value of intercept, a_0	$a_0 \leq 65$	$a_0 \leq 17.5$	$a_0 \leq 3.6$
Standard error of estimate, SEE	$SEE \leq 137$	$SEE \leq 87.7$	$SEE \leq 18$
Coefficient of determination, r^2	$r^2 \geq 0.970$	$r^2 \geq 0.850$	$r^2 \geq 0.910$

㉠ 시험결과

- 시험 엔진의 NRTC 시험모드의 추종성 확인을 위하여 예비시험을 수행함
- 규정에 의한 rpm, torque 및 출력 피드백 값들은 시험 종료 후 동력계에서 계산된 값을 통하여 확인함
- 시험결과 P1, P2 모두 torque, 출력의 a_0 값이 기준 값 보다 더 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 시험엔진이 요구되는 torque 값을 추종하는데 동력계에서 규정된 값보다 더 높은 motoring 운전 을 하여 torque을 초과함을 확인함
- 동력계에서 torque 값을 초과하여 운전한 결과로 출력까지 기준치를 초과함을 확인할수 있었으며, 결과적으로 NRTC 시험모드에서 요구되는 추종성 기준 값을 만족하지 못하여 시험은 fail 함

<표 4-27> 시험엔진의 추종성 결과값

Parameter		Speed	Torque	Power
a_1	P1	$0.950 \leq 0.97 \leq 1.030$	$0.830 \leq 0.88 \leq 1.030$	$0.830 \leq 0.92 \leq 1.030$
	P1			
a_0	P1	$65 \leq 65$	$38.08 \geq 17.5$	$5.93 \geq 3.6$
	P2			$6.11 \geq 3.6$
SEE	P1	$71.39 \leq 137$	$61.39 \leq 87.7$	$10.79 \leq 18$
	P2			
r^2	P1	$0.97 \geq 0.970$	$0.89 \geq 0.850$	$0.94 \geq 0.910$
	P2			



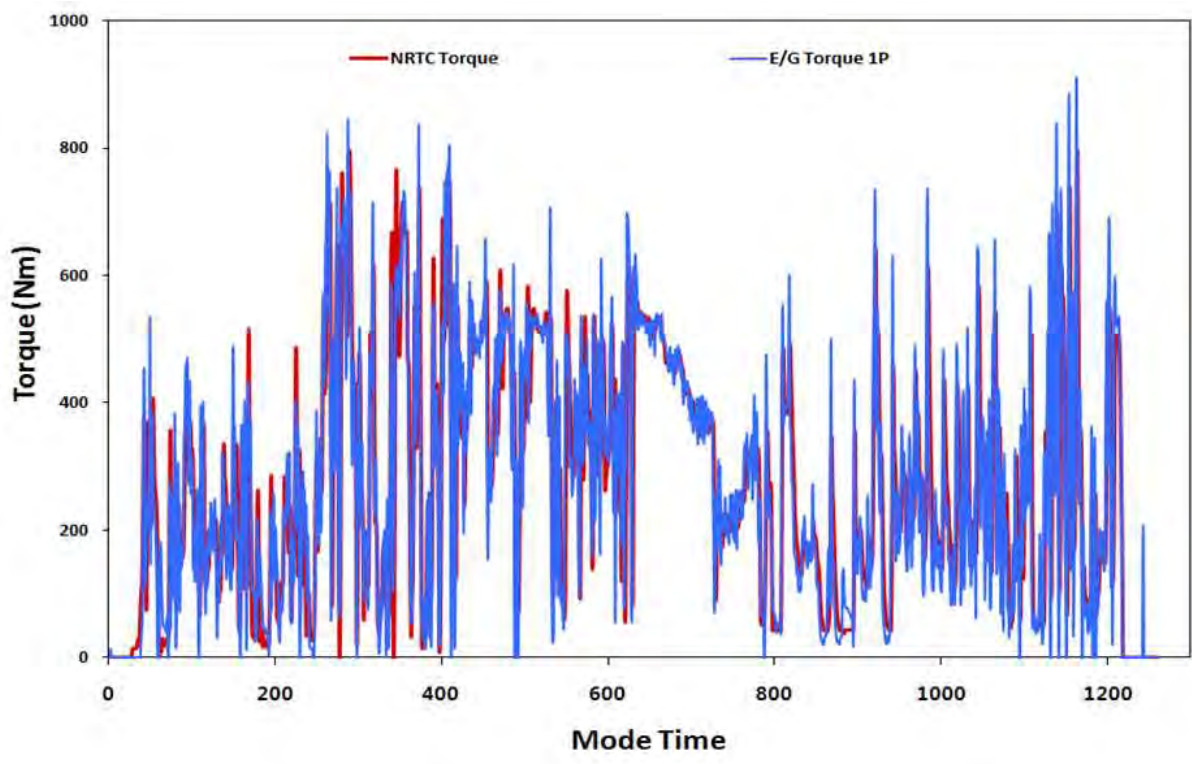
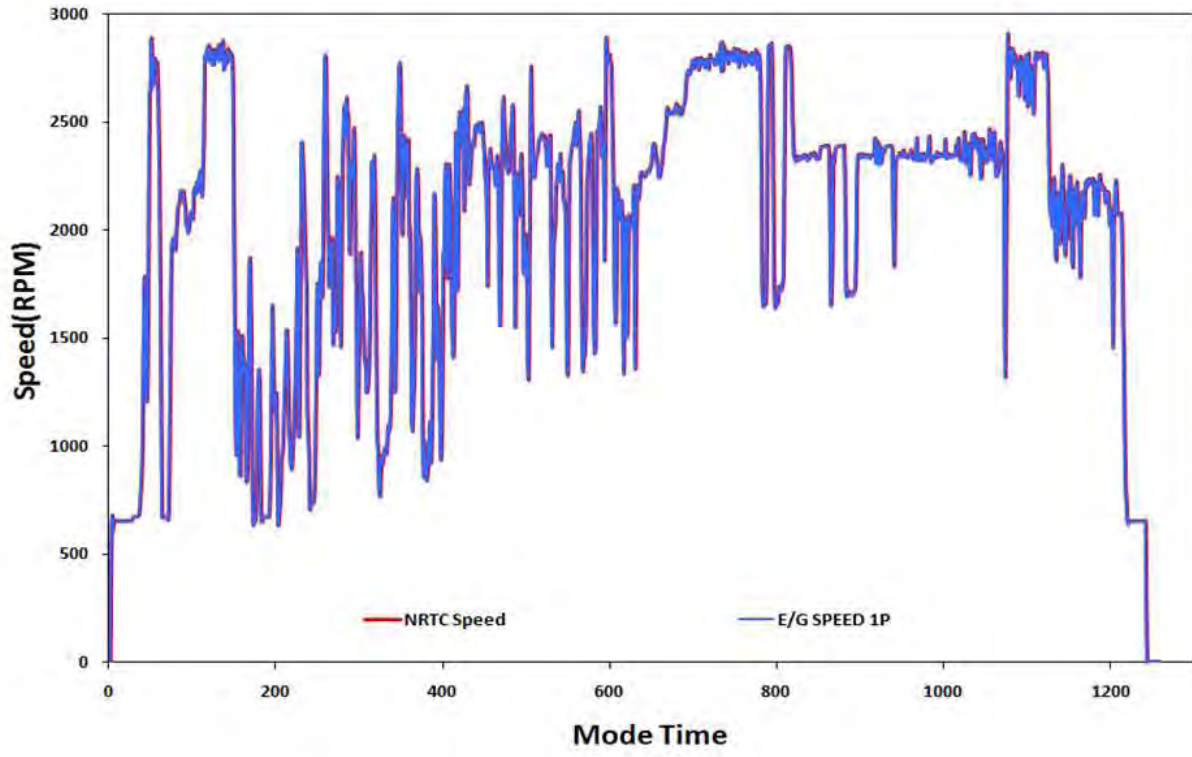
<그림 4-52> 동력계에서 계산된 사이클 추종성 확인 창

㉔ 보완시험

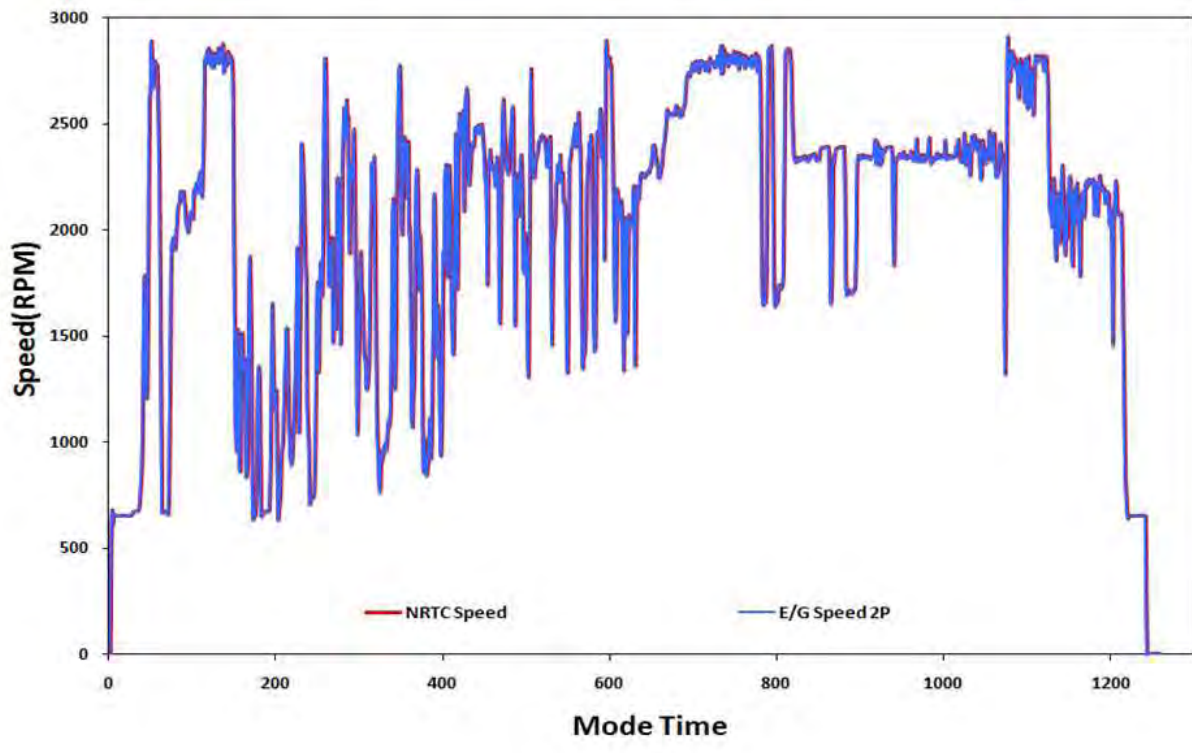
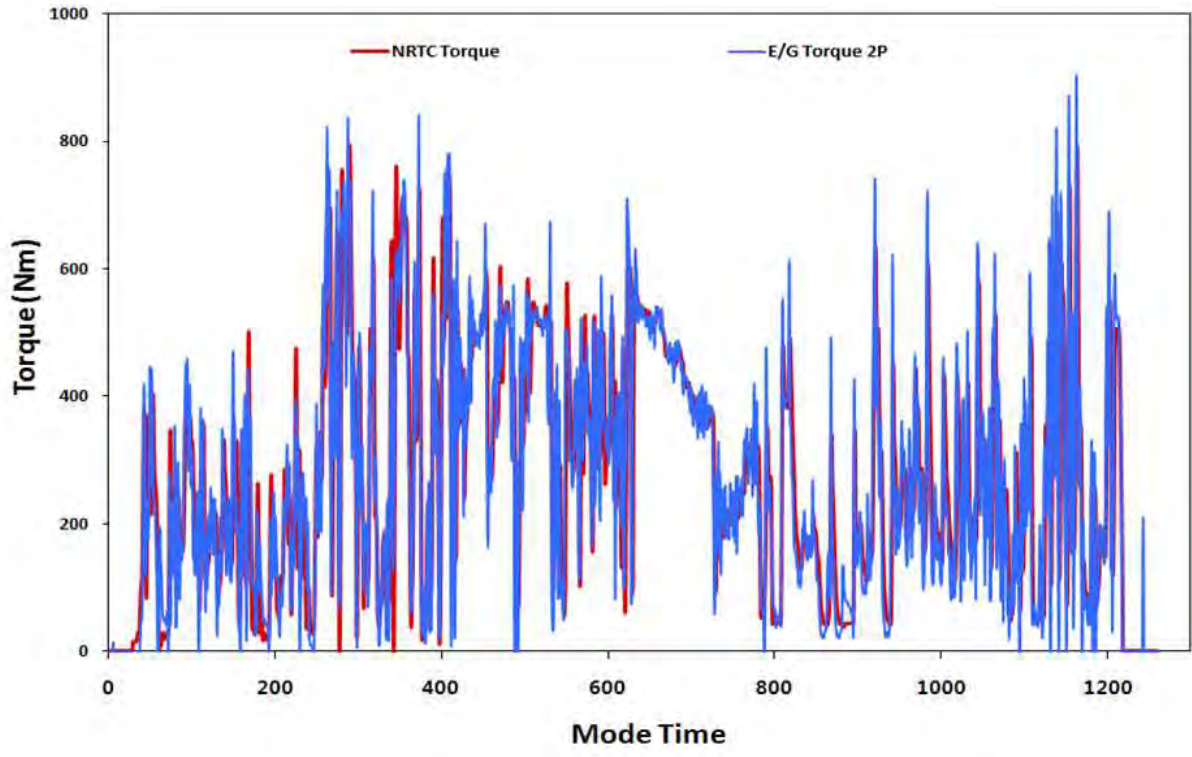
- 시험 엔진의 NRTC 시험모드 수행 시 요구되는 torque 값에 대한 응답성을 향상시키기 위하여, 시험엔진의 정확한 성능 data를 측정함
- 시험엔진의 전 운전영역에서 측정된 torque 값을 동력계 입력하여 전체 사이클 영역에서 요구되는 torque 값을 추종하는데 있어서 응답 성능을 향상시킴
- 정확한 성능 data를 측정하기 위하여 idle 영역의 700 rpm부터 시험최대속도(fntest)영역의 2700 rpm까지 200rpm 단위, 각 rpm 조건에서 엔진의 부하조건을 무부하(0%)에서 100% 조건 까지 5%씩 증가시키면서 rpm / load(%) / torque 값을 취득한 시험엔진 loot-up table를 작성하여 동력계에 입력함
- 위와 같은 시험방법을 거쳐 NRTC 시험모드 수행결과 아래 표와 같이 CFR-1065에 규정된 모든 기준 값들을 만족함을 확인

<표 4-28> 보완시험 결과 값

Parameter		Speed	Torque	Power
a_1	P1	$0.950 \leq 0.97 \leq 1.030$	$0.830 \leq 0.95 \leq 1.030$	$0.830 \leq 0.98 \leq 1.030$
	P1			
a_0	P1	$65 \leq 65$	$10.52 \leq 17.5$	$0.59 \leq 3.6$
	P2			
SEE	P1	$63.2 \leq 137$	$61.39 \leq 87.7$	$12.58 \leq 18$
	P2			
r^2	P1	$0.99 \geq 0.970$	$0.91 \geq 0.850$	$0.92 \geq 0.910$
	P2			



<그림 4-53> phase 1 torque 및 speed 결과 값



<그림 4-54> phase 2 torque 및 speed 결과 값

② Emission 시험결과

- EPA 규정에 의한 nonroad용 엔진 중 $130 \leq kW \leq 560$ 급 엔진에 대한 배기규제수치는 아래와 같으며, CFR-1065규정의 시험절차를 준수하여 NRTC 및 NRSC 시험을 수행함

<표 4-29> Nonroad용 엔진에 대한 배기규제치

Regulation	NOx (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)	NOx+NMHC (g/kWh)
Tier-3			3.5	0.2	4.0
Tier-4 Interim	2.0	0.19	3.5	0.02	
Tier-4 Final	0.4	0.19	3.5	0.02	

㉠ NRSC 시험결과

- 시험엔진은 배기저감방법은 연소효율을 높여 THC, CO, PM를 낮은 수준으로 배출시키며, 높은 연소효율로 배출되는 고농도의 NOx 가스는 SCR(Selective Catalyst Reduction) muffler 전단에서 urea를 분사하여 muffler에서 저감하는 시스템임
- NRSC 시험결과 NOx는 2.724 g/kWh로 Tier-4 interim 규제를 약간 30% 초과하는 수준으로 배출되었으며, PM, NMHC 및 CO 모두 Tier-4 규제 수치를 만족함을 확인함

<표 4-30> NRTC 시험결과

Mode	NOx (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)
Total	2.724	0.037	0.403	0.014

㉔ NRTC 시험결과

- NRTC 시험모드 수행시 엔진이 cold 상태로 사이클을 수행한 후 10분동안 엔진을 정지하고 2번째 사이클을 수행함
- 시험결과 엔진이 cold 상태인 P1(phase1)조건에서 모든 배출가스 농도가 P2조건보다 높에 배출되는 것을 확인
- PM의 경우 P1 사이클에서 P2 사이클보다 약 2배정도 높게 배출되었으며, 전체 배기결과 NRSC 시험모드 보다 더 높게 배출됨을 확인

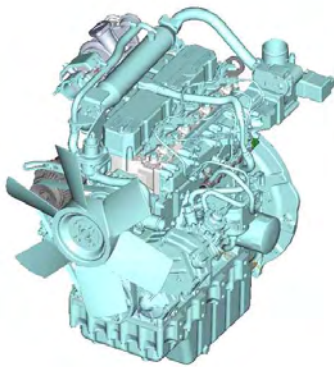
<표 4-31> NRTC 시험결과

Mode	NOx (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)
P1	4.098	0.075	0.91	0.050
P2	3.561	0.068	0.65	0.026
Total	3.59	0.068	0.66	0.027

(2) K42엔진에 대한 NRTC 본 시험 평가

(가) 시험 엔진

- 시제품 엔진(K42)은 interim. Tier-4 규제를 만족하는 3.3 L 급 디젤 엔진으로 터보차저와 인터쿨러가 장착되어있음
- 연료분사시스템은 CRDI 방식으로 bosch사 제품이며, 최대출력은 94 PS (@ 2400 rpm)임
- 시험엔진의 후처리장치는 DPF(Diesel Particle Fiter)가 장착되어 있으며, EGR 및 DPF를 통하여 PM과 NOx를 저감하는 엔진임
- 시험엔진의 그림 및 제원을 표에 나타내었다.



<그림 4-55> K42 엔진 및 시험장치

<표 4-32> 시험엔진 사양

Item	Specifications
Engine Type	CRDI Diesel Engine
Rated Power / rpm (PS/rpm)	94/2400
Max.Torque/rpm (Nm / rpm)	340/1800
Displacement (L)	3.331
Aspiration	T/C & Intercooler
Engine model	K42
Idle(Low/High)	950/ 2600

(나) 시험 조건

① 엔진냉각장치

- 동력계상에서 시험엔진이 시험기간 동안 일반적으로 작동 가능한 온도상태를 유지하기에 충분한 냉각장치를 갖추고 있어야 함
- 본 시험에서는 냉각수의 온도를 $85 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 조건으로 시험을 진행함

② 흡입공기계통

- 실제 트랙터에 사용된 흡기장치와 동일한 부품을 사용하여야 하나, 동력계의 air flowmeter와 연결이 용이치 않아 자체 제작한 부품을 사용함
- 시험시 흡입공기온도는 $25 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 유지함
- 과급공기의 냉각장치 후단의 온도는 제작사에서 명시한 최대 허용온도 52°C 이하로 유지

③ 배기계통

- 실 트랙터에 장착된 후처리장치(DPF)를 사용함
- 후처리장치의 설치 위치는 실 트랙터에 장착한 위치에서 측정이 어려워 임의로 위치를 수정하여 설치하였으며, 배기관 길이가 길어짐에 따라 단열재를 사용하여 배출가스 온도를 보상함
- 배출가스 측정은 DPF 후단에서 측정하였으며, 측정위치는 규제에 준용함

④ PM 측정

- CFR-1065 시험법규에 규정된 여지 및 측정방법에 준하여 시험함

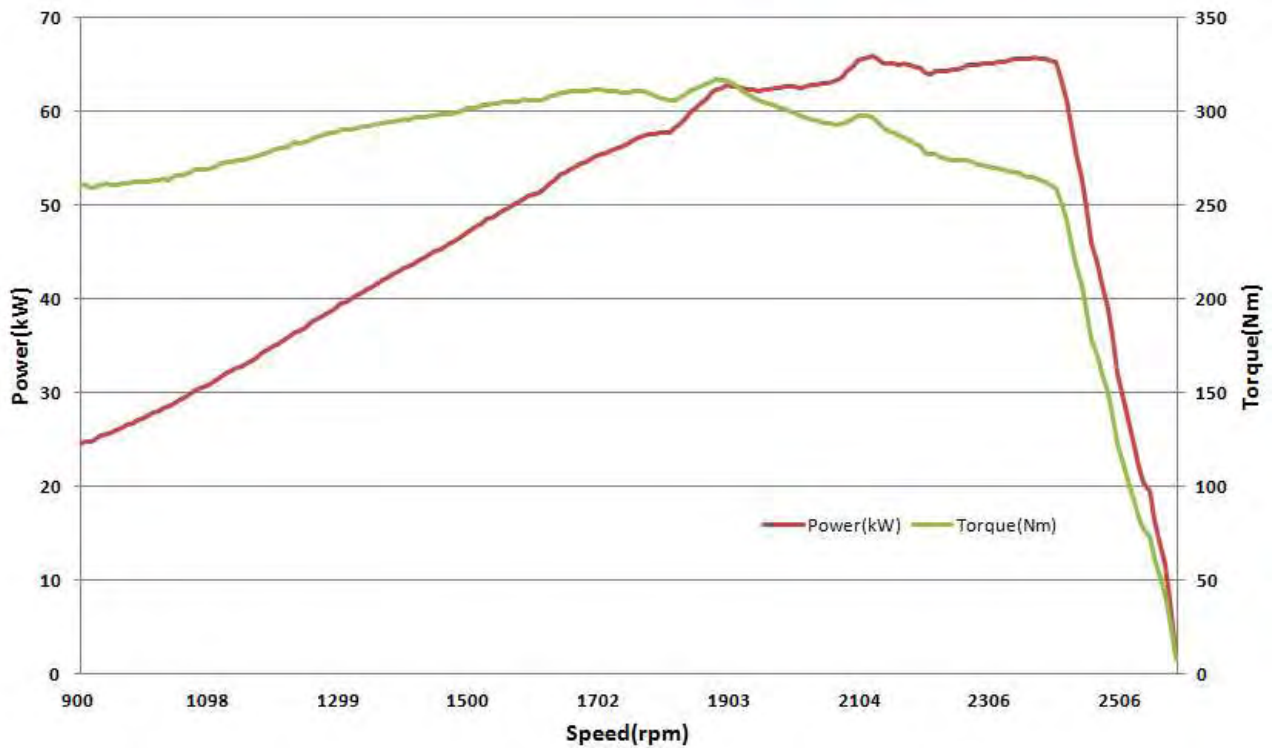
⑤ PM 안정화환경 및 측정실

- CFR-1065 시험법규에 규정된 여지 및 측정방법에 준하여 시험함

(다) 시험 모드 선정

① K42 엔진 Mapping

- 실제 시험엔진을 900rpm에서부터 최대 운전영역인 2600rpm까지 100% 부하조건으로 8 rpm/s 값으로 측정함
- 측정된 출력 및 토크값을 1 Hz로 기록하여 아래 그림과 같은 mapping data를 취득함



<그림 4-56> K42 엔진 Mapping data

② 시험 사이클의 결정

○ 시험최대속도 f_{ntest}

- 전부하실험(mapping)을 출력 대 속도 맵을 통해 최대출력(P_{max})값과 최대출력이 발생하는 엔진속도(f_{nPmax})를 이용하여 결정. 최대출력이 여러점에서 발생할시 그 중 가장 낮은 엔진 회전수를 선정

$$- f_{ntest} = f_i = (f_{nnormi}^2 + P_{normi}^2) \text{의 최대값}$$

f_{nnormi} = 최대 출력이 발생하는 속도(f_{nPmax})값으로 엔진속도를 나눈 값.

P_{normi} = 최대 출력값(P_{max})으로 엔진출력을 나눈 값.

→ 실제 엔진 mapping 시험을 통하여 위 값을 계산함

- 최대 출력 $P_{max} = 65.94 \text{ kW} @ 2,120 \text{ rpm}(f_{nPmax})$

$$f_{ntest} = f_i = (f_{nnormi}^2 + P_{normi}^2) = [(2,394/2,120)^2 + (65.46/65.94)^2]$$

$$= 1.1294^2 + 0.9926^2 = 2.261$$

이때 시험최대속도 $f_{ntest} = 2,394 \text{ rpm}$

(라) 시험결과

① NRTC 시험모드 추종성 검증

- K42 엔진에 대한 NRTC 시험모드 수행 시 요구되는 torque 값의 대한 추종성을 확인이 필요함
- 엔진 mapping 시험에서 취득한 fntest 값을 기준으로 계산된 NRTC 사이클의 % speed 와 % torque로 구성된 NRTC 시험모드에서 CFR-1065 규정 만족여부를 확인함

㉠ 시험결과

- 시험 엔진의 NRTC 시험모드의 추종성 확인을 위하여 예비시험을 수행함
- 규정에 의한 rpm, torque 및 출력 피드백 값들은 시험 종료 후 동력계에서 계산된 값을 통하여 확인함
- 시험결과 P1, P2 모두 torque, 출력의 a0 값이 기준 값 보다 더 높은 것을 확인할 수 있는데, 이는 시험엔진이 요구되는 torque 값을 추종하는데 동력계에서 규정된 값보다 더 높은 motoring 운전을 하여 torque을 초과함을 확인함
- 동력계에서 torque 값을 초과하여 운전한 결과로 출력까지 기준치를 초과함을 확인할수 있었 으며, 결과적으로 NRTC 시험모드에서 요구되는 추종성 기준 값을 만족하지 못하여 시험은 fail 함

<표 4-33> 시험엔진의 추종성 결과 값

Gradient		Offset	
Actual	Lower Lim.	Upper Lim.	Actual
Speed	0.950	1.030	47.50
Torque	0.830	1.030	5.05
Power	0.830	1.030	0.72

Correlation coeff.		Standard deviation	
Actual	Lower Lim.	Actual	Upper Lim.
Speed	0.970	43.20	120 rpm
Torque	0.850	25.23	31.5 Nm
Power	0.910	4.61	6.6 kW

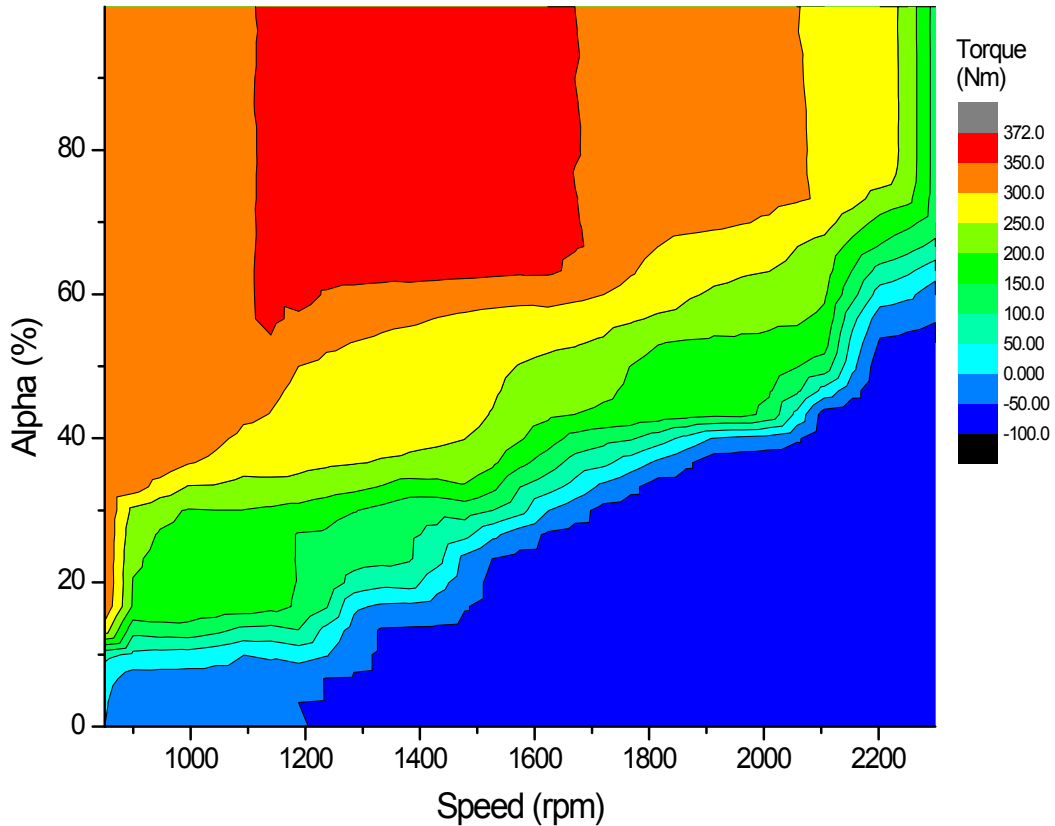
Actual	Lower Lim.	Upper Lim.	Unit
Integrated power	6.82	8.43	[kWh]

㉡ 보완시험

- K42 엔진의 NRTC 시험 수행시 요구되는 torque 값에 대한 추종성 향상을 위하여, 시험엔진 Lookup Table 을 작성함
- 시험 방법은 시험엔진의 전 운전영역에서 측정된 torque 값을 동력계 입력하여 전체 사이클

영역에서 요구되는 torque 값을 추종하는데 응답성을 향상시킴

- 정확한 성능 data를 측정하기 위하여 idle 영역의 950 rpm부터 시험최대속도(fntest)영역의 2600 rpm까지 55rpm 단위, 각 rpm 조건에서 엔진의 부하조건을 무부하(0%)에서 100% 조건 까지 3.33%씩 증가시키면서 rpm / load(%) / torque 값을 취득함
- 위와 같은 시험방법을 거쳐 NRTC 시험모드 수행결과 아래표와 같이 CFR-1065에 규정된 모든 기준 값들을 만족함을 확인



<그림 4-57> K42 엔진의 Torque map 시험 결과

<표 4-34> K42 엔진 보완시험 결과 값

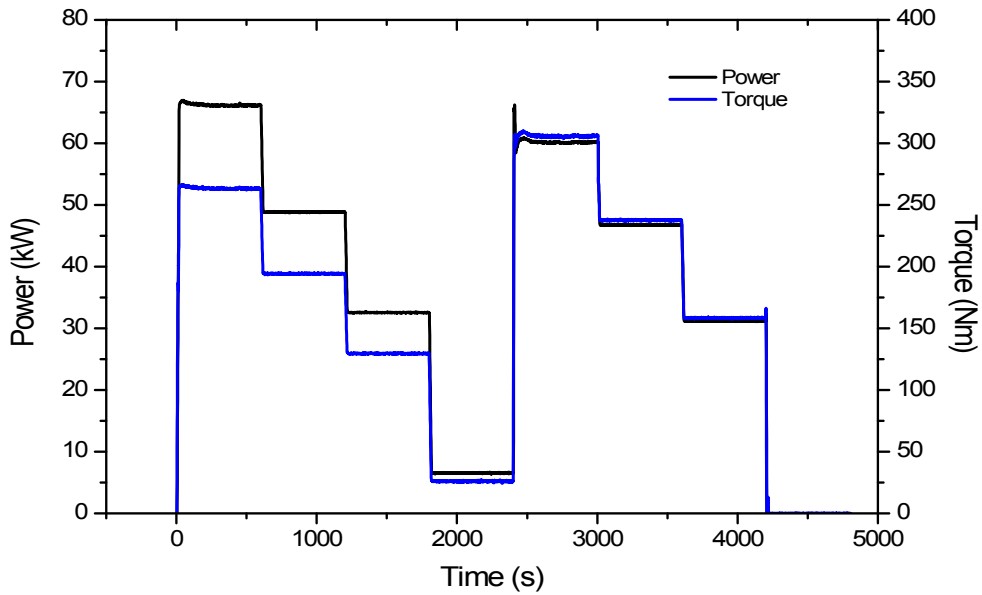
Regression Analysis					
Passed					
Time shift: -0.20 s					
Gradient			Offset		
	Actual	Lower Lim.	Upper Lim.	Actual	Upper Lim. Unit
Speed	0.97	0.950	1.030	47.50	95 rpm
Torque	0.94	0.830	1.030	4.77	6.4 Nm
Power	0.96	0.830	1.030	0.76	1.27 kW
Correlation coeff.			Standard deviation		
	Actual	Lower Lim.		Actual	Upper Lim. Unit
Speed	0.99	0.970		43.20	120 rpm
Torque	0.88	0.850		22.24	31.8 Nm
Power	0.91	0.910		4.44	6.3 kW
Integrated power		Actual	Lower Lim.	Upper Lim. Unit	
		-1.64	6.59	8.14 [kWh]	

Regression Analysis					
Passed					
Time shift: -0.30 s					
Gradient			Offset		
	Actual	Lower Lim.	Upper Lim.	Actual	Upper Lim. Unit
Speed	0.97	0.950	1.030	47.50	95 rpm
Torque	0.93	0.830	1.030	4.77	6.4 Nm
Power	0.95	0.830	1.030	0.76	1.27 kW
Correlation coeff.			Standard deviation		
	Actual	Lower Lim.		Actual	Upper Lim. Unit
Speed	0.99	0.970		40.80	120 rpm
Torque	0.88	0.850		22.24	31.8 Nm
Power	0.91	0.910		4.44	6.3 kW
Integrated power		Actual	Lower Lim.	Upper Lim. Unit	
		-1.61	6.59	8.14 [kWh]	

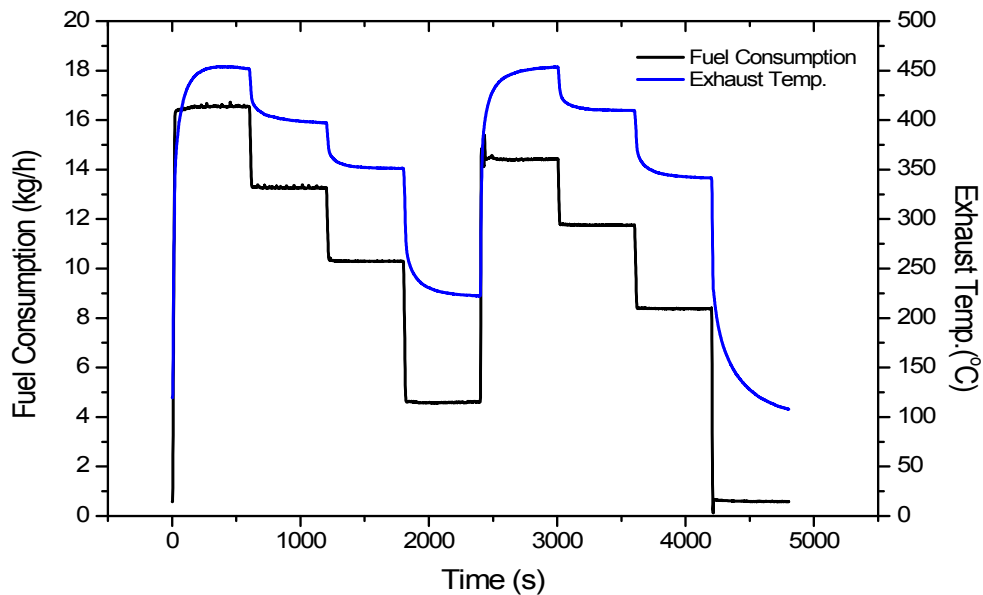
② NRSC 시험결과

㉠ 출력 결과

- K42 엔진의 mapping 시험결과로 계산된 NRSC 시험모드의 최대출력 점 A : 65kW @ 2,200rpm 이며, 최대토크 점 B : 310Nm @ 1,879rpm로 실제 측정된 출력 값과 제작사(MHI 社)의 제공 사양이 상이함을 확인
- 연료 소모율은 최대출력 점에서 약 16.5kg/h, 최대토크 점에서 약 14.4kg/h 소모 되었으며, 엔진 배기온도는 최대출력과 최대토크 점에서 약 453℃로 가장 높게 배출됨



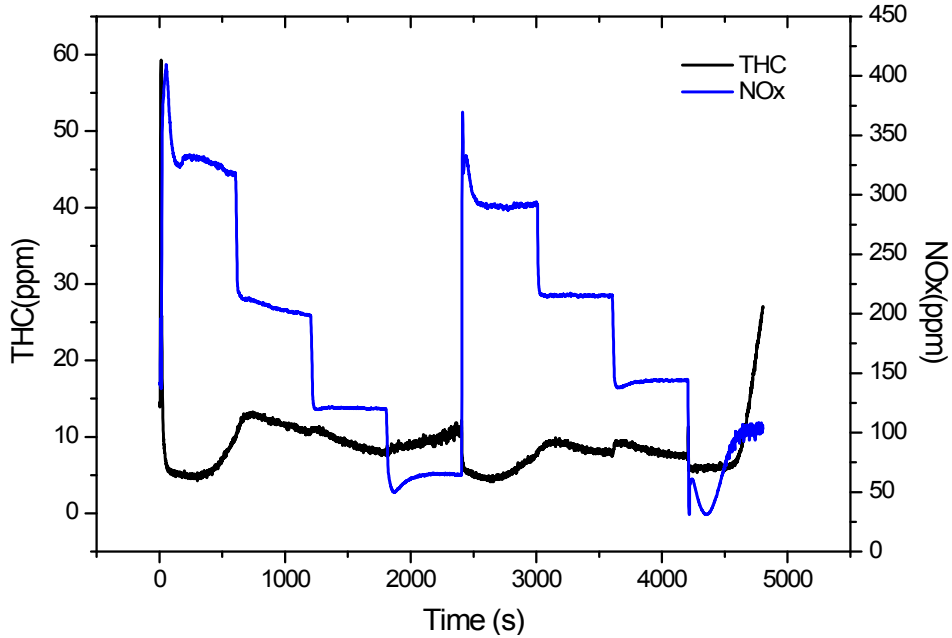
<그림 4-58> K42 출력 및 토크 시험결과



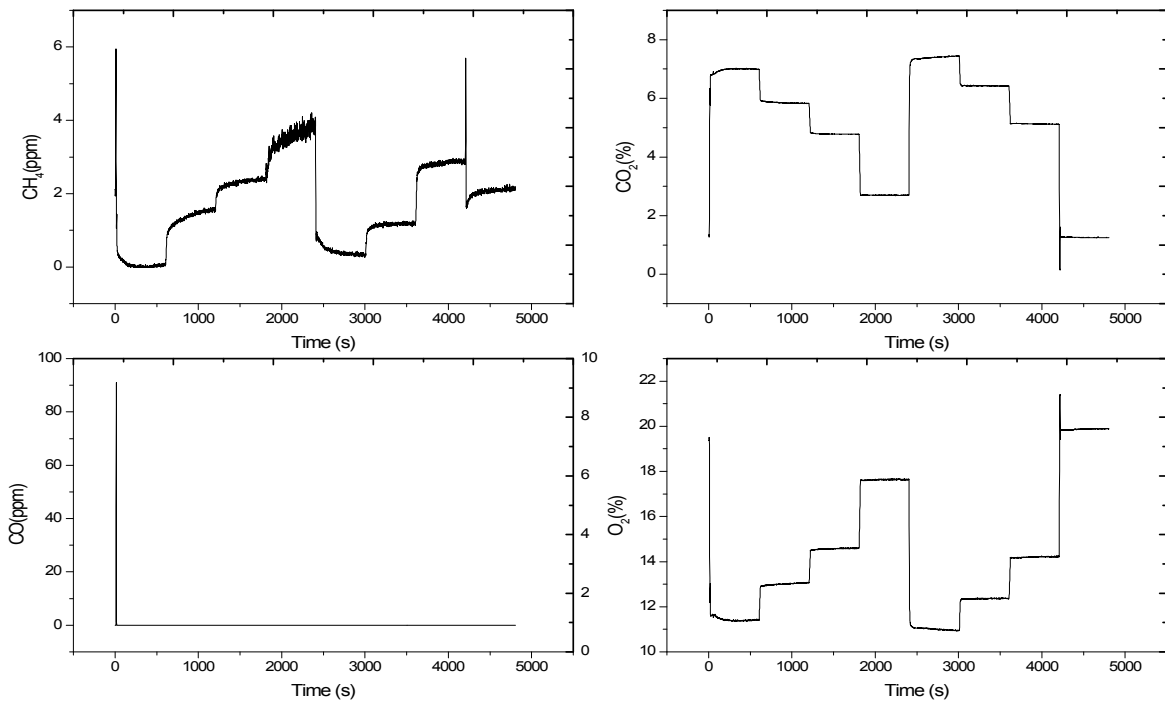
<그림 4-59> K42 연료 소모율 및 배기온도 시험결과

Ⓛ Emission 시험 결과

- NRSC 시험모드 중 THC 및 CO 배출특성은 1 모드 조건으로 진입하는 20초 동안 약 60ppm 수준으로 배출되고, 그 외 전 구간에서는 약 10ppm 미만으로 낮은 수준으로 배출됨
- 이는 K42 엔진에 장착된 DOC 및 DPF가 fresh 상태이며, 1 모드 조건에서 배출가스 온도가 300°C 넘는 고온으로 촉매가 활성화 하는데 유리한 조건으로 THC 및 CO 배출 농도가 낮음을 확인



<그림 4-60> K42 THC 및 NOx 시험결과



<그림 4-61> K42 CH₄ / CO₂ / CO / O₂ 시험결과

㉔ 최종 결과

- 시험결과 시제품 K42엔진의 NOx 배출량은 3.228 g/kWh, PM은 0.014 g/kWh로 엔진출력 56 ≤kW<75 군의 interim. Tier-4 규제수치인 NOx : 3.35 g/kWh와 PM : 0.02 g/kWh 수준을 모두 만족함

<표 4-35> NRSC 시험결과

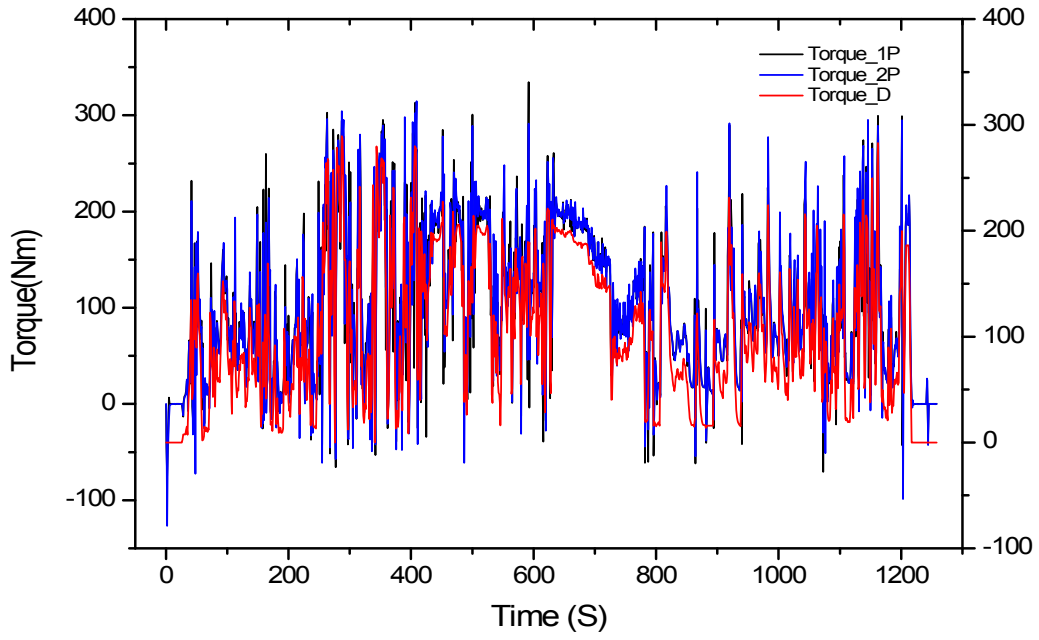
Mode	NOx (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)
Total	3.228	0.037	0	0.014

② NRTC 시험결과

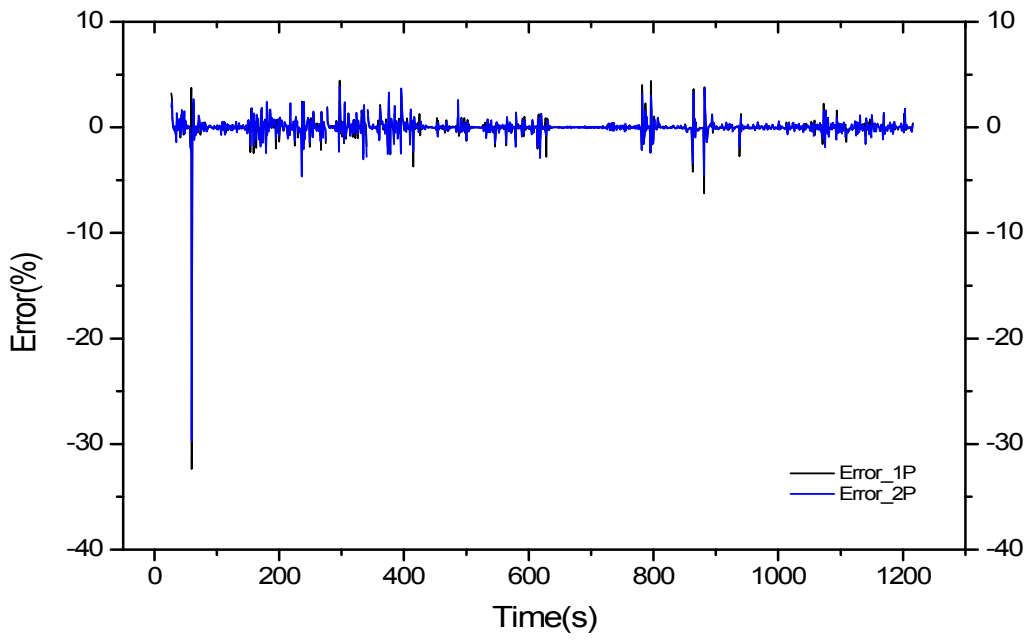
- NRTC 시험모드 수행시 엔진이 cold 상태로 사이클(1 phase)을 수행한 후 20분동안 엔진을 정지하고 2번째 사이클(2 phase)을 수행을 하여야 하나, 시험모드의 torque 추종에 어려움이 있어 엔진의 냉각수 온도를 85℃로 예열한 후 1 phase 시험을 진행함

㉕ Torque 추종 결과

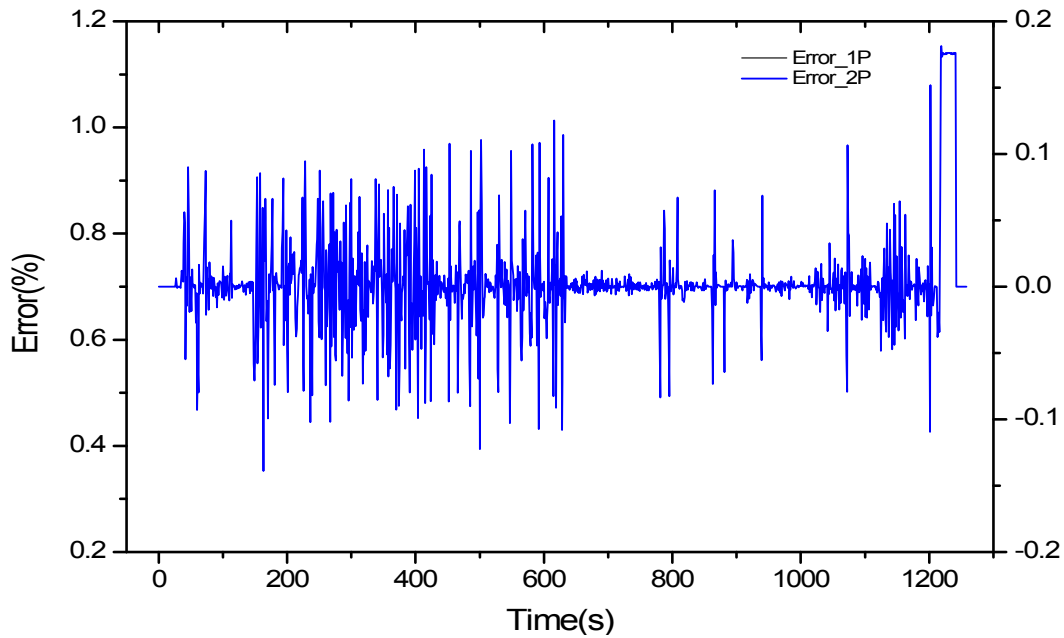
- K42 엔진의 mapping 시험결과로 계산된 torque 값(Torque_D)과 시험 중의 torque 값(Torque_1P/2P)과 오차율(error)을 아래 그림으로 나타냄
- 오차율은 $Error(\%) = \frac{(Torque_D - Torque)}{Torque_D}$ 과 같이 계산함
- 시험모드 중 급격하게 토크가 증가하는 구간에서 1P 및 2P 모두 추종 오차가 가장 크게 나타났으며, 60s 모드 시간대의 무 부하운전 조건에서 급격하게 높은 출력점으로서의 운전조건이 급변하는 점에서 가장 큰 오차율이 나타남
- 시험 결과 최대 편차는 시험모드 60초 영역에서 1 phase는 약 34%, 2 phase는 약 58%로 나타났으며 다른 구간에서는 3% 내외로 양호함을 확인함



<그림4-62> K42 NRTC Torque 추종성 시험결과



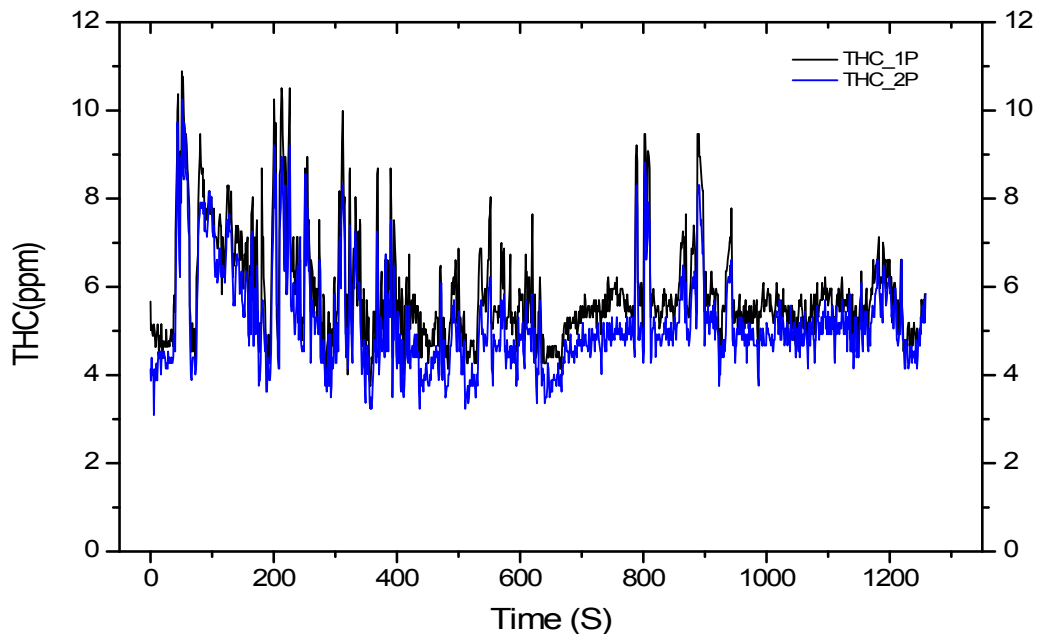
<그림 4-63> K42 NRTC Torque 추종성 오차율 시험결과



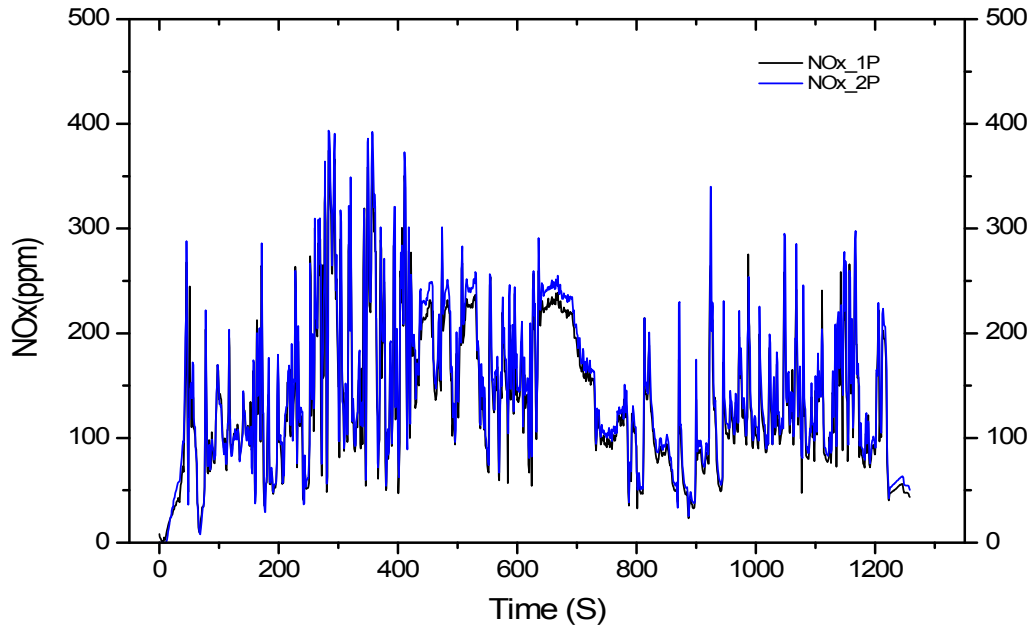
<그림 4-64> K42 NRTC Speed 추종성 오차율 시험결과

⊕ Emission 결과

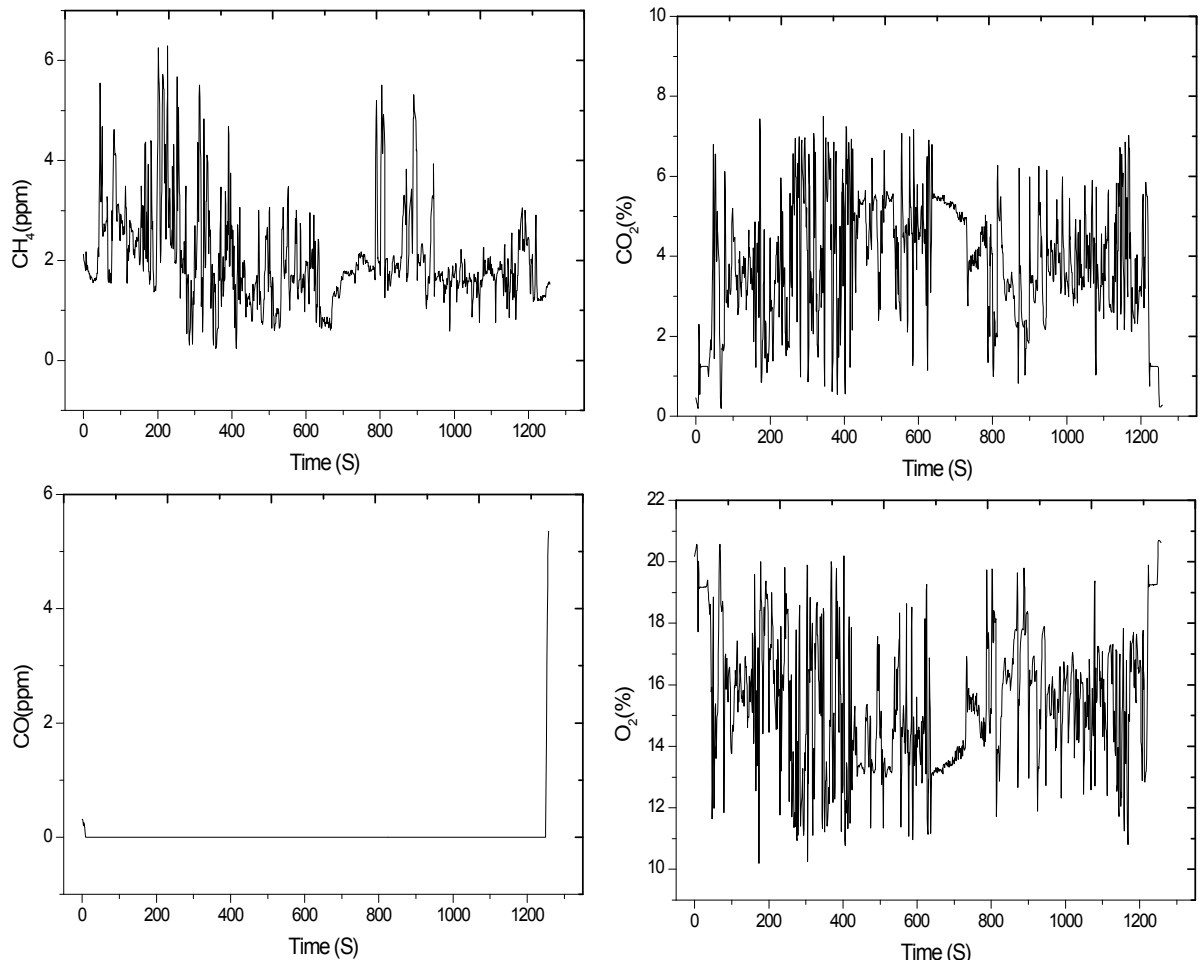
- NRTC 시험모드 중 THC 배출은 10ppm 미만으로 transient 운전조건에도 매우 낮은 수준으로 배출됨을 확인할 수 있었고, hot 운전조건인 2 phase에서 더 낮게 배출되었으며, NOx의 배출은 전 운전영역에서 약 400ppm 미만으로 비교적 낮게 배출되었고, cold 상태인 1P 보다 hot한 2P 운전조건에서 좀 더 높게 배출됨
- CO의 배출은 DOC 및 DPF 후단에서 모두 산화되어 시험조건 중에서 0ppm으로 배출 되었으며, CO/CO₂/CH₄/O₂ 모두 1P와 2P 모두 유사하게 배출됨



<그림4-65> K42 NRTC THC 시험결과



<그림4-66> K42 NRTC NO_x 시험결과



<그림 4-67> K42 CH₄ / CO₂ / CO / O₂ NRTC 시험결과

㉔ 최종 시험 결과

- 시험결과 시제품 K42엔진의 NRTC 시험결과 NOx 배출량은 3.325 g/kWh, PM은 0.00827 g/kWh로 엔진출력 56≤kW<75 군의 interim. Tier-4 규제수치인 NOx : 3.35 g/kWh와 PM : 0.02 g/kWh 수준을 모두 만족함

<표 4-36> NRTC 시험결과

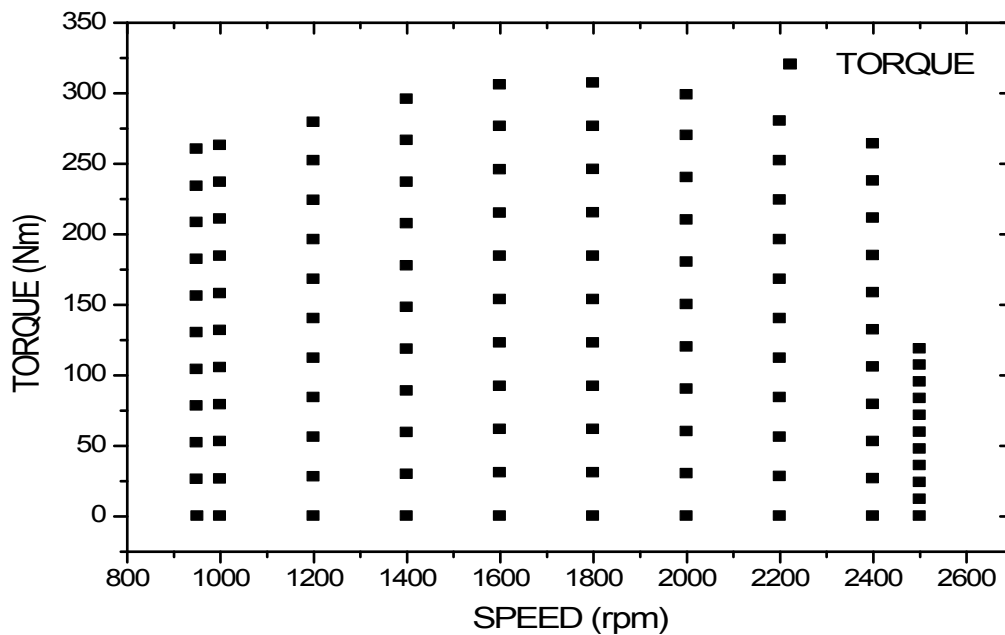
Mode	NOx (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	CO (g/kWh)	PM (g/kWh)
P1	3.162	0.042	0	0.0094
P2	3.333	0.037	0	0.0082
Total	3.325	0.037	0	0.00827

(3) 전 운전영역(Torque map) 시험

- K42 엔진의 기본 성능 및 실차 적용성 검증을 위하여 엔진 전 운전영역 조건에서 시험 엔진의 출력 / 연료소모율 / 배출가스농도 / DPF 시스템의 배압 및 배기온도를 측정하여 시스템의 성능을 분석함

(가) 시험방법

- 각 엔진의 회전속도별 최대 토크 값을 전 부하시험 결과로 출력된 값을 100%로 시험을 진행함
- 엔진의 회전속도는 아이들 조건인 950rpm부터 2,500rpm까지 총 10 점의 엔진회전속도로 나눠 시험하였으며, 각 운전영역별 최대토크 값의 0~100%까지 총 11 점의 부하조건으로 나눠 시험함
- 또한, 각 운전조건별 유지시간은 총 10분으로 9분 안정화 후 마지막 1분 동안 측정한 값들의 평균을 구하여 분석함



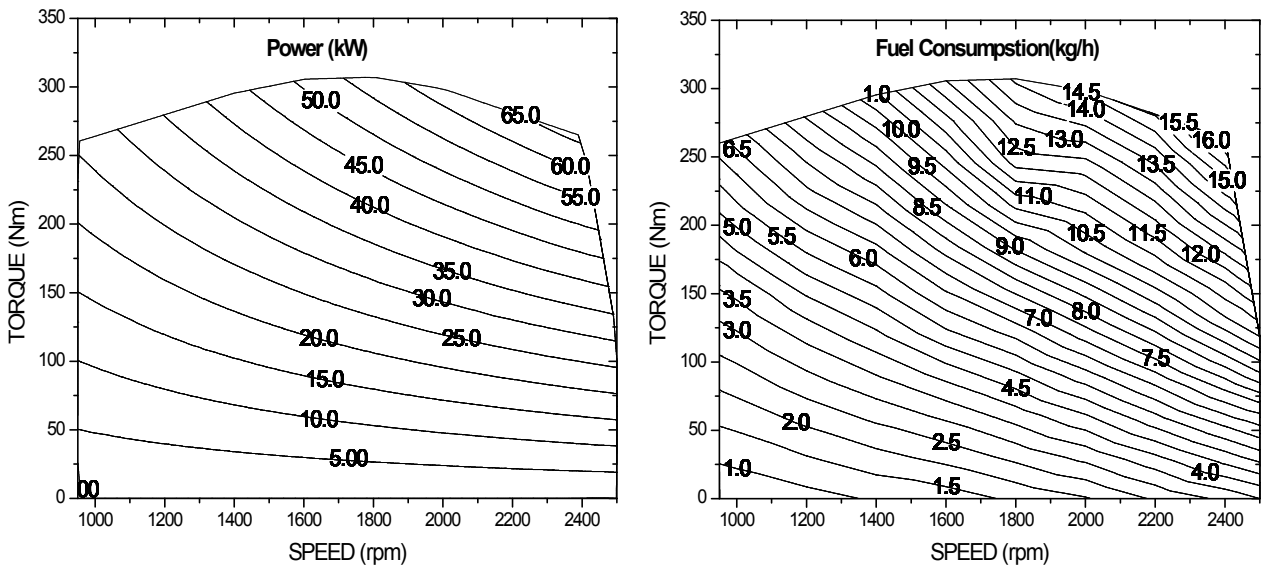
<그림 4-68> Torque map 시험조건

(나) 시험결과

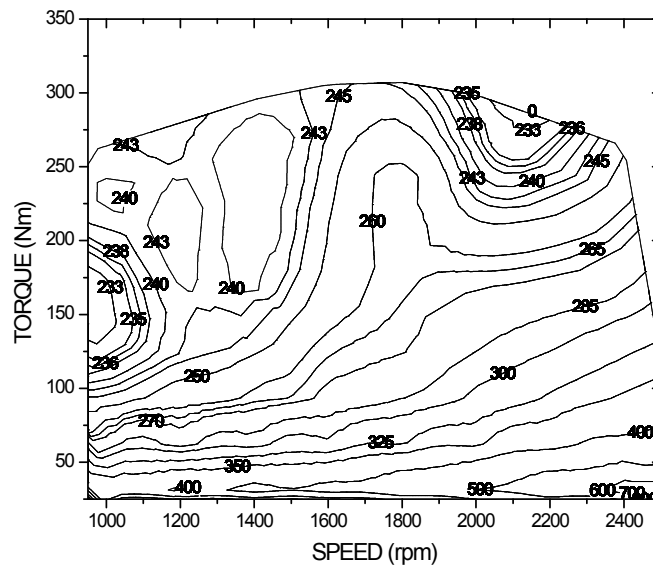
- K42 엔진의 Torque map 시험조건에서 출력 / 배출가스농도 및 배기조건에 대한 결과는 아래와 같다

① 출력

- Off-road 엔진 특성으로 엔진 전 운전영역에서 높은 토크 특성을 나타냈으며, 정격출력은 66.4kW @ 2400rpm이며, 최대 토크는 307Nm @ 1,800rpm에서 발생함
- BSFC(Break Specific Fuel Consumption) 시험결과는 2,200rpm의 100% 부하조건에서 약 232g/kWh로 단위출력 당 연료소모율이 가장 낮았으며, 최대출력 점에서는 249.7g/kWh / 최대 토크 점에서는 244g/kWh로 최대토크나 출력점에서 연료 소모율이 더 높음



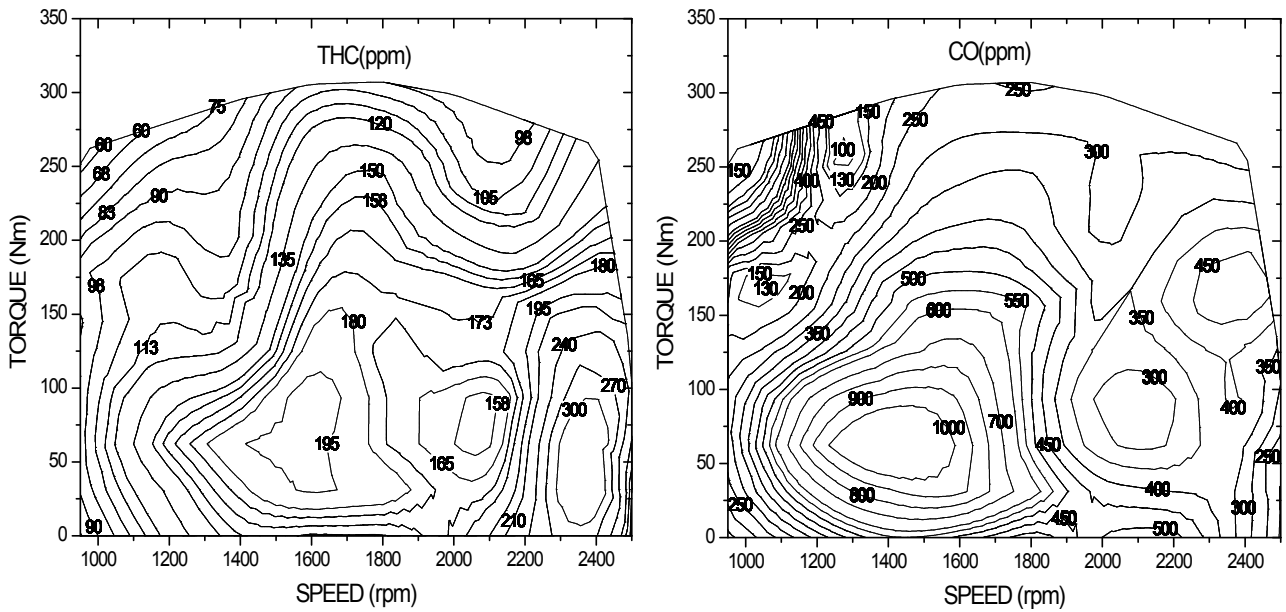
<그림 4-69> K42 출력 및 연료소모율 시험결과



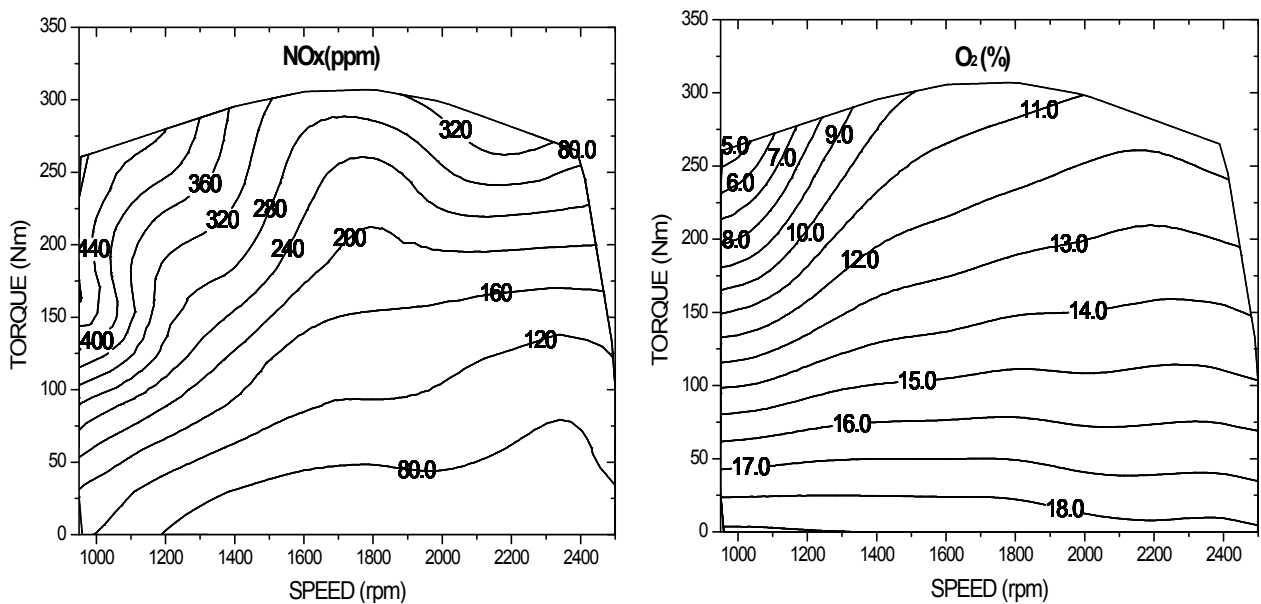
<그림 4-70> K42 BSFC 시험결과

② 배출가스

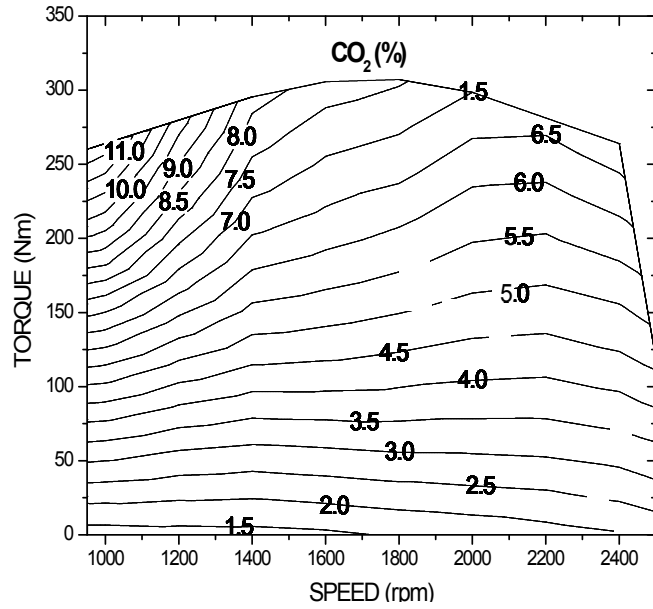
- K42 엔진 THC 배출특성은 전 운전 영역에서 약 200ppm으로 낮았으며 2,00rpm 이상의 고속 운전의 저부하 조건에서 최대 300ppm 수준으로 배출되었으며, DOC 및 DPF 후단에서는 90% 이상 산화됨
- CO 배출특성은 1,200~1,400rpm 운전조건의 저 부하영역에서 높게 배출되었고, 고속 및 고부하 조건에서는 500ppm 미만으로 배출되었으며 DOC 및 DPF에 의해 모두 산화되어 촉매 활성화 온도 이상의 조건에서는 0ppm 배출됨
- NOx 배출특성은 엔진 전 운전 영역에서 EGR을 동작시켜 저속 고부하 조건에서 약 400ppm 수준으로 높게 배출됨



<그림 4-71> K42 THC 및 CO 시험결과



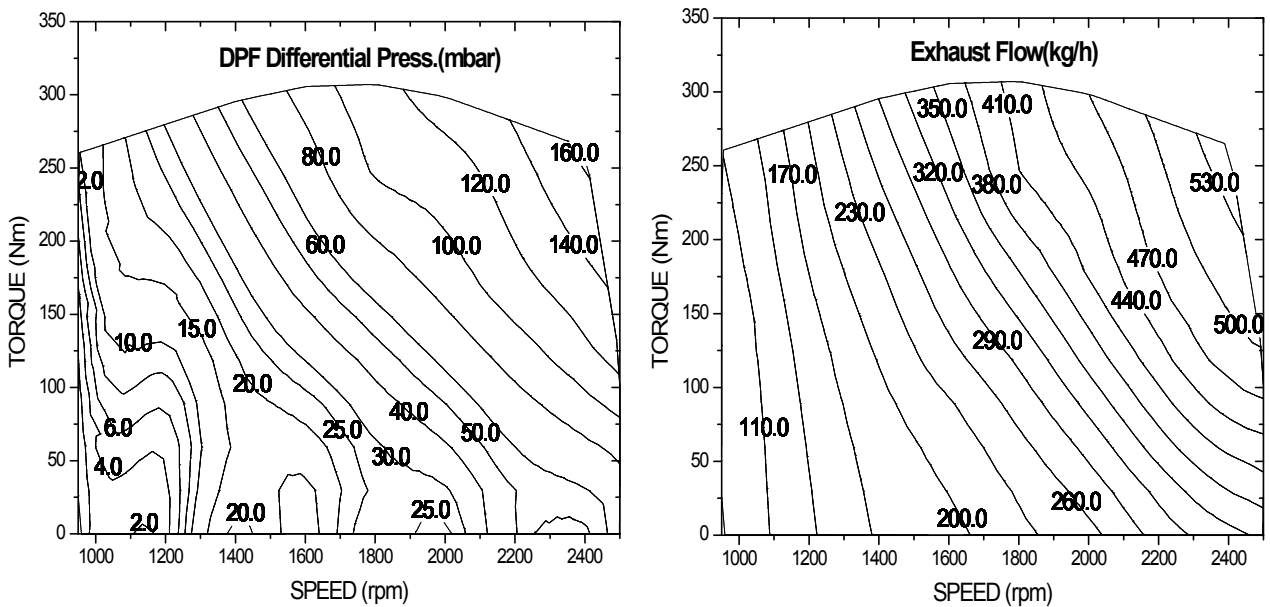
<그림 4-72> K42 NOx 및 O₂ 시험결과



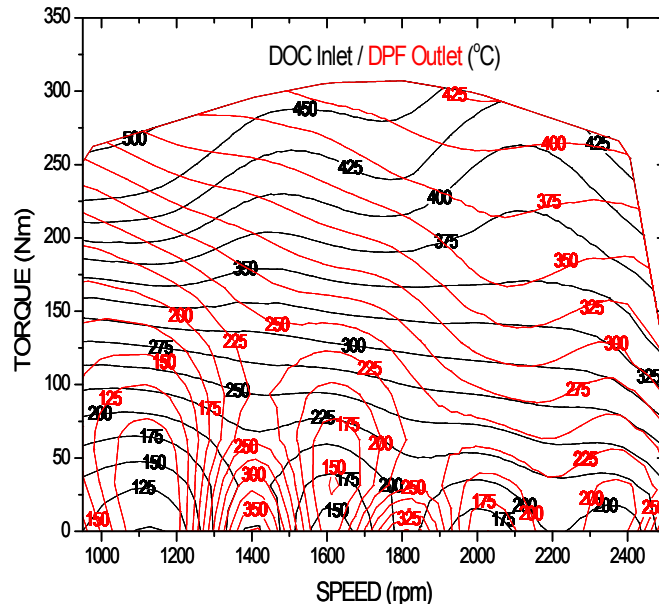
<그림 4-73> K42 CO₂ 시험결과

③ 배기조건

- 시험엔진의 DPF 차압 및 배기유량은 각 운전영역에서 부하가 증가함에 따라 증가함
- 위에서 언급하였듯 전 운전영역에서 EGR 동작에 따라 배기유량은 rpm 및 부하증가에 비례하여 배기유량이 증가함
- K42 엔진의 배기온도 조건은 고속영역으로 갈수록 DOC 입구 및 후단의 온도차이가 작아졌으며, DPF의 자연재생 온도조건을 300°C로 가정할 때 최대 토크 운전영역 이상에서 175Nm 이상의 조건에서 자연재생이 이루어질 것으로 예상됨
- 최대 토크 점에서의 DOC 입구 및 DPF 후단의 온도는 466°C / 420°C이며, 최대 출력점에서 442°C / 405°C로 최대 토크 점의 배출가스 온도가 더 높으며, PM을 재생시키기 충분한 온도임



<그림 4-74> K42 DPF 차압 및 배기유량 시험결과



<그림 4-75> K42 DOC 및 DPF 배기온도 시험결과

(다) 최종결과

- K42 엔진의 전 운전영역 시험결과 토크의 특성은 off-road용 엔진 특성에 맞게 전 저속에서도 높은 토크 특성을 나타냄
- BSFC 시험결과 최대 출력 및 최대 토크 점이 아닌 2,200rpm의 100% 부하조건에서 약 232g/kWh로 가장 낮았음
- 배출가스의 경우 DOC 및 DPF 활성화 온도 이후의 CO 및 THC 배출은 매우 낮았으며, 전 운전영역에서 EGR 작동을 통하여 NOx 배출 또한 낮음
- DPF의 자연재생을 위한 배기온도 조건은 각 rpm별 최소 175Nm 이상으로 운전되어야 하며, 최대출력 및 최대 토크 점에서 PM 재생을 위한 온도 조건을 만족함

5. 탑재 상태 동특성 평가

가. 다축 진동 특성 평가

(1) 시제품의 다축진동시험

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 커먼레일 엔진인 MHI社의 K42엔진이 탑재되어 제작된 대동 DX 100트랙터로 삼축(x,y,z) 진동시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 진동특성을 평가하기 위한 시험으로써 운전석, 핸들, 발판에 대하여 정지상태에서 각 무 부하 엔진회전수별 진동량을 측정, 평가하기 위한 시험 방법이다.
- 본 연구에서는 시제품 트랙터 진동 수준을 측정하고, 동급의 VE펌프형 엔진이 탑재된 LS트랙터와의 비교분석을 실시하여, 시제품 트랙터의 진동수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 계측장비 구성

㉠ 시험장치

- 본 실험에 사용된 진동 계측 장치로는 센서신호보상기, 레코더, 가속도계, 노트북으로 구성됨.
- 진동 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-37>와 <그림 4-76>에 나타내었다.

<표 4-37> 진동 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
진동계측 시스템	1) 센서신호보상기: SENSOR SIGNAL CONDITIONER 2) 레코더: SCADAS SCR05 3) 가속도계: ACCELEROMETER(3축, 100mv/G) 4) 노트북: 디스플레이 및 분석(S/W: LMS TEST LAB9)	PCB社(미국) LMS社(벨기에) BRUEL&KJAER社(덴마크) LMS社(벨기에)



<센서신호보상기>



<레코더>



<가속도계>



<노트북 및 S/W>

<그림 4-76> 진동측정시스템

㉔ 시험방법

○ 3축 가속도계의 설치

- 운전석 : 3축 가속도계를 운전석 밑부분 철판에 아래에서 윗방향으로 설치한다.
- 핸들 : 핸들 중심의 캡을 제거한 후, 휠 조립용 볼트 위에 마운트를 부착하고, 3축 가속도계를 설치한다.
- 발판 : 트랙터 좌우 중심선에서 좌우로 각각 250mm 떨어지고, 전후 방향으로는 SRP에서 730mm 전방지점에 가속도계를 설치한다.
- 후처리장치(머풀러) : 후처리장치(머풀러) 밑 마운팅 브라켓에 마운트를 설치하고, 3축 가속도계를 설치한다.

○ 엔진 회전속도 센서의 설치

- 엔진 크랭크축의 회전 속도를 측정 할 수 있는 계측시스템을 설치한다.(광 센서등)

○ 3축 가속도계 및 엔진 회전속도 센서의 설치 위치를 <그림 4-77>에 나타내었다.



<운전석>



<핸들>



<발판(좌)>



<발판(우)>



<후처리 장치>



<엔진회전속도센서>

<그림 4-77> 진동측정위치

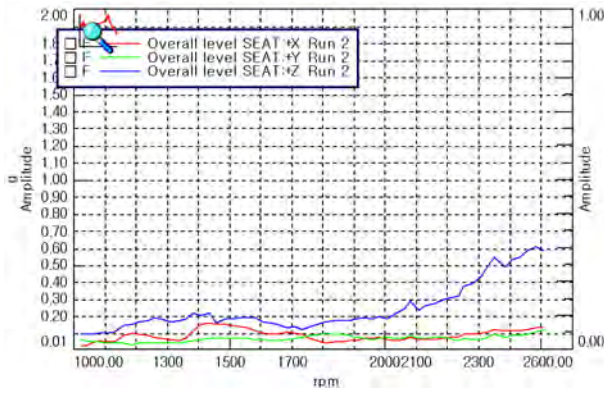
- 엔진회전수별 3축 가속도 측정 순서
- 3축 가속도계의 설치
- 엔진 회전 속도 계측 센서의 설치

- 가속도 측정 프로그램의 구동
- 가속도 측정 프로그램 상의 각종 조건 설정
- 저속 엔진 회전수부터 고속회전수까지 일정한 변화율로 속도를 변화시키며, 가속도 측정
- 측정된 가속도 값의 사후 분석 과정 진행
- 분석된 데이터로부터 가장 가속도 값이 큰 속도 구간과 그때의 가속도 값 추출

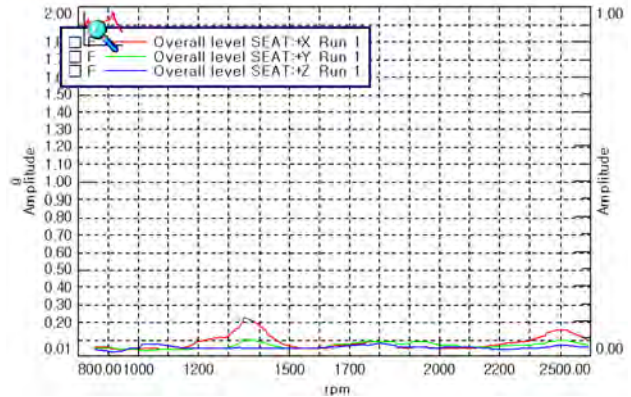
(다) 시험평가 결과

① 시제품트랙터 다축진동시험 결과(동급 LS P모델 트랙터(85PS)와 비교분석)

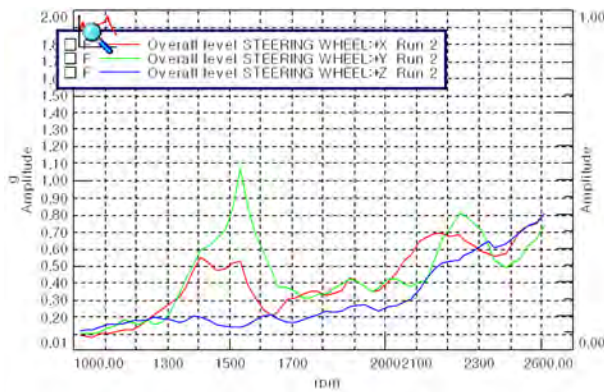
- 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 다축진동시험 결과 및 동급 LS엠트론 P모델 트랙터(85PS, VE펌프형 엔진) 다축진동시험 결과 비교 그래프를 <그림 4-78>에 나타내었다.



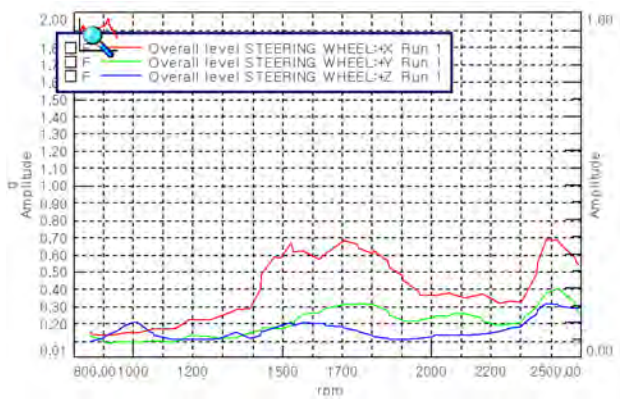
<운전석-시제품>



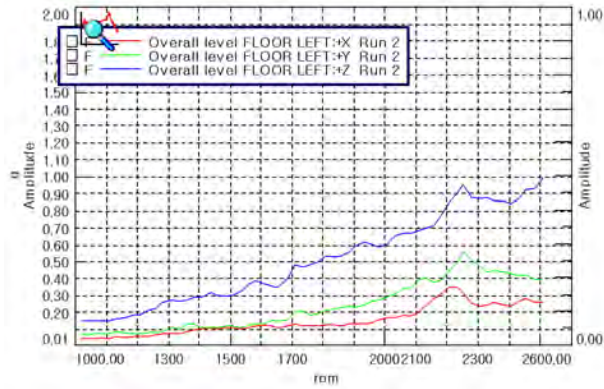
<운전석-LS트랙터>



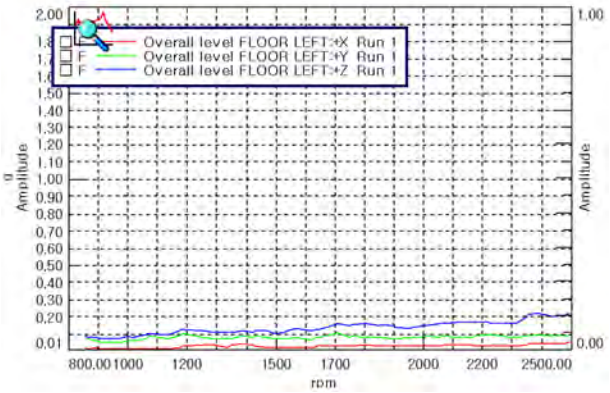
<핸들-시제품>



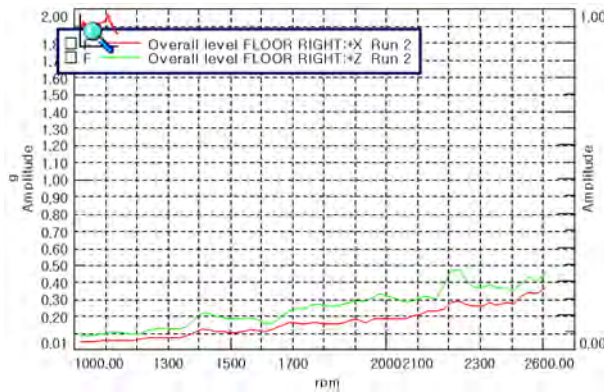
<핸들-LS트랙터>



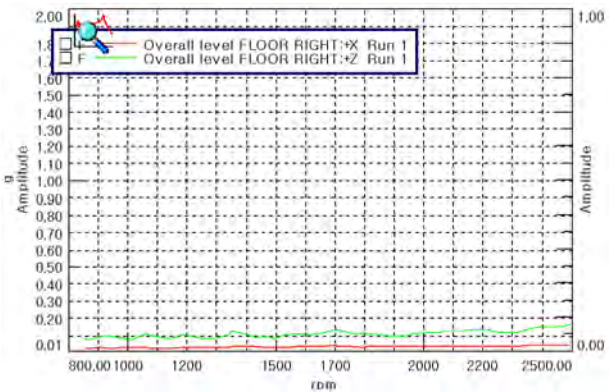
<발판(좌)-시제품>



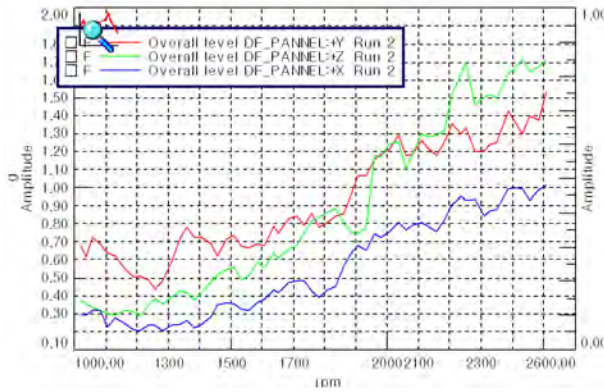
<발판(좌)-LS트랙터>



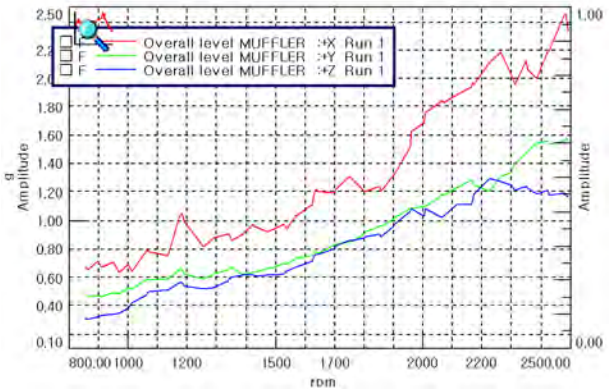
<발판(우)-시제품>



<발판(우)-LS트랙터>



<후처리 장치-시제품>



<머플러 장치-LS트랙터>

<그림 4-78> 공시트랙터와 동급 LS 트랙터와의 다축 진동 시험 결과 비교

○ <그림 4-78>의 운전석 x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 x, y축 방향의 진동 수준은 엔진회전수에 관계없이 최대 0.17G 및 0.12G의 낮은 수준을 나타내었으나, z축 방향의 진동 수준은 엔진회전수가 증가할수록 선형으로 증가하여, 최대회전수인 2600rpm에서는 최대 0.62G로 증가하였다. 이에 비해 LS엠트론 동급 트랙터의

x, y, z축 방향 진동 수준은 최대 0.23G(z방향)이하의 낮은 수준을 나타내었으며, 전반적으로 시제품 트랙터 및 LS 동급 트랙터 둘 다 z(상.하)방향 진동수준이 높았으며, 그중에서도 시제품트랙터의 최고 진동 수준인 z방향 진동치 0.62G는 LS 운전석 진동시험기준(0.5G)에 미달되었다.

- <그림 4-78>의 핸들 x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 x, y축 방향의 진동 수준이 저속인 1500rpm 전.후 구간에서 일시적으로 높은 수준(1.08G, y방향)을 나타내었으며, 전반적으로 엔진회전수가 증가할수록 선형으로 증가하였다. 이에 비해 LS엠티론 동급 트랙터의 경우 1700rpm 전.후 구간에서 x축 방향 진동 수준이 일시적으로 증가하는 것을 제외하고, 전반적으로 일정한 수준을 나타내었으며, 무부하 최대회전수인 2500rpm 에서 x축 방향으로 최대 0.7G 수준을 나타내었다. 시제품트랙터 및 LS 동급 트랙터 모두 LS 핸들 진동시험기준(2.0G)에 적합하였다.
- <그림 4-78>의 발판 좌.우의 x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 발판 좌.우 둘다 x, y, z축 방향의 진동 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 특히 발판 좌측이 우측보다 진동 수준(최대 1.0G)이 높은 것으로 나타내었다. 이에 비해 LS엠티론 동급 트랙터 경우의 x, y, z축 방향 진동 수준은 최대 0.22G(z방향)이하의 낮은 수준을 나타내었으며, 전반적으로 시제품 트랙터의 좌측 발판이 x, y, z축 방향 진동 수준이 높게 나타내었으며, LS 동급 트랙터 경우 좌,우측 발판 둘다 낮은 진동수준을 나타내었다. 시제품트랙터 및 LS 동급트랙터 모두 LS 진동시험기준(1.0G)에 적합하였다.
- <그림 4-78>의 후처리장치(머플러) x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 x, y, z축 방향의 진동 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 특히 최대회전수인 2600rpm에서 최대 1.52G로 증가하였다. 전반적으로 시제품 트랙터 및 LS 동급 트랙터 둘다 x, y, z축 방향 의 진동 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 기존 머플러 방식의 LS엠티론 동급 트랙터의 경우 무부하 최대회전수인 2600rpm 에서 x축 방향(전.후)으로 최대 2.55G 수준을 나타내었다. 시제품트랙터의 후처리장치(DPF) 진동수준은 MHI社 제시 진동시험기준(10G)에 적합하였다.
- 결론적으로 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 다축 진동 수준은 전반적으로 동급 LS엠티론 P모델 트랙터(85PS, VE펌프형 엔진) 대비 높은 수준을 나타내었다.
- 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 및 동급 LS엠티론 P모델 트랙터(85PS, VE펌프형 엔진)의 다축 진동 시험 결과 그래프 상 각 시험항목에서의 최대가속도 값과 그때의 엔진회전수를 추출한 결과 값을 <표 4-38>에 비교해 나타내었다.

<표 4-38> 공시트랙터와 동급 LS 트랙터와의 다축 진동 시험 결과 분석표 -대동시험데이터

시험항목	LS시험기준 (G)	공시트랙터 (대동 DX100)	LS 트랙터 (PLUS 85)	비 고
운전석(X, 전.후방향)	0.5G 이내	0.17/1430rpm	0.16/2500rpm	
운전석(Y, 좌.우방향)		0.12/2600rpm	0.11/1800rpm	
운전석(Z, 상.하방향)		0.62/2600rpm	0.23/1460rpm	
핸들(X, 전.후방향)	2.0G 이내	0.80/2600rpm	0.72/2490rpm	
핸들(Y, 좌.우방향)		1.08/1530rpm	0.40/2510rpm	
핸들(Z, 상.하방향)		0.80/2600rpm	0.32/2490rpm	
발판(좌, X, 전.후방향)	1.0G 이내	0.35/2110rpm	0.05/1400rpm	
발판(좌, Y, 좌.우방향)		0.56/2260rpm	0.12/1710rpm	
발판(좌, Z, 상.하방향)		0.98/2600rpm	0.22/2480rpm	
발판(우, X, 전.후방향)	1.0G 이내	0.48/2220rpm	0.005/2500rpm	
발판(우, Y, 좌.우방향)		0.00/2220rpm	0.00/2500rpm	
발판(우, Z, 상.하방향)		0.29/2220rpm	0.15/2500rpm	
후처리장치(X, 전.후방향)	10G 이내 (MHI社 기준)	1.52/2600rpm	2.55/2600rpm	LS트랙터는 후처리장치 대신에 배기소음기를 측정함.
후처리장치(Y, 좌.우방향)		1.70/2600rpm	1.58/2600rpm	
후처리장치(Z, 상.하방향)		1.00/2600rpm	1.25/2220rpm	

나. 실차조건에서의 소음 특성 평가

(1) 시제품의 정지/주행 소음 평가 시험

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 커먼레일 엔진인 MHI社의 K42엔진이 탑재되어 제작된 대동 DX 100트랙터로 정지/주행 소음 평가시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 운전석 소음 특성을 평가하기 위한 시험으로써 운전자 지각 소음 및 외부 소음을 측정, 평가하기 위한 시험 방법이다.
- 본 연구에서는 시제품 트랙터 정지/주행 소음 수준을 측정하고, 동급의 VE 펌프형 엔진이 탑재된 LS트랙터와의 비교분석을 실시하여, 시제품 트랙터의 소음수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 계측장비 구성

- 본 실험에 사용된 소음 계측 장치로는 마이크로폰, 레코더, 노트북으로 구성됨.
- 소음 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-39>와 <그림 4-79>에 나타내었다.

<표 4-39> 소음 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
소음계측 시스템	1) 마이크로폰: 46AE (52mv/pa)시리얼 2) 레코더: SCADAS SCR05 3) 노트북: 디스플레이 및 분석(S/W: LMS TEST LAB9)	G.R.A.S社(미국) LMS社(벨기에) LMS社(벨기에)



<마이크로폰>



<레코더>



<노트북 및 S/W>

<그림 4-79> 소음측정시스템

② 시험방법

○ 운전자 지각 소음

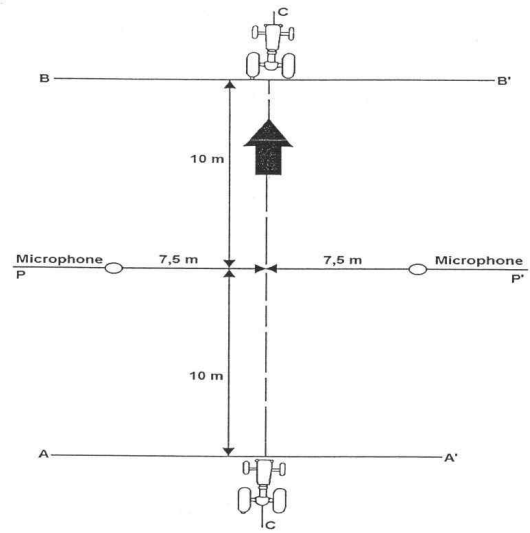
- <그림 4-80>와 같이 운전석 귀위치(좌.우)에 소음 측정 센서 설치 (Frame을 이용하여 센서 고정).
- 저속 엔진 회전수부터 고속회전수까지 일정한 변화율로 속도를 변화시키며, 소음 측정

○ 외부 소음

- 측정 위치 : <그림 4-80>와 같이 트랙터가 주행하는 주행 선에서 7.5m 떨어진 좌, 우 위치에 센서를 설치한다.
- 주행 속도 : 최대속도의 3/4로 설정.
- 측정 구간 이전에 충분히 가속하여 측정구역으로 진입 하도록 함



<운전자 지각소음 측정위치>



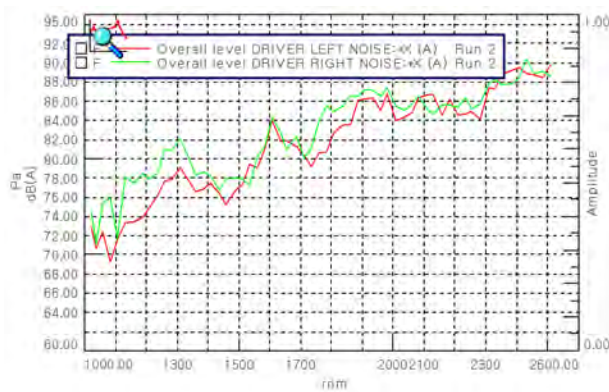
<외부소음 측정위치>

<그림 4-80> 소음측정위치

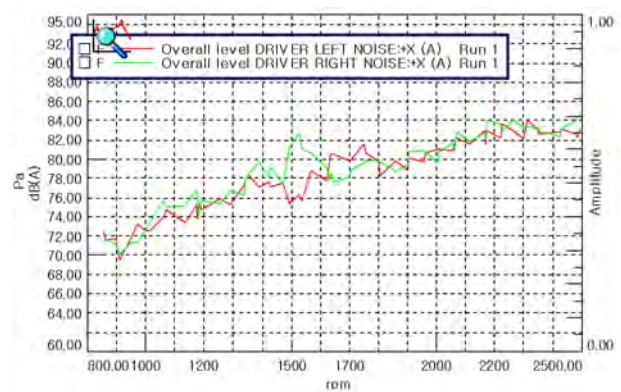
(다) 시험평가 결과

① 시제품트랙터 소음시험 결과(동급 LS P 모델트랙터(85PS)와 비교분석)

○ 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 및 동급 LS엠트론 P모델 트랙터(85PS, VE펌프형 엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 비교 그래프를 <그림 4-81>에 나타내었다.



<운전자 지각소음-시제품>



<운전자 지각소음-LS트랙터>

<그림 4-81> 공시트랙터와 동급 LS 트랙터와의 운전자 지각 소음시험 결과 비교-대동시험데이터

○ <그림 4-81>의 운전자 좌.우 방향 소음 수준을 분석하면, 전반적으로 시제품 트랙터 및 LS

동급 트랙터 모두 소음수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 그중에서도 시제품트랙터의 최고 소음 수준이 90dB로 LS 운전석 소음시험기준(86dB)에 미달되었다.

- 공시트랙터(99PS, 커먼레일형 엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 및 동급 LS엠틀론 P모델 트랙터(85PS, VE펌프형 엔진) 외부 소음 시험 결과 비교표를 <표 4-41>에 나타내었다.
- <표 4-40>의 외부 소음 수준을 분석하면, 전반적으로 시제품 트랙터가 LS 동급 트랙터 대비 높은 소음 수준을 나타냈으나, 시제품트랙터 및 LS 동급 트랙터 모두 LS 운전석 소음시험기준에 적합하였다.

<표 4-40> 공시트랙터와 동급 LS 트랙터와의 외부 소음 시험 결과 분석표 - 대동데이터

시험항목	공시트랙터 (대동 DX100)		LS 트랙터 (PLUS 85)		비 고
	좌	우	좌	우	
주변소음(dB)	32.1		45.8dB		
정차소음(dB)	좌	우	좌	우	
	84.5	83.7	83.3	83.2	
	84.8	83.8	83.2	83.3	
	84.6	84	83.4	83.3	
정차소음기준(dB)	86				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	
주행소음(dB) (7.25km/hr)	좌	우	좌	우	
	85.3	84.4	82.7	83.7	
	85.5	84.6	82.8	84.0	
	85.5	84.4	82.9	84.2	
정차소음기준(dB)	89				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	
최고속도(dB) (Max Speed)	좌	우	좌	우	
	86.9	86.4	80.2	82.9	
	87	86.5	81.5	83.6	
	87.1	86.5	82.2	85.0	
정차소음기준(dB)	89				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	

6. 실차 성능 평가

가. 최종시스템의 기본 성능 평가

(1) PTO 출력 성능 시험 평가

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4 트랙터로 시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 PTO (Power Take Off) 및 동력 전달 계통의 기어 등의 전달에 의한 PTO 출력 성능 확인하기 위하여, PTO 출력 성능 시험 수행이 요구됨.
- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터의 전부하 PTO 출력과 연료소모량을 측정하고, 2차년도 과제 수행 시 시험한 대동 DX 100트랙터(MHI社, K42엔진탑재)의 비교분석을 실시하여, 최종 시제품 트랙터의 기본성능수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 공시기종 및 계측장비 구성

- 공시트랙터는 75 kW(TG110-Tier-4, Daedong, Korea)로 4기통 디젤엔진을 탑재하고, 작업단수는 전진 12단, 후진 12단, PTO 단수는 3단(540 rpm, 750 rpm, 1,000 rpm)을 채택하고 있다.
- 공시트랙터의 외관 및 제원을 <그림 4-82>과 <표 4-41>에 나타내었다.



<그림 4-82> 공시트랙터의 외관

<표 4-41> 공시트랙터의 제원

구 분		제 원
모델명		DAEDONG TG110
엔진부	출력 (PS/rpm)(kw)	100PS/2200(75)
	배기량 (cc)	3400-TURBO
	연료탱크용량 (L)	125
주행부	조향장치	전유압식
	변속단수	F16-R16
	진진 주행속도 (km/h)	0.24-34.52
	후진 주행속도 (km/h)	0.22-30.73
	전륜 타이어 (inch)	12.4-24
	후륜 타이어 (inch)	18.4-34
3점부	PTO 형식	독립 / 속도비례
	PTO 회전수 (rpm)	540/750/1000
	승강장치 제어종류	위치 / 견인 / 수평
	유압인출구	8

② 시험장치

- 본 실험에 사용된 운전 계측 장치로는 전기 동력계를 이용하여 토크, 회전속도, 출력, 연비 등 트랙터 PTO 성능을 측정하기 위한 PTO 동력계 및 운전을 위한 컨트롤러, 데이터 취득을 위한 PTO 다이내모 DAQ 시스템으로 구성됨.
- 운전 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-42>와 <그림 4-83>에 나타내었다.

<표 4-42> 운전 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
PTO 동력계	1) 동력계본체: DC 130kW/3000rpm 2) 동력계컨트롤러 및 데이터취득장치: PTO 다이내모 컨트롤러/DAQ	SCHENCK(독일) SensorEye(한국)



<동력계 컨트롤러>



<데이터 취득장치>



<동력계 및 트랙터 시험 전경>

<그림 4-83> PTO 동력계상 운전 장치

③ 시험방법

○ PTO 성능시험은 전부하 시험을 실시하였다. 전부하 시험은 조속기 레버를 정격엔진회전속수인 2200rpm으로 설정한 후 부하를 가하면서 엔진 회전수를 100rpm단위로 낮추어가면서 연료소모량, PTO 토크 등을 측정하는 방법이다.

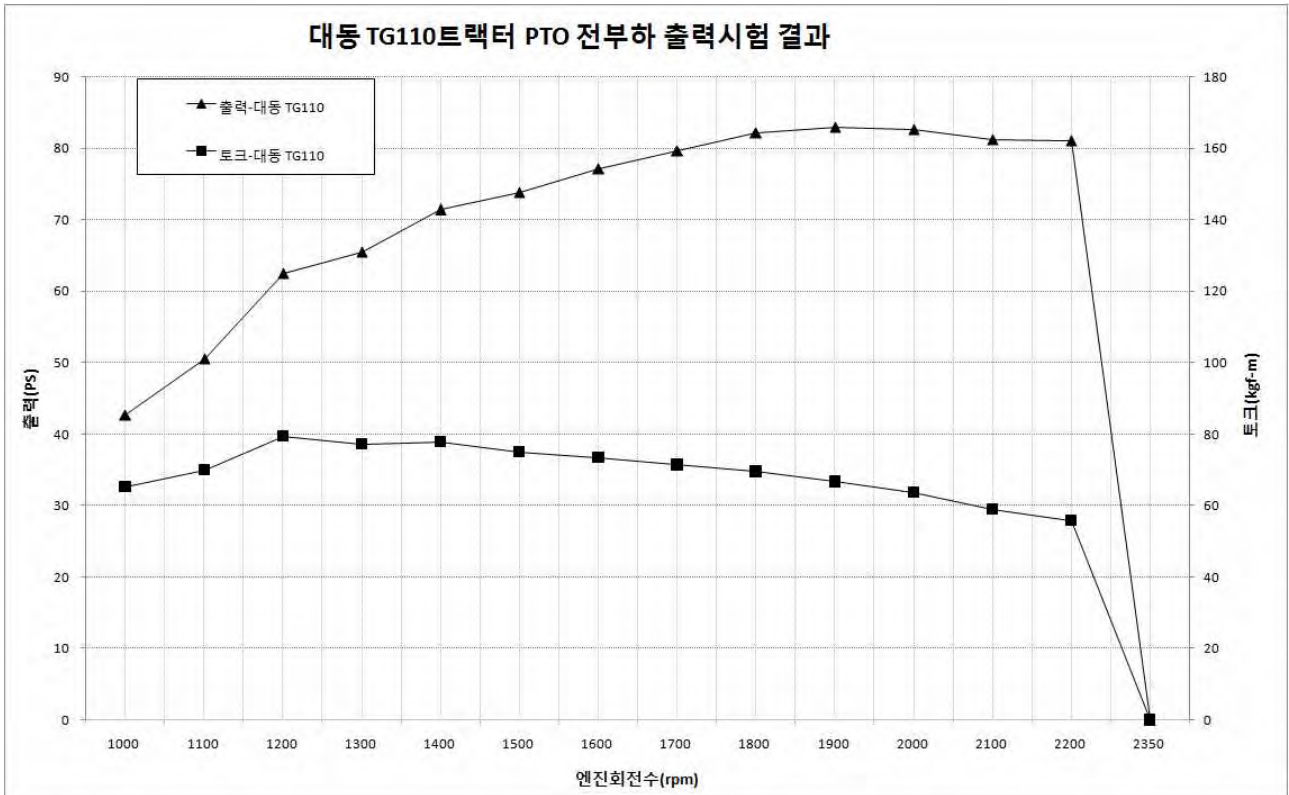
④ 시험평가 결과

㉠ 트랙터 PTO 성능시험 결과

○ 공시트랙터의 전부하 PTO 성능시험 결과를 <그림 4-84>과 <그림 4-85>에 나타내었다.
 ○ 공시트랙터의 전부하 PTO 정격출력은 81.1PS/2200rpm이며, Gross 출력 대비 PTO출력 효율은 약 81.1%로 나타내었다.

PTO 출력 성능 시험 (모델명 : 대동공업 TG110-Tier 4)													
1. 목적:		대동공업 TG110(854E-E34TA엔진) PTO 성능 시험				엔진회전수(rpm) /출력(ps)			PTO 감속비/RPM				
2. 기대이익:		모델명: TG110-TIER4				정격회전수			2200				
3. 시험조건:		시험 단수: PTO 3단				Low Idle			850±50		1단	0.26	624
4. 시험방법:		PTO-DYNAMO 설비를 이용한 부하				Max Idle			2350±25		2단	0.34	816
5. 시험일자:		2012년 9월 29일				출력-PS(Gross)			100		3단	0.4651	1116
Target 회전수		속정값			효율	온도			연료 소모량	연료 소비율	기타사항		
엔진 rpm	PTO rpm	회전수 rpm	토크 kg.m	출력 PS	Gross (%)	대기 ℃	E/G 오일 ℃	연료 ℃					
2344	1090	1090											
2199	1023	1023	55.9	81.1	81.1	31.0	101.7	26.5	15.0	185.0	정격점		
2099	976	976	59.0	81.2		30.5	103.8	26.5	15.1	186.0			
1995	928	928	63.7	82.6		30.9	106.1	26.9	15.3	185.2			
1900	884	884	66.7	83.0		31.3	108.7	39.3	15.1	181.9			
1800	837	837	69.5	82.2		29.6	107.7	36.7	15.2	184.9			
1700	791	791	71.4	79.6		32.2	108.4	37.5	14.5	182.2			
1600	744	744	73.4	77.1		34.1	109.7	36.7	14.1	182.9			
1500	698	698	75.1	73.8		32.2	108.4	36.1	13.1	177.5			
1398	650	650	77.8	71.4		30.9	107.3	36.3	12.5	175.1	최대토크점		
1298	604	604	77.1	65.5		30.0	106.3	36.6	11.5	175.6			
1200	558	558	79.4	62.5		29.2	105.8	37.7	11.1	177.6			
1100	512	512	70.1	50.6		28.1	99.7	37.4	5.9	116.6			
1000	465	465	65.2	42.7		27.5	98.0	37.9	7.7	180.3			

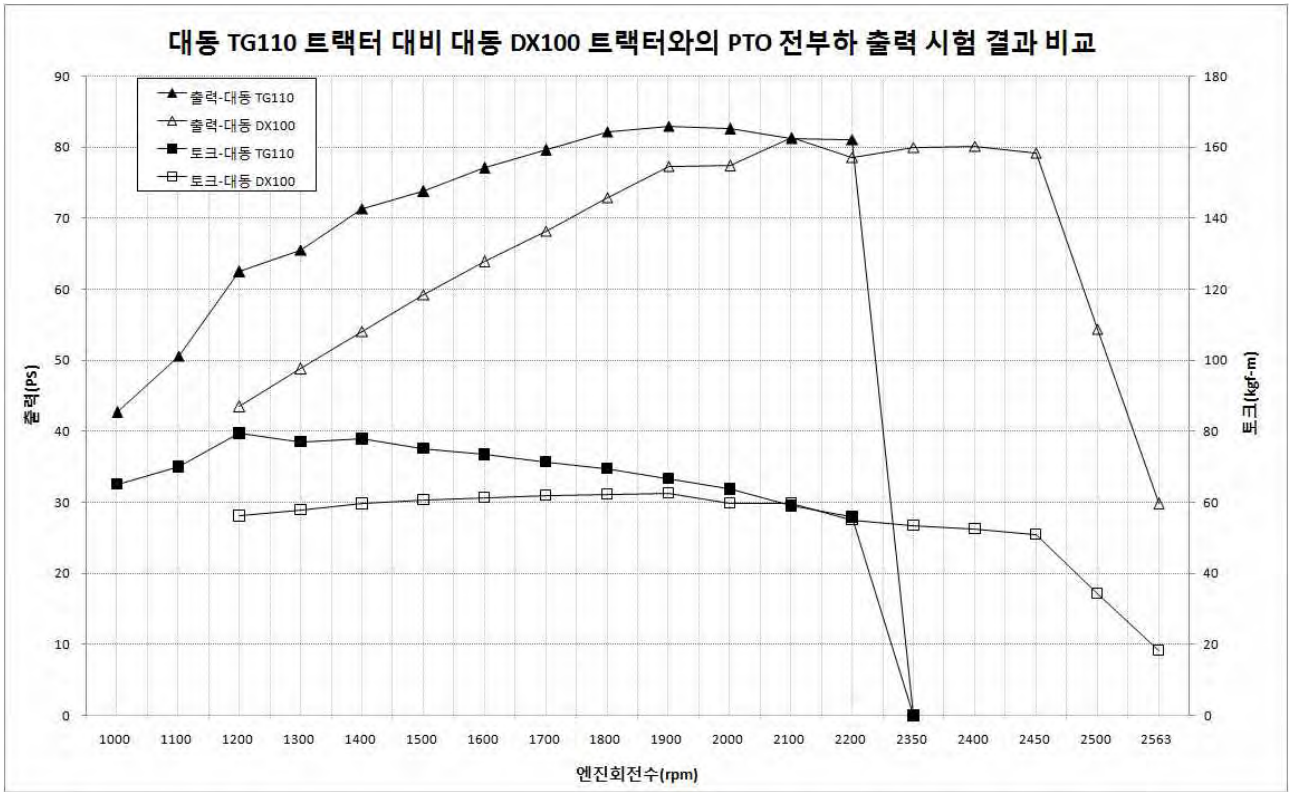
<그림 4-84> 공시트랙터의 전부하 PTO 성능 시험 결과표



<그림 4-85> 공시트랙터의 전부하 PTO 성능 시험 결과 그래프

㉠ 공시트랙터와 동급 대동 DX100 트랙터와의 PTO 성능 비교

- 공시트랙터(100PS, PERKINS社 854E-E34TA엔진) 및 동급 대동 DX100 트랙터(100PS, MHI社 K42엔진)의 전부하 PTO 성능시험 결과 비교 분석 그래프를 <그림 4-86>에 나타내었다.
- 전부하 PTO 정격출력을 비교하면, 공시트랙터는 81.1PS/2200rpm이며, 대동 DX100 트랙터는 79.2PS/2400rpm으로 공시 트랙터가 약 2.4% 이상 출력이 높았으며, Gross 출력 대비 PTO 출력 효율도 대동 DX100 트랙터는 약 80%인 반면에 공시트랙터는 약 81.1%의 효율을 나타내었다.
- 최대 토크점에서의 토크를 비교하면, 공시트랙터는 77.8kgf.m/1400rpm이며, 대동 DX100 트랙터는 62.3kgf.m/1800rpm으로 공시트랙터가 약 25% 이상 토크가 높았으며, 토크라이즈도 공시트랙터의 경우 39%인 반면에 대동 DX100 트랙터는 약 22%를 나타내었다.
- 공시 트랙터가 대동 DX100 트랙터 대비 PTO 출력/효율 및 최대토크, 토크라이즈가 높은 것은 공시 트랙터의 854E-E34TA엔진(PERKINS社)이 트랙터에 최적화 되어 있는 것으로 판단되었다.



<그림 4-86> 공시트랙터와 대동 DX100 트랙터와의 전부하 PTO 성능 시험 결과 비교

나. 최종시스템의 흡기/배기/냉각 시스템 최적화 검증 평가

(1) 흡기/배기/냉각시스템 최종 평가

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 LS엠트론에서 최종 시제품으로 개발된 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4로 시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

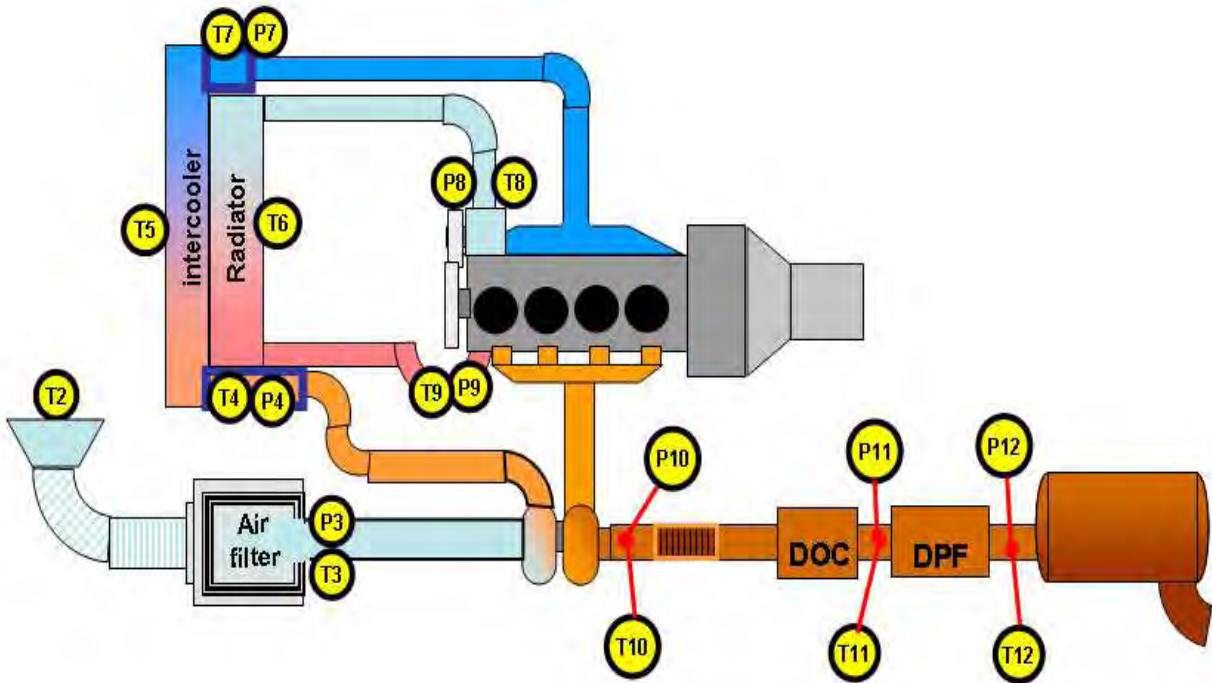
- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터의 전 부하 PTO 출력 시험 시 정격출력에서의 각부 온도와 압력을 측정하고, 2차년도 과제 수행 시 시험한 대동 DX 100트랙터(MHI社, K42엔진탑재)의 비교분석을 실시하여, 최종 시제품 트랙터의 흡기/배기/냉각시스템의 성능수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법 및 기준 설정

- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터인 Perkins社의 854E-E34TA 엔진 탑재 시험 평가항목을 적용하여 흡기/배기/냉각시스템의 시험평가 방법 및 기준을 설정하였으며, <표 4-43>에 나타내었다.
- 본 실험에 사용된 온도, 압력센서의 측정 위치 및 사양을 <그림 4-87>과 <표 4-44>에 나타내었다.

<표 4-43> PERKINS社의 854E-E34TA 엔진 탑재 시험 평가 항목 및 기준

평가 항목			기준(Tier-4)	
Air intake system		에어필터 상승온도	T3 - T1	$\leq 5^{\circ}\text{C}$
		인터쿨러 상승온도	T7 - T1	$\leq 25^{\circ}\text{C}$
		터보입구 압력 (신품 에어필터시)	P3	$\geq -50\text{mbar}$
		터보입구 압력 (사용품 에어필터시)	P3	$\geq -80\text{mbar}$
		터보출구 - 엔진입구 압력 손실	P4 - P7	$\leq 100\text{mbar}$
		인터쿨러 출구온도/엔진 입구 온도	T7	$< 50^{\circ}\text{C}$
		인터쿨러 입구온도	T4	$< 180^{\circ}\text{C}$
Exhaust system		최대부압(터보통과후)	P10	35kPa
		최대부압(DPF통과후)	P12	5kPa
Cooling system		부동액과 물의 비율		50%
		최적 냉각수 온도 범위 (엔진 냉각수 출구측)	T9	$83^{\circ} \sim 99^{\circ}\text{C}$
		엔진 냉각수 출구 연속온도	T9	$< 108^{\circ}\text{C}$
		엔진 냉각수 출구 온도	T9	$< 108^{\circ}\text{C}$
		냉각수펌프 입구측 압력	P8	> 0
Air to Boil Test		온대기후($< 40^{\circ}\text{C}$)	$\text{ATB} = \text{T}_{\text{bw}} - \text{T}_{\text{wo}} + \text{T}_{\text{air}}$	$\geq 42^{\circ}\text{C}$
		열대기후($< 50^{\circ}\text{C}$)		$\geq 50^{\circ}\text{C}$
		시막기후($< 60^{\circ}\text{C}$)		$\geq 60^{\circ}\text{C}$



<그림 4-87> 온도, 압력센서의 측정 위치

<표 4-44> 온도, 압력센서의 사양

Measurement point	Temperature [° C]	Note
Enviromental Temperature	T1	T type
Air Intake Temp.	T2	T type
Air Filter Outlet Temp.	T3	T type
Compressor outlet/intercooler inlet Temperature	T4	T type
Front intercooler temperature	T5	Not mandatory for first analysis, possibility to check
Rear side radiator temp.	T6	Not mandatory for first analysis, possibility to check
Intercooler outlet/engine inlet temperature	T7	T type
Engine coolant inlet temp.	T8	T type
Engine coolant outlet temp.	T9	T type
Turbine outlet exh. gas temp.	T10	K type
DPF out exh. gas temp	T12	K type

Numbering of pressure measuring point	FPT expected measure press thresholds spec. (70kW rate)	Suggest sensor measure range	Pressure sensor Output plug
P3	Max -50 mbar (new air filter)	-500;+500 mbar or -1000;+1000 mbar	BNC or Banana plugs
P4	Max 1650 mbar	0;3000mbar or 0;5000 mbar	BNC or Banana plugs
P7	Max 1550 mbar	0;3000 mbar or 0;5000 mbar	BNC or Banana plugs
P8	> 0 bar (50-60 mbar)	-500;+500 mbar or -1000;+1000 mbar	BNC or Banana plugs
P9	≥ 850 mbar	0;5000 mbar	BNC or Banana plugs
P10	250-500 mbar	0;1000 mbar	BNC or Banana plugs
P12	180 mbar	0;1000 mbar	BNC or Banana plugs
P1p	> 50 kPa abs minimum	-1000;+1000 mbar	BNC or Banana plugs
Prl	< 200 kPa	0;1000 mbar	BNC or Banana plugs

(다) 시험평가 결과

- 공시트랙터(100PS, 854E-E34TA) 및 대동트랙터(100PS, K42 엔진)의 흡기/배기/냉각시스템의 시험평가 결과 값을 <표 4-45>에 비교해 나타내었다
- 시험평가 결과를 분석하면, 먼저 Air intake system의 경우 공시 트랙터의 경우 전항목이 기준치에 적합하였으나, 기존 시제품인 대동 DX100 트랙터의 경우 인터쿨러 상승온도가 기준치인 25°C이하보다도 높은 수준인 52.6°C를 나타내어 추가적인 개선이 필요한 것으로 분석되었다. Exhaust system의 경우 공시 트랙터 및 대동 DX100 트랙터 둘다 최대부압(터보통과후, DPF통과후)이 기준치보다 높은 수준을 나타내어, Exhaust system의 배기 Lay-out의 개선이 필요한 것으로 분석되었다. Cooling system의 경우 공시 트랙터 및 대동 DX100트랙터 둘다 기준치에 만족하였으며, Air to Boil Test의 경우 온대기후 및 열대기후의 조건에서는 만족하였으나, 사막기후에서는 기준치 부적합한 것으로 분석되었다.
- 전반적으로 공시 트랙터 및 대동 DX100 트랙터 둘다 추가적인 시스템 매칭작업이 필요한 것으로 분석되었다.

<표 4-45> Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재 트랙터 탑재 시험 평가 결과

평가 항목			Daedong TG110	Daedong DX100	기준 (Tier-4)
Air intake system	에어필터 상승온도	T3 - T1	1.8	5	≤5°C
	인터쿨러 상승온도	T7 - T1	25	52.6(N.G)	≤25°C
	터보입구 압력(신품 에어필터시)	P3	-29.5	-35.1	≥-50mbar
	터보입구 압력(사용품 에어필터시)	P3	-34.2	-39.8	≥-80mbar
	터보출구 - 엔진입구 압력 손실	P4 - P7	83	85	≤100mbar
	인터쿨러 출구온도/엔진입구 온도	T7	50	34.5	<50°C
	인터쿨러 입구온도	T4	158.8	88.4	<180°C
Exhaust system	최대부압(터보통과후)	P10	38(N.G)	42(N.G)	35kPa
	최대부압(DPF통과후)	P12	26(N.G)	28(N.G)	5kPa
Cooling system	부동액과 물의 비율		50	50	50%
	최적 냉각수 온도 범위 (엔진 냉각수 출구측)	T9	84.6	85	83°~99°C
	엔진 냉각수 최대 출구 온도	T9	86.8	94.3	<112°C
	냉각수 펌프 입구 압력	P9	55	57	>0
Air to Boil Test	온대기후(<40°C)	ATB= T _{bw} -T _{wo} +T _{air}	50.6	56.8	≥42°C
	열대기후(<50°C)		50.6	56.8	≥50°C
	시막기후(<60°C)		50.6(N.G)	56.8(N.G)	≥60°C

7. 최종시스템의 신뢰성 평가

가. 최종시스템의 다축 진동 특성 평가

(1) 최종 시제품의 다축진동시험

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 LS엠트론에서 최종 시제품으로 개발된 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4로 삼축(x,y,z) 진동시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 진동특성을 평가하기 위한 시험으로써 운전석, 핸들, 발판에 대하여 정지상태에서 각 무부하 엔진회전수별 진동량을 측정, 평가하기 위한 시험 방법이다.
- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터의 진동 수준을 측정하고, 2차년도 과제 수행시 시험한 대동 DX 100트랙터(MHI社, K42엔진탑재)의 비교분석을 실시하여, 최종 시제품 트랙터의 진동수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 계측장비 구성

㉠ 시험장치

- 본 실험에 사용된 진동 계측 장치로는 센서신호보상기, 레코더, 가속도계, 노트북으로 구성됨.
- 진동 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-46>와 <그림 4-88>에 나타내었다.

<표 4-46> 진동 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
진동계측 시스템	1) 센서신호보상기: SENSOR SIGNAL CONDITIONER	PCB社(미국)
	2) 레코더: SCADAS SCR05	LMS社(벨기에)
	3) 가속도계: ACCELEROMETER(3축, 100mv/G)	BRUEL&KJAER社(덴마크)
	4) 노트북: 디스플레이 및 분석(S/W: LMS TEST LAB9)	LMS社(벨기에)



<센서신호보상기>



<레코더>



<가속도계>



<노트북 및 S/W>

<그림 4-88> 진동측정시스템

㉔ 시험방법

○ 3축 가속도계의 설치

- 운전석 : 3축 가속도계를 운전석 밑부분 철판에 아래에서 윗방향으로 설치한다.
- 핸들 : 핸들 중심의 캡을 제거한 후, 휠 조립용 볼트 위에 마운트를 부착하고, 3축 가속도계를 설치한다.
- 발판 : 트랙터 좌우 중심선에서 좌우로 각각 250mm 떨어지고, 전후 방향으로는 SRP에서 730mm 전방지점에 가속도계를 설치한다.
- 후처리장치 : 후처리장치 밑 마운팅 브라켓에 마운트를 설치하고, 3축 가속도계를 설치한다.

○ 엔진 회전속도 센서의 설치

- 엔진 크랭크축의 회전 속도를 측정 할 수 있는 계측시스템을 설치한다.(광센서등)

○ 3축 가속도계 및 엔진 회전속도 센서의 설치 위치를 <그림 4-89>에 나타내었다.



<운전석>



<핸들>



<발판(좌)>



<발판(우)>



<후처리 장치>

<그림 4-89> 진동측정위치

○ 엔진회전수별 3축 가속도 측정 순서

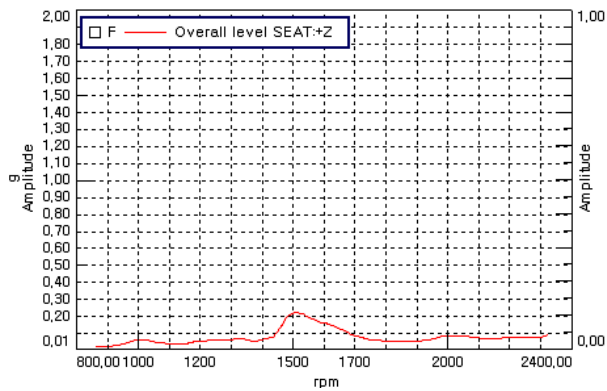
- 3축 가속도계의 설치
- 엔진 회전 속도 계측 센서의 설치

- 가속도 측정 프로그램의 구동
- 가속도 측정 프로그램 상의 각종 조건 설정
- 저속 엔진 회전수부터 고속회전수까지 일정한 변화율로 속도를 변화시키며, 가속도 측정
- 측정된 가속도 값의 사후 분석 과정 진행
- 분석된 데이터로부터 가장 가속도 값이 큰 속도 구간과 그때의 가속도 값 추출

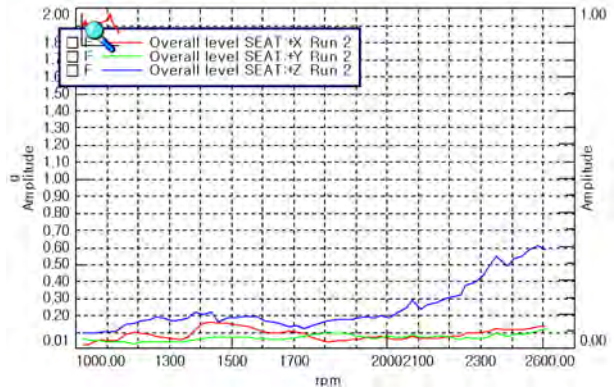
(다) 시험평가 결과

① 시제품트랙터 다축진동시험 결과(대동 DX100 트랙터(100PS)와 비교분석)

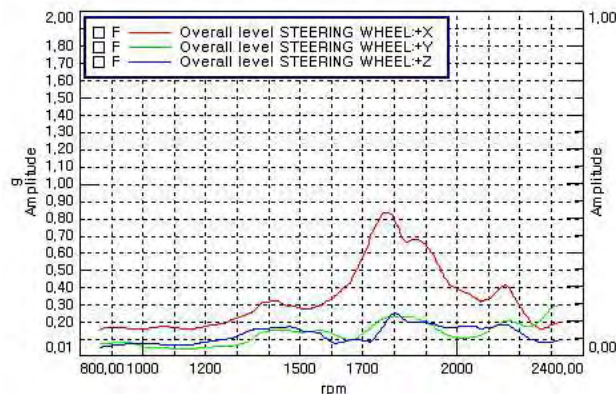
○ 공시트랙터(100PS, PERKINS社 854E-E34TA 엔진) 다축진동시험 결과 및 대동 DX100 트랙터(100PS, MHI社 K42엔진) 다축진동시험 결과 비교 그래프를 <그림 4-90>에 나타내었다.



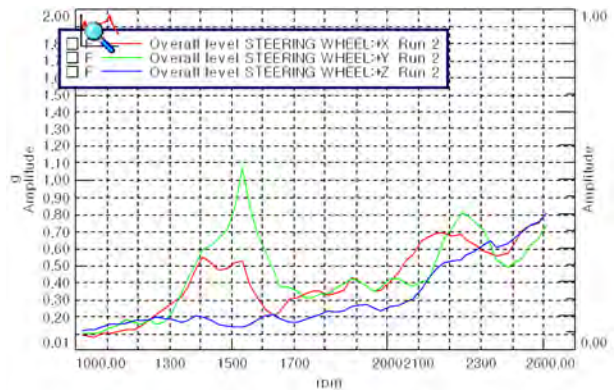
<운전석-공시트랙터>



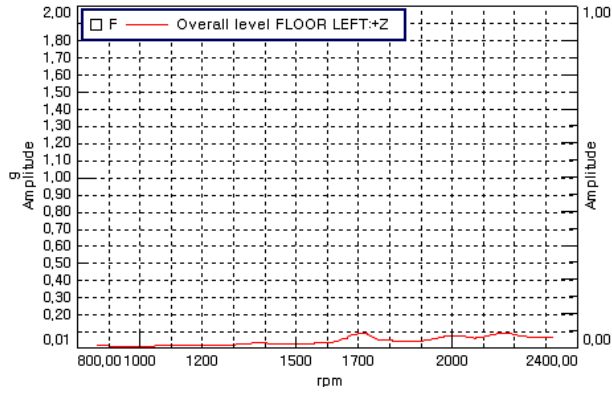
<운전석-대동 DX100 트랙터>



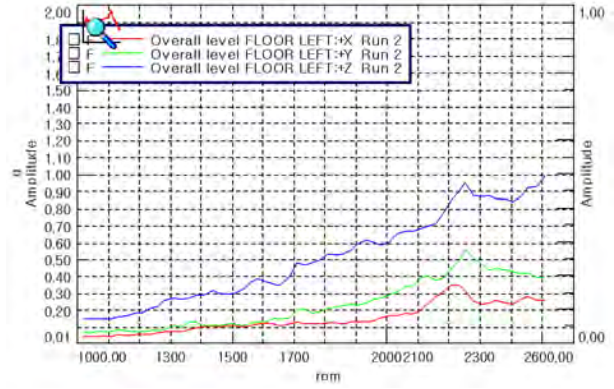
<핸들-공시트랙터>



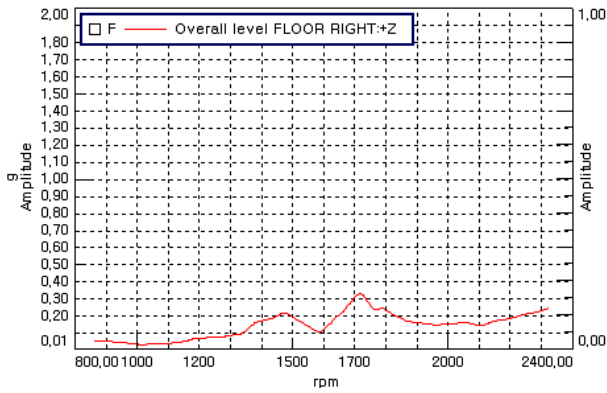
<핸들-대동 DX100 트랙터>



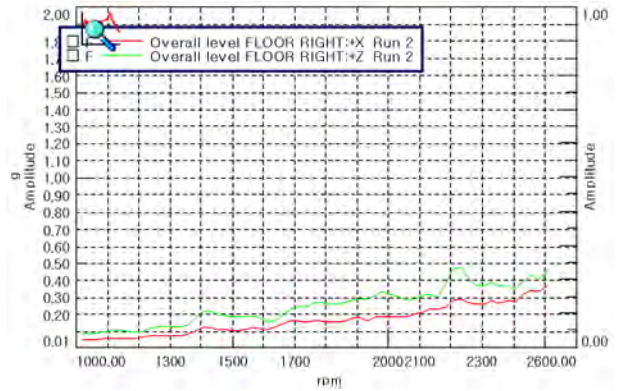
<발판(좌)-공시트랙터>



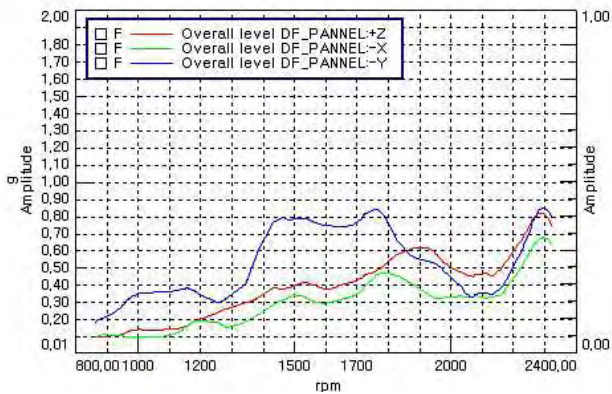
<발판(좌)-대동 DX100 트랙터>



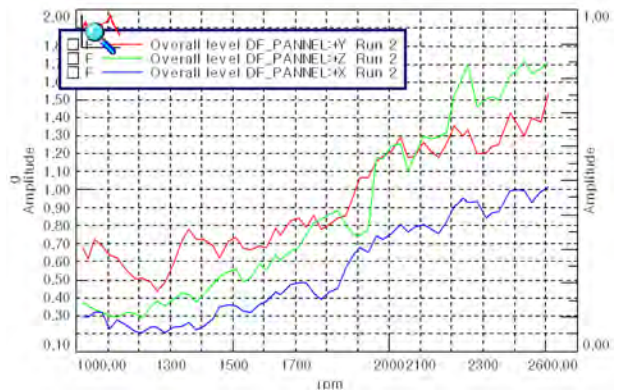
<발판(우)-공시트랙터>



<발판(우)-대동 DX100 트랙터>



<후처리 장치-공시트랙터>



<후처리 장치-대동 DX100 트랙터>

<그림 4-90> 공시트랙터와 대동 DX100 트랙터와의 다축 진동 시험 결과 비교

- <그림 4-90>의 운전석에서 가장 높은 수준을 나타내는 z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 z축 방향의 진동 수준은 엔진회전수에 관계없이 최대 0.22G의 낮은 수준을 나타내었다. 이에 비해 대동 DX100 트랙터의 경우 z축 방향의 진동 수준은 엔진회전수가 증가할수록 선형으로 증가하여, 최대회전수인 2600rpm에서는 최대 0.62G로 증가

하였다. 전반적으로 시제품 트랙터의 z방향 진동 수준은 LS 운전석 진동시험기준(0.5G)에 만족하였으나, 대동 DX100 트랙터의 경우 최고 진동 수준인 z방향 진동치 0.62G는 LS 운전석 진동시험기준(0.5G)에 미달되었다.

- <그림 4-90>의 핸들 x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 x축 방향의 진동수준이 1800rpm 구간 전후에서 일적으로 높은 수준(최대 0.84G)을 나타내었다. 이에 비해 대동 DX100 트랙터의 경우 x, y축 방향의 진동 수준이 저속인 1500rpm 전.후 구간에서 일시적으로 높은 수준(1.08G, y방향)을 나타내었으며, 전반적으로 엔진회전수가 증가할수록 선형으로 증가하였다. 시제품트랙터 및 대동 DX100 트랙터 모두 LS 핸들 진동시험기준(2.0G)에 적합하였다.
- <그림 4-90>의 발판 좌.우의 가장 높은 수준을 나타내는 z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 발판 좌,우 둘다 낮은 수준(좌: 0.1G, 우: 0.32G)을 나타내었으며, 좌측보다 우측이 진동수준이 약간 높은 수준을 나타내었다. 이에 비해 대동 DX100 트랙터의 경우 발판 좌.우 둘다 x, y, z축 방향의 진동 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 특히 발판 좌측이 우측보다 진동 수준(최대 1.0G)이 높은 것으로 나타내었다. 시제품트랙터 및 대동 DX100 트랙터 모두 LS 진동시험기준(1.0G)에 적합하였다.
- <그림 4-90>의 후처리장치(머플러) x(전.후), y(좌.우), z(상.하)축 방향 진동수준을 분석하면, 시제품트랙터의 경우 x, y, z축 방향의 진동수준이 엔진회전수가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으나, y축 방향의 경우 1400~1800rpm 구간에서 일시적으로 상승되는 진동 수준(0.8G)을 나타내었으며, 2100rpm 구간에서는 x, y, z방향 모두 일시적으로 하강되는 진동 수준(z축 방향: 0.45G, x,y축 방향: 0.3G)을 나타내었다. 이에 비해 대동 DX100 트랙터는 x, y, z축 방향의 진동 수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타냈으며, 특히 최대회전수인 2600rpm에서 최대 1.52G로 증가하였다. 시제품트랙터의 후처리장치(DPF) 진동수준은 PERKINS社 및 MHI社 제시 진동시험기준(10G)에 적합하였다.
- 결론적으로 공시트랙터(100PS, 854E-E34TA 엔진) 다축 진동 수준은 전반적으로 대동 DX100 트랙터(100PS, K42엔진) 대비 낮은 수준을 나타내었다.
- 공시트랙터(100PS, 854E-E34TA 엔진) 및 대동 DX100 트랙터(100PS, K42 엔진)의 다축 진동 시험 결과 그래프 상 각 시험항목에서의 최대가속도 값과 그때의 엔진회전수를 추출한 결과 값을 <표 4-47>에 비교해 나타내었다.

<표 4-47> 공시트랙터와 대동 DX100 트랙터와의 다축 진동 시험 결과 분석표

시험항목	LS시험기준 (G)	공시트랙터 (TG110)	대동트랙터 (DX100)	비 고
운전석(X, 전.후방향)	0.5G 이내	-	0.17/1430rpm	
운전석(Y, 좌.우방향)		-	0.12/2600rpm	
운전석(Z, 상.하방향)		0.22/1500rpm	0.62/2600rpm	
핸들(X, 전.후방향)	2.0G 이내	0.84/1770rpm	0.80/2600rpm	
핸들(Y, 좌.우방향)		0.3/2420rpm	1.08/1530rpm	
핸들(Z, 상.하방향)		0.25/1800rpm	0.80/2600rpm	
발판(좌, X, 전.후방향)	1.0G 이내	-	0.35/2110rpm	
발판(좌, Y, 좌.우방향)		-	0.56/2260rpm	
발판(좌, Z, 상.하방향)		0.10/1730rpm	0.98/2600rpm	
발판(우, X, 전.후방향)	1.0G 이내	-	0.48/2220rpm	
발판(우, Y, 좌.우방향)		-	0.00/2220rpm	
발판(우, Z, 상.하방향)		0.32/1730rpm	0.29/2220rpm	
후처리장치(X, 전.후방향)	10G 이내 (PERKINS社 기준)	0.68/2400rpm	1.52/2600rpm	
후처리장치(Y, 좌.우방향)		0.85/2400rpm	1.70/2600rpm	
후처리장치(Z, 상.하방향)		0.8/2400rpm	1.00/2600rpm	

나. 최종시제품의 소음 특성 평가

(1) 최종 시제품의 정지/주행 소음 평가 시험

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’ 의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가 ”를 위하여 대동공업에서 최종 시제품으로 개발된 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4로 정지/주행 소음 평가시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 운전석 소음 특성을 평가하기 위한 시험으로써 운전자 지각 소음 및 외부 소음을 측정, 평가하기 위한 시험 방법이다.
- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터의 정지/주행 소음 수준을 측정하고, 2차년도 과제 수행 시 시험한 대동 DX 100트랙터(MHI社, K42엔진탑재)의 비교분석을 실시하여, 최종 시제품 트랙터의 소음수준을 고찰하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

① 계측장비 구성

- 본 실험에 사용된 소음 계측 장치로는 마이크로폰, 레코더, 노트북으로 구성됨.
- 소음 계측 장치의 제원과 사진을 <표 4-48>와 <그림 4-91>에 나타내었다.

<표 4-48> 소음 계측 장치의 제원

장비명	형식 및 사양	제조사
소음계측 시스템	1) 마이크로폰: 46AE (52mv/pa)시리얼 2) 레코더: SCADAS SCR05 3) 노트북: 디스플레이 및 분석(S/W: LMS TEST LAB9)	G.R.A.S社(미국) LMS社(벨기에) LMS社(벨기에)



<마이크로폰>



<레코더>



<노트북 및 S/W>

<그림 4-91> 소음측정시스템

② 시험방법

○ 운전자 지각 소음

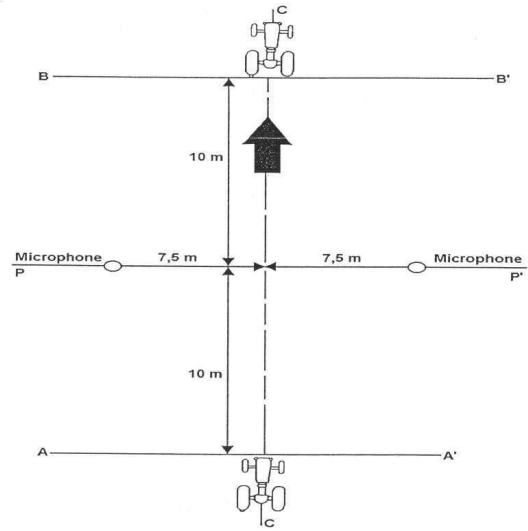
- <그림 4-92>와 같이 운전석 귀 위치(좌,우)에 소음 측정 센서 설치 (Frame을 이용하여 센서 고정).
- 저속 엔진 회전수부터 고속회전수까지 일정한 변화율로 속도를 변화시키며, 소음 측정

○ 외부 소음

- 측정 위치 : <그림 4-92>와 같이 트랙터가 주행하는 주행 선에서 7.5m 떨어진 좌, 우 위치에 센서를 설치한다.
- 주행 속도 : 최대속도의 3/4로 설정.
- 측정 구간 이전에 충분히 가속하여 측정구역으로 진입하도록 한다



<운전자 지각소음 측정위치>



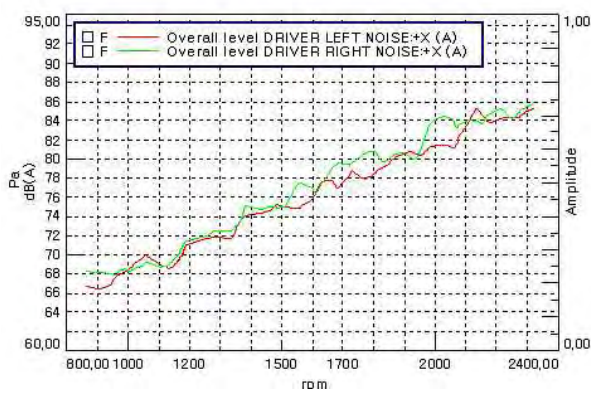
<외부소음 측정위치>

<그림 4-92> 소음측정위치

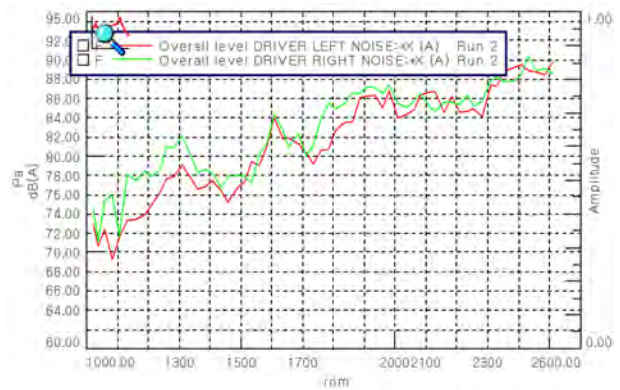
(다) 시험평가 결과

① 시제품트랙터 소음시험 결과(대동 DX100 트랙터(100PS)와 비교분석)

○ 공시트랙터(100PS, PERKINS社 854E-E34TA엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 및 대동 DX100 트랙터(100PS, MHI社 K42엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 비교 그래프를 <그림 4-93>에 나타내었다.



<운전자 지각소음-시제품>



<운전자 지각소음-대동 DX100 트랙터>

<그림 4-93> 공시트랙터와 대동 DX100 트랙터와의 운전자 지각 소음시험 결과 비교

○ <그림 4-93>의 운전자 좌우 방향 소음 수준을 분석하면, 전반적으로 시제품트랙터 및 대동 DX100 트랙터 모두 소음수준이 엔진회전수가 증가할수록 증대되는 경향을 나타내었으며, 시

제품트랙터가 선형에 근접한 소음수준을 나타내는 반면에 대동 DX100 트랙터의 경우 시제품 트랙터대비 높낮이 편차가 심한 분포를 나타내었다. 시제품트랙터의 최고 소음 수준이 86dB로 LS 운전석 소음시험기준(86dB)에 적합하였으나, 이에 비해 대동 DX100 트랙터의 최고 소음 수준이 90dB로 LS 운전석 소음시험(86dB)에 부적합한 것으로 분석되었다.

- 공시트랙터(100PS, 854E-E34TA엔진) 운전자 지각 소음 시험 결과 및 대동트랙터(100PS, K42엔진) 외부 소음 시험 결과 비교표를 <표 4-49>에 나타내었다.
- <표 4-49>의 외부 소음 수준을 분석하면, 전반적으로 시제품 트랙터가 대동 트랙터 대비 낮은 소음 수준을 나타냈으나, 시제품트랙터 및 대동트랙터 모두 LS 운전석 소음시험기준에 적합하였다.

<표 4-49> 공시트랙터와 대동 DX100 트랙터와의 외부 소음 시험 결과 분석표

시험항목	공시트랙터 (대동 TG110)		공시트랙터 (대동 DX100)		비 고
	좌	우	좌	우	
주변소음(dB)	41.4		32.1		
정차소음(dB)	좌	우	좌	우	
	84.3	83.5	84.5	83.7	
	84.5	83.8	84.8	83.8	
	84.4	83.6	84.6	84	
정차소음기준(dB)	86				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	
주행소음(dB) (7.25km/hr)	좌	우	좌	우	
	83.7	84.7	85.3	84.4	
	83.4	84.6	85.5	84.6	
	83.5	84.2	85.5	84.4	
정차소음기준(dB)	89				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	
최고속도(dB) (Max Speed)	좌	우	좌	우	
	82.9	83.8	86.9	86.4	
	83.4	84.8	87	86.5	
	84.1	86.1	87.1	86.5	
정차소음기준(dB)	89				LS 시험 기준
결과	적합	적합	적합	적합	

다. 최종시제품의 Field 시험

(1) 최종 시제품의 실포장 작업 시험

금번 ‘고마력 엔진 탑재 트랙터 적용 기술 개발’의 세부과제인 “Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가”를 위하여 대동공업에서 최종 시제품으로 개발된 Perkins社의 854E-E34TA 엔진이 탑재되어 제작된 대동 TG110-Tier-4로 실포장 작업 시험 평가시험을 진행하였다.

(가) 시험 실시사항

- 농업용 트랙터의 종합적인 성능을 파악하기 위한 시험으로서, 로타리 작업, 쟁기작업 등을 통해 각종 조작 장치의 성능 및 엔진 성능, 변속기 성능 등을 평가하기 위한 시험 방법이다.
- 본 연구에서는 최종 시제품 트랙터의 실포장 작업 시험을 수행하고, 최종 시제품 트랙터의 신뢰성 수준을 평가하고자 연구를 수행하였다.

(나) 시험평가의 방법

- 4WD, 유압 승강 장치, PTO 구동 장치 등이 정상적으로 조립된 상태에서 시험한다.
- 시험 대상 기대의 용량에 맞는 쟁기 및 로타리를 준비한다.
- 시험 중 예상되는 모든 위험 요소를 사전에 방지할 것.
- 시험 수행자는 비치된 포장 작업 일지에 작업 중 문제점 및 조치 사항 등을 자세히 기록하고, 기타 작업 성능에 대한 해당 수요자의 의견을 기재할 것.
- 온도 및 압력은 1시간 간격으로 확인 하되, 작업이 연속적으로 진행 되어 충분히 가열 되었을 때 기록 할 것.
- 최종 시제품 트랙터의 실포장 작업 시험 사진을 <그림 4-94>에 나타내었다.



<그림 4-94> 최종 시제품 트랙터의 실포장 작업 시험

(다) 시험평가 결과

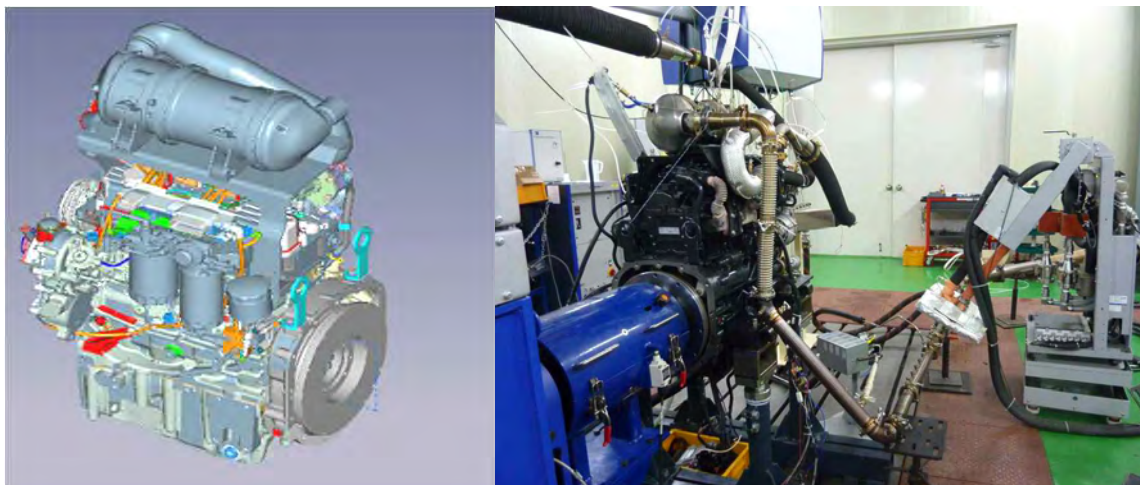
- 로타리 작업, 쟁기 작업 등을 통한 Field 시험에서 각종 조작 장치의 성능, 엔진 성능, 변속기 성능등을 종합적으로 평가한 결과, 각부 특이 문제점이 없는 것으로 분석 되었다.

8. 최적화 시스템의 성능평가

가. 최적화 후처리 시스템의 최종 성능 평가

(1) 시험 엔진

- 최종 시제품 엔진(854E-E34TA)은 interim. Tier-4 규제를 만족하는 3.4 L 급 디젤 엔진으로 터보차저와 인터쿨러가 장착되어있음
- 연료분사 방식은 CRDI 방식으로 bosch사 제품이며, 최대출력은 100 PS (@ 2,200 rpm)임
- 시험엔진의 후처리장치는 DPF(Diesel Particle Filter)가 장착되어 있으며, EGR 및 DPF를 통하여 PM과 NOx를 저감하는 엔진임
- 시험엔진의 그림 및 제원을 표에 나타내었다.



<그림 4-95> 854E-E34TA 엔진 및 시험장치 구성

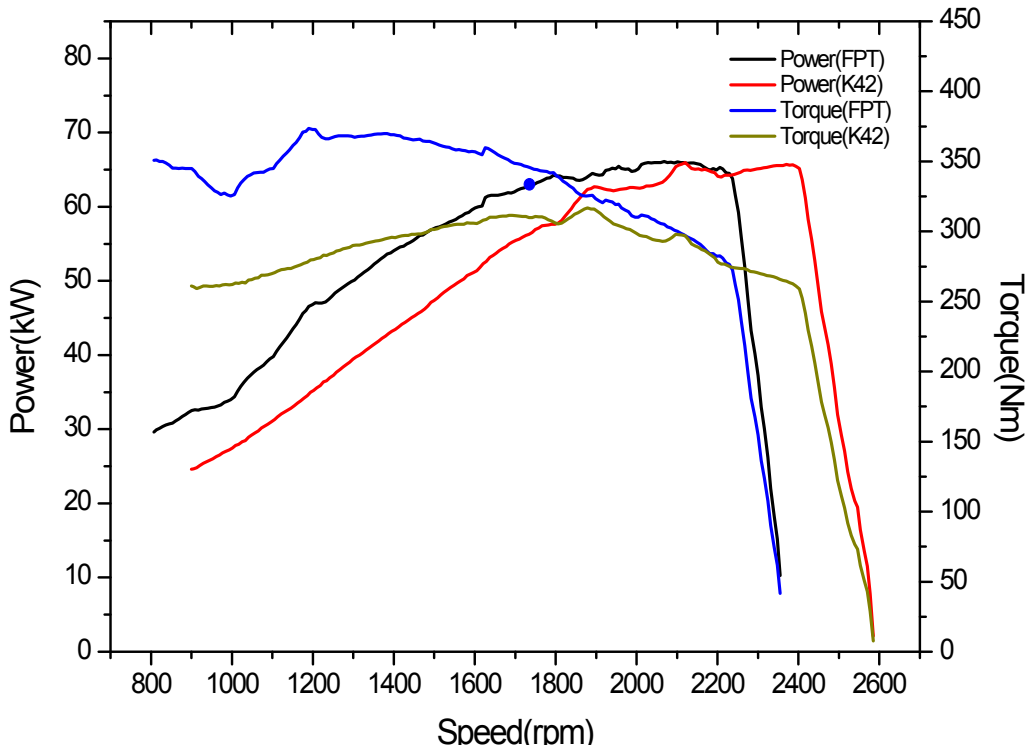
<표 4-50> 시험엔진 사양

Item	Specifications
Engine Type	CRDI Diesel Engine
Rated Power / rpm (PS/rpm)	100/2,200
Max.Torque/rpm (Nm / rpm)	370/1,400
Displacement (L)	3.4
Aspiration	T/C & Intercooler
Engine model	854E-E34TA
Idle(Low/High)	850/ 2,350

(2) 엔진 성능 비교

(가) 엔진 전 부하 성능 비교

- K42 엔진과 854E-E34TA 엔진의 전부하 성능시험 결과를 비교하여 각 엔진의 출력 특성을 분석하기 위함
- 각 엔진의 idle 운전영역에서 최대 운전영역까지 100% 부하조건으로 8 rpm/s로 운전하여 측정한 토크 값을 비교함

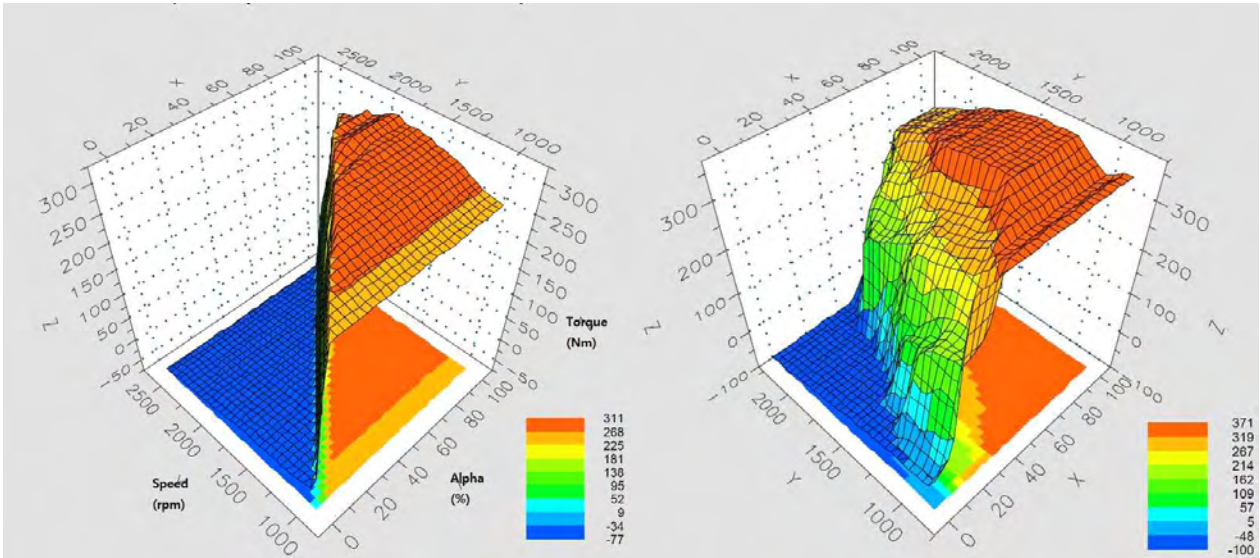


<그림 4-96> 전 부하 성능 시험 비교 결과

- 시험 결과 K42 엔진이 854E-E34TA 엔진보다 운전영역대가 넓음을 확인하였으며, 출력의 경우 두 엔진 모두 66kW급으로 비슷하게 출력됨
- 최대 토크는 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진보다 약 50Nm 더 높으며, 전운전 영역에서 854E-E34TA 엔진의 출력 및 토크가 더 높음

(나) 엔진 torque map 비교

- 각 엔진의 전 운전영역에서 측정된 torque 값을 측정하여, 시험 엔진의 운전 특성을 비교하기 위함
- 시험 방법은 idle 운전조건에서 시험최대속도(fntest)영역까지 Speed와 Alpha(엑셀포지션센서) 값을 31 X 31 분할하여 torque 값을 취득함



<그림 4-97> 시험 엔진의 Torque map 시험 결과(좌:K42, 우:854E-E34TA)

- 시험 결과 K42 엔진은 낮은 alpha 값에서 각 운전영역의 최대 토크 값을 나타내어 중부하 운전이 어려움
- 854E-E34TA 엔진의 경우 alpha 값에 따른 토크 값이 운전조건에 고루 분포되어 K42 엔진과 다르게 중·저 부하 운전이 가능함

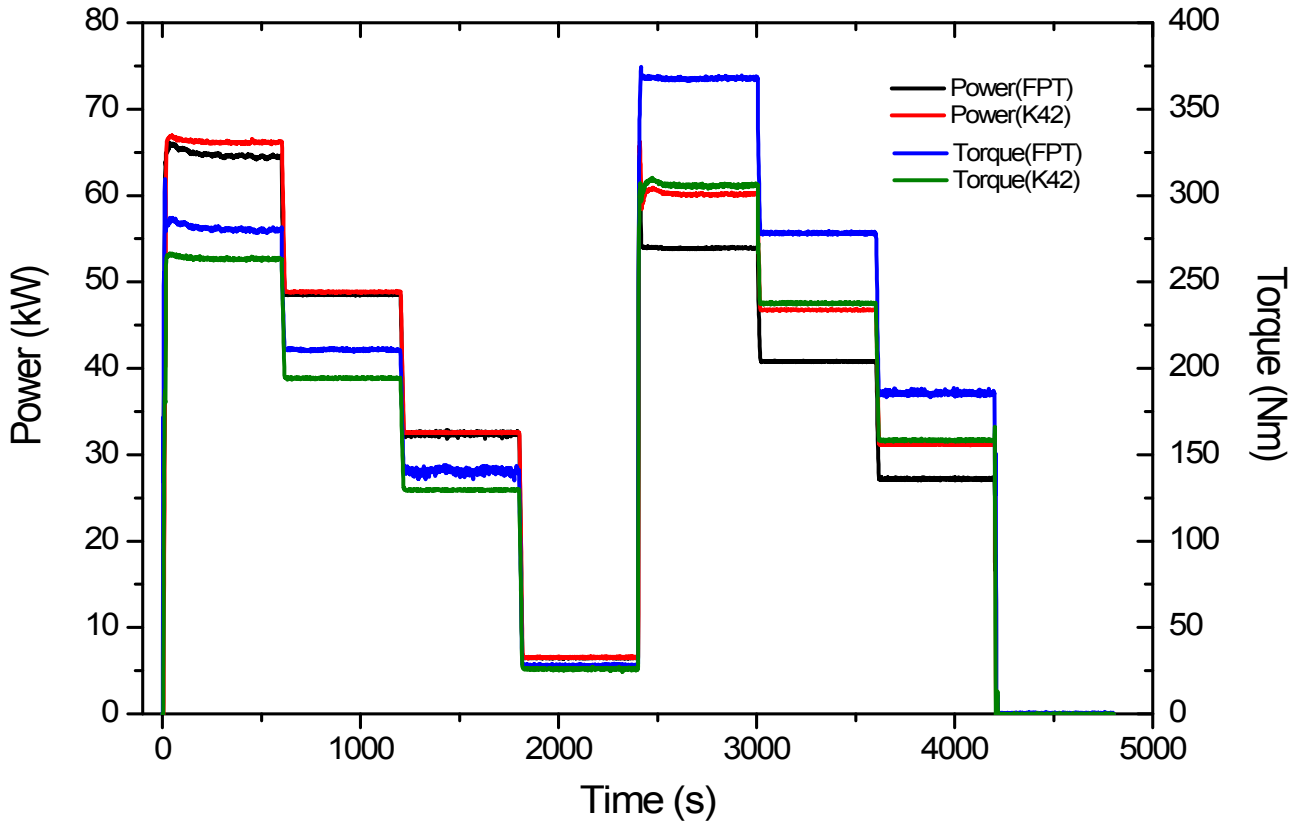
(3) 배기규제 시험결과 비교

(가) NRSC 시험결과

- NRSC 시험모드 조건에서 각 엔진의 출력 / BSFC(Brake Specific Fuel Consumption) / Emission 값들을 비교하여 엔진 및 후처리 장치의 특성을 비교하기 위함

① 출력 결과

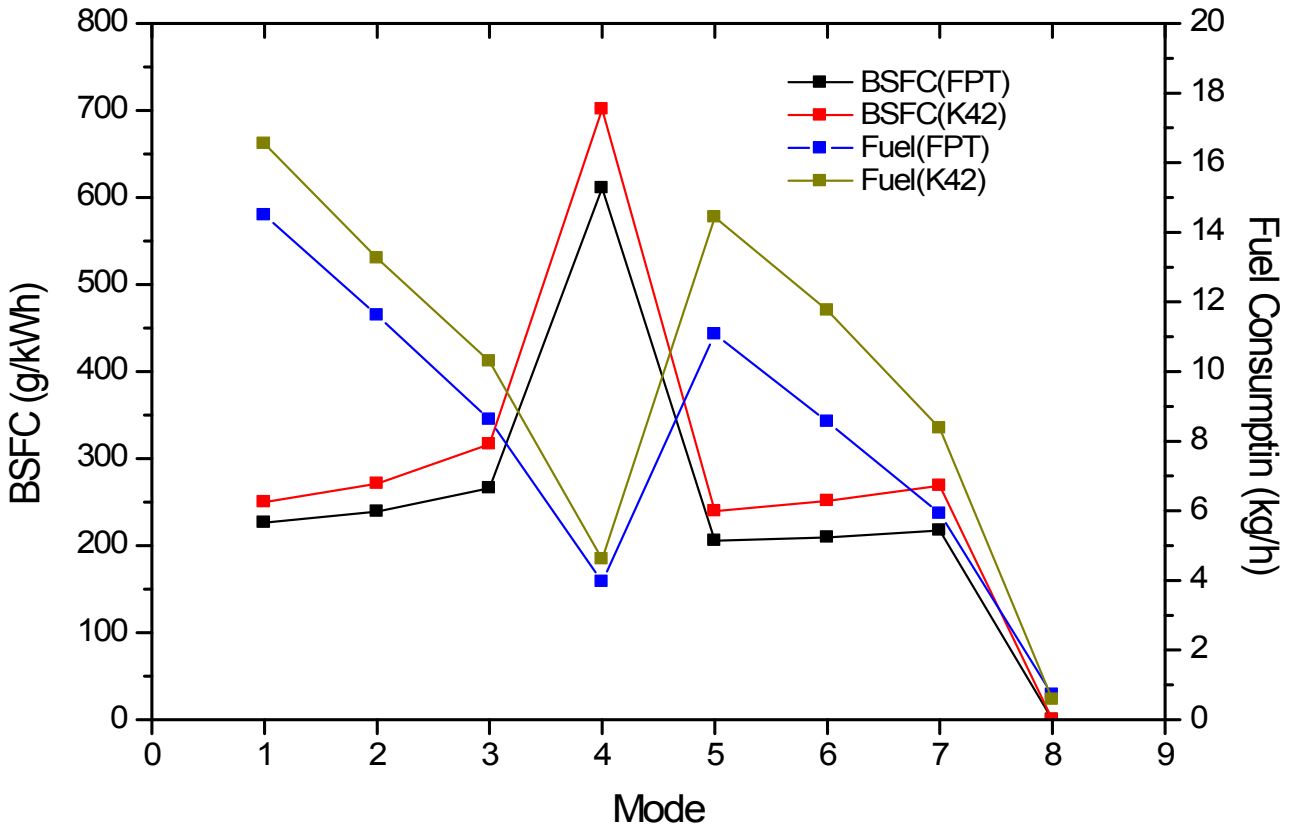
- 최대 출력 및 토크 운전영역의 NRSC 시험결과를 비교하여 엔진의 출력 및 토크를 비교하기 위함
- 시험결과 최대 출력은 K42 엔진이 66 kW로 854E-E34TA 엔진보다 약 2 kW 높은 것을 확인할 수 있었고, 최대 토크는 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진보다 약 60Nm 더 높음을 확인



<그림 4-98> 출력 및 토크 비교 결과

② BSFC 결과

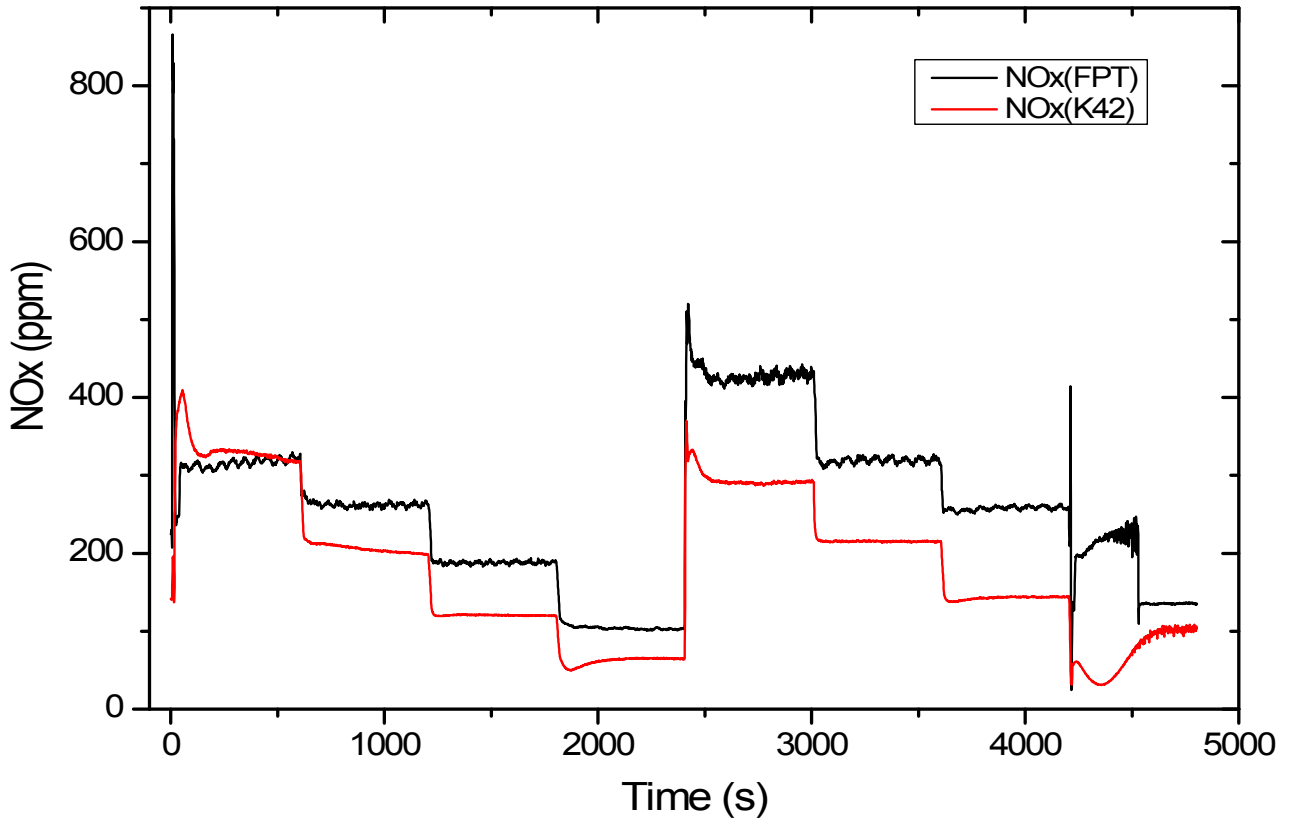
- BSFC는 연료 소모율을 단위 출력으로 나눈 값으로 두 엔진의 단위 출력당 연료 소모율을 비교함으로써 엔진의 성능을 비교하기 위함
- 비교방법은 NRSC 각 모드의 30초 평균 연료 소모율 및 출력 data를 이용하여 두 엔진의 성능을 비교함
- 시험결과 854E-E34TA 엔진이 최대 출력점인 1 모드에서 약 90% 수준으로 낮았으며, 최대 토크점인 5 모드에서는 86% 수준으로 낮음
- NRSC 모드 전 구간에서 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진보다 연료소모율이 낮음을 확인함



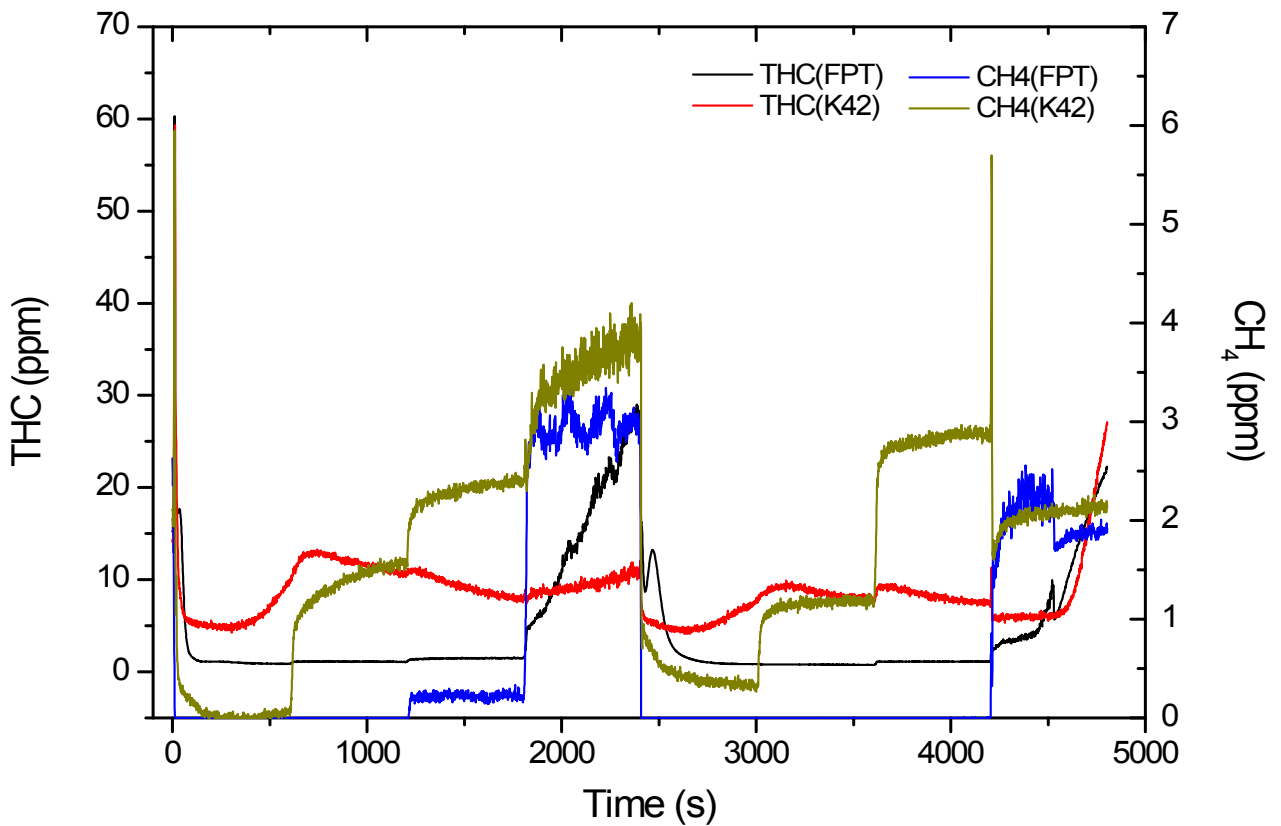
<그림 4-99> BSFC 비교 결과

③ Emission 결과

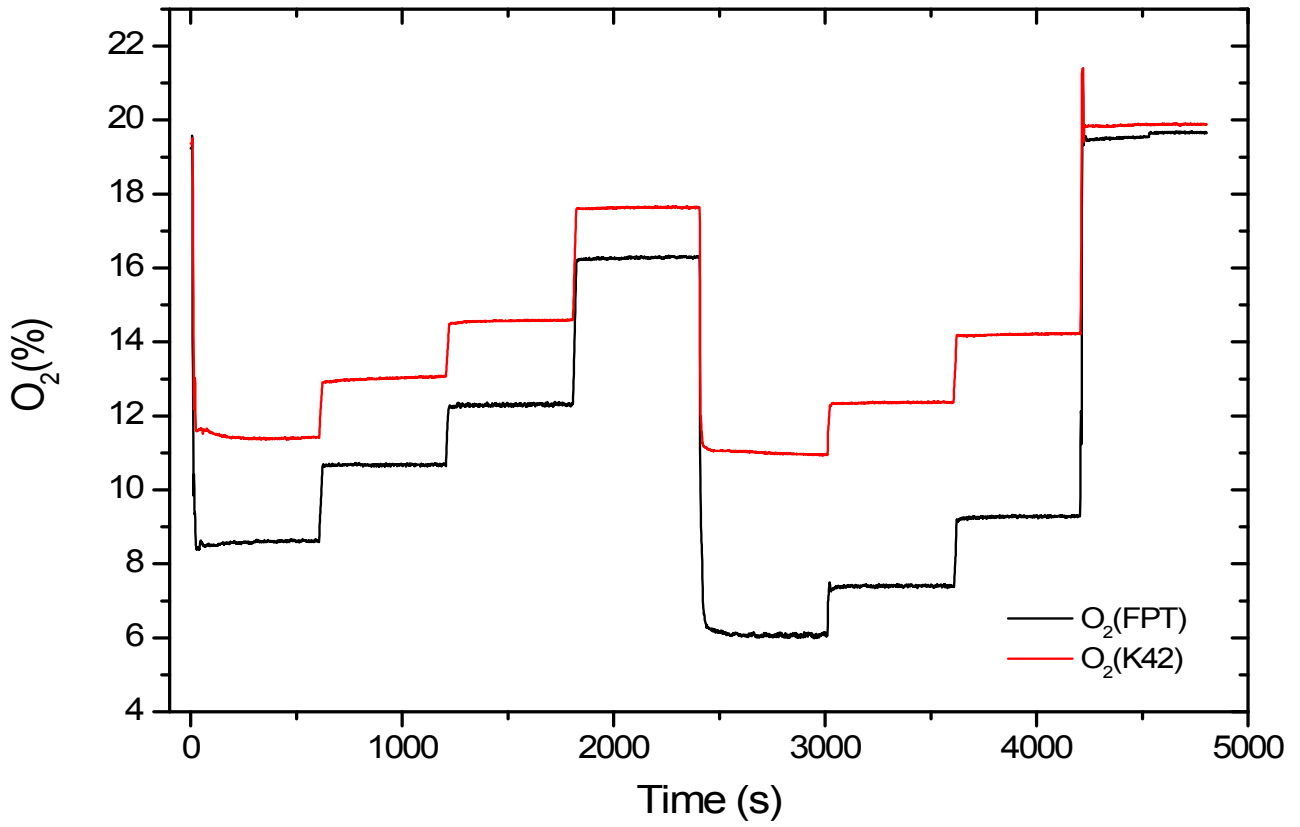
- NRSC 시험모드 중의 DPF 후단에서 측정된 emission 값들을 비교하여 후처리 장치의 성능을 비교하기 위함
- 시험 모드 중 NOx 배출은 최대 출력점에서 두 엔진 모두 비슷한 수준으로 배출되었으며, 최대 출력을 제외한 다른 모드에서는 K42 엔진이 더 낮게 배출됨
- THC 배출은 두 엔진 모두 고온의 1 모드 조건에서 후처리 장치가 활성화되어 10ppm 미만으로 배출되었으며, 854E-E34TA 엔진은 최대 토크 운전영역에서 약 25ppm으로 비교적 높게 배출됨
- CH₄ 배출농도도 THC와 유사한 경향을 보이며, K42 엔진이 854E-E34TA 엔진보다 높게 배출됨



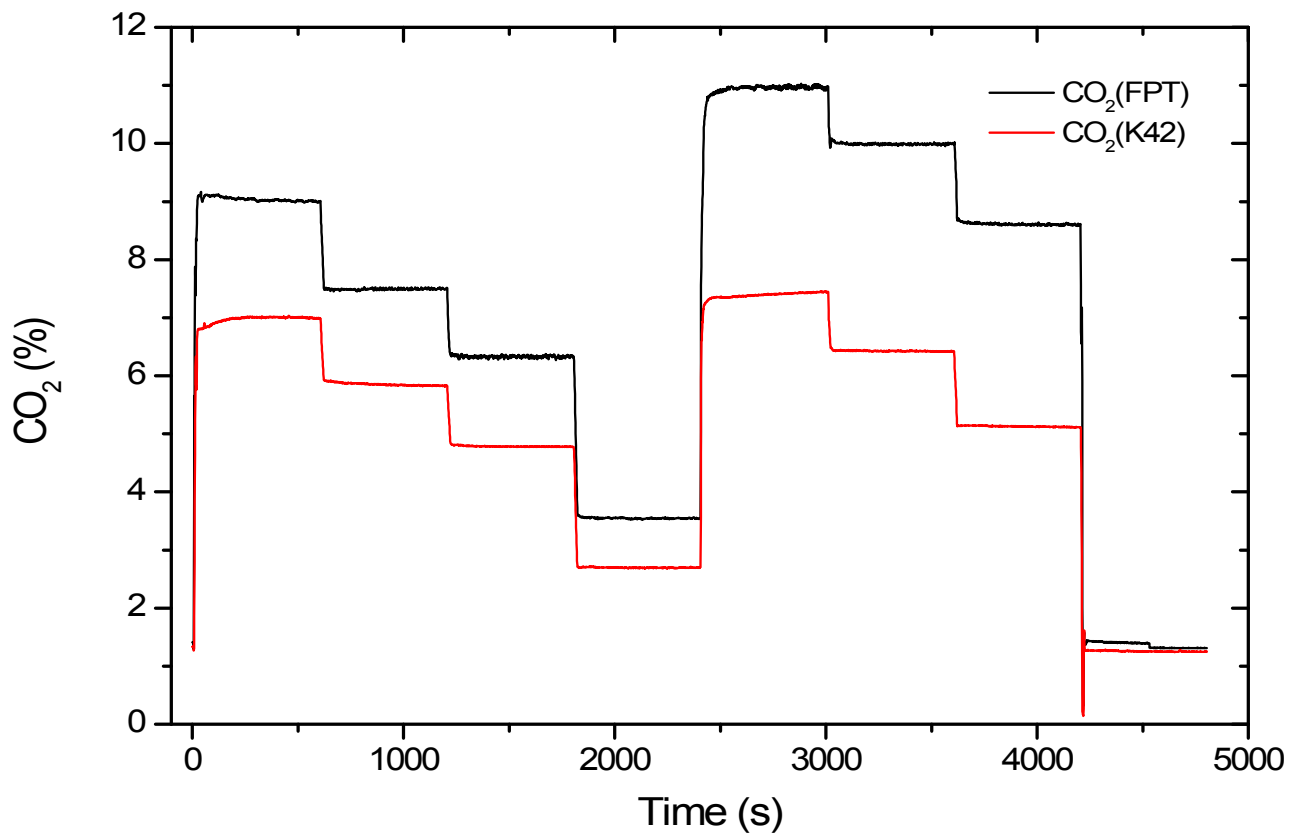
<그림 4-100> NRSC 시험조건의 NOx 비교 결과



<그림 4-101> NRSC 시험조건의 THC 비교결과



<그림 4-102> NRSC 시험조건의 O₂ 시험 비교 결과



<그림 4-103> NRSC 시험조건의 CO₂ 시험 비교 결과

④ 최종 비교 결과

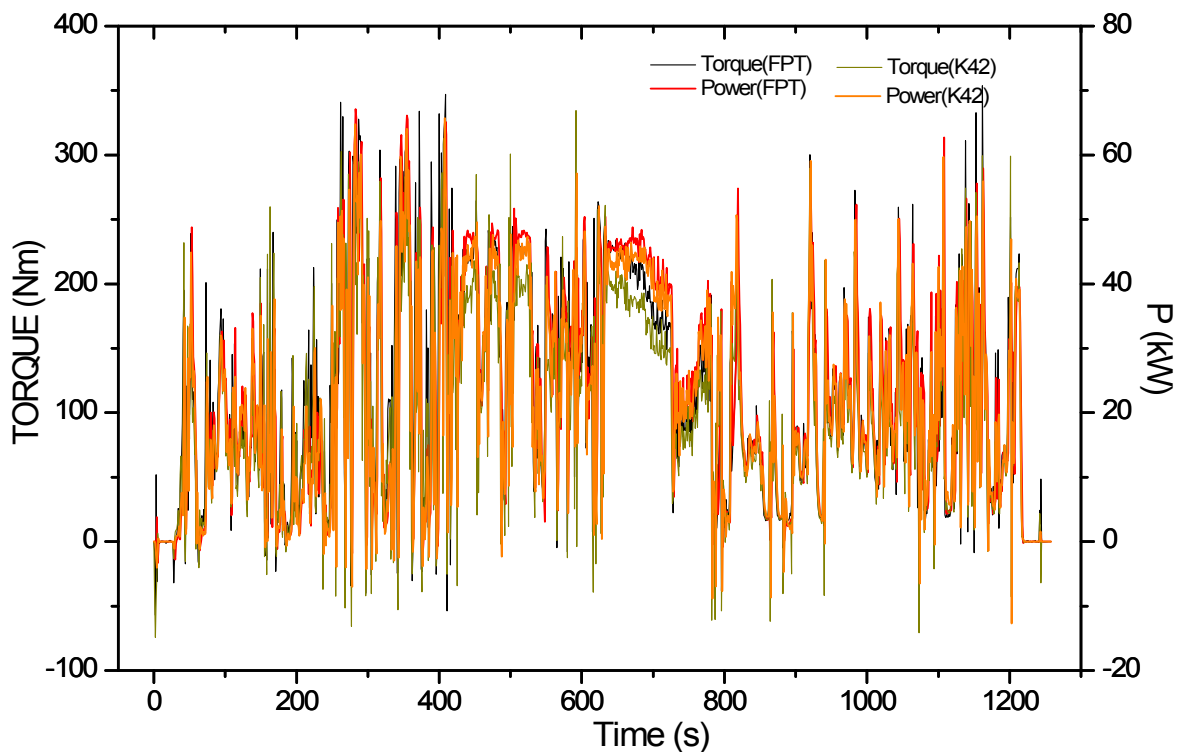
- CO₂ 배출량의 경우 854E-E34TA 엔진이 더 낮게 배출되었으며, CO 배출가스의 경우 두 엔진 모두 0 ppm 수준으로 매우 낮음
- THC 및 CH₄ 배출가스 또한 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진의 약 20% 수준으로 매우 낮게 배출되었으며, NO_x 배출가스의 경우 854E-E34TA 엔진이 약 82% 수준으로 낮게 배출되었음
- PM의 경우 오히려 854E-E34TA 엔진이 더 높게 배출되었는데 이는 배출되는 PM의 양이 두 엔진 모두 매우 낮아 PM을 포집한 여지의 무게 변화에 큰 영향을 받음
- 최종 시험결과 두 엔진 모두 Interim-Tier-4 배기수준을 만족함

<표 4-51> K42 및 854E-E34TA 엔진 NRSC 시험결과

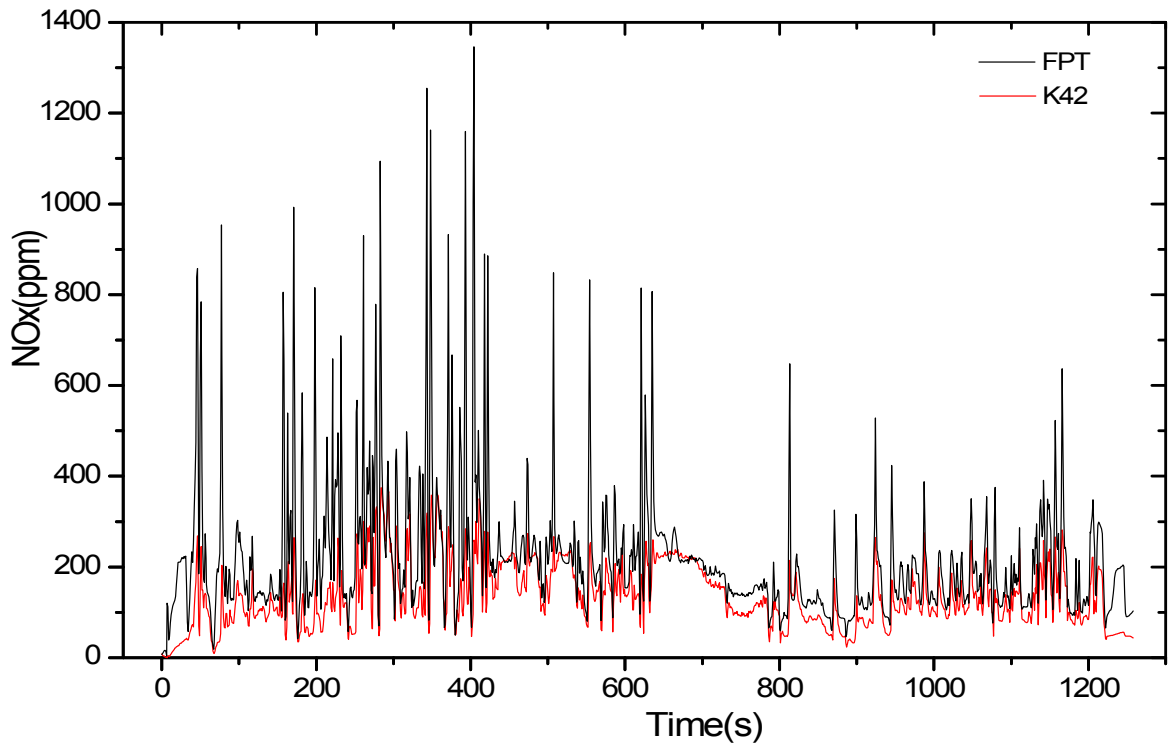
Engine	Emission(g/kWh)					
	CO ₂	CO	THC	CH ₄	NO _x	PM
K42	894.92	0	0.047	0.01	3.228	0.014
854E-E34TA	754.71	0	0.014	0.002	2.532	0.0095

(나) NRTC 시험결과 비교

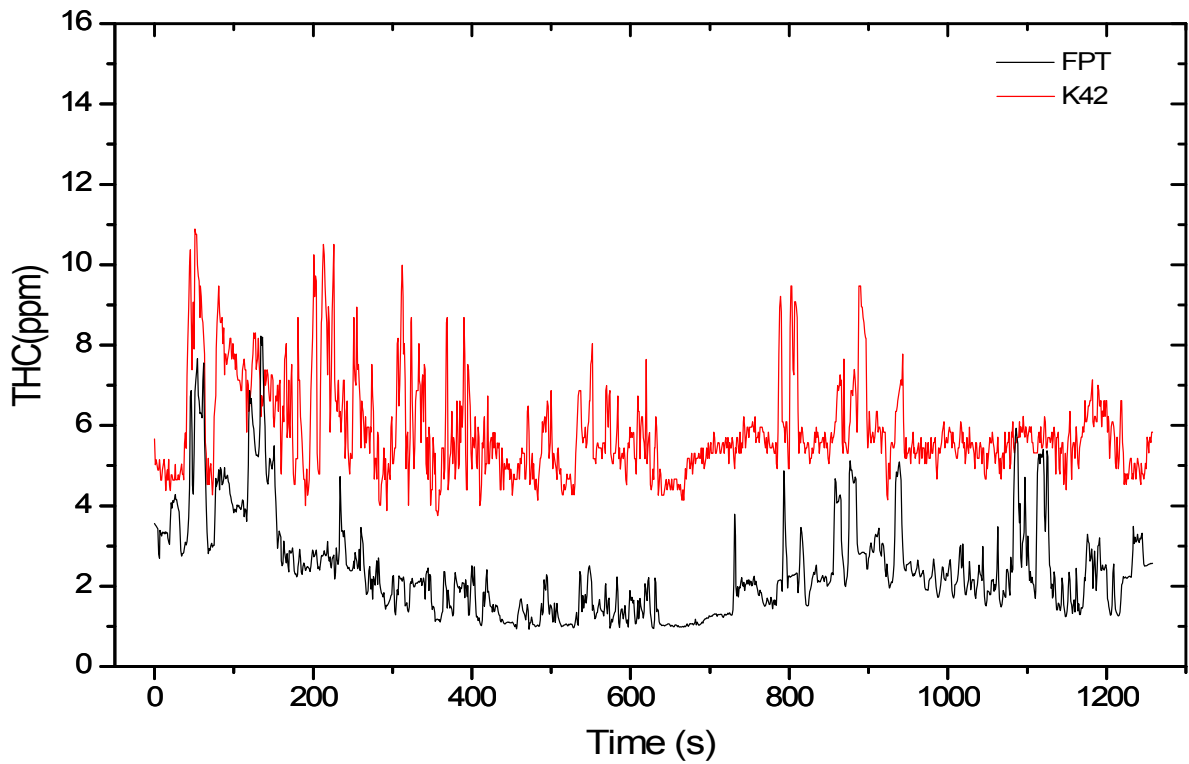
- 엔진의 최대 출력의 특성 차이로 854E-E34TA 엔진과 K42 엔진의 토크 시험조건이 상이하하며, 운전 경향은 서로 유사함
- 시험 모드 중 NO_x 배출량은 K42 엔진의 경우 전 운전영역에서 약 400ppm 미만으로 배출되었으며, 854E-E34TA 엔진의 경우 부하조건이 급변하는 경우 1,000ppm 이상의 NO_x가 배출됨. 이는 두 엔진의 EGR 동작이 영역과 EGR 율이 서로 상이하기 때문임.
- THC 배출의 경우 854E-E34TA 엔진은 시험모드 전 구간에서 약 5ppm 미만으로 배출되었으며, K42 엔진의 경우 약 11ppm 미만으로 배출됨. 이는 두 엔진의 EGR 동작 및 후처리장치의 성능차이로 854E-E34TA 엔진의 후처리장치의 정화율이 더 우수하다고 판단됨
- 두 엔진의 O₂ 및 CO₂ 배출특성과 연료소모율 및 흡입 공기량을 비교해 볼 때 NRTC 시험모드 중 K42 엔진이 854E-E34TA 엔진 보다 더 희박연소 조건으로 동작함
- 연료소모율의 경우 급 부하변동조건에서 K42 엔진의 소모율은 비교적 안정적인 반면, 854E-E34TA 엔진의 경우 심하게 변동됨
- NRTC 시험모드 최종시험결과 두 엔진 모두 interim-Tier-4 규제를 만족하며, NO_x의 배출은 시험모드 중 NO_x 배출량이 더 높았던 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진에 비해 약 0.3g/kWh 낮게 나오는데 이는 엔진의 출력 차의 결과임



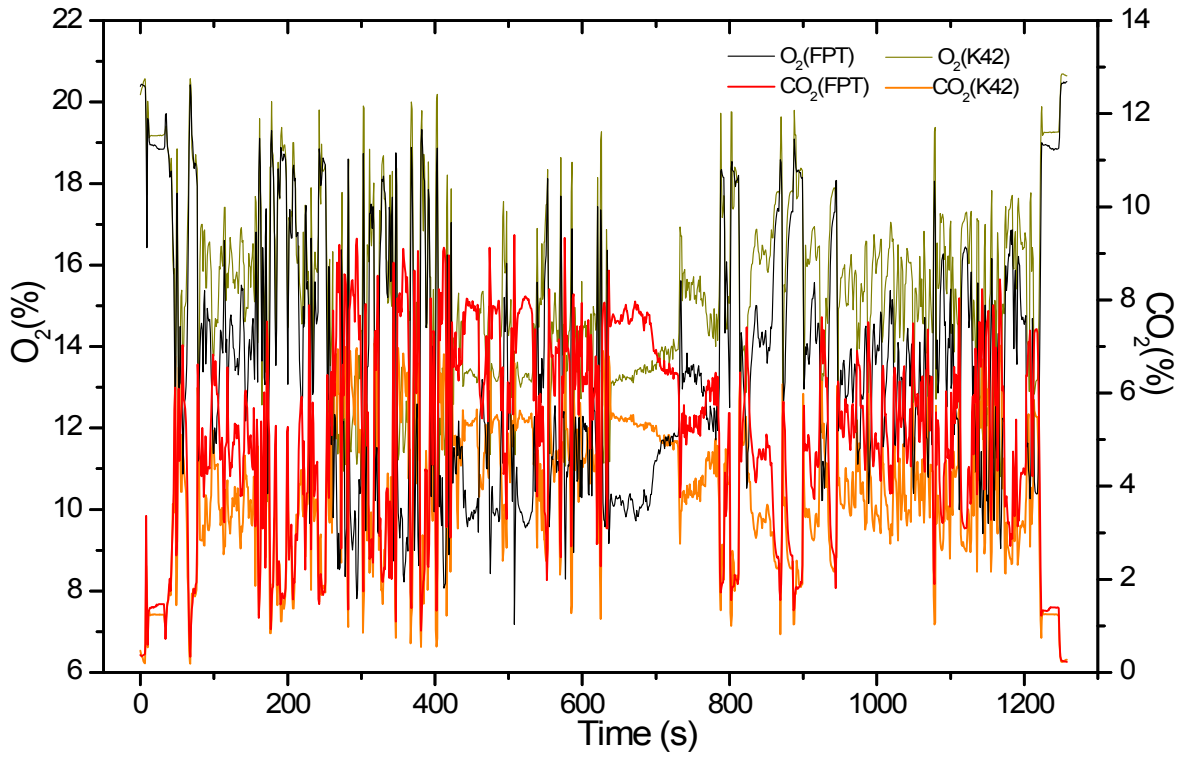
<그림 4-104> NRTC 사이클 출력 비교결과



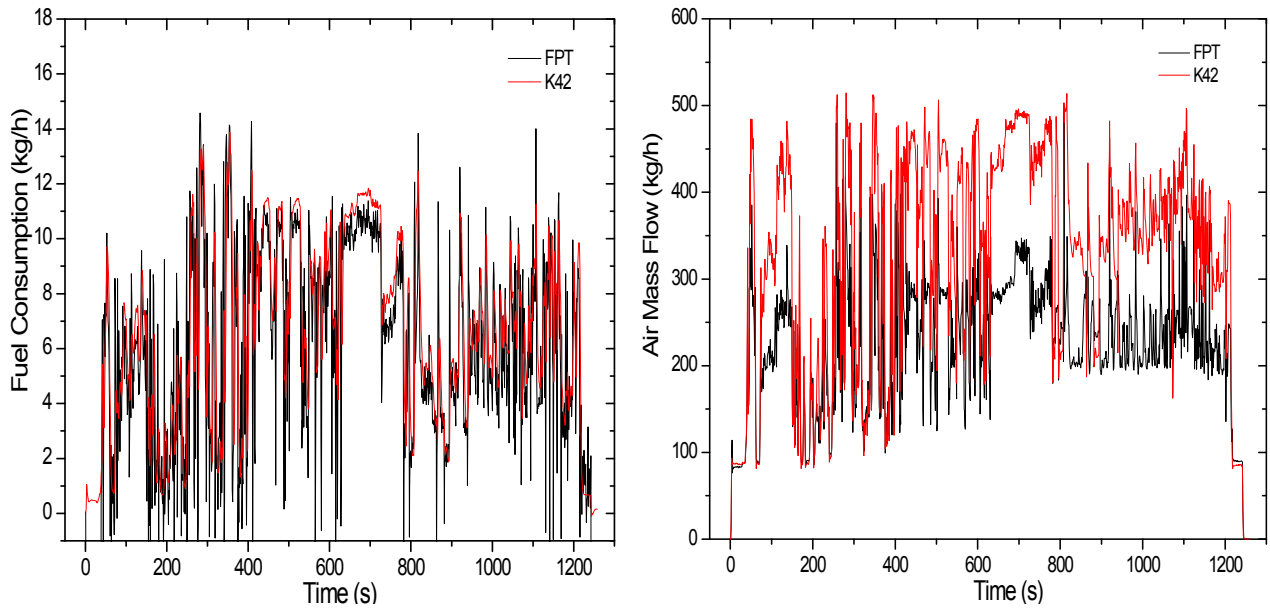
<그림 4-105> NRTC 사이클 NOx 배출 비교결과



<그림 4-106> NRTC 사이클 THC 배출 비교결과



<그림 4-107> NRTC 사이클 O₂ 및 CO₂ 배출 비교결과



<그림 4-108> NRTC 사이클 연료소모율 및 흡입공기량 비교결과

<표 4-52> K42 및 854E-E34TA 엔진 NRTC 시험결과

Engine	Emission(g/kWh)						
	Mode	CO ₂	CO	THC	CH ₄	NO _x	PM
K42	P1	954.105	0	0.042	0.016	3.162	0.009
	P2	951.329	0	0.037	0.013	3.333	0.008
	Total	951.468	0	0.037	0.013	3.325	0.008
854E-E34TA	P1	797.97	0	0.011	0.004	3.002	0.011
	P2	787.55	0	0.013	0.005	3.002	0.009
	Total	788.07	0	0.013	0.005	3.002	0.010

(4) 최종 비교 시험결과

- K42 엔진과 854E-E34TA 엔진 출력 및 BSFC 시험결과 두 엔진의 출력은 비슷한 수준임
- 토크 출력특성의 경우 전 운전영역에서 854E-E34TA 엔진이 300Nm 이상으로 높게 나타나 트랙터 운전 특성에 더 적합함을 확인하였으며, 단위 출력당 연료소모율 또한 854E-E34TA 엔진이 더 우수함을 확인함
- NRSC 및 NRTC 시험모드를 통한 배기수준 분석결과 두 엔진 모두 interim-Tier-4 배기수준을 만족하며, 854E-E34TA 엔진이 K42 엔진보다 NO_x 배출이 더 적게 배출됨

나. 최적화 시스템의 배압/배기온도 및 재생시기/주기 평가 시험

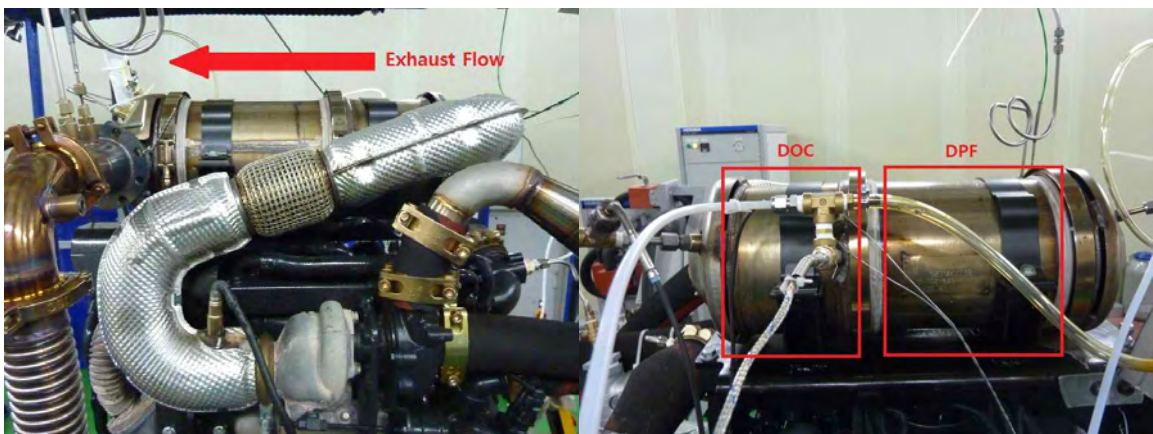
최종 시스템에 장착된 DPF의 BPT 시험을 수행하여 DPF의 기본성능을 분석하고, 최적화 시스템의 실차 적용성 검증을 위한 엔진 전 운전영역에서 DPF 시스템의 배압 및 배기온도를 측정하여 시스템의 성능을 분석함

(1) BPT 시험

- DPF 재생성능을 평가하기 위한 재생평형온도(BPT:Balance Point Temperature) 시험을 수행함
- BPT는 엔진 운전조건을 조금씩 변화시켜 엔진에서 배출되는 PM량보다 DPF에서 산화되는 PM량이 더 높은 엔진의 운전영역에 대한 배기온도의 값임
- BPT에 영향을 미치는 큰 요소는 엔진의 PM 배출 특성과 DPF의 정화 효율 그리고 loading된 PM의 저온산화에 가장 큰 요소인 DOC 촉매의 NO₂ 전환 효율이다.

(가) 시험방법

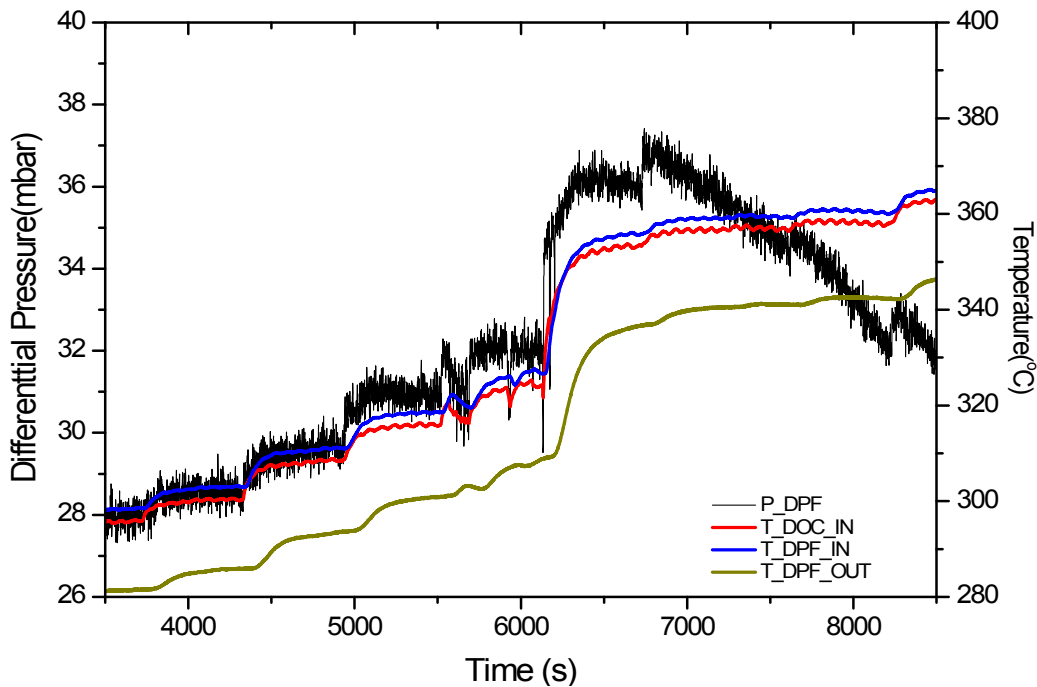
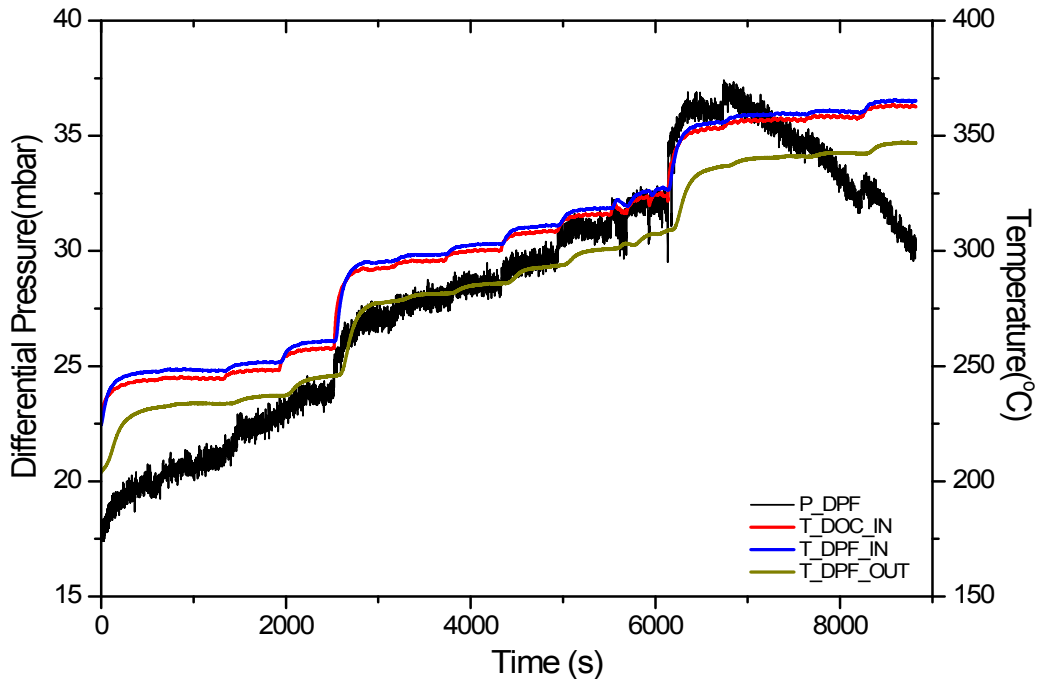
- 최종 시제품의 BPT 조건을 찾기 위해 DOC 입구온도가 200℃ 조건에서부터 alpha 값을 조금씩 증가시켜 DOC 전단 온도를 증가시킴
- 시험엔진의 회전속도는 1400rpm 조건에서 진행하였으며, 한 조건당 10분씩 유지하여 배기온도 및 배압을 측정함
- 후처리시스템의 온도 측정은 DOC 입구 / DPF 입구 / DPF 후단에서 측정하였으며, 압력은 DPF 전/후단에서 측정함



<그림 4-109> DPF 형상 및 온도 / 압력 센서 설치부

(나) 시험결과

- BPT 측정 결과 DOC 전단의 온도가 250°C ~ 350°C까지 PM이 필터에서 재생되지 않고 포집되어 배압이 증가하였으며, 353°C에 도달하면서 DPF 내부에서 PM이 재생되기 시작하여 차압이 감소함
- 따라서, 최종 시제품의 재생 평형 온도는 353°C임을 확인함



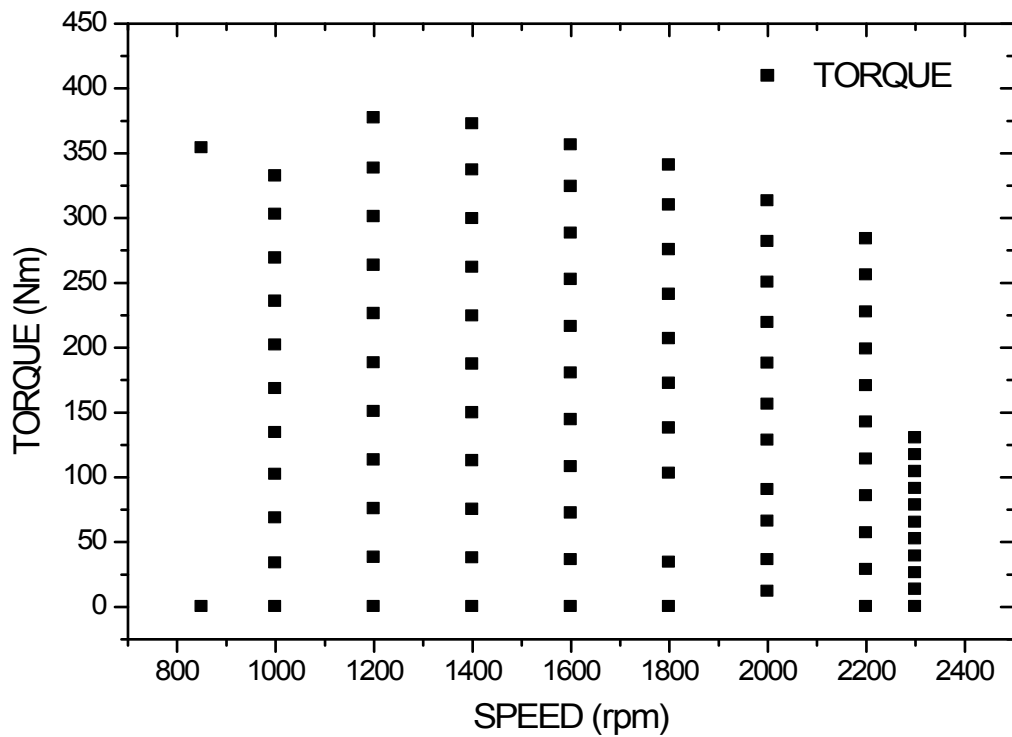
<그림 4-110> BPT 시험결과

(2) 전 운전영역(Torque map) 시험

- 854E-E34TA 엔진의 기본 성능 및 실차 적용성 검증을 위하여 엔진 전 운전영역의 엔진 출력 / 배기온도 / 배출가스농도 / 연료소모율 / DPF 시스템의 배압 및 배기온도를 측정하여 시스템의 성능을 분석함

(가) 시험방법

- 854E-E34TA 엔진의 전부하시험 결과로 나타난 엔진회전속도별 최대 토크 값을 100%기준으로 시험을 진행하였으며, 엔진의 운전 영역은 아이들 조건인 850rpm부터 2,300rpm까지 총 9 점의 엔진회전속도로 나눠 시험함
- 또한 아이들을 제외한 각 운전영역별 최대토크 값의 0~100%까지 총 11 점의 부하조건으로 나눠 시험 하였으며, 아이들 조건에서는 0%와 100% 조건만 시험함
- 각 운전조건의 유지시간은 총 10분으로 9분 안정화 후 마지막 1분 동안 측정한 값들의 평균을 시험결과로 나타냄



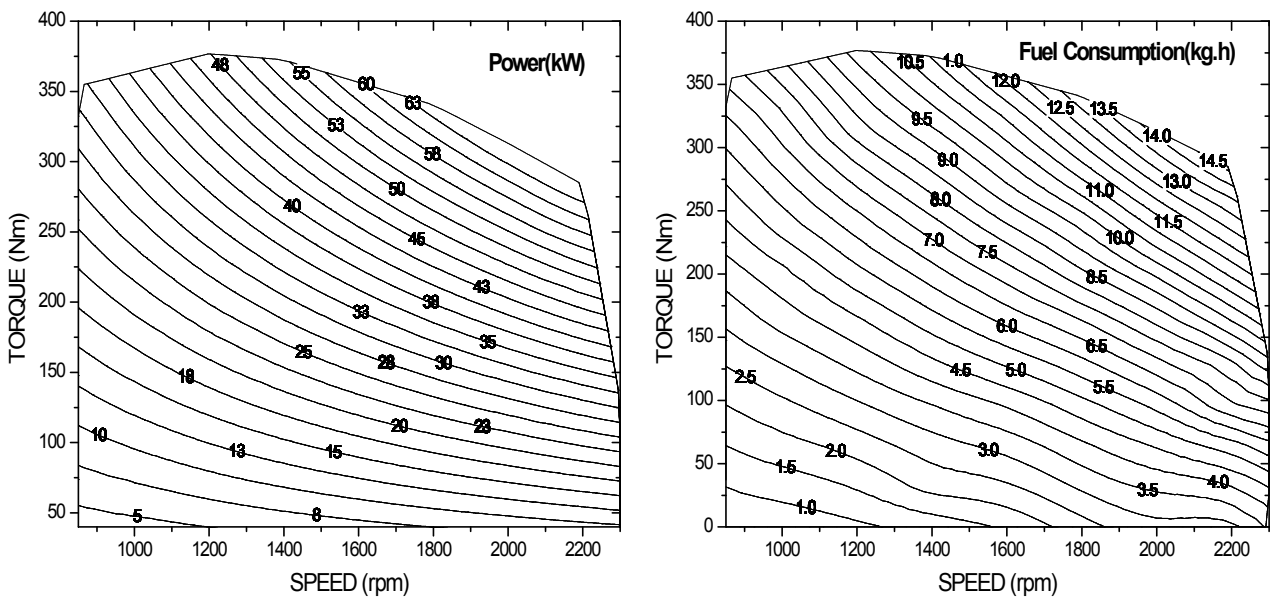
<그림 4-111> Torque map 시험조건

(나) 시험결과

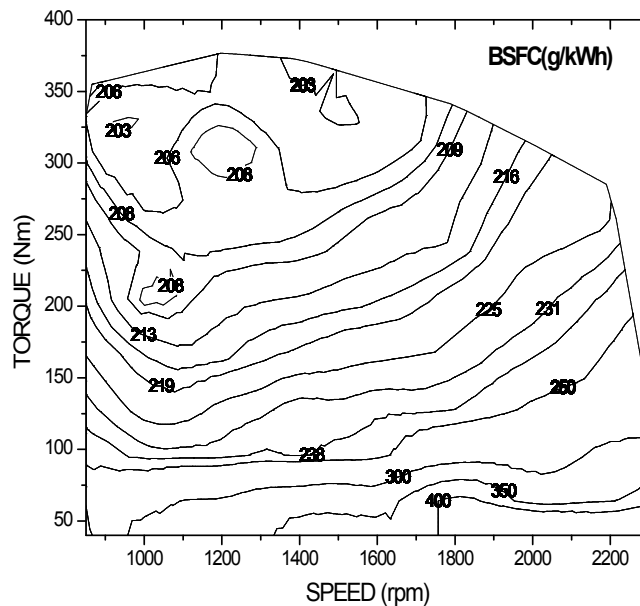
- 854E-E34TA 엔진의 Torque map 시험조건에서 출력 /연료 소모율 /배출가스농도 및 배기조건에 대한 결과는 아래와 같다

① 출력 및 연료 소모율

- K42 엔진과 유사하게 전 운전영역에서 높은 토크 특성을 나타냈으며, 정격출력은 65kW @ 2200rpm이며, 최대 토크는 377Nm @ 1,200rpm에서 발생함
- BSFC(Break Specific Fuel Consumption) 시험결과는 1,400rpm의 100% 부하조건에서 약 202g/kWh로 단위출력 당 연료소모율이 가장 낮았으며, 최대출력 점에서는 224.5g/kWh / 최대 토크 점에서는 206g/kWh로 나타남



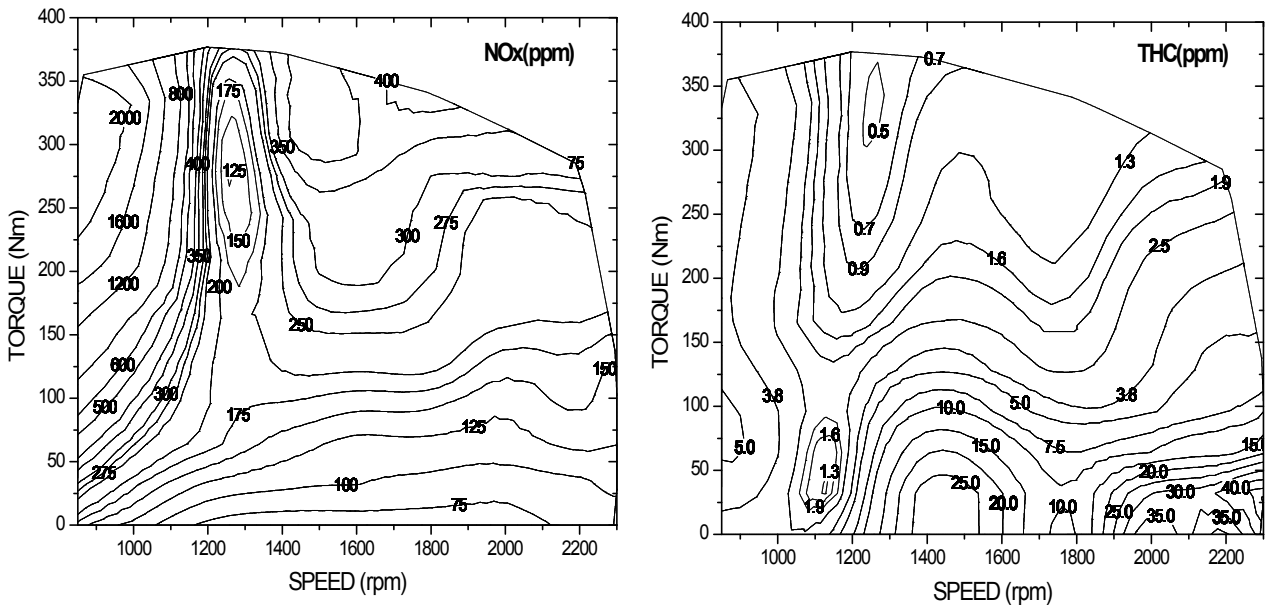
<그림 4-112> 854E-E34TA 엔진 출력 및 연료소모율 시험결과



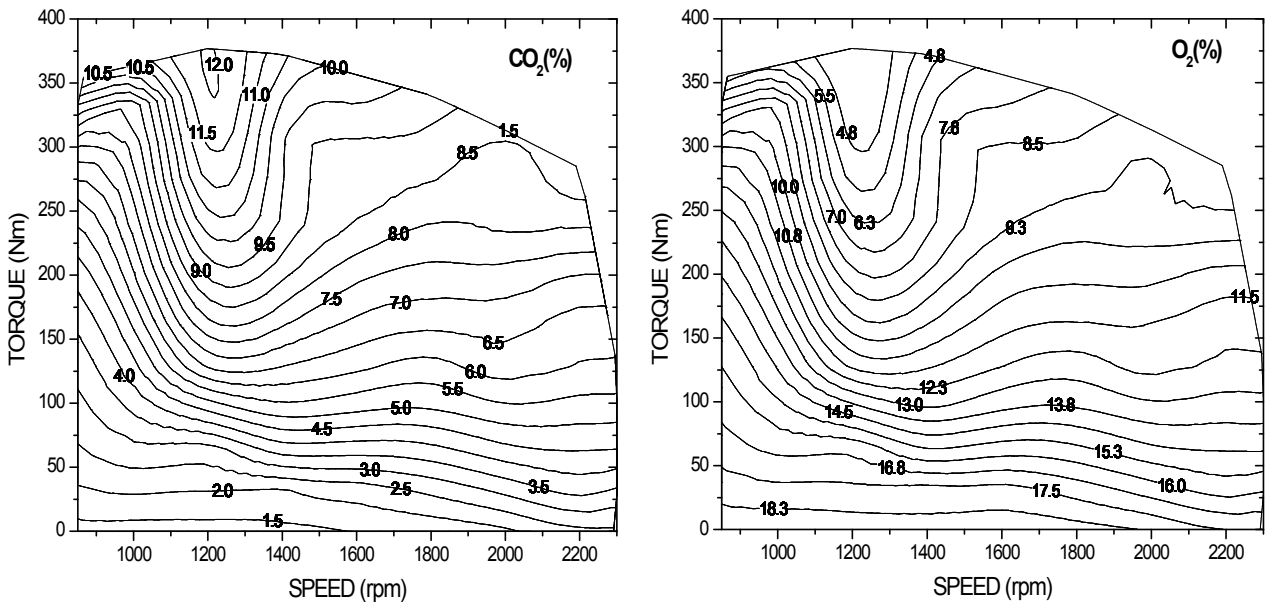
<그림 4-113> 854E-E34TA BSFC 시험결과

② 배출가스

- 854E-E34TA 엔진 후처리장치를 통과한 THC 배출특성은 전 운전 영역에서 약 20ppm으로 낮았으며 고속 저부하조건에서 약 40ppm 수준으로 배출되었으며, DOC 및 DPF의 높은 정화효율을 확인함
- NOx 배출특성은 1,200rpm 이하의 운전조건에서는 EGR 동작을 하지 않아 최대 2,000ppm으로 높게 배출되었으며, 저속 고부하 조건을 제외한 구간에서는 최대 400ppm 미만으로 배출됨
- CO 배출특성은 DOC 및 DPF에 의해 모두 산화되어 촉매 활성화 온도 이상의 조건에서는 0ppm 배출됨



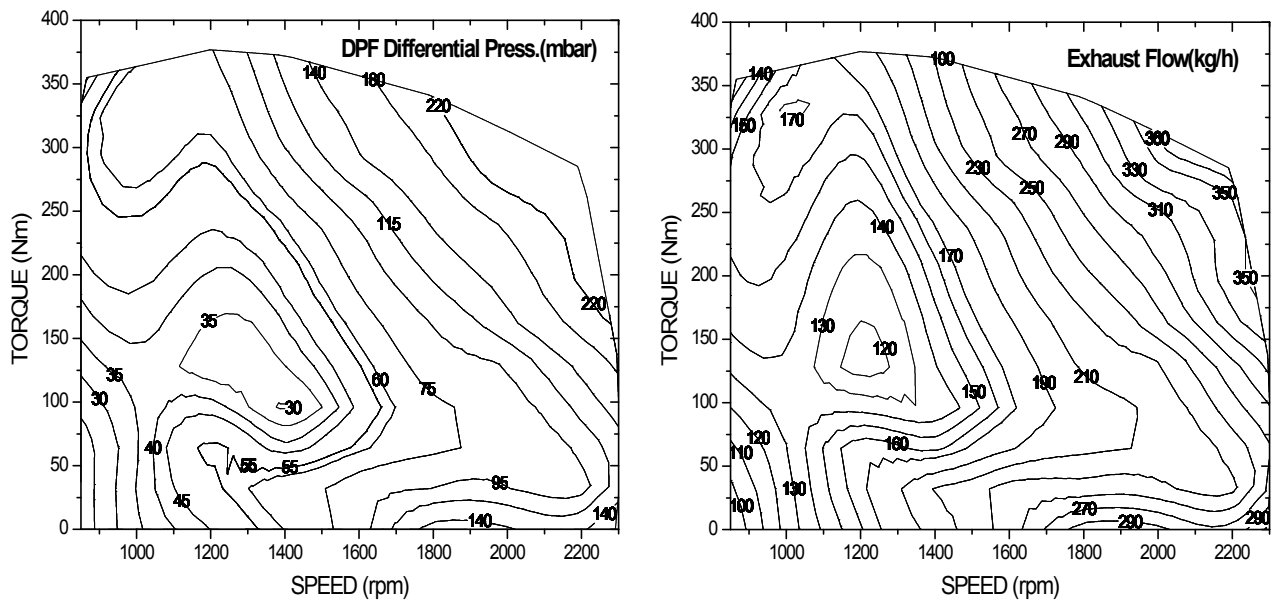
<그림 4-114> 854E-E34TA NOx 및 THC 배출 시험결과



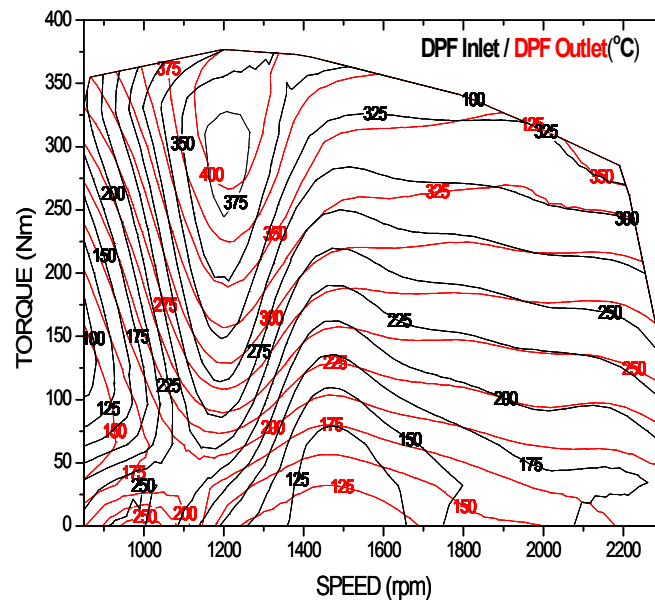
<그림 4-115> 854E-E34TA CO₂ 및 O₂ 시험결과

③ 배기조건

- 854E-E34TA 엔진의 DPF 차압 및 배기유량 확인결과 위에서 언급하듯 저속조건에서 EGR 동작을 하지 않아 DPF 차압 및 배기유량이 높음을 확인함
- 854E-E34TA 엔진의 배기온도 조건 분석결과 DPF의 자연재생 온도조건가 350°C임으로 최대 토크 운전영역이상 조건에서 300Nm 이상의 부하조건에서 자연재생이 이루어질 것으로 예상됨
- 최대 토크 점에서의 DPF 입구 및 후단의 온도는 386°C / 420°C이며, 최대 출력점에서 341°C / 369°C로 최대 토크 점의 배출가스 온도가 더 높으며, PM을 재생시키기 충분한 온도임



<그림 4-116> 854E-E34TA 엔진 DPF 차압 및 배기유량 시험결과



<그림 4-117> 854E-E34TA 엔진 DOC 및 DPF 배기온도 시험결과

(3) 최적화 시스템의 재생평가 시험

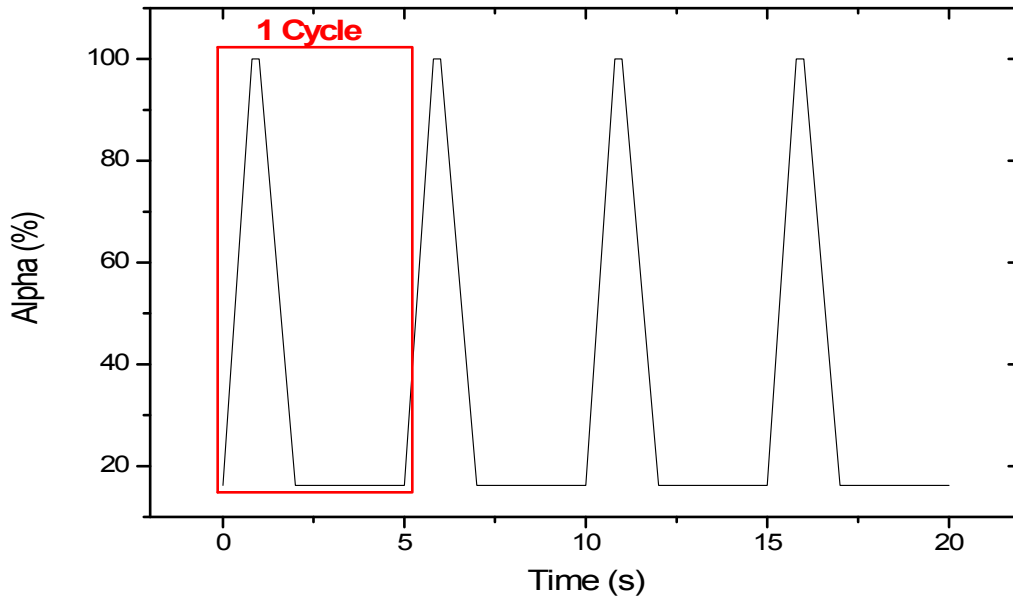
- DPF 시스템의 로직 검증 및 성능을 분석하기 위하여 특정 운전조건들을 선정하여 강제적으로 soot을 로딩(loading) 후 강제 재생이 일어나는 조건을 분석하여 DPF 재생 로직을 평가함

(가) 시험방법

- 최종시제품(854E-E34TA) 후처리장치시스템의 강제적으로 soot을 로딩하기 위하여 배기유량, 배기온 및 운전 조건 등을 고려하여 다음과 같이 선정함

① A : Transient 모드

- Transient 시험조건은 엔진의 부하조건을 짧은 시간에 변화시켜, 연소조건을 악화시켜 soot 배출을 높이기 위한 시험조건임
- Transient 시험조건을 위해 1,400 rpm의 0 Nm(alpha 16.2%) 조건에서 alpha 값을 0.8 초 동안 100%로 급격하게 부하를 올려 0.2 초 유지한 후, 다시 1 초 동안 16.2%로 내리고 배출가스 온도를 낮추기 위해 3초간 유지함
- 위 시험조건을 1 cycle로 정하고 총 600회 수행 후 1,400 rpm의 0 Nm 조건에서 약 10분간 안정화 후 DPF 전후단의 차압을 분석함



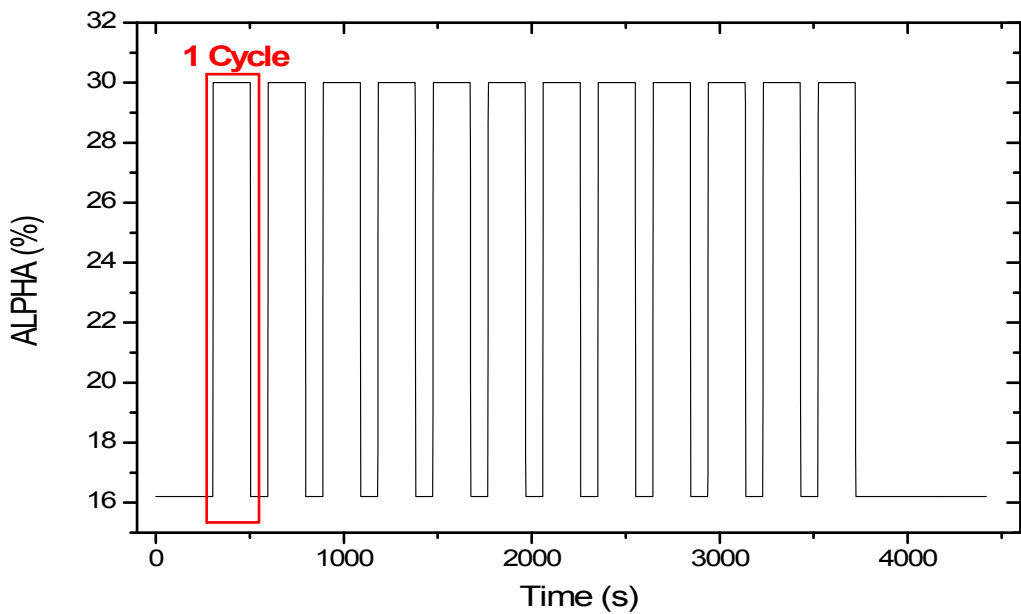
<그림 4-118> A(transient) 시험모드 구성

② B : EGR 모드

- CRDI시스템을 사용하는 엔진 특성상 연소효율이 높기 때문에 DPF 시스템의 BPT 온도조건에 미치지 않는 저부하 조건의 EGR 작동영역에서 시험을 진행함
- EGR 시험조건은 1,400 rpm / alpha 30% 조건의 steady-state 조건으로, 10분 마다 DPF 전후단의 차압을 분석함

③ C : EGR 및 안정화 모드

- EGR 시험조건에서 DOC 전·후단의 온도는 약 250℃이며, DPF 후240℃로 DOC 및 DPF의 온도를 250℃ 이하로 낮추기 위한 안정화 모드를 추가하여 시험함
- 시험조건은 1,400 rpm / alpha 30% 조건으로 200초 동안 운전 후, alpha 값을 16.2%로 내려 90초 동안 배출가스 온도를 내림
- 위 시험조건을 1 cycle로 정하고 총 12회 수행 후 1,400 rpm의 0 Nm 조건에서 약 10분간 안정화 후 DPF 전후단의 차압을 분석함

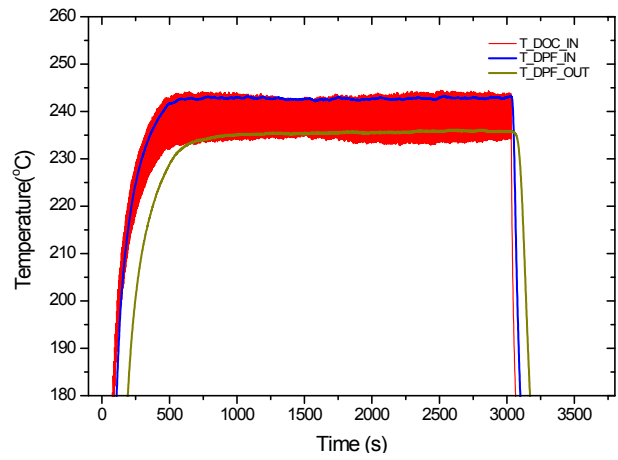
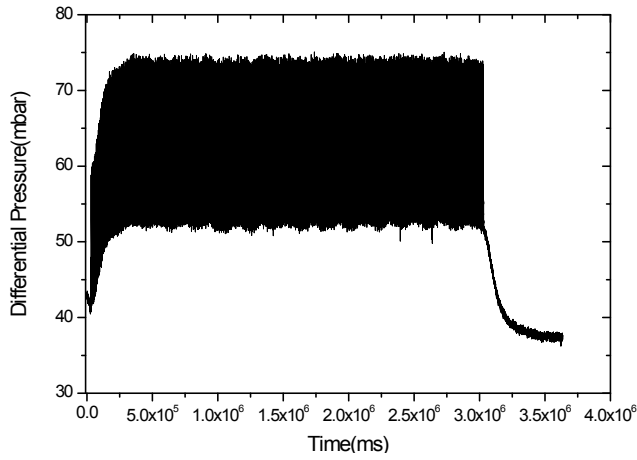


<그림 4-119> C(EGR+안정화) 시험모드 구성

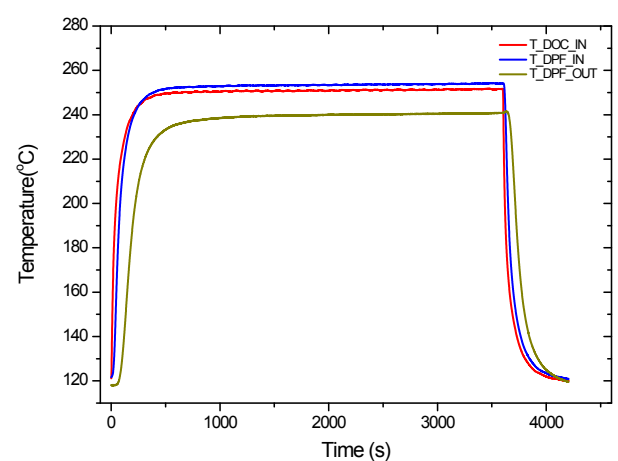
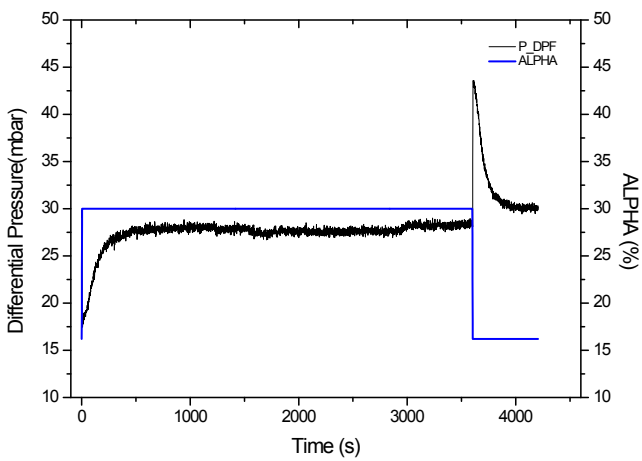
(나) 시험결과

① PM 로딩 시험 결과

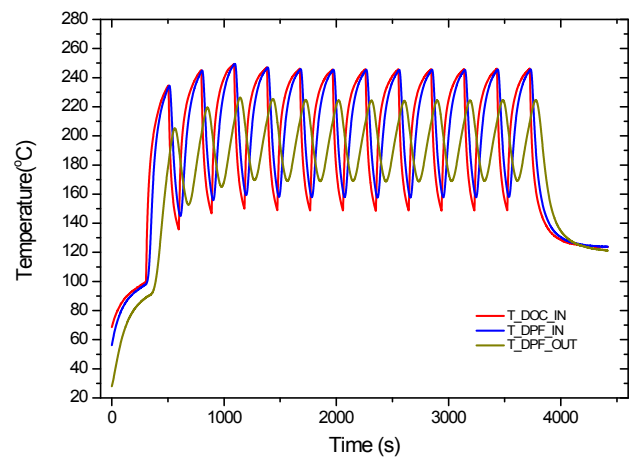
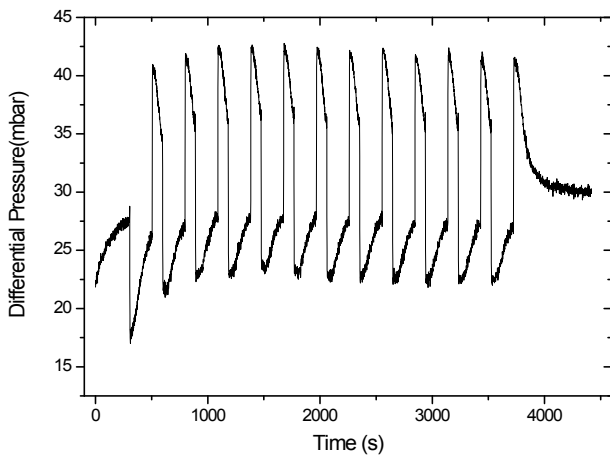
- 선정된 A, B, C 실험 모드 중 엔진의 부하조건이 급변는 A 조건의 경우 이론적으로 엔진 연소상태를 가장 악화 시키는데 실험 모드 수행 중 DPF의 강제재생이 일어날 시 엔진에 손상을 줄 수 있기에 DPF의 차압이 일정한 수치에 도달 후 실험조건을 C 모드로 수행함
- 또한 정속운전조건의 B 모드의 경우 DPF 전·후단의 온도가 250℃ / 240℃로 다른 두 모드의 배기조건 보다 비교적 높았으며, 실험모드 중의 DPF 차압의 변화량이 가장 적음



<그림 4-120> A(transient) 시험모드 및 시험결과

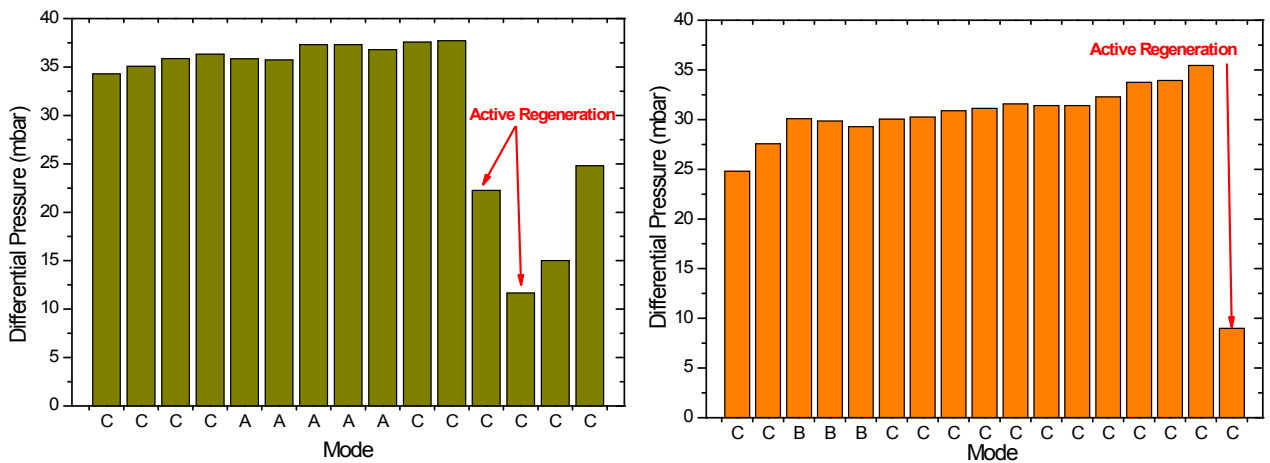


<그림 4-121> B(EGR) 시험모드 및 시험결과



<그림 4-122> C(EGR+안정화) 시험모드 및 시험결과

- 연속적으로 각 실험 모드 수행 후 안정화된 상태에서 측정된 DPF의 1차 차압결과 차압이 37mbar 이상으로 도달 후 차압은 크게 변하지 않았으며, 엔진 EUC에 의한 강제재생이 연속적으로 발생함
- 재생이 일어난 두 조건 모두 C 모드에 APS 30%(토크 115Nm) 조건의 부하영역에서 발생하였으며, 첫 재생 후 DPF의 차압은 약 22mbar로 감소하였으며, 두 번째 재생 후 차압은 11mbar로 감소된 후 다시 차압이 증가함
- 1차 시험 이후의 2차 PM 로딩 실험 결과 1차 재생 이 후 fresh 상태의 DPF 조건에서 차압은 급격하게 증가한 후 약 30mbar에서 증가량이 일정수준으로 유지되다가 다시 급격하게 증가함
- DPF 차압이 35mbar 이 후 강제재생이 발생하였으며, 2차 재생조건은 C 모드에 APS 16.2% (토크 0Nm)조건의 무부하 조건으로 재생 후 DPF 차압은 9mbar로 급격하게 감소함

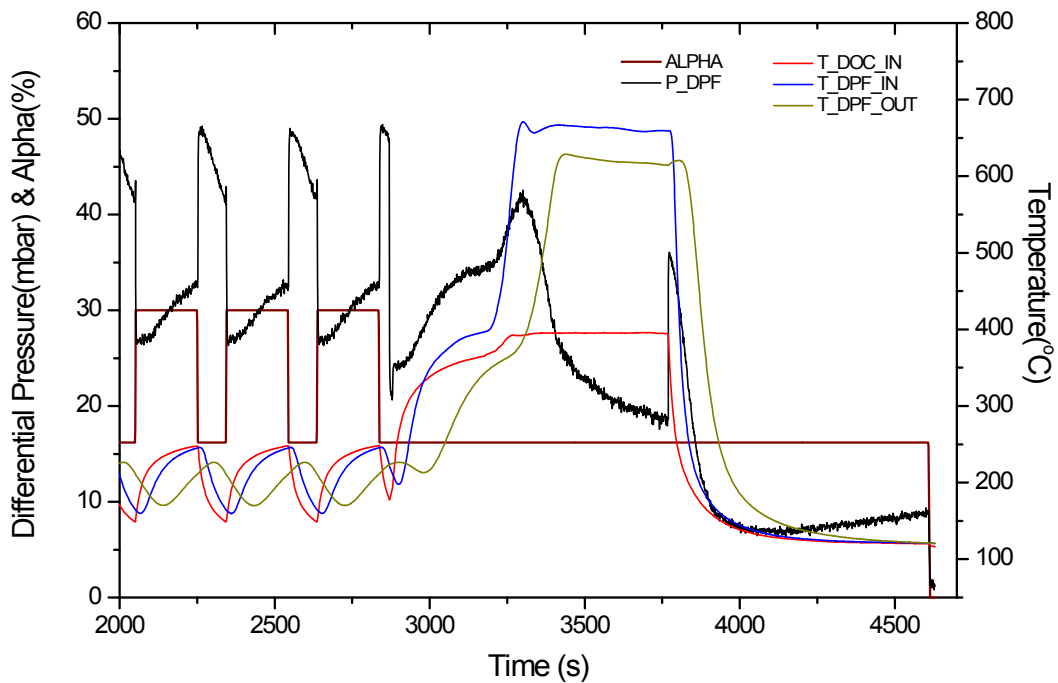


<그림 4-123> PM loading 시험결과(좌:1차, 우:2차)

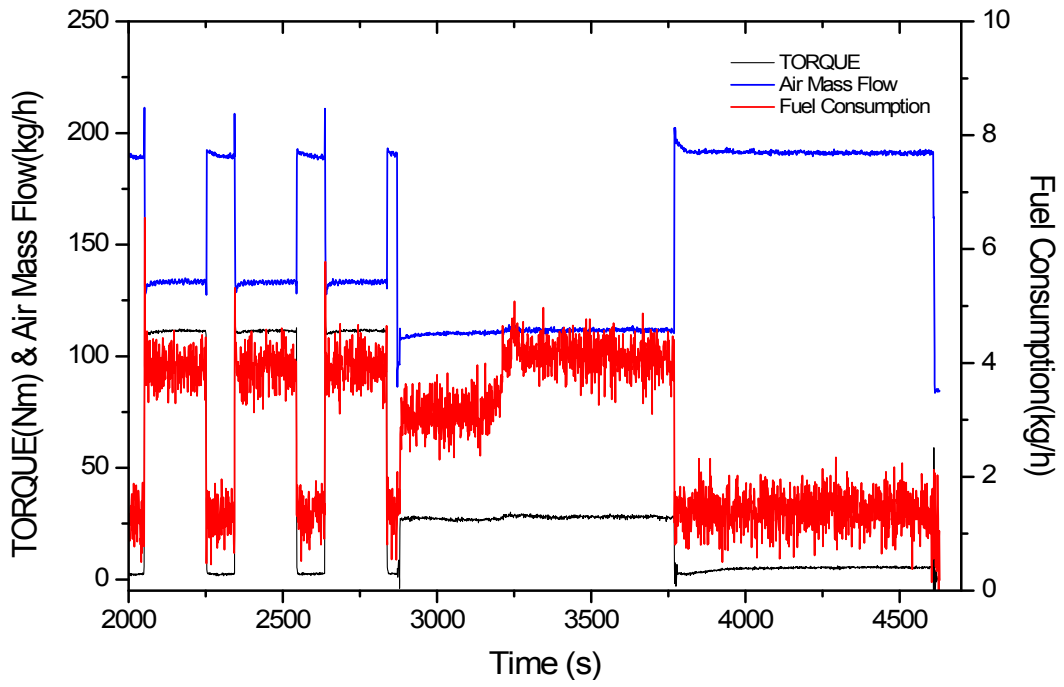
② 강제 재생 결과

㉠ 무부하조건 재생결과

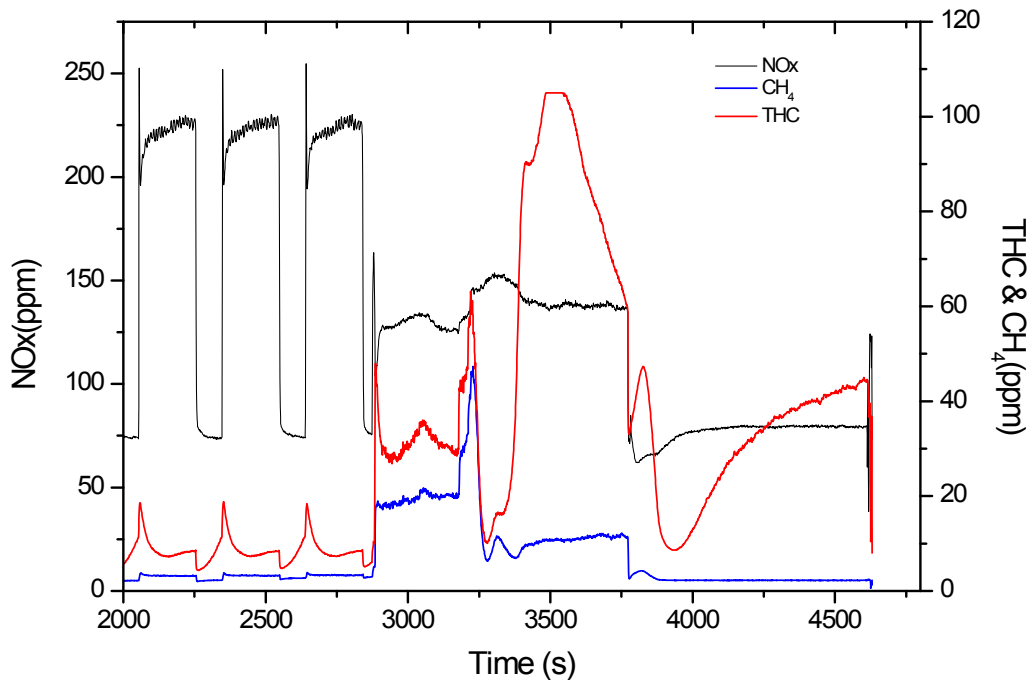
- 무부하조건에서 재생은 총 2단계로 재생이 진행됨
- C 모드의 PM loading 안정화 조건(0Nm, 무부하조건)에서 DOC 전단의 온도는 약 250℃에서 150℃로 감소하는데, 재생이 발생하며 DOC 입구온도는 395℃까지 증가함
- 또한, DOC 후단의 온도는 198℃에서 1단계로 400℃까지 상승하며, 2단계 조건에서 최대 670℃까지 증가하며, DPF 후단의 온도는 1단계 조건에서 BPT 온도인 350℃까지 증가하며, 2단계에서 최대 630℃까지 상승함
- 강제재생 시 흡입공기량은 190kg/h에서 110kg/h로 감소하여 배출가스 분위기를 농후시킴
- 무부하조건에서 연료분사량은 1.5kg/h로 1단계 재생 시 3.2kg/h로 약 2배 정도 증가하였으며, 2단계에서 4.1kg/h로 증가하였음
- 또한 증가한 연료량의 대부분은 후 분사되어 DOC 입구 온도 상승에 큰 영향은 받지 않았으며, DOC에서 산화되어 DPF의 온도를 상승시킴
- 재생시간은 1단계는 약 330s, 2단계는 570s로 총 15분(900s) 동안 진행되었으며 재생 후 차압은 약 35mbar에서 9mbar로 급격하게 감소함



<그림 4-124> 무부하조건 강제 재생 시 온도 및 압력 시험결과



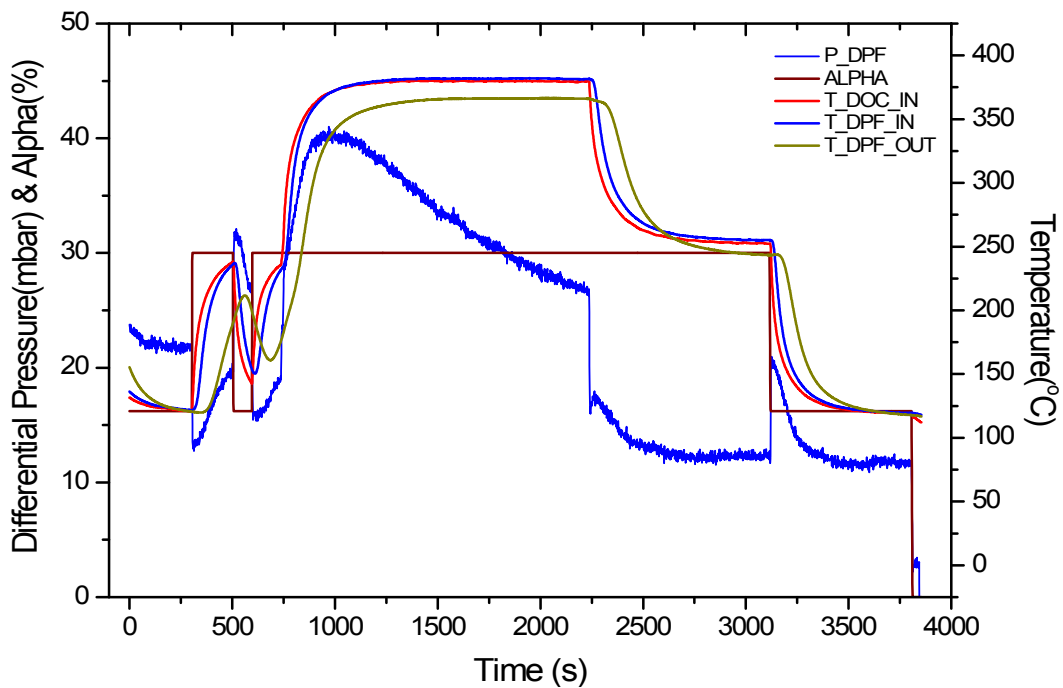
<그림 4-125> 무부하조건 강제 재생 시 흡기공기량 및 연료소모율 시험결과



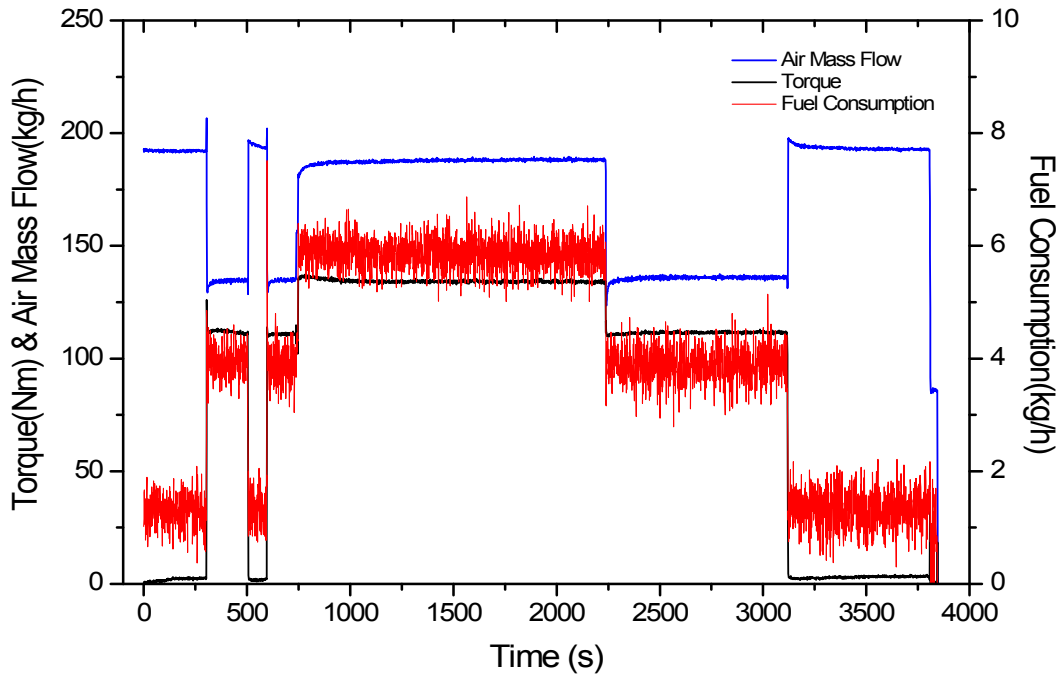
<그림 4-126> 무부하조건 강제 재생 시 배출가스 측정결과

㉔ 부하조건 재생결과

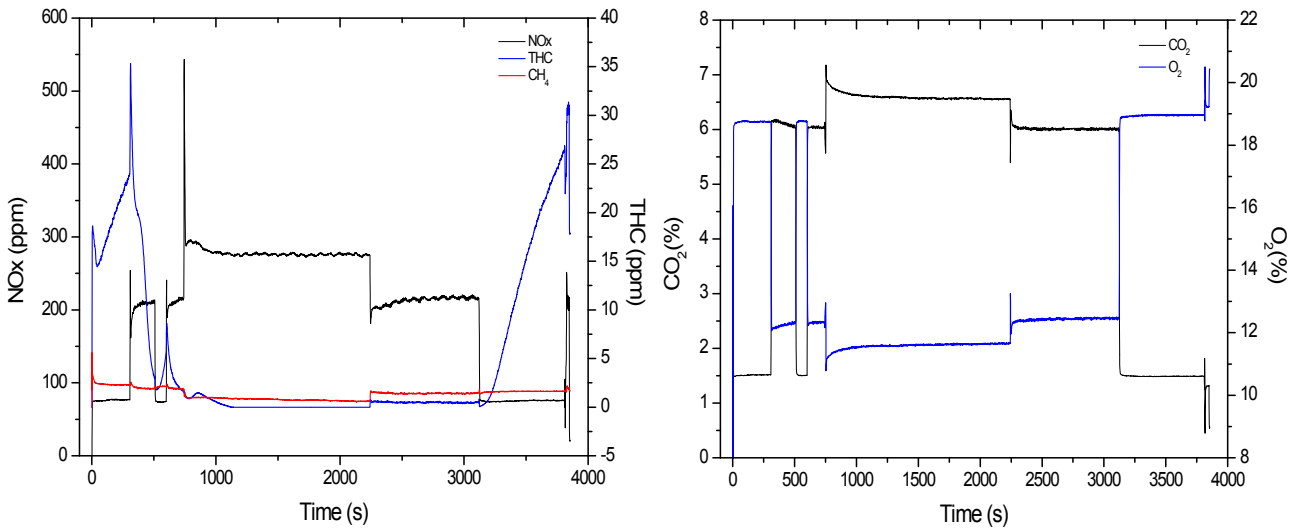
- C 모드의 EGR 운전(110Nm, 부하조건) 중 강제 재생시 DOC 전·후 단의 온도는 약 375℃로 증가하며, DPF 후단의 온도는 350℃로 BPT 온도를 유지함
- 재생 시 흡입공기량은 134kg/h에서 188kg/h로 증가하는데 이는 EGR 동작이 중단되어 흡입공기량이 증가한 것으로 판단되며, 연료분사량은 3.98kg/h에서 5.97kg/h로 분사율이 약 50% 증가함
- 재생 시 연료 분사량 증가에 따라 토크는 111Nm에서 134Nm로 약 20% 증가함
- 재생시간은 총 25분(1500s)동안 진행되었으며, 재생 전·후 차압은 약 11.5mbar임
- EGR 작동조건에서 NO_x 배출량은 210ppm 수준으로 배출되었으나, 재생 시 흡입공기량 증가에 따라 280ppm으로 증가함
- THC 및 CH₄의 배출량은 재생 시 거의 0ppm 수준으로 DOC에서 모두 산화됨
- O₂의 경우 흡입공기량은 증가하였으나, DOC에서 THC와 CO 산화 / DPF에서 loading된 soot을 산화시켜 배출농도는 오히려 감소함



<그림 4-127> 부하조건 강제 재생 시 온도 및 압력 시험결과



<그림 4-128> 부하조건 강제 재생 시 흡기공기량 및 연료소모율 시험결과



<그림 4-129> 부하조건 강제 재생 시 배출가스 측정결과

(다) 최종결과

- 최종시제품(854E-E34TA) 후처리장치시스템의 PM loading을 통한 DPF 재생로직 검증을 위해 엔진 연소상태를 악화시키는 transient, EGR 및 EGR 혼합조건인 A, B, C 시험모드를 선정 및 적용함
- 선정된 시험모드를 통해 최종시제품의 엔진 부하조건에 따른 DPF 재생특성을 검증함
- 부하조건에서 강제재생은 연료 후 분사를 통해 DPF 후단의 온도를 BPT까지 상승시켜 PM 재생이 진행되며, 무 부하조건에서의 강제재생은 DPF 후단의 온도를 BPT까지 상승시킨 후 추가적으로 연료를 더 공급해 DPF 후단의 온도를 600℃ 이상으로 유지하며 PM을 재생됨

제4장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

1. 연도별 연구개발목표의 달성도[대동공업]

배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System을 개발하기 위해 선행조사를 실시하여, 기본 후처리장치 장착 관련 layout 설계 및 제작을 하였다. MHI社 K2엔진을 탑재한 트랙터 4대, 퍼킨스엔진을 탑재한 트랙터4대 총 8대를 제작하여, 각사의 성능시험을 위하여 제공하였다. 엔진룸의 경우 ECU, 및 DPF 장착관련 특허를 출원하였으며, 성능 검증 및 개선활동을 통하여, 최적의 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System을 구현하였다.

2. 연도별 연구개발목표의 달성도[동양물산]

세계 각국의 배기가스 규제 강화(Tier4I, StageIII B)로 인해 볼륨이 큰 배기가스 후처리장치(DPF)가 추가되고 인터쿨러와 VGT(Variable Geometry Turbocharger)등 배기가스 저감을 위한 장치에 의해 엔진 발열량이 증대되어 기존 양산, 수출중인 트랙터의 냉각 시스템을 적용하는 데는 많은 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 선행조사를 실시하여 냉각 시스템이 적절하게 구성되어 졌는지를 평가하기 위한 평가항목과 평가기준을 설정하였다. 이 기준을 근거로 Cooling System에 대한 실차 적합성 평가를 수행하여 개선안을 도출하였으며 최종 시제품의 신뢰성을 확보하였다. 본 과제를 수행하면서 Cooling System의 최적화 설계 기술 및 엔진 룸 Air Flow 최적화 설계 기술을 확보하였다.

3. 연도별 연구개발목표의 달성도[국제종합기계]

배기가스 규제 만족을 위하여 작업환경변화에 따른 후처리 매칭기술에 대한 선진 기술의 동향 및 국내의 업체의 배기 가스 저감 기술을 조사하였다. 이러한 조사를 토대로 트랙터의 주행 및 작업(로터리, 쟁기) 운전 패턴을 분석, 평가하였다. 운전 패턴 평가의 결과를 바탕으로 실 작업시의 Soot 축적량 측정을 실시하였으며, 최종적으로 작업시 재생 여부에 대한 가능성 여부를 확인하여서 재생 방식에 대한 결과를 도출하였다. 이러한 결과를 토대로 작업 환경 및 운전 패턴에 따른 후처리장치 매칭 기술을 확보하였다.

4. 연도별 연구개발목표의 달성도[LS엠트론]

Tier-4 규제 만족을 위한 Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가 기준에 대한 기술 정보 조사를 실시하여 이를 바탕으로 실차 조건 평가 항목 및 기준을 설정하였다. 이 기준을 근거로 시제품에 대한 시험 및 실차 모사 조건 성능 및 동특성 평가를 통하여 매칭 성능을 평가하고, 개선안을 도출하였으며, 최적화된 최종 시제품의 실차 평가를 통해 신뢰성을 확보하였다. 최종적으로 Vehicle Calibration 및 신뢰성 평가에 대한 시험 평가 기술을 확보하였다.

2. 기술발전 기여도

본 과제를 통하여 Tier-4 탑재관련 특허를 다수 취득하였으며, 선진사와의 기술경쟁이 가능할 것으로 예상된다. 또한, 국내 4사(대동공업, 동양물산, 국제종합기계, LS엠트론)가 공동으로 Tier-4엔진 탑재기술을 개발함으로써, 중복개발을 피할 수 있을 뿐만 아니라, 4개사가 공용으로 부품을 사용함으로써, 가격경쟁력이 향상될 것으로 기대된다.

주요 수출국인 미국은 2012년에서 2013년으로 1년 flexibility 기간이 이루어지며, 2015년부터는 final Tier-4엔진을 적용해야 된다. 본 과제를 통하여 2013년 Tier-4엔진을 탑재한 트랙터를 개발하여, 주 수출국인 미국에 수출이 가능해 질뿐만 아니라, 중저가 업체와의 기술격차를 벌리고 선진사와의 기술 격차를 줄일 것으로 기대된다.

기술적인 측면에서는 Tier-4 탑재 핵심 기술 및 부품 개발로 기존의 설계 기술에 획기적인 기술적 진보를 이루었다. 그리고 다른 농기계와 중장비분에도 Tier-4엔진 탑재 기술을 접목하여, 다른 유사 분야에서도 환경규제에 따른 대응에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

중저가 업체와의 기술격차로 미국 및 유럽의 M/S을 점진 적으로 확대될 것이며, 비교적 부가가치가 높은 고마력 트랙터를 수출함으로써, 수출증대와, 국내 농기계 업체의 가격적, 기술적인 경쟁력을 확보할 것으로 기대 된다.¹

제5장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

Tier-4 고마력 엔진 탑재 기술을 이용하여, 배기가스 후처리장치 장착을 위한 Packaging System 기술, Cooling System 개발, 엔진룸 Air Flow 최적화기술, 작업환경 변화에 따른 후처리장치 매칭기술 그리고 Vehicle Calibration 기술과 신뢰성 평가 기술을 이용하여, 콤바인, 이앙기와 같은 다른 농기계 분야에서 Tier-4 고마력 엔진 탑재기술을 활용될 수 있다. 그 밖에 굴삭기, 지게차와 같은 중장비에 기술을 활용 할 수 있을 뿐만아니라 본 과제를 통하여 개발된 기술들은 특허 및 실용신안으로 산업재산권을 획득하여, 기술적인 측면에 선진사와의 기술 격차를 줄일 수 있었다.

Cooling system 경우 4개사 공동으로 사용함으로 과도한 개발비를 방지하였다. 또한 Cooling System을 최적화하기위해 열적 해석을 통해 Air flow를 분석함으로써, Tier-4엔진의 전체 냉각시스템의 최적화 기술을 이룩하였다. 후처리장치매칭 기술은 작업환경 변화에 따라 전자적으로 Tier-4엔진을 통제하는 기술이다. 작업환경에 따라 ECU에 의해 흡입공기량, EGR을 및 연료분사량을 제어하여 배출가스를 최적화 시켰으며, 운전조건에 따른 DPF의 재생조건을 통제함으로, 배기가스의 최소화할 수 있는 매칭기술을 개발하였다. 또한 Vehicle Calibration 기술을 개발하여 후처리시스템의 DPF 재생로직 특성을 검증할 수 있는 기술을 개발하였으며, 진동 및 소음 특성 평가 기술을 이용하여, 탑재 상태의 동특성을 평가할 수 있는 기술을 개발하였다. 마지막으로 Packaging system 기술 개발을 통하여, Tier-4 엔진을 위한 최적의 엔진룸 layout을 구성하였다. 그리고 Tier-4엔진에 최적화된 전자장치 선정 및 개발을 하였으며, Tier-4엔진 탑재에 대한 기본적인 guideline을 정립함으로써, 향후 관련 기술 개발에 많은 도움을 줄 것이다.

결과적으로, 개발된 Tier-4 고마력 엔진 탑재 기술은 국내외에 친환경 트랙터를 공급함에 따라, 농기계 산업의 기술적 진보를 이룩하였다. 또한, 농민에게 인체에 유해한 물질로부터 최대한 차단시킬 수 있으며 배기가스에 민감한 작물이나, 가축에게도 유해물질로부터 보호를 받을 수 있게 되었다.

본 과제로 통하여, 농기계의 획기적인 기술적 진보와 세계가 주목하고 있는 환경적인 문제를 해결함으로써, 대한민국 농기계의 기술적 환경적인 측면에서 선진사와의 경쟁이 가능하게 되었다. 무엇보다도 타 분야에서 적용되는 Tier-4 탑재 기술에 하나의 guideline으로 적극 활용 될 수 있을 것이다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 과제 수행 시 기술적으로 가정 어려웠던 부분은 농기계분야에서 Tier-4엔진을 탑재한 기술에 대한 정보가 전무하다는 것이다. 실제 농기계 선진 업체들은 최근 들어서야 Tier-4엔진을 탑재한 트랙터를 출시하고 있다. 단지 자동차 분야에서는 DPF에 대한 기술이 발달하여, 선진 자동차 및 국내 자동차 업체에서 개발 및 구현하고 있다. 하지만 자동차는 운송수단이지만 농기계는 작업기이기 때문에, 환경적인 변수 및 구조가 매우 상이하어, 기본 기술은 유사하나, 탑재 및 접근 방법이 매우 상이함으로, 기술조사의 한계가 있었다.

현재 해외 자동차분야에서는 자가진단기능의 2세대 커먼레일 분사시스템 및 E-VGT(전자제어 가변 터보차저)을 적용 하고 있으며, 고강도 주철(CGI: Compacted Graphite Iron) 실린더 블록의 내구 신뢰성 및 경량화 기술 보유하고 있다. 또한 냉시동을 위한 급속 승온 기능의 전자제어식 특수 예열 장치 및 PM 저감을 위한 CPF 시스템 적용하고 있다.

해외 농기계 선진업체중에서는 구보다, 안마, 미쓰비사는 NOx 저감을 위한 Cooled-EGR, PM 저감을 위한 CCRT(DOC +CDPF) 후처리 기술 적용하고 있다. 안마는 냉시동을 위한 2-stage Rack position control 기술 확보하고 있으며, 미쓰비사 경우에는 DPF 재생을 위한 전자 제어 기술 보유하고 있다.

본 과제로 통해 미쓰비사, 퍼킨스 Tier-4 엔진을 통해 두 회사의 Tier-4에 대한 기본 탑재 기준 및 특성에 대한 정보를 득함으로써, 기본적인 Tier-4엔진 탑재에 대한 Guideline 및 평가 기술을 개발할 수 있었다. 아직 농기계에서는 Tier-4엔진 탑재 기술이 초기단계이지만, 향후 본 과제에서 나온 결과물을 기반으로 더욱더 진보된 Tier-4엔진 탑재기술을 구현하데 큰 도움이 될 것으로 예상된다.

제7장 참고문헌

1. ISO 5721 Tractors for agriculture -- Operator's field of vision
2. ISO 4252:2007 Agricultural tractors -- Operator's workplace, access and exit - Dimensions
3. ISO 4253:1993 Agricultural tractors -- Operator's seating accommodation - Dimensions
4. McCarthy Jr, J., Yue, Y., Mahakul, B., Gui, X. et al., "Meeting Nonroad Final Tier-4 Emissions on a 4045 John Deere Engine Using A Fuel Reformer and LNT System with An Optional SCR Showing Transparent Vehicle Operation, Vehicle Packaging and Compliance to End-of-Life Emissions," SAE Int. J. Engines 4(3):2699-2717, 2011.
5. Kramer, J., Pfahl, U., Bruestle, C., Diewald, R. et al., "The PM-Metalit: A PM control technology for Tier-4 Off-Highway Applications," SAE Technical Paper 2009-01-2838, 2009, doi: 10.4271/2009-01-2838.
6. Jeongho kang, Daewoo Nam, Gunwoo Jeong, Kyuback Cho and Youngsoo Jang, "A Study on the Application of EGR System to Decrease the NOx emission of Off-Road Vehicle Diesel Engine", Proceeding of 2010 KSAE conference, KSAE 10 - B0089 (1), 2010.
7. Zhan, R., Huang, Y., and Khair, M., "Methodologies to Control DPF Uncontrolled Regenerations," SAE Technical Paper 2006-01-1090, 2006.
8. Morcos, M., Ayyappan, P., and Harris, T., "Characterization of DPF Ash for Development of DPF Regeneration Control and Ash Cleaning Requirements," SAE Technical Paper 2011-01-1248, 2011.
9. K. C. Oh, C. Lee and T. Cho, "'Uncontrolled Regeneration Characteristics of SiC DPFs using DPF Test Rig,'" Transactions of KSAE, Vol.16, No.2, pp.80-86, 2008.
10. KS R ISO 817-1~11, 2008.