

발간등록번호
--------

11-1543000-000653-01
----------------------

110마력급 친환경/고효율 하이브리드 트랙터

핵심부품 및 시스템 통합기술 개발

(Development of System Integration Technology and  
Hybrid Electric Core Components for Eco-friendly and  
High Energy is 110 HP Tractor)

LS엠트론

농림축산식품부

110  
마력급

친환경 / 고효율

하이브리드

트랙터

핵심부품

및

시스템

통합기술

개발

농림축산식품부

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “110마력급 친환경/고효율 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 시스템 통합기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 10 월 22 일

주관연구기관명 : 엘에스엠트론(주)

주관연구책임자 : 신 현 철

세부연구책임자 : 신 현 철

협동연구기관명 : (주)네스트아이엔씨

협동연구책임자 : 김 상 현

협동연구기관명 : 성균관대학교

협동연구책임자 : 최 창 현

# 요 약 문

## I. 제 목

110마력급 친환경/고효율 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 시스템 통합기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 석유고갈 문제 및 환경에 대한 사회적 관심이 증가하면서 차량에 대한 소비자와 정부의 요구가 다각도에서 증가하고 있으며, 농업기계 분야에서도 유가 상승에 따른 방안 마련이 필요한 실정이다. 특히 국내 트랙터는 243,531대로 전체 농업기계 중 86%를 차지하며 연간 작업면적이 13.5 ha/대로 가장 많이 사용되고 있어 트랙터 연료 절감에 대한 대책이 필요하다.

자동차 산업 분야의 경우 유가 상승과 이산화탄소 평균 배출량 기준의 강화 추세에 맞춰 친환경적이고 높은 에너지 효율을 가지는 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 하이브리드 기술은 내연기관과 전기 모터의 두 가지 동력원을 차량의 구동에 이용하는 방법으로, 주행이나 작업 상황에 따라 내연기관과 모터의 최적 동력 분배를 통해 효율 증대 및 에너지 절감 효과가 있다. 하이브리드 차량은 기존의 기계식 동력 전달을 전동화하여 장치를 고효율화 하며, 엔진의 동력원의 일부를 전기에너지로 대체하므로 주행이나 작업 중의 배기가스를 감소시킬 수 있어 최근 국내외의 환경 규제 강화에 대한 대처가 가능하다. 또한 주행 중 감속 및 제동 시의 에너지 손실을 재사용하는 에너지 회생이 가능하여 에너지 효율을 극대화시킬 수 있다.

하이브리드 자동차의 제어전략은 주행 조건에 따라 엔진과 모터에 적절히 동력을 분배함으로써 전체적인 운전 효율을 향상시킨다. 정차 중에는 엔진을 정지시키는 Idle stop 상태에 진입함으로써 불필요한 연료 소모를 억제하며 요구 동력이 작은 저속, 완가속 시에는 모터로 모든 요구동력을 충족시키는 EV (Electric Vehicle) 모드 주행을 실시하고, 요구 동력이 일정 수준 이상으로 도달했을 경우 엔진을 가동시켜 HEV (Hybrid Electric Vehicle) 모드에 진입한다. 그리고 차량의 감속 시에는 모터를 이용해 차량의 관성 에너지를 흡수하여 배터리를 충전시키는 회생제동을 실시함으로써 주행 효율을 높인다.

하이브리드 기술은 자동차 분야에서 가장 먼저 적용된 후 상용차(버스), 건설기계 분야를 넘어 최근에는 농업기계 분야에서도 연구 및 개발이 시작되어 시판되고 있는 추세이다. Komatsu 社의 하이브리드 굴삭기의 경우 병렬형 하이브리드 방식을 이용하여, 구동부에 전기 모터를 적용하는 차량과 달리 큰 토크가 발생하는 선회 구간에 하이브리드 기술을 접목시키는 방식으로 연간 약 35%의 에너지를 절감하는 효과를 보였다. John Deere 社의 하이브리드 트랙터는 기존의 발전기를 고효율 발전기로 대체하여 잉여 에너지를 배터리에 저장하고 라디에이터 팬 및 에어컨 컴프레셔의 엔진 부대장치를 배터리를 이용하여 구동하는 형태로 엔진 응답속도 향상 및 15%의 에너지 절감효과를 보였다. 이처럼 하이브리드 트랙터에 관한 연구는 선진사를 중심으로 활발히 진행되고 있으나 국내의 경우 아직까지 하이브리드 트랙터 개발에 관한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 작업 별 동력 분배 제어를 통해 고효율성과 일부 동력원의 전기에너지 대체로 인한 친환경성을 모두 확보할 수 있는 110마력급 하이브리드 친환경/고효율 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 통합 기술 개발로 연구 목적은 다음과 같다.

- 1) 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발
- 2) 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발
- 3) 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

추진 년도	하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발	전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발	하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발
1차 년도	하이브리드 트랙터 핵심부품 및 전체 시스템 layout 설계		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-하이브리드 트랙터 핵심부품 사양 분석 및 선정</li> <li>-하이브리드 핵심부품의 트랙터 적용을 위한 전체 시스템 layout 설계</li> <li>-주요 포장작업에 따른 부하 분석 시스템 설계 및 개발</li> <li>-하이브리드 핵심부품의 효율적 트랙터 장착을 위한 환경조건 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-대용량 인버터/컨버터 및 고효율 BMS layout 설계</li> <li>-효율적 전기에너지 관리를 위한 핵심부품 사양 분석 및 선정</li> <li>-고효율/고출력 구동모터 핵심부품 및 layout 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-전체 시뮬레이션 모델 layout 설계</li> <li>-핵심부품의 layout 설계 및 핵심부품 간 structure 설계</li> <li>-부하 분석 데이터의 정량화를 통한 동력 분배 및 제어 전략인 작업모드 개발</li> </ul>
2차 년도	하이브리드 트랙터 핵심부품 및 통합 플랫폼 개발		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-동력제어 알고리즘 및 성능평가를 위한 실내 시험장치 개발</li> <li>-핵심부품 시스템 설계 및 통합 플랫폼 개발</li> <li>-주요 포장작업에 따른 부하 분석</li> <li>-핵심부품의 효율적 장착을 위한 기구-링크부 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-고효율 인버터/컨버터 개발</li> <li>-모터 제어를 위한 MCU 및 제어 알고리즘 개발</li> <li>-배터리의 효율적 관리를 위한 BMS 및 충전 알고리즘 개발</li> <li>-고효율/고출력 구동모터의 개발 및 성능평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-핵심부품의 모듈화를 통한 시뮬레이션 모델 개발</li> <li>-핵심부품 시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가</li> <li>-핵심부품, 작업모드, 제어전략 등을 포함한 전체 시뮬레이션 모델 개발</li> </ul>
3차 년도	하이브리드 트랙터의 시스템 통합 및 성능평가를 통한 실용화 기술 개발		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-실내 시험장치를 통한 핵심부품 및 제어시스템 최적화</li> <li>-포장작업을 통한 핵심부품의 성능평가 및 에너지 효율 분석</li> <li>-하이브리드 트랙터 부하분석을 통한 동력분배 성능평가</li> <li>-하이브리드 트랙터 주행 안정성 및 핵심부품 작동효율 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-인버터/컨버터, BMS 및 배터리 충전 알고리즘 최적화</li> <li>-인버터/컨버터와 BMS의 트랙터 적용 및 성능평가</li> <li>-고효율/고출력 구동모터의 트랙터 적용 및 최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 검증 및 보완</li> <li>-포장/작업/주행 조건 등의 다양한 시뮬레이션을 통한 하이브리드 트랙터 성능평가</li> <li>-시뮬레이션 결과에 따른 하이브리드 시스템의 최적화 및 실용화 검증</li> </ul>
110마력급 친환경/고효율 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 시스템 통합기술 개발			

#### IV. 연구개발결과

##### 1. 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발

하이브리드 트랙터는 기존 차량에 적용된 하이브리드 기술인 Miid형, 직렬형, 병렬형, 복합형 방식 중 비교적 작은 모터와 배터리를 사용하여 구현이 가능한 병렬형 방식으로 개발하였다. 하이브리드 트랙터 핵심부품인 모터/발전기는 엔진 정격 회전수와 동일한 2,300 rpm, 정격출력과 토크는 7kW, 29Nm으로 설계하였다. 배터리-BMS (Battery Management System)는 체적 대비 효율이 높은 LiFePO<sub>4</sub>를 이용하였으며 배터리 SOC 제어 및 인버터와 통신이 가능하도록 설계하였다. HCU (Hybrid Control Unit)는 MCU (Motor Control Unit)와 BMS의 신호를 통해 하이브리드 시스템 구동이 가능하도록 설계하였으며, MCU는 모터 구동이 가능하도록 300V, 50A rms 로 설계하도록 하였다. 하이브리드 트랙터 동력제어 알고리즘 및 통합 플랫폼 개발을 위해 실내 시험장치를 이용하여 내구 시험평가를 실시하였으며 하이브리드 트랙터 다이내모미터를 설계 및 개발하여 하이브리드 시스템에 대한 성능평가가 가능하도록 하였다. 또한 하이브리드 HCU 알고리즘을 개발하고, HCU와 MCU, BMS의 CAN 통신을 통해 하이브리드 통합 제어 시스템을 구축하였다. 실내 시험장치를 통해 핵심부품 및 제어 시스템을 최적화하고 포장작업을 통해 하이브리드 시스템의 성능평가 및 에너지 효율 분석을 실시하였다.

하이브리드 시스템의 제어를 위해 기존 트랙터의 작업 별 부하 계측 시스템을 설계하고 이에 따른 부하 분석을 실시하였다. 또한 하이브리드 핵심부품의 효율적 장착을 위해 트랙터 장착 환경 조건 및 링크부 설계 검토를 실시하였으며 주행 안정성 및 핵심부품 작동 효율에 대한 분석을 실시하였다.

##### 2. 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발

전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발을 위해 고효율/고출력 구동모터와 인버터/컨버터, 배터리 관리 시스템(BMS)을 개발하였다. 구동모터의 경우 하이브리드 방식임을 고려하여 모터/발전기로 설계하였으며 정격출력과 토크는 7kW, 29Nm, 정격 회전수는 트랙터의 정격회전수와 동일한 2,300 rpm으로 설계하였다. 트랙터에 장착 가능한 1차 시작품을 설계하고 개발하였으나 높은 무게 및 구조적 문제, 내구성 문제로 인해 이에 대한 개선품으로 2차 시작품을 개발하고 트랙터에 장착이 가능하도록 설계하였다.

인버터/컨버터의 경우 모터/발전기의 입출력 조건에 적합하도록 설계하였으며 CAN 통신 방식을 이용하여 상위제어기인 HCU에 신호를 전달하거나 받을 수 있도록 하였다. 개발된 인버터/컨버터의 성능평가를 위해 온도 변화 시뮬레이션과 방열 특성 시뮬레이션을 실시하여 내열

성 평가를 실시하였으며 모터 구동, 모터의 발전 시험을 통해 제어가 가능함을 확인하였다. 또한 하이브리드 시스템 성능 평가 장치를 통해 인버터/컨버터가 엔진의 회전수에 따라 하이브리드 모드 동작이 원활이 이루어지는지 확인할 수 있었다.

배터리-BMS의 경우 체적대비 에너지 밀도가 높고 충전 효율이 높은 리튬인산철 배터리를 사용하였으며 특히 BMS는 Micro-Controller를 이용하여 모니터링 및 제어를 수행하면서 고전압, 고전류의 작동환경에서도 높은 신뢰도를 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한 배터리와 BMS를 일체화하여 결선의 외부 노출을 없애고 장착에 용이하도록 하였다. 개발된 모터/발전기, 인버터/컨버터, 배터리-BMS는 하이브리드 성능평가를 실시하여 모터/발전기 토크에 따른 배터리 충전 시간을 확인할 수 있었다.

### 3. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 71kW급 중형 트랙터와 동일한 사양의 시뮬레이션 모델 layout을 설계하였다. 시뮬레이션 프로그램은 하이브리드 차량 모델에 사용되는 Autonomie 프로그램을 이용하였으며 일반 트랙터 모델을 구성하고 모터/발전기를 추가하는 방식으로 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 또한 하이브리드 트랙터 모델에 대한 성능평가를 위해 트랙터 주요 포장작업인 플라우 경운, 베일러 작업에서 작업 모드를 개발하였다.

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 layout을 바탕으로 핵심부품 모듈화를 통해 시뮬레이션 모델을 구성하였으며 작업 부하 입력에 따라 핵심부품 시뮬레이션 모델 검증을 실시하였다. 또한 트랙터 모델과 하이브리드 트랙터 모델을 시뮬레이션을 통해 비교하여 성능 검증을 실시하였다.

하이브리드 트랙터 성능평가 및 실용화 검증을 위해 시뮬레이션 모델과 연동하여 구동할 수 있는 실내 시험장치를 이용해 하이브리드 성능 분석을 실시하였다. 실내 시험장치는 엔진, 모터/발전기, 인버터, 컨버터, 배터리-BMS로 구성되어 있어 시뮬레이션 모델 중 변속기, 차축을 제외한 시뮬레이션 모델로 실내 시험장치와 연동하여 성능평가를 실시하였다.

## V. 연구성과 및 성과활용 계획

### 1. 지적재산권

구분	특허		신품종				유전자원 등록	논문		기타
	출원	등록	품종명칭 등록	품종생산 수입 신고	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
1차년도	목표	3						3		
	달성	5						8		
2차년도	목표	3	3				2	4		
	달성	4	5				1	2		
3차년도	목표	3	3				3	4		
	달성	8	1				4	3		
계	목표	9	6				5	11		
	달성	17	6				5	13		

#### 가. 전문학술지

- 논문명 : Effects of gears selection of agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage

저 자 : 김용주, 정선옥, 이대현, 최창현

학 술 지 : Soil & tillage research

발행년도 : 2013 11월 게재

- 논문명 : Load torque estimation for a parallel hybrid agricultural tractor in field operations

저 자 : 송봉섭, 김용주

학 술 지 : International Journal of Precision Engineering and Manufacturing

발행년도 : 2013 10월 게재

- 논문명 : Analysis of load and fuel efficiency of agricultural tractor by gear selection during plow tillage

저 자 : 박승제, 김용주, 이대현

학 술 지 : Journal of Food, Agriculture, Environment

발행년도 : 2013 8월 게재

■ 논문명 : Motor Position Control Algorithm for an Automated Manual Transmission of the Agricultural Tractor

저자 : 김용주, 이영철, 김지환

학술지 : Biosystems Engineering

발행년도 : 투고 및 심사중

■ 논문명 : Main shift control for a dual-mode power-split-type hybrid electric vehicle

저자 : 홍성화, 최울선, 안성현, 김용주, 김현수

학술지 : Journal of AUTOMOBILE ENGINEERING

발행년도 : 2014 8월 게재

■ 논문명 : 농업용 트랙터의 주요 농작업 소요동력 분석

저자 : 김용주, 정선옥, 박승제, 최창현

학술지 : 바이오시스템공학

발행년도 : 2011 4월 게재

■ 논문명 : 로타리 경운작업 시 트랙터 PTO 가혹도 평가

저자 : 김용주, 정선옥, 최창현, 이대현

학술지 : 바이오시스템공학

발행년도 : 2011 6월 게재

■ 논문명 : 베일러 작업 시 트랙터 소요동력 분석

저자 : 김용주, 이대현, 정선옥, 박승제, 최창현

학술지 : 바이오시스템공학

발행년도 : 2011 8월 게재

#### 나. 학술대회

■ 논문명 : Analysis of PTO load of agricultural tractor during rotary tillage

저자 : 이대현, 김용주, 정선옥, 최창현

학술지 : 2013 ACPA

- 논문명 : Analysis of Power Requirement of Agricultural Tractor in Major Field Operations  
 저자 : 김용주, 이대현, 정선옥, 최창현  
 학술지 : 2013 ACPA
  
- 논문명 : 조사료 생산을 위한 베일러 및 랩핑 작업의 트랙터 소요동력 분석  
 저자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 이상헌, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회
  
- 논문명 : 하이브리드 트랙터 구동모터의 형상 설계  
 저자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 이상헌, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회
  
- 논문명 : 대용량 인버터의 신뢰성 향상을 위한 방열판 개발 및 성능 평가  
 저자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 최철환, 정상철, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회
  
- 논문명 : 하이브리드 트랙터의 배터리 관리 시스템 개발  
 저자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 김상현, 김수철, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회
  
- 논문명 : 병렬형 하이브리드 차량의 주행속도에 따른 SOC 및 연료 소모 시뮬레이션  
 저자 : 박진감, 김용주, 윤현웅, 최창현, 이대현, 최정웅, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회
  
- 논문명 : 트랙터 베일러 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발  
 저자 : 박진감, 윤현웅, 최창현, 이대현, 김용주  
 학술지 : 한국농업기계학회 2013년 춘계 학술대회
  
- 논문명 : 농작업별 트랙터 부하데이터 전처리 (1) - 이상치 제거 -  
 저자 : 류명진, 추연국, 정선옥, 김용주, 이대현, 최창현, 이경환  
 학술지 : 한국농업기계학회 2013년 춘계 학술대회

- 논문명 : 트랙터 플라우 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발  
 저자 : 이현민, 윤현용, 최창현, 이대현, 김용주  
 학술지 : 한국농업기계학회 2013년 추계 학술대회

다. 특허

- 특허명 : HYBRID ELECTRIC WORKING VEHICLE AND CONTROL METHOD THEREOF  
 출원인 : 최정용, 김상현, 김용주  
 출원번호 : OF11P180/US/TYL (미국)
  
- 특허명 : HYBRID ELECTRIC WORKING VEHICLE AND CONTROL METHOD THEREOF  
 출원인 : 최정용, 김상현, 김용주  
 출원번호 : OF11P181/CN/TYL (중국)  
 출원번호 : 2010, 10214309.7
  
- 특허명 : 하이브리드 차량의 전기장치 냉각시스템  
 출원인 : 최정용, 김용주, 이대현  
 출원번호 : 10-2011-0136333
  
- 특허명 : 동력전달 효율을 향상한 변속장치  
 출원인 : 김수철  
 출원번호 : 10-2012-0000288
  
- 특허명 : 작업 차량의 변속 제어 시스템 및 그 방법  
 출원인 : 정상철  
 출원번호 : 10-2012-0127945
  
- 특허명 : 작업용 차량의 전자식 팬 클러치 제어 장치 및 방법  
 출원인 : 최정용, 김용주, 이대현  
 출원번호 : 10-2012-0131567

- 특 허 명 : 트랙터의 쟁기 경심 제어 장치 및 방법  
출 원 인 : 이대현, 최정웅, 김용주  
출원번호 : 10-2012-0124767
  
- 특 허 명 : 엔진 연료소비량 측정시스템  
출 원 인 : 이대현, 최정웅, 김용주  
출원번호 : 10-2012-0124766
  
- 특 허 명 : 트랙터에서의 리프트 위치 보정 장치 및 방법  
출 원 인 : 최철환  
출원번호 : 10-2012-0124233
  
- 특 허 명 : 차량용 냉각장치 및 이러한 냉각장치를 구비한 트랙터  
출 원 인 : 최정웅, 김용주, 이대현  
등록번호 : 10-1274367
  
- 특 허 명 : 동력취출장치  
출 원 인 : 정상철, 김상현, 최정웅, 김용주  
등록번호 : 10-1263574
  
- 특 허 명 : 하이브리드 차량의 제어 장치 및 방법  
출 원 인 : 정상철, 김상현, 최정웅, 김용주  
등록번호 : 10-1235461
  
- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터  
출 원 인 : 김상현, 최정웅, 김용주  
등록번호 : 10-1251128
  
- 특 허 명 : 신속한 압력 해제가 가능한 어큐뮬레이터  
출 원 인 : 최정웅, 김상현, 김용주  
등록번호 : 10-1230205

- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 3점 링크 유압 시스템  
출 원 인 : 김상현, 최정용, 김용주  
등록번호 : 10-1223839
  
- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동방법과 이를 이용한  
하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이브리드 트랙터  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0102044
  
- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 3점 히치와 PTO의 연동에 따른 하이브리드 엔진의 구동방법  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111171
  
- 특 허 명 : 무단변속기 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동방법과  
이를 이용한 하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이브리드 트랙터  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111213
  
- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터용 디스플레이 장치와 이를 포함하는 하이브리드 트랙터용  
인터페이스 시스템  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111228
  
- 특 허 명 : 부스트 시스템이 적용된 하이브리드 트랙터의 부스터 구동방법  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111418
  
- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 배터리 시스템 및 이를 이용한 하이브리드 트랙터  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111442

■ 특 허 명 : 하이브리드 트랙터 엔진을 구성하는 모터 제조 방법과 이를 이용한 하이브리드 트랙터  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111444

■ 특 허 명 : 시동보조기능을 갖는 하이브리드엔진과 이를 이용한 하이브리드 트랙터 및  
하이브리드 차량  
출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현  
출원번호 : 10-2013-0111453

## 2. 인력양성효과

■ 석 사 : 1명(이대현), 2011년 8월 졸업  
기 관 : 성균관대학교 생명공학과  
학위논문명 : 트랙터의 포장작업에 따른 소요동력 분석

■ 석 사 : 1명(윤현웅), 2013년 2월 졸업  
기 관 : 성균관대학교 생명공학과  
학위논문명 : 트랙터 포장작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발

■ 석 사 : 1명(박진감), 2014년 2월 졸업  
기 관 : 성균관대학교 생명공학과  
학위논문명 : 병렬형 하이브리드 트랙터 시스템 설계 및 충방전 성능평가

■ 석 사 : 1명(류명진), 2014년 2월 졸업  
기 관 : 충남대학교 농업기계공학과  
학위논문명 : 주요 작업 시 농업용 트랙터 부하 분석

### 3. 실용화 및 산업화

#### 가. 기술 홍보

연구 개발품에 대한 성과(매출/수출 등)의 향상을 위해서는 연구개발품을 국내/외 전시회에 활용하여야 하며 이를 위해 국내/외 전시회에 실제 개발품을 출품하는 것을 고려하였으나, 이는 실제 개발품의 구조 및 전략 등을 타 경쟁업체에 노출하게 되어 추후 본 기술의 보호가 어렵게 될 수 있다. 따라서 작은 모형, 애니메이션 등의 광고물 제작을 통해 본 기술을 알리는 것이 적합하다고 판단된다. 광고물 제작의 경우 일반 사용자들에게 현물을 전시하는 것에 비해 성능 및 효과를 이해하기 쉽게 전달할 수 있을 것이다.

#### 나. 사업화 추진 전략

친환경 및 고효율 추세에 맞추어 하이브리드 트랙터 제품화, 양산화뿐만 아니라 타 마력대 적용으로 인한 해외 수출 시장에 하이브리드 트랙터 점유율을 확대해 나갈 방침이다. 개발 단계에서 양산 및 실용화를 앞당기며 상세도면을 바탕으로 연구개발 종료와 동시에 부품별 양산체제를 구축하여 제품 판매를 조기에 실시할 예정이다. 트랙터 시장에서 최초로 선보이는 하이브리드 기술과 높은 연료 효율, 동급 마력대 트랙터보다 낮은 원가, 높은 제품 경쟁력을 통해 기업의 이미지 상승과 함께 국내외 트랙터 시장을 공략할 예정이다. 또한 국내 전시회(KIEMSTA) 출품을 통해 국내 시장에 하이브리드 기술과 장점을 소비자에게 소개하고 이후 북미/유럽 시장 진입을 위하여 국제 전시회(EIMA, 루이빌쇼)에 적극 출품할 예정이다.

유가 상승으로 인해 면세유 가격 역시 상승함에 따라 농민들이 연료사용량이 많은 트랙터를 사용하고 있어 부담이 증가하고 있으므로 트랙터의 하이브리드화를 통해 연료사용량을 줄여 소비자들의 요구를 만족시킬 예정이다.

#### 다. 외부 네트워크 활용 방안

시험 인증 기관과의 협력 네트워크를 구축하여 하이브리드 트랙터 특성에 적합한 시험 및 표준 인증 절차 및 방법을 개발하여 현재 개발품뿐만 아니라 추후 개발되는 하이브리드 농업기계 기준을 마련할 계획이다. 또한 R&D 관련 기업 및 연구소, 대학 및 시험, 인증 기관의 네트워크 구축을 통해 주요 기술 개발에 관련된 전문 인력과 기존의 선행 연구 결과를 적절히 활용하여 연구 결과를 실용화 할 예정이다.

## SUMMARY

### (영문요약문)

The purpose of this study was to evaluate the possibility of development of hybrid tractor system. The layout of hybrid tractor system was designed and used to determine components of the hybrid tractor system. The major components of the hybrid tractor system were a motor/generator, an inverter-converter, and battery-BMS (Battery Management System). A laboratory test equipment was installed and used to examine the charge/discharge performance of the hybrid tractor system. The working cycles of plowing and rotary tillage operations were used to test the performance of the hybrid tractor system. The results were as follows.

The parallel type hybrid tractor system was designed. A PMSM (Permanent Magnetic Synchronous Motor) was selected as a motor/generator of the hybrid tractor system. The output power and the torque were 7 kW and 29 Nm, respectively when the engine rotational speed was 2,300 rpm. The LiFePO<sub>4</sub> battery was used. The output voltage and the current of the battery were 300 V and 10 Ah, respectively. The inverter-converter was used to control the motor/generator of the hybrid tractor system .

A laboratory test equipment were installed and used to examine the charge/discharge performance of the hybrid tractor system. The laboratory test equipment included a 71 kW mechanical diesel engine, a motor/generator to assist a torque, an AC dynamometer to apply work loads for plowing and rotary tillage operations, a BMS to monitor SOC (State Of Charge) of the battery, and a fuel conditioning system to measure fuel consumption of the hybrid tractor system during experiments.

The laboratory test and the working cycles of tillage operations were used to examine the charge/discharge performance, verification of control strategy, and control performance of the hybrid tractor system. The charge/discharge performance was analyzed by measuring the charging/discharging time at different engine rotational speeds and SOC levels. The results showed that the charge/discharge time reduced as the engine rotational speed increased. The working cycles of plowing and rotary tillage

operations were used to predict the motor/generator torques, and the torques were measured using the laboratory equipment by applying work loads of tillage operations. The predicted and measured motor/generator torques were compared to verify the charge/discharge control strategy. The results showed that the control strategy was adequate. The changes of the SOC levels of the battery were analyzed to examine the control performance during plowing and rotary tillage operations. The results showed that the difference between the SOC levels before and after field operation was not great. It seems that the SOC levels could be recovered to the initial SOC levels during the tractor moving period to the other field. The fuel consumption ratios of the hybrid tractor system were not improved significantly. The fuel consumption ratios were improved only 3.8% for plowing operation and 1.6% for rotary tillage operation.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction	19
Section 1 Research background	19
Section 2 Purpose and objectives	28
Chapter 2 Present status of technology developments	30
Section 1 Status of technology developments in Korea	30
Section 2 Status of technology developments in foreign countries	30
Section 3 Status of registered patents	31
Chapter 3 Methods and results	32
Section 1 Development of hybrid tractor platform and system integration	32
Section 2 Development of high efficiency electrical device for hybrid tractor	142
Section 3 Development of hybrid tractor simulation model	189
Chapter 4 Achievements of goal and contribution	234
Section 1 Objectives and goal	234
Section 2 Contributions of related fields	237
Chapter 5 Achievements and application plans of research	240
Section 1 Achievements of research	240
Section 2 Plan of industrialization and technology applications	283
Section 3 Plan of intellectual property rights ensuring	287
Section 4 Applications to other areas and necessity of further works	289
Chapter 6 Technical information related to this study	291
Section 1 Publications	291
Section 2 Patents	293
Chapter 7 Status of research facilities and equipments	294
Chapter 8 References	296

# 목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	19
제 1 절	연구개발 필요성	19
제 2 절	연구개발 목표 및 범위	28
제 2 장	국내외 기술개발 현황	30
제 1 절	국내 기술개발 현황	30
제 2 절	국외 기술개발 현황	30
제 3 절	국내외 특허 현황	31
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	32
제 1 절	하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발	32
제 2 절	전기에너지의 고효율 변환 및 관리기술 개발	142
제 3 절	하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발	189
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	234
제 1 절	연도별 연구목표 및 달성도	234
제 2 절	관련분야 기여도	237
제 5 장	연구개발성과 및 성과활용 계획	240
제 1 절	연구개발 성과	240
제 2 절	산업화 추진 및 기술확산 방안	283
제 3 절	지적재산권 확보 계획	287
제 4 절	타분야 활용 및 추가연구 필요성	289
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	291
제 1 절	학술논문	291
제 2 절	관련특허	293
제 7 장	연구시설·장비 현황	294
제 8 장	참고문헌	296

# 제 1 장 연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발 필요성

### 1. 경제적 · 산업적 중요성

트랙터는 일반 경운정리 외에도 중경제초, 수확, 운반 등의 폭넓은 이용이 가능하며 변속 범위가 넓고 도로조건에 적응성도 좋기 때문에 다방면에서 사용이 편리한 농업기계이다. 국내 농업기계 중 트랙터는 하루 평균 사용시간이 9.7 시간(한국농업기계학회, 2010), 연간 사용일수는 약 35일, 연간 작업 면적은 대당 13.5 ha로 다른 농업기계에 비해 높은 사용 빈도로 장시간 사용되고 있으며(국립농산물품질관리원, 2007). 특히 트랙터의 국내 생산량은 그림 1-1과 같이 2008년 29,920대로 전체 농업기계의 대부분인 약 40%를 차지하였다. 해외 수출량은 199,264대로 전년대비 103.6% 상승하여 트랙터의 내수 시장 및 해외 시장에서의 중요성은 지속적으로 증가될 것으로 판단된다(한국농업기계학회, 2009).

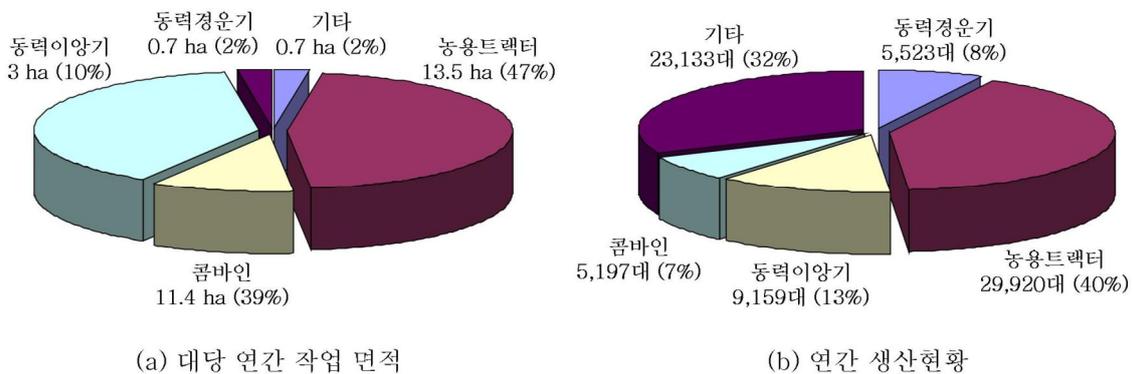
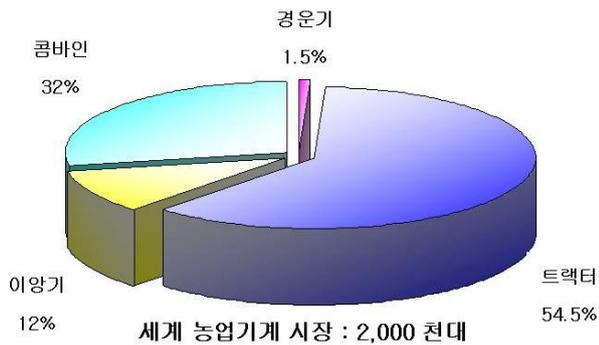
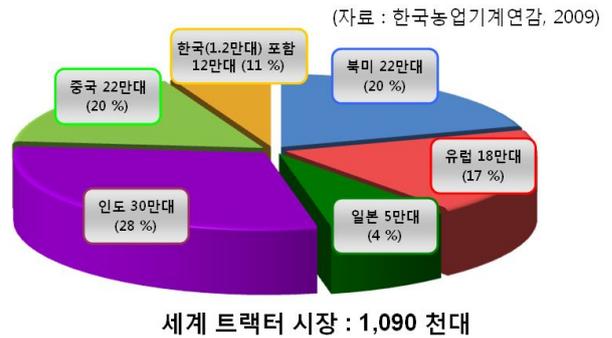


그림 1-1 주요 농업기계의 연간 작업 면적 및 생산현황.

세계의 농업기계 시장 규모는 그림 1-2(a)와 같이 연간 농업기계 공급대수가 전체 2,000천대로 나타났으며, 그 중 트랙터가 약 1,090천대로 세계 시장의 절반 이상인 54.5%를 차지하여 시장성 및 잠재성을 고려했을 때 트랙터의 세계 시장 확보가 필요하다. 또한 그림 1-2(b)와 같이 전체 시장의 약 37%를 북미 및 유럽에서 차지하고 있으며, 인도 및 중국이 48%로 최근 급 성장세를 보이고 있다.



(a) 농업기계 시장 규모



(b) 트랙터 시장 규모

그림 1-2 세계 농업기계 시장 규모.

해외 각국의 트랙터 수요도 꾸준히 증가하고 있는 추세로 중국의 경우 2006년에 166천대였던 수요가 2010년에 258천대로 두 배 가까이 증가하였다. 뉴질랜드의 경우 트랙터의 자국 생산이 전무하여 제품 공급을 전량 수입에 의존하고 있으며 2007년 트랙터 수입액이 전년 대비 15.39% 증가한 1억 3,000만 달러로 나타났다. 미국은 2003년 농기구 매출액은 전년도 같은 시기보다 3.7% 성장한 167억 달러를 기록하였으며, 2004년도에는 전년대비 27% 성장한 212억 달러를 기록할 정도로 대규모의 농기계 시장이 형성돼 트랙터 시장도 이에 따라 그 규모가 증가하는 추세이다. 세계 2위의 쌀 수출국인 베트남의 경우 농업기계화율 60~70% 달성을 목표로 2010년까지 농업기계화 정책을 추진 중에 있으며 이를 위해 매년 4천대 이상의 트랙터가 필요한 것으로 파악된다. 터키는 2008년 산업통상부가 에너지 절약 및 농업 효율성 증대를 위해 노후된 트랙터 700천대 정도를 폐기하기로 결정하였으며, 이로 인해 연간 30~40 천대 수준의 대규모 트랙터 수요가 발생할 것으로 예상된다.

국내 시장의 경우 그림 1-3과 같이 트랙터 업체의 표준 생산 능력이 4.2만대이며 2009년 생산 실적은 2.7만대, 가동률은 65%로 다른 농업기계에 비해 상대적으로 높지만(농업기계연감, 2010), 세계 시장에서 국내 트랙터 업체의 생산 규모는 1.2만대로 전체의 약 1%의 미비한 수준에 머무르고 있다. 또한 현재 국내 농업기계 기술수준은 부품의 경우 선진국의 81%, 소재는 77% 정도로 나타나 선진기술과의 큰 격차를 보이며 이러한 기술격차는 수출규모에서 큰 차이를 나타낸다. 세계 시장의 농업기계 수출 규모는 그림 1-3과 같이 유럽이 373억 달러, 미국이 102억 달러, 일본이 19억 달러, 중국이 11억 달러로 나타났으나 우리나라는 그 규모가 2억 8천만 달러로 0.5%에 불과한 것으로 나타나타났다. 또한 미국, 유럽, 일본 등의 선진사는 오랫동안 축적된 R&D를 통한 차별화된 기술로 트랙터 시장을 장악하였고 중국, 인도의 경우 저임금을 활용한 저가 제품으로 해외시장에 진입하고 있어 우리나라의 농업기계 산업은 선진국과의 기술격차 해소를 위해 신기술 도입 및 관련 핵심 기술의 조기 자립화를 통해 수출 경쟁력 강

화에 힘써야 한다.

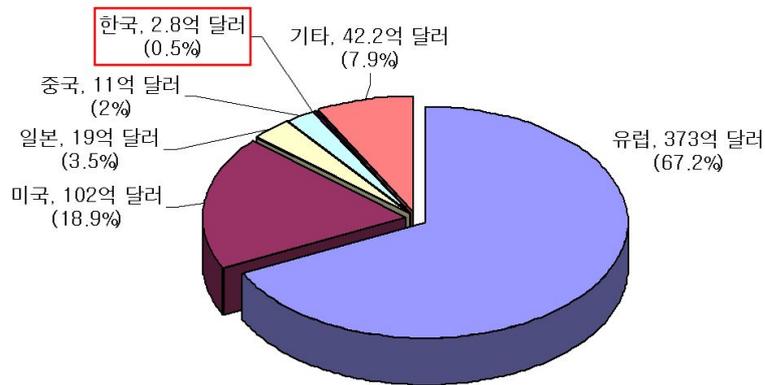


그림 1-3 국가별 농기계 수출규모(전북중앙신문, 2008).

## 2. 기술개발의 중요성

### 가. 하이브리드 기술

자동차 산업뿐만 아니라 농업기계 분야에서도 지속적인 유가 상승과 환경 규제 강화에 따라 고효율, 친환경 기술 개발이 요구되지만 농업기계의 경우 현재 엔진 기술이 TIER 3 수준에 머무르고 있어 새로운 규제 방안에 대응할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 국내의 경우 환경청에서 주최한 농기계 배출가스 관리방안 공청회(2006)를 통해 2011년부터 19 kW(약 22 HP)급 이상의 트랙터, 콤파인에 배기가스 규제를 적용한다고 발표하는 등 농기계 배기가스 환경규제가 가시화되고 있다. 농업기계에 사용되는 면세유는 국제 유가 상승에 따라 가격이 지속적으로 상승하고 있으며(농업기계연감, 2009) 트랙터의 유류 사용량은 전체 농업기계 1,975,000 kl (약 1조, 8,834억원)의 약 16%로 난방기(64%) 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있어 트랙터의 고효율화가 필요한 실정이다.

트랙터는 주행이 아닌 작업이 목적인 차량으로 포장작업(쟁기, 로타리, 베일러, 랩핑, 로더 등)의 종류와 토양의 조건에 따라 부하 변동이 크게 발생하기 때문에 모터를 이용한 하이브리드 시스템을 적용할 경우 급격한 부하의 상승 및 하강에 따른 적절한 동력 분배로 에너지 효율의 향상이 가능하여 현재 가장 필요한 기술로 판단된다. 또한 스페인, 프랑스 등에서는 트랙터의 효율 등급화 법률을 제정하여 자국에서 판매되는 모든 트랙터에 에너지 효율 등급을 표시하도록 하고 있으며, 이러한 연구는 국내에서도 진행되고 있는 추세이다. 따라서 트랙터 산업의 경쟁력을 확보하고 나아가 농기계 산업의 고부가가치화 및 국가 브랜드 가치 상승을 위해서는 친환경/고효율 하이브리드 기술의 트랙터 적용이 시급한 것으로 판단된다.

나. 하이브리드 기술 적용 마력

국내 트랙터 총판매량은 그림 1-4와 같이 2000년대 초반에는 감소 추세를 보이다가 2003년 이후 꾸준히 증가하여 2009년에 총 13,484대가 판매되었다. 트랙터 출력 범위별로 보면 2000년대 초반에 15% 이었던 45 kW 이상급 트랙터 비율이 점차 증가하기 시작하여 2009년에는 46%를 점유하고 있다. 특히 그림 1-5와 같이 100마력급 이상 트랙터의 공급 대수는 2006년에는 294대로 전체 트랙터 공급량의 2.8%였으나, 2012년에는 479대로 3.9%를 차지하였다. 이러한 국내 트랙터 시장 변화는 소비자들의 구매 성향이 소형-저마력 트랙터에서 대형-고마력 트랙터로 변하고 있다는 것을 나타낸다.



그림 1-4 트랙터 출력 범위별 국내 시장 규모.



그림 1-5 100마력급 이상 트랙터 시장 규모.

북미 시장의 경우 그림 1-5와 같이 총판매수량이 증가하다가 2004년을 기준으로 조금씩 감소하고 있고 트랙터 출력 범위별로 보면 30 ~ 75 kW급의 트랙터가 상당히 높은 비율을 유지하고 있다.

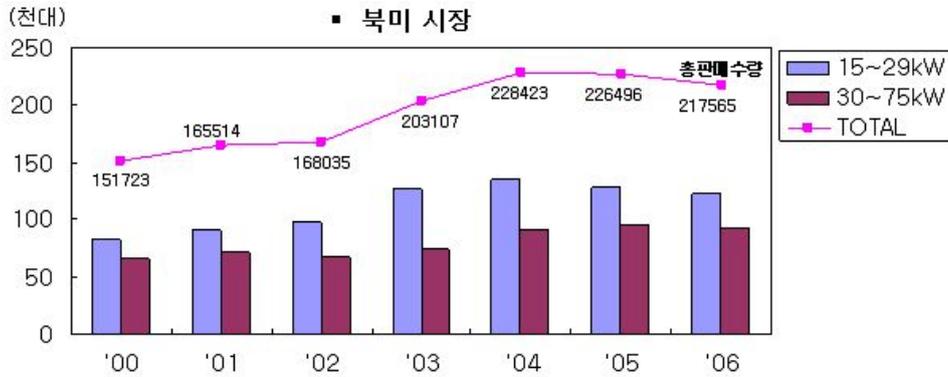


그림 1-6 트랙터 출력 범위별 북미 시장 규모.

국내외 트랙터 시장의 동향을 보면 소형-저마력 트랙터의 판매수량은 점차 감소하고 대형-고마력 트랙터가 증가되는 추세를 확인할 수 있다. 또한 전체 비율에서도 대형-고마력 트랙터가 50%에 육박하고 있어 앞으로 고마력-대형 트랙터 위주로 시장이 성장할 것으로 예상된다.

국내외 대형 트랙터 수요 증가하고 있으나 국내의 경우 대형마력급 트랙터를 자체 생산할 수 있는 기업이 없고 전량 수입품에 의존하고 있어 비싼 해외 트랙터의 구매에 의한 농민들의 부담이 커지고 있다. 이에 하이브리드 트랙터는 대형마력급 해외 트랙터를 대체하여 동급의 성능으로 작업이 가능하며, 연비 절감 효과로 농민들의 부담을 덜어줄 수 있어 해외 대형마력급 트랙터를 대신할 수 있는 제품으로 제품 개발 시 그 수요가 증가할 것으로 판단된다.

### 3. 연구개발의 필요성

#### 가. 연구개발의 타당성 분석

##### (1) 하이브리드 트랙터 개발 선정 타당성 분석

국내외 트랙터 시장은 양적 변화는 둔화되고 있는 반면, 질적으로는 대형-고출력 트랙터의 비중이 높아지고 있다. 하이브리드 부품은 기본 단가가 높기 때문에 적용 트랙터의 가격에 따라 트랙터 전체 재료비에 대한 하이브리드 부품의 비중이 크게 좌우됨. 따라서 하이브리드를 적용할 트랙터 가격이 고가일수록 가격적인 측면에서 경제적 효과가 크다. 상대적으로 효율이 높은 저출력 엔진보다는 열손실이 크고 주변장치의 영향을 많이 받는 고출력 엔진에 적용하는 것이 출력 향상 및 연료비 절감 효과를 보다 더 기대할 수 있다. 시장의 동향이나 성능적, 경제적 기대 효과를 비교하였을 때, 소형 마력급에 하이브리드를 적용하는 것보다 95마력급에 하

이브리드를 적용하는 것이 더 가치 있는 연구가 될 것으로 판단된다.

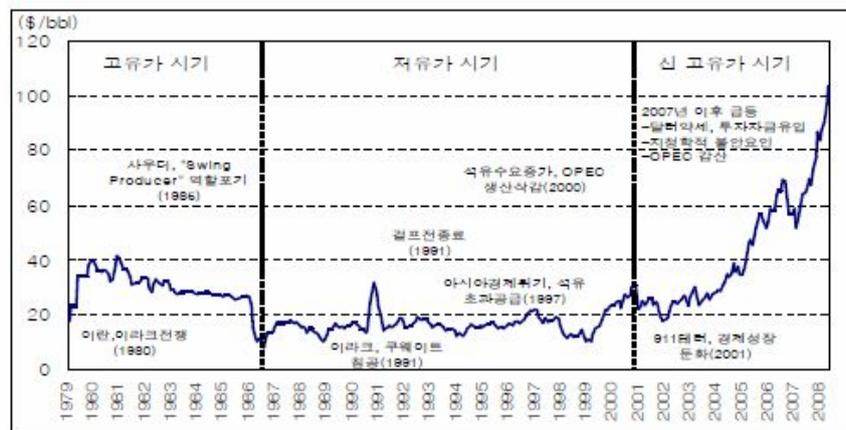
표 1-5. 본 연구의 타당성

항 목	타당성 분석	적용 방안
전기 에너지 (EV/HEV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 친환경적인 시스템으로 국내 및 국외 환경 규제에 대비 가능한 기술</li> <li>- 에너지의 효율적인 분배로 연비의 절감 효과</li> <li>- 해외 시장에서 경쟁력 확보 가능</li> </ul>	병렬형 하이브리드
트랙터	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농업 기계 중 국내 판매 및 해외 수출량 1위</li> <li>- 농업 기계 시장 확대율 3.5%/년</li> <li>- 엔진의 배기량이 클수록 열효율이 낮아 하이브리드화에 따른 연료 절감 효과가 높음.</li> </ul>	95마력급

## 나. 연구개발의 필요성

### (1) 유가 상승 및 환경오염 문제

한국석유공사의 전망에 따르면, 2010년 국제유가는 그림 1-9와 같이 석유수급과 석유수출국 기구(OPEC)의 감산 정책, 달러화 약세 등으로 연평균 74달러에 달할 전망이며, 경기회복으로 인한 세계석유 수요가 지난해보다 120만 배럴 증가할 것으로 예측되어 유가 상승이 불가피할 것이라 분석된다.



자료: 한국석유공사

그림 1-7 Dubai 유가추이(한국석유공사).

미국 EIA(2008)는 유가변동의 불확실성을 고려한 에너지 수요전망을 분석한 결과, 2030년 유가는 고유가(High price)의 경우 배럴당 118.7달러, 저유가(Low price)의 경우 2.4달러로 전망하고 있으며, 기준유가는 배럴당 70.5달러 수준으로 2015년 이후 장기적인 유가 상승이 이어질 것이라 예측하였다. 또한, 석유 연료의 사용에 따른 환경오염에 대한 세계적 관심도 높아져 미국을 포함한 세계 선진국들은 새로운 무역규제 방안의 하나로 그린라운드(Green Round)를 채택하여 미국은 TIER, EU는 STAGE, 일본은 STEP이라는 배기가스 규제 정책을 펴고 있다. 미국의 경우 현재 환경규제기준인 TIER을 3단계로 적용하고 있으며, 오는 2013년부터는 4단계를 적용할 예정이나 국내 농용엔진 기술수준은 현재 TIER 3단계에 머무르고 있어 이러한 새로운 규제방안이 트랙터 등 농기계 수출산업화에 악재로 작용할 수 있다. 국내의 경우, 환경청에서 주최한 농기계 배출가스 관리방안 공청회(2006)를 통해 이르면 2011년부터 19 kW(약 22마력)급 이상의 트랙터, 콤파인에 배기가스 규제를 적용한다고 발표하는 등 농기계 배기가스 환경규제가 국내에서도 가시화된다. 따라서 국내 농기계 산업은 친환경, 저탄소, 녹색성장의 정책이라는 기조 아래 “친환경 Green 농기계” 기술개발을 통한 국제 경쟁력 및 미래 성장동력으로의 농업기계육성이 필요한 시점으로 IT 융·복합화를 통한 농기계의 신성장 동력 발

굴을 위해 집중적인 기술 개발이 필요한 실정이다.

(2) 하이브리드 시장의 확대

현재 새롭게 각광받고 있는 HEV 구동방식은 그림 1- 6과 같이 기존의 자동차 구동방식(연료 연소방식)에서 경량화 설계, 회생 제동, 주행 최적화, 배터리 충전 등의 에너지 재사용 기술을 통하여 에너지 효율이 좋고 환경오염물질의 배출이 적은 장점이 있어 향후 자동차 분야에는 HEV 방식이 대세를 이룰 것으로 예상된다.

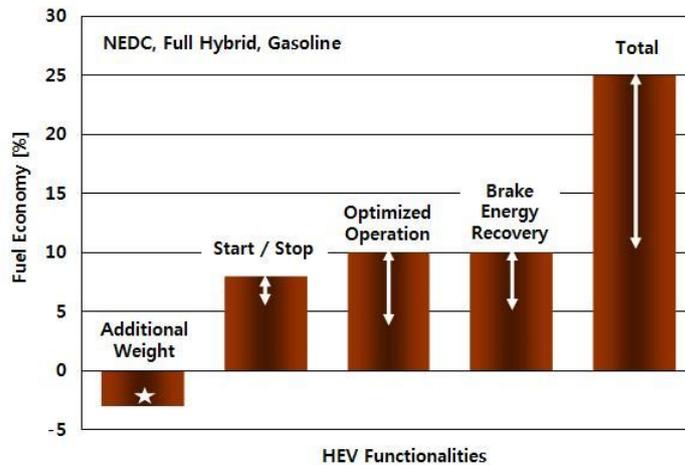


그림 1-8 하이브리드 기술에 따른 연비 상승 효과.

특히 미국에서는 그림 1-7과 같이 EV/HEV 자동차 판매를 의무화 할 계획으로 친환경적인 생산 시스템 구축을 위해 노력하고 있으며, 이러한 시장변화는 자동차뿐만 아니라 건설기계 및 농기계 분야에도 확대될 것으로 예상된다.

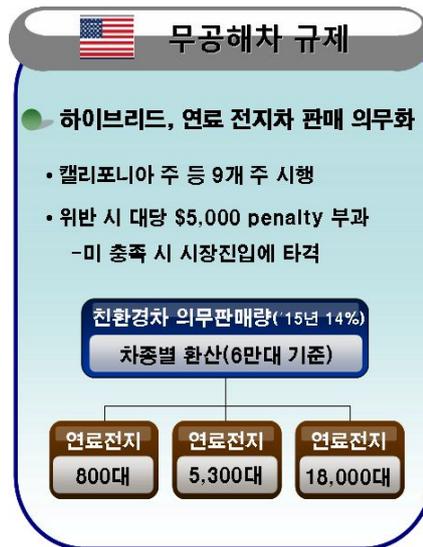


그림 1-9 미국의 무공해차 판매 규제.

국내의 하이브리드에 관한 연구는 그림 1-8과 같이 주로 자동차 시장에서 활발히 진행되어 그 효율성을 입증하였으며, 건설기계 분야에서는 두산 인프라코어가 하이브리드 굴삭기의 연구 개발을 추진하고 있다.

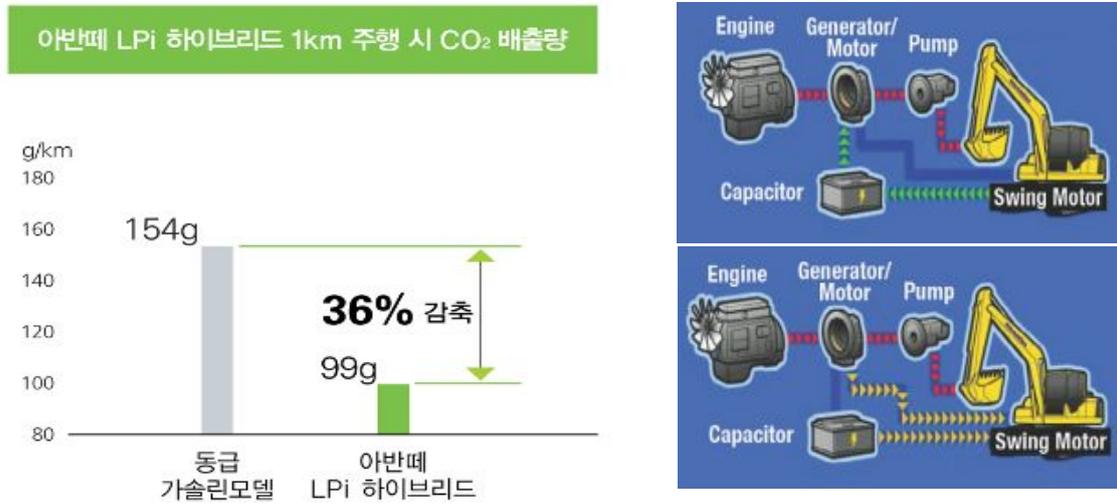


그림 1-10 국내 하이브리드 차량 및 건설기계의 연구 동향.

현재까지 하이브리드 트랙터가 개발되어 시판된 경우는 보고된 적이 없으나 전반적인 하이브리드의 제품의 동향을 볼 때, 농업기계의 하이브리드화는 가까운 현실이 될 것으로 판단된다. 그러므로 국내 농기계 산업의 고부가가치화, 유가 상승으로 인한 에너지 절약 및 CO<sub>2</sub>절감 효과를 통한 국제 경쟁력 강화를 위해서는 친환경, 고효율 하이브리드 트랙터 개발이 시급한 실정이다.

## 제 2 절 연구개발 목표 및 범위

### 1. 연구개발 목표

최근 석유고갈 문제 및 환경에 대한 사회적 관심이 증가하면서 차량에 대한 소비자와 정부의 요구가 다각도에서 증가하고 있으며, 농업기계 분야에서도 유가 상승에 따른 방안 마련이 필요한 실정이다. 특히 국내 트랙터는 243,531대로 전체 농업기계 중 86%를 차지하며 연간 작업면적이 13.5 ha/대로 가장 많이 사용되고 있어 트랙터 연료 절감에 대한 대책이 필요하다.

자동차 분야의 경우 유가 상승과 이산화탄소 평균 배출량 기준의 강화 추세에 맞춰 친환경적이고 높은 에너지 효율을 가지는 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle)에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 하이브리드 기술은 내연기관과 모터의 두 가지 동력원을 구동에 이용하는 방법으로, 주행이나 작업 상황에 따라 내연기관과 모터의 최적 동력 분배를 통해 효율 증대 및 에너지 절감 효과가 있다. 하이브리드 차량은 기존의 기계식 동력 전달을 전동화하여 장치를 고효율화 하며, 엔진의 동력원의 일부를 전기에너지로 대체하므로 주행이나 작업 중의 배기가스를 감소시킬 수 있어 최근 국내외의 환경 규제 강화에 대한 대처가 가능하다.

하이브리드 기술은 자동차 분야에서 가장 먼저 적용된 후 상용차(버스), 건설기계 분야를 넘어 최근에는 농업기계 분야에서도 연구 및 개발이 시작되어 시판되고 있는 추세이다. Komatsu 社の 하이브리드 굴삭기의 경우 병렬형 하이브리드 방식을 이용하여, 구동부에 전기 모터를 적용하는 차량과 달리 큰 토크가 발생하는 선회 구간에 하이브리드 기술을 접목시키는 방식으로 연간 약 35%의 에너지를 절감하는 효과를 보였다. John Deere 社の 하이브리드 트랙터는 기존의 발전기를 고효율 발전기로 대체하여 잉여 에너지를 배터리에 저장하고 라디에이터 팬 및 에어컨 컴프레서의 엔진 부대장치를 배터리를 이용하여 구동하는 형태로 엔진 응답속도 향상 및 15%의 에너지 절감효과를 보였다. 하이브리드 트랙터에 관한 연구는 선진사를 중심으로 활발히 진행되고 있으나 국내의 경우 아직까지 하이브리드 트랙터 개발에 관한 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

본 연구는 고효율성과 친환경성을 모두 확보할 수 있는 110마력급 하이브리드 친환경/고효율 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 통합 기술 개발을 목적으로 하며, 주요 연구개발 목표는 다음과 같다.

- 가. 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발
- 나. 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발
- 다. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

## 2. 연구개발 범위

### 가. 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발

- 에너지 효율 증대를 위한 하이브리드 트랙터 layout 설계
- 하이브리드 트랙터 동력제어 알고리즘 및 통합 플랫폼 개발
- 하이브리드 트랙터 시스템 통합 및 성능평가
- 하이브리드 트랙터 부하분석 시스템 개발 및 동력분배 성능평가
- 하이브리드 핵심부품의 효율적 장착기술 개발

### 나. 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발

- 대용량 인버터/컨버터 및 고효율 배터리 관리 시스템 layout 설계
- 인버터/컨버터 및 배터리 관리 시스템의 핵심부품 개발
- 인버터/컨버터 및 배터리 관리 시스템의 트랙터 적용 및 최적화
- 고효율/고출력 구동모터의 개발 및 트랙터 적용

### 다. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

- 시뮬레이션 모델의 layout 설계 및 작업모드 개발
- 핵심부품의 모듈화를 통한 전체 시뮬레이션 모델 개발
- 시뮬레이션을 통한 하이브리드 트랙터의 성능평가 및 최적화

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1 절 국내 기술개발 현황

국내 농용 트랙터의 기술 수준은 경우에는 현재 변속기 자동화와 조작 편의성 중심으로 개발이 이루어져 있으며 최근에 주로 전자유압 제어를 통한 고효율, HST, CVT, AMT 등 자동 변속기 기술을 핵심으로 다양한 종류의 변속장치 개발 적용되고 있다. 그러나 최근 대두되고 있는 환경 문제에 대한 친환경 하이브리드 트랙터의 개발은 전무한 상태이며 추후 국제 기준에 맞추어 국내 환경규제 강화에 따른 엔진 배기가스 청정화 기술이 적용된 트랙터의 개발이 많이 요구되고 있다. 하이브리드 기술이 적용된 국내 자동차 분야의 경우 최근 현대에서 아반테를 베이스로 한 LPI 하이브리드 차량이 출시되었고 건설기계는 굴삭기를 중심으로 동력 전달계의 유압시스템의 비중이 크므로 부하특성과 작업환경을 고려된 자동차와는 다른 하이브리드 동력 기술이 개발 진행 중에 있다. 버스의 경우 친환경 대중교통 보급으로 인해 현재 도심 주행 모드에 따라 보조동력장치(엔진, 발전기)를 통해 배터리를 충전하고 모터만을 이용하여 차량을 구동하는 직렬형 하이브리드 버스에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있으나 아직까지 농업기계에 적용된 사례는 보고된 적이 없다.

### 제 2 절 국외 기술개발 현황

하이브리드 기술이 적용된 차량의 경우 도요타에서 1997년 세계 최초의 상용 하이브리드 차량인 프리우스가 출시 되었고 이후로 혼다, 포드 등 여러 자동차 회사들이 승용차 또는 SUV, VAN 등 승용 하이브리드자동차를 상용화하여 시판하고 있다. 최근에는 GM에서 Plug-in 방식의 하이브리드 차량(PHEV)인 볼트가 출시되었다. 버스나 트럭의 경우 하이브리드 개발과 상용화가 승용차에 비해 상대적으로 뒤진 감이 있으나 유럽, 미국, 일본 등 중요 상용자동차회사들이 CNG 하이브리드 버스, 디젤 하이브리드 버스 등 활발한 연구가 진행되어 최근에는 상용화 단계까지 이르렀다. 농업기계 분야에서 트랙터의 경우 CASE IH에서 ProHybrid EECVT 트랙터 개발, Schmetz에서 Eltrac E135 하이브리드 트랙터 개발 등 선진 메이커에서 연구개발 중에 있으나 현재까지 양산된 사례가 없는 것으로 보고되고 있다.

## 제 3 절 국내외 특허 현황

### 1. 국내 특허 현황

병렬형 하이브리드 트랙터 기술 개발에 대한 국내의 지식재산권은 전무하며 국내에서 차량의 병렬형 하이브리드 기술을 농업기계에 적용한 경우는 없는 실정이다. 병렬형 하이브리드의 핵심기술은 오래전부터 자동차 분야에서 활발히 개발되어 오고 있으나 트랙터와 부하 특성 및 동력 사용에 따른 구조가 다르므로 적용이 어려워 선행기술 개발을 통해 지적재산권 획득이 필요한 분야이다.

### 2. 국외 특허 현황

병렬형 하이브리드 트랙터 분야에서 지식재산권은 미국 1건, 네덜란드 1건 정도로 조사되어 기술 개발이 미비한 실정이며 특히 상용화된 제품이 출시되지 않은 상황이다. 병렬형 하이브리드에 관련된 핵심기술 및 시스템 통합 제어 기술에 관한 특허는 1986년부터 2008년까지 총 1,715건으로 출원되었으며 일본 658건, 미국 454건, 한국 377건, 유럽 226건으로 일본이 최다 출원국으로 조사되었으며, 이중 가장 관련 있는 기술에 대하여 특허 분석을 수행하였다.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제 1 절 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발

### 1. 하이브리드 트랙터 핵심부품 및 layout 설계

#### 가. 하이브리드 트랙터 설계

하이브리드 트랙터의 layout은 그림 1-1과 같이 기존 하이브리드 제품 분석, 트랙터 에너지 소모 파악, 하이브리드화 대상 선정, 하이브리드 컨셉 설계, 트랙터 부하 분석, 최종 layout 설계, 시뮬레이션 모델 개발의 절차로 설계하였다. 기존 하이브리드 제품 분석은 현재 시판 중인 하이브리드 제품 및 기술에 대해 분석하여 벤치마킹(bench marking) 가능성을 검토하였으며 트랙터 Energy Loss 파악 절차는 기존 트랙터의 작업 대에 따른 에너지 손실을 분석하는 절차로 두가지 방법을 통하여 트랙터의 하이브리드화 대상을 선정하였다. 하이브리드 컨셉은 트랙터 하이브리드화 대상 선정 결과를 기반으로 하이브리드 트랙터의 기본 개념을 설계하였으며, 트랙터 부하 분석 실험 결과를 통하여 최종 Layout을 설계하였다. 또한 시뮬레이션 모델을 개발하여 설계된 하이브리드 트랙터의 Layout을 최적화 하였다.

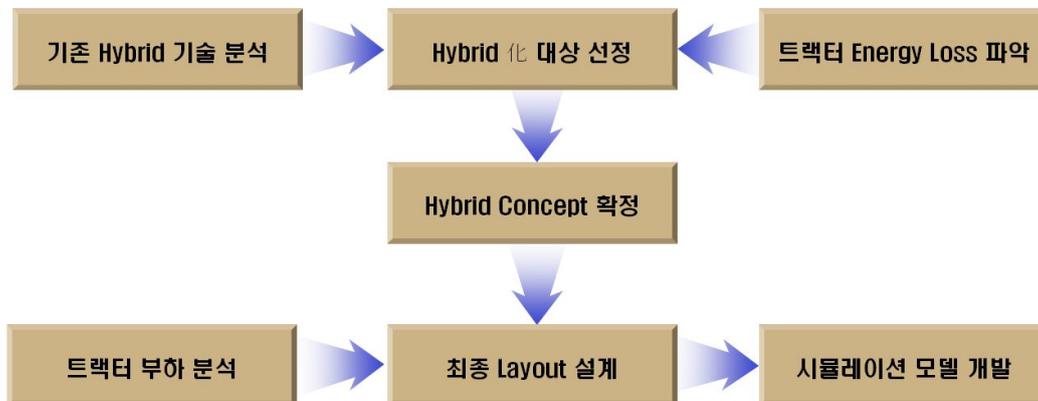


그림 1-1 하이브리드 트랙터 Layout 설계 절차.

하이브리드 기술 분석에서는 차량에 적용된 하이브리드 기술인 Mild형, 직렬형, 병렬형, 복합형 방식의 트랙터 적용 가능성을 표 1-1과 같이 검토하였다. Mild형 하이브리드의 트랙터 적용은 최소한의 구조 변경으로 쉽게 개발이 가능하며, 소용량의 모터와 배터리를 이용하므로 재료가 저렴하다는 장점이 있으나 에너지 절감효과가 미미하여 소비자에게 하이브리드 효과에 대해 내세우기가 어렵다는 단점이 있다. 직렬형 하이브리드 방식은 에너지 효율이 우수하고 구조가 단순하여 트랙터 적용 시 효율성이 있을 것으로 판단되나 트랙터 구동을 위한 고용량의 모터와 배터리가 필요하므로 개발 및 양산 비용이 비싸 현재 상태로는 트랙터에 적용하기에는

무리가 있다. 병렬형 하이브리드 방식은 앞서 설명한 것과 같이 차량은 구동부에 굴삭기는 선회부에 적용하므로 적용 대상에 따라 다양한 방법으로 적용시킬 수 있으며, 트랙터의 중요 성능인 견인력 향상을 기대할 수 있는 장점이 있다. 또한 병렬형 방식은 비교적 작은 모터와 배터리를 사용하여 구현이 가능하므로 비용 상승이 상대적으로 적어 소비자에게 가장 매력적인 방법이라 판단된다. 복합형은 도요다에서 독자적으로 개발한 방식으로 현재까지 개발된 하이브리드 방식 중 가장 에너지 효율이 높은 장점이 있으나 구조가 복잡하고 기술 적용이 어려워 단기간 트랙터에 적용하기에는 무리가 있으며, 특히 특히 회피가 어려워 양산 개발은 불가능할 것으로 판단된다.

표 1-1 하이브리드 기술 분석

방식	특징	기술적 난이도	트랙터 적용 검토
Mild 병렬	<ul style="list-style-type: none"> <li>최소한의 구조 변경으로 적용 가능</li> <li>하이브리드 化 효과 낮음</li> </ul>	低	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 부품을 이용하여 저렴하게 적용 가능</li> <li>다른 방식과 함께 적용하여 시너지 효과 기대</li> </ul>
직렬	<ul style="list-style-type: none"> <li>구조가 단순하여 동력 전달 효율 증가</li> <li>새로운 플랫폼</li> <li>고비용 대용량 모터와 배터리 필요</li> </ul>	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>대용량 모터 개발 기술 필요</li> <li>트랙터 적용은 상대적으로 쉬우나 고용량 모터와 배터리에 따른 단가 상승</li> </ul>
병렬	<ul style="list-style-type: none"> <li>다양한 적용 방식</li> <li>일부 구조 변경으로 출력 향상</li> <li>에너지 회생으로 효율 극대</li> <li>저용량의 모터와 배터리 필요</li> </ul>	中	<ul style="list-style-type: none"> <li>트랙터에 맞도록 재설계 후 적용 가능</li> <li>트랙터의 중요 성능인 견인력 향상을 기대할 수 있어 매력적임</li> <li>비교적 저용량 모터와 배터리를 사용하므로 비용면에서 유리함</li> </ul>
복합	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 효율이 가장 높은 방식</li> <li>구조가 복잡하고 부품 단가가 높음</li> <li>도요다 기술 선점에 의한 특허 회피 난해</li> </ul>	高	<ul style="list-style-type: none"> <li>고속 주행을 목적으로 하는 차량에 적합</li> <li>도요다의 특허 회피가 거의 불가능함</li> </ul>

#### 나. 병렬형 하이브리드 트랙터 layout 설계

병렬형 하이브리드 트랙터는 기존의 디젤엔진차량에 전기 에너지 시스템을 추가 장착하여 에너지 효율을 극대화 하는 시스템으로 크게 디젤엔진과 전기 에너지를 포함한 동력발생장치, 다양한 변속수준을 제공하는 고효율 변속장치, 전기 에너지 발생하는 발전기, 전기 에너지를 저장하는 배터리, 트랙터의 구동을 위한 고회전력 모터 시스템, 고효율 변속장치, 동력 분배 및 제어를 위한 통합제어시스템으로 구성한다. 또한, 본 연구에서는 크게 전기 에너지를 재생산하

는 방식인 full 하이브리드와 잉여 및 낭비 에너지를 최소화하는 방식인 mild 하이브리드 방식의 두 가지 layout을 설계한다. 첫 번째 full 하이브리드 방식은 전기 에너지를 재생산하는 방식으로 그림 1-2와 같이 저토크를 필요로 하는 작업에서는 주로 배터리의 전기 에너지를 이용하여 구동 모터를 작동 시키며, 고토크를 필요로 하는 작업 시에는 엔진으로 부터의 동력을 사용하는 동시에 전기 에너지를 재생산하여 배터리에 급속 충전하는 방식이다.

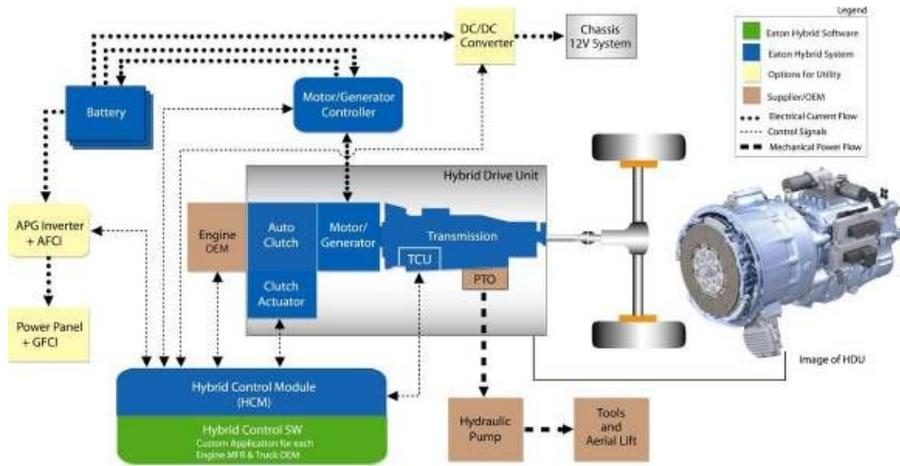


그림 1-2 병렬형 하이브리드 트랙터 layout 설계(1).

두 번째 mild 하이브리드 방식은 잉여 및 낭비 에너지를 최소화하여 에너지 효율을 증대시키는 방식으로 그림 1-3과 같이 트랙터의 에너지 손실을 발생시키는 조향 및 윤활을 위한 유압펌프와 동력취출장치인 PTO를 전기 모터로 구동 시켜 유압펌프의 상시 운전으로 인한 에너지 손실을 최소화할 수 있으며, 엔진의 크기를 줄일 수 있어 배기가스도 저감시킬 수 있는 장점이 있다.

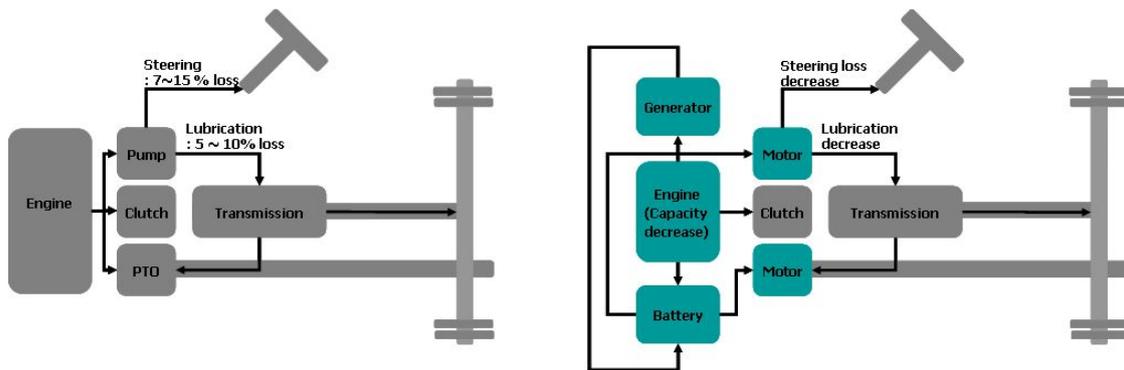


그림 1-3 병렬형 하이브리드 트랙터의 layout 설계(2).

현재 차량에 가장 많이 적용되고 있는 병렬형 하이브리드는 full 방식으로 가장 에너지 효율이 높다고 보고되고 있으나 트랙터의 경우에는 주행 보다는 작업을 주목적으로 하고 있어 차

량과 주행패턴이 다르므로 기존 차량에 적용된 mild, full 방식 등의 하이브리드 기술을 기반으로 하여 트랙터에 적합한 최적의 하이브리드 방식을 정량적으로 구명하여 개발하였다. 또한, 과제 종료 후, 양산이 가능하도록 에너지 효율, PTO 효율 등의 성능뿐만 아니라 개발 단가, 양산성 등을 고려하여 최적의 하이브리드 방식을 적용하였다.

#### 다. 하이브리드 트랙터 핵심부품 사양 선정

##### (1) 모터/발전기

하이브리드 트랙터의 구동 및 발전을 위해 모터/발전기의 목표 사양을 선정하였으며, 이는 인버터에 적용할 전력 소자의 사양에 따라 결정된 것으로 표 1-2와 같다. 모터/발전기의 구동을 위한 배터리 전압은 300 Vdc이며 이때 정격출력 및 토크는 정격회전수 2,300 rpm에서 각각 7 kW, 29 Nm로 설계되었으며 모터 운전 영역은 그림 1-4와 같다. 모터/발전기의 동작에 따라 발생하는 과열의 냉각을 위해 온 수냉식 냉각라인을 설계하였으며 엔진 냉각수를 이용하여 장착이 용이하도록 하였다. 이때 모터/발전기입력과 출력의 효율은 80% 이상으로 목표를 선정하였다. 모터/발전기의 고정자와 회전자 외형 및 사이즈는 엔진 출력 축 및 플라이휠의 형상을 고려하여 설계하였으며 트랙터 엔진의 크랭크 축과 직결로 연결 가능하게 하였다.

표 1-2 모터/발전기 목표 사양

항목	사양
배터리 전압	300 Vdc
정격 출력	7kW
정격 토크	29Nm
모터 효율	80% 이상
회전수	2,300rpm
모터 냉각	엔진냉각수 사용 가능, 약 80°C
모터 구조	로터 크랭크축에 직결, 베어링 없음

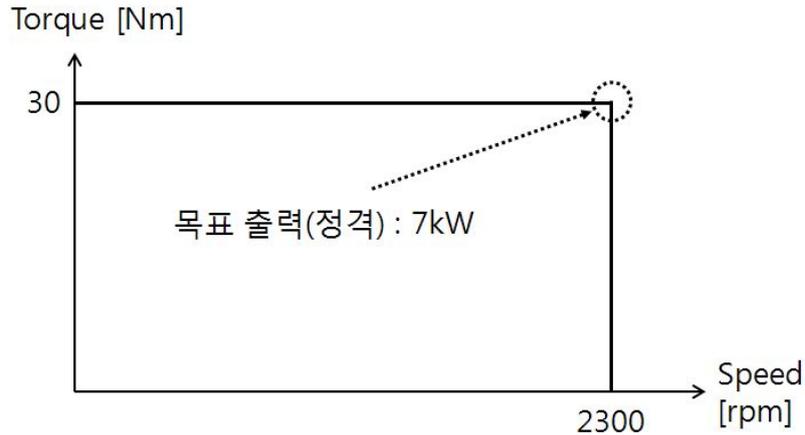


그림 1-4 모터/발전기 운전 영역.

### (2) 배터리-BMS (Battery Management System)

배터리는 체적 대비 효율이 높은 LiFePO<sub>4</sub>를 이용하였으며 구동모터 및 하이브리드 시스템의 사양을 고려하여 전압 수준 300V, 전류용량 10Ah로 배터리 용량은 3kWh로 선정하였다. 이때 배터리 팩을 이용한 충전-방전은 30A를 유지 가능하게 하였다. 배터리 SOC (state of charge) 제어 및 인버터와 통신을 위한 BMS는 표 1-3과 같이 설계하였으며 배터리 각각의 cell 전압은 -0.7 ~ 5.2V 범위로 측정이 가능하며, 전류 및 셀 온도는 각각 -100 ~ 100A, -20 ~ 100°C의 범위로 측정이 가능하다. BMS의 기능은 protection, alarm, SOC 측정이 있으며 protection 기능에는 cell OVP/UVP, module OVP/UVP, pack OVP/UVP, charge/discharge over current, OTP를 포함시켰으며, alarm 기능에는 cell OVA/UVA, module OVA/UVA, pack OVA/UVA, charge/discharge over current, OTA, 12V 보조 전원 OVA/UVA, master PCB temp.를 포함시켰다. SOC 산출의 오차율은 10% 이내로 하였으며 통신은 CAN, RS-232C 모두 가능하게 하여 범용성을 확보하였다.

표 1-3 BMS 측정 기능

	Range	Accuracy
Cell 전압 (V)	-0.700 ~ 5.200	± 10mV
Pack Current (A)	-100 ~ 100	± 100mA
Cell Temp (°C)	-20 ~ 100	± 3°C

### 3) HCU (Hybrid Control Unit)

제어장치는 구동/라디에이터 팬/워터펌프/에어컨 컴프레셔 모터의 구동을 위한 MCU, 배터리의 전압/전류 및 상태 관리를 위한 BMS, 발전기 및 모터의 구동과 배터리의 충방전 등의 전체 시스템의 제어를 위한 HCU로 구성되며, 각각의 제어장치는 CAN을 통해 통신하도록 구

성하였다. HCU는 전원이 300 V로 전체 출력은 6 kW를 가지며 DC-DC 컨버터가 내장되어 있다. 이 때 냉각은 공랭식을 이용하였다.

모터 구동 제어 및 배터리-BMS 제어를 위한 인버터는 모터/발전기 출력 및 응답성능을 고려하여 표 1-4와 같이 개발 사양을 선정하였으며 인버터 작동을 위한 전압은 300V DC이며, 모터 출력을 최대 10kW, 연속 7kW의 제어가 가능하다. 이에 따른 전류량은 50A, 순간 70.7A이며, 모터/발전기 제어는 일반적으로 사용되는 PWM 제어 방식을 이용하여 10kHz 속도로 수행 가능하게 하였다. 동작 온도는 외부 환경온도의 경우 트랙터 작업 환경을 고려하여 -10 ~ 55℃로 선정하였으며 부품/소자의 경우 85℃이다. 이를 위한 냉각방식은 공랭식을 이용하였으며 별도의 팬을 이용하여 강제 순환하였다.

표 1-4 인버터 개발 사양

항목	사양	비고
Input voltage	300V DC (220 ~ 380V)	
Output power	연속 7kW, 최대 10kW	
Ouput current	70.7A peak / 50A rms	
AC output frequency	280Hz@12p	@2800rpm
PWM frequency	10kHz	
Ambient temperature	-10 ~ 55℃	부품/소자는 85℃
Monitoring peak efficiency	85% 이상	@300V
Cooling type	강제 공냉식	fan

#### (4) 하이브리드 트랙터 제품화 분석

하이브리드 트랙터의 제품화 분석 결과는 표 1-5와 같다. 하이브리드 핵심부품 추가 등에 따른 예상 판매가는 약 69백만원으로 추정되었으며, 이는 기존 110마력급 외산 트랙터 가격에 83 ~ 95백만원에 비해 약 17~27% 가량 감소된 금액으로 높은 가격경쟁력 확보가 가능함을 알 수 있다. 이때 판매 가격의 세부 내역은 기존 트랙터 약 43백만원, 모터/발전기, 엔진부대장치 전 동화를 위한 모터, 인버터/컨버터 BMS-배터리, HCU 등 핵심부품 추가 금액 16백만원, 무단변속기 추가 등의 premium화 비용 10백만원이다. 하이브리드 트랙터의 연비 절감 효과는 연료 절감량(3,115g/h), 면세유 비용, 작업시간 등을 고려하여 산정하였으며 그 결과, 연간 약 350만원으로 나타났다.

표 1-5 하이브리드 제품화 분석

항 목	하이브리드 트랙터 (110 HP)	비고
트랙터 (95HP)	43 백만원	-
가격	하이브리드화	모터/발전기, 부대장치 모터, 인버터/컨버터, BMS-배터리, HCU 등
	Premium 화	무단변속기 등
예상 평가	69 백만원	-
연비	연료 절감량 (g/h)	95 HP : 16,685 g/h 110 HP : 19,800 g/h
	연비 절감	연료 절감량 × 0.00122 L/g × 1,100 원/L × 사용시간/년
	약 350 만원/년	

2. 하이브리드 트랙터 동력제어 알고리즘 및 통합 플랫폼 개발

가. 하이브리드 트랙터 실내 시험장치 개발

(1) 하이브리드 트랙터 내구 시험장치

개발될 핵심부품은 트랙터 작업이 열악하며, 주로 고토크가 작용하는 경우가 많으므로 부품의 신뢰성을 확보하기 위해 트랙터 전체 프레임을 이용한 핵심부품의 내구성 시험 장치를 설계하였다. 실차의 경우는 내구성 평가를 위한 각종 센서의 탈부착이 어렵고 신호 측정이 쉽지 않아 시험의 편의성을 위해 실차와 동일한 상태의 실내 내구 시험 장치를 구성하였다. 내구 시험 장치는 그림 1-5와 같이 실제 하이브리드화 대상인 71 kW급 농업용 트랙터의 파워트레인, 트랙터의 엔진 역할을 하는 모터(HS-45/2, Hyundai, Korea), 개발된 주요 핵심부품들을 추가하였으며 포장 작업과 동일한 부하 작용을 위한 파우더 브레이크, 파우더 브레이크의 가열 방지를 위한 냉각장치, 전체 시스템의 작동을 위한 컨트롤 장치로 구성하였다.



그림 1-5 하이브리드 트랙터 핵심부품의 내구 시험 장치.

시험장치의 모니터링 및 제어를 위한 컨트롤 박스는 그림 1-6과 같이 제작되었다. 컨트롤 박스의 외부에는 메인모터의 회전속도, 좌·우 파워 브레이크의 회전 속도, 냉각수 온도, 토크 센서로부터 출력된 차축의 토크를 표시하기 위한 인디케이터가 있으며 모터 운전 및 방향 제어, 제어의 자동/수동을 위해 ON/OFF 스위치를 설치하였다. 또한 엔진과 파워 브레이크의 회전 속도 제어를 위한 노브와 비상정지 버튼이 포함되어 있다. 내부에는 메인모터 회전 속도 조절을 위한 인버터, 각각의 요소들의 ON/OFF 제어를 위한 릴레이가 포함되어 있다.



그림 1-6 컨트롤 박스의 구성.

하이브리드 시스템은 차량의 현재 상태에서부터 변속여부와 최적의 동력 분배를 위한 모터 사용 여부 등을 결정하기 때문에 차량의 현재 상태를 정확히 감지할 필요가 있다. 이 때 고려되는 사항은 차량의 가속 혹은 감속여부, 차량의 부하에 맞는 토크 등이다. 이들 정보를 알아내기 위하여 적절한 센서를 부착해 줄 필요가 있다.

#### (가) RPM 센서

차량의 가속 혹은 감속 여부를 확인하기 위하여 엔진의 RPM 변화와 변속 시의 RPM, 차축의 RPM을 측정하여 적절한 변속 비를 구해야한다. RPM을 측정하기위한 방법은 여러 가지가 있으나 가장 간단한 방법으로는 기어의 톱니에 회전수를 측정하는 방법이 있다. 일정한 위치에서 지나가는 톱니의 수를 측정할 수 있으면 기어의 총 톱니의 개수와 지나가는 속도를 통하여 회전 속도를 구할 수 있다. 따라서 톱니의 수를 측정하기 위한 센서가 필요한데 물체의 유무를 감지하는 점유센서로 측정하는 것이 일반적이며 대표적인 센서로는 근접센서, 광센서, 홀센서 등이 있다. 광센서는 장점은 센서의 정확도가 다른 형식의 센서에 비해 높고(오차범위 최대 회전각  $\pm 1^\circ$ ), 응답속도가 빠르며 온도에 따른 출력변화가 작다는 것이다. 하지만 최대 회전

속도가 낮고(최대 4500rpm) 구조가 복잡하고 부피가 크다. 또한 노이즈 대책이 필요하며 일체형이 아닌 조립식으로 만들어지고 빛에 의해 작동하므로 플레이트나 센서 표면이 오염되면 정상적으로 작동할 수 없다는 단점이 있다. 근접센서는 구조가 단순하고 크기 형태 등에 융통성이 크며 가격이 저렴하다는 장점이 있지만, 습도와 온도 변화에 민감하고 노이즈(noise)에 약하다. 홀 센서는 출력이 디지털이므로 다른 센서처럼 컨버팅(converting) 과정이 없이 시스템에서 직접 사용할 수 있고, 센서와 타겟이 접촉되지 않아 마모로 인한 내구성 저하가 없으며 성능저하가 발생하지 않고 온도에 따른 출력변화도 작다. 또한 최근에 발전된 전자산업의 발전으로 비용이 저렴하고 홀 센서의 크기도 작아 엔진에 적용하기 쉽다.

본 연구에서는 기어의 톱니가 자성체이고 축정부인 엔진 및 미션, 차축은 진동 및 온도 변화 등의 노이즈가 있기 때문에 이러한 환경에서 적합한 점유센서인 홀센서(55505-00-01-A, Hamlin Electronics, USA)를 이용하여 RPM을 측정하였다(그림 1-7). 홀센서의 장착 모습과 사양은 그림 1-8과 표 1-6과 같다.

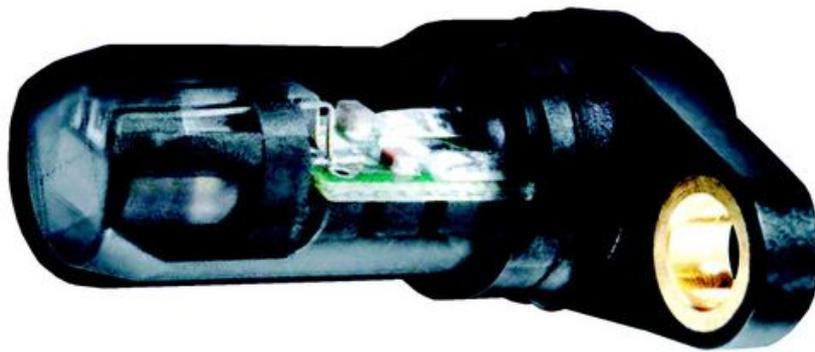


그림 1-7 엔진과 미션의 회전속도 측정을 위한 홀센서.

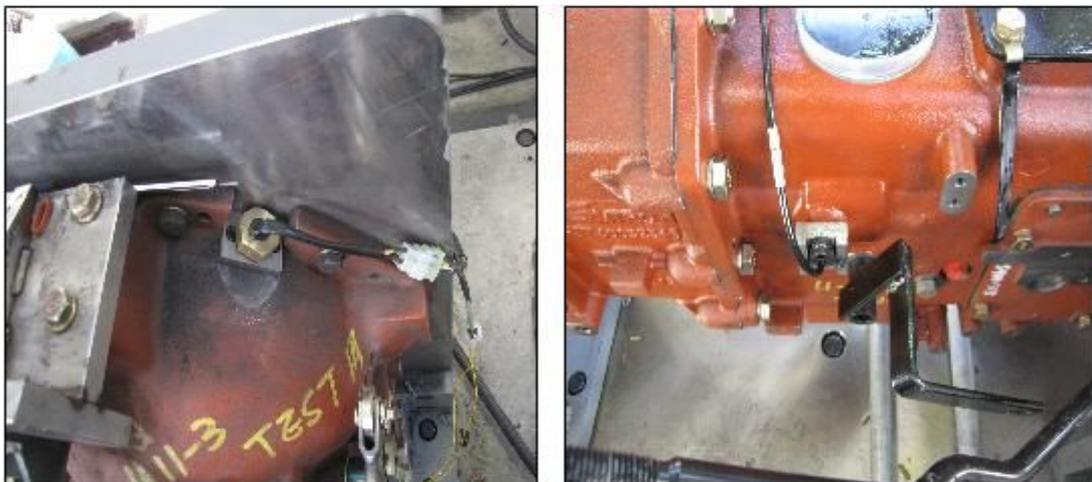


그림 1-8 엔진 회전속도(좌)와 미션 회전속도(우)의 측정을 위한 센서 장착.

표 1-6 홀센서의 사양

Specifications	Accuracy
Type	Hall Effect
Output Type	Digital
Voltage - Supply	4.75 V ~ 25.2 V
Frequency	15 kHz
Termination Style	Wire Leads

(나) 토크센서

트랙터에 걸리는 부하와 변속시점을 결정하기 위해서는 RPM 외에 토크(torque)도 중요한 요소이다. 토크는 실내 시험 장치에서 부하를 줄 수 있는 파우더 브레이크와 연결된 차축의 토크를 측정하였고 이를 위해 그림 1-9와 같이 차축에 토크센서(TRC-100k, 다셀, Korea)를 장착 하였으며 그 사양은 표 1-7과 같다.

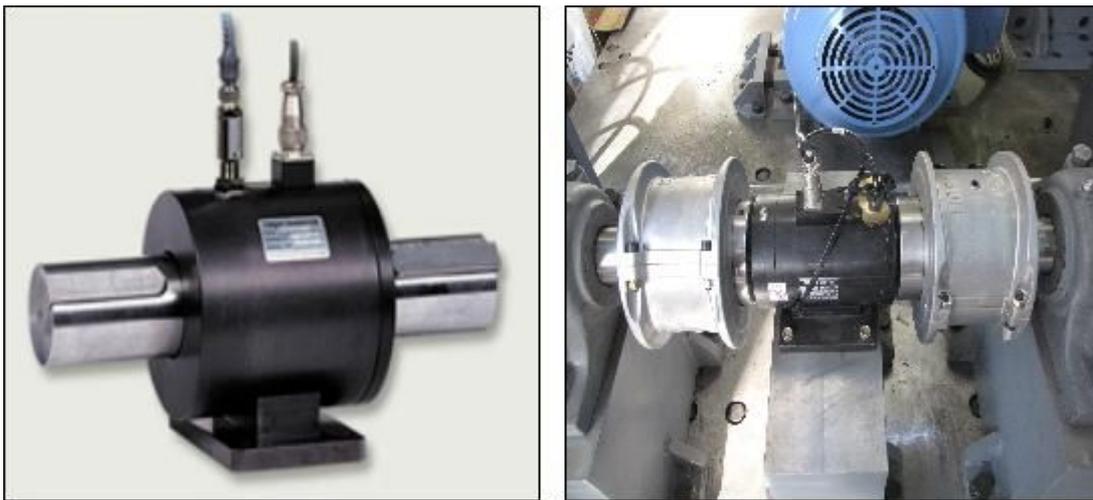


그림 1-9 차축의 토크를 측정하기 위한 토크센서(좌)와 실내 시험장치의 장착 위치 우

표 1-7 토크센서의 사양

Specifications	Accuracy
Rated capacity	100 kgf-m
Rated Output	1.3 mV/V±1%
Supply voltage	AC 2 V
Temperature operating	0 ~60°C
Safe overload	120% R.C
Hysteresis	±0.5% R.O.
Cable length	cable φ10, 4core shield 5 m

(다) 파우더 브레이크

본 연구에서는 실내 시험 장치를 사용하였고 차축을 띄워놓았기 때문에 차량에 부하를 줄 수 없었다. 따라서 토크를 발생시키기 위하여 차축에 그림 1-10과 같이 파우더 브레이크 (PRB-65 I2, 보라전기공업, Korea)를 장착하였다. 파우더 브레이크로 차축을 멈춤으로써 부하를 발생시켜 토크를 측정하도록 하였으며 그 사양은 표 1-8과 같다.



그림 1-10 부하를 주기 위한 파우더 브레이크(좌)와 장착 모습(우).

표 1-8 파우더 브레이크의 사양

Specifications	Accuracy
Rated capacity	650 Nm
current	5.0 A
Supply voltage	DC 24 V
weight	160 kg
bearing standard	#6019
Powder capacity	1000 g
Revolutions	500rpm

(라) 온도 센서

브레이크는 마찰에 의한 제동력을 발생시킴으로 이에 따른 장치의 변형이 일어나지 않도록 냉각시키는 것이 필요하다. 냉각 방식에는 여러 가지가 있지만 공기로 냉각시키는 공랭식과 물로 냉각시키는 수랭식이 대표적이다. 실내 내구 시험 장치에 사용된 파우더 브레이크는 효율이 좋은 수랭식으로 냉각하는데, 물의 순환을 위해 펌프를 작동시킨다. 이 때 계전력 낭비를 방지하기 위해 수온을 측정하여 일정 온도 이상일 때만 펌프를 작동시키도록 하였다.

온도측정을 위한 센서로는 서미스터(thermistor), 서머커플(thermocouple), RTD (Resistance Temperature Detector) 등이 있다. 서미스터는 반도체 물질 중에서 온도에 따라 저항이 변하는 성질을 이용하여 온도를 측정하는 것으로 출력 차이가 크고 반응속도가 빠르지만 선형적이 아니고 측정범위가 좁은 단점이 있다. 서머커플은 온도에 따른 금속의 기전력을 이용하여 온도를 측정하는 센서로써 간단하고 측정범위도 넓은 장점이 있지만, 완전히 선형적이지 않고 기전력 자체가 매우 작다는 단점이 있다. RTD는 금속이 온도에 따라 전기저항이 변하는 성질을 이용하여 온도를 측정한다. 가격이 비싸고 전류원이 필요하다는 단점이 있지만 가장 정확성이 높고 가장 선형적이며 가장 안정적이기 때문에 자동차와 같은 노이즈가 심하고 변화가 심한 환경에서는 RTD 센서가 적당하다.

RTD는 백금, 동, Nickel 등이 있으며, 그중 백금선이 온도변화에 예민하게 전기저항이 증감하고 사용온도범위도  $-200^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 이기 때문에 그림 1-11과 같은 백금측온저항체(Platinum Resistance Temperature Detector, PRTD)를 사용하였다. PRTD의 사양은 표 1-9와 같다.



그림 1-11 냉각수의 온도측정을 위한 PRTD.

표 1-9 PRTD의 사양

Specifications	Accuracy
Range	$-50 \sim 150^{\circ}\text{C}$
Output voltage	4 ~ 20mA
Accuracy	DC 24 V
Thread	160 kg

## (2) 실내 성능평가 장치

하이브리드 트랙터의 제어 알고리즘 개발 및 연료소비율, SOC (State of Charge), 동력 분배 등의 주요 성능을 분석 및 평가하기 위해서는 내구시험 장치와는 별도의 실내 성능 평가 장치의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 동력계 또는 다이내모미터(dynamometer) 전문 업

체인 AVL과 협조를 통해 성능 시험 장치를 설계하였다.

(가) 다이나모미터(Dynamometer)

회전력의 동력 측정 및 시험을 수행하는 시험설비를 통칭하여 다이나모미터(dynamometer)라고 하며 측정 대상과 방식에 따라 크게 엔진의 회전 동력을 측정하는 엔진 다이나모, 기어박스류의 동력시험을 행하는 트랜스미션 다이나모, 차량 전체 동력을 측정하는 새시 다이나모로 나눌 수 있다. 엔진 다이나모는 선박용 엔진 다이나모, 터빈용 다이나모, 항공기 엔진 다이나모, 자동차 엔진 다이나모, 모터사이클 엔진 다이나모 등이 있으며 트랜스미션 다이나모는 수동 트랜스미션용 다이나모, 자동 트랜스미션 다이나모, 리어 기어 박스용 다이나모, 액슬 다이나모 등으로 분류된다. 또한 새시 다이나모는 자동차 전체의 동력을 시험하는 시험계로써 내구용(mileage), 배기 가스용(emission), 환경용(environmental), 풍동용(wind tunnel), 전자기파 시험용(EMC), 진동 소음 시험용(NVH), 성능용(Performance)으로 구분된다.

다이나모의 기본적인 측정 방식은 모터와 발전기의 복합 형태와 비슷하며 회전 에너지를 측정이 가능한 다른 에너지로 변환 및 흡수시키고, 변형된 에너지를 정량화를 통해 동력원의 출력을 수치화한다. 초기의 다이나모는 회전 동력을 풍차를 이용하여 바람의 힘과 속도로 변환하여 측정하는 풍력 다이나모를 사용하였으며, 그 이후에는 수차를 이용한 수력 다이나모, 와전류의 형태로 변환하여 측정하는 EC 다이나모 등으로 발전했으며, 최근에는 DC 다이나모(직류 전기로 측정)를 지나 AC 다이나모(교류로 측정) 등이 그 주류를 이루고 있으며 현재 많이 사용되는 다이나모는 동력의 흡수와 발생이 동시에 가능한 복합적 형태이다.

다이나모는 동력원의 출력 측정 순간에 해당하는 힘과 속도를 연속적으로 측정하고, 이를 소프트웨어적으로 계산해 동력원의 출력을 얻는 것으로, 자동차의 경우 신차 개발시 설계 동력과의 비교 및 개선, 양산 차량의 주기적인 동력특성의 점검과 확인, 일정 수준의 품질관리 유지, 부품 성능 개선 및 내구성 확보 등에 중요한 데이터로 사용되고 있다.

(나) 다이나모미터의 종류별 적용

a) 엔진 다이나모미터

엔진 다이나모의 경우 시험 대상 엔진을 직접 다이나모에 연결한 상태로 실제 엔진에 연료와 공기를 주입한 후 실차 조건에서의 엔진 가동 상태로서 출력을 측정한다. 이때 엔진에서 발생하는 배기 가스, 연료 소비율, 각종 압력 및 온도 상태, 유해 입자 검사, 각종 엔진 구성 부품의 기능과 성능 및 내구 정도, 엔진 길들이기를 총체적으로 시험하게 된다. 또한 엔진에 역으로 걸리는 저항(힘)을 다이나모가 재현시킴으로써 그때의 엔진 반응 상태를 보기도 한다. 한편 기술의 발전으로 인해 최근의 양산 가솔린 엔진의 경우 그 엔진의 알려진 결함 요소 및 성능 추이를 사전에 mapping 작업을 통해 데이터 베이스화 함으로써 실제 연료 분사 없이 몇 회전의 크랭킹 만으로 시험하여 성능을 파악할 수도 있다.

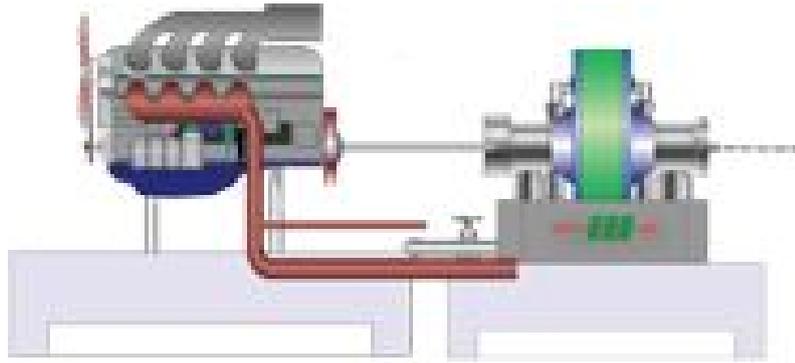


그림 1-12 엔진 다이내모미터.

b) 트랜스미션 다이내모미터

트랜스미션 다이내모는 실제 엔진 또는 해당 엔진의 성능을 똑같이 재현해 줄 수 있는 다이내모를 입력축으로 시험 대상인 기어 박스나 트랜스미션에 연결한 뒤 출력축에 다이내모를 연결해 측정하게 된다. 트랜스미션 다이내모는 수동변속기, 자동변속기, 디퍼렌셜, 리어 기어 박스 등 시험 대상을 구성 요건에 따라 다양하게 조합해 시험이 가능하다. 또한 자동차에서 노면까지 최종 동력의 전달자인 타이어 이전까지의 동력 발생 및 전달 부분인 파워트레인에 대한 전체 동력 성능 시험도 수행되며, 이때 진동이나 소음 및 열화 등 여러 가지 자동차의 승차감과 성능 부분에 대한 평가도 동시에 이루어진다.

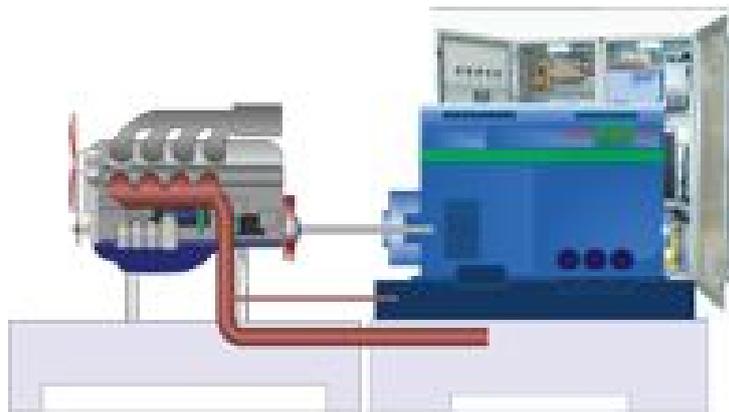


그림 1-13 트랜스미션 다이내모미터.

c) 샤프트 다이내모미터

샤프트 다이내모의 경우는 시험 차량 전체를 롤러(roller)위에 올려놓은 상태로 자동차가 실제 도로를 주행하는 것과 같은 상태로 재현하는 장비이며 차량의 성능을 종합적으로 파악할 수 있다는 장점이 있다. 태양광 재현이 가능한 +60°C 이상의 고온, -40°C 이하의 저온의 환경 챔버,

전자기파 재현이 가능한 EMC 챔버, 공력 소음 풍동, 소음 진동 시험실 등을 통해 직접 주행환경을 찾아서 실험할 필요가 없으며, 실제 주행로를 대신하는 롤러를 이용하므로 막대한 개발비용과 시간의 절약과 효율의 장점이 있다. 새시 다이아모에 사용되는 롤러 크기는 그 적용 범위에 따라 일반적으로 1.2~2.5m 정도, 다이아모의 용량은 승용차의 경우는 100~200kW를 주로 사용하며, 이러한 조건에서 차량 전체의 출력, 성능, 배기계 및 부품 실차 성능 시험을 행하게 된다.

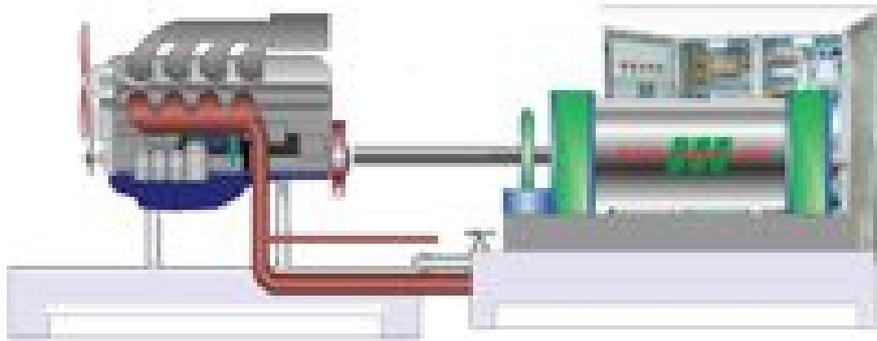


그림 1-14 새시 다이아모미터.

(다) 하이브리드 트랙터 다이아모미터

a) 하이브리드 트랙터 다이아모미터 설계

하이브리드 트랙터의 성능 평가를 위한 엔진 다이아모미터는 AC 다이아모 시스템으로 그림 1-15와 같이 시험대(test bed), 측정 장치(measuring equipments), 제어실(operating room), 공조기기(conditioning units)로 구성되어 있으며 성능 평가 실험이 이루어지는 시험대는 엔진에 직접 연결되어 부하를 가해주는 AC동력계 타입의 dynoroad, AC모터, 드라이브 캐비닛(cabinet)으로 이루어져 있다. dynoroad는 그림 1-16(a)와 같이 특히 트랙터의 작업환경을 고려하여 가혹한 조건 하에서의 엔진 테스트가 가능하도록 설계되었으며 농형권선(squirrel cage) 회전자를 포함한 교류 다이아모미터이다. 또한 토크 플랜지를 통해 정확한 토크 측정과 고해상도 엔코더 시스템을 이용한 정확한 속도 측정이 가능하고 성능표는 그림 1-16(b)와 같다. 시험대에 사용된 AC 모터는 다양한 실험에 의해 발생하는 낮은 관성에 초점을 맞추어 설계되었으며 추가적인 과부하에 대한 내구성이 있기 때문에 짧은 시간 큰 힘과 최대 토크 시험이 가능하다. 초크와 인버터 내부의 라인필터를 결합한 최첨단 IGBT 기술은 최소 신호왜곡과 최적 효율을 주는 전원을 통해 사인파형 피드백이 가능하다.

본 연구에서는 엔진다이아모의 개발이 완료된 후 그림 1-17과 같이 구성하여 하이브리드 트랙터의 작업 부하 프로파일을 이용하여 주요 성능을 분석한 후 제어 알고리즘을 개발 및 검증을 실시하였다.

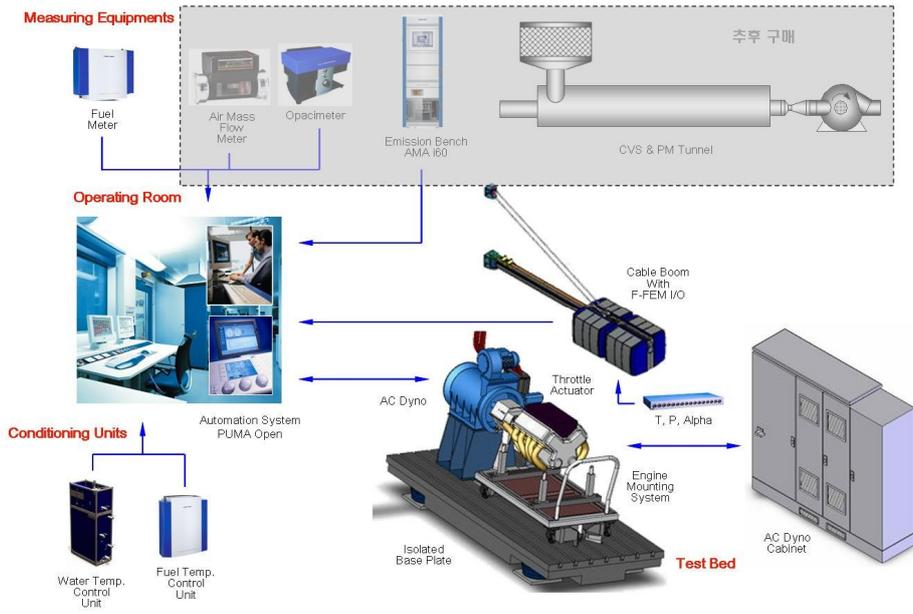
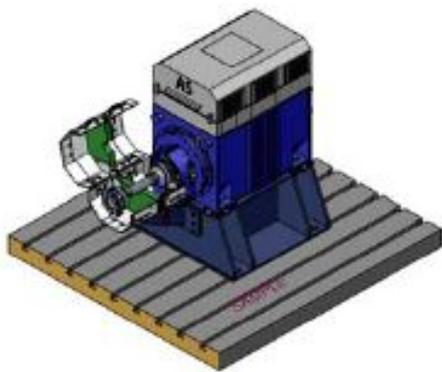
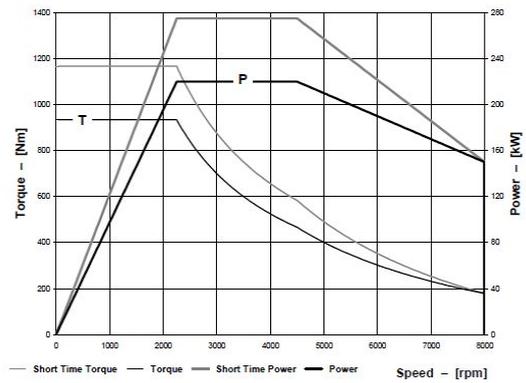


그림 1-15 하이브리드 트랙터 실내 실험 평가 장치.



(a) design



(b) specification curve

그림 1-16 Dynoroad.

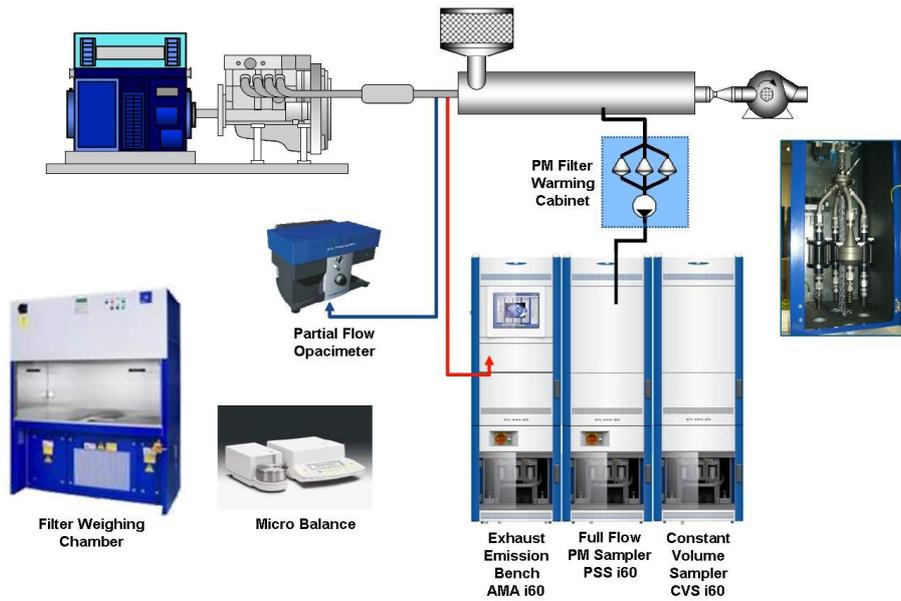


그림 1-17 엔진 다이내모미터의 구성도.

b) 하이브리드 트랙터 시스템 성능평가 장치 개발

하이브리드 전체 시스템 구성 및 핵심부품 성능평가 가능한 그림 1-18과 같은 실내 성능평가 시험장치를 개발하였다. 실내 시험장치는 트랙터 100ps 디젤 엔진과 하이브리드 핵심부품 및 별도의 부대장치로 구성되었으며 하이브리드 구동부는 디젤엔진과 동축에 10ps 구동모터/발전기를 직결 연결한 후 모터의 반대쪽 면에 유니버설 축을 이용하여 AC dyno와 연결하였다. AC dyno는 최대 200 kW의 용량을 가지며 가변 부하 입력이 가능하므로 부하 프로파일에 대한 부품 평가가 가능하다. 또한 모터/발전기 구동을 위해 배터리와 BMS의 전력 시스템을 구축하였으며, 전력 변환 및 모터/발전기 제어를 위한 E-MCU (Inverter/converter)를 설치하였다. 핵심부품 외에 성능 분석을 위한 power analyzer와 계측 시스템을 구비하였으며 연료의 경우 정확한 측정을 위해 별도의 연료 측정시스템을 구성하였다.

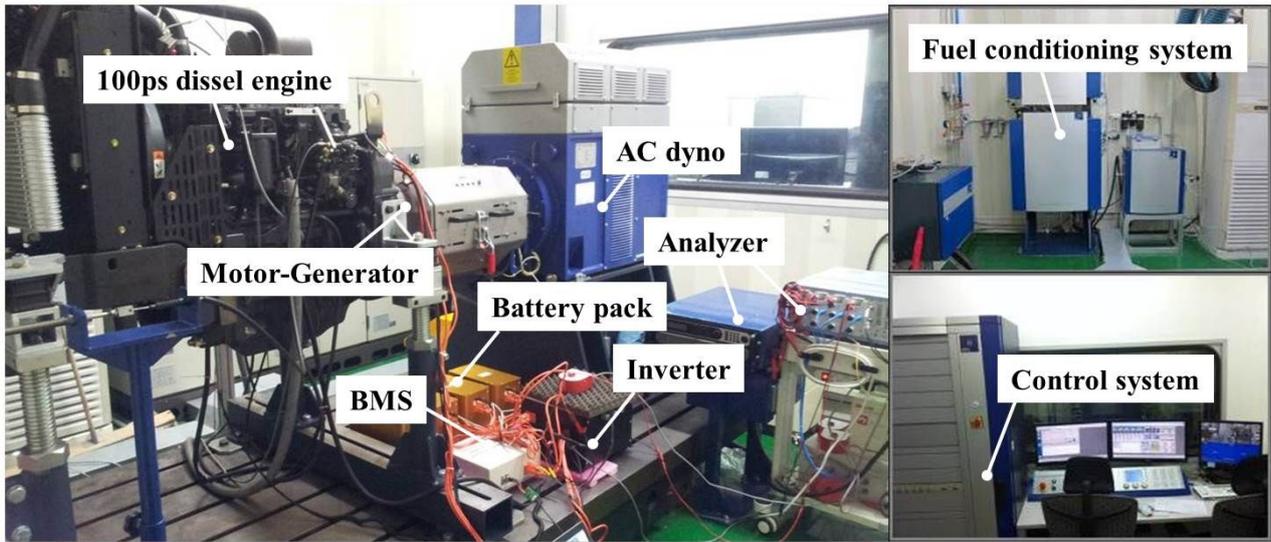


그림 1-18 하이브리드 트랙터 실내 시험장치.

## 나. 최적 동력 제어를 위한 통합 시스템 구축

### (1) CAN 기반 제어시스템 개발

CAN은 일반 승용 자동차 및 특수 차량에서 전선의 무게 감소와 각 유닛들의 효율성을 높이며 자동화 등에 큰 기여를 하고 있다. 국내에 일반 승용 자동차 분야는 CAN 기반의 내부 시스템의 많은 발전이 있었으나 농경지 등에서 사용되는 트랙터는 아직 그에 못 미치고 있다. CAN은 통신선을 트위스트 꼬임으로 하여 주변 노이즈에 강하므로 농업 환경에서 적용성이 가장 좋은 통신 방법이다. 농용 트랙터와 임업 작업기에서의 CAN은 ISO 11783에서 규정되어 있다.

ISO 11783의 내용을 살펴보면, CAN에 의해 데이터가 교환될 때 어떠한 전자제어 장치들도 주소화되지 않고 메시지의 내용에 의해서 정해진다. ID는 메시지의 내용뿐만 아니라 우선순위도 결정하는데, 이것은 여러 개의 전자제어 장치들이 동시에 버스에 접근하려고 할 때 버스 할당을 위하여 중요하다. 전송되는 메시지의 우선순위는 해당 메시지의 ID에 의해 결정되는데 시스템을 설계하는 동안 결정되며 이진법에 의해 표현되고 동적으로 변할 수 없으며 가장 낮은 이진수를 갖는 ID가 가장 높은 우선순위를 갖는다.

#### (가) HCU layout

병렬형 하이브리드 트랙터에는 기존의 트랙터에 비해 모터제어를 담당하는 MCU, 배터리 제어를 담당하는 BMS 등이 추가된다. MCU와 BMS의 제어는 그림 1-19와 같이 각종 센서들을 통해 엔진의 회전수, 브레이크와 가속페달의 상태로부터 가속 혹은 감속 여부, 연료소모량, 속도 등의 신호를 수집하고 이를 정해진 맵에 비교하여 모터의 작동 여부를 결정한다. 그 후 MCU와 BMS에 명령을 내려 모터를 구동할지 배터리를 충전할지 결정하게 되므로 이러한 과정을 연산하고 명령할 수 있는 HCU (Hybrid control unit)가 필요하다.

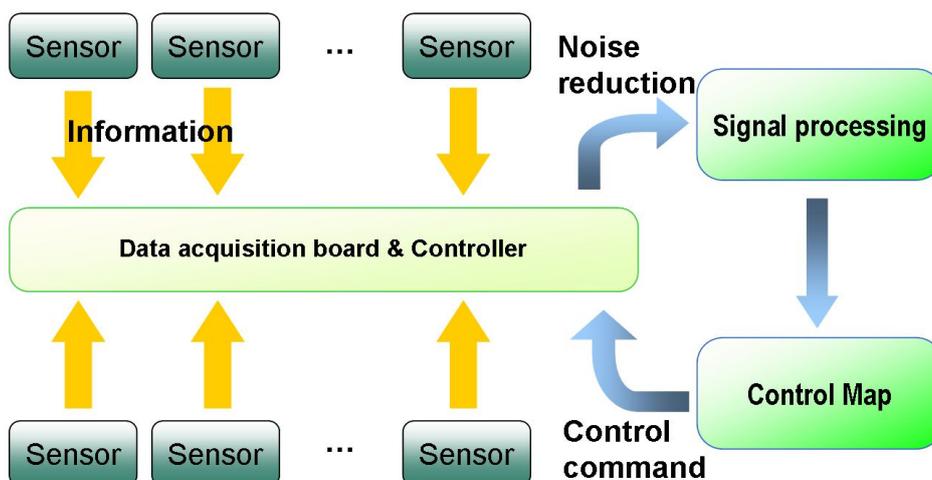


그림 1-19 HCU 제어를 위한 측정 시스템.

HCU는 하이브리드 시스템의 최상위 제어기로서 엔진과 전기모터의 동력 분배와 결합, Stop/Start 기능, 동력 보조, 회생제동과 같은 하이브리드 기능 및 하이브리드 변속기의 변속 패턴을 담당한다. 또한 그림 1-20과 같이 엔진 제어기(Engine control unit, ECU), 변속기 제어기(Transmission Control Unit, TCU), 배터리 제어기(Battery Management System, BMS), 모터 제어기(Motor Control Unit, MCU) 및 차량내의 기타 제어시스템 등과 함께 트랙터의 전체적인 주행 전략과 변속 및 각 제어기와의 정보교환을 통한 차량 제어 등을 총괄한다.

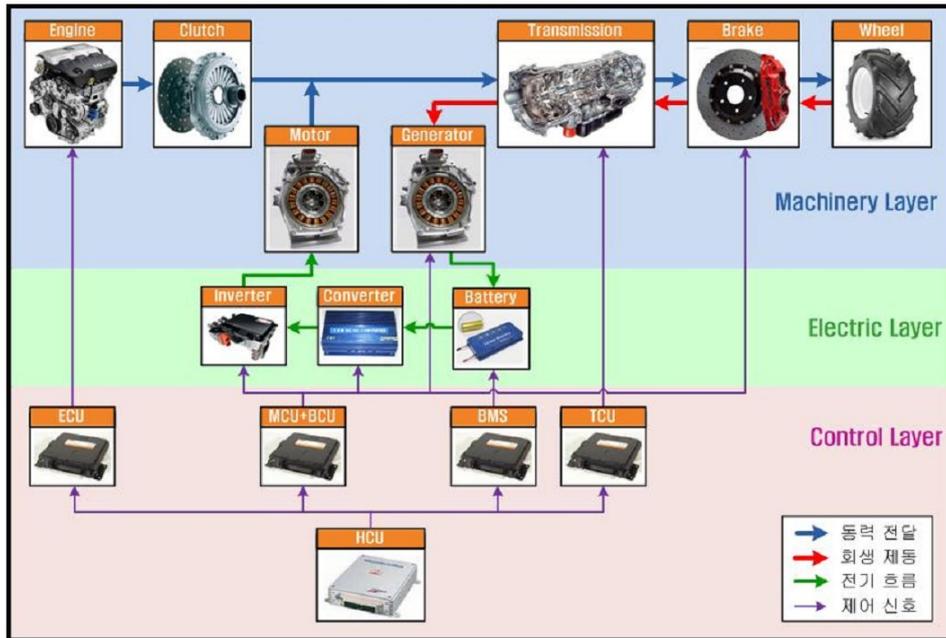


그림 1-20 하이브리드 차량 시스템 구성도.

HCU는 기본적인 기능으로 그림 1-21과 같이 운전자로부터 요구 받은 주행 토크량을 인식하여 엔진과 모터로 분배하는 PSR(Power Split Ratio) 기능을 수행하여야 한다. 운전자 요구와 차량의 상태를 파악하여 주행모드를 결정하고 엔진과 모터에서 발생(또는 흡수)할 토크의 량을 계산하여 ECU 및 MCU에 지령을 내리게 된다. 두 번째로는 변속비(Gear Ratio, GR) 제어다. 변속비 제어를 일반적으로는 TCU(Transmission Control Unit)가 하지만, 하이브리드 자동차에서는 차량의 전체 시스템 효율 및 엔진의 OOL(Optimal Operating Line)운행, 모터의 동력 지원 등을 고려하여 HCU에서 직접 산정하여 TCU에 지시하게 된다.

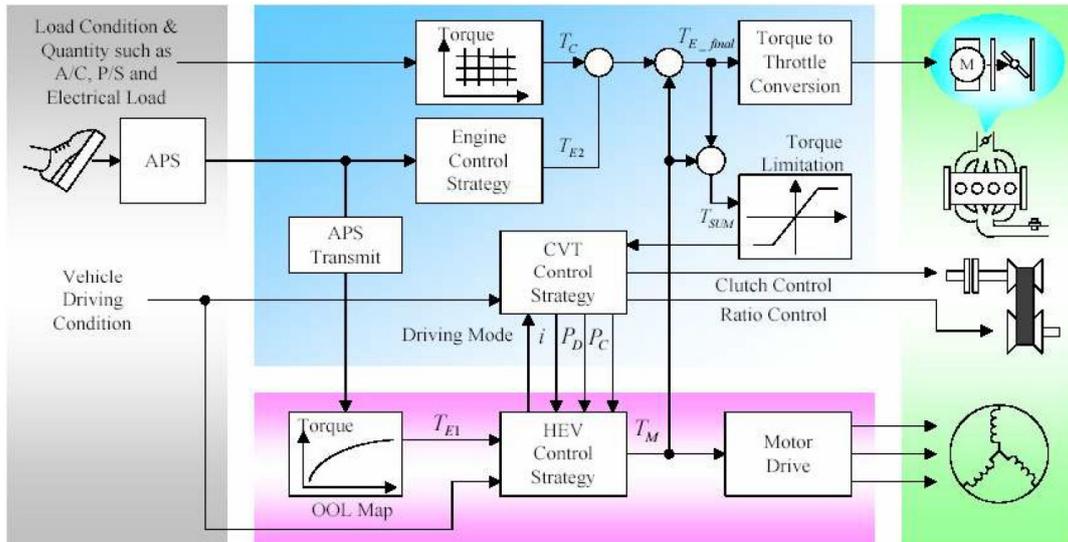


그림 1-21 HCU의 제어 개념도.

세 번째는 SOC (State of Charge) 유지 제어로 배터리의 SOC량을 차량 주행 상황에 따라 어떻게 제어하느냐에 따라 연비 성능이 달라진다. 따라서 HCU는 연비 성능이 최대화되면서 배터리의 성능 및 상태가 적절히 유지되도록 전기 에너지의 소비에 대한 제어를 실시하게 된다. 하이브리드 트랙터의 성능을 극대화하기 위하여 기본적인 세가지 기능을 충실히 할 수 있어야하고 이 밖에도 각종 보조 기능(Auxiliary function), 안전(Safety), 진단(Diagnosis) 등의 기능도 상위 제어기 개념에서 실행할 수 있어야한다.

작업자가 차량을 구동하면 센서로부터의 측정된 신호를 연산처리하여 적절한 제어 신호를 MCU와 BMS에 주어 모터 동작 여부를 결정하도록 하기 위해 CAN 통신을 통해 필요한 데이터들을 송수신하도록 하였다. 이로 인해 기존 CAN 통신 구축을 크게 변경하지 않고도 추가된 하이브리드 제어기들을 함께 사용할 수 있다.

#### (나) HCU 최적 설계

HCU의 설계 시 적용할 수 있는 방법에는 하드웨어(실험장치) - 하드웨어(제어기 시제품), 하드웨어(실험장치) - 소프트웨어(제어 알고리즘), 소프트웨어(동적 해석 프로그램) - 하드웨어(제어기 시제품), 소프트웨어(동적 해석 프로그램) - 소프트웨어(변속제어 알고리즘)를 이용하는 네 가지 방법을 사용할 수 있다. 현재 자동차 회사에서 많이 사용되고 있는 하드웨어(실험장치) - 하드웨어(제어기 시제품)의 방법은 제어기를 설계하고 이를 수정할 때마다 제어기를 다시 만들어 실험을 반복해야하는 번거로움과 함께 개발에 많은 시간과 경비가 소요된다는 단점이 있지만 실제 차량의 모델로 한 실험 장치에 시제품을 장착하기 때문에 완제품에 적용 시 높은 신뢰도와 적용성을 보장한다는 장점이 있다. 하드웨어(실험장치) - 소프트웨어(제어기 알고리즘)의 방법은 변속제어기를 쉽게 변경할 수 있으나, 만약 알고리즘 상에 문제가 발생하면 실험장치가 고장 날 우려가 있다. 소프트웨어(동적 해석 프로그램) - 하드웨어(제어기 시제품)

의 방법은 일반적으로 HILS (Hardware-In-the-Loop Simulation)로 불리며 제어기의 작동여부는 물론 실험 장치에서 구현 할 수 없는 모든 주행상태에 대하여 제어기의 동작을 검증할 수 있는 장점이 있지만 우선 동적 해석 프로그램이 실험 장치에 의해 검증이 되어야한다. 소프트웨어로만 설계할 경우에는 제작비용 및 시간을 절감할 수 있지만, 신빙성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 완성품 제작 시 신뢰성과 적용성이 보장되는 하드웨어 - 하드웨어 방식의 설계방법을 사용하였으며 사용자 요구에 따라 쉽게 수정이 가능한 FPGA와 마이컴 컨트롤러를 사용하여 설계하였다.

(다) HCU 시작품 회로 설계

a) 내부 회로 설계

MCU와 BMS를 제어하기 위해 HCU 컨트롤러의 회로도를 설계하였으며 그림 1-22는 메인 CPU의 배선도를 나타내고 있다. HCU는 각종 사용자 입력장치 및 차량 제어용 센서들에 대한 신호를 수신 및 처리하고, 처리된 결과를 토대로 MCU와 BMS를 제어하여 모터의 구동 여부를 결정하도록 설계하였다.

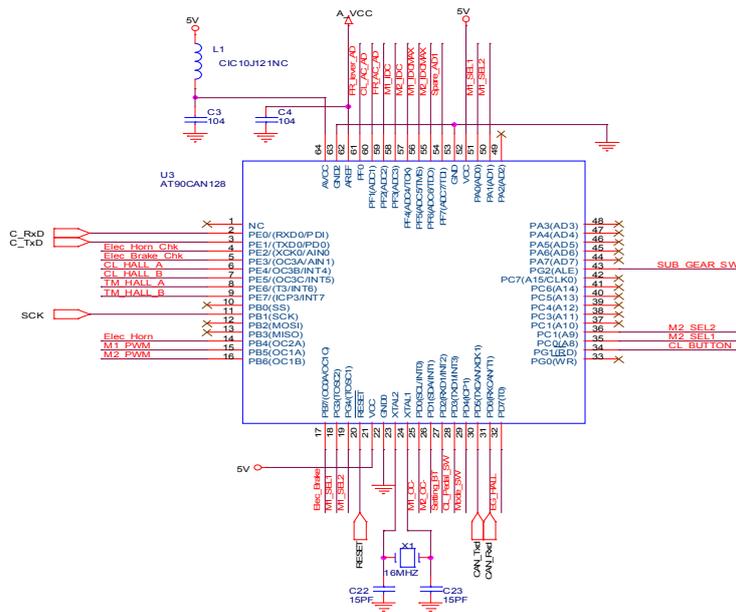


그림 1-22 Controller circuit diagram (main CPU).

MCU 컨트롤러와 BMS 컨트롤러간의 통신은 여러 개의 전자제어 장치들을 병렬로 연결하여 각각의 전자제어 장치들 간에 원활한 정보교환이 가능하며 여러 개의 장치를 단 2개의 선으로 제어할 수 있다는 장점이 있는 CAN 통신을 이용하였다. 트랙터의 CAN의 경우 ISO 11783에서 규정되어 있으며 본 연구에서는 그림 1-23과 같이 회로도를 구성하였다. CAN 통신부의 회로도에 사용되는 CAN프로토콜 컨트롤러와 물리계층 버스 사이의 인터페이스는 SMD타입으로

1 Mbaud 이상의 전송속도를 가지는 PCA82C250T를 사용하였다.

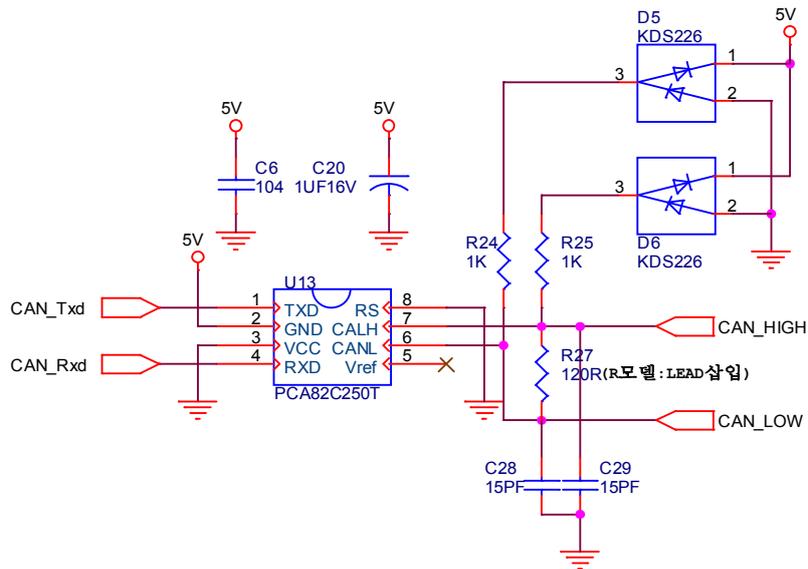


그림 1-23 Controller circuit diagram (CAN communication).

트랙터 작업시 필요 동력을 분석하기 위한 정보를 입력 받기 위해 그림 1-24와 같이 입력부 회로도를 구성하였다. 구성된 회로는 analog to digital 회로로써 각종 센서를 통해 측정되는 0 ~ 5 V의 아날로그 신호를 제어 및 측정에 용이한 디지털 신호로 변환한다. 또한 회로의 집적도 향상을 위해서 여러 개의 저항기를 하나의 패키지 안에 넣고 저항 네트워크를 구성한 네트워크 저항기 (MNR14, Rohm, Japan)를 이용하였다.

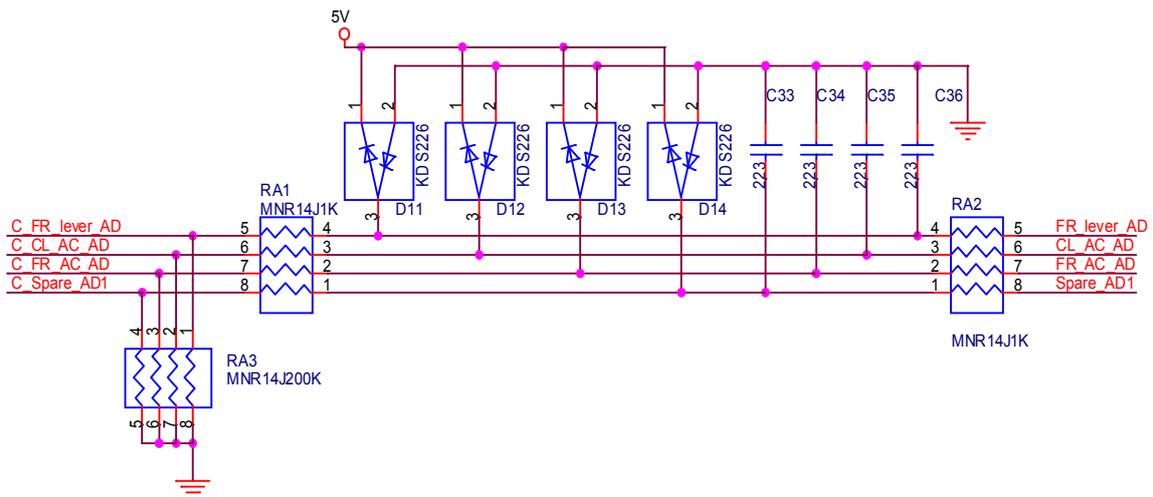


그림 1-24 Controller circuit diagram (AD input).

그림 1-25에는 MCU 제어에 사용하는 모터 제어용 회로도를 나타내었다. 모터의 제어를 위해서 고속의 4개 입력을 가지는 멀티플렉서(74LS153M, On semiconductor, USA)를 이용하였

으며 모터의 제어 신호 출력을 위해 고온에서 고속의 스위칭 작동이 가능한 반도체인 IRF3205, IRF4905\_P (International rectifier, USA)를 사용하였으며 IRF3205의 경우 continuous drain current가 20°C에서 110 A, 100°C에서 80 A, IRF4905의 경우 각각 -74, -52 A를 가진다.

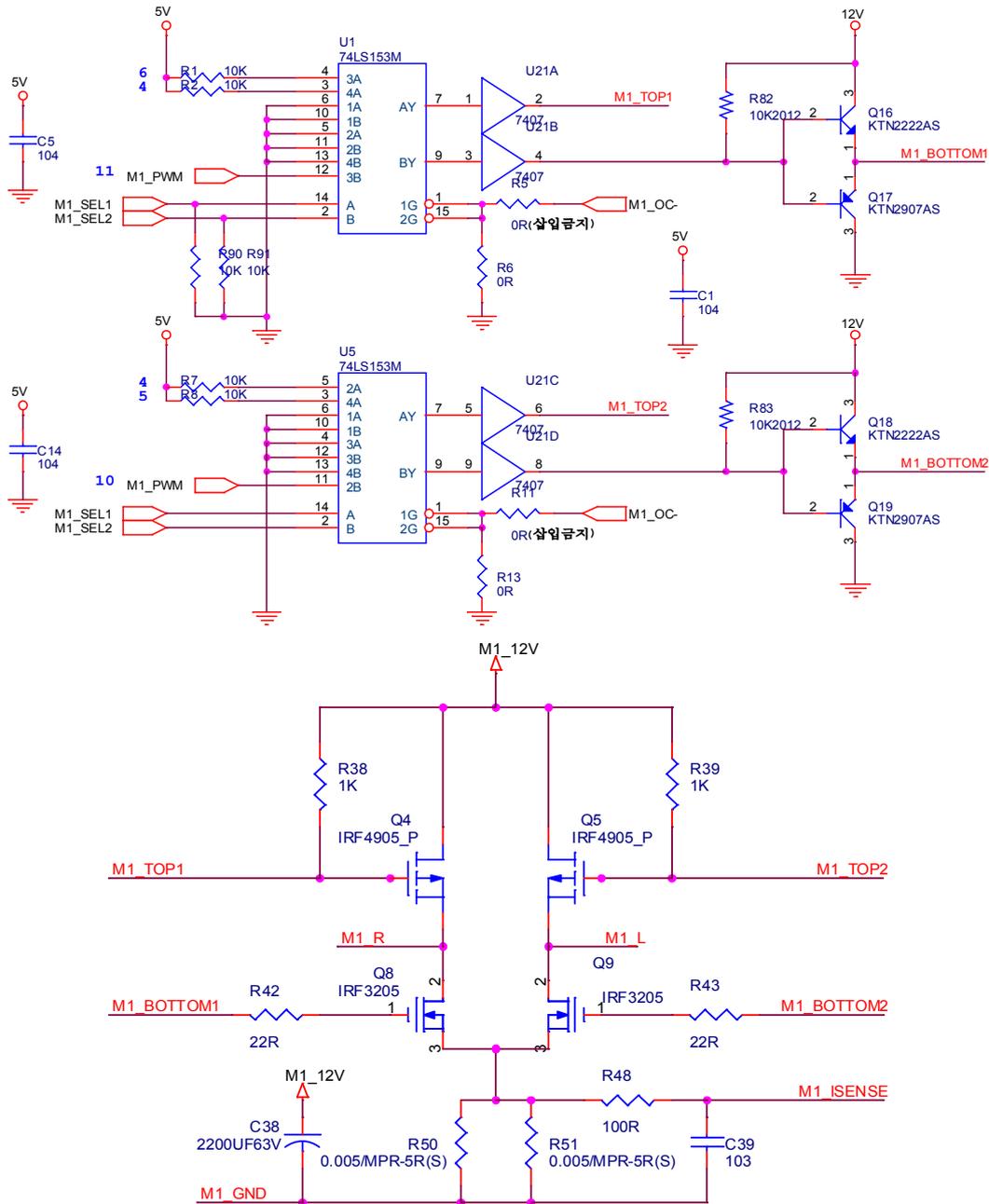


그림 1-25 Controller circuit diagram (motor control).

그림 1-26에는 각각의 컨트롤러에서 사용하는 구동 전류를 측정하기 위한 전류 증폭 회로도를 나타내었다.

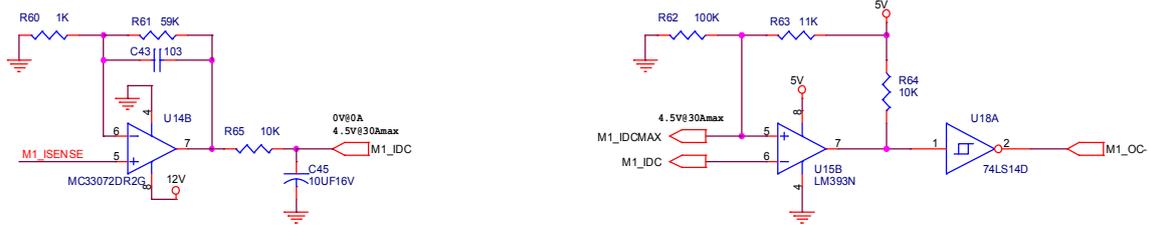


그림 1-26 Controller circuit diagram (current amplification).

그림 1-27에는 MCU와 BMS를 제어하기 위한 외부 출력 회로도를 나타내었다. 제어의 출력 제어를 위해 IPS5451S (International rectifier, USA)를 사용하였으며 과온도 보호(over temperature protection) 및 과전류 보호(over current protection) 기능을 가진다.

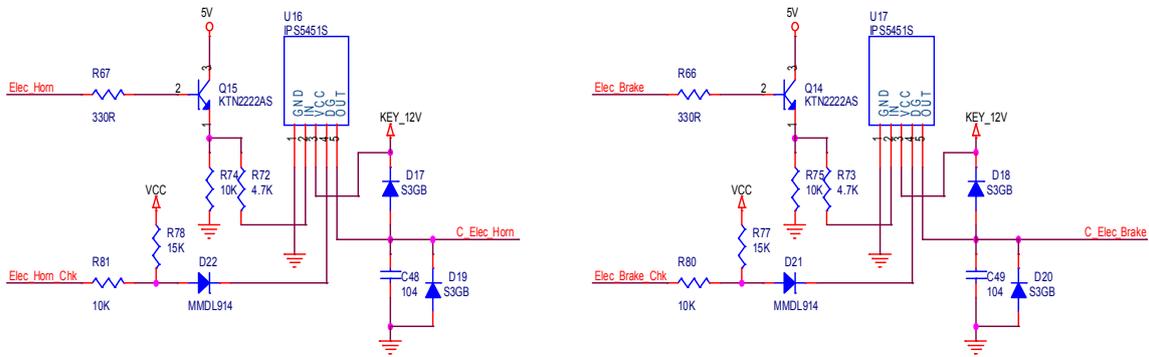


그림 1-27 Controller circuit diagram (external output).

(라) HCU 케이스 설계

HCU 컨트롤러에는 MCU에서 사용하는 모터를 제어하기 위해 모터 제어용 POWER-FET가 8개 장착되어 있다. POWER-FET는 소모 전력을 열에너지로 방출하므로 POWER-FET 파괴 방지를 위한 방열판이 반드시 필요하다. 하이브리드 트랙터에서 사용 되는 MCU 컨트롤러는 최대 37A의 전류를 사용하면서 10.952W의 열을 방출하고, BMS 컨트롤러는 최대 13A 전류를 사용하면서 3.38W의 열을 방출한다. 따라서, MCU 컨트롤러의 열 방출에 따라 POWER-FET의 방열이 필요하므로 케이스를 알루미늄으로 제작하여 방열판 겸 HCU 케이스로 이용하였다. 그림 1-28은 컨트롤러 보드에 장착된 POWER-FET을 알루미늄 케이스에 조립한 상태를 도식화한 3D 도면을 나타내었으며 그림 1-29와 같이 HCU 보드와 알루미늄 케이스를 개발하여 장착하였다.

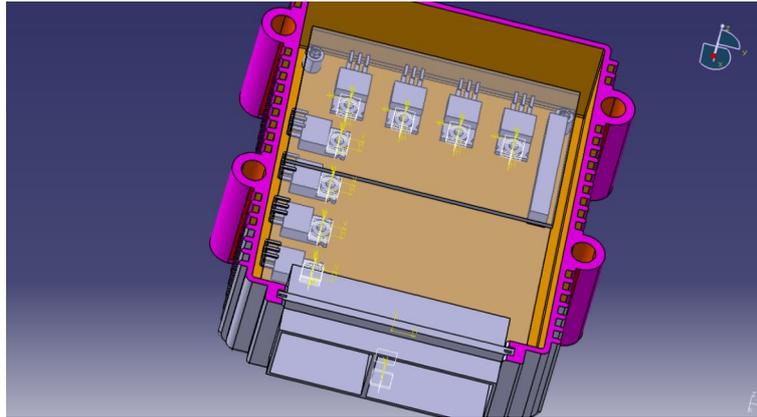


그림 1-28 3D design for HCU case.

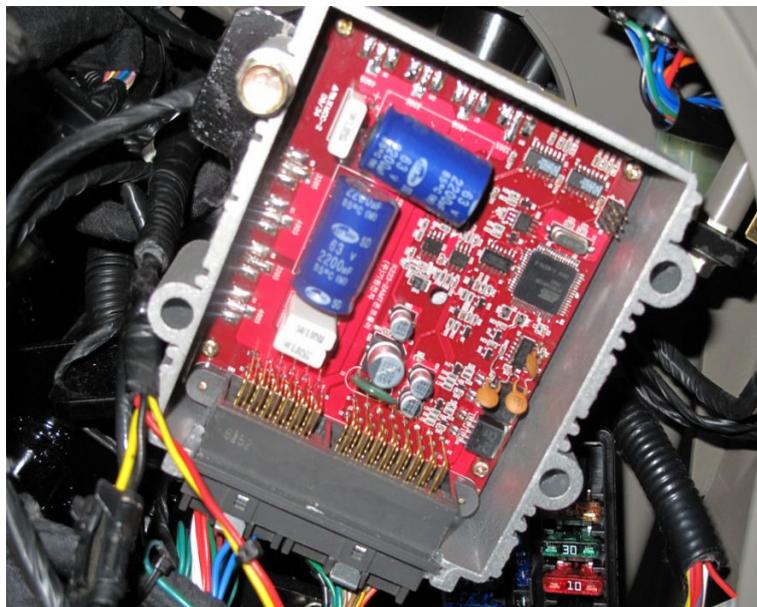


그림 1-29 HCU board built into the aluminium case.

마) HCU 시작품 신뢰성 검증

HCU 컨트롤러 간의 내환경성을 평가하기 위해서 과도전압시험, 과전압시험, 내수성 시험, 내진성 시험, 온도 시험, 통상전원전 시험을 실시하였다.

a) 과도전압 및 과전압 시험

HCU 컨트롤러의 과도전압 시험은 그림 1-30과 같이 컨트롤러가 과도전압에 노출되었을 때, 손상되지 않고 정상적으로 동작하는지 평가하는 시험으로 JASO D001-94 5.7항 A종(A-2)항을 이용하여 시험을 실시하였다. 컨트롤러의 입력장치 및 부하장치를 연결 후 컨트롤러가 작동되는 상태에서 과도 전압시험기를 이용하여 규정된 시험전압을 인가 후 제품의 동작 성능을 평가하였다. 시험조건은 과도전압의 최대치 110 V, 감쇠시정수는 2.5 us, 발생주파수는 1/30 Hz,

시험전압발생회로의 출력 임피던스는 0.4 Ω으로 정하였으며 시험이 종료된 후 컨트롤러 오동작 없이 동작사양을 만족하였다.



그림 1-30 과도전압 시험.

시험보고서				1 / 1		
시험일자	2010.01.20	결과	양담	검호	승인	
시험부서	기술 연구소		[Handwritten Signature]			
시험자	한 경 식					
계 목	컨트롤러 과도전압 시험					
차 종	트랙터	업체명	L&L 임토문			
품 명	컨트롤러	서요수	1EA			
품 번		시험기간	2010.01.20			
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 과도전압 시험 후 정상 동작 여부 확인.</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) JASO D001-04 6.7항 A종 (A-2)항으로 시험.                      (계통의 입력장치 및 부하장치를 인공로 계통이 작동하는 상태로 하고, 과도전압시험기를 통해 규정된 시험전압을 인가후 계통성능을 확인한다.)</p> <p style="text-align: center;">시험조건</p> <p>과도전압의 최대치 (Vp) : 110[V]                      감쇠시상수 (t) : 2.6[us]                      발생주파수 (f) : 1/30[Hz]                      시험전압발생회로의 출력 임피던스 : 0.4[Ω]</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>도 1 過渡電圧試験 A種及 D種の電圧波形</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>사진</p> </div> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 과도전압 시험 후 오동작 없이 동작사양 만족함.</p>						

그림 1-31 과도전압 시험 성적서.

과전압 시험은 그림 1-32와 같이 컨트롤러의 정격전압 보다 높은 DC 26 V를 5분간 인가한 후 다시 정격전압을 인가하여 HCU 컨트롤러의 동작여부를 확인하였으며 시험 후 HCU 컨트롤러

롤러는 오동작 없이 정상적으로 작동되었다.



그림 1-32 과전압시험.

시험보고서				1 / 1
시험일자	2010.01.19	결 재	담당	결 과
시험부서	기술 연구소		[Signature]	승인
시험자	한광석			[Signature]
계 목	컨트롤러 과전압 시험			
차 례	트랙터	업체명	LS 엘트론	
품 명	컨트롤러	시험수	1EA	
품 번		시험기간	2010.01.19	
<p>1. 목 적 : 컨트롤러의 과전압 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) 컨트롤러를 시험기에 연결하고 전원단자에 DC 26[V]를 6분간 인가한다.</p> <p>2) 전원단자에 정격전압을 인가 한 후 동작 여부를 확인한다.</p> <p style="text-align: center;">시험사진</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <p style="text-align: center;">DC 26[V]</p> <p>3. 결 과</p> <p>1) 과전압 시험 후 오동작 없이 동작사양 만족함.</p>				

그림 1-33 과전압 시험 성적서.

### b) 내수성 시험

내수성 시험은 자동차 부품 중 간접적으로 풍우 또는 살수를 받는 부품의 내습 및 내수 기능을 시험하는 방법으로 KS R0015 R2를 이용하여 실시하였다. 시험은 그림 1-34와 같이 상온의 물을 400 mm 거리에서 0.03 MPa의 수압으로 10분간 부품에 살수하여 부품의 내수성을 확인한다. KS R0015 R2 시험 뒤 1시간 방치 후 정상 동작여부를 확인한 결과 내수성 동작사양

을 만족하였다.



그림 1-34 내수성 시험.

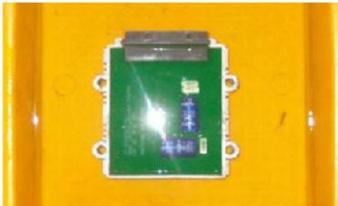
시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.28	결과	담당	김도	승인
시험부서	기술 연구소				
시험자	한광식				
계 목	컨트롤러 내수성 시험				
차 종	트랙터	업체명	LS 오토본		
용 명	컨트롤러	시료수	1EA		
용 번		시험기간	2010.01.28		
<p>1. 목 적 : 컨트롤러의 내수성시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) KS R0016 R2시험 뒤 1시간 방치 후 정상 동작할 것.</p> <p style="text-align: center;">시험사진</p>  <p>3. 결 과</p> <p>1) 내수성 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>					

그림 1-35 내수성 시험 성적서.

### c) 내진성 시험

내진성 시험은 KS R1034 3종 B종 시험법으로 실시하였으며 이는 자동차 진동시험 방법 중 트랙 계열이면서 부품이 차체 또는 현가장치의 스프링 위에 부착되어 비교적 진동이 큰 경우에 적용하는 시험으로 전반적으로 트랙터의 작업 환경과 유사하다. 시험은 그림 1-36과 같이 66 Hz로 상하 4시간, 좌우, 전후 각각 2시간의 진동을 가한 후 컨트롤러를 시험한 결과 정상적으로 동작하였다.



그림 1-36 내진성 시험(좌)전후, (중)상하, (우)좌우.

시험보고서					1 / 1	
시험일자	2010.01.26	결과	담당	장도	승인	
시험부서	기술연구소		jkt		최안호	
시험자	황경식					
계 목	컨트롤러 내진성 시험					
차 종	드래퍼	업체명	LS 엔지니어			
품 명	컨트롤러	시료수	1EA			
품 번		시험기간	2010.01.26			
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 내진성 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) KS R1034 8중 8중 66HZ에서 상하 4시간, 좌우, 전후 각각 2시간 시험 후 정상 작동할 것.</p> <p style="text-align: center;">시험 사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> <span>전후</span> <span>상하</span> <span>좌우</span> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 내진성 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>						

그림 1-37 내진성 시험 성적서.

#### d) 온도 시험

HCU 컨트롤러 온도시험의 경우 보존온도시험과 동작온도시험의 2가지 항목을 실시하였다. 보존온도시험은 그림 1-38과 같이 소자나 장치의 특성이 열화 없이 유지되는지를 확인하는 것으로 컨트롤러를 항온항습기에 넣고 -30℃, 80℃에서 각각 1시간씩 유지한 후 상온에서 기기의 성능을 테스트하였다. 동작온도는 장치가 작동할 수 있는 온도범위로 컨트롤러를 항온항습기에 넣은 다음 -15℃, 80℃에서 각각 1시간씩 유지 후 상온에서 성능을 평가하였다. 두가지 시험 후 모든 경우에서 이상없이 정상 작동하였다.



그림 1-38 온도시험 (좌)-30℃, (우)80℃.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.22	검 재	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소		[Signature]		[Signature]
시험자	한광익				
계 목	컨트롤러 온도시험				
차 종	트랙터	업체명	LB 엠프론		
품 명	컨트롤러	시표수	1EA		
출 번		시험기간	2010.01.22		
<p>1. 목적 : 컨트롤러의 고온, 저온 작동시험 후 정상 동작 여부 확인.</p> <p>2. 시험 방법</p> <p>1) 보존 온도 : 황온함습기에 넣고 -30[°C], 80[°C]를 각각 1시간 유지 후 상온에서 테스트</p> <p>2) 동작 온도 : 황온함습기에 넣고 -16[°C], 80[°C]를 각각 1시간 유지 후 상온에서 테스트</p> <p style="text-align: center;">시험 사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>-30℃</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>+80℃</p> </div> </div> <p>3. 결과 : 시험 종료 후 정상 동작함.</p>					

그림 1-39 온도 시험 성적서.

e) 통상전원전압 시험

통상전원전압 시험은 그림 1-40과 같이 컨트롤러를 통상전원전압 시험기에 연결하고 DC 9 ~ 16 V의 전원전압을 60분간 인가하였다. 통상전원전압 시험 결과, 전원전압 인가 후 HCU 컨트롤러는 정상적으로 동작하여 목표 성능을 만족하였다.



그림 1-40 통상전원전압 시험.

시험보고서				1 / 1	
시험일자	2010.01.19	결 재	담당	검토	승인
시험부서	기술 연구소				
시험자	황경식				
계 목	컨트롤러 전압 시험				
차 종	트랙터	업체명	LS 엘트론		
품 명	컨트롤러	시료수	1EA		
품 번		시험기간	2010.01.19		
<p>1. 목적 : 컨트롤러에 통상 전원 전압 시험 후 정상 동작 여부 확인</p> <p>2. 시험방법</p> <p>1) 컨트롤러를 시험기에 연결하고 전원전압을 DC9[V] - 16[V]를 80분간 인가 후 정격전압 인가할 것.</p> <p style="text-align: center;">시험 사진</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>9[V]</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>16[V]</p> </div> </div> <p>3. 결과</p> <p>1) 통상 전원 전압 시험 후 오동작 없이 동작사항 만족함.</p>					

그림 1-41 통상전원전압 시험 성적서.

## (2) 잡음제거 알고리즘 개발

### (가) 잡음제거 알고리즘

트랙터는 포장 작업 중 부하를 측정해야 하는데 데이터 수집 장치에 의해 자료수집 장치에 의해 측정된 센서 신호는 측정 시 주변 환경에 따라 여러 가지 잡음이 섞여있어 시스템의 진단을 위해서는 센서 신호의 종류에 따라 적합한 잡음제거 방법이 필요하다. 일반적으로 잡음 제거 방법에는 시간 영역에서 연속되는 신호의 통계적 연산을 이용하여 제거하는 방법과 주파수 영역으로 변환한 후, 알고 있는 잡음 영역을 제거하는 주파수 영역의 방법이 있다. 주파수 영역의 잡음 제거로는 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용한 방법과 웨이블릿 변환

(Wavelet transform)을 이용한 방법 등이 있으며 복잡한 신호의 잡음제거에는 모함수(Mother function)가 다양한 웨이블릿 변환이 많이 사용되어 진다. 시간 영역의 잡음 제거로 가장 많이 사용되는 것은 연산이 적고 간단한 이동평균필터(Moving average filter)가 있으며 주변 환경의 변화에 따라 필터 특성의 변화가 가능한 적응필터(Adaptive filter), 상태값을 갱신 및 교정하는 연산을 반복하여 최적의 값을 통계적으로 추정해 나가는 칼만필터(Kalman filter) 등이 있다. 본 연구에서는 이동평균필터, 웨이블릿필터, 적응필터, 칼만필터를 하이브리드 트랙터 시스템의 잡음 제거에 적합하도록 각각 개발하였으며 이때 사용된 각각의 필터의 특징은 다음과 같다.

a) 이동평균필터(Moving average filter)

이동평균필터는 측정된 신호들을 일정한 계수만큼 평균함으로써 잡음을 제거하는 방법으로, 이것은 식 (1-1)과 같이  $i$  번째 측정된 센서 신호와 이전에 측정된 신호의 평균을 산출하는 것으로 이전에 측정된 센서 신호를 이용하여 다음번 센서 신호의 값을 보정하게 된다.

$$y(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} x(t-i) \dots \dots \dots \text{식 (1-1)}$$

- 여기서,  $x(t)$  :  $t$  시간일 때의 입력신호
- $M$  : 신호의 평균 널 차수
- $y(t)$  :  $t$  시간일 때의 출력신호

이동평균 필터는 간단한 연산으로 입력된 신호의 잡음을 제거할 수 있는 장점은 있으나 필터의 성능을 높이기 위해서는 평균을 내는 필터의 차수를 높여야 하므로 이에 따라 응답이 느려지는 단점이 있다.

b) 웨이블릿필터(Wavelet filter)

일반적인 주파수 분석에 많이 사용되고 있는 푸리에 변환은 모든 신호를 정현파의 조합이라고 가정하고 기본함수로 정현파를 사용하여 주파수 영역에서 분석하는 방법으로 일정한 영역의 주파수가 중첩된 잡음 신호의 제거는 용이하나 복잡한 신호의 잡음 제거는 어려우며 정확한 잡음 발생 시간의 판별이 어려운 단점이 있다. 단기 푸리에 변환(Short Time Fourier Transform: STFT)은 푸리에 변환이 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 창(Window)이라는 개념을 도입하여 일정 크기의 창을 이용하여 시간 영역의 분석이 가능하도록 하였으나 창이 고정되어 있어 고속의 신호처리에서 시간의 해상도를 높이고 느리게 변화하는 부분에서 주파수의 해상도를 높이고자 하는 욕구를 충족시킬 수 없는 단점이 있다. 반면 웨이블릿 변환은 다

양한 기본함수를 사용하여 주파수가 높은 영역에서는 주기가 짧은 기본함수로 시간에 관한 분해능을 높이고 반대로 주파수가 낮은 영역에서는 주기가 긴 기본함수로 주파수에 관한 분해능을 높일 수 있어 복잡한 신호를 다양한 해상도로 분석하여 잡음을 제거할 수 있다.

웨이블릿 변환을 이용한 잡음제거 방법은 그림 1-42와 같이 원신호를 여러 가지 기본 함수(Mother Wavelet)의 주파수 영역으로 변환하는 웨이블릿 변환, 제거하려는 잡음과 복원하려는 신호의 기준을 정하는 최대값 설정방법(Threshold method), 최대값에 의하여 잡음이 제거된 신호를 다시 시간 영역으로 복원하는 역웨이블릿 변환(Wavelet inverse transform)의 과정을 거쳐 잡음을 제거하게 된다.

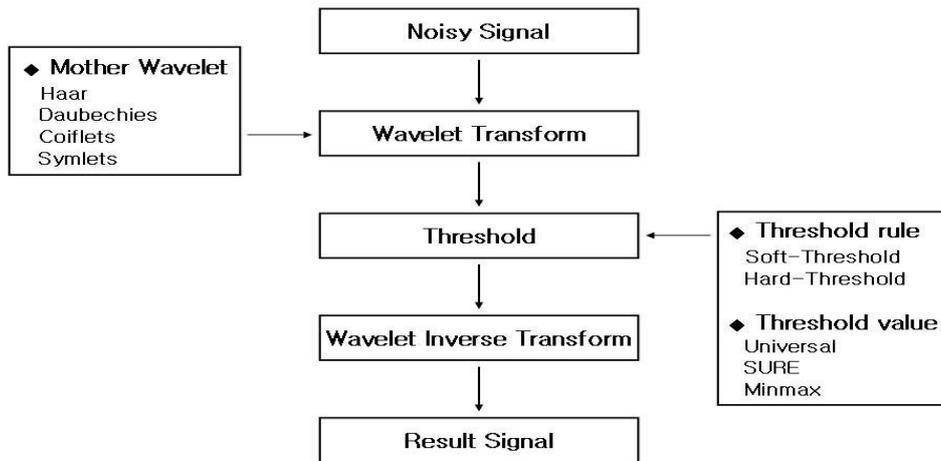


그림 1-42 웨이블릿 변환을 이용한 잡음제거 방법 흐름도.

웨이블릿 변환은 Haar, Daubechies, Coiflets, Symlets 등의 여러 기본함수를 이용하여 시간 영역의 신호를 주파수 영역으로 변환하는 방법으로 기본함수의 선택에 따라 원신호와 유사한 신호로 근사화 시켜 변환시킬 수 있다. 최대값 선정 방법에는 Minimax, Universal, SURE 등이 있으며 작은 최대값은 잡음 제거 성능이 저하되고 큰 최대값은 신호의 중요한 정보가 손실되므로 최대값의 결정은 잡음제거 성능을 결정하는 중요한 인자로 적용하려는 시스템에 적합하게 사용해야 한다. 최대값의 처리 방법에는 하드 임계처리법과 소프트 임계처리법이 있으며 하드 임계처리법은 오차의 기대값을 최소화한다는 장점이 있지만 추정 신호에 인위적인 깁스(Gibbs)현상이 발생하여 원하는 매끄러움을 갖지 못하는 단점이 있다. 소프트 임계처리법은 하드 임계처리법에 보다 매끄러운 잡음 제거 패턴을 가지며 인위적인 깁스현상을 줄일 수 있는 장점이 있으나 오차의 기대값이 커지는 단점이 있다(웨이블릿 이론과 응용, 2003). 원(2000)은 웨이블릿 변환을 이용한 잡음 제거기를 설계하여 주변 환경의 잡음 신호를 지속적으로 증가시켜 이에 따른 설계된 잡음 제거기의 성능을 평가하였으며, 다양한 잡음이 존재하는 노출된 환경에서 웨이블릿 변환을 이용하여 잡음제거가 가능하다고 보고하였다.

c) 적응필터(Adaptive filter)

적응필터는 환경 변화 또는 원하는 출력 특성의 변화에 따라 스스로 자신의 특성을 변화시켜 예상치 못한 환경에서 최적의 결과를 얻고자 하는 방향으로 동작하는 필터를 말한다. 적응필터의 특성은 설계 시 모두 정해지지 않으며 필터가 가동된 직후나 환경 등의 변화 발생 시 자체적으로 적응하기 위한 적응 시간을 거쳐 필터의 특성이 결정된다. 따라서 적응필터는 다른 필터들과는 달리 비선형적이며 시변하는 계수를 가지는 시스템으로 볼 수 있다. 적응필터를 이용한 잡음제거 방법은 그림 1-43과 같이 잡음이 포함된 원신호( $s_1 + n_1$ )와 잡음과 상관성 높은 기준 신호( $n_2$ )를 동시에 입력하여 원신호와 기준 신호와의 오차를 최소화 하도록 적응필터의 가중치를 계산하여 잡음을 제거하는 방법이다.

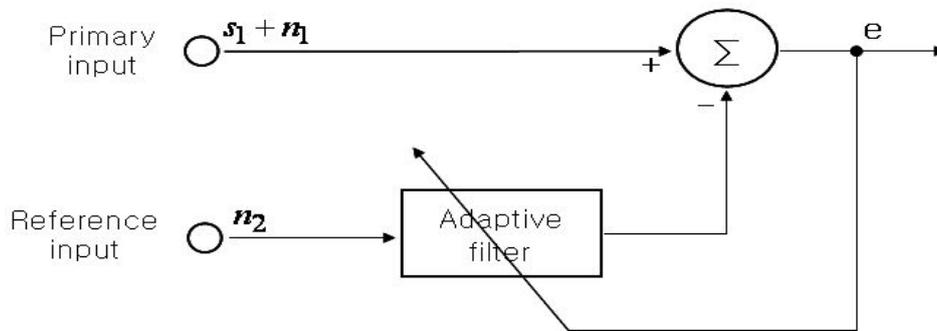


그림 1-43 적응필터의 구성도.

적응필터는 신호나 환경의 특성이 시간에 따라 변화하거나 또는 설계 시에 그 특성을 미리 알 수 없는 경우, 신호와 잡음의 대역이 겹쳐서 존재하는 경우, 잡음이 존재하는 주파수 대역을 알지 못하는 경우에 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 적응필터를 이용한 잡음 제거는 신호에 비하여 잡음이 상대적으로 크게 존재하는 생체신호처리 뿐만 아니라 통신, 레이더, 제어, 지진학, 각종 설계 등의 실제 잡음을 예측하기 어려운 분야에서 많이 응용되고 있다. 임(2004)은 주변 환경의 잡음을 예측하기 어려운 경우에 적응필터를 사용하여 음성 신호만을 깨끗이 추출하였으며, 이(2007)는 심전도 측정 시 인체의 움직임에 따라 발생하는 기저선 변동과 60 Hz 전원 잡음의 제거를 위하여 적응필터를 사용하였다. 또한 전두엽 뇌파의 안전도 잡음을 제거하기 위해 적응필터를 DSP(Digital signal processor) 보드에 구현하여 적응필터로 복잡한 잡음 신호를 고속으로 제거할 수 있음을 보여주었으며 잡음 제거 성능을 높이기 위해서는 기준 신호의 선정이 무엇보다 중요하다고 하였다(안보섭, 2004).

d) 칼만필터(Kalman filter)

칼만필터는 최소자승방법(Lesat square method)에 의해 효율적인 순환해를 제공하는 수학적 방정식의 반복적 연산을 통해 측정된 센서 신호를 확률적으로 예측하여 최적값을 추정하는 신

호처리 방법이다. 칼만필터는 잡음제거 시스템이 시간에 따른 변화의 예측이 가능하도록 설계되어 잡음으로부터 잡음 신호의 제거가 용이한 장점이 있다. 칼만필터를 이용한 잡음제거는 측정오차에 대한 공분산을 반복적으로 계산하여 잡음을 제거하는 방법으로 그림 1-48와 같이 맨 처음 센서가 가지는 기계적인 측정오차에 대한 공분산을 입력으로 칼만 이득을 계산하여 다음 측정값을 보정하고 다시 오차에 대한 공분산과 칼만 이득을 갱신하여 잡음을 제거하게 된다. 칼만필터는 구조가 선형으로 구성되어 설계가 용이하며 실제값을 추정하는 방법이 통계적이므로 센서 시스템에 있어 확률적이고 예측 가능한 해석을 가능하게 한다. 그러나 센서를 통해 입력되는 측정오차의 공분산 계산에 따른 센서 잡음의 분산을 알아야 하므로 환경변화가 큰 실제 시스템 적용 시 잡음에 대한 분산을 계산하기 어려운 단점이 있다.

칼만필터의 경우 주로 우주선 및 GPS(Global positioning system) 등의 분야에서 적용되고 있으며, 이것은 칼만필터를 이용하여 소실된 신호의 추정이 가능하기 때문이다. 근래에는 칼만필터를 이용하여 영상에서 발생하는 잡음을 인접한 영상 정보를 가지고 보정하는 잡음제거 방법에 관하여 보고되었으며(Hong, 2001), Nam 등(2007)은 호흡 신호 측정 시 칼만필터를 이용하여 예측이 불가능한 동잡음에 따른 호흡 신호의 소실 및 증폭 등의 잡음 제거가 가능하다고 보고하였다.

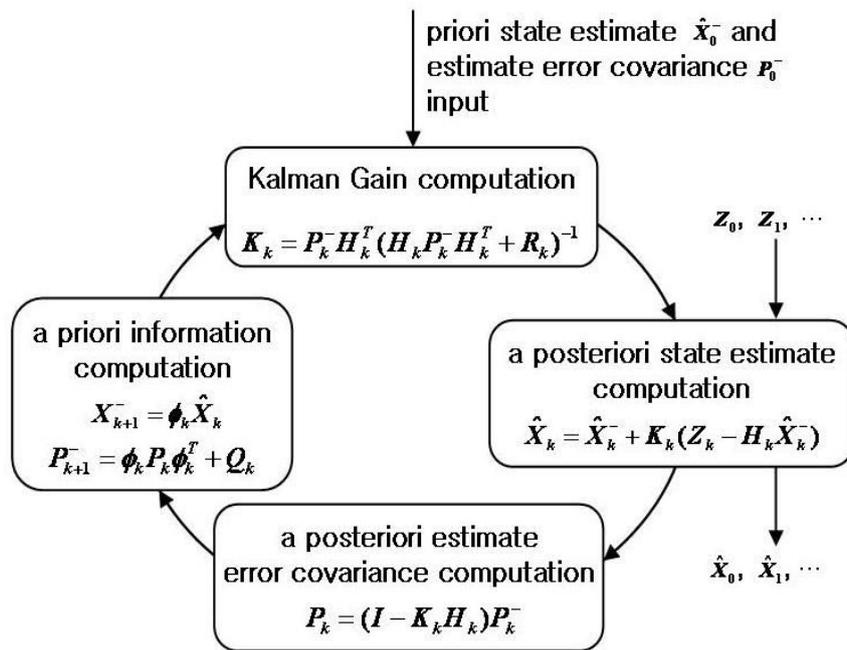


그림 1-44 칼만필터의 흐름도.

여기서,  $\hat{x}_k$  : 시간이  $t_k$ 일 때의 상태 벡터

$x_k^-$  : 시간이  $t_k$ 일 때의 이전 상태 벡터

$\phi_k$  : 상태  $x_k$ 와  $x_{k+1}$  사이의 관계의 상태변환 벡터

$Q_k$  : 시스템 오차의 공분산 벡터

$Z_k$  : 시간이  $t_k$ 의 측정치 벡터

$H_k$  : 시간이  $t_k$ 일 때 측정치와 상태값 사이의 이상적 관계 벡터

$R_k$  : 측정 오차의 공분산 벡터

$K_k$  : 칼만 이득(Gain)

$P_k^-$  : 추정 오차의 이전 공분산 벡터

$P_k$  : 추정 오차의 공분산 벡터

작업 중인 트랙터에서 신뢰성 있는 센서 신호의 수집을 위해 웨이블릿 변환, 이동 평균법, 적응 필터 등의 잡음제거 알고리즘을 이용하여 트랙터 고장진단 시스템에 적합한 잡음제거 알고리즘을 선정하였다.

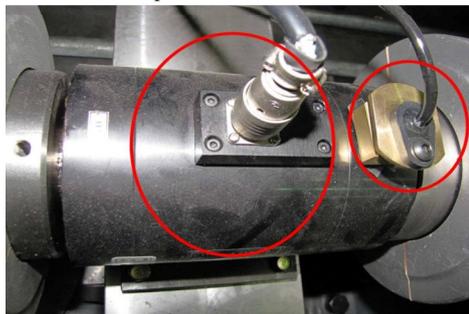
트랙터 부하 계측 시스템의 잡음제거 알고리즘 선정을 위해 트랙터 주요 동력 소모를 감지할 수 있는 측정항목을 선정하였다. 작업 중 트랙터의 부하를 판단할 수 있는 엔진과 미션의 회전속도, 차축의 토크, 유압펌프 유체의 온도로 정하였으며, 센서의 장착 편의성 및 측정 환경을 고려하여 측정항목을 그림 1-45와 같이 선택하여 장착하였다.



(a) Proximity sensor for measuring engine revolution speed



(b) Proximity sensor for measuring transmission revolution speed



(c) Torque sensor for measuring driving shaft load (left), and proximity sensor for measuring driving shaft speed (right)



(d) Temperature sensor for measuring hydraulic temperature

그림 1-45 Installation of load measurement sensor.

고속의 트랙터 엔진 회전에 따른 엔진축의 회전속도 측정을 위해서는 자체 개발한 자성 근

접센서를 이용하였으며, 트랜스미션축 및 차축의 회전속도는 회전속도의 검출이 가능한 양방향 자성 근접센서(R-1, honeywell, USA)를 이용하였다. 또한 각각의 회전축에 장착한 센서로부터 측정된 펄스 신호는 주파수 변환 카운터를 이용하여 주파수로 변환해서 회전속도를 측정하였다. 차축에 걸리는 부하는 비접촉식(brushless type)으로 장시간 사용이 가능하며 RPM 센서를 동시에 장착 가능한 토크센서(TRC 1000, Dacell, Korea)를 사용하였다. 또한 유체 온도 측정은 -200 ~ 400℃의 온도 측정이 가능하고 응답 속도가 빠른 T-type 열전대(Iljin Sensor, Korea)를 사용하였다.

하이브리드 트랙터 시스템에 적합한 잡음제거 알고리즘을 선정하기 위해 그림 1-46과 같이 트랙터 작업 중 웨이블릿 변환, 이동 평균법, 적응 필터의 알고리즘을 실시간 처리할 수 있도록 계측 시스템을 개발하였다. 계측 시스템은 고장 진단 센서로부터 측정된 신호를 입력하는 I/O 인터페이스 모듈, 입력된 센서 신호를 고속으로 처리하여 PCI 통신으로 제어부로 전송하는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 모듈, 고속의 신호처리 및 제어가 가능한 RT(Real time) 모듈을 이용하였다. 측정된 센서 신호는 1 kHz의 속도로 각각의 센서에 적합한 I/O 인터페이스 모듈에 입력되어 신호 변환을 거친 후, FPGA 모듈에 입력되어 각각의 잡음제거 알고리즘으로 신호처리 하여 RT 모듈에 전송되어 진다.

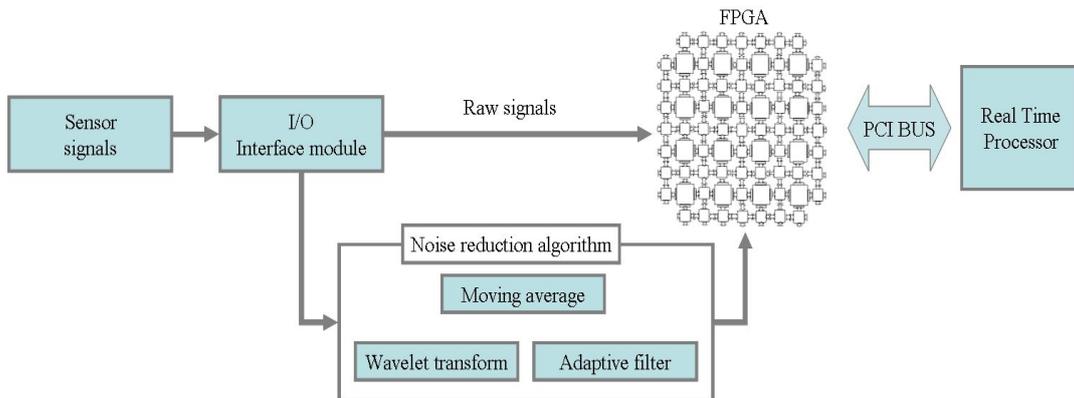


그림 1-46 Schematic diagram of measurement system for noise reduction algorithm.

트랙터 계측 시스템의 잡음제거를 위하여 그림 1-47과 같이 이동평균필터, 웨이블릿필터, 칼만필터, 적응 필터로 센서 신호의 잡음을 제거한 후, 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR)를 이용하여 잡음제거 필터들의 성능을 평가하였다. 또한 필터의 과도한 연산에 따른 센서의 감도 저하를 방지하기 위해 트랙터 변속에 따른 지연 시간과 상승 시간을 계산하여 적합한 잡음제거 필터를 선정하였다. 이동평균필터, 웨이블릿필터, 칼만필터, 적응필터를 이용한 잡음제거 알고리즘은 각각의 필터 특성에 맞는 인자를 선택하여 개발하였다.

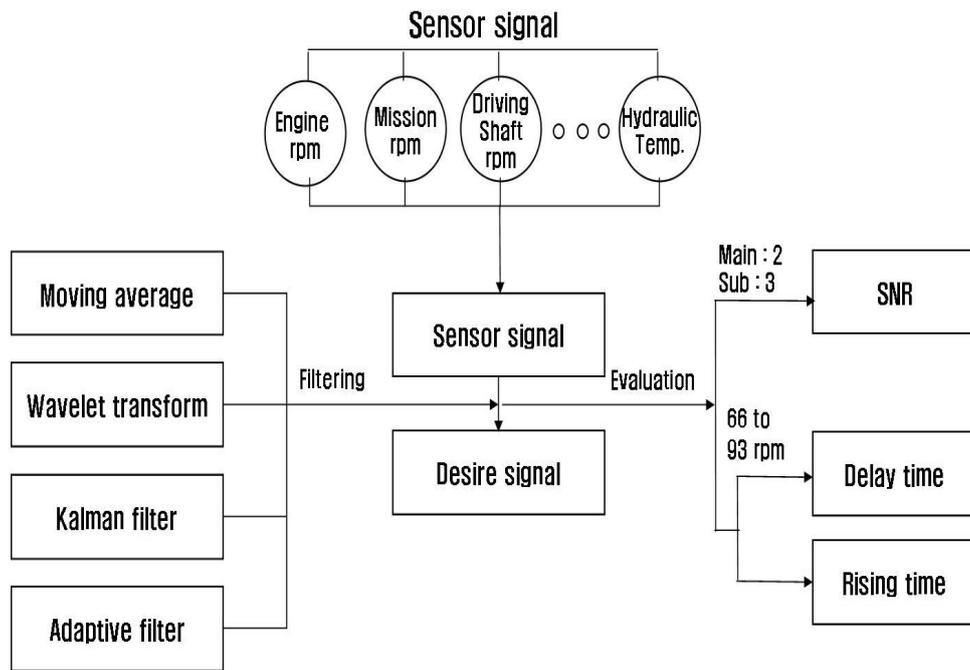


그림 1-47 트랙터 고장진단 시스템의 잡음제거 알고리즘 선정 흐름도.

이동평균필터는 잡음을 보정하는 신호의 차수를 결정해야 하며, 본 연구에서는 샘플링 주파수를 고려하여 100개의 신호를 평균 내어 1초 간격으로 입력되는 신호의 잡음을 제거하였다. 웨이블릿필터는 실시간 잡음제거를 위하여 연산속도가 빠른 Haar 함수를 기본함수로 사용하였고 임계치의 결정은 잡음 제거 분야에서 주로 사용되는 Universal 방법으로(성열훈, 2005) 최대값을 계산하였으며 최대값에 따른 잡음의 제거는 외란에 의한 이상 신호가 발생하는 깁스(Gibbs)현상을 최소화하는 소프트 임계처리 방법으로 개발하였다. 칼만필터를 이용한 잡음제거는 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산과 칼만필터를 통한 잡음제거 시스템 오차의 공분산을 입력해야 하며, 본 연구에서는 센서가 갖는 측정오차에 대한 공분산을 센서의 종류에 따라 센서에 표기된 측정오차로 사용하였고 잡음제거 시스템의 오차를 측정값의 1%로 하여 칼만필터를 통과한 신호의 잡음이 1% 내외의 값을 갖도록 설정하였다. 적응필터를 이용한 잡음제거는 잡음이 섞인 신호( $s+n_1$ )에 대하여 유사한 잡음을 가지고 있는 기준 신호( $a \times n_1$ )를 입력하여 잡음을 제거하는 방법으로 올바른 기준 신호의 선정 필요하다. 트랙터의 잡음은 주로 엔진에서 발생하는 잡음과 주파수 영역에서 유사한 특성을 보이고 있으므로 각각의 센서에 대한 기준신호를 엔진의 회전속도로 하여 적응 필터 알고리즘을 개발하였다.

잡음제거 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 트랙터의 주행 속도를 15 km/h로 고정하고 주행 중 센서 신호를 측정하여 신호대잡음비(Signal to noise ratio, SNR)로 변환하였다. 이때, 신호대잡음비는 잡음이 포함되지 않은 원신호를 알지 못하므로 식 (1-2)과 같이 표준편차에 대한 평균값의 비를 데시벨(dB)로 계산하였다.

$$SNR(dB) = 20 \times \log_{10} \left( \frac{S_{Avg.}}{S_{Std.}} \right) \dots \dots \dots \text{식 (1-2)}$$

여기서,  $SNR$  : 신호대잡음비

$S_{avg.}$  : 신호의 평균값

$S_{std.}$  : 신호의 표준편차

트랙터의 신호는 변속이 없는 경우에는 대부분의 신호가 일정하므로 잡음제거가 용이한 장점이 있으나 지나치게 많은 연산과 높은 차수를 사용하면 시스템의 감도를 저하시키는 단점이 있다. 그러므로 잡음제거 시스템의 잡음제거 성능을 높이는 동시에 감도를 유지하기 위해서는 각각의 잡음제거 알고리즘의 응답 특성에 관한 연구가 필요하다. 포장 작업 시 엔진축, 트랜스미션축, 차축의 회전속도는 주로 변속에 의하여 측정값이 변화되므로 본 연구에서는 기계식 무단변속기를 이용하여 15 km/h에서 30 km/h로 급속 변속함에 따른 근접센서 신호의 응답을 경사 응답(ramp response)으로 가정하고 지연 시간(delay time)과, 상승 시간(rising time)을 계산하였다. 지연 시간은 응답이 최초로 최종 값의 50 %가 되는데 걸리는 시간이며, 상승 시간은 응답이 최종값의 10~90 %까지 걸리는 시간으로 지연 시간과 상승 시간이 짧을수록 시스템의 반응이 빠른 것을 의미한다.

웨이블릿필터, 이동평균필터, 칼만필터, 적응필터를 이용하여 고장진단 센서의 잡음을 제거한 결과, 표 1-10과 같이 각각의 신호대잡음비의 평균값은 35.8 dB, 28.7 dB, 35.9 dB, 37.9 dB로 측정되어 원신호의 27.7 dB 보다 좋은 신호대잡음비를 나타내고 있어 높은 잡음제거 성능을 보여주고 있다. 이동평균필터는 센서의 종류에 상관없이 일정한 신호대잡음비를 가지고 있는 것으로 나타났는데, 이것은 이동평균필터가 고속으로 센서 신호를 수집하고 평균을 내서 신호의 잡음을 제거하므로 잡음제거 성능이 센서의 종류 보다는 센서의 수집 속도에 영향을 받기 때문으로 판단된다. 각각의 잡음제거 필터에 대한 잡음제거 성능은 측정 센서에 따라 다소 다른 결과를 보여주고 있으나 전체적으로 적응 필터를 이용한 경우가 가장 우수한 결과를 보여주고 있다. 또한 적응 필터의 경우 엔진 회전속도가 가장 좋은 신호대잡음비를 가지고 있으며, 변속부와 차축도 우수한 잡음제거 성능을 보여 엔진의 회전속도와 유사한 잡음 신호에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

표 1-10 주변속 2단, 부변속 3단에서 필터에 따른 신호대잡음비

Sensor signal	SNR (db)				
	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Engine revolution speed	24.5	36.0	28.7	43.7	45.0
Transmission revolution speed	29.6	36.8	28.8	42.5	44.1
Driving shaft revolution speed	31.9	41.5	28.8	39.1	43.9
Driving shaft torque	27.2	36.2	28.7	30.9	32.5
Hydraulic temperature	25.4	28.9	28.7	29.3	30.2
Average	27.7	35.8	28.7	35.9	37.9

잡음제거 시스템의 응답 특성을 알아보기 위해 그림 1-48과 같이 15 km/h에서 30 km/h로 급속 변속함에 따른 센서 신호의 변화를 경사 응답으로 가정하여 표 1-11과 같이 지연 시간과 상승 시간으로 나타내었다. 필터를 사용하지 않은 경우의 지연 시간은 0.60 s, 상승 시간은 1.13 s로 변속 시간이 다소 지연되고 있음을 알 수 있다.

필터를 사용한 경우의 지연 시간은 적응 제어를 이용한 경우가 1.09 초로 가장 적게 나타났으며, 복잡한 연산 등에 의하여 웨이블릿필터를 이용하면 1.93 초로 잡음 제거 시 많은 시간을 필요로 하는 것을 알 수 있다. 상승 시간은 단순한 계산에 의하여 이동평균필터를 이용하는 것이 0.67 초로 가장 짧은 시간을 보여주고 있으며, 칼만필터를 이용하면 안정된 응답 성능을 보이고 있으나 이전 신호의 공분산에 대한 업데이트로 인하여 상승 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 신호대잡음비가 높고 시간 지연이 적은 적응필터를 트랙터의 신뢰성 있는 신호 계측을 위한 잡음제거 알고리즘으로 선정하였다.

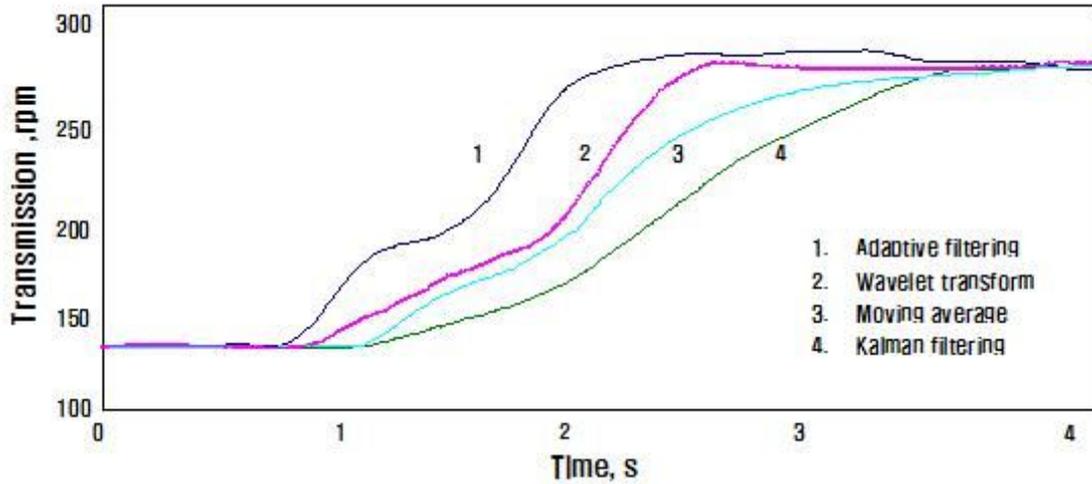


그림 1-48 필터 방법에 따른 계단 응답.

표 1-11 필터 방법에 따른 응답 특성

Item	Raw signal	Wavelet filter	Moving average filter	Kalman filter	Adaptive filter
Delay time(s)	0.60	1.93	1.77	1.88	1.09
Rising time(s)	1.31	1.20	0.67	1.53	0.97

(나) HCU 고효율 송수신을 위한 신호처리 알고리즘 개발

a) HCU 송수신 구성

하이브리드 트랙터의 핵심부품 제어를 위한 TCU (Transmission Control Unit), MCU (Motor Control Unit), BMS (Battery Management System), FCU (Fan Control Unit) 간의 통신과 전체 시스템 제어를 위한 최상위 통합제어기 HCU (Hybrid Control Unit)의 통신은 CAN 인터페이스를 이용하였으며 그림 1-49와 같은 구조를 가진다.

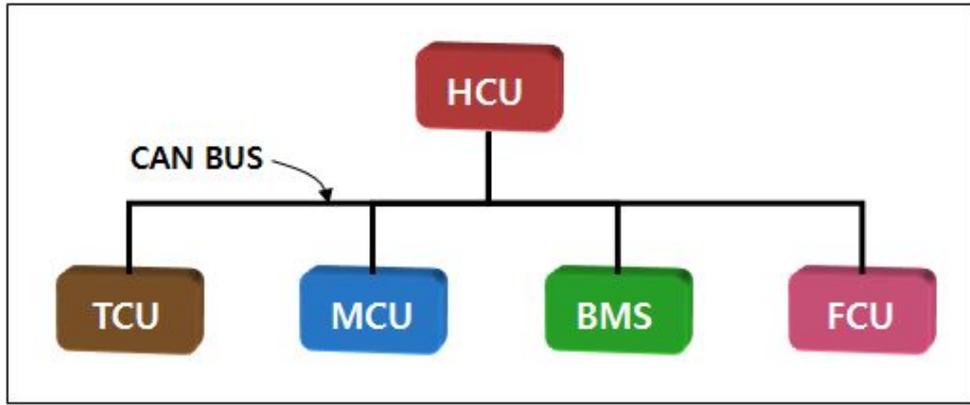


그림 1-49 하이브리드 트랙터 CAN BUS 구성.

HCU는 그림 1-50과 같이 트랙터 작업상태에 따라 TCU에서 보내주는 현재 변속기의 상태 (변속 수준, 변속기 이상 발생 여부 등)와 트랙터의 속도의 정보를 입력받게 된다. TCU의 정보를 송신받게되면 HCU는 운전자의 변속 상태, 운전 상태, 엔진 회전수 등의 정보를 이용하여 변속 여부를 결정하게 되며, 이에 따라 TCU에게 up shift나 down shift의 명령을 전달하게 된다. HCU로부터 제어명령을 받은 TCU는 명령에 따라 변속을 수행하게 되며 변속의 완료여부 등을 다시 HCU에 전달하게 된다.

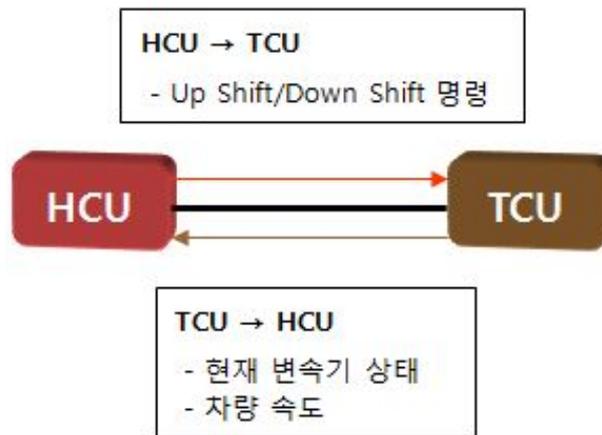


그림 1-50 HCU, TCU 통신.

MCU는 그림 1-51과 같이 모터/발전기의 상태와 MCU 자체의 상태를 HCU에 전달함으로써 모터/발전기의 구동 가능 여부를 전달하게 된다. 특히 시스템의 과열 등의 문제로 인한 오작동 여부를 확인 및 방지하기 위해 온도 모니터링을 실시하며 열화되는 것을 막는다. 또한 BMS를 통해 배터리 팩의 상태에 문제가 없다면 SOC level에 따라 모터/발전기를 충전하거나 방전시킨다. SOC level이 높을 경우 필요한 토크량을 계산하여 엔진 토크를 어시스트하고 기준 이하일 경우 현재 부하 상태를 판단하여 적합한 토크로 충전 동작을 수행한다. 또한 BMS와의 전원 연결 상태를 판단하기 위해 전압/전류 값을 HCU로 전달한다.

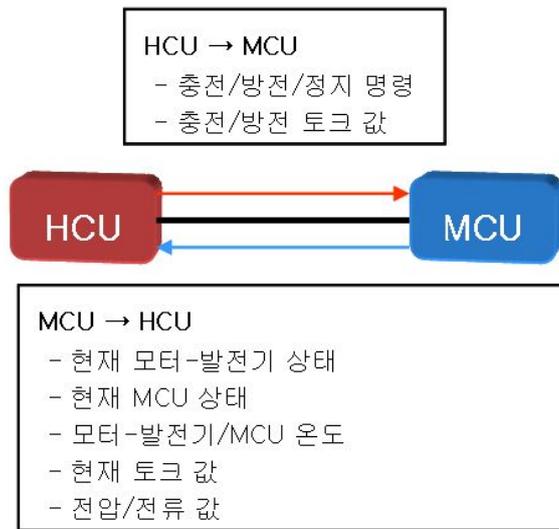


그림 1-51 HCU, MCU 통신.

BMS는 그림 1-52와 같이 현재 배터리 상태와 배터리 팩의 온도 정보를 HCU에 전달한다. 배터리는 폭발의 위험성이 있기 때문에 HCU는 항상 배터리 팩에 대한 모니터링이 필요하다. 배터리의 상태에 문제가 없다고 판단되면 HCU는 BMS에 전원 공급 명령을 전달하고 SOC Level을 모니터링하여 SOC Level이 낮을 경우 모터-발전기를 충전 상태로 구동 시키고 SOC Level이 높다면 모터-발전기를 방전 상태로 구동하여 토크 어시스트를 수행한다. 모터/발전기가 충전이나 방전 상태일 때는 BMS에 보내오는 전압/전류 값과 MCU가 보내오는 전압/전류 값을 비교하여 누전이나 단락과 같은 문제가 발생 되었는지 모니터링 한다.

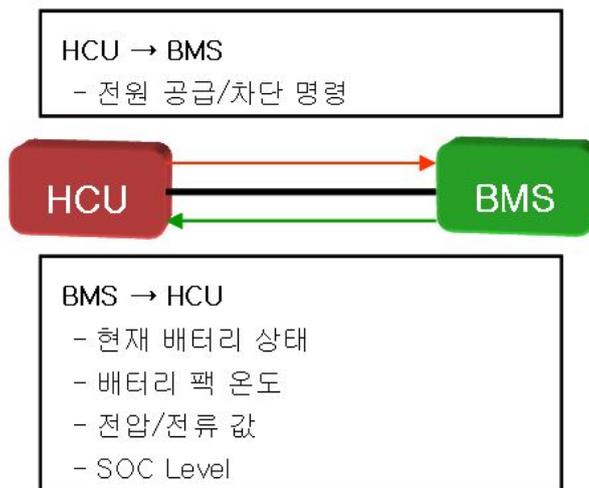


그림 1-52 HCU, BMS 통신.

FCU는 그림 1-53과 같이 엔진 회전수, 팬 회전수, 냉각수 온도, 엔진오일 온도 등의 정보를 받아 HCU로 전달한다. HCU는 냉각수 온도와 엔진 오일 온도 등을 기준으로 현재 상태에서

적절한 팬 회전수를 결정하여 FCU에 전달하게되며 FCU는 HCU의 제어 명령에 따라 팬 회전수 제어를 수행한다.

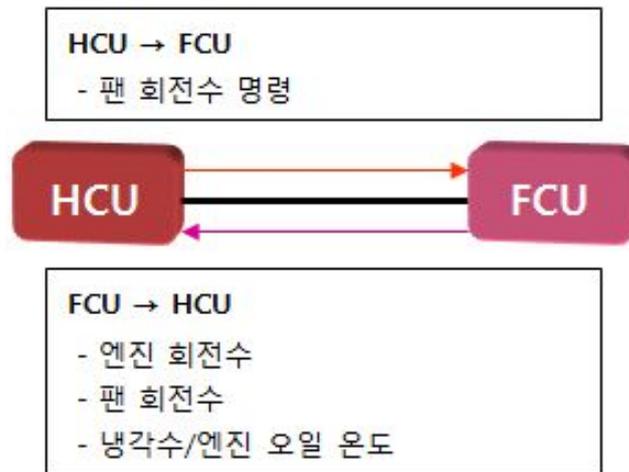


그림 1-53 HCU, FCU 통신.

b) HCU 신호처리 알고리즘

하이브리드 핵심부품 제어를 위해서 그림 1-54와 같이 HCU는 각각의 컨트롤 유닛들에서 송신되는 데이터를 수집하여 이를 바탕으로 현재 트랙터의 부하량을 예측한다. 예측된 부하량 및 배터리 팩의 SOC 를 이용하여 충전/방전 여부를 결정하게되며 충전/방전 결정에 따라 필요한 토크량을 계산하고 이를 MCU에 전달한다. MCU에 전달된 토크량에 따라 모터-발전기를 제어 하는데 양의 값일 경우 Torque Assist를 수행하고, 음의 값일 경우 발전을 한다.

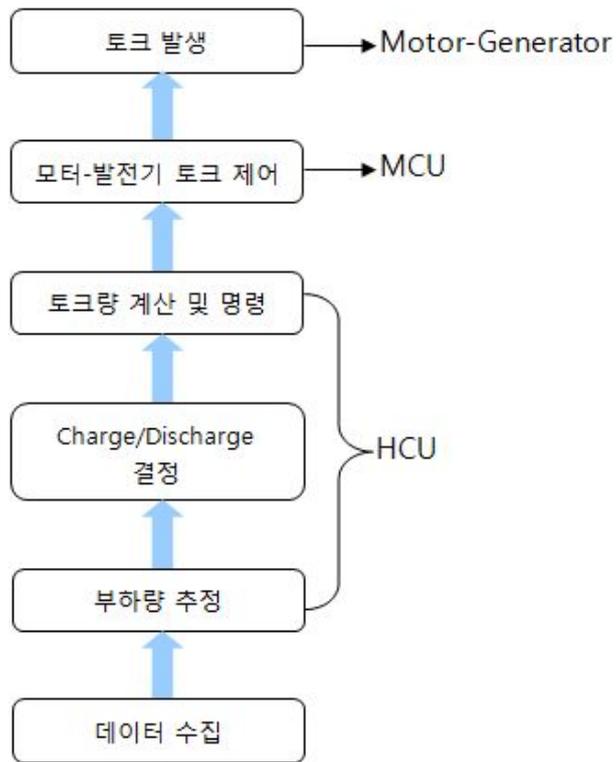


그림 1-54 HCU신호처리 알고리즘.

### 3. 하이브리드 트랙터의 시스템 통합 성능평가

#### 가. 핵심부품 및 제어 시스템 최적화

##### (1) 하이브리드 트랙터 1차 시작품

##### (가) 모터/발전기 장착 설계

하이브리드 트랙터 모터/발전기의 장착성을 검토하기 위해 그림 1-55와 같이 장착부 및 설계 변경 후 전체 파워트레인의 증가 길이를 검토하였다. 클러치하우징-엔진 사이 모터/발전기 장착으로 인한 전체 길이 증가는 134 mm로 나타났으며 이에 따라 변경되어야 할 기존 부속품은 총 20종이었다. 변경 품목은 배선 1종, 파이프 및 유압호스 16종, 커버 및 브라켓 2종, 축 1종이며 모터/발전기 장착에 따라 파워트레인 변경에 큰 무리가 없다고 판단하였다.

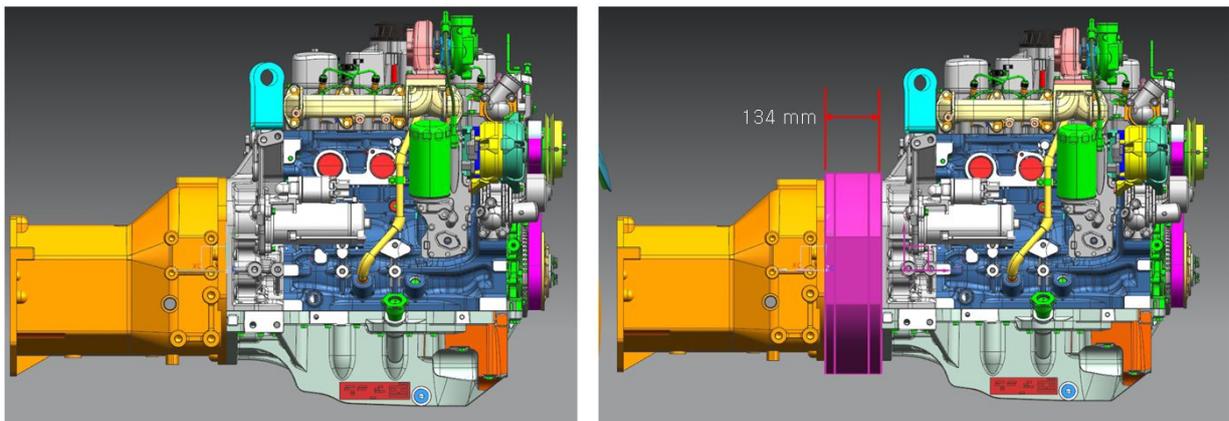


그림 1-55 모터/발전기 장착을 위한 설계 변경부.

##### (나) 인버터/컨버터, BMS 장착 설계

모터/발전기 제어를 위한 인버터(MCU), 전원 공급을 위한 배터리, 배터리 관리를 위한 BMS는 그림 1-56과 같이 트랙터 정면 기준에서 좌측 방향에 일괄적으로 설치하였다. 기존 트랙터 탑승을 위해 캐빈 앞쪽 아랫부분에 장착되어 있던 스텝을 제거하고 별도의 케이스를 개발하여 볼트를 이용하여 체결하였다. 배터리의 부피가 가장 크기 때문에 배터리 팩 장착을 위한 케이스를 제일 하부에 설치한 후 그 위에 인버터 및 BMS를 장착하는 것이 결선 및 정비 등 다양한 면에서 유리할 것으로 판단하였다.



그림 1-56 인버터, 배터리-BMS 장착 부위.

배터리 팩, 인버터 및 BMS의 케이스는 그림 1-57과 같이 설계하여 장착할 것이며, 그림 1-58은 측면부 3D 설계를 나타낸다. 케이스의 크기 및 디자인은 각각의 장치의 커넥터 크기 및 결선 방법을 고려하여 설계하였다.

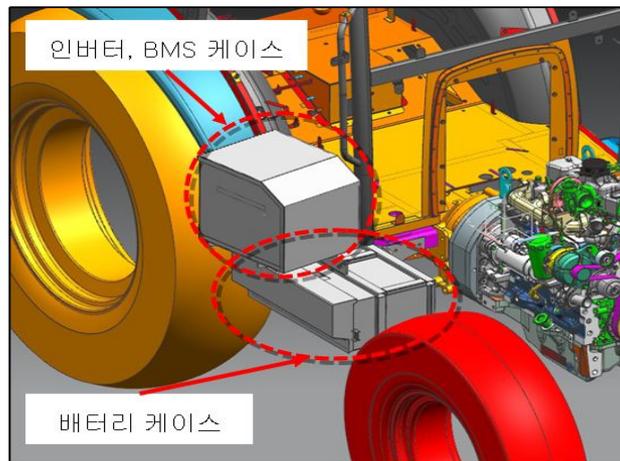


그림 1-57 인버터, 배터리-BMS 케이스 설계.

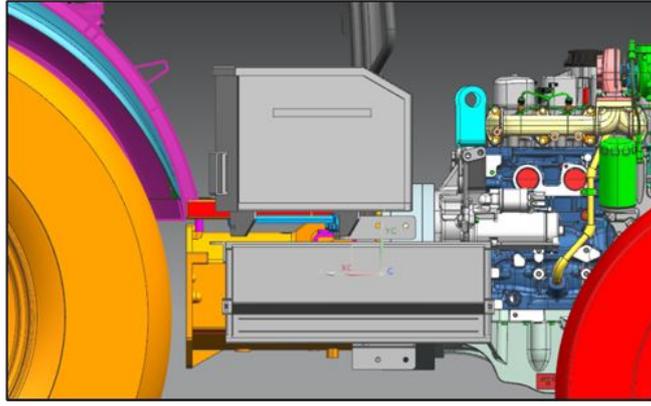


그림 1-58 인버터, 배터리-BMS 케이스 설계(측면).

## (2) 하이브리드 트랙터 2차 시작품

분리형, sensorless 방식의 모터-발전기 2차 시작품과 인버터 2차 시작품, 일체형 배터리 팩을 이용하여 하이브리드 트랙터 2차 시작품을 개발 및 제작하였다. 모터-발전기는 그림 1-59와 같이 클러치케이스 내부에 stator를 볼트 체결 방식으로 우선 고정하고 다음 rotor를 메인 축을 가이드로 삼아 장착하였다. 그 후 엔진부를 도킹하여 조립을 완성하였다. 그림 1-59에 보이는 갈색 클러치 케이스는 모터-발전기 장착에 맞추어 기존 부품을 가공한 것이다. 모터의 3상 전력선은 클러치 케이스 상단에 별도의 출입구를 통해 외부로 연결 가능하게 했으며 방수처리를 하여 내부에 수분 및 이물질의 침투를 사전에 방지하였다. 이때 외부로 나오는 선은 3상 전력선 3개 및 센서 관련 선 1개로 총 4개이다.



그림 1-59 하이브리드 트랙터 2차 시작품 모터-발전기 장착.

배터리 팩은 그림 1-60(a)와 같이 캐빈 step 아래 보조 배터리 팩의 위치에 장착하였다. 커넥터 파손 및 결선을 대비하여 커넥터 부는 차량 내부 변속기면을 바라보도록 장착하였다. MCU는 하이브리드 트랙터 캐빈의 뒤쪽 유압 라인 좌측부에 설치하였다. 캐빈에 별도의 판을

대 차체와 밀착하여 열이 전도되는 것을 방지하였으며 케이블은 아래쪽으로 연결하여 모터와의 거리를 최소화하였다.



(a) MCU



(b) 배터리 팩

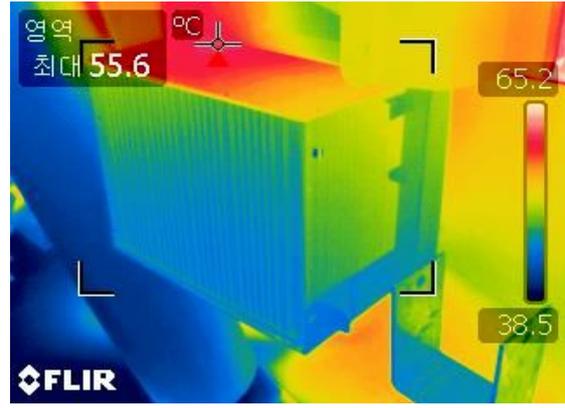
그림 1-60 하이브리드 트랙터 2차 시작품 MCU, 배터리팩 장착.

#### (가) 열평형 시험

하이브리드 트랙터 2차 시작품의 내구성 테스트를 위해 열적 내구성 분석을 위해 열평형 시험을 실시하였다. 시험 조건은 PTO 2단 809rpm(엔진: 2,300rpm)에서 대기 온도 37도, 엔진오일 110도, T/M 오일 85도 조건 하에 실시하였으며, 방전 시험 결과 MCU는 그림 1-61(a)와 같이 한계 온도를 벗어나지 않는 정상동작을 하였으나 배터리의 경우 SOC 80%(열평형 상태-하이브리드 Off) → 46%(방전-하이브리드 On) 중 그림 1-61(b)과 같이 온도가 55.6 이상으로 다소 과열되어 정상 온도 범위 한계점 근처에서 동작을 하였다. 이는 차체 자체에서 상승되는 열의 전도 뿐만 아니라 현재 배터리 팩이 장착되어 있는 위치는 외부와의 열교환이 적고 엔진 부에서 불어오는 열풍으로 인해 급격히 온도가 상승된 것으로 판단된다. 이때 클러치 케이스 내부의 모터-발전기 온도는 약 118도를 유지하였으며 이는 모터-발전기 한계 온도인 180도보다 훨씬 낮기 때문에 기준에 만족함을 알 수 있다.



(a) MCU



(b) 배터리 팩

그림 1-61 MCU, 배터리팩 열 분석 결과.

배터리 열 상승 문제를 해결하기 위해 배터리팩 위치를 재선정하였다. 트랙터 장착 가능 부위를 검토한 결과 앞차축 사이 전방부분으로 선정하였다. 기존에 웨이트가 장착되어 있던 것으로 웨이트를 분리시킨 후 별도의 지그를 제작하여 그림 1-62와 같이 배터리 팩을 장착하였다. 배터리 팩은 웨이트로 작용함과 동시에 원활한 대기 열교환에 따라 온도 상승이 줄어들 것으로 판단되며 실제 작업 시 파손 등을 고려해서 파손 방지 케이스를 개발할 예정이다.



그림 1-62 하이브리드 트랙터 2차 시작품 전방 배터리팩 장착.

배터리 팩을 전방부에 장착한 후 열평형 시험을 실시한 결과 그림 1-63과 같이 기존 결과에 비해 온도 상승이 감소하였으며 47도 영역(최대 50도)에서 포화됨을 알 수 있다. 또한 후방에서 불어오는 엔진 열풍 효과를 차단(단열재 등을 통한)하면 40도 초반의 온도 영역을 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

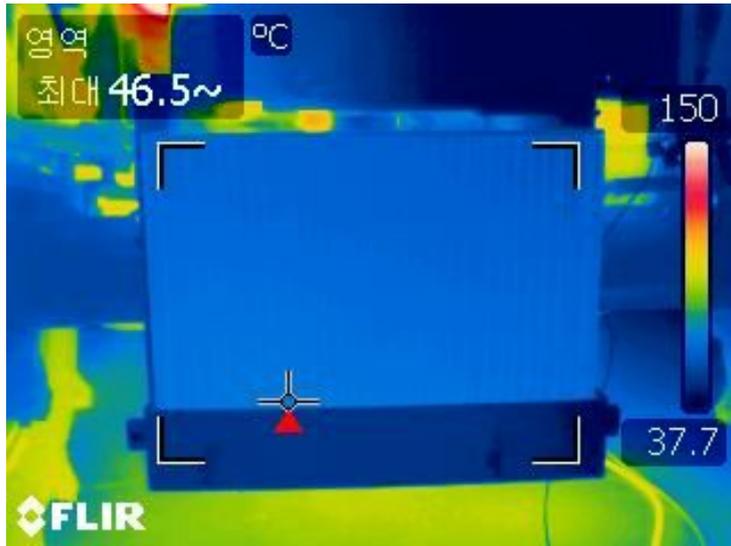


그림 1-63 전방 배터리팩 열평형 결과.

(나) 장착 내구 시험

하이브리드 트랙터 2차 시작용의 핵심부품 장착 내구성을 평가하기 위해 험로 시험을 실시하였다. 험로 시험은 실제 트랙터 작업 환경을 반영하여 일정 경로를 지나면서 비교적 경사가 큰 요철을 반복적으로 지나게 한 후 전체 시스템의 내구성 정도를 평가하는 방법으로 수행된다. 시험은 3,000cycle을 목표로 실시되었으며 험로 시험 결과 핵심부품을 분해해 본 결과 MCU는 그림 1-64와 같이 관찰되었다. MCU는 내부 회로기판의 장착 상태 및 결선, 릴레이, 소자 등 파손 혹은 분리된 부분이 발견되지 않았으며 시험 후에도 지속적으로 정상적인 동작이 가능하였다. 배터리 팩의 경우에도 BMS 회로 및 셀에서 이상이 발견되지 않았으며 정상적인 동작이 가능하여 하이브리드 트랙터 2차 시작용의 장착 내구성이 기준에 만족되었음을 알 수 있다.



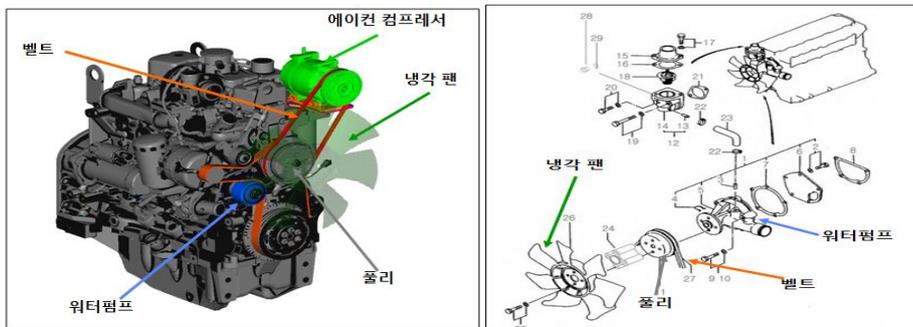
그림 1-64 MCU 험로 시험 결과.

(3) 엔진 부대장치 전동화 시스템 개발

(가) 팬-워터펌프 시스템 개요

a) 기존 방식

하이브리드 트랙터 팬-워터펌프의 전동화를 위해서 트랙터 장착 위치 및 팬, 워터펌프의 개발 방향을 설정해야 한다. 기존 개발 대상 트랙터의 냉각 시스템은 그림 1-65와 같이 벨트를 이용하여 엔진의 동력을 전달하는 방식을 이용한다. 따라서 현재 필요한 냉각량과는 상관없이 엔진의 회전수에 비례하여 팬 및 워터펌프가 회전하게 된다. 이로 인해 엔진의 불필요한 손실이 발생되어 엔진의 효율을 떨어뜨리게 된다. 또한 벨트-풀리 방식의 동력전달장치는 효율이 비교적 낮고 지속적으로 유지 보수를 해야 하는 내구성의 문제가 있어 이를 해결할 방안이 필요한 실정이다.



(a) 분리형

(b) 일체형

그림 1-65 기존 트랙터 팬-워터펌프 구조.

b) 하이브리드 트랙터 팬-모터 개발

하이브리드 트랙터의 팬-워터펌프 전동화 시스템은 기존 냉각 시스템에서 벨트와 풀리 대신 모터를 장착하여 직결로 연결하는 방향으로 설계하였다. 이는 2가지의 방식으로 개발이 가능한데 그림 1-66과 같이 워터펌프와 팬 제어를 위해 각각의 모터를 장착하는 분리형과 그림 1-67과 같이 팬-워터펌프를 일체형으로 개발하여 이를 동시에 제어하는 일체형이다. 본 연구에서는 엔진 동력 소모가 더 적고 장착성에서도 우수한 일체형 방식을 선정하였으며, 그림 1-67과 같이 팬-워터펌프 일체형 시작품 1대를 제작하였다.

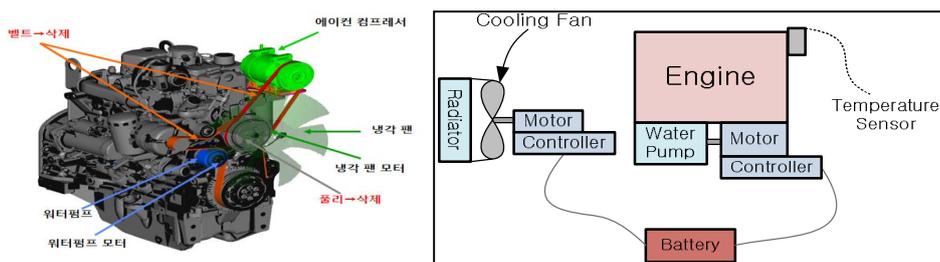


그림 1-66 하이브리드 트랙터 팬-워터펌프 구조(분리형).

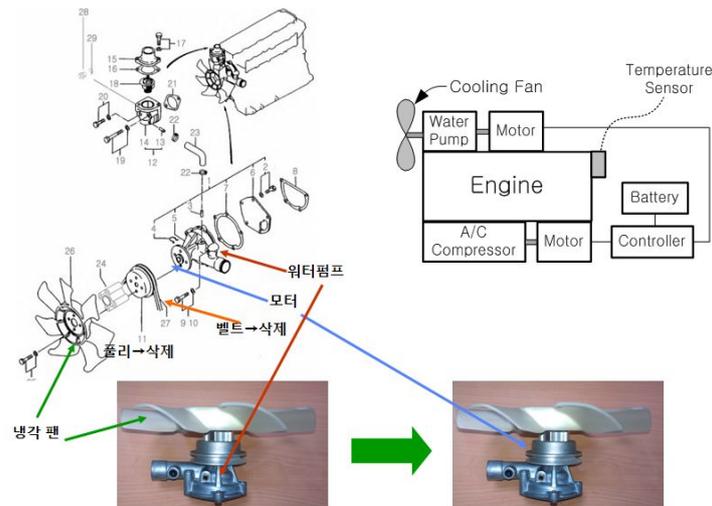


그림 1-67 하이브리드 트랙터 팬-워터펌프 구조(일체형).

하이브리드 트랙터 냉각 시스템 전동화를 위한 팬-모터의 사양은 표 1-12와 같으며 모터의 전원공급은 트랙터 사양에 맞춰 12V로 선정하였다. 장 팬-모터 시스템 적용에 따라 성능면에서는 기존 대비 5 kW의 출력 향상과 7% 연비 절감 효과가 있을 것으로 기대되며, 기능적으로는 모터 역회전에 의한 라디에이터 청소기능, 냉각수 온도에 따른 효율적 냉각 제어, 엔진 과열 방지 등이 가능할 것으로 판단된다.

표 1-12 팬-모터 개발 사양

방식	기존	양산 (목표 사양)
구성도		
Alternator	12V - 50A	12V - 100A
Motor	-	1kW - BLDC 12V
Engine Max Power	71 kW @ 2300rpm	기존 대비 5kW 향상
Fuel Consumption	295 g/kWh @ 2300rpm	기존 대비 7% 절감
장단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>비효율적 냉각 시스템</li> <li>Belt-Pulley 동력전달에 의한 에너지 Loss</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>역회전에 의한 라디에이터 청소가능</li> <li>냉각수 온도에 따른 효율적 냉각 제어</li> <li>비닐하우스 작업시 엔진 과열 방지</li> </ul>

c) 팬-모터 제어 방법

팬-모터의 제어는 냉각수 온도를 기준으로 제어하였으며 자세한 알고리즘은 그림 1-68과 같이 구성하였다. 엔진의 시동 상태에 따라 온도 제어를 수행할 것인지, 혹은 라디에이터 청소 기능을 수행할 것인지를 판단하며 각각의 제어 시점에서 다양한 동작 조건을 고려하여 안정성을 확보하였다.

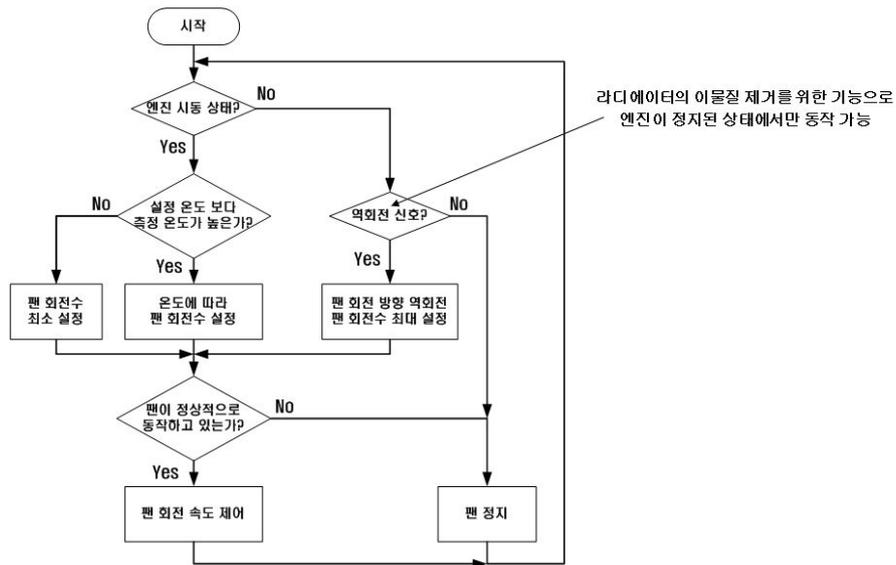


그림 1-68 팬-모터 제어 방식.

(나) 팬-모터 시스템 성능평가

a) 성능평가 방법

팬-모터의 성능을 평가하기 위해서 농업실용화재단에서 PTO 시험을 실시하였다. 기존 냉각 장치 구동방식과 팬-모터 구동방식의 PTO 출력, 토크 및 연료 소비 특성을 비교분석하였다. 시험은 전부하 시험을 기준으로 수행하였으며 이때 모터의 회전수는 1800 rpm을 유지하였으며 외부 전원을 이용하였다. 또한 실제 트랙터 알터네이터에 전원을 연결하여 내부 전원을 사용하였을 때와도 비교 분석하였다.

b) 팬-모터 성능

팬-모터 성능 평가 결과는 그림 1-69와 같이 나타났으며, 기존 방식과 팬모터 방식의 출력, 연료 소비 특성을 나타낸다. 팬-모터의 경우 기존 방식에 비해 PTO 출력이 정격회전수 2300 rpm에서 약 5 kW 상승되었으며 토크 곡선은 전 구간에서 높게 나타났다. 또한 연료 소비량은 두 가지 방식이 서로 유사하게 관찰되었으나 출력당 연료 소비량인 연료 소비율은 팬-모터 구동방식에서 모든 구간에서 높게 관찰되었다. 이때 팬-모터의 연료 소비율은 엔진의 정격 회전

수에서 가장 높은 절감 효과가 있음을 알 수 있다. 시험 결과를 이용하여 향후에는 모터사이클을 최대한 줄이고 전기적 효율을 높여서 최대한 엔진 출력을 Gross출력에 깎게 향상시킬 예정이다.

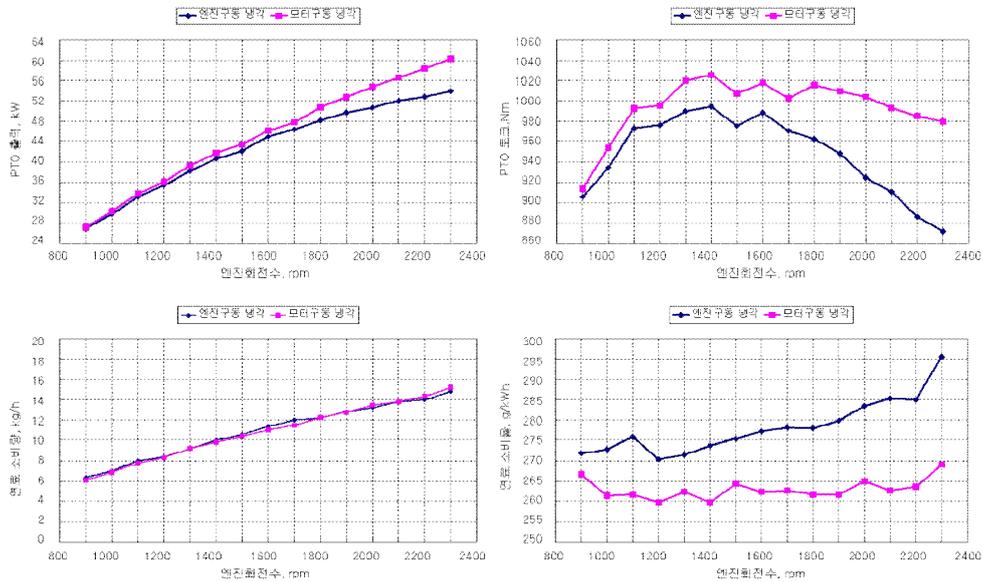


그림 1-69 팬-모터 성능시험 결과.

### c) 필드 시험

팬-모터를 실제 트랙터에 적용하여 필드 시험을 진행하였으며, 그 결과 그림 1-70과 같이 나타났다. 팬-모터의 성능은 엔진 회전수 변동에 따라 냉각수 온도를 정상범위 내로 충분히 유지시켰으며 기존 방식과 비교 분석한 결과 냉각팬의 회전수를 평균 30% 감소시켜 엔진 손실을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

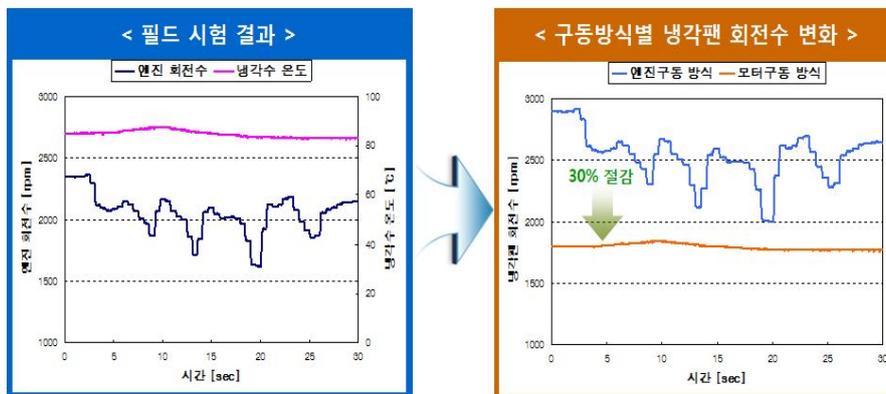


그림 1-70 팬-모터 필드 성능시험 결과.

(다) 냉각장치 효율향상을 위한 팬 클러치 적용

a) 팬 클러치 개요

팬 클러치는 작동유체를 이용하여 엔진이 동력(토크)을 온도에 따라 가변적으로 팬에 전달하는 장치로 그림 1-71과 같이 시제품 1대를 제작하여 성능평가를 실시하였다. 팬 클러치 이용시 팬의 회전량이 온도에 따라 변하기 때문에 에너지 손실을 최소화 할 수 있어 현재 건설기계, 중장비 분야에 적용되고 있으며 장착 및 시스템 구성이 팬-모터 방식에 비해 훨씬 용이한 장점이 있다. 팬-모터와 팬 클러치의 차이는 표 1-13과 같다.

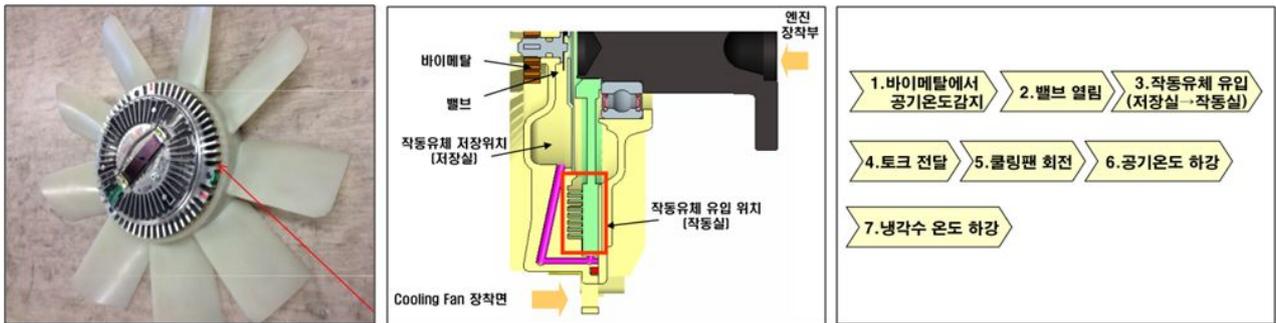


그림 1-71 팬-클러치 작동 원리.

표 1-13 팬-모터, 팬 클러치 비교

방 식		장 점	단 점
팬 모터		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엔진 회전수와 무관하게 팬 속도 제어 가능</li> <li>- 역회전에 의한 라디에이터 청소 가능</li> <li>- 반응 속도가 빠르고 원하는 속도로 제어 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 발전기의 용량 증대에 따른 엔진 부하 증대</li> <li>- 에너지 변환 손실이 큼</li> <li>- 최대 회전수가 2500rpm으로 제한됨</li> <li>- 팬 클러치 대비 가격이 비쌈</li> <li>- 설계 변경 범위가 넓고 모터 장착이 난해함</li> </ul>
팬 클러치	바이 메탈	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중량이 가볍고 가격이 저렴함.</li> <li>- 별도의 제어 장치가 없이 속도 제어 가능</li> <li>- 설계 변경 범위가 좁고 쉽게 장착할 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엔진 룸 내부의 온도에 따라 제어 성능이 달라짐</li> <li>- 반응 속도가 늦고 히스테리시스가 큼</li> <li>- 팬 클러치의 오염에 의한 성능 저하 방지를 위한 유지 보수가 반드시 필요함</li> <li>- 임의 속도 제어 및 역회전 불가</li> </ul>
	전자 제어	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 냉각수 온도나 부하 상태에 따라 속도 조절 가능</li> <li>- 환경 조건에 영향을 받지 않기 때문에 유지보수에 유리</li> <li>- 설계 변경 범위가 좁으며 기존 알터네이터 활용 가능</li> <li>- 엔진 최고 출력 시 기존 대비 동일한 수준의 팬 회전 가능 (Fan-3400rpm @ E/G-2600rpm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이메탈 방식에 비해 고가 / 고중량</li> <li>- 역회전 불가</li> </ul>

b) 설계 변경 범위

팬 클러치의 트랙터 장착을 위해서는 그림 1-72와 같이 기존의 스페이서(팬과 크랭크 부분을 연결해주는 기구)를 제거한 후 별도의 클러치 브라켓(bracket)으로 변경해야 한다. 팬 허브의 경우 형상의 설계 변경이 필요하며 팬과 팬 클러치를 결합하기 위해서는 정면에 볼트 1개만 체결하면 되기 때문에 유지보수가 용이하다. 전체적으로 설계 변경의 범위가 좁고 재료비 차이가 거의 없으며 적용 사례가 많아 하이브리트 트랙터 시 활용 가능성이 높다고 판단된다.

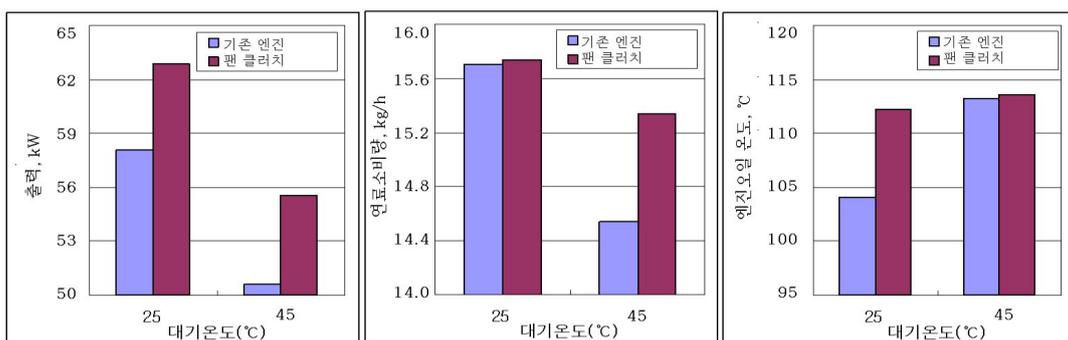


그림 1-72 팬-클러치 고정을 위한 설계변경.

c) 팬 클러치 성능 평가

㉞ 전부하 시험

기존 구동 방식과 팬-클러치 방식을 상온(25℃)과 고온(45℃) 조건에서 전부하 시험을 실시하였으며, 출력, 연료소비량, 오일 온도의 차이 비교 분석한 결과 그림 1-73과 같이 나타났다. 이때 시험은 최고출력 상태에서 모든 조건이 안정화될 때까지 대기한 후에 데이터 측정하여 신뢰성을 향상시켰다. 상온의 경우 팬-클러치를 적용했을 때 기존 방식에 비해 출력은 약 5 kW의 상승이 관찰되었으며, 연료소비량은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 엔진오일 온도는 약 7℃ 증가되었지만 정상 범위를 만족하였다. 고온 시험의 경우, 기존 방식 대비 팬 클러치의 출력은 약 5 kW 상승되었으며 연료소비량은 0.7 kg/h 증가되어 기존 방식에 비해 낮은 효율을 보였다. 이때 엔진오일 온도는 동일하게 나타났다.



(a) 출력

(b) 연료소비량

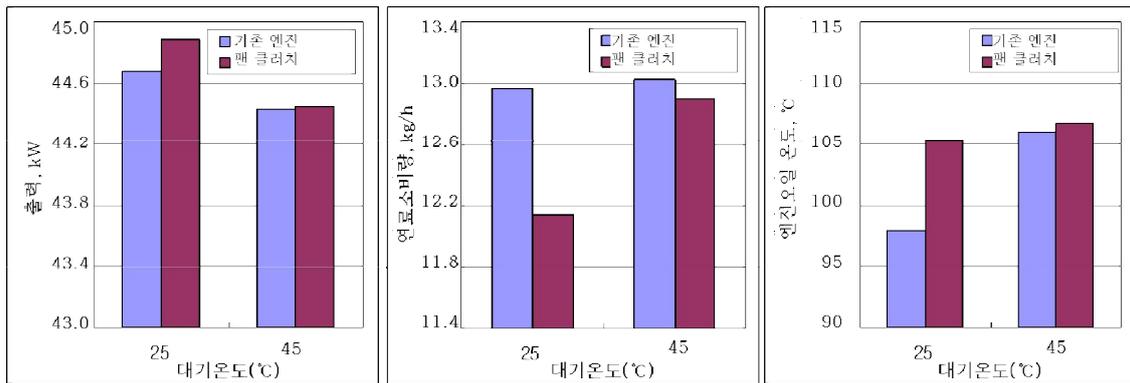
(c) 오일온도

그림 1-73 팬-클러치 전부하 시험 결과.

㉟ 로터리 시험

실제 트랙터 작업에 따른 효과를 분석하기 위해서 변동부하에 대한 성능평가를 수행하였다. 이때 변동부하는 실제 로터리 시험 시 발생하는 부하를 이용하여 AC 다이내모를 이용하여 시

시스템의 입력부하로 인가하였다. 로터리 시험 결과는 그림 1-74와 같이 나타났으며, 이때 출력은 로터리 작업의 작업부하에 대해서 수행하였으므로 동일한 토크 조건에 따라 출력은 2가지 방식 모두 동일하게 나타났다. 상온의 경우 팬-클러치를 적용했을 때 기존 방식에 비해 출력은 약 0.2 kW의 상승이 보였지만 큰 차이가 없음을 알 수 있으며, 연료소비량은 약 1 kg/h이 감소되었다. 이때 엔진오일 온도는 약 6°C 증가되었지만 정상 범위를 만족하였다. 고온 시험의 경우, 기존 방식과 팬 클러치 방식의 출력은 동일하게 관찰되었으며 연료소비량은 0.1 kg/h가 감소되었다. 이때 엔진오일 온도는 유사하게 나타났다.



(a) 출력

(b) 연료소비량

(c) 오일온도

그림 1-74 팬-클러치 로터리 시험 결과.

#### ㉔ 내구 성능 시험

팬 클러치 내구 성능 시험을 위해 그림 1-75와 같이 엔진오일 온도 유지 성능 시험을 실시하였다. 성능 시험은 하루 평균 농작업 시간을 고려하여 4시간 동안 전부하 상태에서 엔진 오일 온도 유지 상태를 측정하였다. 시험 결과 팬 클러치를 사용하지 않은 엔진 오일 온도는 냉각팬의 상시 동작으로 100분까지 증가하는 경향을 보이다 100분 이후부터는 약 103도의 온도를 유지하는 것으로 나타났다. 팬 클러치를 동작시킨 경우, 40분까지 냉각팬이 동작하지 않아 엔진 오일 온도가 빠르게 상승하였으며 105도 이후에는 냉각팬의 동작으로 온도가 다시 감소하였다. 팬 클러치를 동작시킬 경우 상시 동작시키는 경우보다 엔진 오일 온도가 비교적 높게 나타났으나 안전범위 내에서 엔진 오일 온도가 유지되므로 냉각 성능 유지가 가능함을 확인하였다.

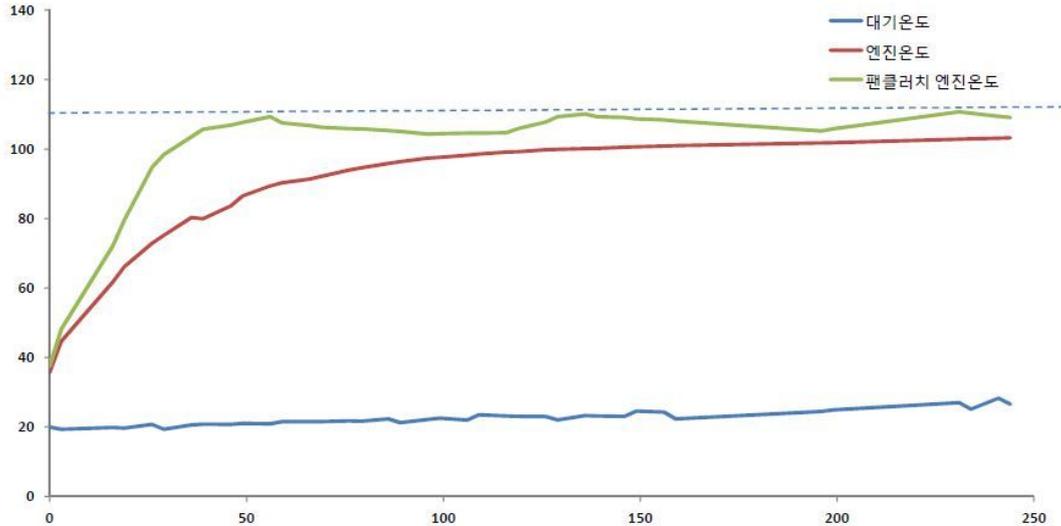


그림 1-75 팬-클러치 내구 성능시험 결과.

(라) 기대효과

기존 트랙터의 엔진 냉각 시스템의 경우, 현재 필요한 냉각량과 관계없이 엔진의 회전수에 비례하여 팬 및 워터펌프가 회전하게 되며 이로 인해 엔진의 불필요한 손실이 발생되어 엔진의 효율을 떨어뜨리게 된다. 이에 팬 클러치를 이용한 엔진 냉각 방식은 불필요한 엔진의 손실을 방지하면서 엔진의 냉각 성능을 유지시킬 수 있어 트랙터 작업 시 출력 성능 향상 효과를 기대할 수 있다.

앞선 전부하 시험과 로타리 시험을 통한 팬 클러치 성능 평가 결과, 상온과 고온에서 엔진 오일 온도의 정상 범위를 유지하며, 엔진 출력 성능이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 이는 트랙터 작업 시 순간적으로 발생하는 큰 부하에서도 작업이 가능함을 알 수 있다. 팬 클러치 내구평가의 경우, 트랙터 작업 시간을 고려하여 전부하 상태에서 엔진 오일 온도를 측정하였으며 기존 시스템에 비해 오일 온도가 비교적 상승하였으나 안전 범위 내에서 온도의 유지가 가능하여 장시간 트랙터 작업에서도 냉각 성능을 유지하며 출력 향상이 가능함을 확인할 수 있었다.

(4) 제어시스템 최적화

(가) 하이브리드 제어 전략

하이브리드 트랙터의 엔진의 토크 어시스트를 위한 모터의 제어 전략은 연료 효율을 위한 Throttle down & Gear up을 목표로 부하에 의한 엔진 속도 감소를 소형 모터에서 토크를 지원하여 기존 트랙터에 대한 트랙터의 작업 성능을 증가시키는 방향으로 개발 방향을 설정하였다. 그림 1-76과 표 1-14는 하이브리드 트랙터 엔진의 토크 지원을 위한 모터의 제어 전략 알고리즘으로 작업 속도를 결정하는 엔진 속도와 배터리의 잔량(State of Charge, SOC)으로 모

터의 토크 지원을 결정할 수 있도록 설정하였다. Normal 모드에서는 엔진 속도가  $\omega_{e\_min}$  과  $\omega_{e\_max}$  사이에서 유지될 경우 엔진 단독으로 구동하도록 하였으며 작업 중 부하에 의해 엔진의 속도가 감소가 될 경우 Assist Mode로 구동하여 모터에 의한 동력 지원이 가능하도록 하였다. 이 때 Assist 모드를 결정할 엔진의 속도는 그림 1-77과 같이 트랙터의 PTO 성능 곡선과 연료 사용 곡선을 고려하여 조속기(governor)의 최대점보다 낮은 엔진속도에서 성능이 90%인 1900~1950 rpm이 유지되도록 설정하였다. Assist 모드에서 모터 토크에 대한 부분 토크와 최대 토크는 식 (1-3)과 같이 계산하였다. 또한 트랙터는 작업 중 회생제동을 할 수 없으므로, 모터를 구동시키는 배터리 잔량을 고려하여 배터리 잔량이 일정 기준 이하로 떨어질 경우 Charge 모드로 작동하여 SOC가 일정 수준까지 충전될 수 있도록 설정하였다. Charge 모드에서 모터 토크에 대한 부분 토크와 최대 토크는 식 (1-4)와 같이 계산하였다.

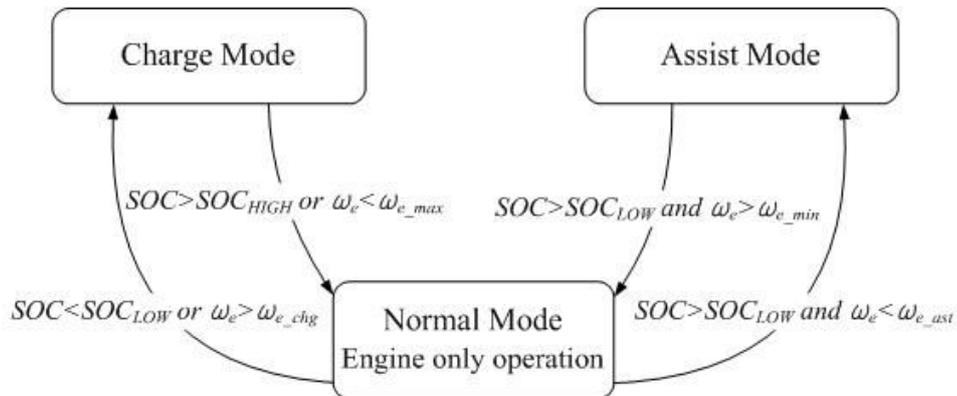


그림 1-76 토크 지원 전략 state flow.

표 1-14 토크 지원 전략 모드

Mode	Switching Condition	
Assist	$SOC_{LOW} < SOC$	$\omega_{e\_ast} > \omega_e$
Normal	$SOC_{LOW} < SOC$	$\omega_{e\_min} < \omega_e < \omega_{e\_max}$
Charge	$SOC_{LOW} > SOC$	$\omega_{e\_chg} < \omega_e$

$$T_{m\_ast} = \begin{cases} T_{load} - T_e < T_{m\_max} \\ T_{m\_max} & otherwise \end{cases} \quad \text{식 (1-3)}$$

$$T_{m\_chg} = \begin{cases} \frac{\{P_{elec\_acc} - P_m(SOC)\}}{\omega_m} < T_{m\_max} \\ T_{m\_max} \end{cases} \quad otherwise \quad \text{식 (1-4)}$$

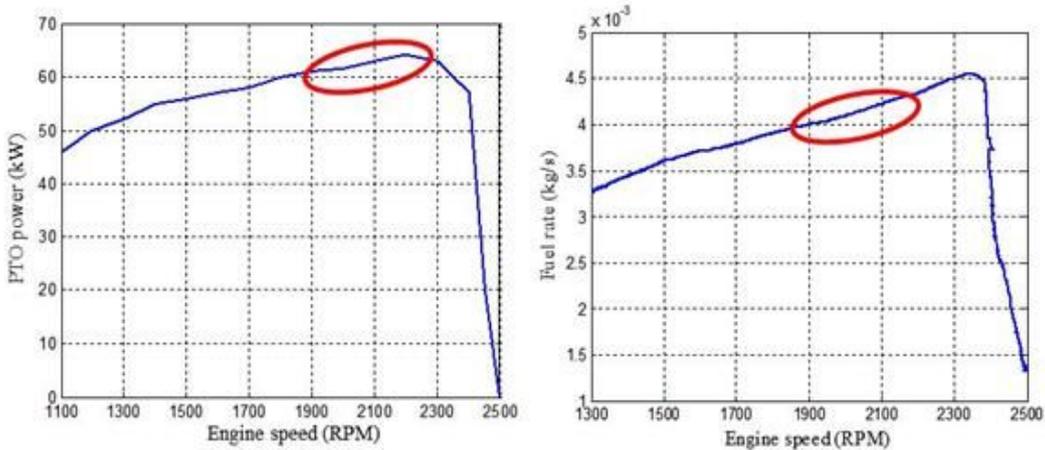


그림 1-77 트랙터 PTO 성능과 연료 사용 곡선.

(나) 제어 성능 분석

하이브리드 트랙터의 제어 성능 분석을 위해 조속기 최대점보다 낮은 엔진 속도를 고려해야 하므로, 실제 실험한 기어 단수인 L3단보다 높은 M1, M2단에서 시뮬레이션을 실시하였다.

a) 베일러 작업 시뮬레이션 결과

그림 1-78은 베일러 작업에서 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 엔진 구동영역을 나타낸 것으로 하이브리드 트랙터가 일반 트랙터에 비해 높은 엔진속도를 유지하였으며 표 1-15와 같이 엔진 속도에 대한 표준편차를 계산하여 성능 분석을 실시한 결과 하이브리드 트랙터가 55.6%의 작업 성능 증가를 보였다. 그림 1-79(a)는 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 연료 사용량을 비교한 것으로 그림 1-79(b)와 비교하여 충전 시에는 모터에서 부하를 발생시켜 엔진 회전속도가 낮아지게 되고 그로 인해 연료 사용량이 감소하였으며, 반면에 모터 토크 지원 시에는 높은 엔진 속도를 유지해야 하므로 연료 사용량이 증가함을 확인할 수 있었다. 베일러 작업 중 총 연료 사용량은 일반 트랙터가 5.33kg, 하이브리드 트랙터가 5.37kg으로 나타나 비슷한 연료 소모량에서 더 빠른 작업 속도로 작업 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.

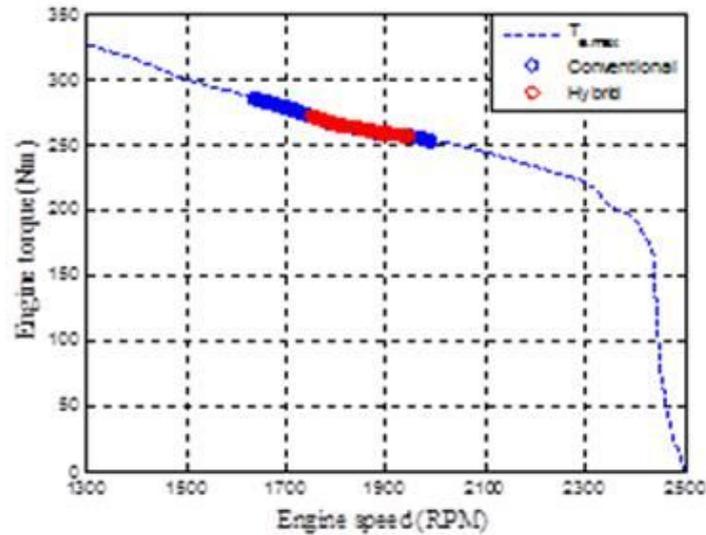
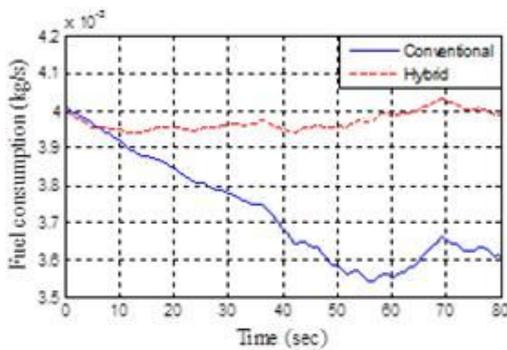


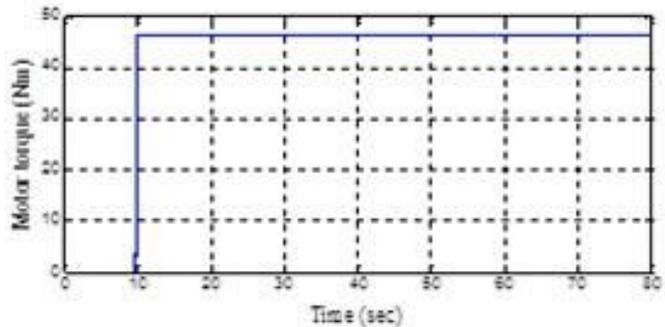
그림 1-78 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 엔진 작동영역 비교(베일러 작업).

표 1-15 토크 지원 전략 모드(베일러 작업)

Gear level	Conventional tractor		Hybrid tractor	
	STD (rpm)	Fuel consumption (kg)	STD (rpm)	Fuel consumption (kg)
M2	153.83	5.33	98.88	5.37



(a) 연료 사용량 비교



(b) 하이브리드 트랙터 모터 토크

그림 1-79 하이브리드 트랙터의 모터 구동에 따른 연료 사용량 비교(베일러 작업).

b) 로타리 작업 시뮬레이션 결과

그림 1-80은 로타리 작업에서 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 엔진 구동영역을 나타낸 것으로 하이브리드 트랙터가 일반 트랙터에 비해 높은 엔진속도를 유지하였으며 표 1-16과 같이 엔진 속도에 대한 표준편차를 계산하여 성능 분석을 실시한 결과 하이브리드 트랙터가 80.7%의 작업 성능 증가를 보였다. 그림 1-81은 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 연료 사

용량을 비교하고 하이브리드 트랙터 모터의 구동 토크를 나타낸 것으로 실제 실험보다 높은 단수 기어로 설정하여 높은 부하 토크가 발생하게 되고 그로 인해 토크 지원을 받기 위해 모터가 작동함을 확인할 수 있었다. 로타리 작업 중 총 연료 사용량은 일반 트랙터가 2.99kg, 하이브리드 트랙터가 3.18kg으로 나타나 비슷한 연료 소모량에서 더 빠른 작업 속도로 작업 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.

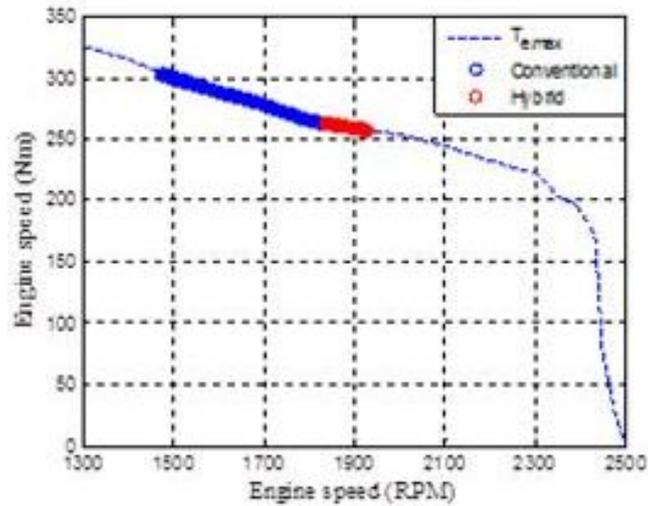


그림 1-80 일반 트랙터와 하이브리드 트랙터의 엔진 작동영역 비교(로타리 작업).

표 1-16 토크 지원 전략 모드(로타리 작업)

Gear level	Conventional tractor		Hybrid tractor	
M1	STD (rpm)	Fuel consumption (kg)	STD (rpm)	Fuel consumption (kg)
	317.75	2.99	61.27	3.18

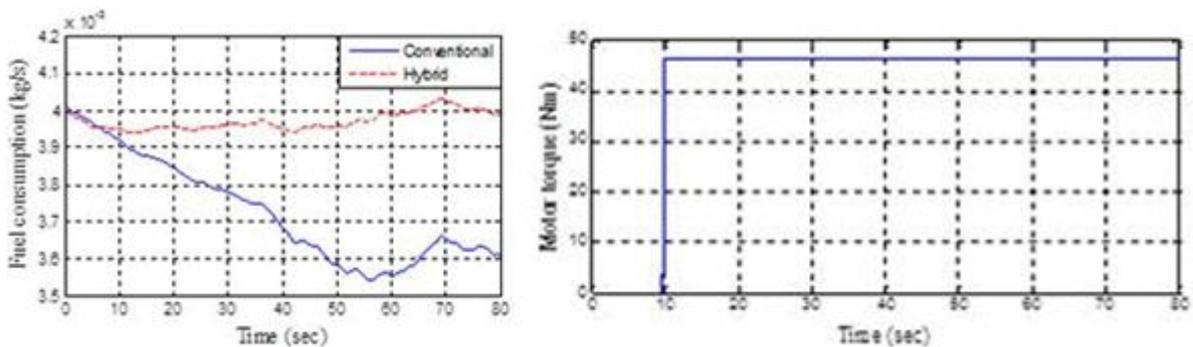


그림 1-81 하이브리드 트랙터의 모터 구동에 따른 연료 사용량 비교(베일리 작업).

## 나. 하이브리드 트랙터 system integration

### (1) 하이브리드 트랙터 기대 개발

하이브리드 트랙터 핵심부품을 개발하고 핵심부품 system integration을 통해 하이브리드 트랙터 기대를 개발하였다. 하이브리드 핵심부품인 모터/발전기는 2차 시작품과 동일한 형태로 그림 1-82와 같이 클러치 하우징 내부에 stator를 볼트 체결 방식으로 우선 고정하고 다음 rotor를 메인 축의 가이드로 하여 장착하였다. 모터의 3상 전력선은 클러치 하우징 상단에 별도의 출입구를 통해 외부로 연결이 가능하도록 하였으며 방수처리를 하여 내부에 수분 및 이물질의 침투를 사전에 방지하였다.



그림 1-82 개발된 하이브리드 트랙터 모터/발전기.

### (가) 인버터/컨버터 장착

인버터/컨버터는 표 1-17과 같이 모터의 사양을 고려하여 300VDC 입력에 정격 9.6kW에 최대 출력 11.7W의 사양으로 개발하였다. 인버터/컨버터의 장착은 내열성에 취약하고 발열이 심하므로 쿨링 효과를 위해 그림 1-83과 같이 트랙터 외부 후단부에 장착하도록 하였다. 외부 케이스는 그림 1-84와 같이 제작하였다.

표 1-17 인버터 제원

성능사양	제원	비고
Input DC Voltage	정격300VDC	
Output Power	연속정격: 9.6kW	40Nm@ 2300RPM
	최대출력:11.7kW	40Nm@ 2800RPM
Output Current	64Apeak/45ARMS	
AC OutputFrequency	280Hz@12p	@2800RPM
PWM Frequency	10kHz	
Ambient Temperature	-10도~80도	부품/소자는 85도
Monitoring peak efficiency	93%이상	@300V
Power density	0.7(kW/Liter)	



그림 1-83 인버터/컨버터 장착부.

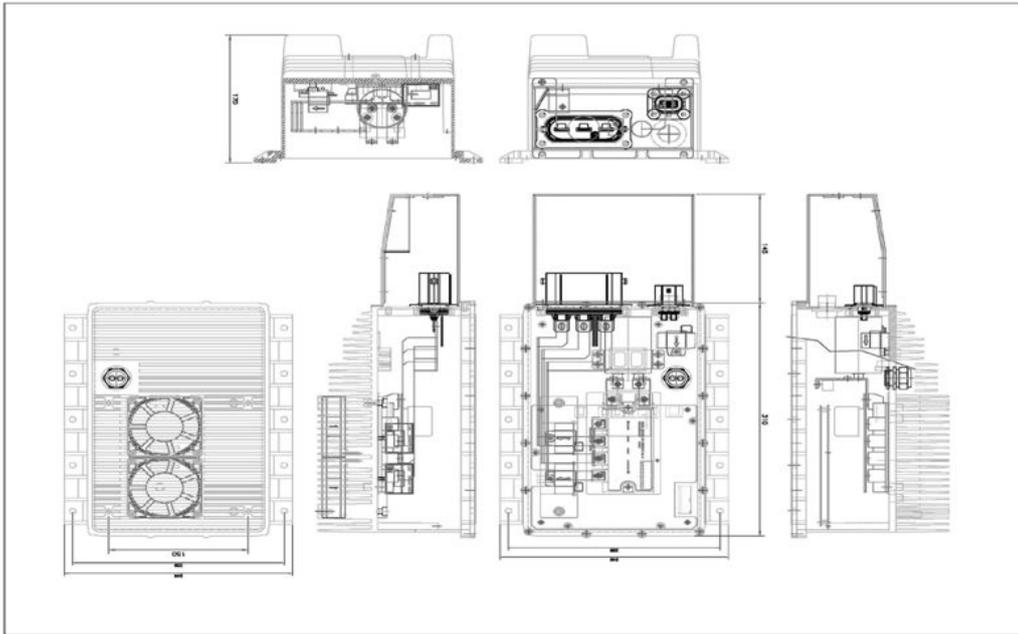


그림 1-84 인버터/컨버터 장착부 설계 도면.

(나) 배터리-BMS 장착

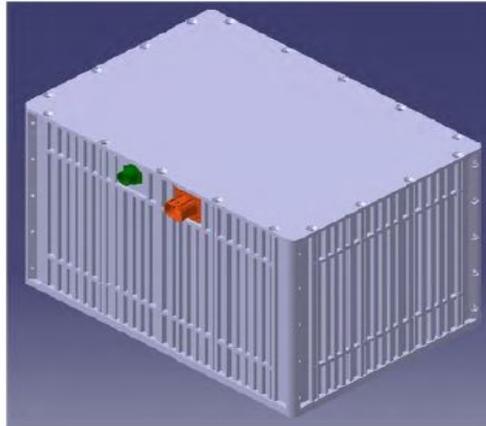
배터리의 기본 구성과 동작 사양은 표 1-18과 같이 개발하였다. 배터리팩은 내부에 Cell 관리와 배터리 제어를 위한 BMS(Battery management system) 모듈이 일체화 되어 구성하도록 하였다. 배터리 팩은 충전 또는 방전하는 전류를 인버터와 주고 받으며 HCU와 연동하여 제어 된다. 따라서 고전력 케이블과 신호 케이블이 접속된다. 외부 장착의 특성상 특수 처리된 방수 커넥터로 연결되어 방습 기능을 가진다. 그림 1-85는 각각 전력 케이블과 신호케이블 커넥터이다. 전력케이블은 인버터와 직렬로 연결되고, 신호 케이블은 MCU, HCU 와 연동된다. 배터리 팩 모양은 그림 1-86과 같다.

표 1-18 배터리 제원

항목	기본 사양		동작 사양		
	제원	비고	항목	제원	비고
셀구성	96Cell		최대충전전류	25Ah	
정격전압	315.84v~318.72v	1cell: 3.29v~3.32v	최대방전전류	35Ah	
정격용량	10Ah		방전종지전압	264v	1cell: 2.75v
정격에너지	3kW		동작 온도	-20℃~60℃	



그림 1-85 전력케이블, 신호케이블 커넥터.



Pack Size : 418W X 292.7L X 326.4H

그림 1-86 배터리 팩 형상.

하이브리드 배터리 팩은 그림 1-87과 같이 트랙터 전면부의 전방 웨이트 부분에 장착하였다. 발열에 성능차이가 민감한 리튬계열 배터리의 특성때문에 차량 외부 통풍이 가능한 위치에 설계하였으며 전방 무게 증가 효과로 전방 웨이트의 기능도 일부 담당이 가능하다. 기존 지면과 차체와의 높이도 변경없이 장착되어 험난한 지면이나 주행 또는 작업에도 기존 트랙터와 동일한 안정성이 유지된다.



그림 1-87 하이브리드 트랙터 배터리 설치부.

(다) HCU 케이블

인버터/컨버터와 배터리, HCU를 연결하는 케이블은 그림 1-88과 같이 트랙터 하단부에 위치한다. 먼저 배터리와 직렬로 연결되는 전력케이블과 HCU, 배터리 팩과 연결되는 신호선이 위치하고 모터와 방수처리 3상 전력케이블이 직렬로 연결된다. 케이블 보호를 위해 주변부를 보호하는 메탈 커버가 추가되어 안정성을 높였다.

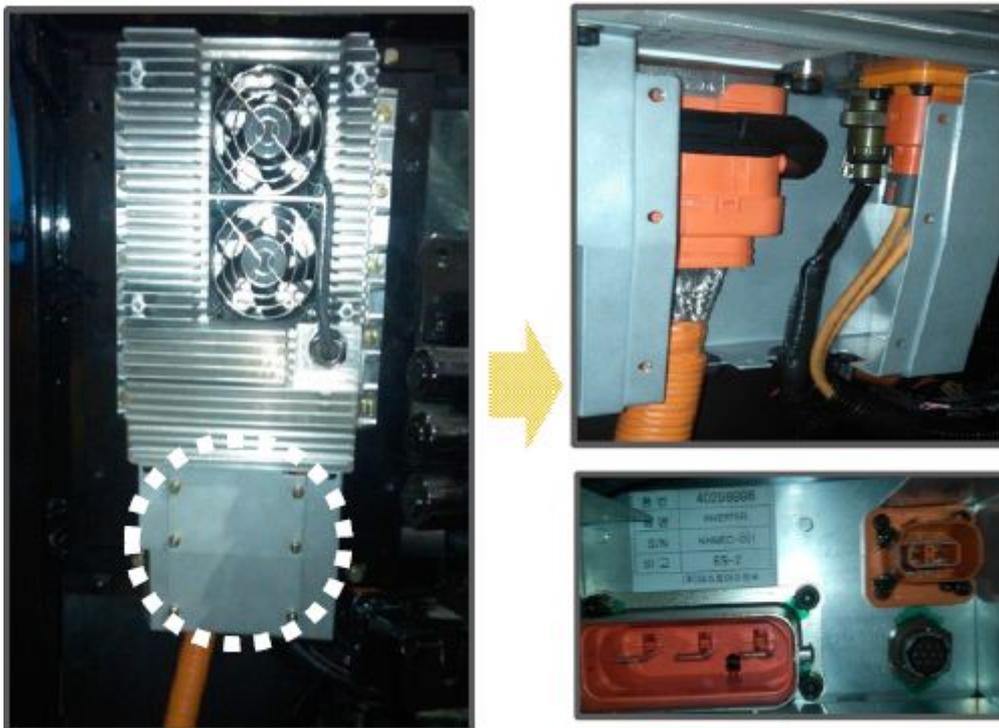


그림 1-88 하이브리드 핵심부품 케이블.

(라) 하이브리드 시스템 모니터링 장치

하이브리드 시스템 모니터링 장치는 작업에 따른 하이브리드 모드의 선택이 가능하며, 하이브리드 동작 정보를 사용자에게 제공한다. 자동차와 같이 하이브리드 동작 정보를 제공함으로써 신기술에 대한 신뢰도를 높이며, 하이브리드 모드에 따라 트랙터를 사용함으로써 보다 높은 효율을 유도하는 효과를 기대할 수 있다. 그림 1-89는 하이브리드 트랙터에 장착된 모니터링 장치로 캐빈 내 작업자의 오른쪽 상단에 위치한다.



그림 1-89 하이브리드 시스템 모니터링 장치.

하이브리드 시스템 모니터링 장치의 화면은 그림 1-90과 같이 후방카메라 화면과 하이브리드 모드의 상태를 보여준다. 좌측에는 모드 선택 버튼을 개발하여 주요 포장작업인 쟁기, 로타리, 베일러 작업과 주행 중일 때 작업자가 원하는 하이브리드 모드를 선택할 수 있도록 하였다. 작업자가 직접 작업 모드를 선택할 수 있어 작업 별 연료 및 성능효율 극대화가 가능하다.

그림 1-91은 모니터링 장치의 우측 버튼의 기능을 설명한 것으로 PTO 연동, 3점히치 연동 모드 선택버튼과 화면 전환 버튼으로 구성되어 있다. PTO 연동 모드는 PTO가 동작하지 않을 때 하이브리드 방전을 정지하는 모드이다. 작업 중 PTO 동작 시 높은 부하가 발생하여 하이브리드 모드를 사용할 경우 연료 효율이 높아질 수 있으나 PTO가 동작하지 않는 경우 불필요한 모터 구동을 방지하고자 PTO 연동모드 선택 버튼을 개발하였다. 3점히치 연동모드의 경우도 PTO 연동모드와 마찬가지로 작업을 하지 않을 경우 불필요하게 방전이 일어나지 않도록 하이브리드 모드 동작을 선택할 수 있도록 하였다.

그림 1-92는 하이브리드 동작 화면을 나타낸 것으로 하이브리드 부스트 모드 상태, 모터 동작 상태, 배터리 SOC 양을 실시간으로 확인할 수 있고 하이브리드 모드 동작 시 제어 기준이 될 수 있도록 개발하였다.



그림 1-90 하이브리드 시스템 모니터링 장치 구성(작업모드 선택기능).



그림 1-91 하이브리드 시스템 모니터링 장치 구성(PTO / 3점히치 연동모드).



그림 1-92 하이브리드 동작 화면.

## 다. 포장작업을 통한 핵심부품 성능평가

### (1) 포장작업

하이브리드 기대 개발을 통해 실차 테스트를 수행하였다. 작업 필지는 전주와 고창 인근 필지를 대상으로 실시하였다. 시험은 동일 필지를 구역별로 구분하여 포장작업 별로 하이브리드 모드 On/Off 로 변경해가며 작업을 진행하였다. 작업은 쟁기작업과 로타리 작업을 실시하였으며, 작업 패턴은 그림 1-93과 같다. 데이터 계측은 VECTOR 社 데이터 로거 장치인 GL1000모델을 이용하여 CAN 통신 방식으로 신호를 획득하였다. 차속 및 이동거리를 위해 GPS 센서를 이용하였으며 사용 유량 측정을 위해 Macnaught 社 MX06 유량계를 사용하였다.

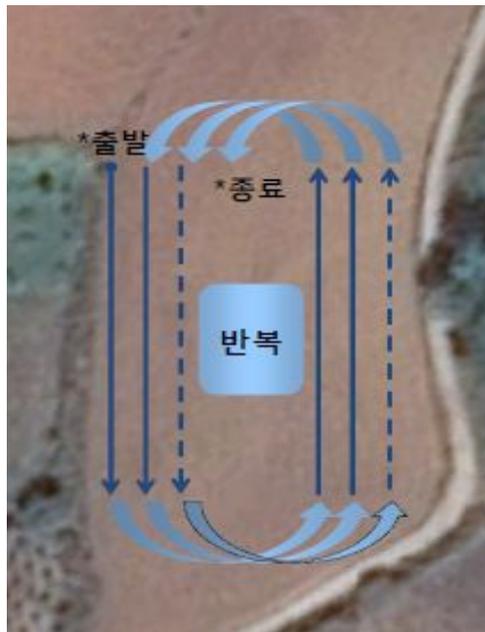


그림 1-93 하이브리드 트랙터 실차시험 작업패턴.

### (2) 핵심부품 성능평가

#### (가) 쟁기작업

쟁기작업의 작업 단수는 주로 사용되는 단수인 부변속 M단, 주변속 2단, Low 조건에서 Full-throttle 상태로 실시하였으며 엔진 회전수, 이동거리, 작업시간, 연료 사용량을 분석하였다. 그림 1-94는 쟁기작업에서의 엔진 회전수 변화를 나타낸 것으로 하이브리드 모드를 사용할 경우 엔진 회전수가 비교적 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

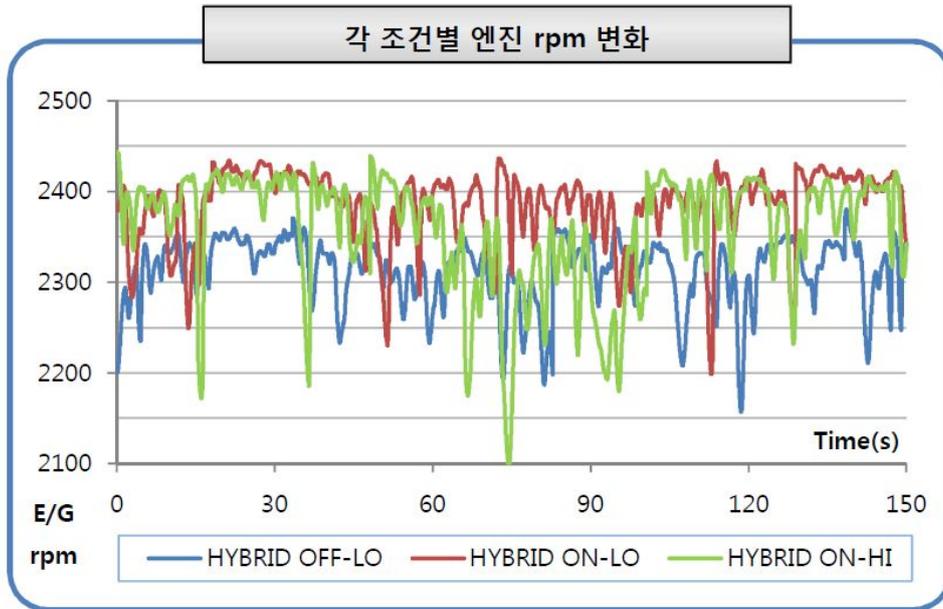


그림 1-94 하이브리드 모드 동작여부에 따른 성능평가 (쟁기작업).

쟁기작업 시 사용하는 엔진 회전수 영역은 그림 1-95와 표 1-19와 같이 나타났다. 하이브리드 모드가 동작하지 않을 경우에는 비교적 낮은 엔진 회전수 영역에서 동작하였으며 시간당 연료소모량이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 하이브리드 모드 동작 시에는 시간 당 연료소모량이 낮게 나타났고 엔진 회전수도 높은 영역까지 사용이 가능하여 하이브리드 모드 동작 시 작업을 더 효율적으로 수행할 수 있음을 확인하였다.

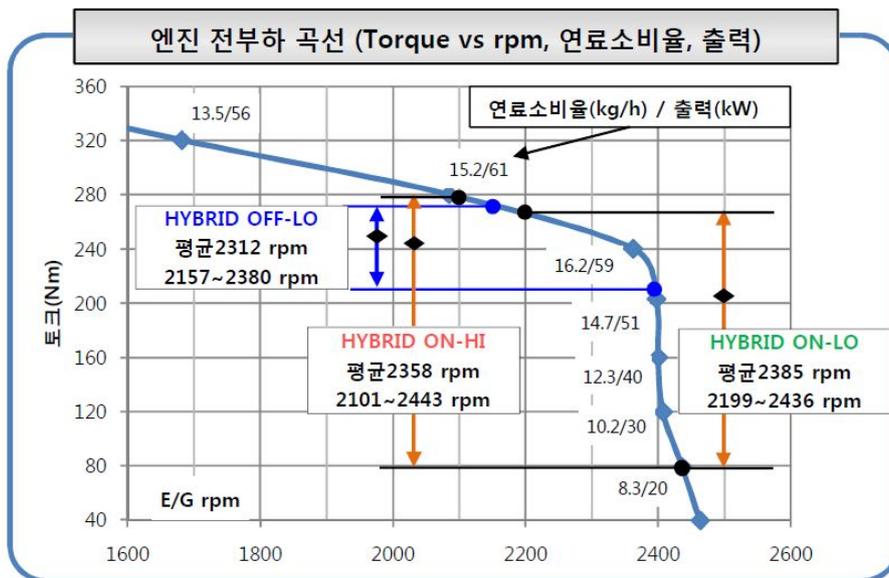


그림 1-95 하이브리드 모드 동작 시 엔진 회전수 사용 영역 (쟁기작업).

표 1-19 하이브리드 모드 동작 여부에 따른 엔진 회전수 사용 빈도

	엔진 회전수 (rpm)					연료 소모량 (ℓ/h)
	2436~2407	2407~2400	2400~2397	2397~2362	2362~2084	
*H_OFF /LOW	0%	0%	0%	1%	99%	19.3
*H_ON /LOW	33%	10%	5%	31%	21%	16.4
H_ON /HI	19%	14%	4%	24%	39%	19.1

\*H\_ON : 하이브리드 모드 On, \*H\_OFF : 하이브리드 모드 Off

(나) 로타리 작업

로타리 작업 시 사용하는 엔진 회전수 영역은 그림 1-96과 표 1-20과 같이 나타났다. 쟁기 작업과 마찬가지로 하이브리드 모드가 동작하지 않을 경우에는 비교적 낮은 엔진 회전수 영역에서 동작하였으며 시간당 연료소모량이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 하이브리드 모드 동작 시에는 시간 당 연료소모량이 낮게 나타났고 엔진 회전수도 높은 영역까지 사용이 가능하여 하이브리드 모드 동작 시 작업을 더 효율적으로 수행할 수 있음을 확인하였다.

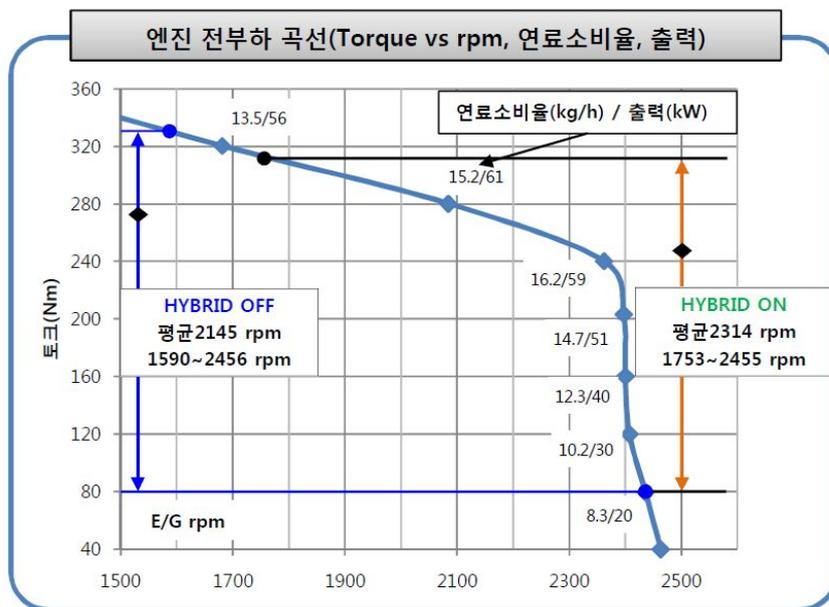


그림 1-96 하이브리드 모드 동작 시 엔진 회전수 사용 영역 (로타리작업).

표 1-20 하이브리드 모드 동작 여부에 따른 엔진 회전수 사용 빈도

	엔진 회전수 (rpm)							연료 소모량 (ℓ/h)
	2436~2407	2407~2400	2400~2397	2397~2362	2362~2084	2084~1681	1681~1321	
*H_OFF	4%	2%	1%	8%	46%	37%	1%	18.3
*H_ON	27%	5%	2%	15%	47%	4%	0%	17.9

\*H\_ON : 하이브리드 모드 On, \*H\_OFF : 하이브리드 모드 Off

### (3) 하이브리드 트랙터 및 동급마력 트랙터 성능평가

하이브리드 트랙터의 성능평가를 위해, 개발된 하이브리드 트랙터 기대와 내부 시스템이 유사하며 110마력급인 트랙터(T6020, CNH)와 쟁기 작업에서 포장 시험을 실시하였다. 작업지는 그림 1-97과 같이 전북 고창의 440평(72m x 19m) 넓이의 포장에서 작업을 실시하였으며 선회 시간 오차를 줄이기 위해 후진 없이 선회하며 작업을 실시하였다. 동일 시험 조건에서 성능평가를 실시하기 위해 작업자가 주로 사용하는 변속 수준인 M2-Lo단에서 작업을 실시하였으며, 필지당 연료소모량( $l$ )과 시간당 작업 가능 필지(평)에 대한 결과를 분석하였다.

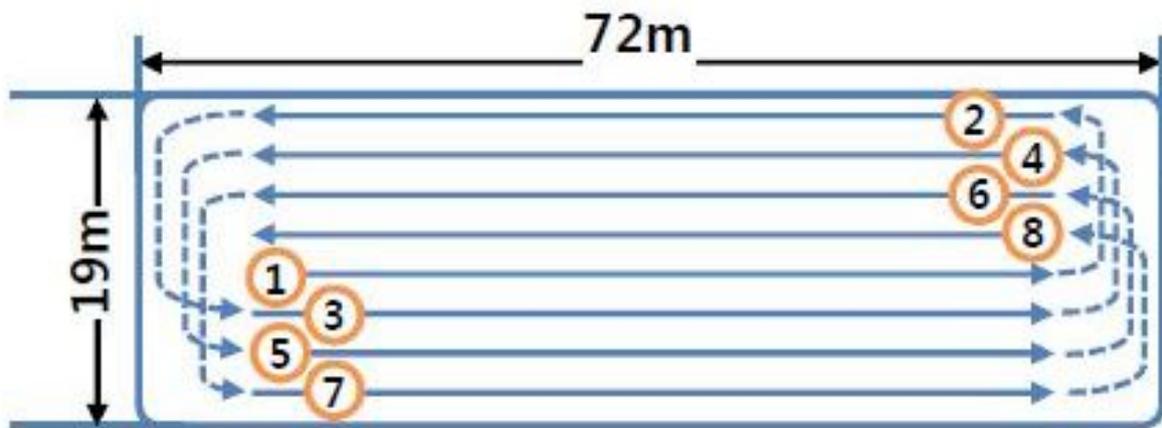


그림 1-97 하이브리드 트랙터 성능평가를 위한 작업지.

성능평가 결과는 그림 1-98과 표 1-21같이 나타났다. 하이브리드 모드를 동작시켰을 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 30% 정도 필지당 연료소모량의 절감 효과가 있는 것으로 확인되었다. 하이브리드 모드 동작 시 작업 속도를 빠르게 할 경우 기존 M2-Lo 단에 비해 M2-Hi 단에서 필지당 연료 소모량은 9% 증가하였으나, 시간 당 작업이 가능한 필지의 양은 22% 증가하여 작업 효율이 향상됨을 확인할 수 있었다. 하이브리드 트랙터와 110마력급 트랙터와 성능 비교를 실시한 결과, 동일한 단수에서는 시간당 작업필지의 양은 비슷하게 나타났으나, 필지당 연료 소모량은 하이브리드 트랙터가 9% 절감된 효과를 보였다. 하이브리드 트랙터의 작업 단수가 M2-Hi 단일 경우에는 필지당 연료 소모량이 비슷하게 나타났으나, 시간당 작업 필지의 양이 18% 증가한 것으로 나타났다. 이는 동일한 작업 속도에서는 연료 절감효과가 나타나며, 고속 단수에서는 저속 단수와 비슷한 연료소모량으로 더 많은 작업이 가능함을 나타낸다.

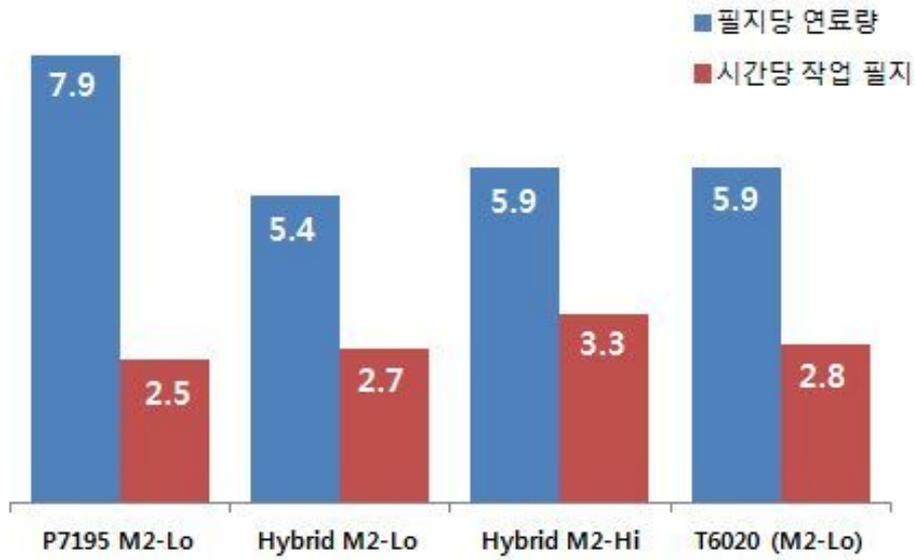


그림 1-98 하이브리드 트랙터 성능평가 결과.

표 1-21 하이브리드 트랙터 성능평가 결과

항 목	P7195 (M2-Lo)	Hybrid (M2-Lo)	Hybrid (M2-Lo)	T6020 (M2-Lo)
필지당 연료소모량 (l)	7.9	5.4	5.9	5.9
시간당 작업 필지 (평)	2.5	2.7	3.3	2.8

#### 4. 하이브리드 트랙터 부하 분석을 위한 성능평가 기술 개발

##### 가. 부하 분석 시스템 설계 및 개발

고효율 하이브리드 트랙터 개발을 위해서는 동력 전달계에 대한 최적 설계가 가장 중요하며, 이를 위해서는 다양한 농작업에 따른 트랙터 주요 구성요소의 소요동력 분석이 필요하다. 이에 트랙터 동력 계측 시스템을 개발하고 주요 포장작업에 따른 트랙터의 소요동력을 분석하였다. 주요 포장작업은 중형 트랙터의 사용자 실태 조사를 통해 선정하였고 계측 시스템은 트랙터 주요 구성요소(변속기 입력축, PTO 입력축, 주 유압펌프, 보조 유압펌프, 차축)의 동력, 연료소비량, 온도(연료, 변속기, 외기) 측정이 가능하도록 개발하여 소요동력을 분석하였다.

##### (1) 트랙터 동력계측 시스템

###### (가) 트랙터 제원

본 연구의 동력 계측 시스템은 표 1-21과 같이 크기 4,000(L) × 2,677(W) × 2,640(H) mm, 무게 3,260 kg의 4륜구동 중형 트랙터를 사용하여 개발하였다. 트랙터 엔진의 정격출력은 2,300 rpm에서 75 kW로 이때 PTO 출력은 65 kW이며, 변속기는 기계식 수동변속기로 이론 동력전달효율은 85 ~ 95%이다. 유압펌프는 엔진 직결 방식으로 최대 20.6 MPa까지 토출 압력이 가능하고 엔진의 회전수에 따른 이론 토출량은 주 펌프가 12 cc/rev, 보조 펌프가 6 cc/rev로 작업기 사용을 위한 주 펌프에 더 많은 동력이 분배되고 있음을 알 수 있다.

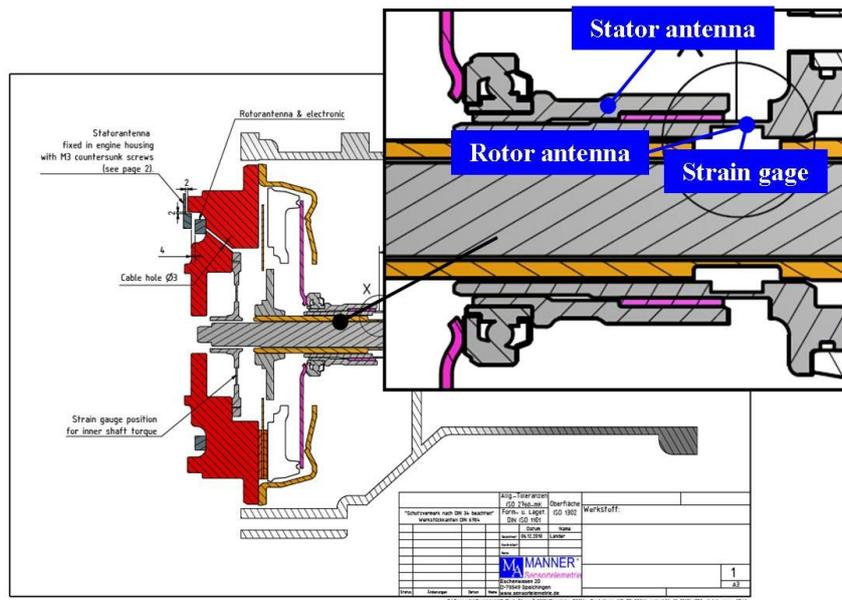
표 1-22 트랙터 사양

Item	Specification	
Length × Width × Height (mm)	4,000 × 2,677 × 2,640	
Weight (kg)	3,260	
Engine	Rated power (kW)	71 @2300 rpm
PTO	Rated power (kW)	65
Hydraulics	No. of pump	2 (main pump, auxiliary pump)
	Max. pressure (MPa)	20.6
	Pump displacement (cc/rev)	12 (main pump), 6 (auxiliary pump)
	Volumetric efficiency (%)	95

###### (나) 변속기 입력축

변속기 입력축의 토크 및 회전수를 측정하여 소요동력을 계산하였으며, 회전속도는 변속기 입력축과 엔진의 회전속도비가 1:1임을 고려하여 트랙터 자체에 내장되어 있는 엔진 속도계 (tachometer)를 사용하여 측정하였다. 토크 측정은 변속기 입력축의 경우 슬립링 등을 이용한

접촉식의 센서 인터페이스를 이용하기 어렵기 때문에 그림 1-99와 같이 텔레메트리 시스템을 이용하였다. 변속기 입력축의 텔레메트리 시스템은 클러치를 통해 엔진과 연결되는 중공 축(hollow shaft) 외부에 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, MicroMeasurement Co., USA)를 부착하여 토크 신호를 측정하였으며 라디오 텔레메트리(radio telemetry) I/O 인터페이스(R2, Manner, Germany)를 이용하여 무선으로 센서의 신호를 수집하였다. 변속기 입력축의 텔레메트리 시스템은 그림 1-100과 같이 구성되었으며, 토크 신호는 스트레인게이지 → 회전부 안테나(rotor antenna) → 고정부 안테나(stator antenna) → 수신기(receiver) → 데이터 수집장치의 순서로 전송되며, 센서 및 안테나 전원은 수신기에서 고정부 안테나를 통해 회전부 안테나로 전원을 공급(induction power)하게 된다. 변속기 입력축의 토크 측정을 위해 사용된 텔레메트리 시스템은 파워트레인 내부에 설치되었고 무선 통신으로 인한 결선의 제한 및 기계적 마모가 없어 수명이 길다는 장점이 있어 작업환경이 열악한 트랙터의 정확한 소요동력 측정이 가능할 것으로 판단된다.



(다) PTO 입력축

PTO 입력축의 소요동력은 변속기 입력축과 동일한 텔레메트리 시스템을 이용하였으며, 회전속도도 엔진의 회전속도와 동일하므로 트랙터 자체에 내장된 센서를 이용하였다. PTO 입력축 토크 측정 시스템은 그림 1-101과 같이 설계하였으며, 그림 1-102(a)와 같이 플라이휠(flywheel)의 댐퍼(damper)에 4개의 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, MicroMeasurement Co., USA)와 회전부 안테나를 설치하여 토크 신호를 측정하였다. 토크 신호 전송 및 전원 공급을 위한 고정부 안테나와 수신기는 각각 그림 1-102(b), 그림 1-102(c)와 같다.

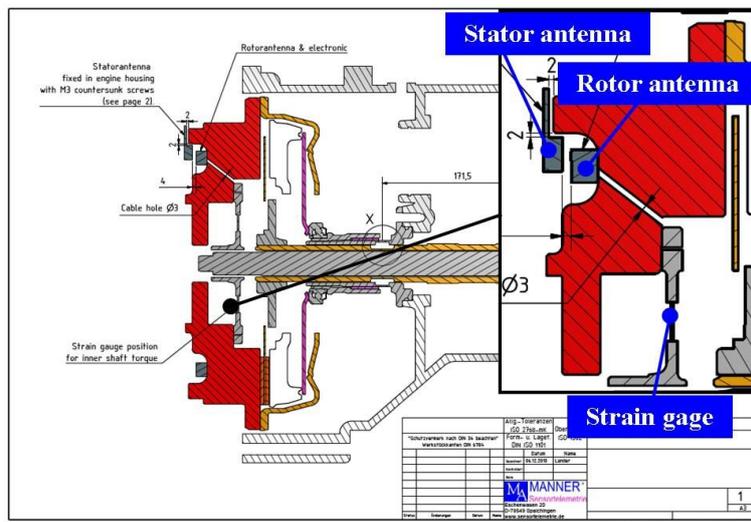


그림 1-101 PTO 입력축의 토크 측정을 위한 측정 시스템 설계.



(a) Straingage+rotor antenna      (b) Stator antenna      (c) Receiver

그림 1-102 PTO 입력축의 토크 측정 시스템 구성요소.

(라) 차축

트랙터 차축의 소요동력은 4개의 차축에 작용하는 토크와 차축의 회전속도를 측정하여 식 (1-1)을 이용하여 계산하였다. 차축의 토크는 Four element full-bridge 스트레인게이지(CEA-06-250US-350, Micro Measurement Co., USA)를 굽힘 모멘트의 영향을 최소화시키기

위해 축 방향에 대하여 45°로 부착하고(Nahmgung, 2001) 접촉식 슬립링을 이용하여 신호를 검출하였으며, 이때 스트레인게이지는 외부 충격을 완화하기 위해 코팅 처리하였다.

뒤 차축의 스트레인게이지는 그림 1-103(a)와 같이 최종 구동축(final drive axle)에 부착하였으며, 회전속도는 뒤 차축의 구조로 인해 별도의 회전속도 센서를 장착하는 것이 어려우므로 슬립링(SR-10M/E60, MI-Scientific Co., USA)에 내장된 엔코더를 사용하여 측정하였다. 앞 차축은 그림 1-103(b)와 같이 회전축의 핀 부분에 스트레인게이지를 부착하여 뒤 차축과 동일한 방법으로 슬립링(SK6, HBM Co., Germany)을 이용하여 토크를 측정하였다. 앞 차축의 회전속도는 별도의 엔코더(M60H, Autonics, Korea)를 부착하여 측정하였으며, 포장작업 시 이물질 및 충격으로 엔코더가 오작동하는 것을 방지하기 위해 보호대를 설치하였다.



(a) 뒷 차축



(b) 앞 차축

그림 1-103 차축의 동력 계측 시스템.

$$Power_{axle} (kW) = \frac{2\pi \times T \times N}{60,000} \dots \dots \dots \text{식 (1-5)}$$

여기서, T : 회전체의 토크 (Nm)

N : 회전 속도 (rpm)

(마) 유압장치

유압장치의 소요동력은 식 (1-6)과 같이 유압 펌프의 토출 압력, 유량, 체적 효율을 이용하였다(Kim, 2004). 유압펌프의 토출 압력은 그림 1-104와 같이 주 및 보조 유압펌프에 각각 압력 센서(P6A, HBM, Germany)를 장착하여 측정하였고 유량은 유압펌프 회전속도와 각각의 펌프에 대한 이론 토출량을 이용하여 계산하였으며, 유압펌프의 회전속도는 엔진 회전속도와 비례하므로 엔진 속도계의 측정값을 이용하여 산출하였다 (Kim et al., 2011b).

$$Power_{pump} (kW) = \eta_v \times \frac{P \times Q}{104,081} \dots \dots \dots \text{식 (1-6)}$$

여기서,  $\eta_v$ : 체적 효율,

P : 유압펌프의 토출 압력 (MPa)

Q : 유압펌프의 토출량 (cm<sup>3</sup>/s)

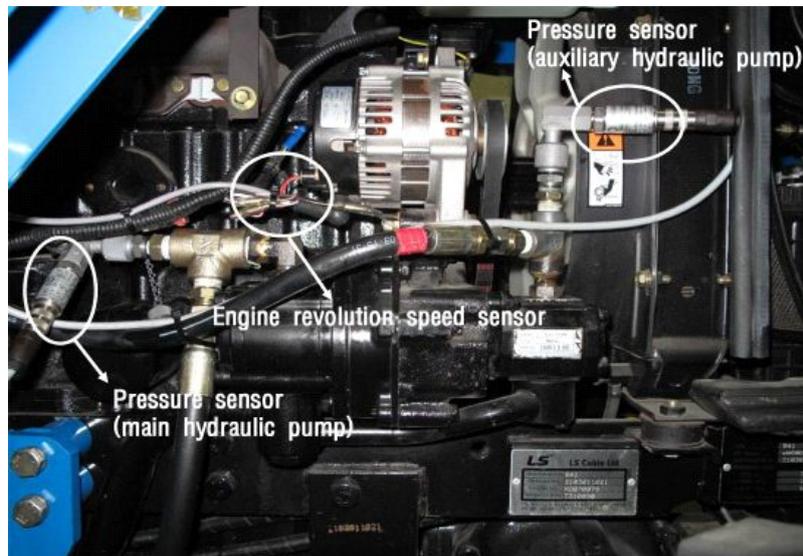


그림 1-104 유압장치의 소요동력 측정을 위한 압력센서와 엔진회전수 센서.

#### (바) 연료 소비량

연료 소비량은 그림 1-105와 같이 연료 공급을 위한 호스(hose) 사이에 유량계(M05, NURITECH, Korea)를 장착하여 엔진으로 유입되는 연료량을 측정하였다. 유량계는 0.003 ~ 0.8 ℓ/min의 측정범위를 가지며 최대 5.5 MPa의 압력을 견딜 수 있는 장점이 있어 본 연구의 트랙터 연료 소모량 측정에 적합하다.

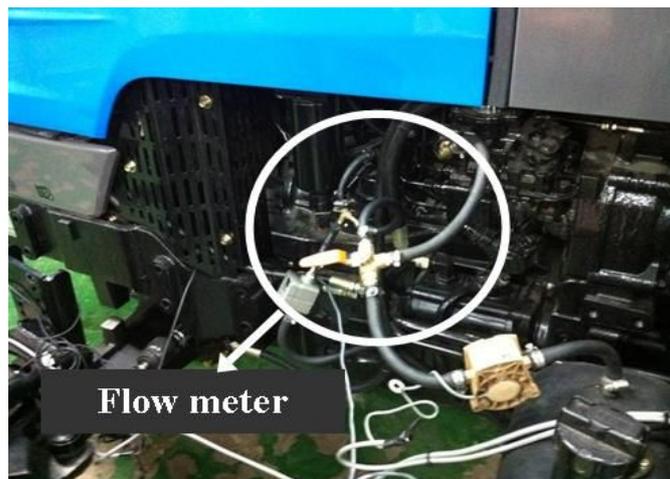


그림 1-105 연료 소비량 측정 센서.

#### (사) 작업 속도

트랙터의 작업속도는 변속기의 변속단수에 의해 결정되나 토양 조건에 따라 슬립이 발생하

여 실제 작업속도에 큰 영향을 미치므로 포장작업에 따른 정확한 작업속도를 측정하기 위해 그림 1-106과 같이 트랙터 보닛(bonnet) 아래, 앞 차축 중심에 지면과 약 35 ~ 40°의 각도를 유지하도록 레이더 속도 측정 센서(Radar sensor III, DICKEY-John, USA)를 설치하였다.



그림 1-106 트랙터 작업 속도 측정 센서.

(아) 온도(연료, 변속기오일, 외기)

포장작업에 따른 측정 신호의 신뢰성을 높이기 위하여 연료 온도, 변속기 오일 온도, 외기 온도를 측정하였으며, 그림 1-107은 연료 온도 측정을 위해 설치된 온도 센서를 나타내고 있다. 사용된 센서는 온도에 따른 금속의 기전력을 이용하여 온도를 측정하는 센서로써 응답시간이 빠르고 측정범위도 넓은 장점이 있는 열전대(thermocouple) 중 T타입을 사용하였다.

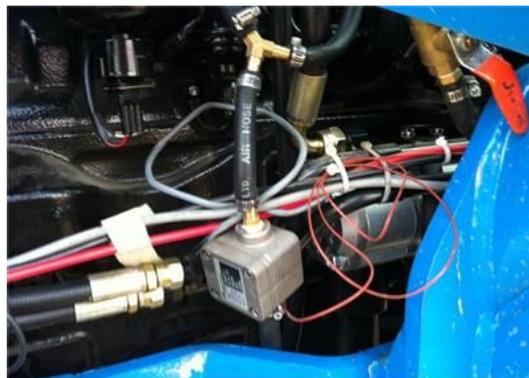


그림 1-107 연료의 온도 측정을 위한 열전대의 장착.

(자) 통합 데이터 수집장치

트랙터의 동력 계측 시스템은 그림 1-108과 같이 주요 구성요소의 소요동력 측정을 위한 엔진 회전속도, 변속기 입력축 토크, PTO 입력축 토크, 주 및 보조 유압펌프 유압 신호와, 4개의 차축에 대한 토크 및 회전속도, 연료 소모량, 트랙터 작업 속도, 온도(연료, 변속기 오일, 외기)

의 총 18개 신호 측정이 가능하도록 8 채널의 데이터 수집장치(QuantumX MX840, HBM, Germany) 3개를 이용하여 구성하였다. 데이터 수집장치는 아날로그와 디지털 신호를 모두 받을 수 있으며, 자체적으로 내장된 FPGA (Field Programmable Gate Array)를 이용하여 잡음 제거가 가능하므로 포장작업 중 신뢰성 있는 센서 신호의 측정이 가능하다는 장점이 있다. 토크 및 압력 신호의 측정은 채널당 19.2 kHz의 샘플링 속도와 24 bit의 분해능을 가지는 아날로그 입력채널을 이용하였으며, 엔진 및 차축의 회전속도는 초당 1 MHz의 속도로 디지털 신호를 측정할 수 있는 디지털 입력채널을 이용하였다. 측정된 센서 신호는 파이어와이어(firewire) 통신으로 실험용 노트북에 전송하였으며 이때 계측 프로그램은 그림 1-109와 같이 신호 처리 및 측정이 용이한 Catman (version 3.1, HBM, Germany)을 이용하여 개발하였다. 또한 데이터 수집장치의 경우 트랙터의 작업에 따른 진동에 의해 파손되지 않도록 별도의 지그(jig)를 제작하여 고정하였다.

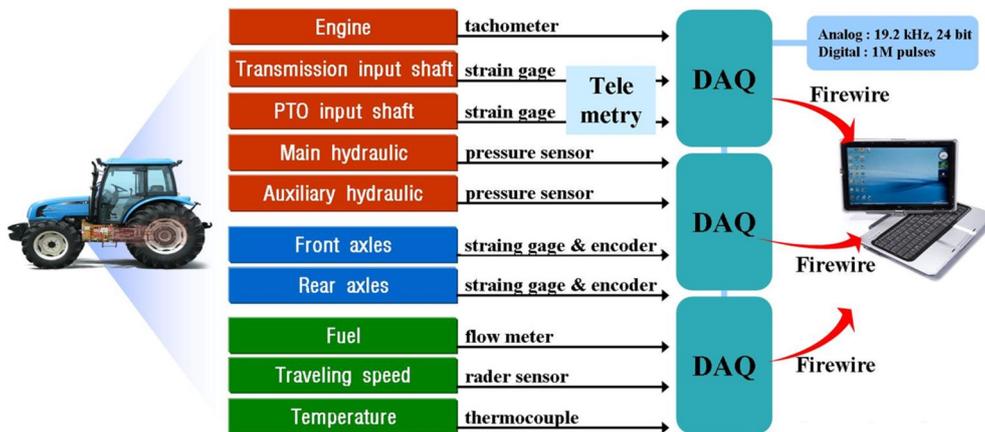


그림 1-108 트랙터 동력 계측 시스템의 구성도.

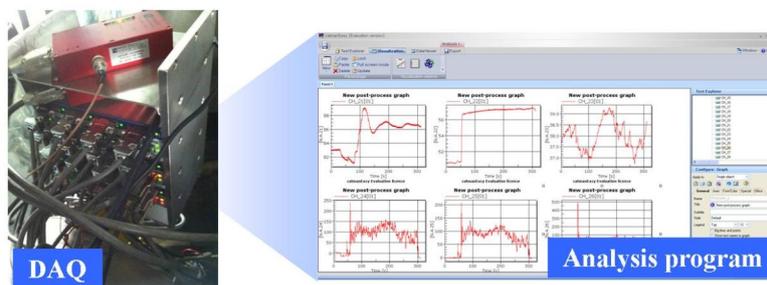


그림 1-109 데이터 수집장치 및 분석 프로그램.

나. 기존 트랙터의 주요 포장작업에 따른 부하 분석

(1) 포장시험

(가) 시험 포장

시험 포장은 농경지 크기 및 토성이 다른 3 지역의 논을 선정하였으며, 토양 조건 분석을 위해 3 곳의 논 각각에 대해 임의의 네 곳을 선정하여 토성, 수분 함량, 원추 관입지수를 3반복 측정하였다(Park and Lee, 2003). 토성은 전북 농업기술원에 의뢰하여 미국 농무부(USDA)법에 따라 분석하였고, 원추 관입지수는 soil compaction meter (SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 0 ~ 25 cm 범위에서 5 cm 간격으로 측정하였으며 수분 함량 측정은 토양 채취관을 이용하여 토양을 채취한 후 오븐 건조법을 이용하였다. 시험 포장의 토성은 표 1-22와 같이 사양토(이천, 완주)와 양토(수원)로 수분 함량은 각각 15.7, 28.4, 21.3%로 나타났으며, 원추 관입지수는 지역과 깊이에 따라 차이가 있었으나 588 ~ 2,451 kPa 범위로 나타났다.

표 1-23 시험 포장의 토양 분석

Site	Soil type	Field size (m)	Water content (wb, %)	Cone index (kPa) by depth					
				0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm
I	Sandy loam	100 × 40	15.7	850	948	1,894	1,470	1,208	1,208
II	Loam	105 × 35	21.3	1,796	2,124	2,285	2,445	2,451	-
III	Sandy loam	120 × 30	28.4	588	784	1,666	2,450	-	-

(나) 소요동력 측정

실외 포장작업은 중형 트랙터의 주요 작업인 플라우 경운(plow tillage), 로타리 경운(rotary tillage), 베일러 작업(baler operation), 랩핑 작업(wrapping operation)을 대상으로 해당 지역에서 숙련된 작업자를 추천받아 2011년 5월경에 실시하였다. 실험은 3곳의 토양에 대해 각각의 작업을 3회 반복 실시하였으며, 변속 수준 및 경로는 작업자의 기존 방법을 이용하여 작업의 신뢰성을 향상시켰다.

실험 조건은 숙련된 작업자에게 문의하여 표 1-23과 같이 플라우 경운과 로타리 경운의 작업속도는 모두 1.9 km/h(부변속 L, 주변속 2단)로 고정하였으며, 경심은 20 cm를 유지하였다. 이때 로타리 경운 작업의 PTO는 1단(585 rpm)으로 설정하였다. 베일러 작업의 작업속도 및 PTO 단수는 각각 5.1 km/h(부변속 M, 주변속 1단), 1단(585 rpm)으로 설정하였으며 랩핑 작업은 18.5 km/h(부변속 H, 주변속 2단)의 작업속도를 유지하였다. 이때 랩핑 작업의 경우 PTO를 사용하지 않으므로 PTO 단수는 고려하지 않았다.

작업기는 그림 1-110과 같이 플라우 경운 작업기의 경우 경폭이 240 cm인 8련 단용 플라우

(PS2408, Sewoong, Korea)를 사용하였으며, 로타리 경운 작업기는 경폭이 230 cm이고 L형 칼날이 탑재되어 있는 대형 로타베이터(WJ230E, Woongjin Machinery Co. Ltd., Korea)를 사용하였다. 베일러는 칼날수가 15개, 베일직경이 1.25 m인 원형 베일러(F550, MCHale, Ireland)를 사용하였으며, 랩핑기는 암(arm)이 2개인 베일랩퍼(RF1500, ELHO, Netherlands)를 사용하였다.

표 1-24 포장실험의 실험 조건

	Plow tillage	Rotary tillage	Baler operation	Wrapping operation
Operation speed	L2 (1.9 km/h)	L2 (1.9 km/h)	M1 (5.1 km/h)	H2 (18.5 km/h)
PTO speed	-	P1 (540 rpm)	P1 (540 rpm)	-
Engine rotational speed	2,300 rpm			
Plowing depth	20 cm	20 cm	-	-



(a) Plow



(b) Rotavator



(c) Baler



(d) Wrapper

그림 1-110 트랙터 작업기.

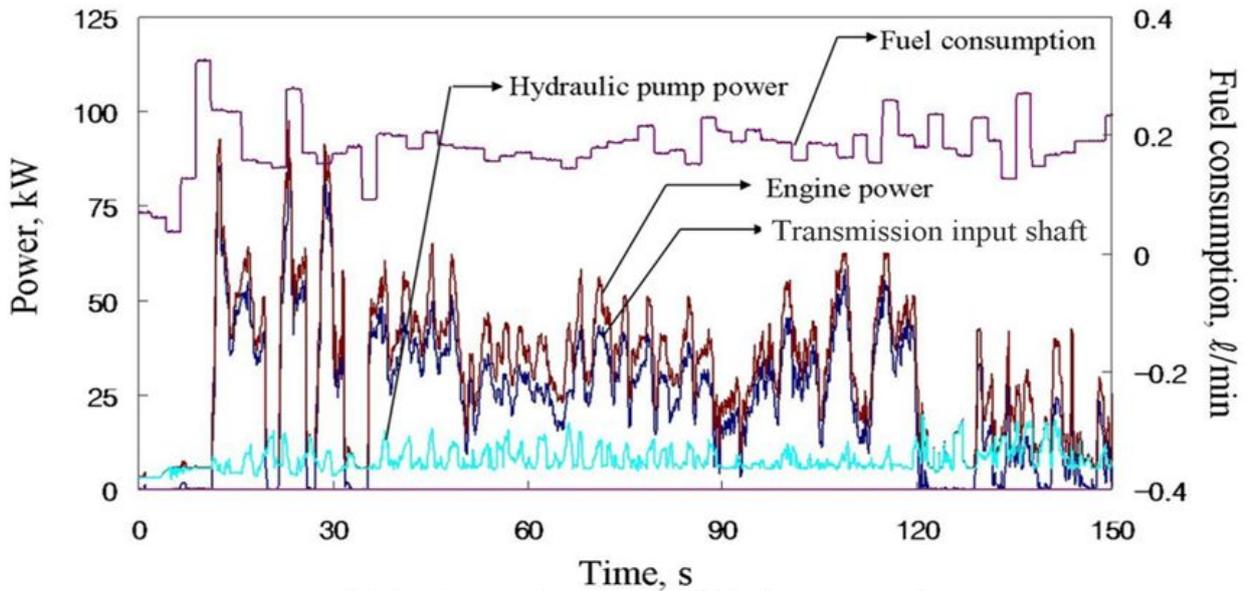
## (2) 소요동력 측정 결과

포장 작업에 따른 소요동력은 토양 조건에 따라 그 크기는 다르게 나타났으나 동일한 작업에 대해서는 유사한 경향을 보여 주었다. 그러므로 측정된 동력 데이터는 Site I에 대해서만 나타내었으며, 이때 엔진의 소요동력은 변속기 입력축, PTO 입력축, 주 및 보조 유압펌프 소요동력의 합으로 나타내었다.

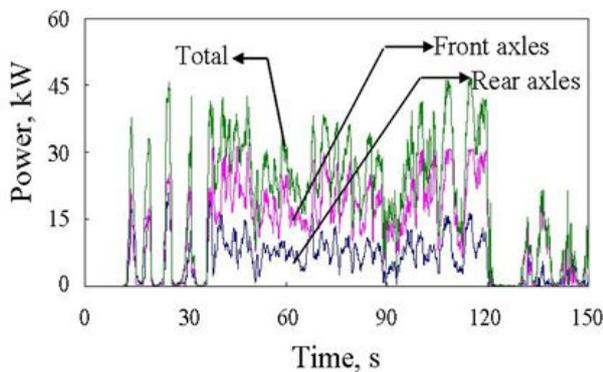
### (가) 플라우 경운 작업

Site I에서 플라우 경운 작업 시 소요동력은 그림 1-38과 같이 측정되었으며 엔진의 최대 소요동력은 그림 1-111(a)와 같이 98.6 kW까지 증가하였다. 연료소모량은 엔진 소요동력과 유사한 경향을 보여 주었으며 평균적으로 약 0.35 ℓ/min가 소모되었다. 변속기 입력축의 소요동

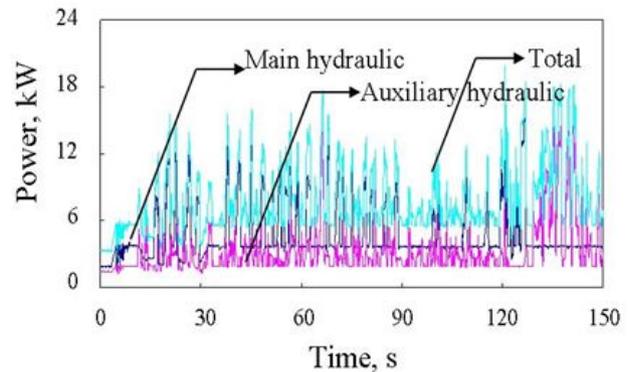
력이 전체 중 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 남궁(2001)의 결과와 마찬가지로 플라우 경운 작업 시 수평 견인력이 크게 요구되어 그림 1-111(b)와 같이 앞 차축 보다 뒤 차축에서 더 많은 동력이 사용되고 있음을 알 수 있다. 주 유압펌프의 소요동력은 플라우 경운 작업을 위해 3점 히치를 제어함에 따라 그림 1-111(c)와 같이 약 3 ~ 18 kW의 범위로 측정되었으며, 보조 유압펌프의 소요동력은 직진 주행에 따른 지속적인 조향에 의해 3 ~ 15 kW의 범위로 나타났다. 또한 마지막 구간에서 트랙터의 선회로 인해 보조 유압펌프의 소요동력이 크게 증가함을 알 수 있다. 플라우 경운 작업의 주행속도는 토양슬립 등에 의하여 그림 1-111(d)와 같이 변속기에서 설정한 1.9 km/h보다 낮은 평균 1.2 km/h로 나타났다. 온도는 그림 1-111(e)와 같이 연료 온도와 변속기 오일 온도가 각각 87, 65 °C로 측정되어 이상 현상은 나타나지 않았으며, 이때 외기 온도는 26°C로 측정되었다.



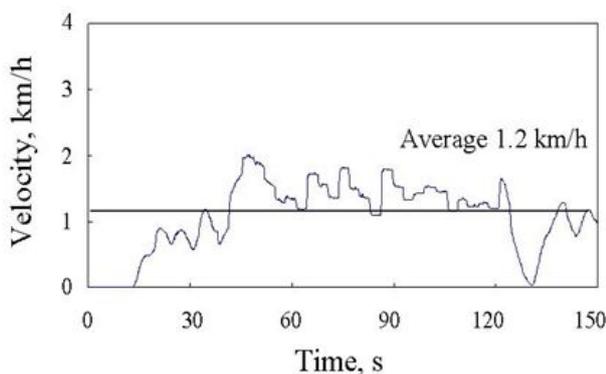
(a) Major part power and fuel consumption



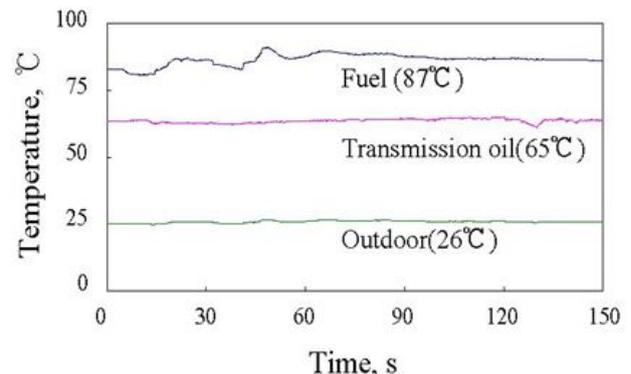
(b) Driving axle power



(c) Hydraulic pump power



(d) Tractor operation speed



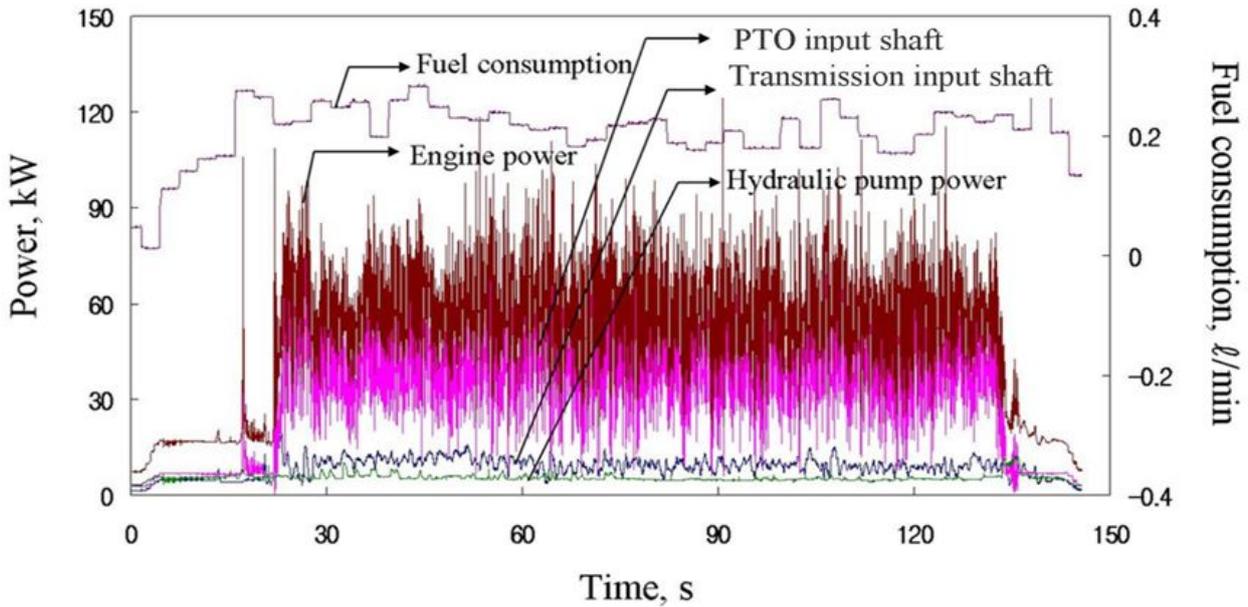
(e) Temperature

그림 1-111 플라우 경운 작업 시 소요동력 측정 결과.

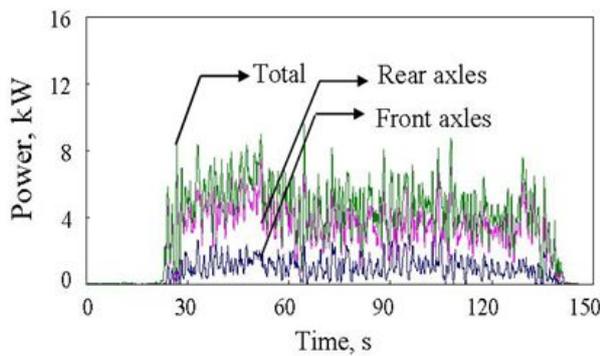
(나) 로타리 경운 작업

로타리 경운 작업 시 트랙터의 소요동력은 그림 1-112와 같이 측정되었다. 로타리 경운 작업에 따른 트랙터의 엔진 소요동력은 그림 1-112(a)와 같이 최대 119.0 kW로 플라우 경운 작업 시 보다 높게 나타났다. 엔진 소요동력의 경우 로타리 경운 작업에 따라 고주파 성분이 관찰되

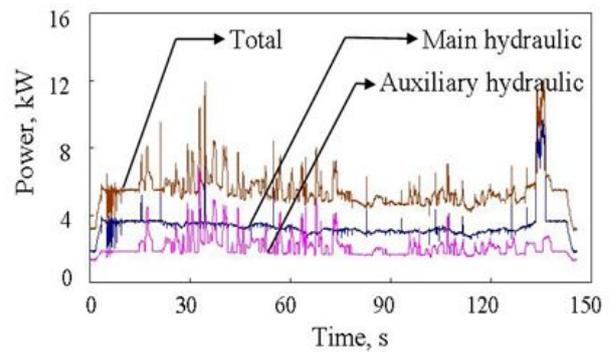
었는데 이는 PTO 입력축의 소요동력 측정을 위한 토크 센서가 엔진 플라이휠의 댐퍼 부분에 장착되어 있어 크랭크 축의 진동에 영향을 받기 때문으로 판단된다. 이때 평균 연료소모량은 약 0.34 l/min로 플라우 경운 작업과 유사하게 나타났다. 대부분의 동력은 PTO 입력축에서 사용되고 있으며, 평균 33.1 kW로 이때 트랙터 엔진 소요동력의 약 68%를 PTO 입력축에서 사용함을 알 수 있다. 차축의 소요동력은 그림 1-112(b)와 같이 플라우 경운 작업에 비해 낮게 관찰되었으며 앞 차축과 뒤 차축의 소요동력이 평균적으로 약 4 kW의 차이가 나타났다. 주유압펌프는 그림 1-112(c)와 같이 3점 히치의 경심 제어에 의해 약 4 kW의 동력이 평균적으로 사용되었으며 작업의 마지막 구간에는 3점 히치의 승강에 따라 높은 동력이 소요되었다. 보조 유압장치는 조향에 사용되었으며 대체적으로 플라우 경운 작업 시와 유사한 경향을 보여주었다. 주행속도는 그림 1-112(d)와 같이 토양슬립 등에 의해 평균 1.2 km/h로 설정된 속도 (1.9 km/h)보다 낮게 나타났다. 연료 온도, 변속기 오일 온도 및 외기 온도는 그림 1-112(e)와 같이 각각 평균 86, 70, 38°C로 오일 온도의 경우에 다소 높게 관찰되었지만 정상 범위 이내를 만족하였다.



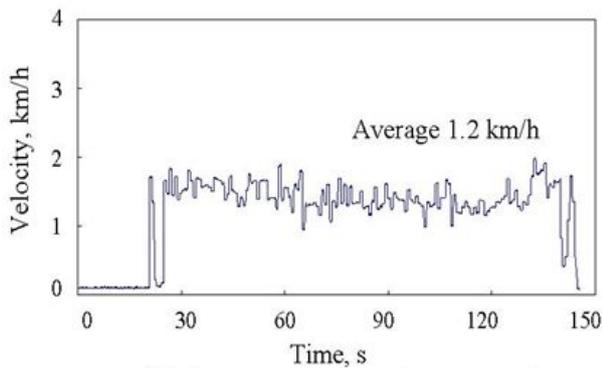
(a) Major part power and fuel consumption



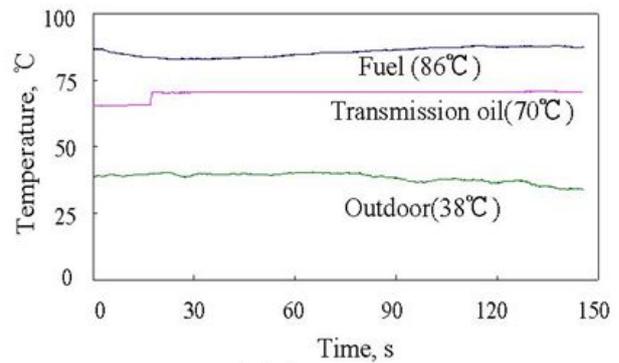
(b) Driving axle power



(c) Hydraulic pump power



(d) Tractor operation speed



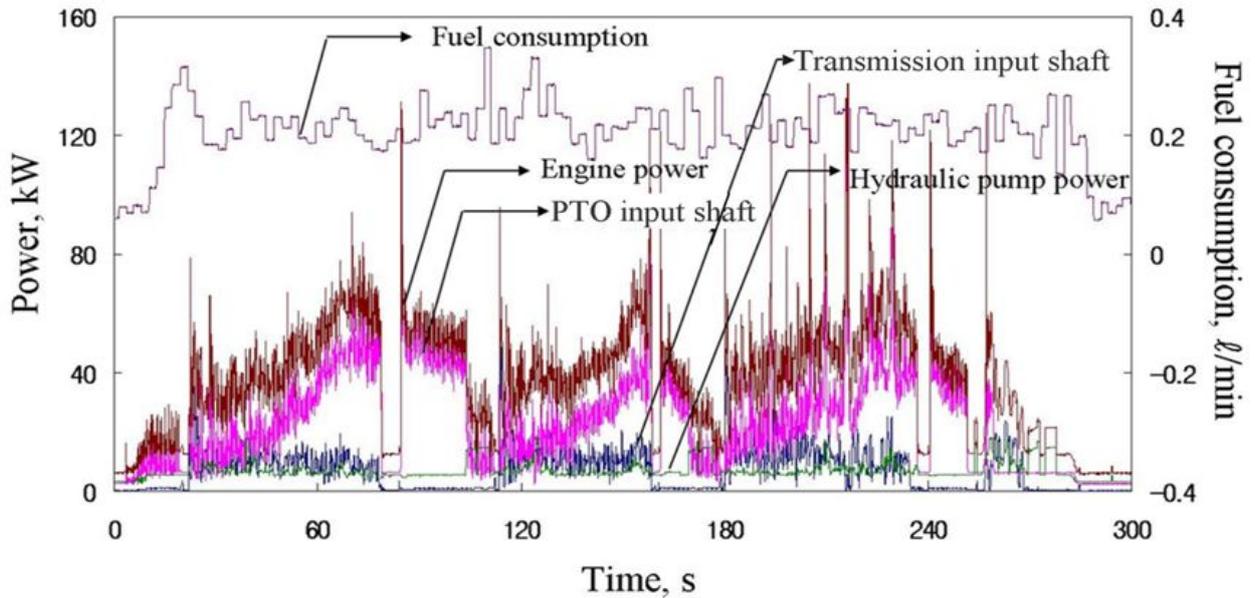
(e) Temperature

그림 1-112 로타리 경운 작업 시 소요동력 측정 결과.

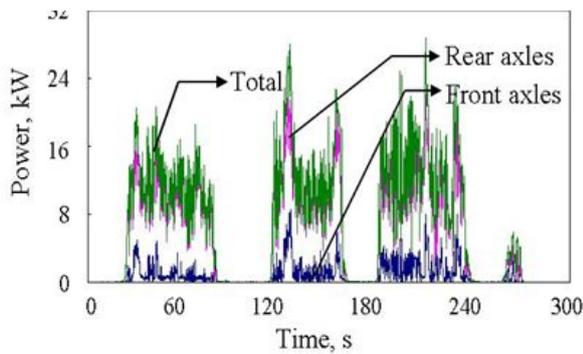
(다) 베일러 작업

베일러 작업의 소요동력 측정 결과는 그림 1-113과 같이 나타났다. 베일러 작업 시 트랙터 엔진의 최대 소요동력은 그림 1-113(a)와 같이 131.4 kW로 포장작업 중 가장 높게 나타났으

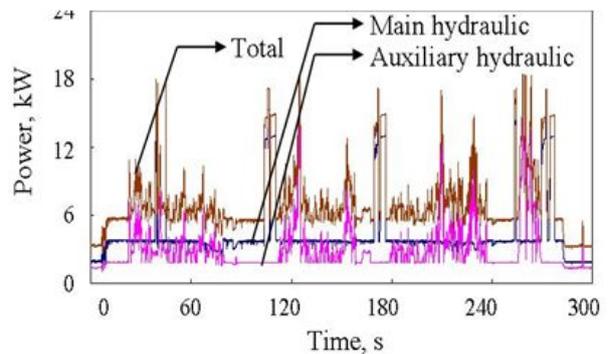
며, 평균 연료소모량은 약 0.50 l/min으로 상대적으로 연료 소모가 많음을 알 수 있다. 베일러 작업 시 소요동력은 전체 작업구간에서 주기적인 패턴이 관찰되었는데 이는 베일러 작업이 수확→배출의 작업 과정을 주기적으로 반복하기 때문임을 알 수 있다. 전체 소요동력은 수확 작업 중 지속적으로 상승하다가 챔버(chamber)에서 수확물이 배출되기 직전에 가장 높게 나타났다. 이는 챔버에 쌓인 수확물이 증가할수록 PTO축에 걸리는 부하가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 로타리 경운 작업과 같이 PTO를 사용하므로 PTO 입력축 및 엔진 소요동력에서 고주파 성분이 관찰되었고, 대부분의 동력이 PTO 입력축에서 사용되고 있으며 소요동력이 평균 27.4 kW로 전체 소요동력의 59.2%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 차축의 소요동력은 그림 1-113(b)와 같이 수확 시에는 견인력 발생으로 인해 동력이 소모되지만 배출 작업 시에는 트랙터가 정지한 상태이므로 동력 소모가 관찰되지 않았다. 또한 다른 작업과 같이 뒤 차축이 앞 차축에 비해 동력 소모가 높게 관찰되었다. 주 유압펌프의 소요동력은 그림 1-113(c)와 같이 3점 히치 제어로 인해 로타리 경운 작업과 유사하게 관찰되었으며, 보조 유압펌프의 경우 로타리 경운 작업에 비해 사용빈도가 높게 나타났으며 평균적으로 동력 소모가 많음을 알 수 있다. 이는 수확물이 직선상에 위치하지 않으므로 수확물의 위치에 따라 지속적인 조향이 필요하기 때문으로 판단된다. 작업의 주행속도는 그림 1-113(d)와 같이 수확물의 배출을 위한 정지와 토양슬립 등에 의해 변속기에서 설정한 5.1 km/h보다 낮은 평균 1.2 km/h로 나타났다. 연료 온도, 변속기 오일 온도는 그림 1-113(e)와 같이 각각 평균 87, 53℃로 정상 범위를 만족하였다. 이때 외기 온도는 31℃로 나타났다.



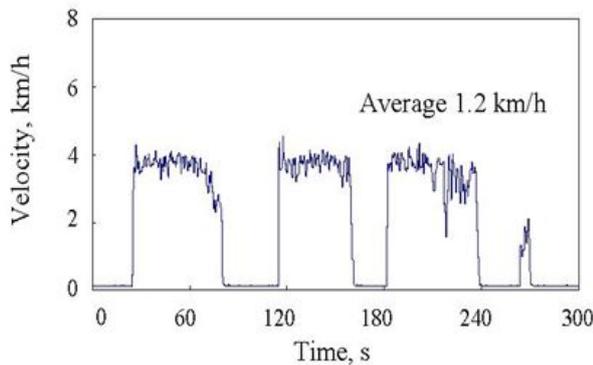
(a) Major part power and fuel consumption



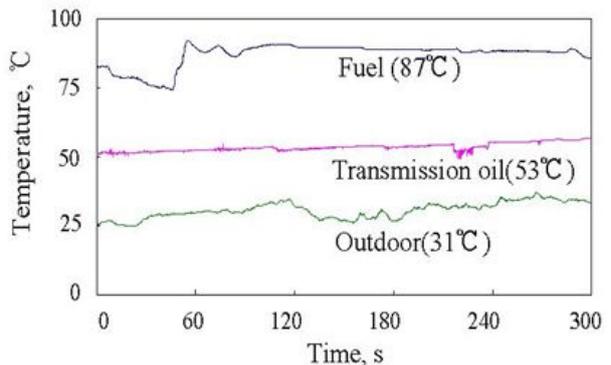
(b) Driving axle power



(c) Hydraulic pump power



(d) Tractor operation speed



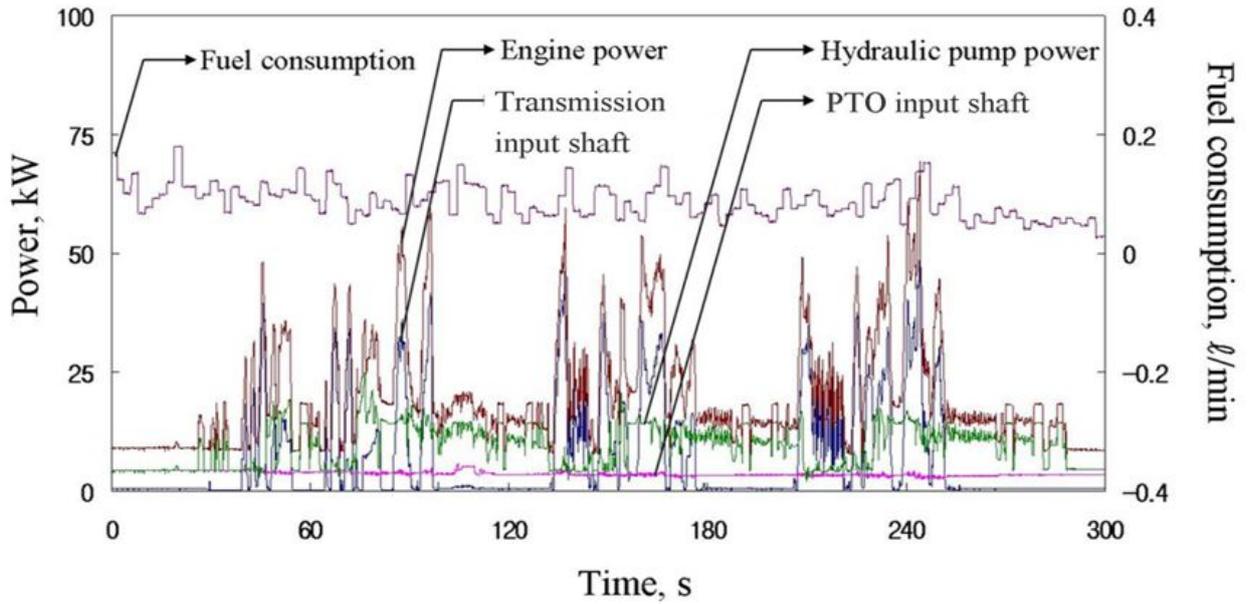
(e) Temperature

그림 1-113 베일러 작업 시 소요동력 측정 결과.

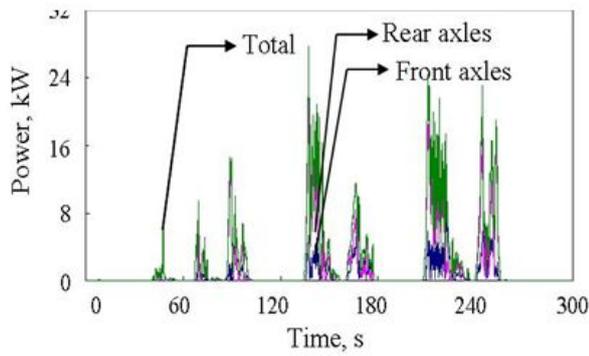
(라) 랩핑 작업

랩핑 작업의 소요동력 측정 결과는 그림 1-114와 같이 다른 포장작업에 비해 전체적으로 소요동력이 낮게 관찰되었으며, 최대 엔진 소요동력은 그림 1-114(a)와 같이 59.6 kW로 전체 작

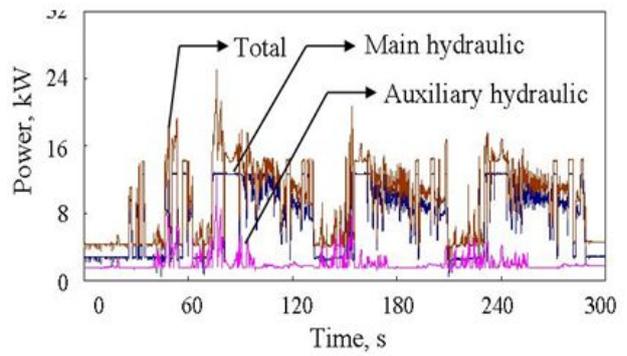
업 중 가장 낮게 나타났다. 래핑 작업 소요동력은 수확물의 승강→래핑→수확물의 하강→이동의 반복적인 작업을 수행하기 때문에 베일러 작업과 같이 동력 소모가 주기적인 패턴을 가짐을 알 수 있다. 래핑 작업에 사용되는 작업기는 주 유압펌프를 이용하여 작동되므로 유압펌프의 동력 소모가 가장 크게 나타났으며 7.7 kW로 전체 소요동력의 약 37%임을 알 수 있다. 차축의 소요동력은 그림 1-114(b)와 같이 수확물이 있는 위치로 이동하는 구간에서만 발생되었으며 수확물을 승강할 시에는 트랙터가 정지한 상태이므로 동력이 소모되지 않았다. 이때 다른 작업과 같이 앞 차축보다 뒤 차축의 소요동력이 더 높게 관찰되었다. 그림 1-114(c)와 같이 주 유압펌프 동력은 래핑 작업에 따라 8 ~ 14 kW의 범위로 측정되었으며 다음 수확물의 래핑 전까지는 작업기를 사용하지 않으므로 3 kW로 낮게 유지되었다. 이때 보조 유압펌프는 선회시 약 12.4 kW로 높게 나타났으며 나머지 구간에서는 약 2 kW로 낮게 유지되었다. 작업의 주행속도는 수확물의 승강에 따른 정지와 토양슬립 등으로 그림 1-114(d)와 같이 변속기에서 설정한 18.5 km/h보다 낮은 평균 3.2 km/h로 나타났다. 온도 측정 결과는 그림 1-114(e)와 같이 연료, 변속기 오일 및 외기 온도가 각각 평균 85, 58, 26℃로 관찰되었다.



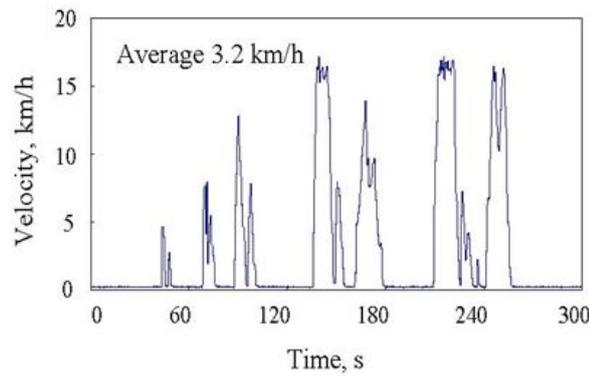
(a) Major part power and fuel consumption



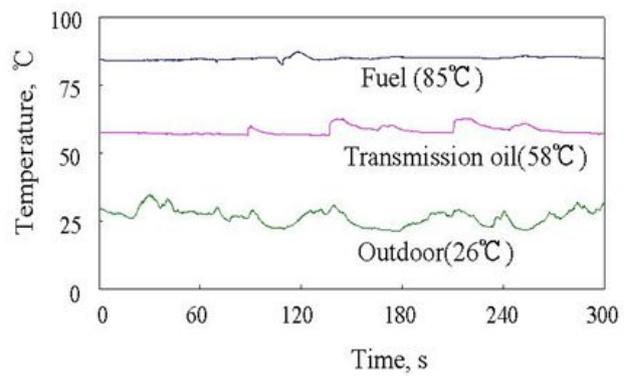
(b) Driving axle power



(c) Hydraulic pump power



(d) Tractor operation speed



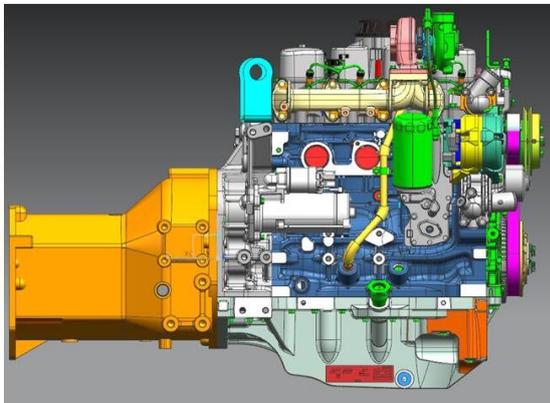
(e) Temperature

그림 1-114 랩핑 작업 시 소요동력 측정 결과.

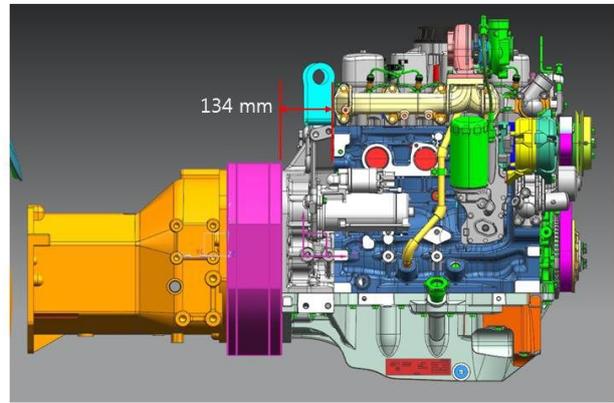
## 5. 하이브리드 핵심부품의 효율적 장착기술 개발

### 가. 핵심부품 장착을 위한 환경조건 분석

하이브리드 트랙터의 핵심부품 장착을 위해서는 기존 트랙터 파워트레인의 설계사양 검토 및 변경이 필요하며 개발품의 양산성을 고려했을 때 변경범위를 최소한으로 하는 것이 중요하다. 우선적으로 검토되어야 하는 설계변경 부분은 하이브리드 트랙터 구동 및 배터리 발전을 위한 모터/발전기를 장착함으로써 발생하는 파워트레인 축 방향 길이 증가 및 관련 요소부품의 길이 및 형상의 변화이다. 기존 트랙터 파워트레인의 유한요소해석 결과 모터/발전기 장착으로 인해 확장 가능한 길이는 그림 1-115와 같이 최대 134 mm로 분석되었으며 이를 기준으로 변경이 필수인 최소한의 요소 부품을 선정하였다.



(a) 모터 장착 전



(b) 모터 장착 후

그림 1-115 환경조건 분석에 따른 모터의 장착.

모터/발전기 장착에 따라 변경되어야 하는 요소부품은 그림 1-116과 같다. 변경 요소 부품은 표 1-24와 같이 머플러의 고정에 필요한 브라켓 2종, 로더 유압의 제어를 위한 벨브라인 1종, 메인 유압펌프 입력라인 1종, 트랙터 4륜 구동을 위한 4륜 구동축 및 커버 각 1종, FEHD 라인 1종, 페달프레임부에 장착되어 있는 유압호스 5종 및 와이어 1종, 에어컨디셔너의 유압호스 2종, 연료 공급부의 유압호스 2종, 오일 쿨러라인의 파이프 2종으로 전체 20종이 선정되었다. 각각의 변경부품은 대부분 호스 및 파이프 부품으로 형상 변경보다는 길이 방향의 증가만이 필요하기 때문에 비교적 변경작업이 용이하며 이에 따른 문제는 크게 없을 것으로 판단된다.

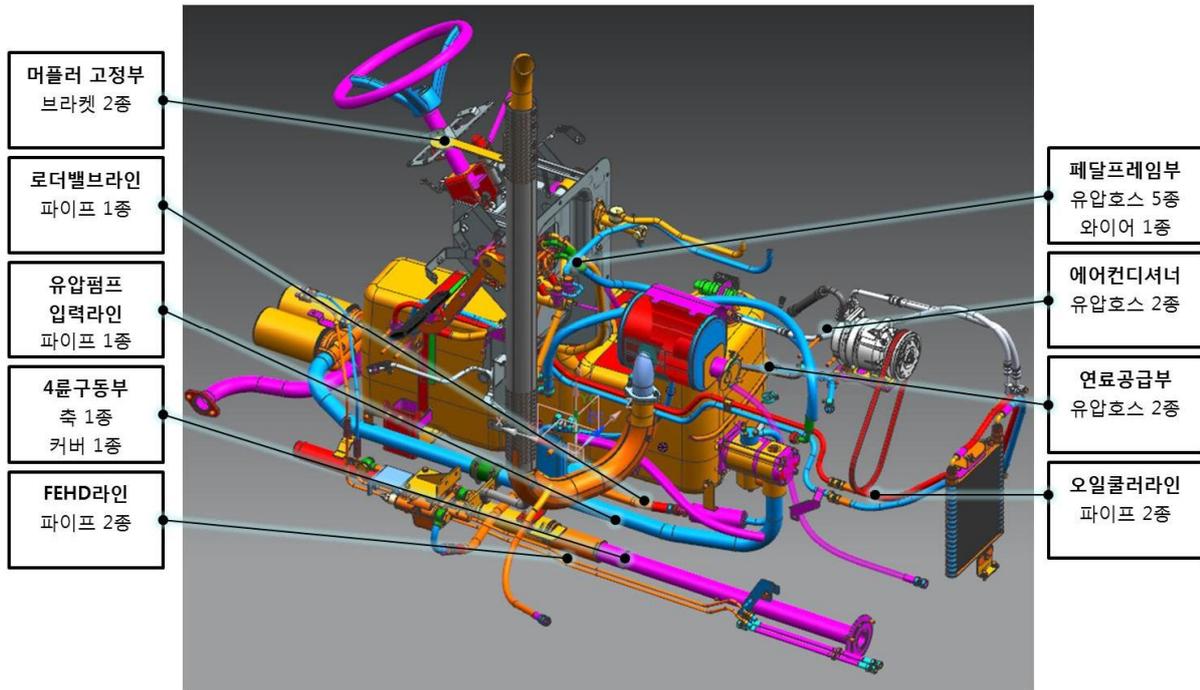


그림 1-116 모터 장착으로 인한 기존부품 변경부.

표 1-25 모터 장착으로 인한 기존부품 변경 리스트

Item Id	Item Name	부품수
138533	BRACKET-DAMPING RUBBER-TRG150	1
138971	SUPPORT-TAIL PIPE-TRG150	1
137555	SHAFT-4WD CONNECT-TRG288	1
137532	PIPE-F_SUCTION-9560-TRG823	1
137549	HOSE-F-PRESSURE-60L-TRG823	1
137506	COVER-4WD FRONT-TRG380	1
137500	PIPE-FEHD-OUT(F)-95-TRG822	1
138304	PIPE-FEHD-IN(F)-95-TRG822	1
137474	PIPE-COOLER-IN-9560-TRG640	1
137288	PIPE-COOLEROUT-9560-TRG640	1
138352	HOSE-BRAKE OIL-TRG670	1
138361	HOSE-CLUTCH SUCTION-TRG260	1
138338	WIRE-ACC PEDAL-TRG100	1
139070	HOSE-STR/CYLINDER-TRG630	1
139072	HOSE-STR-CYLINDER-95-TRG630	1
139069	HOSE-STR-PRESS-95-TRG630	1
138486	HOSE-HIGH TEMP-TRG865	1
138482	HOSE-HIGH TEMP-TRG865	1
139109	HOSE-FUEL-TRG040	1
139110	HOSE-RETURN-TRG040	1
	총합	20

모터/발전기 제어를 위한 인버터(MCU), 전원 공급을 위한 배터리, 배터리 관리를 위한 BMS는 그림 1-117과 같이 트랙터 정면 기준에서 좌측 방향에 일괄적으로 설치 공간을 선정하였다. 트랙터의 작업 환경을 고려했을 때 선정된 공간은 앞, 뒷바퀴의 중간으로써 핵심부품 설치 시 외부로 돌출되지 않기 때문에 작업 중 장애물에 의한 파손의 위험이 상대적으로 크지 않은 장점이 있다. 또한 설치 시 기존 트랙터의 탑승을 위해 캐빈(cabin) 앞쪽 아랫부분에 장착되어 있던 스텝(step)을 제거하고 별도의 케이스를 개발하여 볼트를 이용하여 체결할 예정으로 조립 및 분해가 용이하다. 장착 순서는 배터리의 경우 부피가 가장 크기 때문에 배터리 팩 장착을 위한 케이스를 제일 하부에 설치한 후 그 위에 인버터 및 BMS를 장착하는 것으로 결정하였으며 이에 따라 결선 및 정비 등 다양한 면에서 유리할 것으로 판단된다.



그림 1-117 하이브리드 트랙터 배터리 장착부.

인버터 및 배터리, BMS의 장착을 위한 케이스는 그림 1-118과 같이 선정되었으며 작업 진동 및 충격 등을 분석하여 볼트 체결부를 선정하였다. 또한 배터리 탈부착이 용이하도록 케이스의 한쪽면의 개폐가 가능하게 하였으며 통신 및 전원 공급을 위한 터미널 및 전선의 형상을 고려하여 최소한의 길이로 연결 가능하게 설계하였다.

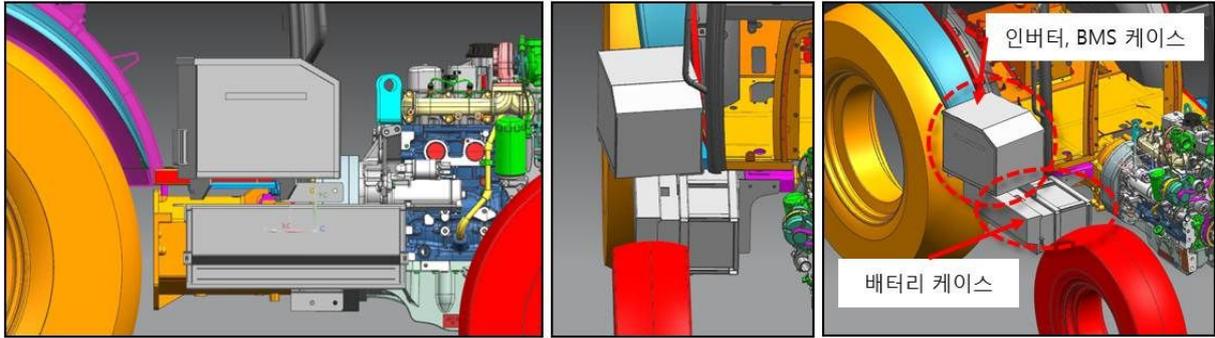


그림 1-118 BMS / 인버터 케이스 설계.

#### 나. 주행 안정성 및 작동 효율 분석

##### (1) 주행 속도

하이브리드 트랙터의 주행속도는 실제 필드에서 최고단수 및 최저단수에서 주행하면서 측정  
한 결과(차량 앞차축 부근에 장착된 레이더 센서 이용, 부하계측장치)와 실용화재단에서 검정  
받은 결과를 이용하여 평가하였다.

##### (가) 필드 시험

하이브리드 트랙터의 최고 단수인 부변속 H단, 주변속 4단의 전진에서 주행속도를 측정한  
결과 그림 1-119와 같이 나타났다. 이때 엔진 회전수는 정격회전수(2,510 rpm)이었으며 무부하  
상태로 평지를 최고속도로 주행하였다. 속도는 서서히 증가하여 최고 35.6 km/h까지 상승하여  
유지되고 있었다.

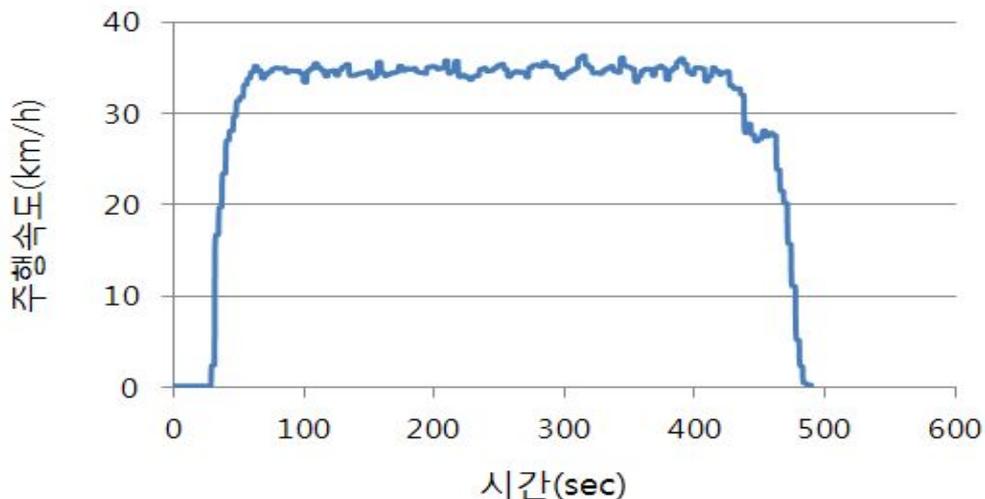


그림 1-119 주행속도 시험 결과(최고속도, 부변속H단, 주변속 4단)

하이브리드 트랙터의 최저 단수인 부변속 L단, 주변속 1단의 전진에서 주행속도를 측정한

결과 그림 1-120과 같이 나타났다. 이때 엔진 회전수는 정격회전수인 2,500 rpm이었으며 무부하 상태로 평지를 주행하였다. 속도는 목표 사양인 1.6 km/h 이하로 지속적으로 유지되는 것을 알 수 있다.

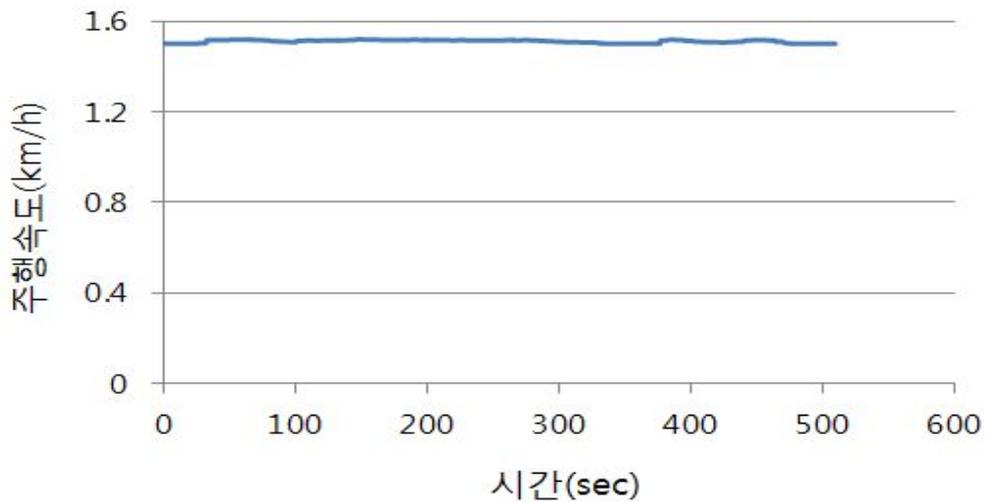


그림 1-120 주행속도 시험 결과(최고속도, 부변속L단, 주변속 1단)

(나) 표준 시험

농업기계 표준화 시험 기관인 농업실용화재단에서 트랙터 검정을 실시한 결과 주행속도는 그림 1-121과 같이 평가되었다. 엔진 정격회전수에서 최저 속도는 전진일 때, 1.46 km/h로 관찰되었으며, 최고 속도는 35.65 km/h로 나타나 필드 시험 결과와 유사함을 알 수 있다.

(13) 감속비 및 주행속도

변속위치		후륜 1회전 구동에 대한 기관회전수		기관정격회전속도(2300min <sup>-1</sup> )에서 이론주행속도(*) (km/h)	
부변속	주변속	전진	후진	전진	후진
L	1-Lo	413.84	400.71	1.46	1.50
	1-Hi	341.55	-	1.76	-
	2-Lo	293.49	284.18	2.05	2.12
	2-Hi	242.23	-	2.49	-
	3-Lo	205.34	198.83	2.93	3.03
	3-Hi	169.47	-	3.56	-
	4-Lo	143.22	138.68	4.21	4.35
	4-Hi	118.20	-	5.10	-
M	1-Lo	151.61	146.80	3.97	4.11
	1-Hi	125.13	-	4.82	-
	2-Lo	107.52	104.11	5.60	5.79
	2-Hi	88.74	-	6.79	-
	3-Lo	75.23	72.84	8.01	8.27
	3-Hi	62.09	-	9.71	-
	4-Lo	52.47	50.80	11.49	11.86
	4-Hi	43.30	-	13.92	-
H	1-Lo	59.19	57.31	10.18	10.52
	1-Hi	48.85	-	12.34	-
	2-Lo	41.97	40.64	14.36	14.83
	2-Hi	34.64	-	17.40	-
	3-Lo	29.37	28.44	20.52	21.19
	3-Hi	24.24	-	24.86	-
	4-Lo	20.48	19.83	29.42	30.38
	4-Hi	16.91	-	35.65	-

(\*) 다이아 동적반경지수는 ISO 4251-1:2005에 의거 695 mm로 계산

16-3

그림 1-121 주행속도 검정 결과(농업실용화재단).

(2) 견인력

(가) 필드 시험

하이브리드 트랙터의 견인력 측정을 위해 쟁기 작업 시 4개의 차축 부하를 측정하였다. 각각의 차축은 그림 1-122와 같이 토양 환경에 따라 부하 변동이 생기다가 35초 부근에서 최대 부하가 발생했으며 이때 뒤차축은 좌측 약 10,000 Nm, 우측 약 14,000 Nm으로 나타났으며 앞차

축의 경우 양쪽 모두 약 3,000 Nm로 나타났다.

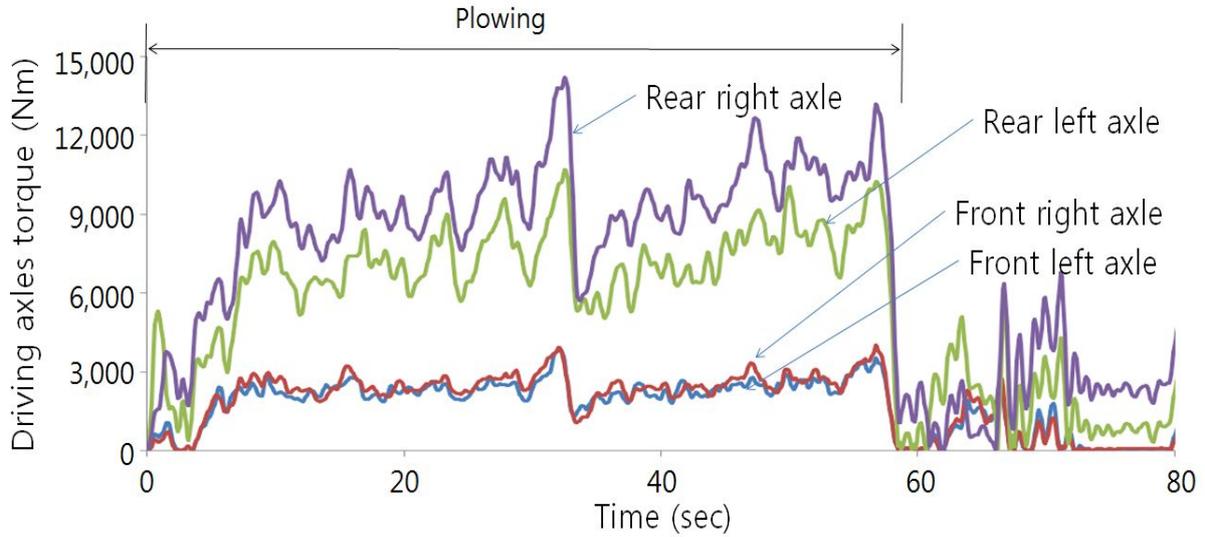


그림 1-122 쟁기 작업 차축 부하 측정 결과.

(나) 표준 시험

그림 1-123은 트랙터(농업기계) 시험 기관인 농업실용화재단에서 실시한 견인성능 검정 자료이다. 검정은 아스팔트 시험로면에서 실시하였으며 이때 타이어의 공기압은 전륜 235 kPa, 후륜 157 kPa로 측정되었다. 견인 시험 시 높이는 407 mm이며 시험 결과 PTO 최대 출력에 대한 최대 견인 출력의 비율은 81.7%로 나타났다. 견인력은 부변속 M단, 주변속 3단에서 24.92 kN로 가장 높게 나타났으며 부변속 M단, 주변속 2단에서 약 24.35 kN로 두 번째로 높게 나타났다. 이를 통해 목표 견인력인 19 kN을 만족하고 있음을 알 수 있다.

#### 4-2-2 견인성능시험

##### 4-2-2-1 시험조건

시험로면 : 아스팔트

타이어공기압 : (전륜) 235 kPa (후륜) 157 kPa

견인높이 : 407 mm

##### 4-2-2-2 시험성적

PTO최대출력에 대한 최대견인출력 비율 : 81.7 %

##### 견인시험결과

변속단수 [부변속 -주변속 (단)]	출력 (kW)	견인력 (kN)	주행 속도 (km/h)	기관 회전 속도 (min <sup>-1</sup> )	차륜의 슬립률 (%)	연료 소비율 (g/kWh)	비에 너지 (kWh/L)	온도			대기조건		
								연료 (℃)	냉각수 (℃)	기관 오일 (℃)	외기 온도 (℃)	상대 습도 (%)	대기압 (kPa)
L-3-Lo	17.05	21.87	2.81	2432	15.0	558	1.501	50	87	101	31	64	101.5
L-3-Hi	20.31	21.32	3.43	2419	15.0	548	1.525	49	88	102	31	63	101.5
M-1-Lo	23.02	21.82	3.80	2408	15.1	516	1.620	49	87	104	30	67	101.4
L-4-Lo	24.32	21.88	4.00	2402	15.0	524	1.595	48	88	103	31	65	101.4
L-4-Hi	27.52	21.71	4.57	2394	15.0	501	1.669	48	87	104	31	64	101.5
M-1-Hi	27.83	21.92	4.57	2399	15.0	486	1.719	50	87	103	31	65	101.4
M-2-Lo	34.41	24.35	5.09	2364	15.1	466	1.794	49	87	101	31	66	101.5
M-2-Hi	38.13	21.68	6.33	2351	15.1	446	1.874	46	87	104	31	65	101.5
M-3-Lo	45.87	24.92	6.63	2202	15.1	396	2.111	47	88	104	31	65	101.4
M-3-Hi	48.84	19.97	8.80	2240	13.2	374	2.235	48	88	105	32	61	101.4
H-1-Lo	48.94	19.27	9.14	2202	12.8	371	2.256	48	88	106	33	59	101.4
M-4-Lo	49.95	17.08	10.53	2201	7.3	363	2.304	48	89	104	33	60	101.4
H-1-Hi	50.25	15.91	11.37	2200	10.6	360	2.324	47	90	106	32	61	101.3
M-4-Hi	51.34	14.24	12.98	2200	8.9	353	2.371	47	90	106	33	58	101.3
H-2-Lo	52.53	14.04	13.47	2204	8.6	345	2.421	47	89	107	33	60	101.4
H-2-Hi	50.12	10.82	16.67	2207	6.9	362	2.311	47	90	107	32	62	101.4

16-7

그림 1-123 견인력 성능 검정 결과(실용화재단).

(3) PTO 출력

(가) PTO 출력 시험

하이브리드 트랙터 출력 성능 평가를 위해 PTO 출력 시험을 실시하였다. PTO 출력 시험은 그림 1-124와 같이 PTO 다이내모미터에 PTO축을 연결한 후 1시간 동안 출력을 안정시킨 후 측정하였다. PTO 단수는 2단(809 rpm)에서 고정하였으며 기본 구동 후 모터를 추가로 구동하여 두 구간을 비교하였다.



그림 1-124 PTO 출력 시험(LS엠트론).

시험 결과는 그림 1-125와 같이 나타났다. 기본 구간에서는 PTO출력이 약 71.5 ps (52.5 kW)를 유지하고 있으며 모터가 구동되기 시작하면 출력이 순간 상승하여 82 ps (60.26 kW)로 상승하였다. 하이브리드 트랙터의 출력은 하이브리드 ON 시 약 10 ps (7.3 kW) 상승되었음을 알 수 있다.

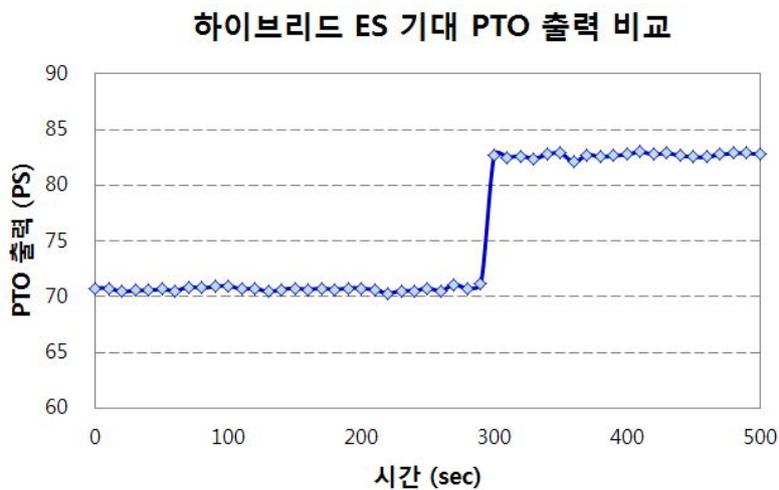


그림 1-125 PTO 출력 시험 결과(LS엠트론).

(나) 기술지도검정

농업실용화재단에 의뢰하여 그림 1-126과 같이 기술지도검정을 실시하였다. 현재 하이브리드 트랙터에 대한 시험 및 평가 기준은 전무한 상태이며 기존 방식으로 시험을 실시할 경우 하이브리드 특성을 평가하기 어렵다. 따라서 조건은 기존과 비슷하게 유지하되 구간별로 출력 특성을 분석하는 방법으로 우선 평가하였으며 지속적으로 실용화재단과 협의하여 하이브리드 표준화 방법을 모색하고 있는 중이다.



그림 1-126 기술지도검정.

PTO 출력 시험은 신뢰성있는 데이터를 획득하기 위해서 1시간동안 트랙터를 예열한 후 본격적인 시험을 실시하였다. 기본 구동(모터를 구동하지 않는 노말 모드)로 구동한 후 PTO 출력을 측정 후 모터 출력을 최대로 유지하고 PTO 출력을 측정하였다. 또한 그 이후 모터를 충전모드로 변환하여 다시 PTO 출력을 측정 후 시험을 종료하였다. 이때 모터 구동의 기준 시간은 배터리 용량 지표인 SOC (state of charge)가 구동의 경우 80에서 20까지, 충전의 경우 20에서 80까지 이동하는 동안이다.

시험 결과는 그림 1-127, 1-128과 같이 나타났으며 출력을 기준으로 노말 모드에서 약 55.2 kW, 모터 구동 모드에서 약 63.7 kW, 충전 모드에서 약 47.5 kW로 관찰되었다. 기존 목표였던 PTO 출력(68 ps)는 달성하였지만 현재 실시한 시험은 시험 중 데이터 획득 구간이나 준비, 측정 과정이 기존 제품에 적용되는 것으로 위에서 언급한 바와 같이 하이브리드 트랙터 성능을 평가하기에 다소 수정되어야 할 부분이 있다. 현재 진행 중인 하이브리드 트랙터 표준화가 완료되면 정확한 평가가 가능할 것으로 기대된다.

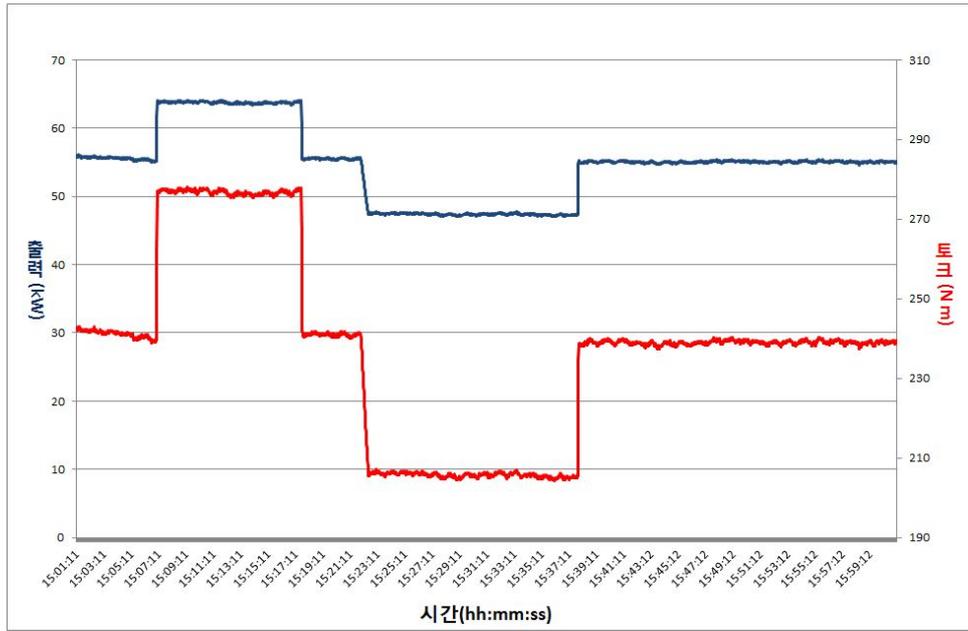


그림 1-127 기술지도검정 PTO 출력 결과.

## PTO 시험결과 요약

출력 (kW)	회전속도		연료			비에너지 (kWh/L)
	기관 (r/min)	PTO (r/min)	시간당소비량		소비율 (g/kWh)	
			(kg/h)	(L/h)		
1.1 최대출력지점에서 하이브리드모드 시험 - 1시간(1회방전, 1회충전)						
55.21 엔진모드(33.5분)	2200	607	15.57	18.71	282	2.952
63.74 혼합모드(10.6분)	2200	607	15.57	18.71	244	3.407
47.53 충전모드(15.9분)	2200	607	15.56	18.70	327	3.457
1.2 기관 정격회전속도에서의 출력						
54.77	2300	635	15.96	19.19	291	2.854
표준PTO회전속도( 540 ± 10 rpm)						
53.50	1958	540	14.40	17.31	269	3.091
1.4 부분부하시험						
1.4.1 기관정격회전속도에서 최대출력에 해당하는 토크						
54.77	2300	635	15.96	19.19	291	2.854
1.4.2 1.4.1 에서 얻은 토크의 85%						
48.56	2399	662	15.32	18.41	315	2.638
1.4.3 1.4.2 에서 얻은 토크의 75%						
36.40	2399	662	13.20	15.86	363	2.295
1.4.4 1.4.2 에서 얻은 토크의 50%						
24.46	2418	667	10.69	12.84	437	1.905
1.4.5 1.4.2에서 얻은 토크의 25%						
12.32	2435	672	8.18	9.83	664	1.253
1.4.6 무부하						
-	2458	678	5.97	7.18	-	-

그림 1-128 기술지도검정 PTO 출력 결과.

#### (4) 연료절감율

실제 작업에서의 연료절감율을 평가하기 위해서 수도작인 쟁기 작업과 축산작업인 베일러 작업에 대해 시험을 실시하였다. 지역은 전라남도 함평을 대상으로 작업자 설문조사 실시 후 작업 조건을 결정하였으며 기존 트랙터와의 비교는 하이브리드 모드 ON(기존), 하이브리드 모드 OFF(하이브리드 기능)의 2가지 조건을 비교하였다. 쟁기 작업을 대상으로 하이브리드 트랙터 시작품의 성능을 평가한 결과 하이브리드 모드를 사용함으로써 기존대비 더 높은 속도에서 작업이 가능(그림 1-129)하였으며(기존 트랙터로는 본 시험지역의 M3 작업이 불가능하였음), 평균 회전수가 낮아짐에 따라 고효율점에서 엔진동작이 가능하였다(그림 1-130).

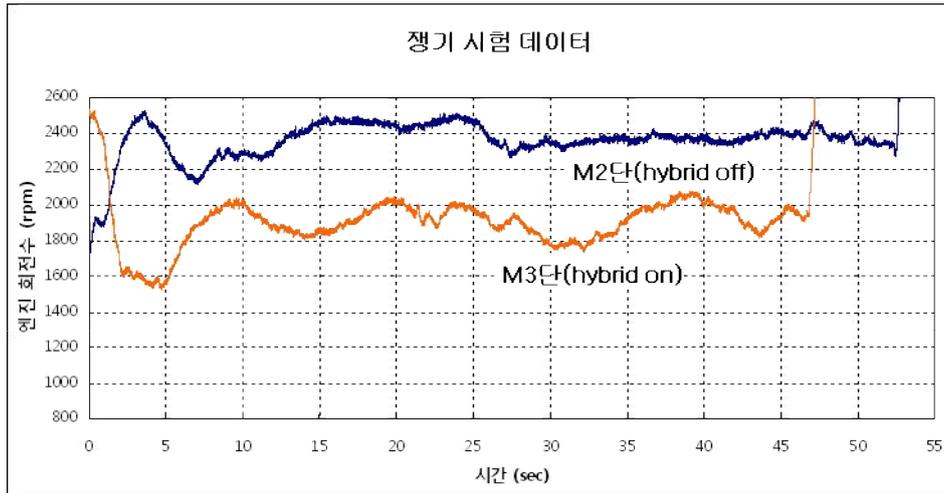


그림 1-129 하이브리드 트랙터 시작품 성능평가 결과(쟁기 작업)

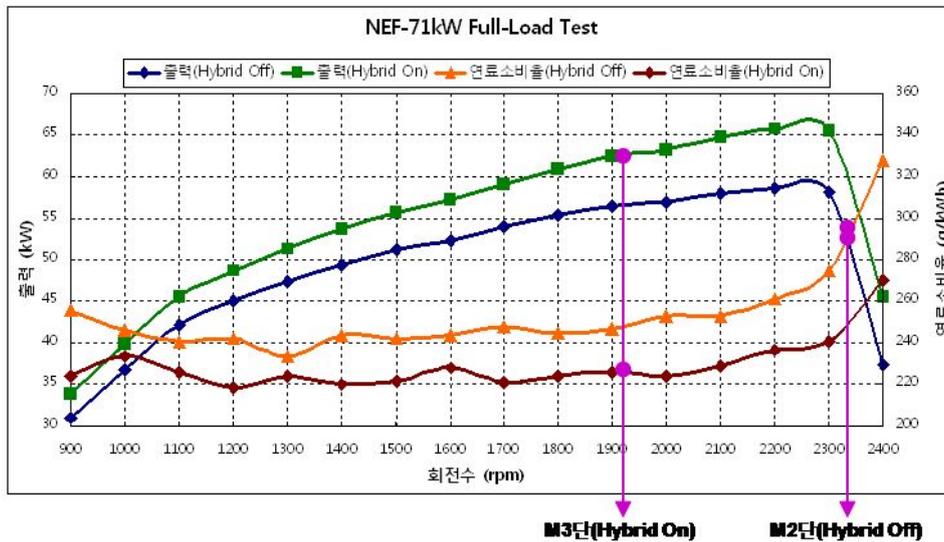


그림 1-130 하이브리드 트랙터 시작품 전부하 성능(쟁기 작업)

하이브리드 트랙터 시작품의 쟁기 작업은 기존대비 연료소비량 21% 절감, 작업 시간 10% 단축, 작업 중 평균출력이 7% 상승, 평균 토크 33% 증가의 성능을 나타내었다.

표 1-26 쟁기시험 결과

하이브리드 모드	작업 단수	연료 소비량 (ℓ)	작업 시간 (sec)	출력 (kW)	평균 토크 (Nm)	평균 회전수 (rpm)
X	M2	0.427	52.8	56.0	226.7	2360.6
O	M3	0.339	47.3	60.1	300.6	1909.8
효과		21% ↓	10% ↓	7% ↑	33% ↑	19% ↓

하이브리드 트랙터로 베일러 작업을 한 경우에도 그림 1-131과 같이 고부하 구간에서 모터가 구동되어 평균 회전수가 높아진 것을 알 수 있다. 쟁기 작업에 비해 그 폭은 다소 작았지만 기존 목표인 7% 보다 큰 효과를 나타냄을 알 수 있다.



그림 1-131 하이브리드 트랙터 시작품 성능평가 결과(베일러 작업)

하이브리드 트랙터 시작품의 베일러 작업은 기존대비 연료소비량 10% 절감, 작업 시간 7% 단축, 작업 중 평균출력이 13% 상승, 평균 토크 8% 증가의 성능을 나타내었다.

표 3-7-27 베일러 시험 결과

하이브리드 모드	작업 단수	연료 소비량 (l)	작업 시간 (sec)	출력 (kW)	평균 토크 (Nm)	평균 회전수 (rpm)
X	L3	0.310	103.0	45.6	191.4	2277.0
O	L3	0.280	96.3	51.6	206.1	2390.2
효과		10% ↓	7% ↓	13% ↑	8% ↑	5% ↑

(5) 전동기 효율

모터-발전기 전동기 효율을 평가한 그림 1-132와 같이 결과 엔진 정격회전속도 구간에서 약 88%의 높은 효율을 보이고 있다.

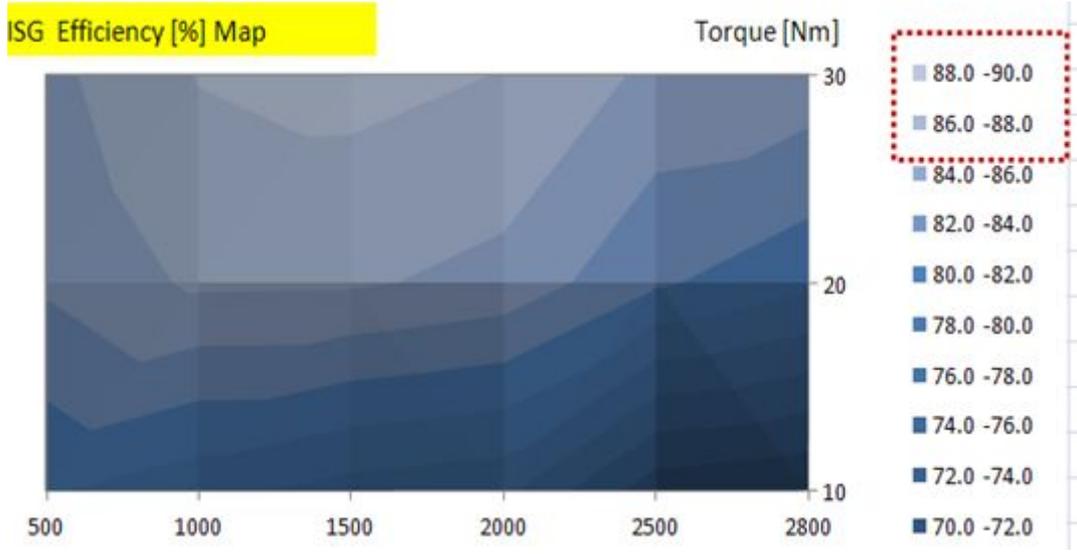


그림 1-132 모터-발전기 효율

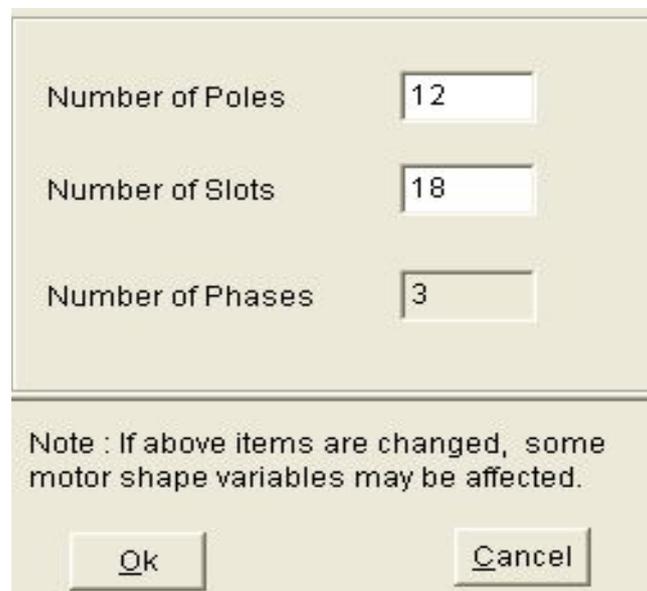
## 제 2 절 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발

### 1. 구동모터 개발 및 성능평가

#### 가. 모터-발전기 설계

##### (1) 극 및 슬롯 설계

모터/발전기의 극 및 슬롯 수의 결정은 제조비용, 코깅(cogging) 토크의 최소화, 체적 당 출력 등을 고려하여 선정 되어야 한다. 코깅 토크는 고정자의 비균일 토크로서, 모터 시스템의 자기에너지가 최소인 위치(평형 상태)로 이동하려는 반경 방향의 힘으로, 부하전류와는 상관없이 고정자의 자극과 회전자 슬롯의 상호작용에 의해 발생된다. 코깅토크는 부하전류와는 무관한 힘으로 자속밀도의 제곱에 비례하므로 모터의 출력 토크를 높이면 상대적으로 증가의 폭이 더 커지므로 이에 따라 저속, 저부하 조건에는 제어의 어려움을 야기한다. 따라서 코깅 토크를 최소화하는 매우 중요한 설계 요소이다. 극수의 경우에는 영구자석의 재질 및 등급, 회전자 형태, 회전자(스위칭 손실 및 철손), 회전자 관성(rotor inertia), 누설계수(leakage coefficient) 등을 고려하여 선정하여야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 그림 2-1과 같이 12극 18슬롯으로 모터/발전기를 설계하였으며, 모터/발전기의 치수설계 및 형상설계로부터 얻어진 설계 파라미터를 기반으로 유한요소법을 적용하여 토크 리플 및 코깅 토크를 최소화하였다.



Number of Poles	12
Number of Slots	18
Number of Phases	3

Note : If above items are changed, some motor shape variables may be affected.

Ok Cancel

그림 2-1 극 및 슬롯 수 선정 결과.

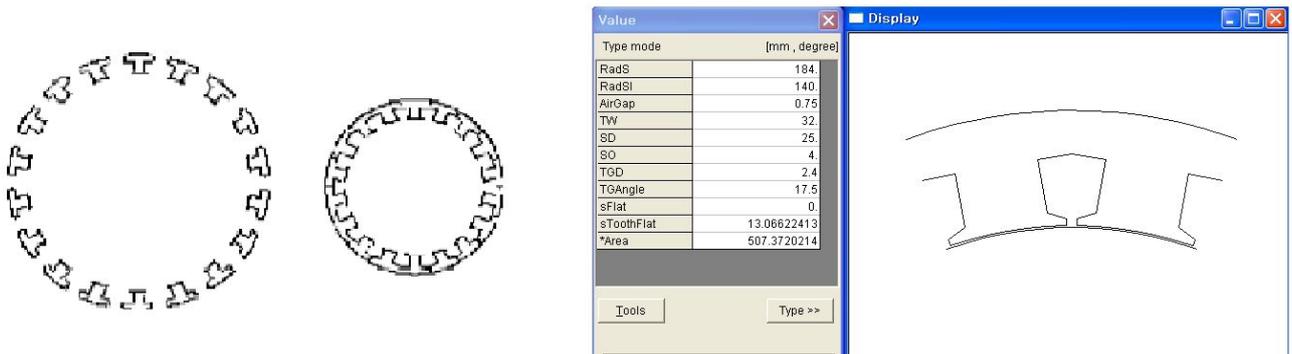
##### (2) 고정자 및 회전자 설계

본 연구의 고정자와 회전자의 구조는 장착성을 고려하여 내전형 구조로 설계하였다. 그림 2-63는 고정자 형상을 나타낸 것으로 고정자 외경 및 내경, 슬롯 깊이, 개구폭, 고정자 치폭 등을 입력 파라미터로 설정 하여 주어진 모터 특성을 만족하도록 고정자 치수 및 형상을 설계하

였다. 그림 2-64는 회전자 형상을 나타낸 것으로 회전자 내경 및 외경, 영구자석 외경, 공극길이, 자석두께 등을 입력 파라미터로 설정하여 유기기전력이 정현파가 되도록 설계하였으며, 또한 유한요소법을 적용하여 토크 리플 및 코깅 토크가 최소화 되도록 코어 및 슬롯형상을 설계하였다.

(가) 고정자 설계

일반적으로 중·대형 모터의 고정자는 원형 프레스 블랭킹(blanking)한 전자강판을 원통상에 적층하여 일체형 고정자 철심으로 고정하고, 권선 작업은 소정의 회전수로 감겨진 코일을 철심 슬롯에 삽입하는 작업을 거친다. 그러나 기존의 일체형 고정자 코어 제조방법의 경우 금형 제작 비용이 크고, 권선과 권선 사이에 노즐이 통과하는 통로가 확보되어야 하므로 권선의 배치가 복잡해져 고밀도 권선의 적용이 어려운 단점이 있다. 따라서 고정자 설계는 그림 2-2와 같이 일체형 코어보다 점적률, 모터의 소형화 및 고출력화에 유리하고 토크 리플을 감소시키는 효과가 있는 분할형 코어를 이용하였다.

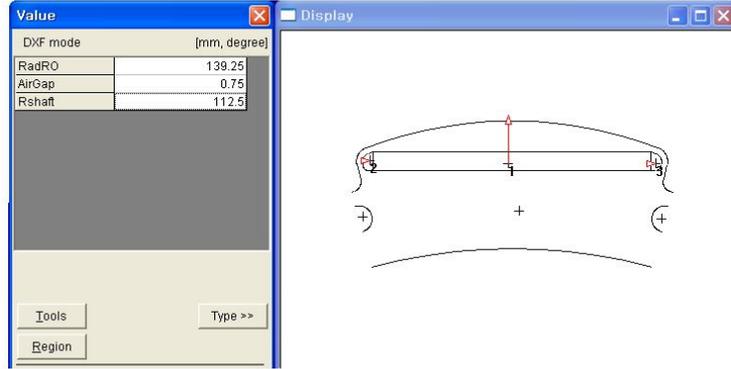
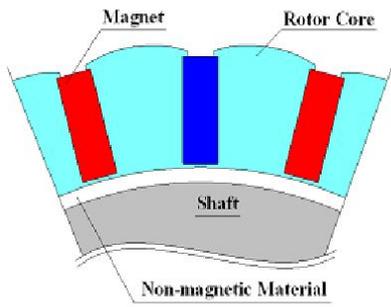


(a) 분할형 코어의 전체적 형상      (b) 세부적인 분할형 코어의 형상 및 설계값

그림 2-2 분할형 코어 방식을 이용한 고정자 설계 형상.

(나) 회전자 설계

회전자 설계의 경우 그림 2-3과 같이 영구자석 동기 모터 중 약계자 제어 방식을 이용한 Spoke IPM구조를 이용하였다. 직류전동기의 경우 역기전력의 발생으로 인해 저항이 0이 되더라도 회전속도가 일정 수준을 넘어서면 견인력이 떨어지는 문제점이 발생하는데 약계자 제어 방식은 이를 방지하기 위해 가변저항과 전동기 사이에 코일을 넣는 방식이다. 따라서 고속운전이 가능하며 전자기적 토크와 킬러턴스 토크를 동시에 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다.



(a) IPM구조의 일반적 형상                      (b) 세부적인 IPM구조의 형상 및 설계값

그림 2-3 Spoke IPM 구조를 회전자 설계 형상.

(다) 권선 설계

분포권 방식에서는 고정자 권선이 몇 개의 슬롯에 걸쳐서 감겨져 있어 권선의 축 방향으로의 코일 엔드 길이가 길어지는 단점이 있다. 이러한 점에 대하여 본 용역과제의 권선방식은 그림 2-4와 같이 분할코어에 정렬권선 방식으로 감겨져 있어 슬롯 점적률이 높으며, 코일 엔드부의 길이가 짧아져 동손을 줄일 수 있는 집중권 방식을 채택하였으며, 회전자계를 형성하기 위하여 U상, V상, W상을 전기각으로 120도씩 배치하였다.

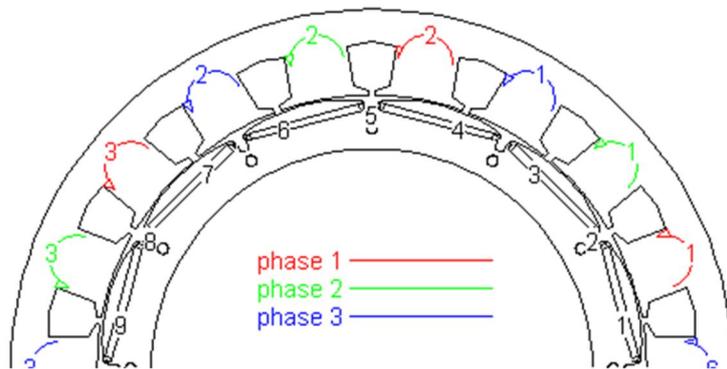


그림 2-4 집중 권선 방식 설계.

(라) 유한요소 해석(Finite Element Method, FEM)

하이브리드 트랙터 구동모터의 고정자 및 회전자의 해석은 유한요소 해석법을 이용하였으며 그림 2-5는 해석하고자 하는 모델에 대한 유한요소 해석 영역의 요소 분할도를 나타낸 것이다. 전자장 해석의 정밀도를 높이기 위하여 에너지가 전달되는 공극 부분에 요소를 조밀하게 분할하였으며 바깥부분의 누설자속 유, 무를 확인하기 위하여 요소분할을 하였다.

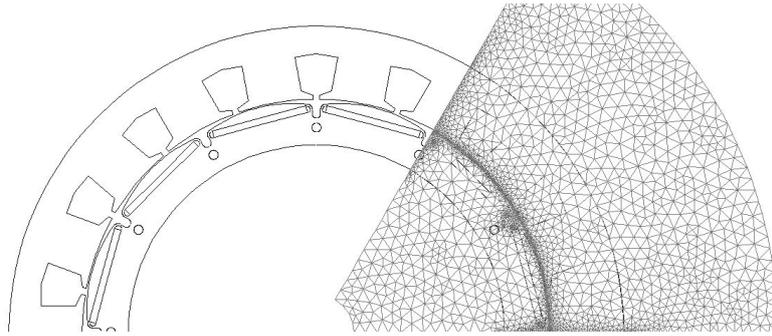


그림 2-5 FEM 해석 영역의 요소 분할도.

그림 2-6은 설계된 회전자, 고정자의 등자속선을 나타낸 것이다. 회토류 자석은 수평방향으로 착자 된 것으로 가정하였다. 자속선은 회전자 계철 밖으로 나오지 않으며 고정자 코어는 자기적인 포화가 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

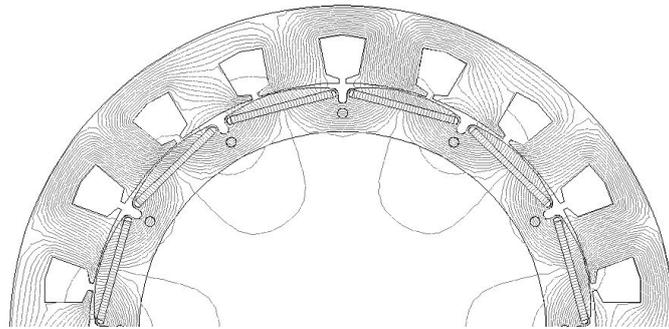


그림 2-6 모터/발전기의 등자속선.

그림 2-7은 설계된 모터/발전기의 유한요소 해석 결과로 전기각에 따른 상역기전력 파형을 나타낸 것이며, 영구자석 형상 및 최적 슬롯 설계를 통하여 구해진 유기기전력 파형을 보여준다.

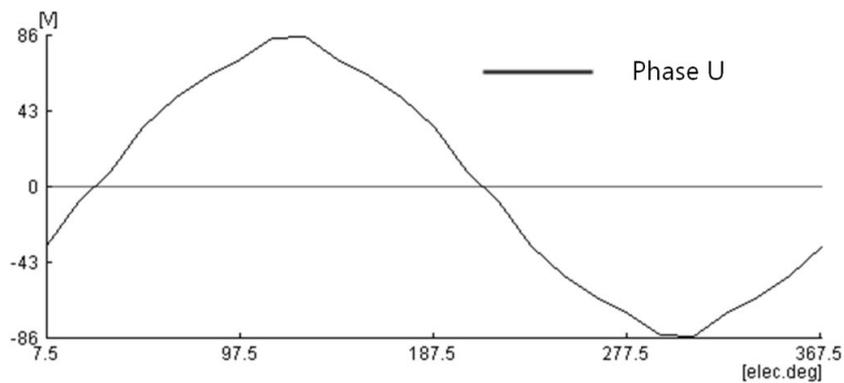


그림 2-7 무부하시 상 역기전력 파형.

그림 2-8은 토크 리플 프로파일로 자석 및 슬롯구조의 형상을 최적화하여 토크 리플을 최소화 하였다. 모터/발전기의 토크 리플 저감에는 일반적으로 영구자석 형상의 최적화에 의한 회전자 기자력 고조파의 저감, 극수 슬롯 수의 비를 포함한 권선 배치의 검토, 스큐(경사슬롯) 구조의 적용 등의 설계 방법이 사용되고 있다. 본 용역개발에서는 회전자 극 형상 최적설계를 통해 토크리플을 최소화하였다.

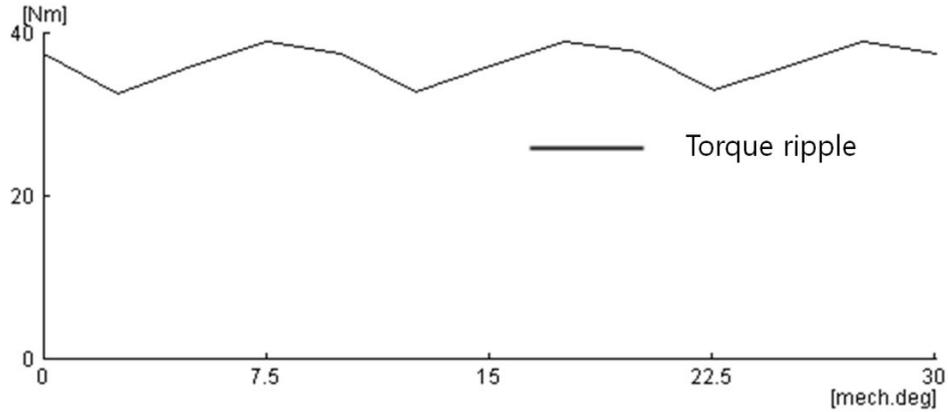


그림 2-8 토크리플 파형.

그림 2-9는 코깅 토크 파형으로 극수와 슬롯수의 조합을 12극 18슬롯 구조로 설계하고, 자석 및 슬롯 형상을 최적화하여 코깅 토크를 최소화 하였다.

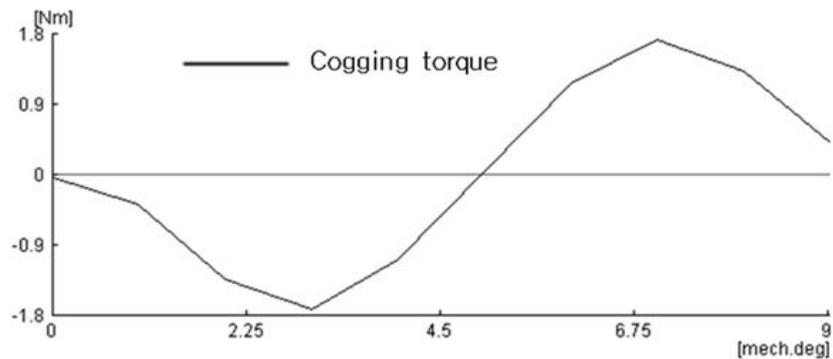


그림 2-9 코깅 토크 파형.

최종 설계된 모터/발전기의 토크-회전수 특성은 그림 2-10과 같으며, 운전 영역이 목표 사양이 정격회전수 2300 rpm에서 토크가 30.63 Nm로 개발 목표의 사양에 거의 근접함을 알 수 있다. 또한 모터/발전기의 자세한 사양은 표 2-1과 같이 설계되었다.

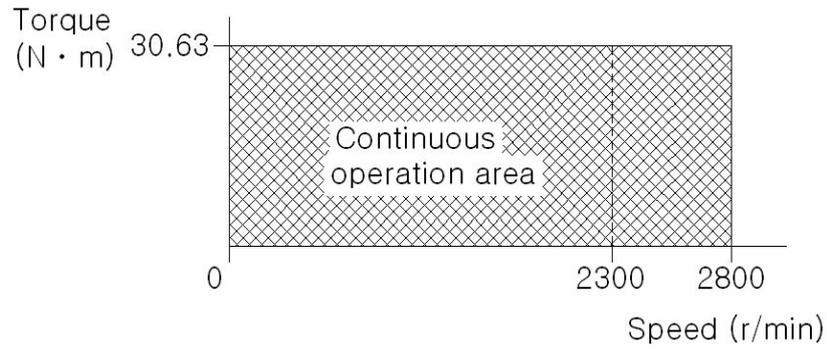


그림 2-10 개발된 모터/발전기의 토크 곡선.

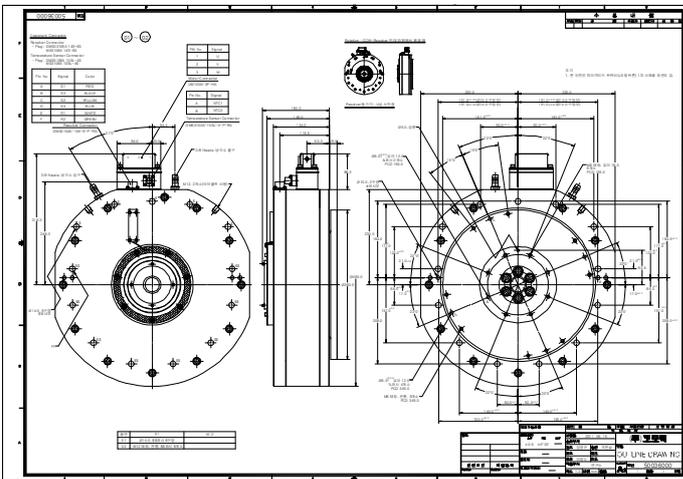
표 2-1 하이브리드 트랙터 구동모터/발전기 개발 사양

Item	Unit	Motor /generator	Note
Rated output	W	7377	
No. of poles		12	
Rated speed	r/min	2300	
Maximum speed	r/min	2800	
Rated torque	N·m	30.63	
	kgf·cm	312.5	
Rated current	A(rms)	50	±10% less
Elec. time constant	ms	32.88	
Mech. Time constant	ms	45.12	
Rated power rate	kW/s	1.9017	
Back EMF constant	$\times 10^{-3}V(\text{rms})/\text{min}^{-1}$	22.915	±10% less
Torque constant	N·m/A(rms)	0.6126	±10% less
	kgf·cm/A(rms)	6.2503	±10% less
Phase resistance	$\Omega$	0.0097	±10% less
Phase inductance	mH	0.3189	±20% less
Supply voltage	VDC	220 VDC	DC Link

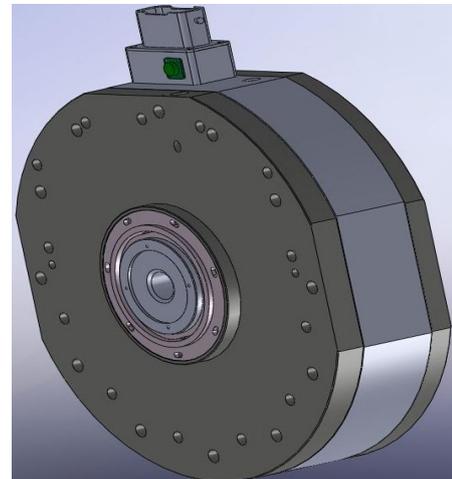
## 나. 모터-발전기 기구부 설계 및 1차 시작품 제작

### (1) 기구부 설계

기구부 설계의 구조 변경을 위하여 회전자의 관성 감소 방안을 제시하고 엔진 다이노용 모터 설계의 변경이 필요하다. 회전자를 중공형 스플라인으로 변경하고 실차 조립시 간섭여부를 확인하여야하며 모터의 제작성과 관련해 frame의 길이를 고려하여 조립 관통 구멍 위치를 수정하고 온도센서를 추가하였다. 하이브리드 구동모터는 누설자속을 줄이고 제작비 절감 및 원심력에 강한 내구력을 갖는 효과를 가질 수 있게 설계되었으며 그림 2-11과 같다. 개발된 모터/발전기의 트랙터 부착을 위해 엔진 부착면 및 클러치 부착면을 고려하여 기구부 설계를 진행하였으며 전체 외관도는 그림 2-72(a)와 같다. 또한 1차 모터/발전기 시작품의 부품도를 작성 후 3D 모델링을 진행하였으며 그림 2-72(b)는 이의 결과로써 조립도를 보여주고 있다.



(a) 기구부 2D 설계도면



(b) 3D 조립도 도면

그림 2-11 모터/발전기 기구부 설계.

### (2) 모터/발전기 1차 시작품 개발

모터/발전기의 시작품 개발을 위해 그림 2-12와 같이 고정자 및 회전자의 제작을 수행하였다. 고정자는 정렬권선에 의한 점적률을 높이기 위해 분할 코어 방식을 사용하였으며 각각의 개별 코어를 연결하여 코어 전체를 용접하였으며 그 후 결선 작업 및 에폭시 몰딩을 수행하였다. 회전자의 경우에는 회전자 코어를 제작한 후 영구자석을 부착하였으며 고정자 내부에 조립하였다.



그림 2-12 모터/발전기 개발 프로세스.

개발된 모터/발전기 1차 시작품은 그림 2-13과 같으며 스플라인 방식으로 엔진 크랭크 및 구동축과 연결 가능하게 제작되었다. 모터/발전기의 제어를 위해 인버터/컨버터와 연결 가능한 터미널 및 커넥터를 제작하였으며, 터미널 양옆으로 냉각수를 이용한 모터/발전기 냉각이 가능하도록 노즐을 설치하였다. 또한 엔진부와의 장착은 모터/발전기 가장자리에 12개의 볼트 체결을 이용하였다.



(a) 엔진 부착면

(b) 클러치 부착면

그림 2-13 모터/발전기 1차 시작품.

### (3) 1차 시작품 성능평가

(가) 전기적 성능평가

U-V, V-W상, W-U상간의 저항인 상간 저항을 2회 반복 측정하였으며 그 결과 표 2-2와 같이 나타났다. 이때 저항치는 리드선의 저항이 포함된 결과이다. 각각의 저항은 약 19 mΩ으로 모든 경우 유사하게 나타났으며 모든 경우에서 코일의 소손이 없음을 확인하였다. 상간 인덕턴스의 경우에도 리드선을 포함한 결과로 표 2-3와 같이 상간 저항 측정 결과와 유사하게 U-V, V-W, W-U상간 모두에서 약 0.319로 비슷하게 관찰되었다.

절연저항 및 절연내압 측정 결과는 표 2-4와 같이 나타났으며, 절연저항은 500 V 전압을 인가한 후 측정된 결과로 매우 높은 값이 측정되었다. 이에 따라 전류가 절연물을 통해 다른 충전부나 모터/발전기의 케이스를 통해 감전이나 과열 발생에 대해 안전함을 알 수 있다. 절연내압의 경우에도 AC 1,800 V에 대해 시험 기준을 통과하였음을 확인하였다.

표 2-2 상간 저항 측정 결과(리드선 포함)

(단위: m Ω)

상간 저항 (20도 환산)	#1	#2
U-V	19.48	19.82
V-W	18.71	19.21
W-U	19.56	19.72
평균	19.25	19.58

표 2-3 인덕턴스 측정 결과(리드선 포함)

(단위: mH)

상간 저항	#1	#2
U-V	0.3185	0.3185
V-W	0.3180	0.3195
W-U	0.3195	0.3190
평균	0.3187	0.31900

표 2-4 절연저항 및 내전압 측정 결과

시험명	인가전압	#1	#2
절연 저항	DC 500V	PASS (∞)	PASS (∞)
절연 내압	AC 1,800V (1초)	PASS (1.1mA)	PASS (1.1mA)

그림 2-14는 모터/발전기 시작품의 상기전력 파형 측정 결과로 회전방향은 반시계 방향 (CCW)이며 회전속도를 1000 rpm으로 설정한 후 측정하였다. 역기전력은 회전속도 1000 rpm에서 평균 22.633 Vrms, 최대(피크) 32.168 Vrms로 나타났다. 이를 해석한 결과 설계 기준치 대비 약 5% 이내의 오차를 보여 목표사양에 만족함을 알 수 있다.

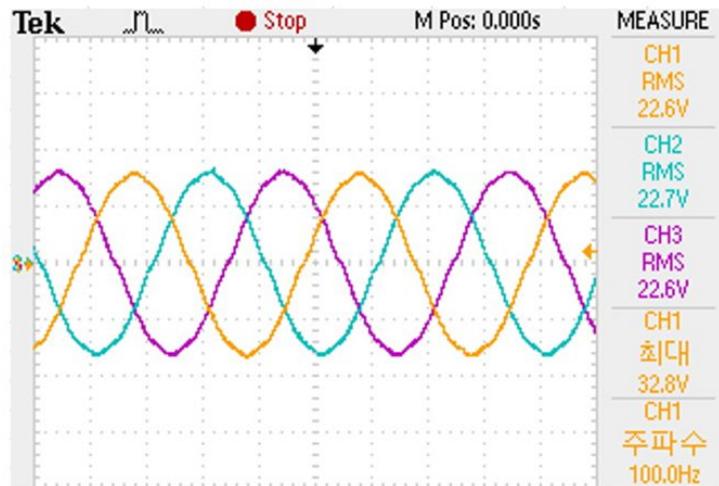


그림 2-14 상역기전력 파형.

(나) 부하 측정 시험

모터/발전기 시작품의 성능평가를 위해 부하 측정 시험을 실시하였으며 그 결과 표 2-5와 같이 나타났다. 모터의 설계목표는 입력전압 220 V에서 정격출력 7 kW 이상, 모터 효율 80% 이상, 정격 회전수 2300 rpm이상이며, 부하 측정 시험 결과 출력, 효율, 회전수가 각각 8.8 kW, 88.1%, 2800 rpm으로 관찰되었으며 이를 통해 개발품이 개발 목표에 적합한 것으로 판단된다. 그림 2-15은 모터/발전기 시작품의 회전속도에 따른 효율맵을 작성한 것으로 본 연구에서 사용되는 범위에서 약 85% 이상의 높은 효율을 가지고 있음을 알 수 있다.

표 2-5 부하 측정 시험 결과

항목	설계목표	부하 실험 결과치
입력전압 [Vdc]	220	220
정격출력 [kW]	7 이상	8.8
모터 효율 [%]	80 이상	88.1
정격 회전수 [rpm]	2300 이상	2800

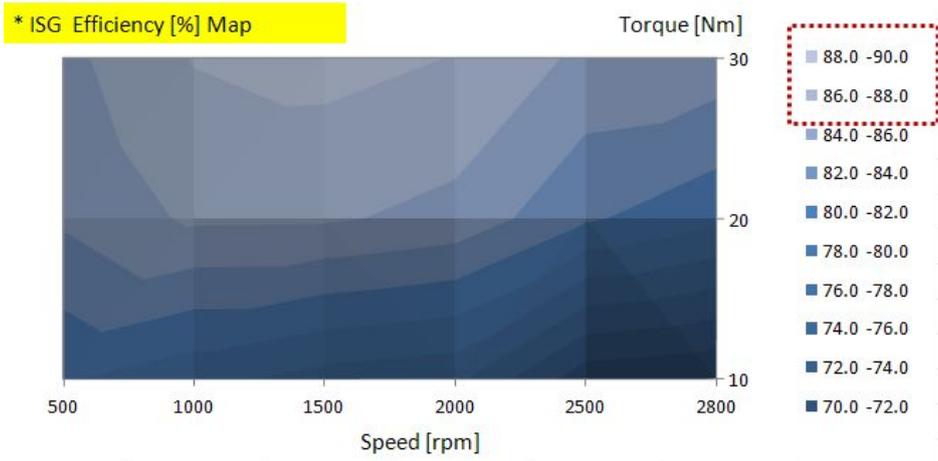


그림 2-15 모터/발전기 시작품 효율/출력맵.

#### (4) 2차 시작품 제작

1차 시작품의 경우 기본적인 모터-발전기 성능과 목표를 만족하지만 일체형에 따른 높은 무게 및 변속기 축 방향 설계 변경에 따른 구조적인 문제와 이로 인해 내구성에 불리한 단점을 가진다. 단품 시험 시 그림 2-16과 같이 수직방향의 하중 및 진동에 따라 내부 베어링이 파손되는 문제가 발생되어 개선이 필요하다. 또한 무엇보다도 사업화 시 양산 조립 시 불리한 점을 가지며 비용 또한 높아 경쟁력이 낮은 문제가 있다.



그림 2-16 1차 시작품 베어링 파손.

따라서 모터-발전기의 2차 시작품은 그림 2-17, 2-18과 같이 기존 트랙터 변속기 케이스 중 클러치 케이스 내부에 장착이 가능하여 길이 방향 설계 변경이 없도록 개발하였다. 또한 rotor와 stator를 분리함으로써 제품 무게도 기존에 비해 1/4로 감소하였으며 제어 방식도 sensorless type이 가능하게 하여 고가의 레졸버를 사용하지 않아 원가도 절감하였다. Stator는 클러치 케이스 외부에 볼트를 이용해서 조립되었으며 rotor는 엔진에서 변속기로 이어지는 메인 축에 직결로 장착되어 구동 외에는 플라이휠과 같이 관성작용을 하도록 하였다. 축 사이에

모터를 장착함에 따라 그림 2-19와 같이 샤프트를 가공하였다.

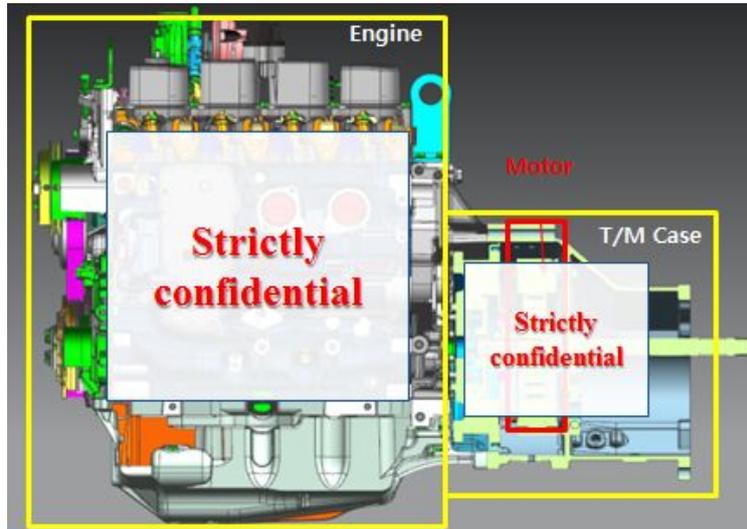


그림 2-17 2차 시작품 구조.

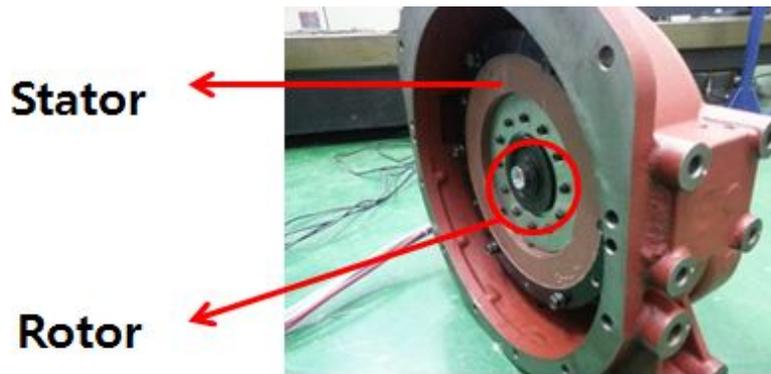


그림 2-18 2차 시작품 및 클러치 케이스개발 결과.



그림 2-19 2차 모터용 메인 샤프트.

2차 시작품의 단품 성능 평가 결과는 그림 2-20과 같이 기존 시작품과 동일한 성능을 가졌으며 토크 어시스트 전과 후의 차이가 목표 성능인 30 Nm를 만족하였다. 따라서 2차 시작품이 1차 시작품에 비해 동일 성능으로 구조 및 내구 측면에서 더욱 더 유리하다는 것을 알 수 있다.

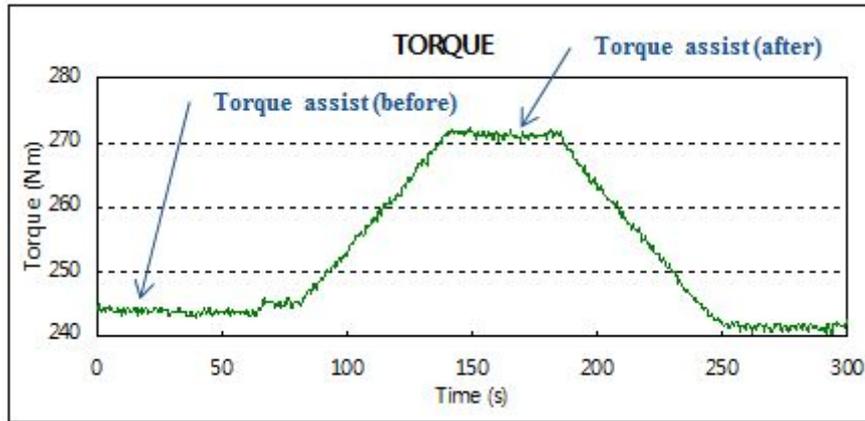


그림 2-20 2차 모터 단품 성능 평가 결과.

## 2. 인버터/컨버터 개발

### 가. 인버터/컨버터(MCU, Motor Control Unit) layout

인버터/컨버터는 하이브리드 트랙터의 모터/발전기 등의 구동 제어를 위한 제어장치로 엔진의 크랭크 축과 직결되어 있는 E-Machine (Motor, Generator)과 배터리 사이에 설치되어 상위 제어기(Hybrid Control Unit, HCU)의 명령을 받아 엔진의 동력을 Boosting하고 엔진의 동력을 이용해 배터리의 충전을 수행한다.

인버터는 다이오드(diode), 트랜지스터(transistor), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 등의 전력용 반도체를 이용하여 그림 2-21과 같이 3상 교류를 직류로 변환시키는 컨버터(converter)부, 직류에 포함되는 맥동분(ripple)를 제거시켜주는 평활 회로부, 변환된 직류를 가변 전압, 가변 주파수의 교류 형태로 변환하는 인버터(inverter)부와 인버터부를 제어하는 제어 회로부로 구성하였다. 하이브리드 트랙터 구동모터/발전기의 제어는 U·V·W상의 전류량, 모터 속도 등에 의해 생성된 PWM 신호를 입력받은 후, 구동모터인 PMSM (Permanent magnet synchronous motor)의 구동에 필요한 3상 전류를 생성을 통해 수행되며 이를 위해 IGBT 스위칭 소자 6개를 설치하였다. 이때 IGBT는 바이폴라(bipolar) 트랜지스터와 MOSFET (MOS field-effect transistor)소자를 복잡한 형태로 대량 전류도통과 고속 스위칭 특성을 모두 가지고 있어 고용량 모터의 속도 조절에 유리한 장점이 있다. 또한 PWM 신호 생성을 위한 회전자 위치와 모터속도는 리졸버(resolver)를 이용하여 측정되도록 설계하였다.

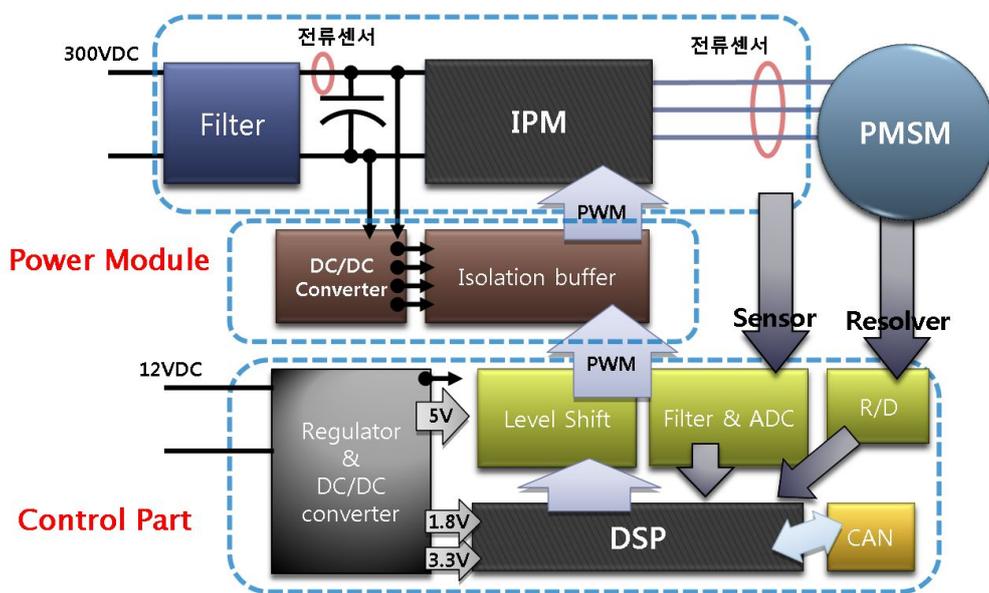


그림 2-21 E-MCU 구성도.

### (1) 동작 및 기능

E-MCU의 주요 핵심기능은 트랙터 작업 상태에 적합한 하이브리드 시스템 제어 기능으로써

부하 상태에 따라 그림 2-22와 같이 모터 구동 및 배터리 충전 동작을 수행하는 것이다. 현재 트랙터 엔진이 낼 수 있는 출력 이상의 부하가 감지되면 E-MCU는 구동모터에 제어 신호를 출력하여 엔진방향으로 회전시켜줌으로써 트랙터가 낼 수 있는 토크 이상의 출력을 가능하게 해주며, 그 외 상대적으로 트랙터 사양 이하의 부하 구간에서는 엔진의 남은 동력을 이용하여 배터리를 충전시키게 된다.

구동 모터의 torque assist 구간의 동작 순서는 그림 2-23과 같이 배터리, E-MCU, 모터/발전기, 변속기 순서로 진행되며, 배터리 전원을 이용하여 구동모터를 엔진 회전방향으로 구동시켜 트랙터 변속기, 유압 등 작업 부하가 발생하는 요소에 동력을 공급해주게 된다. 배터리 충전 동작의 경우 이와는 반대 순으로 진행되며 그림 2-24와 같이 구동축의 사용가능한 출력을 이용해 배터리를 충전시켜주게 된다.

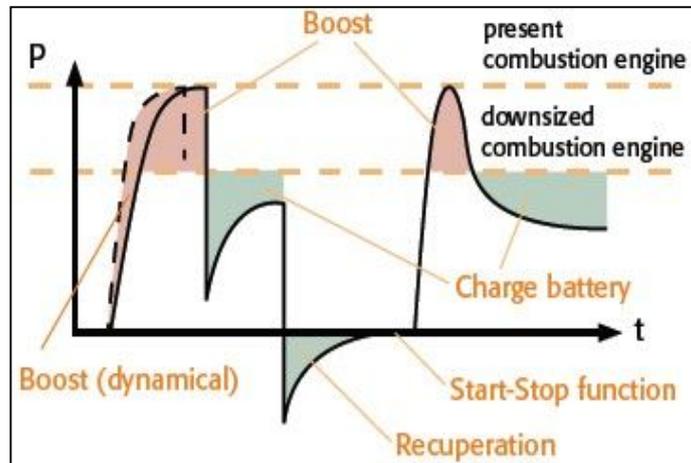


그림 2-22 E-MCU 핵심기능.

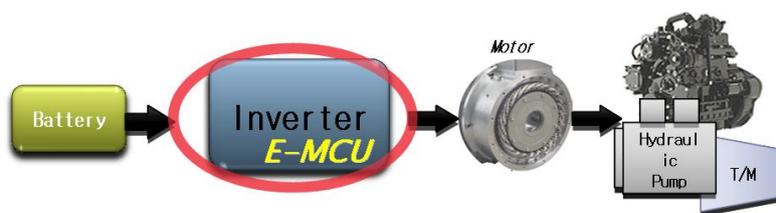


그림 2-23 E-MCU torque assist 기능.

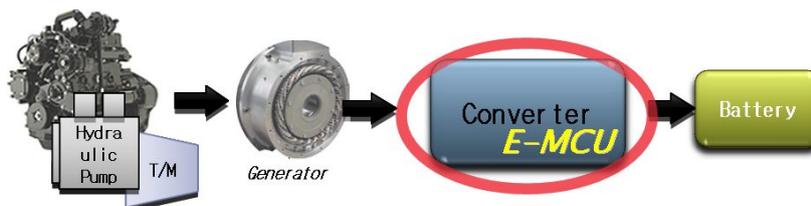


그림 2-24 E-MCU 배터리 충전 기능.

나. 인버터/컨버터 설계 및 개발

(1) 회로 설계

MCU 회로에서 입력된 신호에 대해 연산처리 및 제어 신호 생성을 위한 선정된 메인 컨트롤러(TMS320F2811, Texas Instrument, USA)의 회로는 그림 2-25와 같다. 이 컨트롤러는 32 bit의 DSP Core 내장형의 MCU이며 8 채널의 PWM 포트를 가지고 있고 최대 16 채널의 12 bit A/D 컨버터를 가지고 있다. 동작전압은 코어 전압 1.8 V이고, I/O는 3.3 V, A/D 컨버터는 3 V의 동작 전압을 갖는다. 또한 메인 컨트롤러의 전원부는 그림 2-26과 같이 회로를 설계하였다.

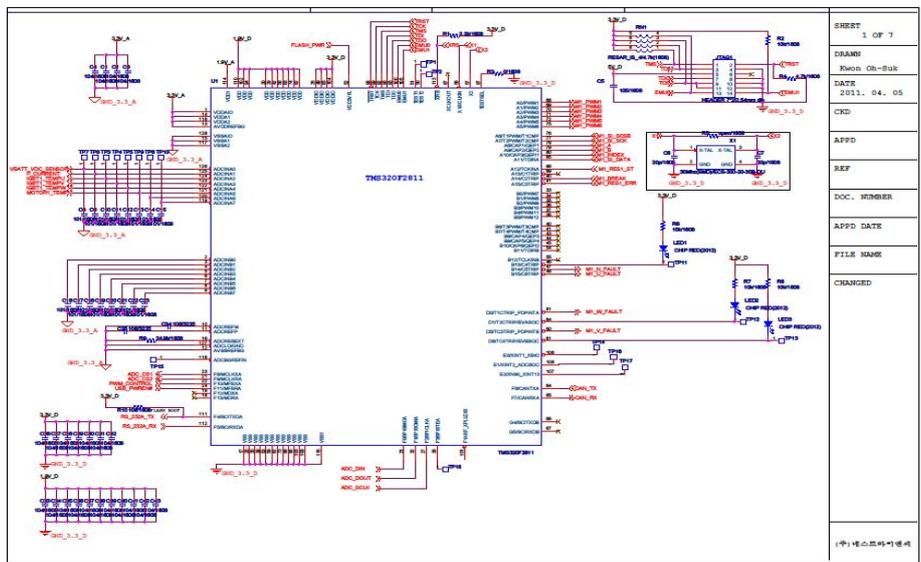


그림 2-25 Digital signal processor.

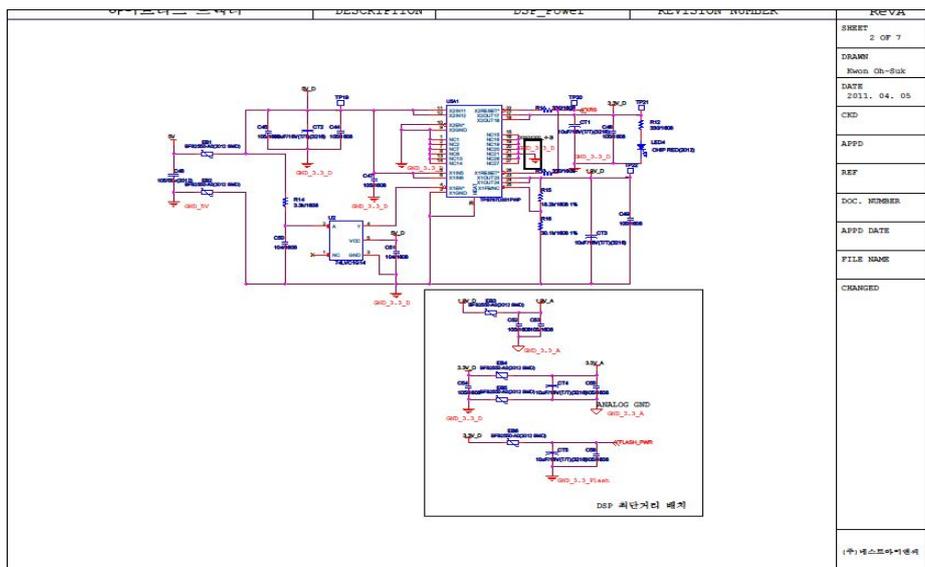


그림 2-26 Digital signal processor power.

아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위해서 그림 2-27과 같이 ADC (Analog to Digital Converter)를 설계하였으며 아날로그 신호 범위 및 용량에 적합 소자를 이용하여 회로도를 구성하였다.

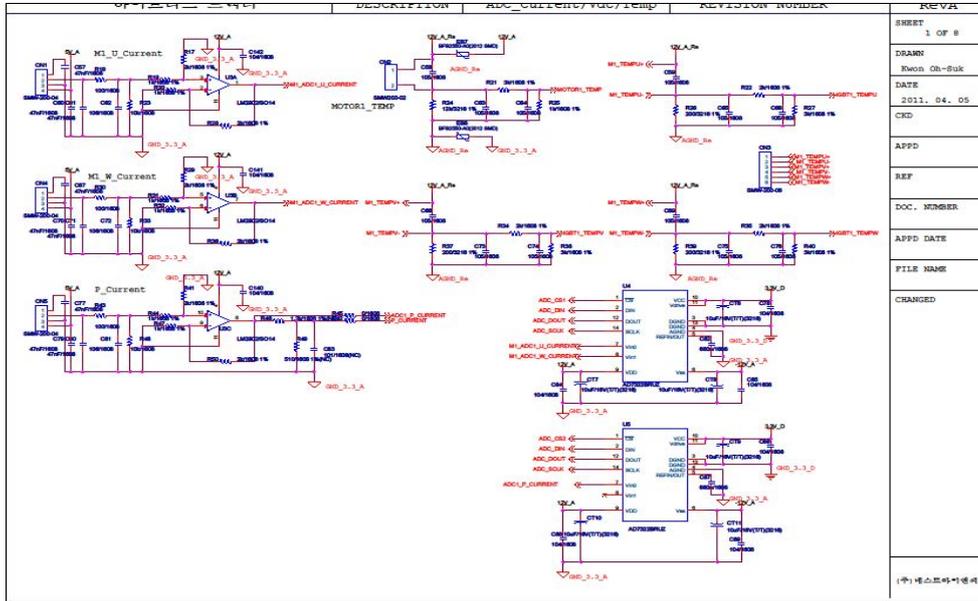


그림 2-27 ADC.

그림 2-28은 모터/발전기의 회전자 위치를 검출하기 위한 센서의 인터페이스를 위한 레졸버 (resolver)의 회로도를 나타낸다.

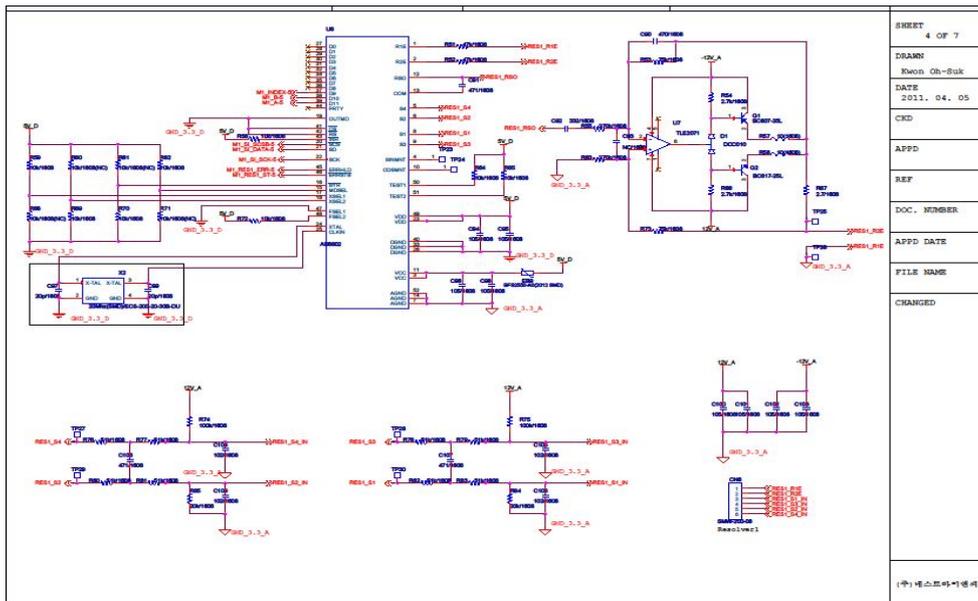


그림 2-28 Resolver.

MCU의 통신 회로인 CAN은 인버터 회로와 절연이 되어있다. CAN회로는 외부 입력 전압 12V를 사용하기 때문에 CAN Transceiver (TJA1050, Philips, Netherlands)에 전원 5 V를 공급하기 위해 5 V 정전압 정류기(regulator)를 사용하고 인버터와의 절연을 위해 Digital isolator (ADUM3201 , Analog Devices Inc., USA)을 선정하였다. CAN 통신 및 USB 활용을 위한 회로도 는 그림 2-29와 같다.

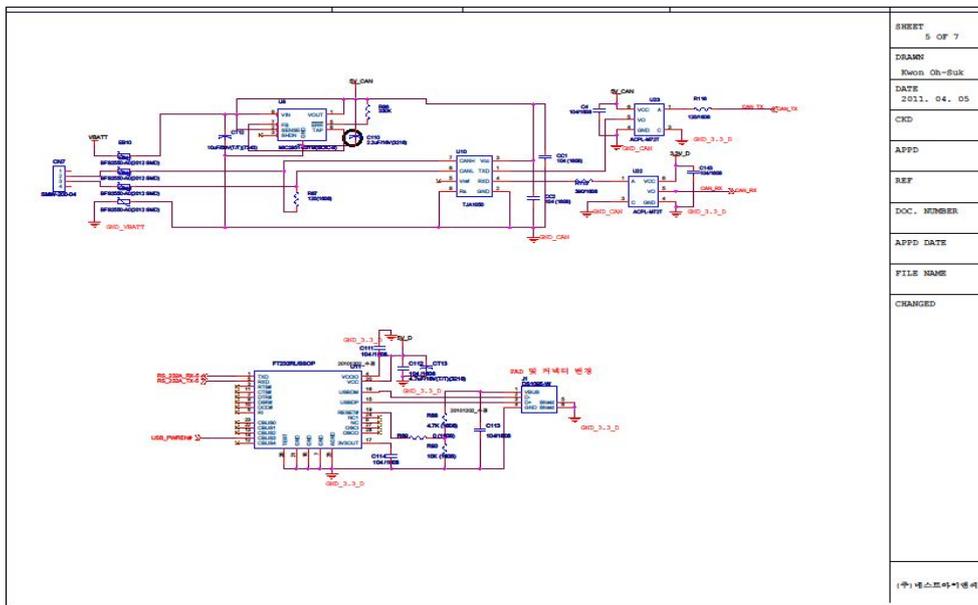


그림 2-29 CAN & USB.

전압은 모터를 구동시키는 중요한 변수로 고전압의 입력 여부 및 rpm 제한 등의 목적으로 사용된다. 그러나 제어부와 파워부의 절연문제로 인해 절연 증폭기(Isolation OP-amp, ISO122, Texas Instrument, USA)를 사용하여 회로를 구성하였으며 이에 따라 입력 및 출력 전원을 각각 필요로 하게 된다. 절연 증폭기가 포함된 level shift의 회로도 는 그림 2-30과 같다.

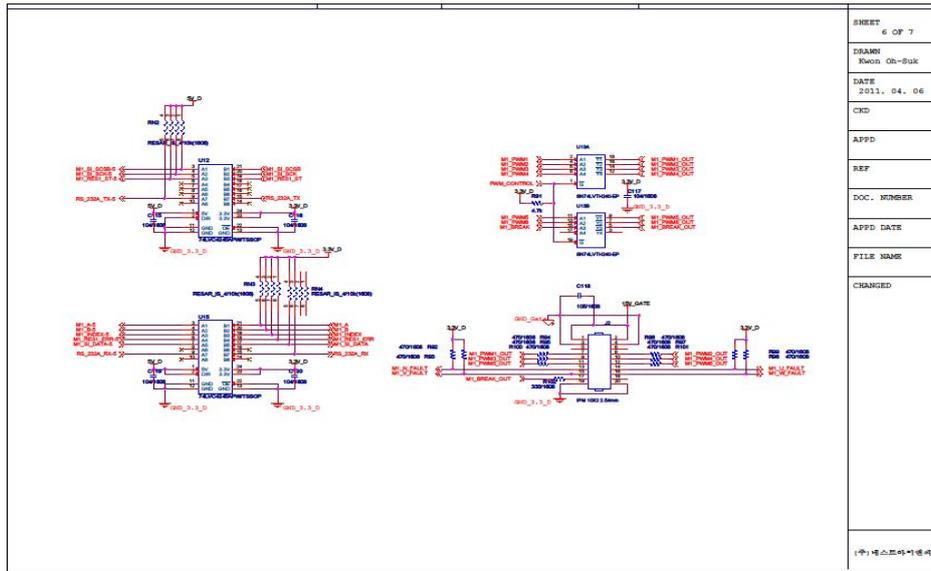


그림 2-30 Level shift.

모터의 토크 제어를 위한 IPM의 인터페이스는 그림 2-31과 같이 설계하였다.

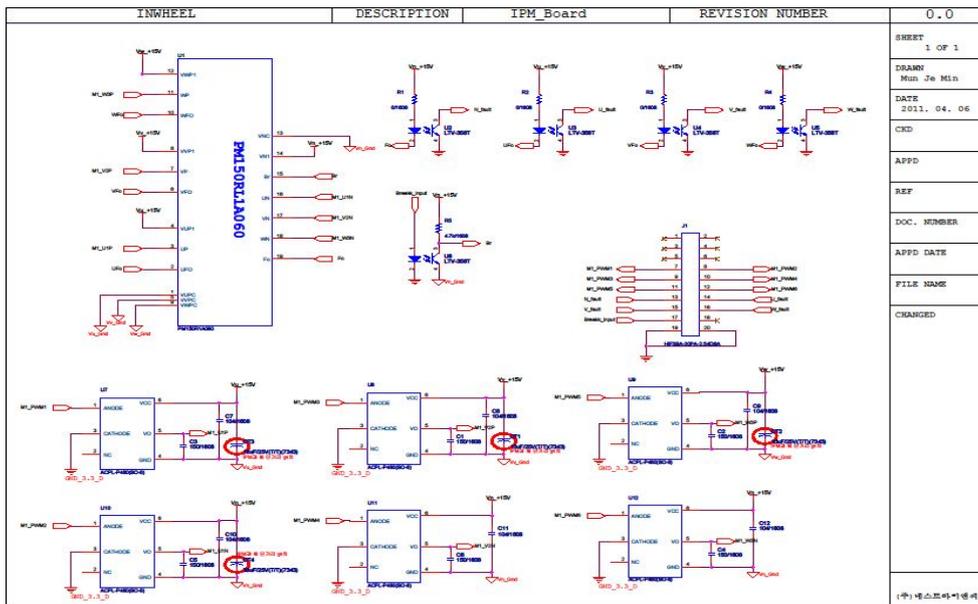


그림 2-31 IPM interface.

모터 구동을 위한 전원의 DA변환을 위한 IGBT 소자 제어하기 위해서 power module을 구성하였으며 회로 설계도는 그림 2-32와 같다.

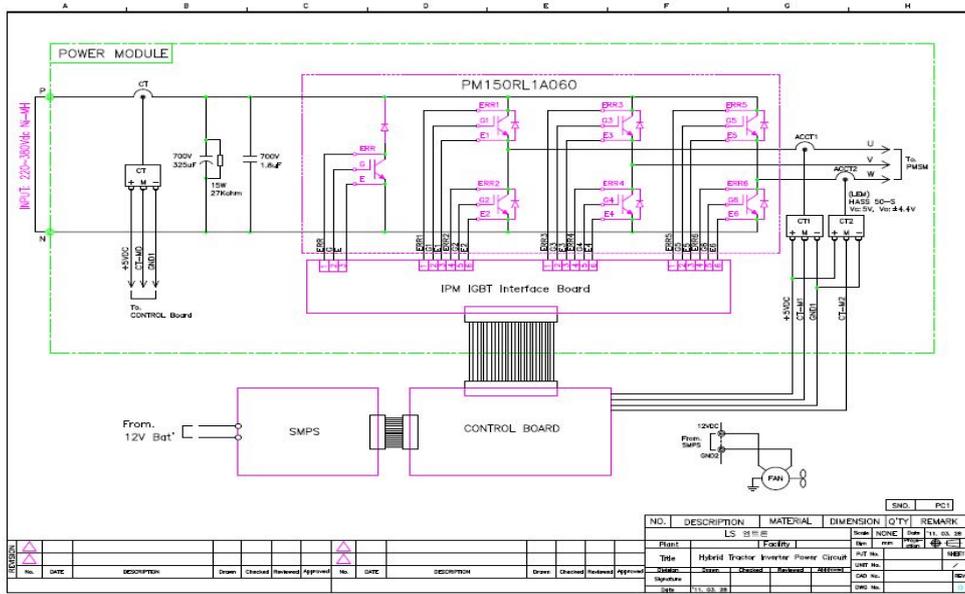


그림 2-32 Power module interface.

## (2) 방열판 설계

인버터의 정상적인 작동을 위해 방열판(heat-sink)을 이용하여 전력용 반도체 소자의 과열을 방지하여야 한다. 본 연구에 사용된 소자의 경우 작동 온도 영역이 85°C 이하이므로 방열판의 온도가 지속적으로 85°C 이하의 온도를 유지할 수 있도록 인버터, 방열판을 포함한 전체 기구를 설계하였다.

### (가) 온도 변화 시뮬레이션

주위온도 60°C, IGBT의 온도 100°C의 초기 조건으로 방열판의 온도 변화를 시뮬레이션 한 결과는 그림 2-33과 같이 나타났다. 아랫부분의 강판(steel plate)의 온도는 시뮬레이션 시작과 동시에 급격히 상승하다가 방열판의 온도가 감소함에 따라 약 25초 부근에서 감소하여 일정수준을 유지하였다. 방열판의 경우 초기 IGBT 온도와 같이 100°C에서 시작하였으며 시간이 지남에 따라 IGBT와 함께 급격히 감소하여 50초 이후부터 약 65°C의 온도를 지속적으로 유지하고 있으므로 개발된 방열판을 통한 인버터 소자의 과열 방지가 가능함을 알 수 있었다.

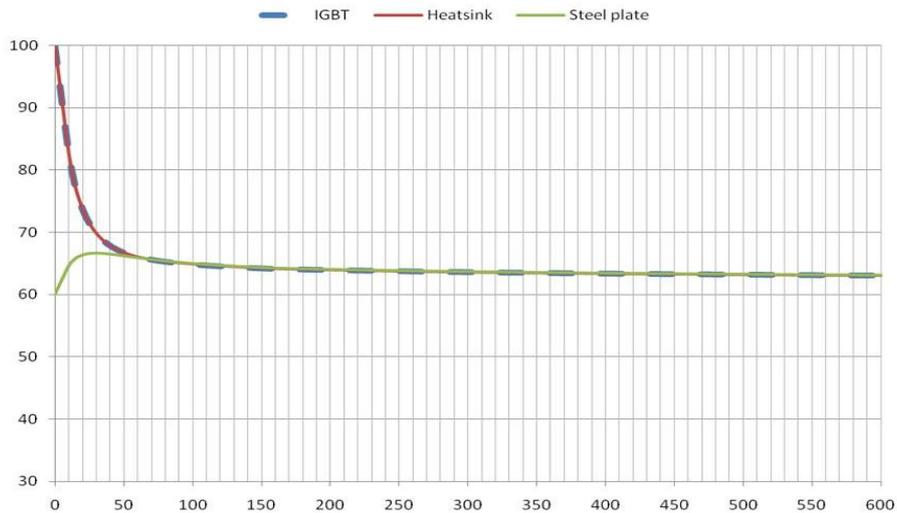


그림 2-33 온도 변화 시뮬레이션 결과.

(나) 방열 특성 시뮬레이션

주위온도 50°C, IGBT의 온도 90°C의 초기 조건으로 방열 특성을 시뮬레이션 한 결과는 그림 2-34와 같이 나타났다. 시뮬레이션 10초 경과 후 IGBT 및 방열판의 온도가 급격히 하강하여 최고 73°C로 나타났으며 100초 경과 후에는 강판으로 열이 전도되어 방열판의 온도가 최고 5°C로 하강하였다. 200초 경과 이후 방열로 인해 지속적인 온도 유지가 가능하였으며 500초가 경과하여 시뮬레이션이 종료되었을 때 방열판의 온도는 최고 53°C로 나타나 방열판의 방열 성능이 우수함을 알 수 있었다.

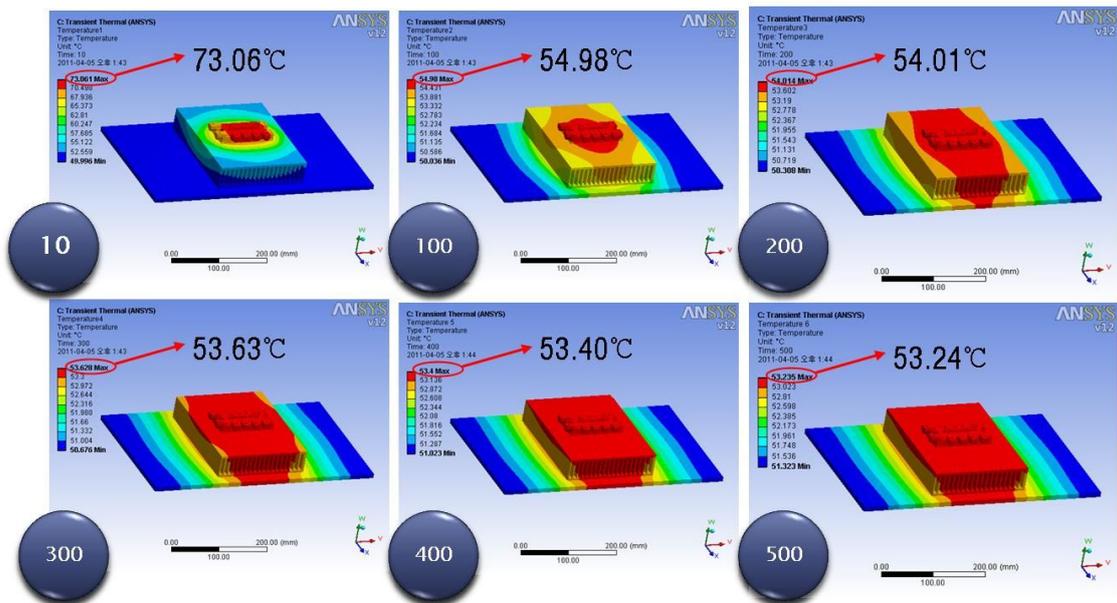
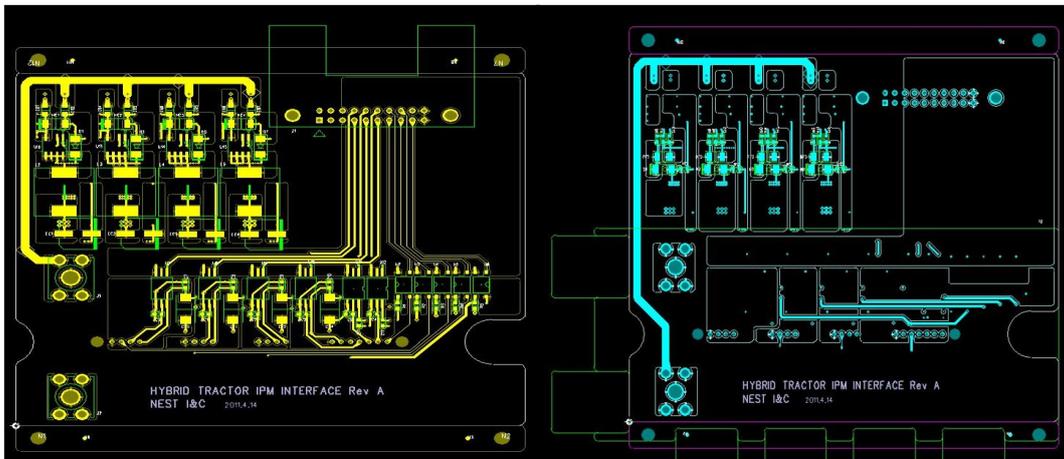


그림 2-34 방열 특성 시뮬레이션 결과.

(3) 인버터/컨버터 시작품 개발 및 성능평가

(가) 인버터/컨버터 시작품 개발

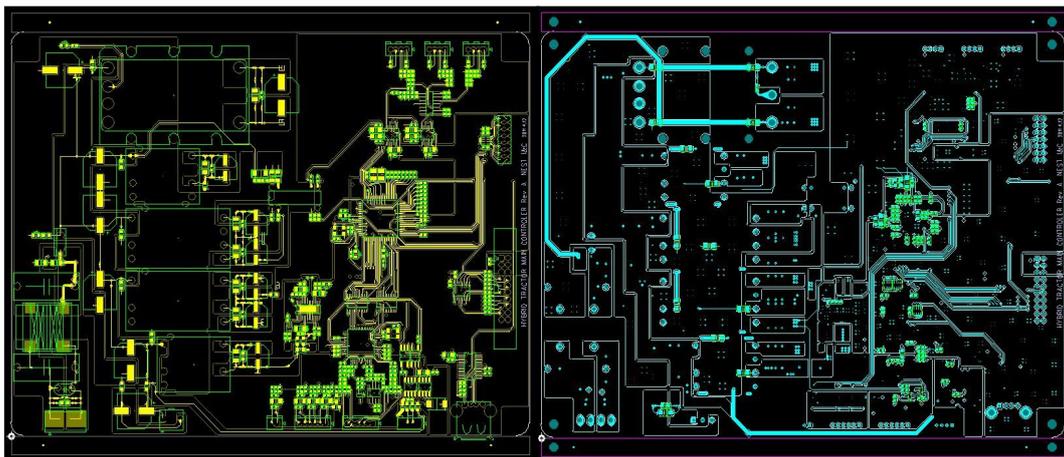
하이브리드 트랙터의 대용량 인버터/컨버터(MCU)의 설계 결과는 IPM 인터페이스의 경우 그림 2-35, 메인 컨트롤(main control)은 그림 2-36과 같으며 전체 컨트롤 보드(control board)를 개발한 결과는 그림 2-18과 같이 나타났다. 인버터/컨버터의 기구는 그림 2-37, 그림 2-38과 같이 설계 및 조립되었으며 설계 결과를 바탕으로 시작품을 개발한 결과는 그림 2-39와 같다.



(a) 위

(b)아래

그림 2-35 IPM 인터페이스 설계도면.



(a) 위

(b)아래

그림 2-36 Main control 설계도면.

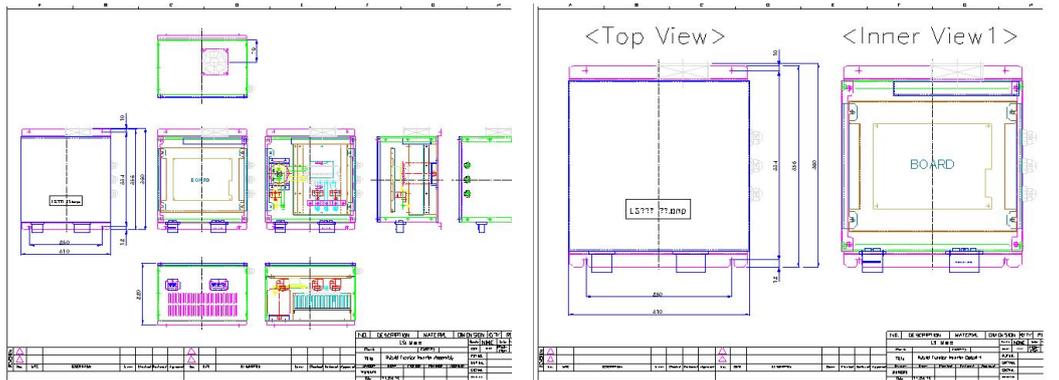


그림 2-37 기구 설계 도면(2D).

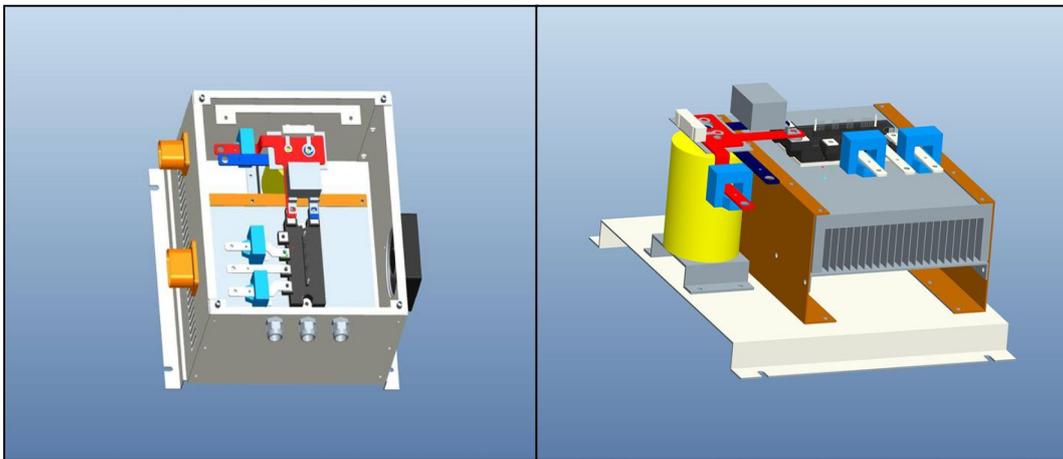


그림 2-38 기구 설계 도면(3D, 조립도).



그림 2-39 인버터/컨버터 시작품 개발 결과.

(나) 인버터/컨버터 성능평가

a) 모터 구동 시험

개발된 MCU의 신뢰성 평가를 위하여 시험용 모터의 구동 시험을 실시하였다. 시험장치는

그림 2-40과 같이 구성하였으며 시험에 사용된 시험용 모터의 정격 토크는 2800 rpm에서 20 N·m이고 정격 전류는 2800 rpm에서 47 A (RMS)이다.



그림 2-40 인버터/컨버터의 모터구동 시험 환경.

시험용 모터의 정격 토크 구동 시험 결과 인버터/컨버터에 입력 전력이 전압 330 V, 전류 20.9 A로 6,897 W이었을 때 출력이 6311 W로 91.51%의 효율을 나타내었다. 시험용 모터의 출력은 2800 rpm에서 토크가 19.8 N·m이고 따라서 5,806 W로 계산되어 모터의 출력과 인버터 컨버터 출력의 비로 91.99%의 효율을 보였다. 20 N·m의 부하를 준 상태에서 속도에 따른 전류 값을 측정하는 결과는 그림 2-41과 같이 0에서 1400, 2000, 3000 rpm으로 속도를 올렸을 때 전류의 peak 값이 약 77 A로 관찰되었다. 이는 시험용 모터의 정격 토크에서의 정격 전류의 peak가 66.4 A이므로 인버터/컨버터의 효율을 고려하면 정상적으로 제어 가능함을 확인할 수 있다.

#### b) 시험용 모터의 발전 시험

병렬형 하이브리드 트랙터에서 모터는 회생제동시 발전기의 역할을 수행하기 때문에 컨버터의 성능을 시험하기 위해 시험용 모터의 발전 전압을 측정하는 시험을 실시하였다. 모터의 사양은 12극에 정격 전류 50 A (RMS), 최대 속도 2800 rpm이고 발전된 전기는 배터리에 충전되어 측정하였다. 사용된 배터리는 Ni-MH 배터리로 전압 300 V에 용량은 20 Ah로 충전전류는 2 A일 때 10시간, 20 A로 1시간, 최대 40 A로 30분이 소요된다. 전압 측정 결과는 그림 2-41과 같이 500 rpm에서 14 V, 1000 rpm에서 30 V, 2000 rpm에서 62 V로 나타났다.

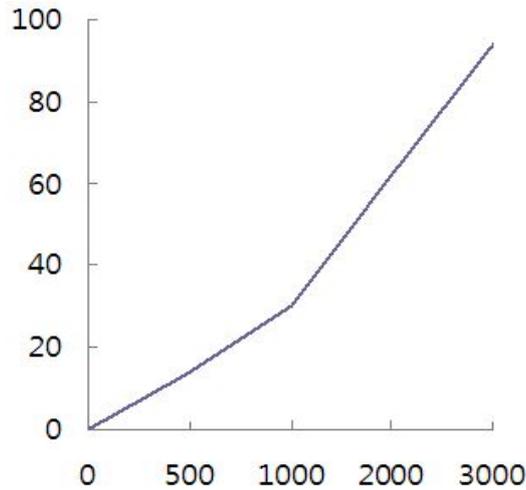


그림 2-41 발전 전압 측정 결과.

### c) 하이브리드 트랙터 모터/발전기 제어 성능 평가

개발된 MCU의 모터/발전기 제어 성능 평가를 위해 그림 2-42와 같이 AC 다이نام(AVL, Austria)에 개발 적용 대상인 100ps 디젤엔진을 장착하였다. 하이브리드 시스템 구성을 위해 엔진에 모터/발전기를 연결한 후 다이نام의 샤프트와 연결하였으며 모터/발전기 제어를 위해 MCU, 전원 공급을 위해 고전력 전원장치를 추가하였다. 시험의 신뢰성 향상을 위해 엔진 출력이 일정하게 유지되도록 1시간의 예비시험(warming up test)를 수행하였으며 실내 온도는 상온(25℃)를 유지하였다. 연료 공급은 연료 공급계를 통해 일정한 압력 상태로 외부에서 유입하였으며 시험은 엔진 출력 boosting을 위한 모터/발전기의 구동(방전) 시험, 배터리 충전을 위한 발전(충전) 시험을 차례로 수행하였다. 이때 시험 중 엔진은 정격 회전수 2300 rpm에서 스톱을 최대(100%)로 개방한 전부하 상태를 유지하였다. 구동시험은 모터를 엔진방향으로 회전시키면서 엔진 토크를 측정하였으며, 발전 시험은 엔진의 부하를 이용하며 엔진 토크의 감소량을 측정하였다.

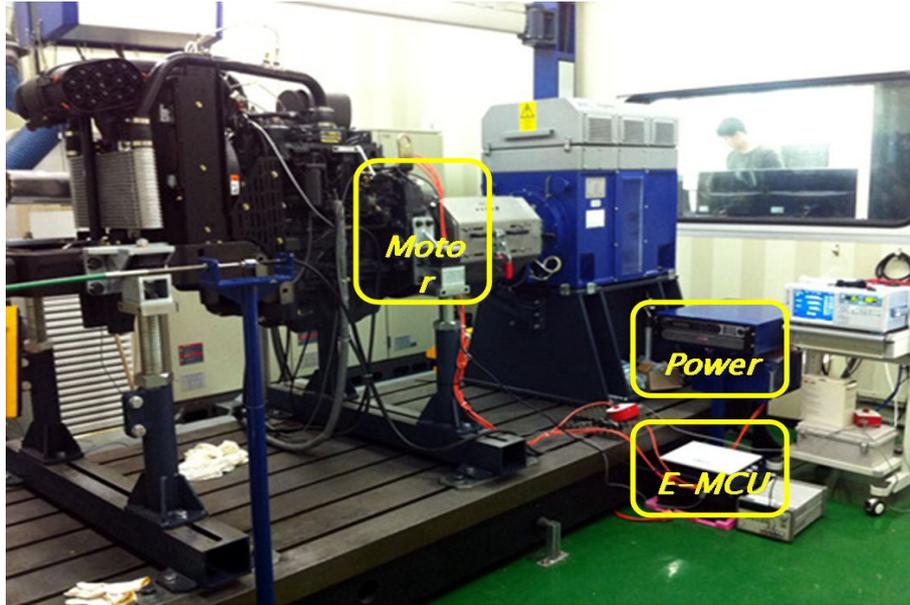
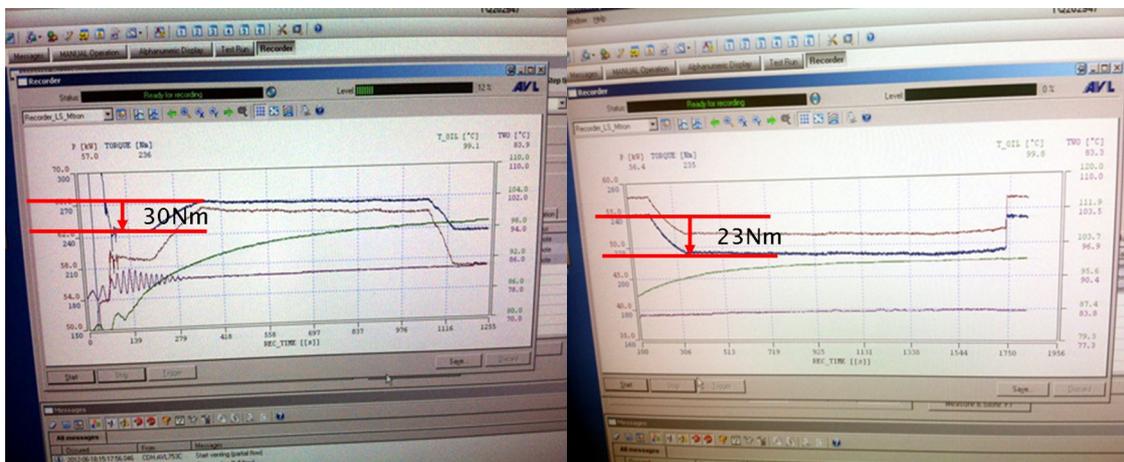


그림 2-42 하이브리드 시스템 성능 평가 장치.

MCU의 성능시험 결과는 그림 2-43과 같이 나타났으며 그림 2-25(a)는 모터/발전기의 구동 시험의 경우, 그림 2-25(b)는 발전 시험의 결과를 나타낸다. 구동 시험 결과 MCU의 제어에 따라 모터/발전기엔 엔진 방향으로 서서히 회전하였으며 이로 인해 엔진 토크가 서서히 증가됨을 알 수 있다. 이때 엔진의 파손을 방지하기 위해 다이내모를 이용하여 엔진 회전수는 일정하게 유지하였다. 엔진의 토크는 서서히 증가하여 모터/발전기가 최대로 회전할 때 30 Nm까지 엔진 토크가 증가하여 엔진 출력의 boosting이 가능함을 알 수 있었다. 이에 따른 엔진 냉각수 및 오일 온도의 증가는 상대적으로 크게 관찰되지 않았다. 모터/발전기의 발전 시험은 MCU를 이용하여 모터/발전기를 엔진의 반대 방향으로 회전시켰으며 이에 따라 엔진 토크가 서서히 감소되어 최대 23 Nm까지 감소되었음을 알 수 있다.



(a) 구동 시험(boosting)

(b) 발전 시험

그림 2-43 모터-MCU 성능 시험 결과.

### 3. 배터리-BMS 개발

#### 가. 하이브리드 트랙터 배터리

배터리 선정을 위해서는 안전성, 수명 주기, 에너지 밀도, 출력 밀도, 충전율 등을 고려하여야 하며 배터리 용량의 경우 차량 주행에 따른 구동모터 출력과 주행 모드 특성에 따라 결정된다. 차량에 사용되는 배터리는 충/방전이 가능한 2차 전지이며 일반적인 차량에는 주로 납축전지(lead-acid)가 사용되며 하이브리드 차량의 경우 배터리의 에너지 밀도가 낮고 무거운 납축전지 대신 니켈(nickel)이나 리튬(lithium)계열이 많이 사용된다. 따라서 본 연구에서는 하이브리드 트랙터용 배터리로 니켈 계열의 배터리를 선정하였으나, 그림 2-44와 같이 성능 및 트랙터 장착성을 고려하여 리튬 계열의 배터리로 선정하였다.

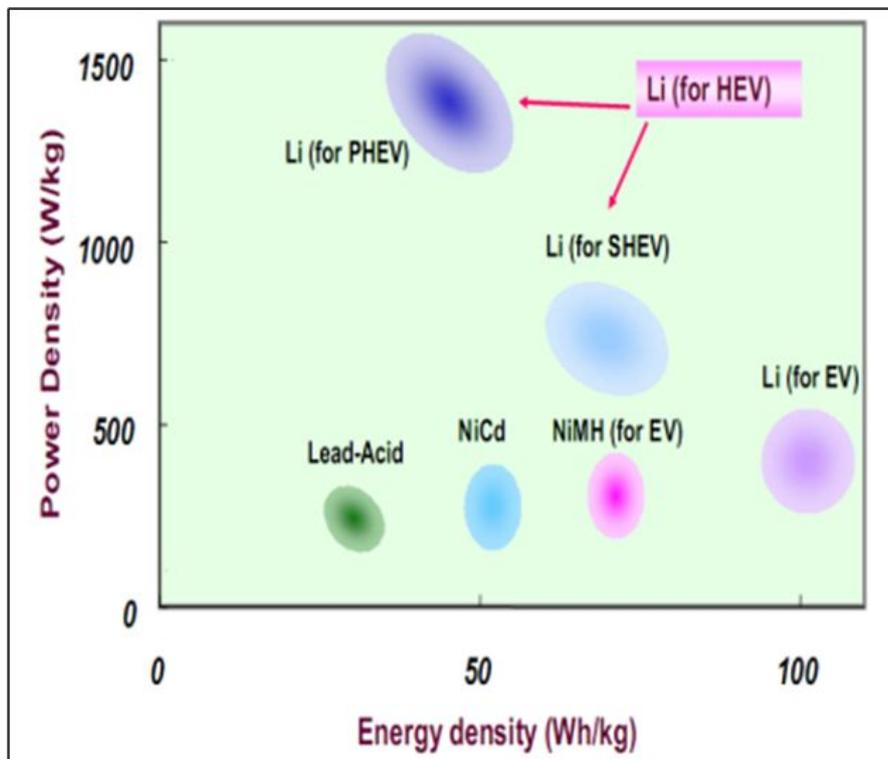


그림 2-44 배터리 제원 비교.

#### (1) 리튬이온 배터리

리튬은 그림 2-45와 같이 최외각 전자가 1개인 1족 원소로 산화력이 매우 높아 배터리 제원으로 오래전부터 연구되었다. 리튬은 금속중 가장 가벼우며 공기 중에서 자발적인 산화환원 반응을 거쳐 산화리튬으로 변하게 되며 이를 통해 에너지를 생성하게 된다.

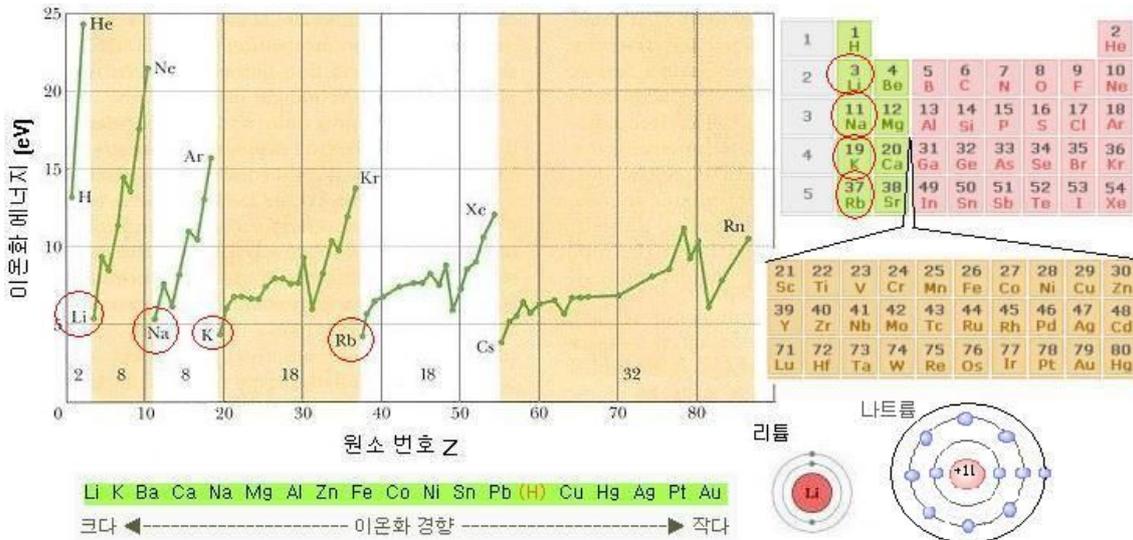


그림 2-45 원소별 이온화 경향.

리튬 계열 배터리는 그림 2-46과 같이 다른 배터리와 마찬가지로 재사용 여부에 따라 1차/2차 배터리로 분류되며, 극에 사용되는 원소에 따라 1차전지에는 이산화망간, 불화흑연, 이산화황 리튬전지로 나뉘며, 2차전지에는 리튬금속, 리튬이온, 리튬폴리머 배터리로 구분된다.

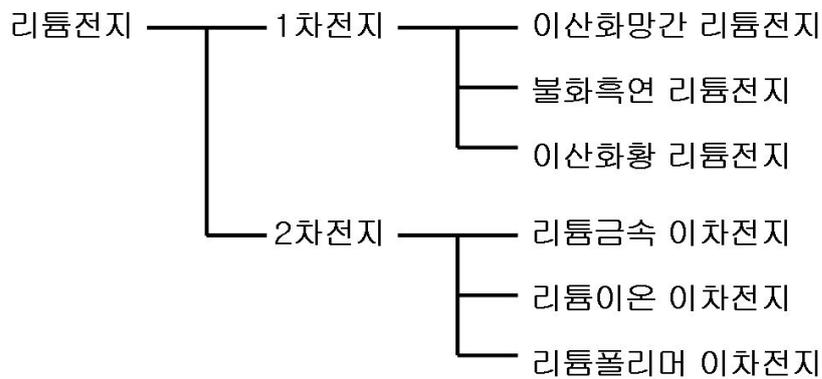


그림 2-46 리튬 계열 전지.

리튬이온 배터리는 그림 2-47과 같이 2차 배터리로써 리튬금속 배터리가 가진 안전성 문제를 해결하였으며 배터리의 충방전에 따른 재료의 용적변화가 적은 층간화합물을 사용하기 때문에 납(Pb), 카드뮴(Cd) 등을 이용한 전지에 비해 수명이 현저히 개선되었다. 또한 리튬이온 배터리는 분리막 사이로 리튬금속산화물로 이루어진 양극, 보통 흑연 등이 주로 쓰이는 탄소계 화합물로 음극이 구성되어 있으며 양극과 음극 물질 주변은 리튬염 등의 전해용액이 채워져 있고 내부 물질을 보호하기 Al 등의 재질로 된 외부 금속 캔이 있다. 배터리의 충전은 전기 신호가 인가되면 양극의 리튬금속산화물에서 나오는 리튬이온이 전해용액을 지나 음극 탄소계 화합물로 이동되면서 발생하는 전기를 통해 이루어지며, 반대로 리튬이온이 음극에서 양극으로

흐르게 되면 방전되어 대상체에 전원 공급을 하게되는 것이다.

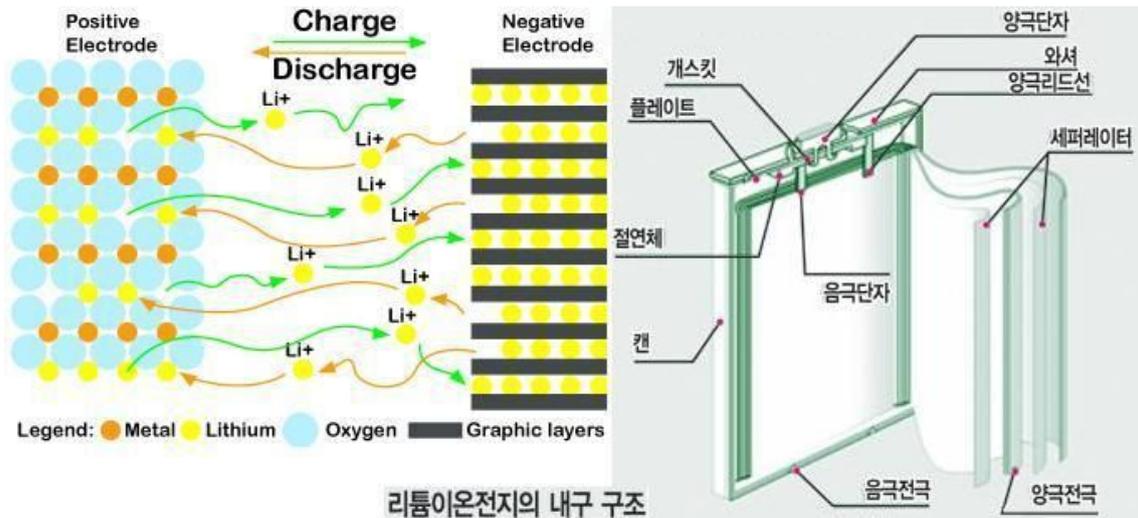


그림 2-47 리튬이온 배터리 구조.

(2) 리튬인산철 배터리(LiFePO4)

리튬이온 배터리는 음극에 탄소, 양극에 니켈(Ni), 망간(Mn), 리튬산화코발트(LiCoO2)를 많이 사용하며 코발트의 경우 가격이 매우 비싼 단점이 있다. 리튬인산철 배터리는 그림 2-48과 같은 구조를 가지며 타 리튬이온 배터리에 비해 3~4배 저렴하고 무독성일 뿐만아니라 친환경적인 물질이 사용되므로 적용성이 매우 높다. 또한 기존 리튬이온 배터리가 전기자동차의 배터리로 요구되는 사양 조건에서 양극에 사용되는 재료비가 높은점과 전기안전성 및 대량생산이 어려운 단점의 극복이 가능하여 최근 사용 비중이 비약적으로 높아지고 있다. 리튬인산철 배터리는 화학적으로 극히 안정되고 저가의 인산철이 주재료원이기 때문에 동급의 리튬이온 배터리보다 약 30% 원가를 절감할 수 있으며, 충전시간이 1시간 이내이다.

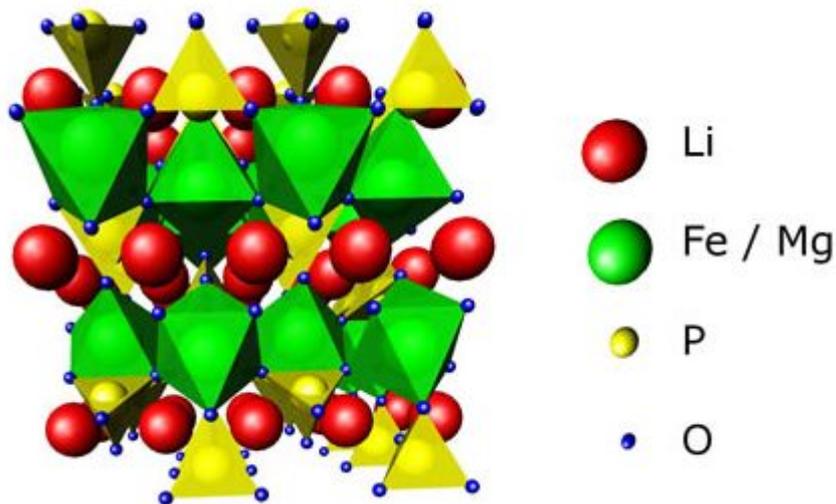


그림 2-48 리튬인산철 배터리 분자 구조.

리튬인산철 배터리는 그림 2-49와 같이 외부 에너지 유입에 따라 리튬인산철이 인산철과 리튬이온으로 분리되는 과정에서 충전작용이 발생되며, 방전의 경우에는 다시 이온반응에 의해 리튬인산철로 결합되는 과정에서 에너지를 발생시키게 된다. 리튬인산철 배터리의 제조는 액상으로 합성하여 고순도의 이차입자가 단결정인 나노입자의 획득이 가능한 수열합성법을 이용하며, 이차입자 표면에 균일한 카본코트층을 형성함으로써 높은 전도성을 가지게 한다. 이로 인해 고상반응법을 이용한 경우와 비교했을 때 충전용량 및 출력이 높으며 제품의 불균형 억제에 따른 안정된 품질 유지가 가능하다. 인산철은 170 mAh/g의 이론적인 비용량(specific capacity)과 함께 더 우수한 친환경성, 비독성, 안정성 등을 포함하며 저가의 철을 이용하여 가격면에서도 우위성을 가진다. 또한 현재 대다수 충전용에 사용되는 리튬계열 배터리의 양극의 LiCoO<sub>2</sub> 보다 전기 전도도가 상당히 높기 때문에 앞으로 사용 비율이 더욱 증가할 것으로 판단된다.

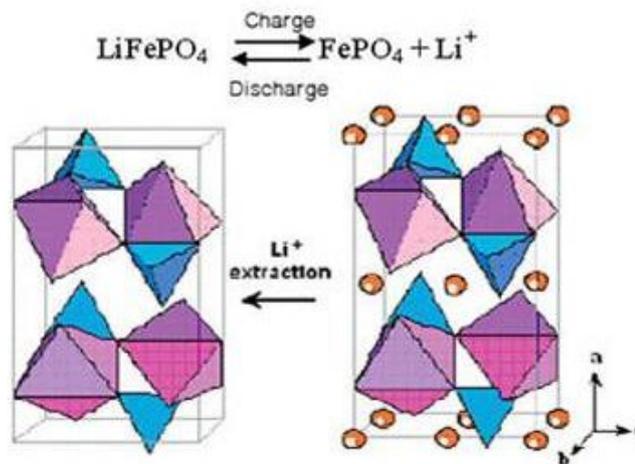


그림 2-49 리튬인산철 충전/방전 작용.

따라서, 본 연구에서는 리튬인산철로 배터리를 변경하였으며, 기존 사용되었던 니켈 계열에 비해 에너지 밀도가 중량대비 2배이며, 체적 대비 1.6배로 높아 트랙터 적용에 훨씬 더 유리할 것으로 판단된다. 또한 수명이 약 2,000 사이클(SOC 0~100%)이며 메모리 효과가 없고 내부 저항이 낮아 충전 효율이 높으며 고속의 충전이 가능한 장점이 있다. 안전성의 경우에도 현재 시판되는 배터리에 비해 상당히 우수하며 관통, 충격, 쇼트 등의 상황에서도 폭발이 없어 하이브리드 트랙터에 적용 시 효과가 매우 클 것으로 기대된다.

나. 배터리-BMS 시스템 개발

하이브리드 트랙터용 배터리는 리튬인산철로써 전압은 300 V, 전류는 10 Ah의 사양을 가지며, 방수, 방열, 내진동을 고려하여 배터리의 외부 케이스를 제작하였다. BMS는 표 2-6과 같이 측정 기능을 가지도록 개발하였다. Cell, Module, Pack에 대해서 보호 기능 및 알람 기능을 추가하였으며 SOC (State Of Charge)는 오차율 10% 이내로 산출이 가능하도록 설계하였다. 디지털 입/출력은 각각 8개씩 전체 16개로 구성되었으며 범용적인 통신을 위해 CAN 및 RS-232C 통신이 가능하게 하였다.

표 2-6 BMS 측정 기능

	Range	Accuracy
Cell 전압 (V)	-0.700 ~ 5.200	± 10mV
Pack Current (A)	-100 ~ 100	± 100mA
Cell Temp (°C)	-20 ~ 100	± 3°C

(1) 배터리-BMS 시스템 layout

전기 및 하이브리드 차량의 경우 배터리의 충/방전 상태에 따른 효율적인 관리가 필요하며 비정상적인 환경에 의해 배터리의 발화 및 폭발의 위험성이 있으므로 현재 배터리의 상태를 모니터링하고 제어할 수 있는 BMS가 필요하다. BMS는 현재 배터리의 잔존용량(State of Charge, SOC) 및 건강상태(State of Health, SOH)에 따른 효율적 사용, 비정상적 작동으로부터의 보호를 가능하게 해주며, 특히 하이브리드 트랙터의 경우 2차전지를 사용하여 열악한 작업조건에서 작업 시 배터리 상태의 지속적인 모니터링 및 제어가 필요하다. 따라서 하이브리드 트랙터의 배터리-BMS 시스템은 그림 2-50과 같이 구성하였으며 하단의 그림은 리튬인산철 배터리 팩 및 BMS이다.

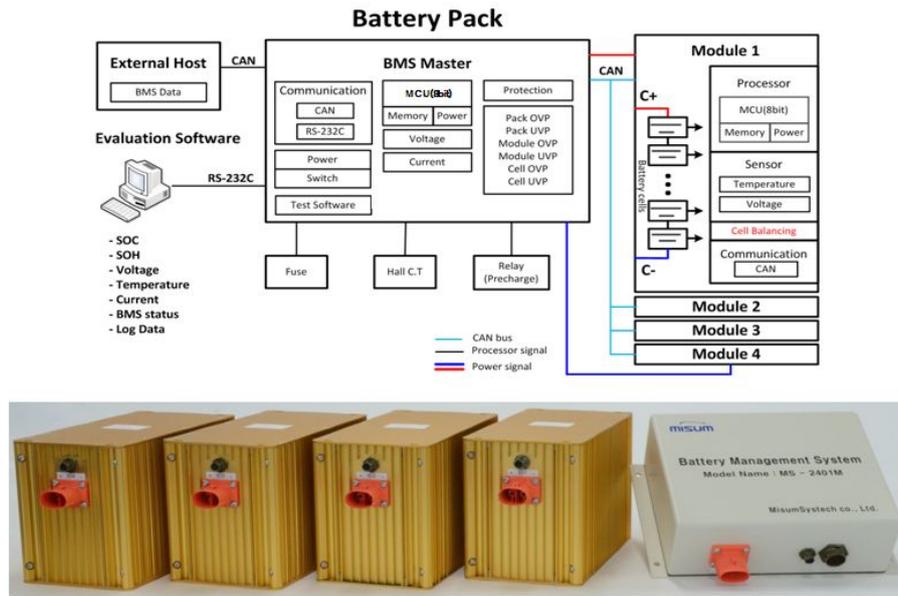


그림 2-50 하이브리드 트랙터 BMS 구성.

BMS는 Micro-Controller를 이용하여 모니터링 및 제어를 수행하며 고전압, 고전류의 작동 환경에서도 높은 신뢰도를 유지하기 위해 외부 릴레이를 이용하여 보호 동작을 수행하도록 설계 하였으며 Master BMS의 회로 및 제어전략은 그림 2-51과 같다. 각각의 모듈의 BMS는 그림과 같이 개발하였으며 동작전원의 경우 Pack module에서 60 ~ 86 V의 전원을 공급받아 전압을 Down시켜 사용하게 된다. Module BMS는 24개 배터리들의 온도와 전압을 측정하고 이를 master에 전송하게 되며, master에서 수신된 명령에 따라 설계된 cell balancing 기능 동작을 수행하게 된다.

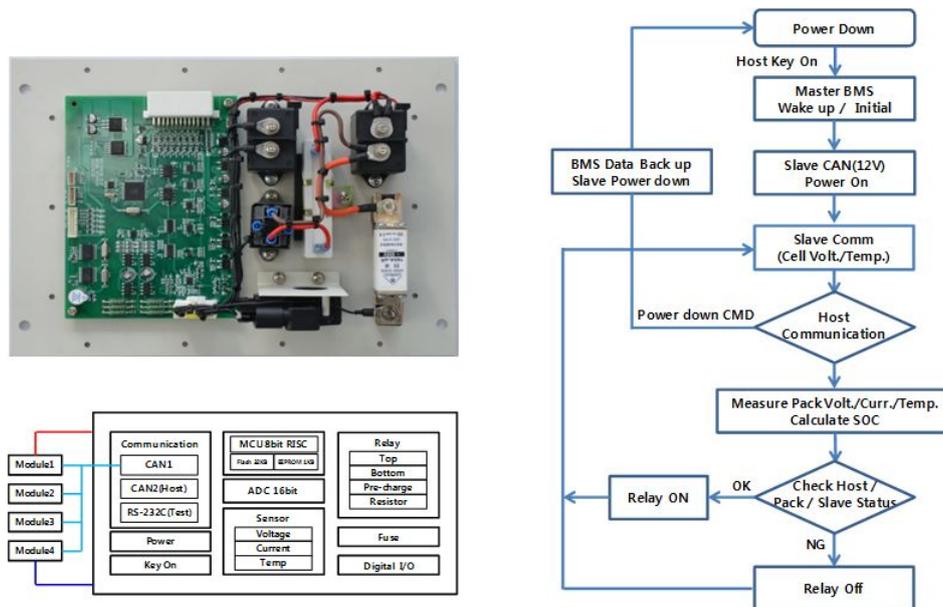


그림 2-51 Master BMS 개발.

(2) 주요 기능

안정적인 배터리 충/방전을 위해 하이브리드 트랙터 배터리의 사용 범위와 특성을 고려하여 모듈의 과전압 보호(module over voltage protection), 저전압 보호(module under voltage protection), 배터리 팩의 과전압 보호(pack over voltage protection), 배터리 팩 저전압 보호(module under voltage protection) 제어 사양을 표 2-7과 같이 결정하였으며, 과충전 방지(charge over current protection), 과방전 방지(charge under current protection), 고온 방지(over temperature) 및 팬 제어(fan control), 전류 소비(consumption current)에 대한 전기적인 제어 사양을 설계하였다.

표 2-7 BMS 주요 기능

ITEM		Unit	Typical value
Cell Over Voltage Protection	Detection Voltage	V	3.60
	Alarm Voltage	V	3.50
	Delay time	sec	5.00
	Release Voltage	V	3.45
Cell Under Voltage Protection	Detection Voltage	V	2.60
	Alarm Voltage	V	2.80
	Delay time	sec	5.00
	Release Voltage	V	2.90
Pack Over Voltage Protection	Detection Voltage	V	345.60
	Alarm Voltage	V	336.00
	Delay time	sec	5.00
	Release Voltage	V	331.20
Pack Under Voltage Protection	Detection Voltage	V	249.60
	Alarm Voltage	V	268.80
	Delay time	sec	5.00
	Release Voltage	V	278.40
Unbalance Operating Voltage	Operating Condition	mV	Cell Diff. Volt 50mV over or Cell Volt. 3.45V over
	Balancing Resistor	Ω	10
	Release Condition	mV	Cell Diff. Volt 5mV Under
Charge Overcurrent Protection	Detection Current	A	25.00
	Alarm Current	A	22.00
	Delay time	sec	5.00
	Release Condition	sec	10 sec
Discharge Overcurrent Protection	Detection Current	A	25.00
	Alarm Current	A	22.00
	Delay time	sec	5.00
	Release Condition	sec	10 sec
Cell Overtemp Protection	Detection Temp	℃	50.0
	Alarm Temp	℃	45.0
	Delay time	sec	5.00
	Release Temp	℃	45.0

### (3) BMS 설계

#### (가) 구성부품 설계

BMS의 보호 기능 및 제어를 위해 사용된 릴레이는 대용량의 전원을 제어해야 한다는 점과 동작의 내구성 및 신뢰성을 고려하여 그림 2-52와 그림 2-53과 같은 2 종류를 사용하였으며 배터리 온도 측정을 위한 센서는 그림 2-54와 같이, 저항은 그림 2-55, 퓨즈는 2-56과 같이 선정하였다.

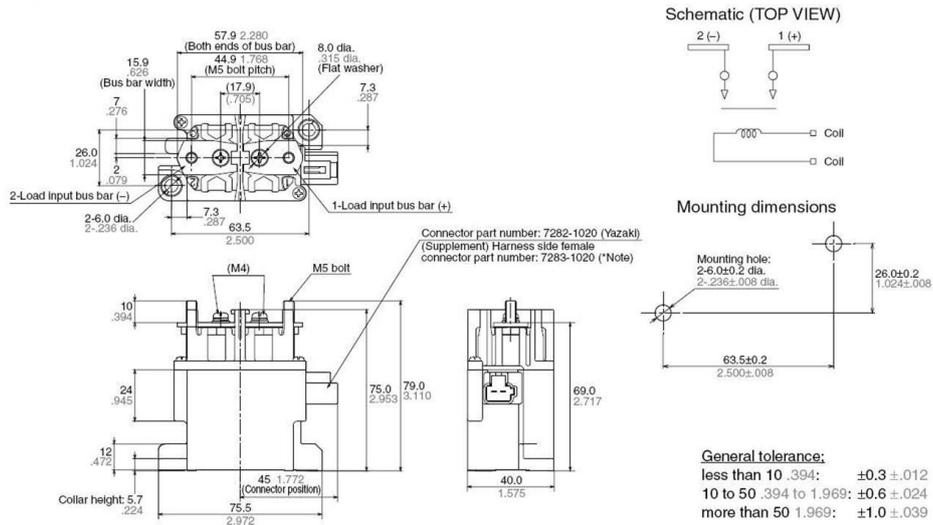


그림 2-52 BMS 릴레이(AEV18012).

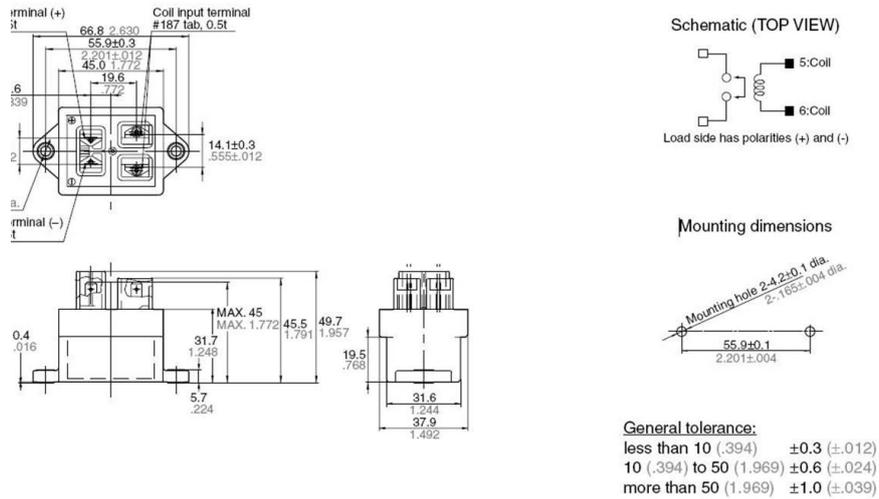


그림 2-53 BMS 릴레이(AEV110122).

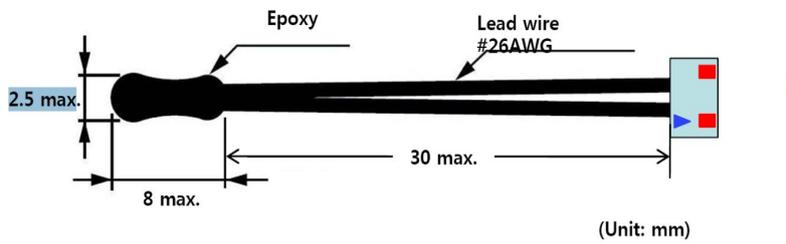
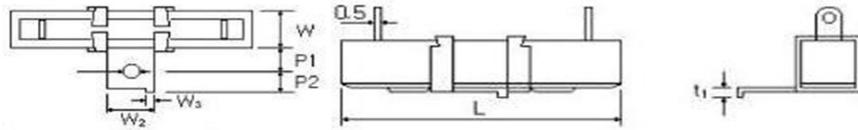
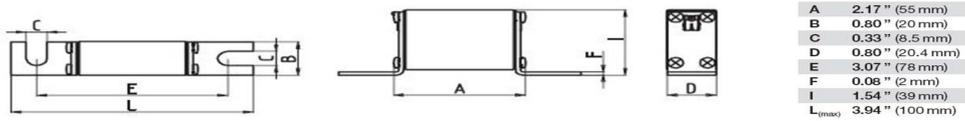


그림 2-54 온도 측정 센서.



Type	Power Rating	Resistance Range(Ω)	Dimensions(mm)						
			L±1.5	W±1.0	W <sub>2</sub> ±0.2	W <sub>3</sub> ±0.2	P <sub>1</sub> ±0.2	P <sub>2</sub> ±1	t <sub>1</sub>
RGR 15L	15W	0.05~800	48	12.5	12	2.7	8	6	0.6
RGR 20L	20W	0.05~1k	63.5	12.5	12	2.7	8	6	0.6
RGR 30L	30W	0.10~1.2k	75	19	18	2.7	10	8	0.6
RGR 40L	40W	0.10~1.5k	90	19	18	2.7	10	8	0.6

그림 2-55 저항 사양.



A	2.17" (55 mm)
B	0.80" (20 mm)
C	0.33" (8.5 mm)
D	0.80" (20.4 mm)
E	3.07" (78 mm)
F	0.08" (2 mm)
I	1.54" (39 mm)
L <sub>max</sub>	3.94" (100 mm)

그림 2-56 퓨즈 사양.

(나) BMS 핀 layout

BMS의 회로의 CAN, RS232C, 마이크로 컨트롤러, 제어 신호 및 배터리 모니터링 등을 위한 핀 레이아웃은 그림 2-57와 같이 각각의 역할 및 특성에 따라 CN 1 ~ CN 9의 터미널 (terminal)로 나누었으며, CN 1은 마이크로 컨트롤러의 제어 및 측정 신호, CN 2는 RS232C 통신, CN 3는 LED 제어, CN 5는 전원 제어, CN 6는 CAN 통신 및 다른 장치와의 제어, CN 7은 모듈 및 팩의 전압 정보, CN 8와 CN 9는 배터리의 온도 모니터링 및 제어 동작을 수행한다.

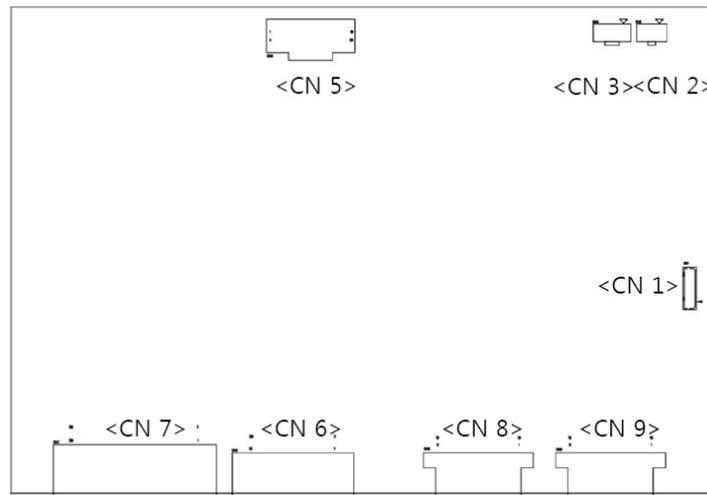


그림 2-57 BMS의 터미널 및 핀 구성.

(4) BMS 1차 시작품 개발

BMS의 회로는 그림 2-58과 같이 셀(cell)의 전압, 전류 상태 측정 및 제어를 위한 전압 측정부(voltage sensing)와 전류 측정부(current sensing), 배터리의 온도 제어를 위한 온도 측정부(temp sensing), 외부 장비와 통신 및 모니터링을 위한 통신부(MCU&CAN communication)와 전체 BMS의 제어를 위한 마이크로컨트롤러부(main S/W)로 구성되었다. 또한 메모리의 경우에는 128 kbyte의 내장형 Flash ROM으로 구성하여 배터리 제어와 관련된 프로그램을 저장하였다.

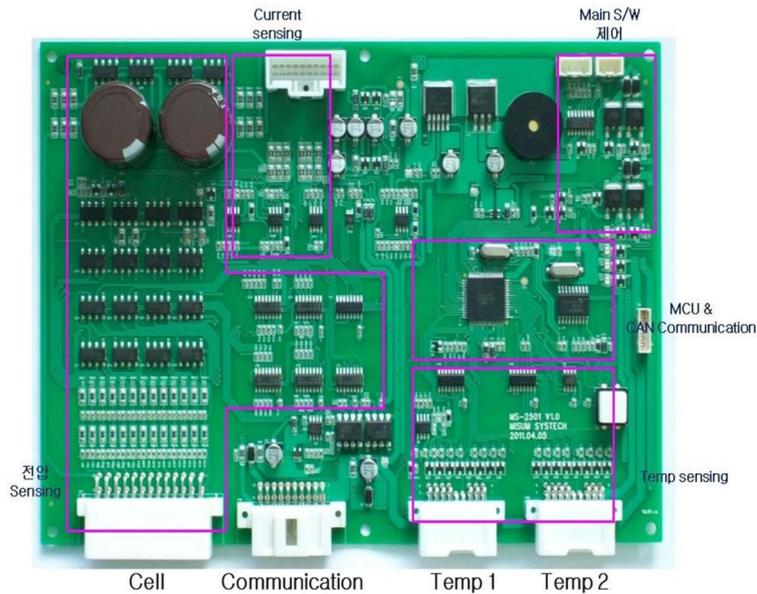


그림 2-58 BMS 회로 구성.

그림 2-59는 개발된 BMS의 시작품으로 케이스를 제거한 상태이다. 540 × 220 (L × W)의 밀판 위에 BMS회로 및 전원 제어를 위한 릴레이를 배치하였으며 전원과 통신을 위한 터미널은 선의 간섭을 고려하여 측면에 분산하여 배치하였다. 시작품의 커넥터(connector)는 self interface connector와 module/enviroment interface connector가 있으며 self interface connector는 BMS 펌웨어(firmware)의 업데이트를 위한 ISP (In System Programming)와 BMS 모니터링 GUI 인터페이스를 위한 RS232 커넥터로 구성되었다. module/enviroment interface connector의 경우에는 모듈 및 배터리 팩의 전압/전류 모니터링을 위한 커넥터, CAN을 위한 커넥터, 전원 제어를 위한 커넥터, 온도 모니터링 및 팬 제어를 위한 커넥터 등으로 구성되었다.

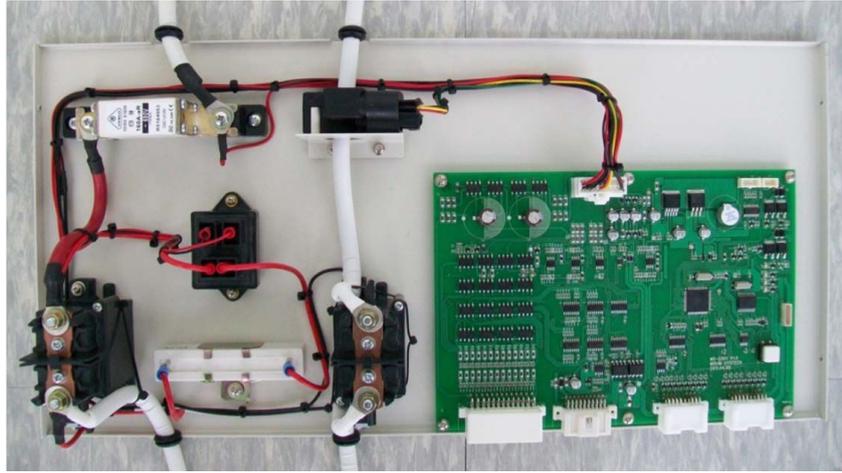


그림 2-59 BMS 시작품.

#### (5) BMS 최적화

트랙터 장착성을 고려하여 BMS 1차 시작품 내부 릴레이 등의 BMS 구성요소를 최적 배치 하였으며 그림 2-60과 같이 1차 시작품에 비해 부피를 감소시켰다. 전원과 통신을 위한 선 및 터미널이 설치되는 커버 측면의 공간을 이용하였으며 실차 장착성을 고려하여 추가로 외관 및 커넥터 등을 수정, 보완할 예정이다.



(a) 1차 시작품

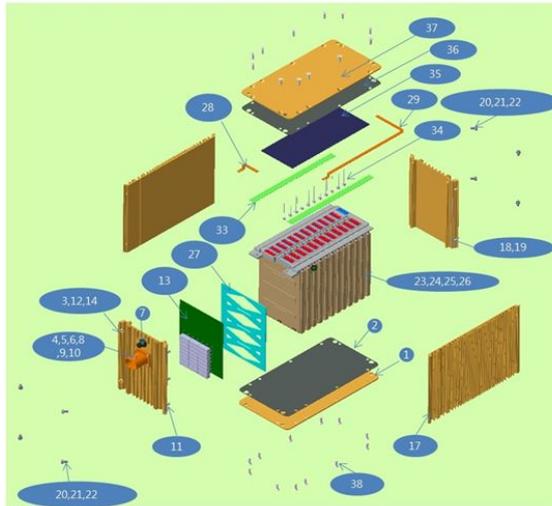


(b) 2차 시작품

그림 2-60 BMS 시작품.

#### (6) 배터리 팩(battery pack) 설계

리튬인산철 배터리 팩은 그림 2-61와 같이 설계하였으며 트랙터 하이브리드 시스템 사양에 적합하게 총 4개를 연결하여 사용하였다. 배터리 팩은 방열 및 환경이 고려된 조건에서 최소한의 부피 및 중량을 결정하여 이를 기준으로 구성 부품을 선정하였다.



구분	품목	수량
1	Bottom case	1
2	Gasket	1
3	Front case	1
4	LS UM040B	1
5	Ring Terminal	4
6	수축튜브	4
7	Signal Jack(M53114 JACKNUT)	1
8	Screw M5 x 16 (통근접시 머리 보안나사)	4
9	RUBBER WASHER	4
10	Cap Nut M5	4
11	지지대 Bolt	6
12	O-RING BAR	2
13	B.M5 SLAVE PCM	1
14	Thermal PAD Front	1
15	SCREW M3 X 6 (별외사 삽자나사)	6
16	별 외사	6
17	Side Case	2
18	Back case	1
19	O-RING BAR	2
20	Spring Washer M5	8
21	Screw M5 x 12 (통근접시 머리 별나사)	8
22	Screw M5 x 12 (접시 머리 별나사)	12
23	Cell Unit	12
24	Terminal A	1
25	Terminal B	10
26	Terminal C	1
27	Partition	1
28	Plus Bus Bar	1
29	Minus Bus Bar	1
30	Screw M4 x 16	2
31	Spring Washer M4	4
32	Flange Nut	2
33	Sub PCB	2
34	Thermister	6
35	Thermal PAD Top	1
36	Gasket	1
37	Top Case	1
38	Screw M5 x 12 (접시 머리 별나사)	12

그림 2-61 배터리 팩 상세 분해도.

리튬인산철 배터리 팩은 기구 내구력에 초점을 두고 그림 2-62와 같이 공정을 개발하였으며 전극 접합은 피로, 인장강도가 초음파, spot 등의 타 용접방법보다 강한 장점이 있는레이저 용접을 이용하였다. 배터리 케이스는 삼각 압착 공정법으로 볼트를 체결하여 진동에 강하게 개발하였으며, 이를 통해 각 cell에 일정한 압력이 가해져 열전달 및 팩의 효율성을 향상시켰다.

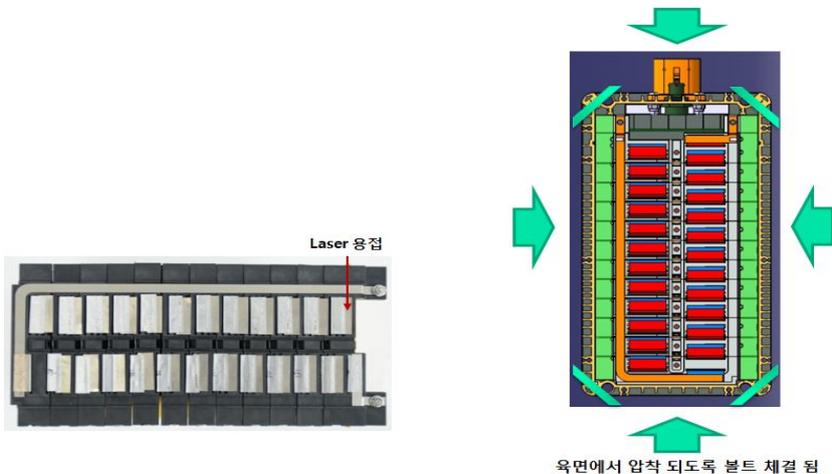
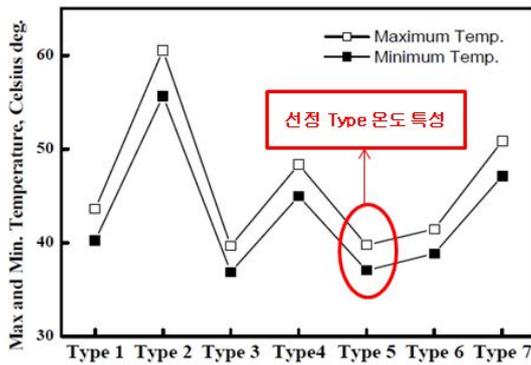


그림 2-62 배터리 팩 공정.

배터리 팩의 케이스 설계를 위해 열전도 시뮬레이션을 실시하였으며 각각의 케이스 타입 별 ANSYS 시뮬레이션을 그림 2-63과 같이 7개의 타입의 형상을 대상으로 수행하였다. 열전도 시뮬레이션 결과 그림 2-64와 같이 타입 3과 타입 5가 비슷한 열전도 특성을 보여주고 있지만 제조 원가 및 품질관리 기준으로 분석했을 때 타입 3의 경우보다 타입 5가 적용에 더 유리함을 알 수 있다.

Sort	Cooling fin	형상
Type 1	- 온도분포를 고려한 냉각핀의 부착 - 중앙을 기준으로 대칭형	
Type 2	- 냉각핀 미부착	
Type 3	- 일정한 간격의 냉각핀 부착	
Type 4	- 온도분포를 고려한 냉각핀의 부착 - 최고온도 지점을 기준으로 대칭형 - 케이스 전후부에 냉각핀 미부착	
Type 5	- 온도분포를 고려한 냉각핀의 부착 - 중앙을 기준으로 대칭형인 케이스 전후부는 등간격	
Type 6	- 온도분포를 고려한 냉각핀의 부착 - 중앙을 기준으로 대칭형 - 케이스 전후부에 냉각핀 미부착	
Type 7	- 온도분포를 고려한 냉각핀의 부착 - 최고온도 지점을 기준으로 대칭형 - 케이스 전후부에 냉각핀 미부착	

그림 2-63 열전도 시뮬레이션 대상 타입 선정.



< Case Type 별 온도특성 >

< 선정 Case Type5 형상 >

그림 2-64 열전도 시뮬레이션 결과.

### (7) 모니터링 프로그램 개발

배터리-BMS 시스템의 전압, 전류 및 온도의 모니터링, 진단에 의한 최적 유지관리, 안전한 영을 위한 경고 및 사전 안전예방 조치, 데이터 보전 및 시스템 진단기능이 가능한 모니터링 프로그램을 개발하였으며 배터리의 시험 환경에 따른 프로그램의 동작은 그림 2-65와 같다. 그림 2-65의 1), 2), 3), 4), 5), 6), 7)은 각각 모니터링 프로그램의 set condition, select target, status flag, information, cell balancing, 데이터 표시, 그래프 부분을 나타낸다. Set condition은 프로그램과 메인 컨트롤러 간 polling time에 따라 data를 저장할 수 있게 해주며, start/stop 버튼을 실행할 경우, 설정된 통신주기에 따라 메인 컨트롤러와 통신을 시작/중지할 수 있다. Select target는 master 및 slave의 현재 상태를 모니터링해주는 부분이고, status flag는 메인

컨트롤러의 현재 상태 모니터링을 수행하여 정상일 경우 백색, 비정상일 경우 노란색으로 경고 표시를 나타내준다. Information은 각 cell 전압 중 최대, 최소값 및 최대와 최소 차이 값을 표시 해주면, 최대 온도도 알려준다. Cell balancing는 module의 balancing 동작 상태를 표시해주며 데이터 표시 부분은 cell 케이스 내부 축으로 위치한 6개의 서미스터(thermistor)를 통해 측정된 온도를 표시해준다. 이때 서미스터 온도측정 부위는 그림 2-66과 같이 선정하였다. 프로그램의 그래프 부분은 다양한 형태로 표시가 가능하여 실시간 분석이 용이하게 하였다.

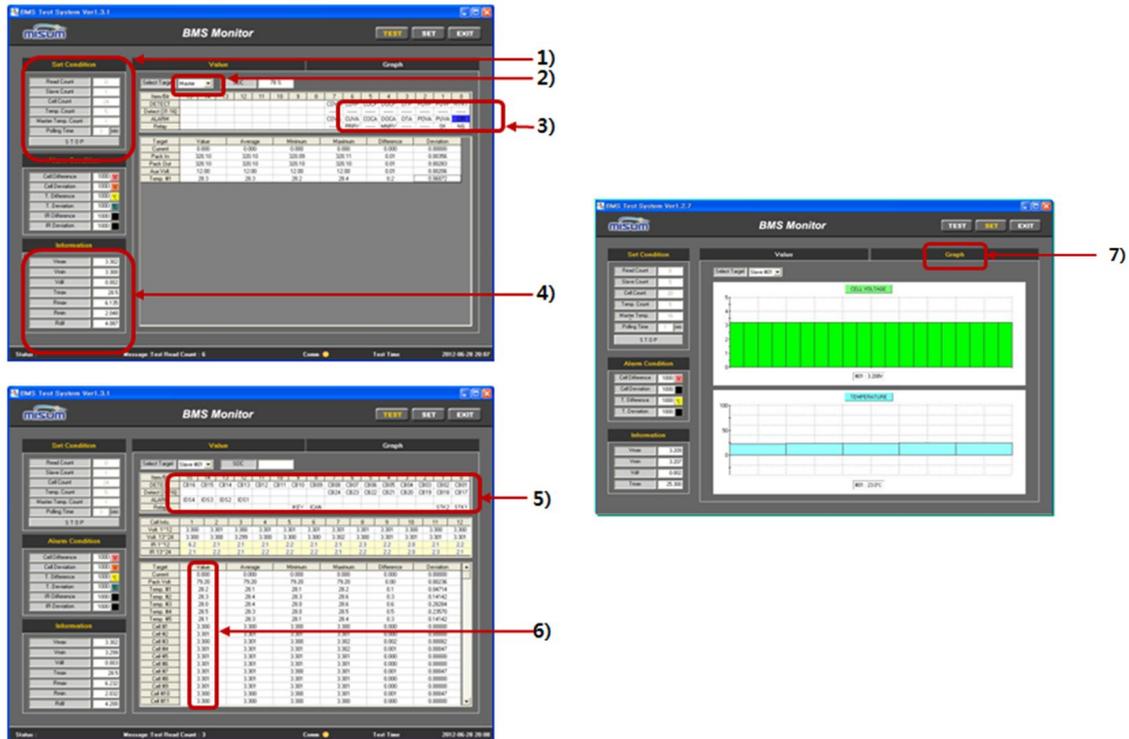


그림 2-65 모니터링 프로그램 동작과정.

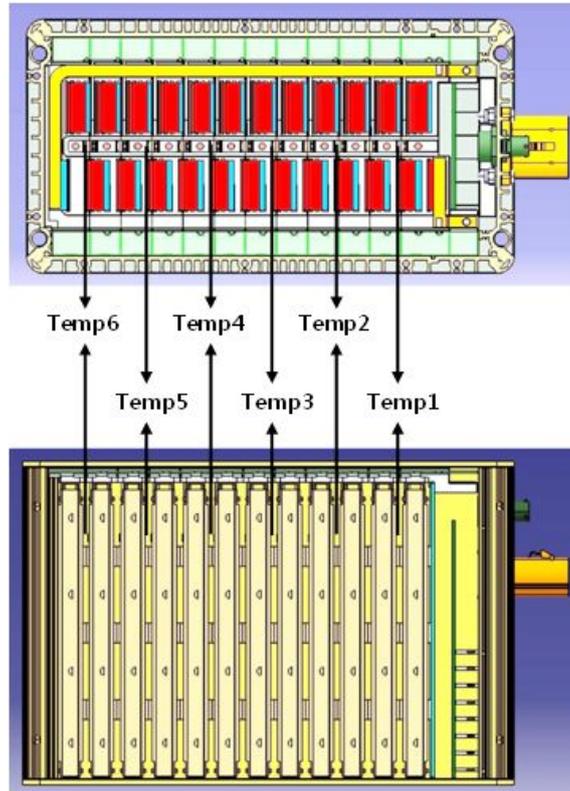


그림 2-66 배터리 팩 온도 측정 부위.

#### (8) 배터리-BMS 일체형 개발

기존 시작품들을 통해 배터리 팩, BMS 및 각각의 부품의 통합 성능이 목표에 만족하였다. 하지만 배터리 팩의 경우 4개이기 때문에 개발 후 양산 시 장착에서 분리하며 BMS와 배터리 간 결선이 외부로 노출되어 있다는 위험성이 있다. 이로 인해 안전장치가 되어있다고는 하나 실제 농작업에서 외부로 노출된 고전압 선에 의해 사고(사용자의 과실에 의한)로 이어질 수 있기 때문에 2차 시작품으로 배터리 팩 일체형을 개발하였다. 2차 시작품은 그림 2-67과 같이 기존 별도 제품이었던 BMS가 배터리 팩 상위에 장착되어 있으며, 4개의 팩은 각각의 셀 단위로 분리되어 적층되어 있다. 각각의 셀과 BMS는 내부에서 서로 결선되어 전력의 이동이 있으며 케이스 밀봉 후에는 커넥터를 제외한 나머지 결선은 외부로 노출되어 있지 않다. 배터리 팩의 외관은 방열 기능 향상을 위해서 핀 형식의 표면을 가지고 있으며 위, 아래 부분을 제외하고 모두 같은 형태를 보이고 있다. 측면 중 한 부분 상단에 커넥터를 배치하였다.

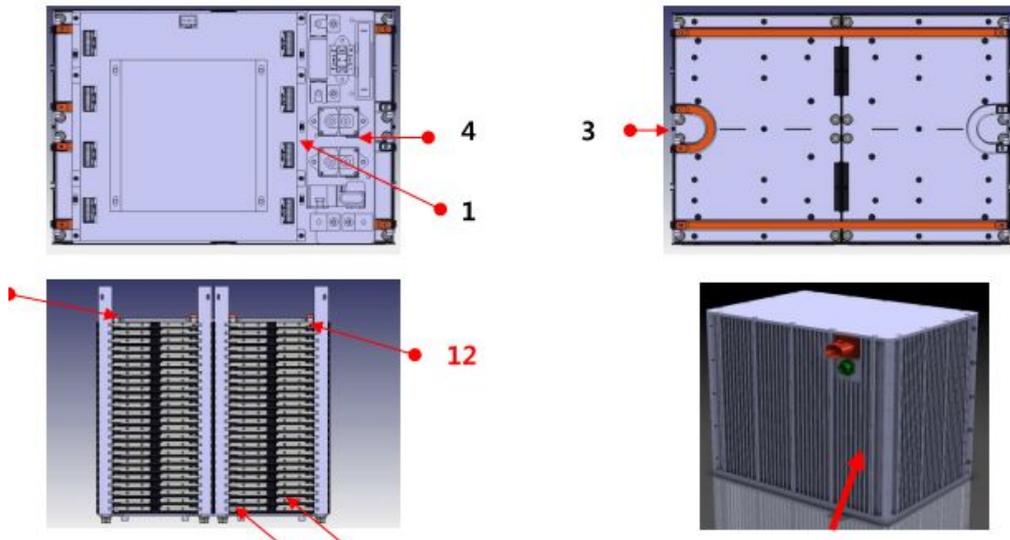


그림 2-67 배터리 팩 2차 시작품 설계.

2차 시작품의 장착부는 그림 2-68과 같이 기존에 보조배터리가 있던 캐빈 아래 step 부분이 다. 배터리 팩 장착을 위해 기존 유압 실린더 및 호스를 재배치하였으며 배터리 팩의 고정을 위해 양측면 외에 하단 부분에도 볼팅 방식으로 고정하게 하였다.

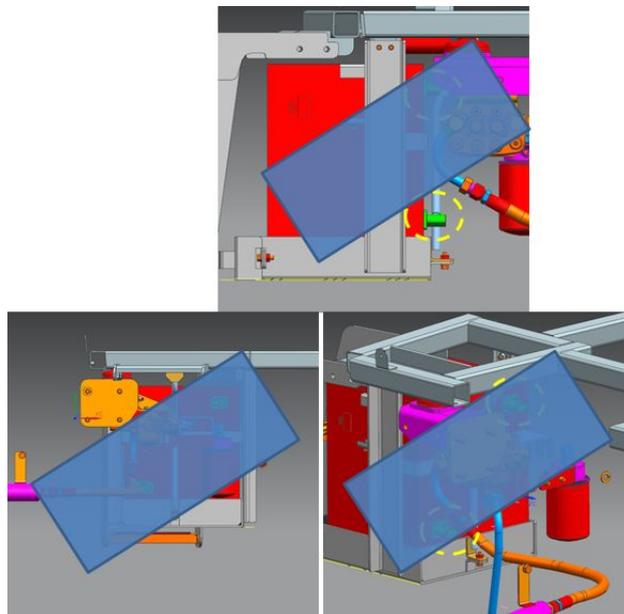


그림 2-68 배터리 팩 2차 시작품 장착.

배터리 팩의 커넥터는 표 2-8과 같다. 커넥터는 모두 2종류로 CAN 통신을 위한 것과 배터리 DC 전력라인을 위한 것으로 구성되었다.

표 2-8 배터리 팩 2차 시작품 커넥터 사양.

Tractor BMS(Master) 외부 결선 사양				
Function	Pin Name	Normal	Peak	Comment
CAN Comm.	CAN H	4.5V, 50mA	.	Input / Output
	CAN L			
CAN Power	12V	12V, 100mA	.	Input
	GND			
AUX Power	12V	12V, 1A	12V, 3A @ 100ms	Input
	GND			
Battery DC	DC+	350V, 30A	.	Input / Output
	DC-			

MCU와 같이 배터리 4개가 하나로 통합되었기 때문에 발열 성능 분석이 필요하며 그림 2-69와 같이 배터리 팩 자체 발열 성능을 테스트하였다. 시험은 차량 장착 상태와 비슷한 상황에서 차량에 의한 열전도가 없다는 가정하에 자체 발열량을 확인하기 위한 목적으로 실시하였으며, 실제 장착 상태와 유사하도록 배터리 팩의 6면 중 5면(바닥면 포함)을 단열하였다(실제 차량에서도 스텝 방향은 오픈 상태임). 시험 조건은 실내온도 32도, 엔진 회전수 약 2,000rpm이며 상기 조건에서 연속으로 충전(약 17분) ↔ 방전(약 12분) 반복 실시하였다. 시험 결과 약 50도 이상까지 상승되어 기준은 만족하였으나 최적화 된 자리 배치 및 열 관리가 필요할 것으로 판단된다.



그림 2-69 배터리 팩 2차 시작품 발열 분석.

#### 4. 하이브리드 시스템 성능평가

##### 가. 하이브리드 시스템 충전 성능평가

하이브리드 시스템 핵심부품 구동모터/발전기, MCU, 배터리-BMS의 성능평가를 위해 그림 2-70과 같이 AC다이내모를 이용하여 성능평가 시스템을 구성하였다. 엔진, 모터/발전기는 직결로 연결하고 구동 샤프트를 이용하여 엔진 다이내모에 연결하였으며 MCU, BMS, 배터리 팩은 AC다이내모 동작에 따른 진동, 충격, 고열 등에 따른 파손을 방지하기 위해 거리를 두고 설치하였다. 시험은 모터/발전기의 발전동작을 우선 수행하여 배터리를 충전시켰으며 이 과정에서 엔진-모터의 토크 감소, 충전 성능 및 배터리 전압을 측정하였다. 이때 배터리는 20~80% 범위에서 동작시켰다. 배터리 충전이 완료된 후 연속으로 모터/발전기의 토크 어시스트를 수행하기 위해 엔진 회전방향으로 모터/발전기를 구동시켰으며, 이 과정에서 엔진-모터의 토크 향상, 방전 성능 및 배터리 방전에 따른 배터리 전압을 측정하였다. 시험 결과를 통해 배터리 SOC level의 추정 알고리즘 성능을 평가 및 검증하였으며, 이를 통해 향후 알고리즘 최적화를 수행할 예정이다.

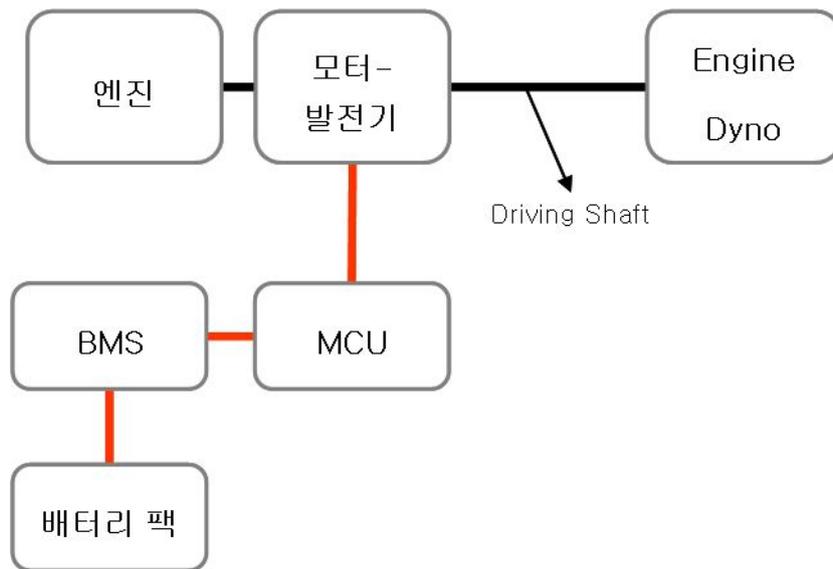


그림 2-70 하이브리드 시스템 충전-방전 시험 시스템 구성.

##### (1) 구간별 토크 변화

하이브리드 시스템의 충전 성능은 그림 2-71과 같이 나타났다. 충전구간에서는 MCU의 충전 제어에 따라 모터/발전기가 발전하였으며, 이에 따라 엔진-모터의 토크가 서서히 배터리 충전으로 인해 서서히 감소되었다. 토크는 최대 22 Nm가 소요되었으며, 충전에 필요한 시간은 22분이 소요되었다. 이때 충전 성능은 약 85% 수준으로 실시되었다. 충전시험 종료 후 연속으로 모터/발전기 토크 어시스트를 위한 배터리 방전 제어를 수행하였으며 MCU의 제어 명령에 따라 토크가 급격히 상승하여 약 30 Nm의 토크를 추가로 발생시켰다. 토크 어시스트 시간(방

전 시간)은 약 14분으로 나타났으며 이때 방전 성능은 100%로 수행하였다. 시험결과 정상적인 토크 어시스트가 가능함을 알 수 있었으며, BMS의 SOC 검출 알고리즘의 최적화를 통해 토크 어시스트 시간을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 충전 시간의 경우에도 충전 알고리즘의 최적화를 통해 충전시간 단축이 가능할 것으로 기대된다.

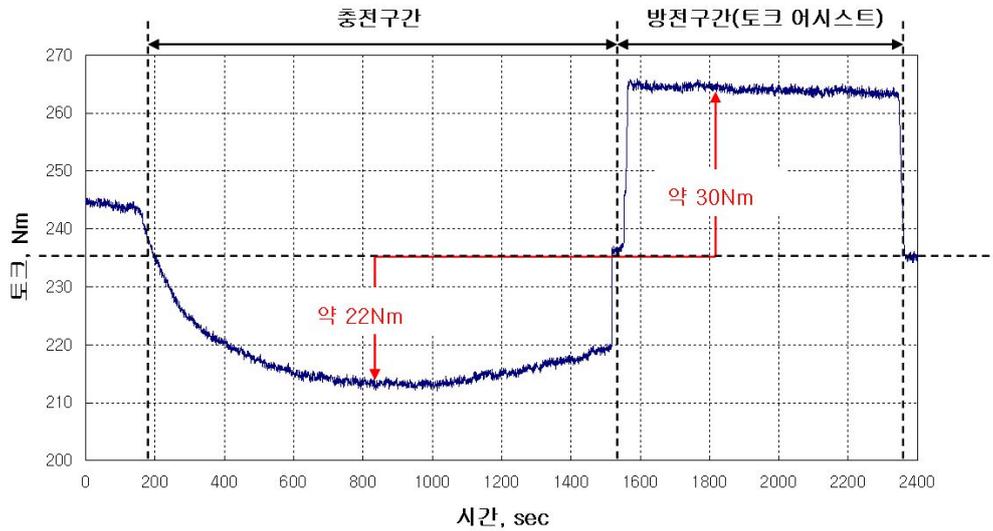


그림 2-71 구간별 토크 변화.

## (2) 배터리 충방전 성능

하이브리드 시스템 충방전에 따른 배터리의 성능을 평가하였으며 그 결과 충전구간, 방전구간의 배터리 cell 및 pack 전압 변화는 각각 그림 2-72, 2-73과 같이 나타났다. 배터리 충전은 SOC level이 약 20%에서 시작하였으며 80%까지 충전 후 시험을 종료하였다. 배터리를 충전함에 따라 전압이 서서히 증가함을 알 수 있는데 이는 배터리 SOC level에 따라 효율의 차이가 발생됨을 알 수 있다. 충전구간 동안 배터리 SOC 변화 및 입력 전압, 전류가 허용범위 내로 관찰되었으며 BMS Sensing 상태, BMS 및 MCU 간 CAN 통신 상태도 정상적으로 동작함을 확인하였다. SOC level 20% → 80% 충전동안 배터리의 이상 상태가 발생되지 않았으며 cell 최고온도는 39℃로 관찰되어 안정적인 충전동작이 가능함을 확인할 수 있었다. 배터리의 방전 동작에서도 SOC level의 변화에 따라 입력 전압의 차이가 발생되었으며 80% → 20%의 구간 동안 배터리에 이상이 없음을 확인하였다. 이때 배터리의 최대 온도는 36℃로 충전에 비해 낮게 관찰되었다.

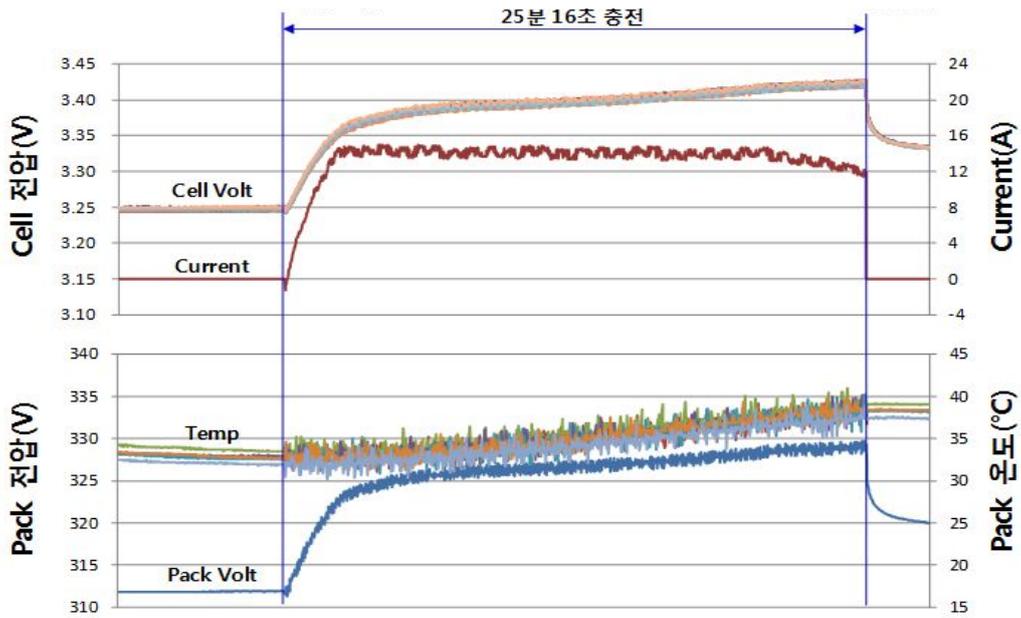


그림 2-72 충전구간 배터리 cell 및 pack 전압 변화.

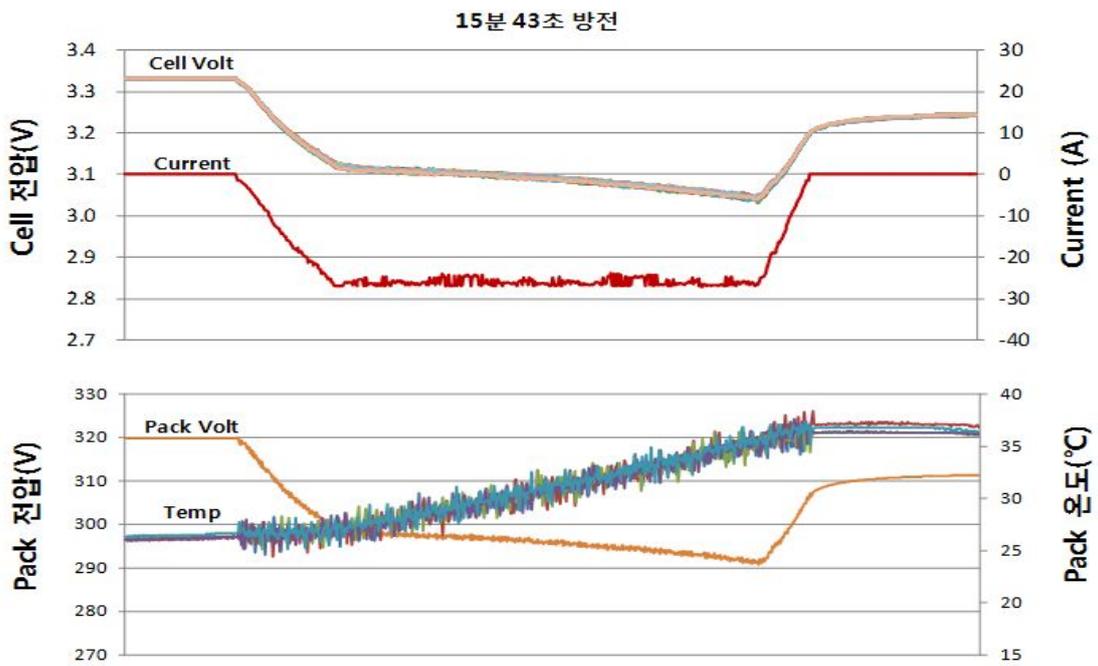


그림 2-73 방전구간 배터리 cell 및 pack 전압 변화.

### 제 3 절 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

#### 1. 시뮬레이션 모델 layout 설계 및 작업 모드 개발

##### 가. 시뮬레이션 모델 layout 설계

##### (1) 트랙터 제원

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 본 연구에서는 71kW(95마력)급 4륜구동 중형 트랙터(L7040, LSmtron)와 동일한 사양의 시뮬레이션 모델을 먼저 설계하였다. 트랙터 사양은 표 3-1과 같이 크기 4,000(L) × 2,677(W) × 2,640(H) mm, 무게 3,260 kg로 엔진 정격출력은 2,300 rpm에서 71 kW이며 이때 PTO 출력은 65 kW이며 변속기는 기계식 수동변속기로 이론 동력전달효율은 85 ~ 95%이다.

표 3-1 트랙터 시뮬레이션 모델 사양

Item		Specification
Length × Width × Height (mm)		4,000 × 2,677 × 2,640
Weight (kg)		3,260
Engine	Rated power (kW)	71 @2,300 rpm
PTO	Rated power (kW)	65
Hydraulics	No. of pump	2 (main pump, auxiliary pump)
	Max. pressure (MPa)	20.6
	Pump displacement (cc/rev)	12 (main pump), 6 (auxiliary pump)
	Volumetric efficiency (%)	95

##### (2) 시뮬레이션 모델 layout

트랙터 시뮬레이션 모델은 차량의 운전 모드에 따라 시뮬레이션이 가능한 상용 프로그램인 Autonomie (version 1210, Argonne, USA)를 사용하였다. Autonomie는 범용으로 사용가능한 Matlab Simulink를 기반으로 구축하여 차량의 구성요소 및 구조에 따른 다양한 라이브러리를 가지고 있는 시뮬레이션 프로그램이다.



그림 3-1 트랙터 시뮬레이션 프로그램(Autonomie 1210).

(가) 일반 트랙터 모델

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 그림 3-2와 같이 71kW 디젤 엔진 트랙터 모델을 구성하였다. 기본적인 모델의 구성은 오토노미에서 제시한 기존 차량 모델의 구조 및 사양을 변경하여 설계하였으며, 트랙터의 특성에 따라 엔진(Engine)에서 발생한 동력 중 변속기 입력축, PTO 입력축, 유압펌프에서 발생한 작업 부하에 의해 동력 손실이 일어나도록 부하 요소를 설정하였다. 변속기는 트랙터 단수가 총 12단이며 기계식 변속기의 이론 동력전달 효율이 85~95%임을 고려하여 단수 별로 90%의 기어효율을 적용하였으며 구동차축의 동력은 트랙터의 앞바퀴와 뒷바퀴의 직경을 고려하여 동력 소모가 이루어질 수 있도록 하였다. 차체의 무게는 해당 트랙터의 무게 3,260 kg에 농작업별 작업기의 무게를 추가하여 설정하였다.

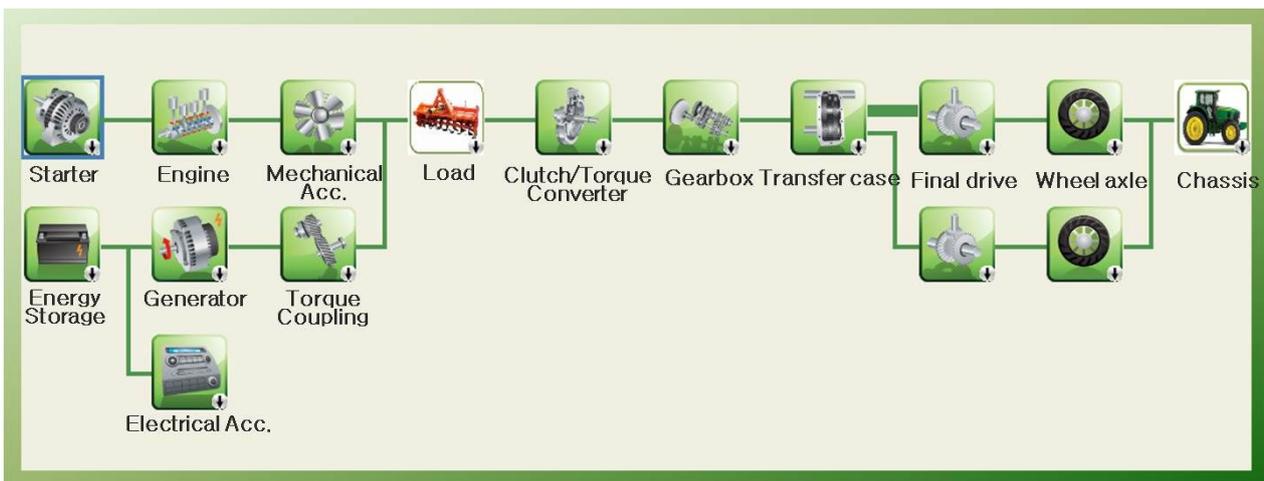


그림 3-2 트랙터 시뮬레이션 모델의 구조.

(나) 하이브리드 트랙터 모델

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 기본적인 구조는 그림 3-3과 같이 일반 트랙터 모델

과 매우 유사하며 차체, 엔진, 변속기, 구동축의 설계 사양은 일반 트랙터 모델과 동일하게 설계하였으며 엔진의 토크 어시스트(assist)를 위해 발전기 부분을 모터/발전기로 대체하였다. 하이브리드 트랙터 모델 개발 시 사용된 모터/발전기는 7.4 kW 급으로 정격 출력은 7.4 kW, 정격 회전수는 2,300 rpm이며, 정격 토크는 30.63 N·m 이다.

시뮬레이션 모델의 구성은 엔진에서 발생한 동력은 PTO 소모동력과 변속기 입력축의 소모동력으로 분배가 이루어지도록 하였으며 엔진의 동력이 71kW 이상이 필요한 경우 모터를 통해 토크를 어시스트 할 수 있도록 설계하였다. 변속기 효율은 일반 트랙터 변속기 효율과 동일하게 적용하였으며 차축의 경우 일반 트랙터와 마찬가지로 앞바퀴와 뒷바퀴의 직경을 고려하여 동력 소모가 이루어질 수 있도록 하였다. 차체의 무게는 트랙터 무게 1,584 kg에 각 작업기 및 모터의 무게를 추가하여 설정하였다.

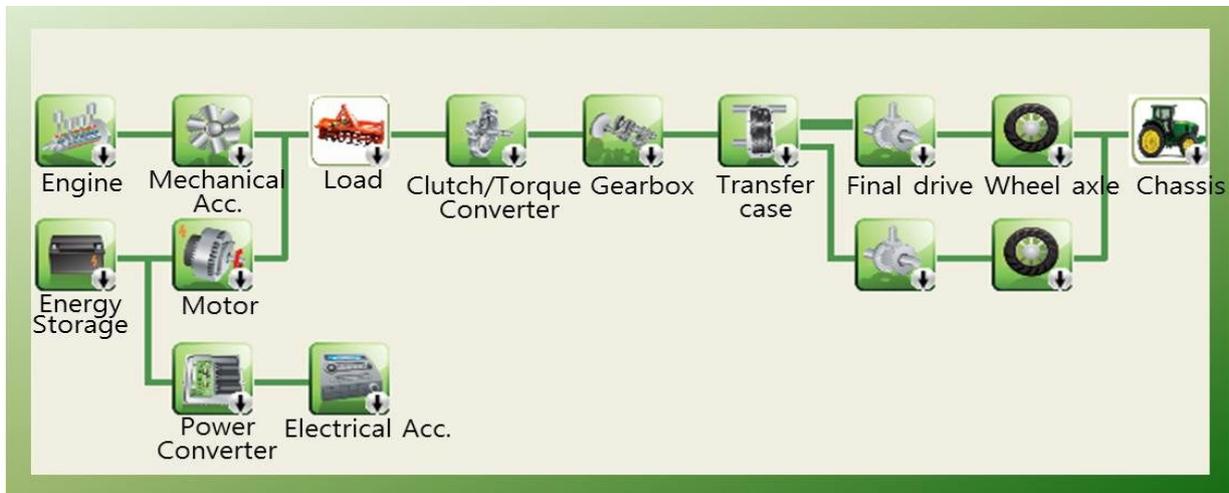


그림 3-3 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 구조.

하이브리드 트랙터의 제어전략은 트랙터 엔진에 71kW 이상의 동력이 요구될 경우 모터를 통해 토크를 어시스트 해주는 방식으로, 엔진의 소요동력에 따른 모터의 구동 전략은 그림 3-4 와 같이 구성하였다. PTO 입력축과 유압 펌프에 의해 발생하는 부하를 엔진 회전수로 나누어 요구되는 토크를 계산하고, 차축에 발생하는 토크를 변속기 기어비로 나누어 차축 부하에 의해 발생하는 엔진 토크를 계산한 후 합산을 통해 엔진에 요구되는 전체 토크의 양을 계산하였다. 여기에 엔진의 정격 출력 71kW과 엔진의 정격 회전수 2,300 rpm을 통해 엔진의 정격 토크를 계산하고 이를 기준으로 정격 토크 이상의 토크가 엔진에 발생할 경우 모터를 통해 토크 어시스트가 가능하도록 하였다.

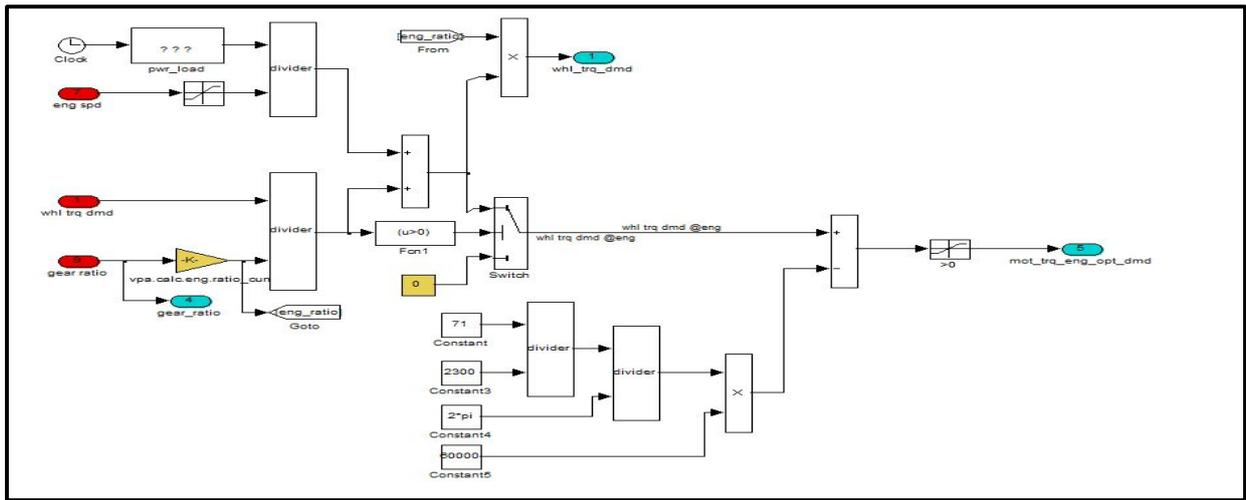


그림 3-4 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 제어 구성도.

## 나. 주요 포장작업의 작업 모드 개발

### (1) 작업 모드 개발 process

#### (가) 작업 부하 분석 방법

차량의 주행모드 개발을 위해 주행패턴 분석이 이루어진다. 실제 차량의 주행을 통해 얻어진 데이터는 특성에 따라 분류를 하는데 이때 사용되는 대표적인 방법으로는 4모드 분석, 속도 분석, 가속도 분석, 속도와 가속도 연계분석 등이 있다(정 등, 2002). 4모드 분석법은 전체 주행을 가속모드, 감속모드, 항속모드, 공회전모드로 구분하여 각 모드가 차지하는 시간비율을 분석하는 방법으로, 일본 10·15모드 및 유럽 ECE/EUDC모드 등이 이러한 방법으로 분석되어 개발되었다. 속도 분석은 차량속도의 속도분포율을 분류하여 주 운행 영역을 분석하는 방법으로 최대 속도, 평균속도, 주행평균속도, 속도분포, 속도분포의 평균값을 분석한다. 가속도 분석은 주행환경 및 경향을 분석하는 방법으로 최대가속도, 최대감속도, 평균감속도, 가속도 분포율을 분석한다. 속도와 가속도 연계분석은 속도와 가속도의 구간분류를 통한 주행경향을 분석하는 방법으로 SAFD(speed-acceleration frequency distribution) 또는 SAPD(speed-acceleration probability distribution)으로 나타낸다(송 등, 2010).

트랙터의 작업부하 분석을 위하여 토크와 토크변화량에 대해 앞서의 4가지 분석방법을 사용하여 분석하였다. 엔진의 부하를 계산하기 위하여 측정된 변속기 입력축, PTO 입력축의 토크와 회전수를 식 (3-1)과 같이 계산하여 소요동력을 계산하였다(Ryu, 2004). 또한 주/보조 유압 장치의 동력을 계산하기 위해 측정된 유압과 이론적 토출량, 체적효율을 이용하여 식 (3-2)와 같이 소요동력을 계산하였다(Kim, 2004). 계산된 주요 구성요소의 소요동력의 합을 엔진의 소요동력으로 간주하였고, 엔진의 소요동력을 엔진의 회전수를 이용하여 식 (3-1)을 역산하여 엔진의 토크를 계산하였다. 계산된 토크를 4모드로 구분하는데 있어 트랙터 포장작업이라는 극심한 부하변동에 상시 노출되는 트랙터에서의 신호 계측은 심한 잡음이 항상 존재하여 토크변화량의 변화가 극심하다. 따라서 이러한 잡음의 영향을 줄이고 전체적인 변화의 형태를 반영하는 모드로 구분하기 위하여 가속모드(acceleration mode)를 1초동안의 토크변화량이 5 Nm/s 이상일 경우, 감속모드(deceleration mode)를 1초 동안의 토크변화량이 5 Nm/s 이하일 경우, 항속모드(cruise mode)를 1초동안의 토크변화량 절대값이 5 Nm/s 이하일 경우, 공회전 모드(idle mode)를 토크가 70 Nm 이하일 경우로 정의하였다.

$$Power_{axle} (kW) = \frac{2\pi \times T \times N}{60,000} \quad \text{식(3-1)}$$

Where, T : Torque, Nm.

N : Rotation speed, rpm.

$$Power_{pump} = \eta_v \times \frac{P \times Q}{104,081} \quad \text{식(3-2)}$$

Where,  $\eta_v$  : Volumetric efficiency, %,

P : Hydraulic pump pressure, MPa,

Q : Hydraulic pump displacement, cm<sup>3</sup>/s

#### (나) 작업 모드 개발 방법

연비나 배출가스등의 인증용으로 사용하기 위하여 개발된 차량의 주행모드는 도로상을 실주행하여 측정된 주행데이터를 분석하여 실험실적 조건하에서 대표적인 주행특성을 재현할 수 있도록 작성하게 된다. 그러나 현실적으로 실제 도로상의 주행특성을 실험실적 조건하에서 완전히 재현하기 어려우므로, 주행데이터를 분석하여 통계적 수법으로 주행모드를 작성한다(Woo et. al., 2010).

일반적인 주행모드 개발 방법은 (1) 실제 주행데이터를 수집하고, (2) 수집된 데이터를 분류 및 구분한 후, (3) 데이터를 조합하여 주행모드를 개발하고 (4) 개발된 모드들을 평가하여 최종 주행모드를 결정하는 과정을 거쳐 개발된다. 차량의 운행 형태를 결정하는 데이터의 조합방법에는 micro-trip 조합법, trip segment-based 조합법, pattern classification 조합법, modal 조합법 등의 방법이 개발되었다(Andre, 2004). 대표적인 주행모드 조합방법은 그림 3-5와 같이 실제 측정데이터의 속도거동에 대해서 정지부터 다음 정지구간까지를 short trip 또는 micro trip 이라 불리는 소구간으로 분리하여 주행 특성을 파악한 후, 이들 특성치를 기준으로 소구간들을 조합하여 전체 데이터의 특성치를 가장 잘 나타내는, 전체 주행상태를 대표할 수 있는 모드를 개발하게 된다.

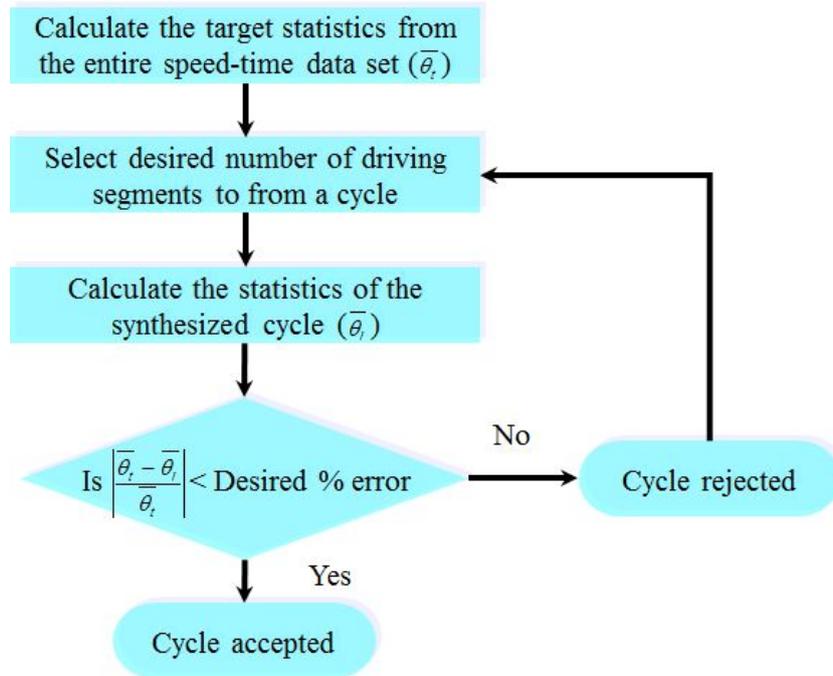


그림 3-5 트랙터 작업 모드의 조합 알고리즘.

주행 사이클 개발 방법의 하나인 micro-trip method를 적용하기 위하여 트랙터의 전체 부하 데이터를 소구간으로 구분하여야 한다. 플라우 경운작업은 필지의 세로를 한번 경작한 후 선회하여 다음 경작을 준비할 때까지를 1개의 세부 작업으로 구분하였다. 이렇게 구분된 자료의 조합이 전체 데이터를 대표할 수 있는지 판단할 파라미터가 필요하다. 자동차는 스로틀(throttle)을 이용하여 부하를 제어하기 때문에 속도, 가속도가 패턴으로 나타나는 반면, 트랙터는 스로틀을 고정한 상태이기 때문에 부하 패턴이 토크와 토크변화량으로 나타난다. 따라서 작업 사이클의 개발을 위하여 세부 작업의 조합에 기준이 될 특성값으로 토크의 최대, 최소, 평균값과 토크변화량의 최대, 최소, 평균, RMS값 7가지 요소를 선정하였다. 전체 데이터의 특성값과 조합된 데이터의 특성값의 상대오차를 계산하고 이 오차들의 평균을 기준으로 세부 작업들을 정렬한 후, 오차의 평균이 최소가 되도록 다중회귀분석에 단계적 분석법(stepwise method)을 응용하여 조합할 구간을 선정하였다. 베일러 작업 시 한 필지에서 평균 11개의 베일이 형성되므로 11개의 세부 작업을 조합하여 작업 사이클을 개발하였고, 플라우 경운 작업은 평균 7회 왕복하므로 14개의 세부 작업을 조합하였다. 각각의 작업 사이클을 개발할 때 오차의 평균은 5% 이내를 만족하도록 선정하였고 전체 개발 과정을 요약하면 표 3-2와 같다.

표 3-2 트랙터 작업모드 개발 방법

Work selection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plow tillage operation : 24 data set</li> </ul>
Data collection	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission, PTO : torque, rpm</li> <li>• Hydraulic pump : discharge</li> </ul>
Assessment criteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torque : Max, Min, Avg</li> <li>• Torque differential : Max, Min, Avg, RMS</li> </ul>
Construction method	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculate each error of micro-routine</li> <li>• Stepwise method for minimum sum of error</li> </ul>

(다) 작업 사이클 평가 방법

개발된 작업 사이클의 평가를 위하여 차량의 주행 사이클 평가방법을 이용하였다. 주행 사이클의 평가에는 속도-가속도 연계분석인 SAPD를 이용하여 전체 데이터의 분포와 개발된 주행 사이클의 분포 사이 제곱합차이(Sum Square Difference, SSD)를 계산한다(Hung 등, 2007). 작업 사이클에서도 토크를 0 Nm부터 400 Nm까지 10 Nm간격으로, 토크변화량을 -20 Nm/s에서 20 Nm/s까지 1 Nm/s 간격으로 등분하여 구간마다의 확률분포를 계산하는 토크-토크변화량 연계분석(Torque-torque Differential Probability Distribution, TDPD)을 실시하였다. 그 후 전체 데이터의 TDPD와 SSD를 식 (3-3)과 같이 계산하여 개발된 작업 사이클을 평가에 사용하였다. 작업 사이클에 대하여 SSD에 관한 평가기준이 없기 때문에 표 3-3과 같은 현재 각국에서 사용하고 있는 국제 공인 주행 사이클의 SSD 값과 비교하였다.

$$SSD = \sum_{i=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_v} (p_{ij} - q_{ij})^2 \quad \text{식 (3-3)}$$

Where,  $N_t$  : Number of torque classes,

$N_v$  : Number of torque variation classes,

$p_{ij}$  : ijth entry of the TDPD of the candidate cycle,

$q_{ij}$  : ijth entry of the TDPD of the overall engine torque profiles.

표 3-3 자동차의 주행 사이클 평가 결과

	Cycle	Distance (km)	Avg. speed (km/h)	Max. speed (km/h)	Duration (s)	SSD
USA	FTP72	12.07	31.5	91.2	1369	1.46
	FTP75	17.77	34.1	91.3	1874	1.54
	NYCC	1.89	11.4	44.6	598	1.80
	LA92	15.7	39.6	108.2	1435	1.45
	IM240	3.1	47.3	56.7	240	1.95
Europe	ECE15	0.99	18.4	50.0	195	2.37
Japan	10Mode	0.66	17.6	40.0	136	1.99

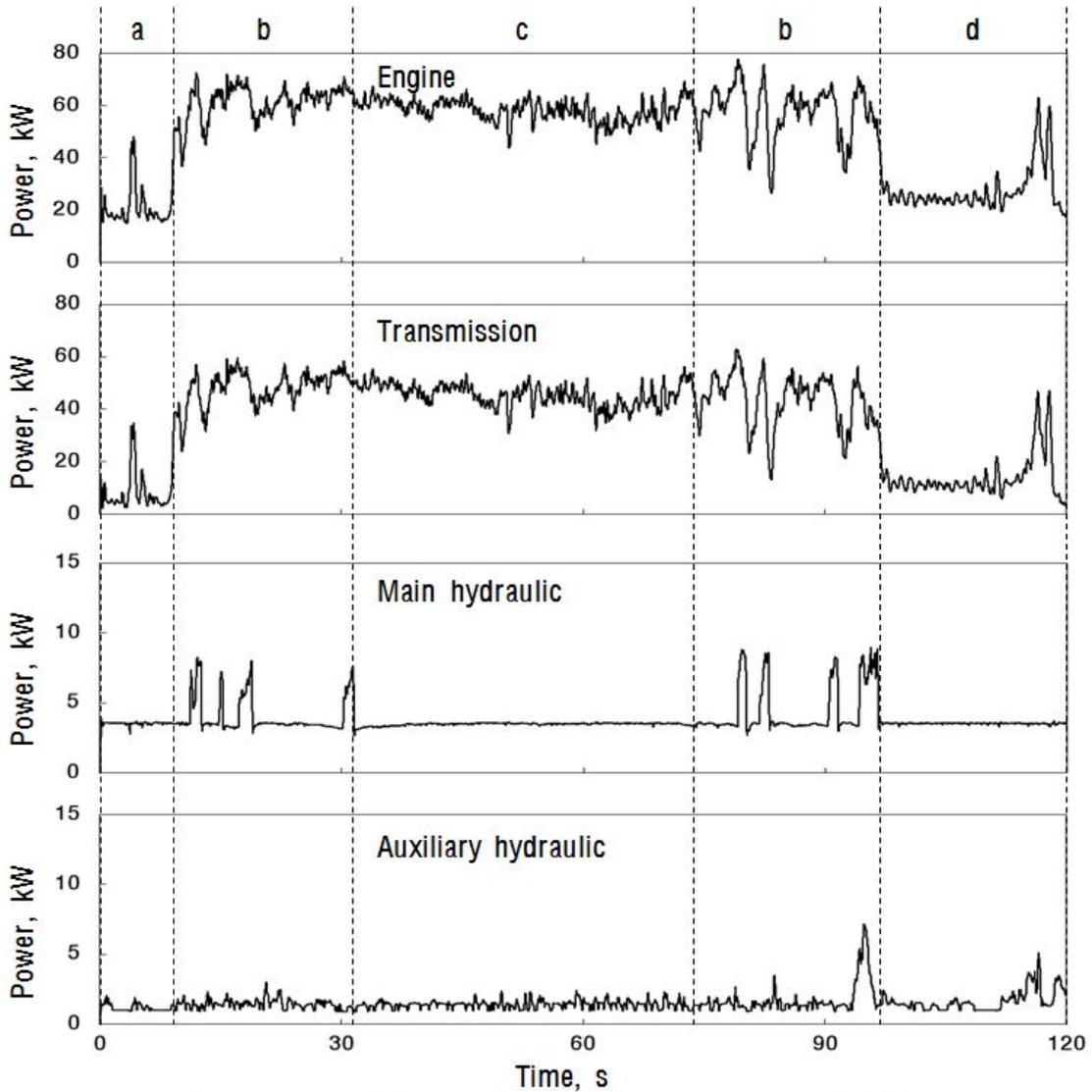
(2) 플라우 경운 작업 모드 개발

(가) 플라우 경운 작업 부하 분석

플라우 경운 작업은 8개의 필지에 대하여 3회 반복 측정을 실시하였고 그 대표적인 결과는 그림 3-6과 같다. 플라우 경운 작업은 시험포장의 토양 상태에 따라 작업부하가 크게 차이가 났고 주요 구성요소의 소요동력 측정 결과는 일정하게 나타나지 않았다. 1개의 세부 작업은 필지의 세로 거리인 100 m를 경작하고 다음 작업을 위해 5 ~ 40 m를 선회하여 이동한다. 토양의 상태에 따라 일정한 경심까지 유지하지 못하였을 경우 작업기를 들고 후진하여 다시 작업을 수행하는 구간이 있기 때문에 세부 작업 마다 소요 시간은 차이가 컸지만 일반적으로 120 초가량 소요되었다. 기본적으로 PTO를 사용하지 않기 때문에 PTO 소요동력이 나타나지 않았고, 엔진 소요동력의 대부분이 견인력을 나타내는 변속기 입력축에서 나타났다. 주 유압펌프의 소요동력은 플라우 경운 작업을 위해 3점 히치를 제어함에 따라 약 3 ~ 8 kW의 범위로 측정되었으며, 보조 유압펌프의 소요동력은 직진 주행에 따른 지속적인 조향에 의해 3 ~ 5 kW의 범위로 나타났다. 또한 마지막 구간에서 트랙터의 선회로 인해 보조 유압펌프의 소요동력이 크게 증가함을 알 수 있다.

플라우 작업의 모드 구분은 출발 모드, 경운 모드, 경심조절 모드, 선회 모드의 4가지로 구분되었다. 각각의 모드는 경운 시 토양 부하에 의한 작업기의 승하강에 따라 나타났는데, 출발 전 공회전 상태부터 정지 마찰력을 이겨내기 위한 구동축의 동력 소모하는 출발 모드(a)가 나타났다. 토지를 파쇄 하는 경운작업에서는 2가지 모드가 관찰되었는데, 하나는 부하 변동이 크지 않은 경운 모드(c)이고 나머지는 토양의 부하가 너무 큰 경우에 주 유압펌프를 사용하여 경심을 조절하거나 작업기를 들고 후진하여 다시 경운하는 등의 경심조절 모드(b)이다. 한 줄의 작업이 종료되면 다음 작업 줄로 이동하기 위하여 선회 모드가 나타나는데 이때 작업기를 들

고 선회하기 때문에 전체적인 소요동력이 낮게 나타났다(d).



a. Start mode b. Depth adjust mode c. Plow mode d. Turn mode

그림 3-6 플라우 경운작업 주요 소요동력 측정 결과.

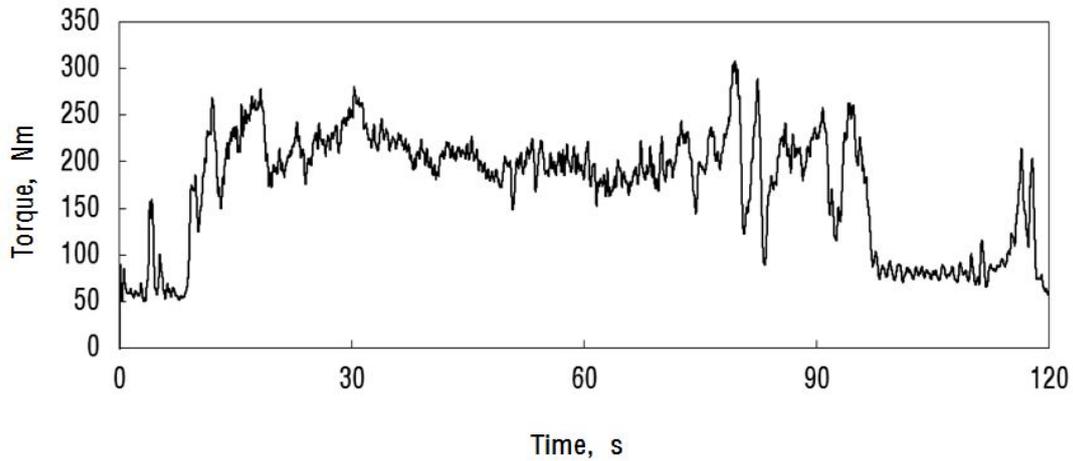


그림 3-7 플라우 경운작업의 엔진 소요동력.

플라우 경운 작업의 모드 분석 결과는 표 3-4와 같이 4 구간에 대하여 이루어졌다. 모드별 작업시간 비율을 분석한 결과 출발 모드는 7.10%로 나타났고, 선회 모드는 12.92%로 나타났다. 토양을 파쇄 하는 경운 모드와 경심조절 모드가 각각 54.35, 25.63%로 전체의 80% 이상을 차지하여 플라우 경운 작업의 핵심 작업임을 확인할 수 있다. 24개의 세부 작업 데이터에서 출발 모드와 선회모드는 1번씩 나타났고 경운 모드는 1 ~ 2회, 경심 조절 모드는 0 ~ 3회씩 나타났다. 1개의 세부 작업에 대해서 평균 120초의 작업 시간 중 경운 모드는 최소 50초에서 최대 90초까지 나타났고, 경심조절 모드는 토양이 부드러워 작업기의 상승 없이 작업이 완료된 1번을 제외하고는 약 20 ~ 50초 정도 소요되었다.

표 3-4 플라우 경운작업의 각 모드에 따른 작업시간 비율

	Start	Plow	Depth adjust	Turn
Operation time (%)	7.10	54.35	25.63	12.92

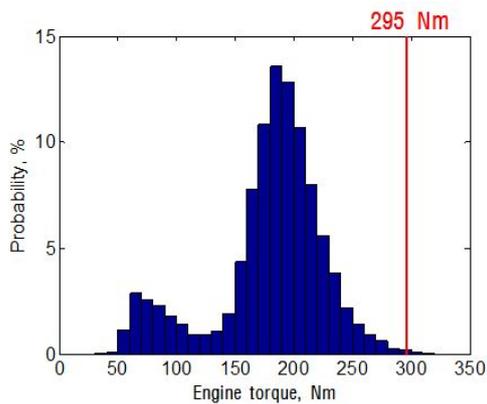
플라우 경운 작업에 대한 모드별 엔진의 토크와 토크변화량 분석 결과는 표 3-5와 같다. 플라우 경운 작업의 토크는 최대 307.62 Nm로 295 Nm의 정격 토크를 초과하고 있지만 그림 3-8(a)과 같이 히스토그램 상에서 1% 이하로 분포가 매우 낮아 정격 범위 내에서 효율적인 작업이 이루어졌음을 확인하였다. 토크의 평균값은 153.42 Nm로 나타났으며, 히스토그램 상에서 150 ~ 250 Nm 구간이 약 90%를 차지하는 것을 확인할 수 있었다.

토크변화량은 출발모드에서 45.76 Nm/s의 최대 토크변화량과 3.79 Nm/s의 RMS 값으로 가장 큰 순간 부하변동이 관찰되었다. 경심조절 모드도 최대 31.71 Nm/s, 최소 -38.89 Nm/s로 큰 변동을 나타내었지만 RMS 값은 2.63 Nm/s로 낮은 편이다. 이는 경심조절 모드가 출발 모드에 비해 길어서 나타난 결과로 순간적인 변화가 평균값에 의해 나타나지 않은 현상이라 판

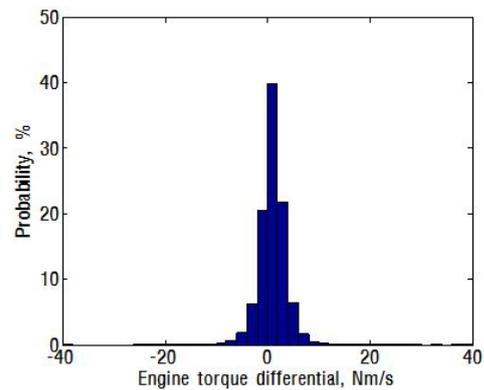
단된다. 토크변화량의 히스토그램도 그림 3-27(b)와 같이  $-5 \sim 5$  Nm/s 범위가 95% 이상을 차지하여 차체의 진동에 의한 작은 부하변동이 가장 많이 발생하였음을 알 수 있다. 토크-토크 변화량 연계분석결과는 그림 3-9와 같이 토크 170 ~ 220 Nm, 토크변화량  $-2 \sim 2$  Nm/s 범위에 90% 이상의 높은 확률 분포를 나타내었다.

표 3-5 플라우 작업 부하 분석 결과

		Start	Plow	Depth adjust	Turn
Torque (Nm)	Max.	268.68	307.62	307.50	293.82
	Min.	40.03	51.01	69.45	31.78
	Avg.	107.70	190.39	198.54	117.03
Torque differential (Nm/s)	Max.	45.76	16.58	31.71	27.01
	Min.	-13.67	-13.49	-39.89	-23.37
	Avg.	0.65	0.01	-0.01	-0.30
	RMS	3.79	2.19	2.63	3.48



(a) 토크



(b) 토크변화량

그림 3-8 플라우 경운의 토크, 토크변화량 분석 결과.

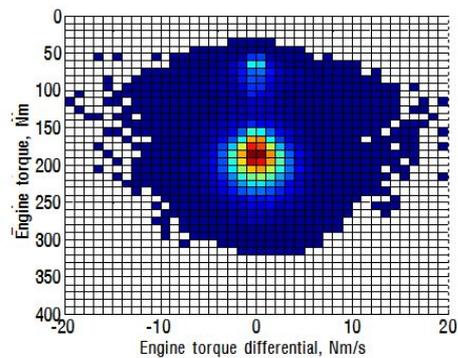
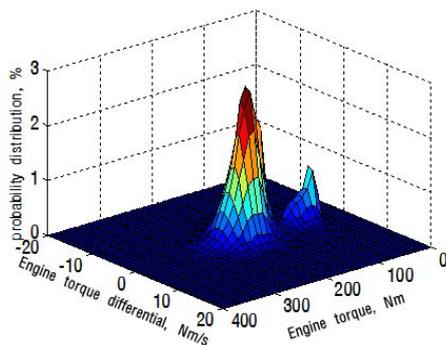


그림 3-9 플라우 경운의 TDPD 결과.

(나) 플라우 경운 작업모드 개발

플라우 경운작업의 작업 사이클 개발 결과는 그림 3-10과 같이 나타났다. 4,000 m<sup>2</sup>의 필지를 작업할 때 24개 중 14개의 세부 작업을 조합하여 개발하였고, 개발된 작업 사이클의 작업 시간은 1,396 초로 한 필지를 경작할 경우 약 23분이 소요된다. 모드 분석법에 의하여 작업 사이클을 분석하면 출발 모드 7.36%, 경운 모드 56.25%, 경심조절 모드 23.41%, 선회모드 12.98%로 포장 실험 자료의 분석결과와 5% 이내의 오차를 보여주었다. 정격 토크 이상의 구간이 발생하는 세부 작업은 4회가 포함되었고, 평균 토크는 154.92 Nm로 높은 부하가 발생하는 플라우 작업을 잘 반영하고 있다.

포장 실험 자료와 작업 사이클의 특성값을 비교한 결과는 표 3-6과 같다. 토크의 최대, 최소 값은 작업 사이클과 포장 실험 자료와의 오차가 0%로 최대, 최소값이 포함된 세부 작업이 모두 선택되었음을 확인할 수 있다. 토크변화량은 최대, 최소, RMS값은 각각 43.62, -39.38, 3.14 Nm/s로 포장 실험 자료와 4.7, 1.3, 1.6%의 오차를 나타내어 5%이내를 나타내었다. 토크변화량 평균값의 오차가 11.11%로 비교적 크게 나타났지만 값 자체가 0에 가까워서 유효숫자에 의한 오차로 판단되어 개발과정에는 영향이 없을 것으로 판단된다. 7가지 특성값에 대한 오차의 평균은 2.81%로 5% 이하의 개발 기준을 만족하였다.

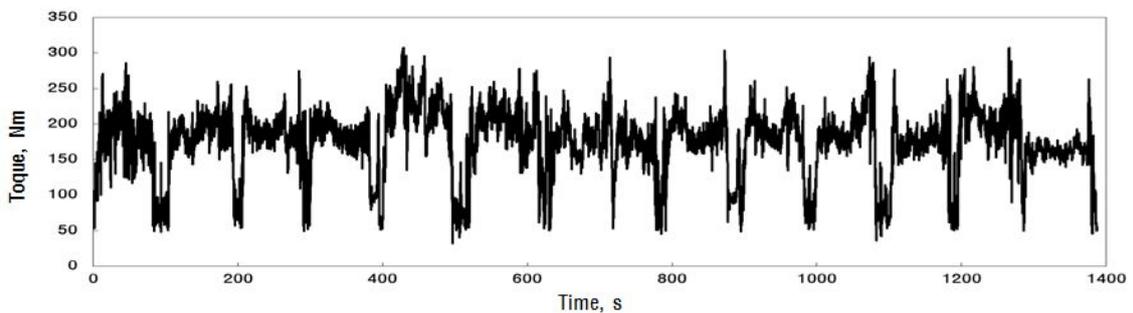


그림 3-10 플라우 경운작업 모드 개발 결과.

표 3-6 개발된 작업모드의 특성 평가

	Torque (Nm)			Torque differential (Nm/s)		
	Field test	Working cycle	Diff. (%)	Field test	Working cycle	Diff. (%)
Max.	307.62	307.62	0	45.76	43.62	4.7
Min.	31.78	31.78	0	-39.89	-39.38	1.3
Avg.	153.42	154.92	1.0	0.09	0.08	11.1
RMS	-	-	-	3.09	3.14	1.6

플라우 작업 사이클의 평가를 위하여 토크-토크변화량 연계분석을 실시한 결과는 그림 3-11과 같다. 토크와 토크변화량의 최대, 최소부분에서 확률 분포가 줄어들었으나 1% 미만의 낮은 확률이 삭제된 것으로 전체 그래프에 영향은 미비한 것으로 판단된다. 포장 실험 자료와 유사하게 50 ~ 70 Nm 사이의 분포를 제외하면 150 ~ 250 Nm 범위의 토크와 -5 ~ 5 Nm/s 범위의 토크변화량에서 95% 이상의 높은 확률 분포를 나타내었다.

모드별 토크, 토크변화량에 대한 특성값을 분석한 결과는 표 3-7과 같이 나타났다. 포장 실험 자료의 모드별 분석결과와 동일하게 최대 토크는 307.62 Nm로 경운 모드에서 나타났고, 최소 토크는 31.78 Nm로 작업기를 들고 이동하는 선회 모드에서 관찰되었다. 토크변화량은 경운 모드에서 RMS값 2.22로 가장 낮게 나타나 안정적으로 토양을 파쇄할 때는 부하의 변동이 적은 것을 확인하였고, 출발 모드에서 3.92로 가장 크게 나타나 정지마찰력을 극복하는데 가장 큰 부하변동이 발생함을 확인할 수 있다.

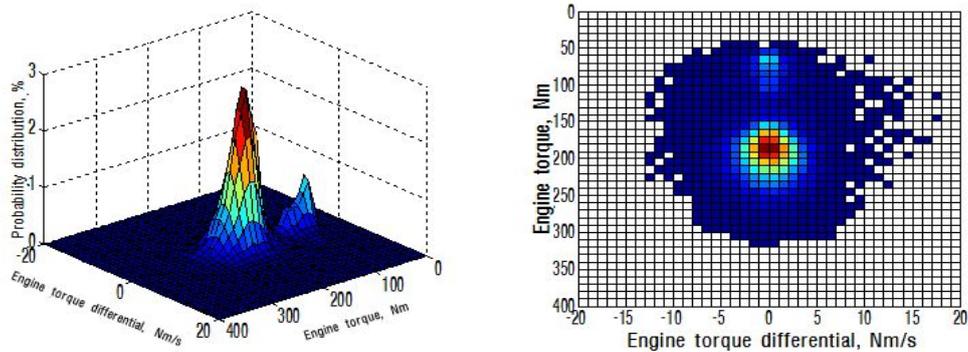


그림 3-11 개발된 플라우 경운작업 모드의 TDPD 결과.

표 3-7 개발된 플라우 경운작업 모드의 각 모드 특성 분석.

		Start	Plow	Depth adjust	Turn
Torque (Nm)	Max.	268.68	307.62	307.50	293.82
	Min.	40.03	51.01	69.45	31.78
	Avg.	109.43	190.36	198.82	121.07
Torque differential (Nm/s)	Max.	43.62	16.58	31.71	27.01
	Min.	-13.67	-13.49	-39.38	-23.37
	Avg.	0.65	0.01	-0.02	-0.32
	RMS	3.91	2.22	2.73	3.42

개발된 작업 사이클의 TDPD를 이용한 SSD 값은 플라우 작업 사이클의 경우 1.53으로 나타났다. 작업 사이클에 대한 비교 대상이 없으므로 일반 주행 사이클의 SSD값과 비교한 결과가 표 3-8과 같다. 작업 사이클에서 산출된 SSD 값이 차량의 국제 공인 주행 사이클을 평가할 때 산출된 SSD 값과 유사하게 나타나 개발된 작업 사이클이 전체 포장작업의 부하 특성을 체계적으로 반영하고 있다고 판단된다.

표 3-8 일반 주행모드와 개발된 작업모드의 SSD 비교 결과

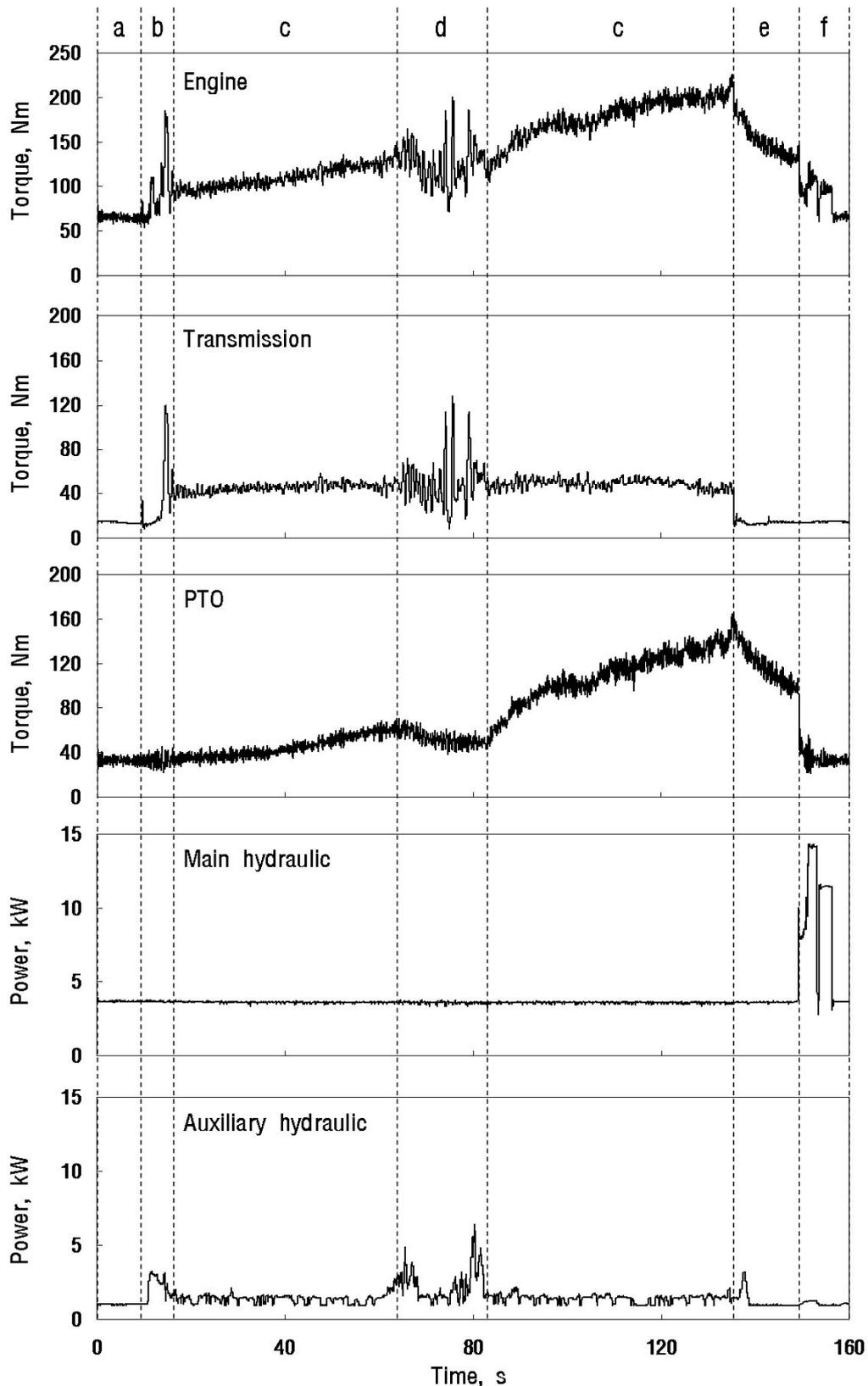
	Driving cycle						Working cycle
	FTP 72	FTP 75	LA 92	ECE 15	10 Mode	IM 240	Plow
SSD	1.46	1.54	1.45	2.37	1.99	1.95	1.53

### (3) 베일러 작업 모드 개발

#### (가) 베일러 작업 부하 분석

베일러 작업 시 엔진에 가해지는 부하를 측정된 결과는 그림 3-12와 같이 나타났다. 작업 부하는 작업 구간별로 구분되어 나타났는데, 출발전 공회전(idle)상태(a)와 출발 시 정지 마찰력을 이겨내기 위해 구동축 부하에 의한 큰 토크의 변화(b)가 관찰되었다. 베일 작업 중에는 베일러의 챔버 안에 분쇄된 작물의 양이 증가함에 따라 PTO 부하의 증가(c)가 나타났으며, 선회 중에는 베일러와 트랙터가 일직선이 아니게 되어 더 큰 견인력을 필요로 하기 때문에 변속기 입력축에서 큰 부하를 받고 작물을 견어올리지 않으므로 PTO축은 하강하는 경향(d)을 나타내었다. 베일 결속 구간에는 트랙터를 정지시키며 이때 PTO도 작물 수확을 멈추기 때문에 전체적인 부하가 하강하게 되고(e), 주 유압펌프를 작동시켜 챔버를 열어 수확물을 배출하게 되면 PTO의 부하가 급격히 떨어짐을 확인할 수 있다(f). 베일러 작업시 부하는 반복 실험 시 선회 구간의 위치 이동이나 횡수의 변화만 존재하고 토크변화의 경향은 유사하게 나타났다.

전체 엔진 부하에 대하여 4모드 분석을 실시한 결과는 표 3-9와 같이 PTO 부하의 상승에 따른 가속구간이 69.2%로 가장 큰 비중을 차지하였으며 선회구간과 베일러 결속구간에서 감속모드를 나타내었다. 부하의 변동이 없는 항속모드는 2.1%로 낮게 나타나 베일러 작업 중 계속적으로 엔진에 부하가 변함을 알 수 있다. 베일 배출 후 다시 출발 준비할 때까지 공회전모드가 나타나 전체에서 8.4%로 관찰 되었다.



a. Idle    b. Start    c. Baling    d. Turning    e. Tying a bale    f. Discharging

그림 3-12 베일러 작업의 주요 소요동력 측정 결과.

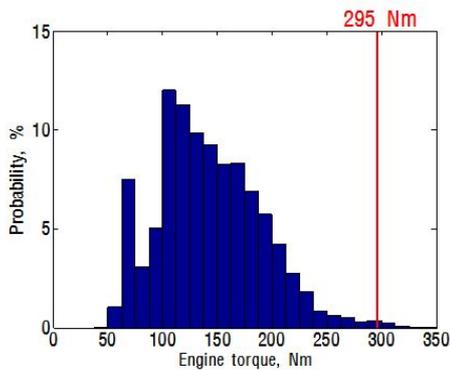
표 3-9 엔진 부하의 시간에 따른 분석 결과

	Acceleration	Deceleration	Cruise	Idle
Percentage (%)	69.2	20.3	2.1	8.4

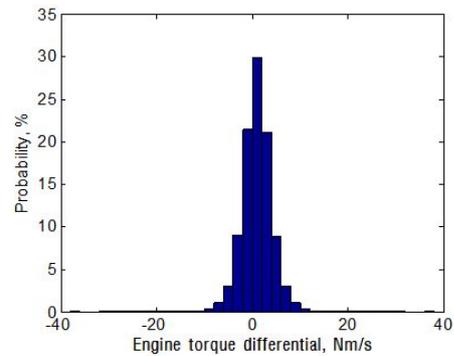
실측데이터의 토크와 토크 변화량 분석 결과는 표 3-10과 같이 나타났다. 최대 토크는 333.75 Nm로 정격 토크 이상의 부하가 발생하고 있었지만 그림 3-13(a)와 같이 그 빈도수는 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 토양의 부하나 작물의 걸림 등과 같이 순간적으로 큰 부하가 발생하지만 평균적으로는 100 ~ 200 Nm사이의 정격 토크 내에서 작업이 이루어짐을 나타낸다. 토크변화량은 최대 35.26 Nm/s 증가하거나 37.51 Nm/s 감소하는 큰 변동을 나타내지만 그림 3-13(b)와 같이 빈도수가 희박하였다. 토크는 대부분 -10 ~ 10 Nm/s 사이에 변화를 보이며 RMS 변화량도 2.28 Nm/s로 큰 부하변동이 순간적으로만 나타남을 확인할 수 있다.

표 3-10 토크 / 토크 변화량 분석 결과

	Max.	Min.	Avg.	RMS
Toque (Nm)	333.75	31.64	134.59	-
Toque variation (Nm/s)	35.26	-37.51	0.002	2.28



(a) 토크



(b) 토크 변화량

그림 3-13 토크 및 토크 변화량 분석 결과.

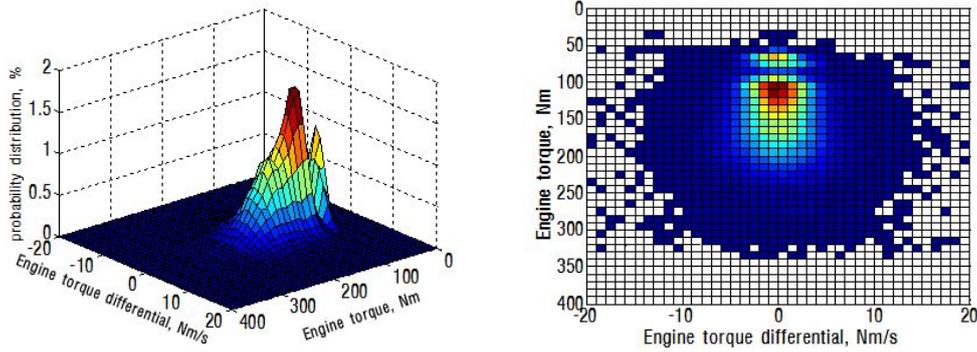


그림 3-14 엔진 토크 및 토크 변화량에 대한 TVPD 결과.

(나) 베일러 작업 모드 개발

주행모드 개발 방법론을 적용하여 트랙터 베일러 작업의 실작업 성능 평가를 위한 베일러 작업모드의 개발 결과는 그림 3-15와 같다. 40 x 100 m의 규격화된 필지를 대상으로 11개의 베일을 형성할 때 작업모드는 1,699초로 약 28분가량 작업이 이루어졌고 평균 139.78 Nm의 토크를 나타냈다. 개발된 작업모드의 특성치는 표 3-11과 같이 전체 데이터와 최소 토크에서 30%의 큰 오차를 나타내었지만, 전체 데이터의 히스토그램에서 나타났듯이 50 Nm이하의 저토크 구간은 매우 낮게 나타나 전체적인 모드 개발에는 영향을 주지 않는다고 판단된다. 7가지 요소에 대하여 특성치 합 의 전체 오차는 3.2%로 개발 시 선정했던 5%의 범위 내를 만족하였다.

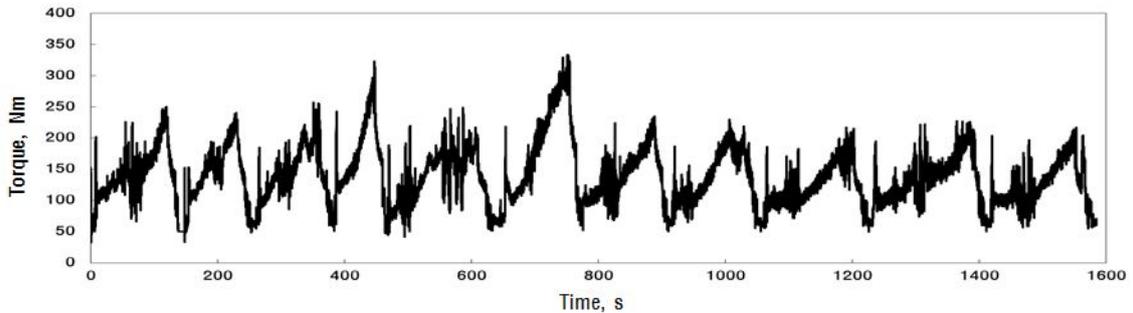


그림 3-15 작업 모드 개발 결과(베일러 작업).

표 3-11 개발된 작업모드의 특성치

	Max.		Min.		Avg.		RMS	
	Mode	%Diff	Mode	%Diff	Mode	%Diff	Mode	%Diff
Toque (Nm)	333.75	0	41.21	-30.2	139.78	-3.9	-	-
Variation (Nm/s)	25.29	28.3	-26.45	29.5	0.002	-3.4	2.42	-6.1

개발된 작업 사이클의 평가를 위하여 토크-토크변화량 연계분석 결과는 그림 3-16과 같다. 전체 데이터의 TVPD보다 50 ~ 100 Nm 사이의 범위에서 낮은 확률분포를 나타내었지만 전체적으로 유사한 그래프 형태를 나타내었다. 확률분포의 범위가 실제 작업데이터의 분포에 비해 줄어들었지만 확률분포가 높은 핵심 부분에서의 차이는 크게 발생하지 않으므로 작업 성능의 평가에는 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

모드별 토크와 토크변화량 분석 결과는 표 3-12와 같다. 토크의 최대값은 327.44 Nm로 베일 형성 모드에서 나타나 베일결속 직전에 최대 토크가 나타나는 사일을 잘 반영하였다. 토크변화량의 최대 최소값은 출발 모드에서 나타나 정지했던 트랙터를 다시 움직일 때 가장 큰 부하 변동이 나타남을 알 수 있다. 이 결과는 포장 실험 자료에 대한 모드별 분석결과와 동일한 결과로 개발된 작업 사이클이 전체 데이터를 체계적으로 반영하고 있다고 판단된다.

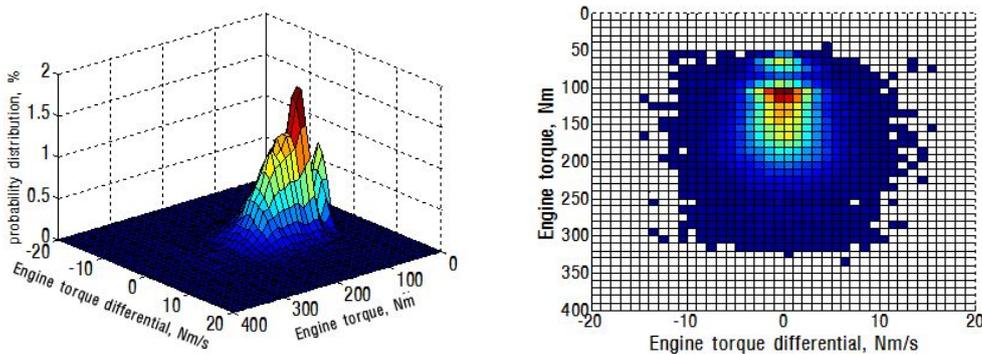


그림 3-16 개발된 작업모드 토크 및 토크 변화량에 대한 TVPD 결과.

표 3-12 베일러 작업의 각 모드 별 토크, 토크변화량 분석.

		Start	Bale	Turn	Tie	Discharge
Torque (Nm)	Max.	242.50	327.44	257.57	323.13	214.45
	Min.	32.24	52.41	41.38	88.51	48.42
	Avg.	77.83	153.36	141.18	158.16	91.09
Torque differential (Nm/s)	Max.	34.75	28.61	22.51	13.84	11.60
	Min.	-36.32	-28.52	-23.71	-25.12	-18.57
	Avg.	0.20	0.04	0.01	-0.17	-0.18
	RMS	3.64	2.87	3.42	3.54	2.78

개발된 작업모드의 SSD를 일반 주행모드의 SSD값과 비교한 결과는 표 3-13과 같이 나타났다. SSD값은 실제 데이터와의 차이를 나타내는 값이므로 0에 가까울수록 실제 환경을 잘 나타낸다고 볼 수 있다. 개발된 작업모드의 SSD 값이 차량의 국제 공인 주행 사이클을 평가할 때 산출된 SSD 값과 유사하게 나타나 개발된 작업 사이클이 전체 포장작업의 부하 특성을 체계적으로 반영하고 있다고 판단된다.

표 3-13 일반 주행모드와 개발된 작업모드의 SSD 비교 결과

	Driving cycle						Work mode
	FTP 72	FTP 75	LA 92	ECE 15	10 Mode	IM 240	
SSD	1.46	1.54	1.45	2.37	1.99	1.95	1.64

#### (4) 로타리 경운 작업 모드 개발

앞서 개발한 플라우 경운, 베일러 작업과 동일한 방법으로 그림 3-17과 같이 로타리 작업 모드를 개발하였다. 로타리 작업은 가로 105 m × 세로 35 m의 필지를 기준으로 작업을 실시하였으며, 총 9개의 세부 작업을 조합하여 작업모드를 개발하였다. 개발된 작업 사이클의 작업 시간은 총 712초로 한 필지를 작업할 경우 약 12분이 소요된다. 로타리 작업 사이클은 토양의 상태에 영향을 많이 받으므로 플라우 경운 작업과 마찬가지로 세부 작업간의 형태가 차이 나는 것을 확인할 수 있다.

포장 실험 자료와 작업 사이클의 특성값을 비교한 결과는 표 3-14와 같다. 토크의 최대, 최

소값은 작업 사이클과 포장 실험 자료와의 오차가 0%로 최대, 최소값이 포함된 세부 작업이 모두 선택되었음을 확인할 수 있다. 토크변화량은 최대, 최소, RMS값은 각각 64.32, -43.12, 3.23 Nm/s로 포장 실험 자료와 3.8, 3.9, 1.2%의 오차를 나타내어 5% 이내를 나타내었다. 7가지 특성값에 대한 오차의 평균은 ?로 5% 이내의 개발 기준을 만족하였다.

개발된 작업 사이클의 SSD 값은 표 3-15와 같이 로타리 작업의 경우 1.63으로 나타났다. 작업 사이클에 대한 비교 대상이 없으므로 일반 주행 사이클의 SSD 값이 차량의 국제 공인 주행 사이클을 평가할 때 산출된 SSD 값과 유사하게 나타나 개발된 작업 사이클이 전체 포장작업의 부하 특성을 체계적으로 반영한 것으로 판단된다.

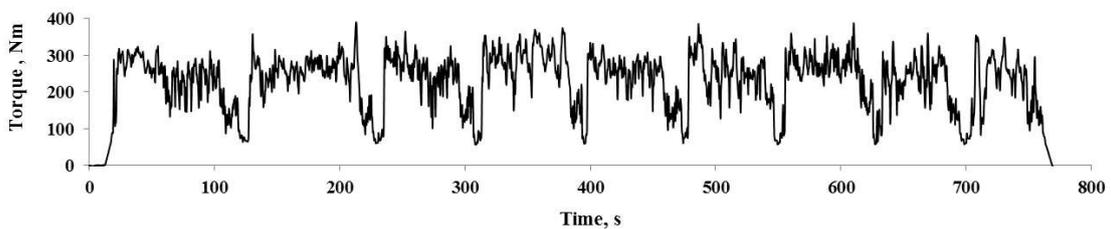


그림 3-17 작업 모드 개발 결과(로타리 작업).

표 3-14 로타리 작업모드의 특성 평가

	Torque (Nm)			Torque differential (Nm/s)		
	Field test	Working cycle	Diff. (%)	Field test	Working cycle	Diff. (%)
Max.	384.32	384.32	0	66.86	64.32	3.8
Min.	53.24	53.24	0	-43.96	-43.12	3.9
Avg.	184.64	188.23	1.9	0.08	0.08	0
RMS	-	-	-	3.20	3.24	1.2

표 3-15 로타리 작업모드 SSD 분석

	Driving cycle						Working cycle
	FTP 72	FTP 75	LA 92	ECE 15	10 Mode	IM 240	Rotary
SSD	1.46	1.54	1.45	2.37	1.99	1.95	1.63

## 2. 핵심부품의 모듈화를 통한 전체 시뮬레이션 모델 개발

### 가. 전체 시뮬레이션 모델 개발

#### (1) 핵심부품 모듈화

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 그림 3-18과 같이 100ps 급 트랙터 모델을 구성하고 검증을 실시하였다. 기본적인 트랙터 모델의 구성은 Autonomie (version 2012, LMS International, Belgium)에서 제시한 중장비 디젤 엔진 차량 모델의 구조 및 사양을 변경하여 설계하였으며, 트랙터의 특성에 따라 엔진(Engine)에서 발생한 동력 중 변속기 입력축, PTO 입력축, 유압펌프에서 발생한 작업 부하에 의해 동력 손실이 일어나도록 부하 요소를 설정하였다. 변속기는 트랙터 단수가 총 12단이며 기계식 변속기의 이론 동력전달 효율이 85~95%임을 고려하여 단수 별로 90%의 기어효율을 적용하였으며 구동차축의 동력은 트랙터의 앞바퀴와 뒷바퀴의 직경을 고려하여 동력 소모가 이루어질 수 있도록 하였다. 차체의 무게는 해당 트랙터의 무게 3,260 kg에 농작업별 작업기의 무게를 추가하여 설정하였다.

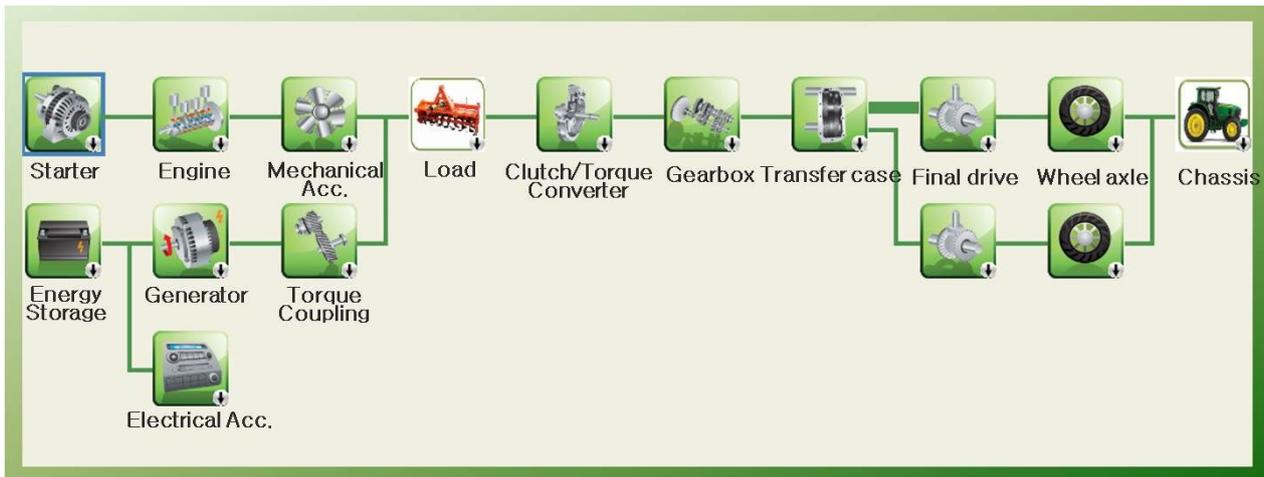


그림 3-18 트랙터 시뮬레이션 모델의 구조.

#### (가) 엔진

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델에서 설계된 엔진 모듈의 사양 결정은 그림 3-19와 같이 Autonomie 시뮬레이션 프로그램의 기반 프로그램인 MATLAB을 이용하여 입력이 가능하도록 하였다. 엔진의 총 중량, 최대 출력, 구동 속도, 구동 관성 모멘트, 엔진의 Full throttle 상태에서의 속도-토크 곡선 등을 100ps 급 트랙터 디젤 엔진의 사양과 동일하게 적용하였다.

```

eng.plant.init.technology          = 'ci';
eng.plant.init.num_cyl_init       = 4;
eng.plant.init.material           = 'CastIron'; %Assumption

eng.plant.init.eng_mass           = 1394.7;      %eng.plant.init.mass_block + eng.plant.init.mass_radiator + eng.plant.init.mass_vol + eng.plant.init.tank_m
eng.plant.init.tank_mass         = 60;
eng.plant.init.fuel_mass         = 150;        % Capacity of tank in kg - approximate value

eng.plant.init.time_response      = 0.4;        % 0 to 100% of max torque in 500ms - approximate value
eng.plant.init.spd_idle          = conversion_calc('rotational_speed','rpm','rad/s',650);
eng.plant.init.warmup_init       = 0;          % This should normally be 0
eng.plant.init.pwr_max           = 332066.3;    % Watts

eng.plant.init.fuel_density_val   = 0.835;     % kg/L
eng.plant.init.fuel_heating_val   = 42500000;  % (J/kg)Specific LHV
eng.plant.init.fuel_carbon_ratio  = 12/13.8;   % (kg/kg) ref:Dr. Rob Thring

eng.plant.init.displ_init        = 12700;     % cc
eng.plant.init.inertia           = 0.34;      % kg-m^2 - approximate value
eng.plant.init.spd_str           = 10;        % speed level (rad/s) the engine crank has to reach in order to start

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% maximum curves at each speed (closed and wide open throttle)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

그림 3-19 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 엔진 사양 입력.

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 엔진 블록 모듈은 그림 3-20과 같이 구성하였다. 엔진 블록 모듈은 엔진 회전수에 따른 토크를 연산하는 블록과 연료의 발열량 계산 블록, 연료 소모율 계산 블록으로 구성되어 있다. 입력부로는 엔진 on/off 명령, 엔진 스로틀 개폐 여부 명령, 엔진 요구 속도, 초기 엔진을 구동하기 위한 토크가 있으며 출력부로는 엔진 출력 토크, 엔진 속도, 연소가스 배기량, 엔진 온도 등이 있다. 엔진 토크 출력의 경우 입력되는 엔진의 요구 속도에 따라 엔진의 속도-토크 곡선에 의해 결정되며 엔진의 스로틀 밸브의 개폐 여부에 따라 식 (3-4)와 같이 표현이 가능하다. 연료 소비율의 경우 엔진의 연비 성능 곡선에 따라 엔진 회전수 및 토크에 의해 결정되며 시간에 따른 적분값으로 전체 연료 소모량이 결정된다.

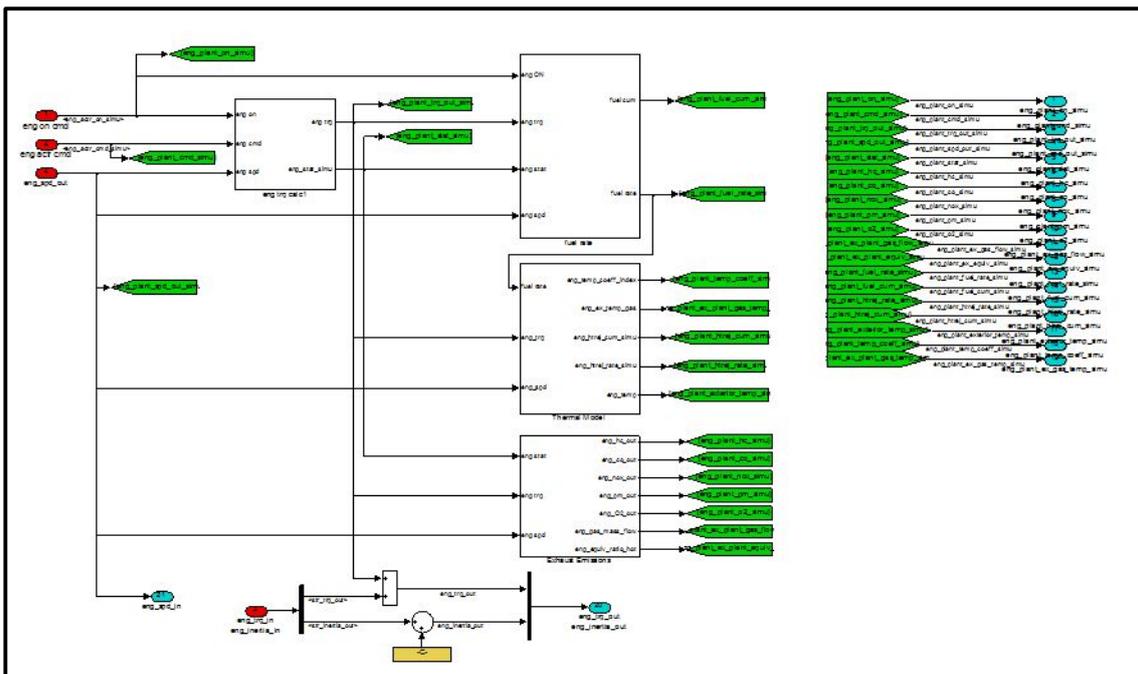


그림 3-20 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 엔진 모듈 구성도.

$$T_{out} = (1 - T_{cmd}) \cdot T_{CTT} + (T_{cmd} \cdot T_{WOT}) \quad \text{식 (3-4)}$$

$T_{CTT}$  = closed-throttle torque curve

$T_{WOT}$  = wide-open-throttle torque curve

$T_{cmd}$  = engine command of throttle (wide-open=1, closed=0)

(나) 모터/발전기

엔진의 토크 어시스트를 위해 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델에서 설계된 모터/발전기의 모듈의 사양은 표 3-16과 같으며 그림 3-21은 같이 시뮬레이션 모델 사양을 입력하였다. 모터/발전기의 정격 출력은 7.4 kW, 정격 회전수는 2,300 rpm, 정격 토크는 30.63 N·m로 설계하였으며 모터의 속도-토크 곡선에 대한 식도 반영하여 설계하였다.

표 3-16 트랙터 시뮬레이션 모델의 모터/발전기 사양

Item	Unit	Motor /generator	Note
Rated output	W	7377	
No. of poles		12	
Rated speed	r/min	2300	
Maximum speed	r/min	2800	
Rated torque	N·m	30.63	
	kgf·cm	312.5	
Rated current	A(rms)	50	±10% less
Elec. time constant	ms	32.88	
Mech. Time constant	ms	45.12	
Rated power rate	kW/s	1.9017	
Back EMF constant	×10 <sup>-3</sup> V(rms)/min <sup>-1</sup>	22.915	±10% less
Torque constant	N·m/A(rms)	0.6126	±10% less
	kgf·cm/A(rms)	6.2503	±10% less
Phase resistance	Ω	0.0097	±10% less
Phase inductance	mH	0.3189	±20% less
Supply voltage	VDC	220 VDC	DC Link



(다) 기어

시뮬레이션 모델에서 설계된 기어의 설계 사양은 그림 3-23과 같으며, 블록 모듈은 그림 3-24와 같다. 트랙터의 변속 방식은 일반 자동차의 변속 방식과 달리 변속 단수를 고정시켜 작업을 수행하므로 요구되는 속도에 따라 변속이 자동으로 이루어지지 않고 작업별로 미리 설정해놓은 변속 단수와 동일한 변속 단수로 고정이 되도록 설정하였다. 또한 기어부는 엔진 출력축에서 차축까지의 기어를 포함하며 트랙터의 주행단수가 부변속 3단 주변속 4단임을 고려하여 총 12단으로 설계하고 단수에 적용된 기어비를 적용하였다. 기어 효율은 기계식 기어의 이론적 효율이 98%임을 고려하여 98%로 설정하였으며 엔진 출력축의 회전 속도 및 토크를 기어비에 따라 일정비로 증가 및 감소시켜 구동축으로 전달할 수 있도록 설계하였다. 엔진 출력축의 토크와 속도는 식 (3-5)와 같이 차축의 토크와 속도로 변환된다.

```

XX File content
gb.plant.init.inertia_in = 0.003; % kg m^2
gb.plant.init.inertia_out = 0; % kg m^2
gb.plant.init.mass = 604/2.2046; %kg
gb.plant.init.spd_thr = 10;
gb.plant.init.nb_ratio = 12;
gb.plant.init.ratio_idx1_gear = [0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12];
gb.plant.init.ratio_map = [0,12,569,8,903,6,224,4,655,4,331,3,237,2,305,1,822,1,604,1,290,0,902,0,628];

gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq = [0:100:1000];% input trq in Nm
gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd = [0:100:1000];% input speeds in rd/s

gb.plant.init.eff_trq_ratio1_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio2_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio3_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio4_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio5_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio6_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio7_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio8_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio9_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio10_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio11_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));
gb.plant.init.eff_trq_ratio12_map = 0.98*ones(length(gb.plant.init.eff_trq_idx2_spd),length(gb.plant.init.eff_trq_idx1_trq));

for cpt=1:gb.plant.init.nb_ratio,
    gb.plant.init.eff_trq_map(:,cpt) = eval(['gb.plant.init.eff_trq_ratio',num2str(cpt),'.map']);%create the 3 dimensions (trq, spd, ratio) map for trq loss
    
```

그림 3-23 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 모터 사양 입력.

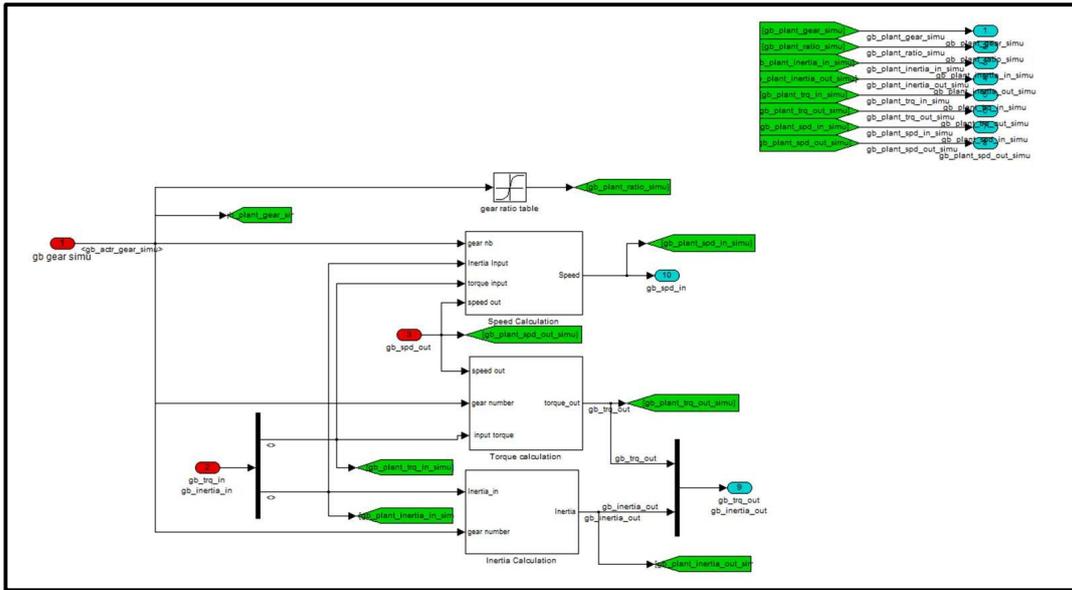


그림 3-24 트랙터 시뮬레이션 모델의 기어박스 모듈 구성도.

$$N_a = \frac{N_e}{G_{pt}}, \quad T_a = G_{pt} \eta_{pt} T_e \quad \text{식 (3-5)}$$

여기서,  $N_e$  : 기관속도[rpm]

$N_a$  : 차축속도[rpm]

$T_e$  : 기관토크[N·m]

$T_a$  : 차축토크[N·m]

$\eta_{pt} = \eta_T \eta_D \eta_{FD}$  : 변속기효율( $\eta_T$ ) × 차동장치효율( $\eta_D$ ) × 최종구동 장치효율( $\eta_{FD}$ )

$G_{pt} = G_T G_D G_{FD}$  : 변속기 기어비( $G_T$ ) × 차동장치 기어비( $G_D$ ) × 최종구동장치 기어비( $G_{FD}$ )

(라) 차축

하이브리드 트랙터 차축 모델은 그림 3-25와 같은 구조로 설계하였다. 트랙터의 앞바퀴 반경과 뒷바퀴 반경이 다를 경우를 고려하여 앞바퀴 반경과 뒷바퀴 반경의 비인 1,473:1066의 비로 차축 회전속도의 비를 설정하였다. 또한 차축 입력측으로 전달되는 회전속도와 토크가 지면 반력 및 트랙터/작업기의 무게에 의한 견인 부하에 따라 변화되도록 설계하였다.

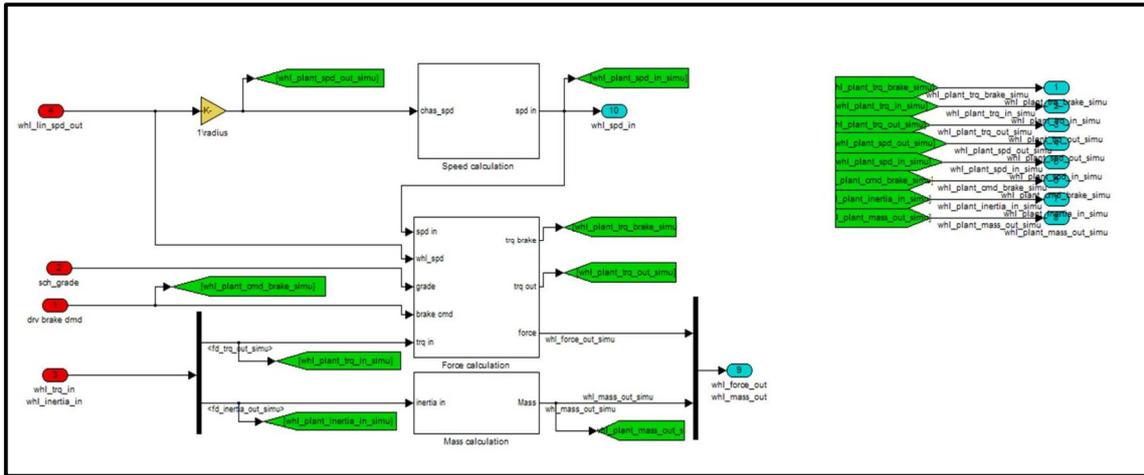


그림 3-25 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 차축 모듈 구성도.

(마) 부하

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델의 작업 부하에 따른 성능평가를 위해 그림 3-26과 같이 로타리 경운, 베일러, 플라우 경운작업에서 엔진의 소요동력을 측정하였다. 로타리 경운은 회전 동력 및 토양 파쇄 등에 의해 최대 74.2 kW의 소요동력이 발생하였으며, 평균 소요동력은 48.0 kW로 트랙터 정격출력의 68%가 나타났다. 베일러 작업의 경우 PTO의 회전동력 및 토양의 지면 반력 등에 따라 엔진의 동력손실이 발생하였으며 최대 76.0 kW, 평균 소요동력은 51.1로 정격출력의 72%로 나타났다. 플라우 경운의 경우 PTO의 회전동력 없이 토양 파쇄 등에 의해 최대 소요동력 62.1 kW, 평균 소요동력은 38.1 kW로 정격 출력의 54%로 나타났다.

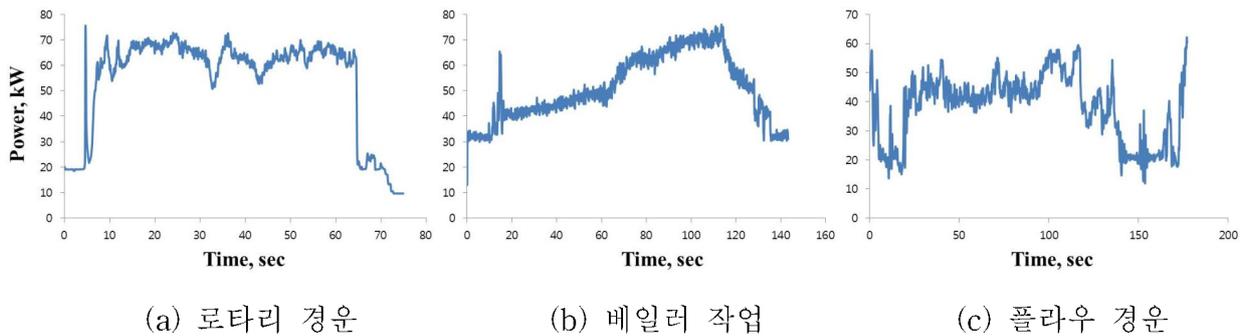


그림 3-26 트랙터의 작업에 따른 엔진 소요동력.

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델에서 설계된 부하의 블록 모듈은 그림 3-27과 같다. 입력 값인 엔진의 부하 동력은 엔진 블록 모듈에서 출력으로 나온 엔진 회전수를 나누어 시간에 따라 엔진에 발생하는 부하 토크의 형태로 바뀌어 출력된다. 출력되는 엔진의 토크는 기어비에 따라 각 차축 및 PTO, 유압 등으로 전달되게 된다.

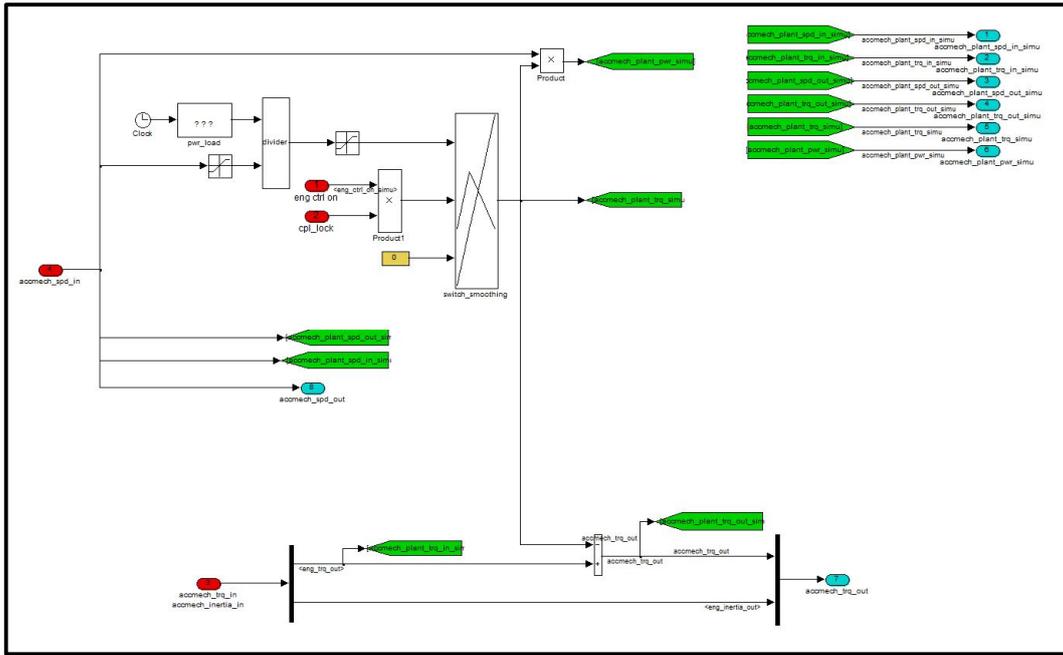


그림 3-27 Power-loss block module of tractor simulation model.

(2) 전체 시뮬레이션 모델 개발 및 성능평가

핵심부품 모듈화를 통해 각 핵심부품의 모델을 개발하고 이를 통합하여 그림 3-28과 같이 전체 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 전체 시뮬레이션 모델에 대한 성능검증을 위해 트랙터 주요 농작업 중 엔진의 동력소모가 큰 베일러 작업 조건에서 성능평가를 실시하였으며 입력 조건은 PTO, 유압동력, 변속기 입력축 동력, 출력 조건은 차축 소요동력으로 하여 작업 부하에 따른 차축의 소요동력을 통해 핵심부품의 모델 검증을 실시하였다.

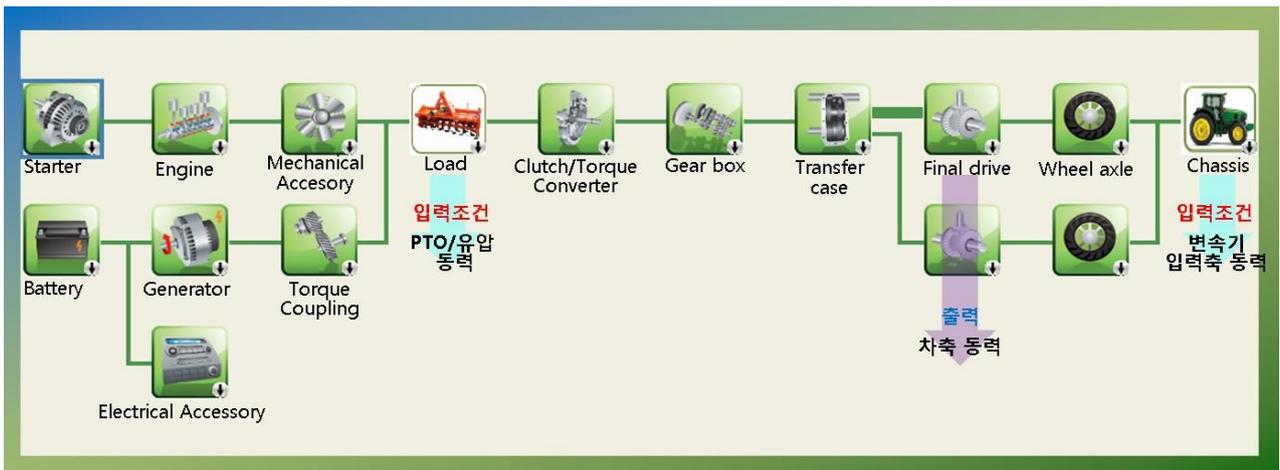


그림 3-28 트랙터 시뮬레이션 모델의 입/출력 조건.

(가) 시뮬레이션 입력 부하

트랙터 시뮬레이션 모델에 사용될 입력 부하는 베일러 작업에서 각각 그림 3-29, 30, 31과

같이 측정되었다. 그림 3-29는 베일러 작업 시 PTO에서 소요되는 동력을 나타낸 것으로 PTO 입력축 회전수와 PTO 입력축 토크 측정을 통해 소요 동력을 계산하였다. 베일의 결속에 따라 소요동력이 증가하였으며, 최대 소요동력은 약 45 kW로 엔진 소요동력 중 가장 많은 소요동력을 차지하였다. 85~110초 구간은 트랙터의 선회 구간으로 선회 구간에서는 베일러 작업이 이루어지지 않아 소요동력이 감소하는 것으로 나타났다. 그림 3-30은 베일러 작업 시 변속기 입력축에서 소요되는 동력을 나타낸 것으로 변속기 입력축 회전수(엔진 회전수)와 입력축 토크 측정을 통해 동력을 계산하였다. 최대 소요동력은 약 33 kW로 나타났으며 선회 구간에서 순간적으로 높은 동력이 소모됨을 확인할 수 있었다. 그림 3-31은 베일러 작업 시 소요되는 유압 동력으로 주 유압 및 보조 유압 동력의 합을 통해 계산하였다. PTO 및 변속기 입력축 소요동력에 비해 매우 작게 나타났으며 최대 소요동력은 0.064 kW로 나타났다.

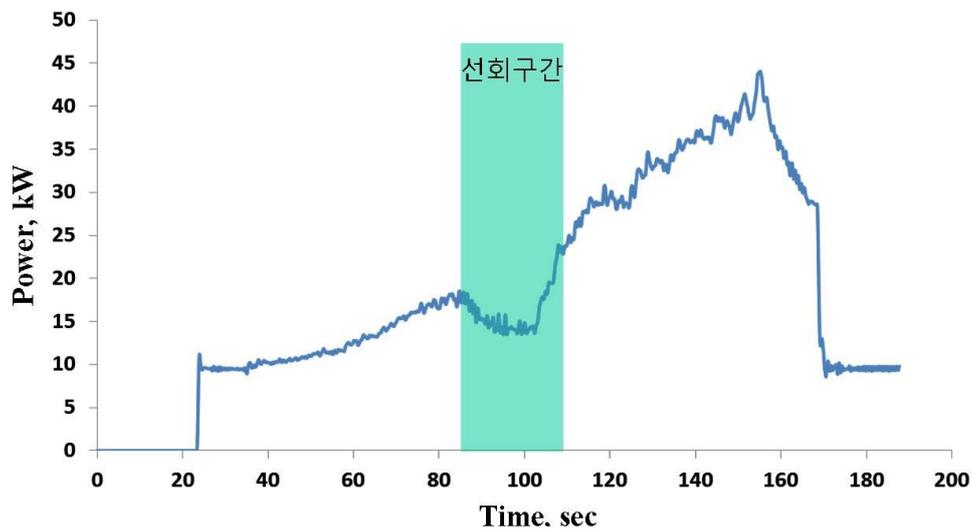


그림 3-29 베일러 작업 시 PTO 소요동력.

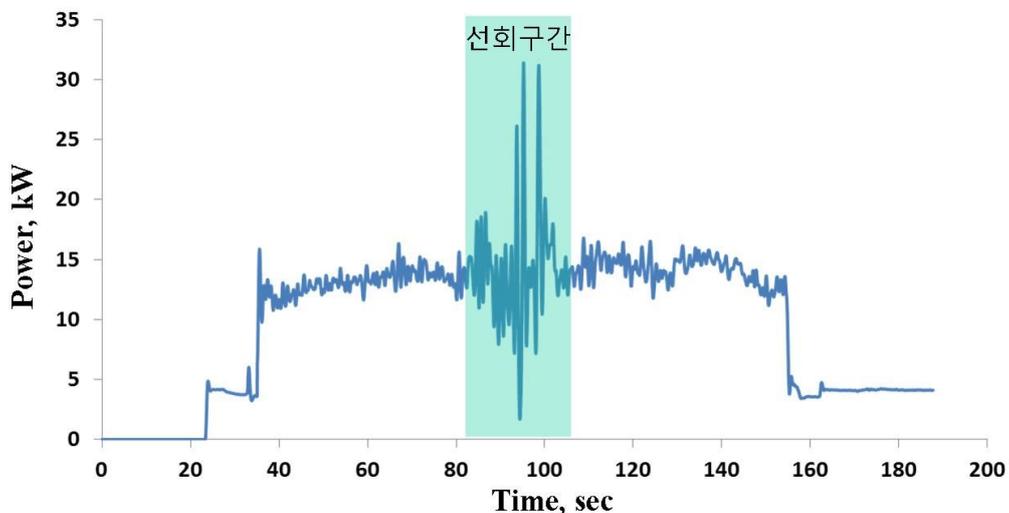


그림 3-30 베일러 작업 시 변속기 입력축 소요동력.

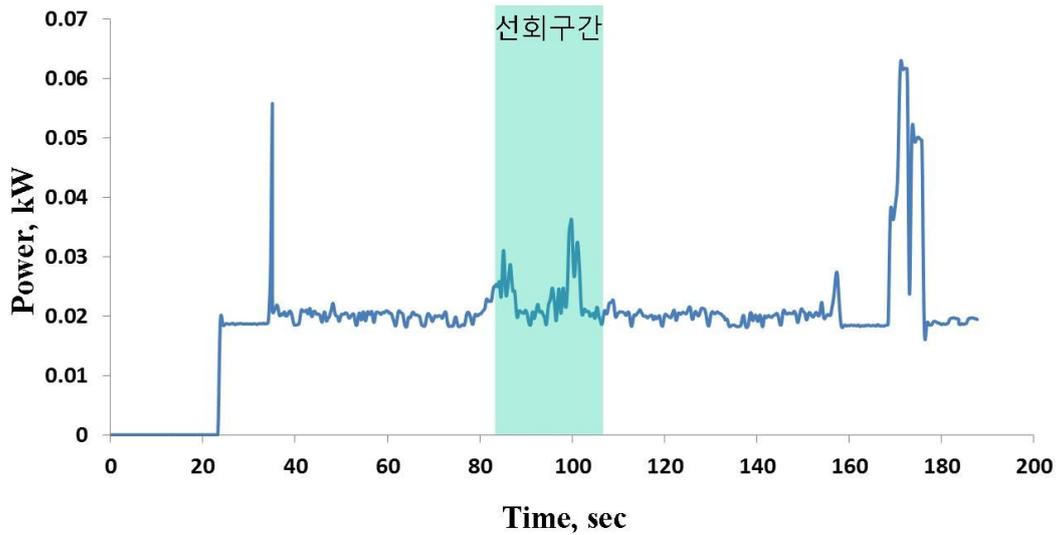


그림 3-31 베일러 작업 시 유압 소요동력.

(나) 시뮬레이션 모델 검증

그림 3-32는 PTO 부하에 의해 엔진 동력이 감소한 것으로 엔진의 토크가 트랙터의 클러치로 전달되는 과정에서 PTO에서 소요되는 토크만큼 감소한 것을 확인할 수 있었다. 여기에 그림 3-33과 같이 엔진 속도가 감소되는 과정없이 동일하게 클러치로 전달되어 엔진에서 클러치로 동력 전달 시 PTO 토크와 속도의 곱인 소요 동력만큼 동력이 감소함을 확인할 수 있었다.

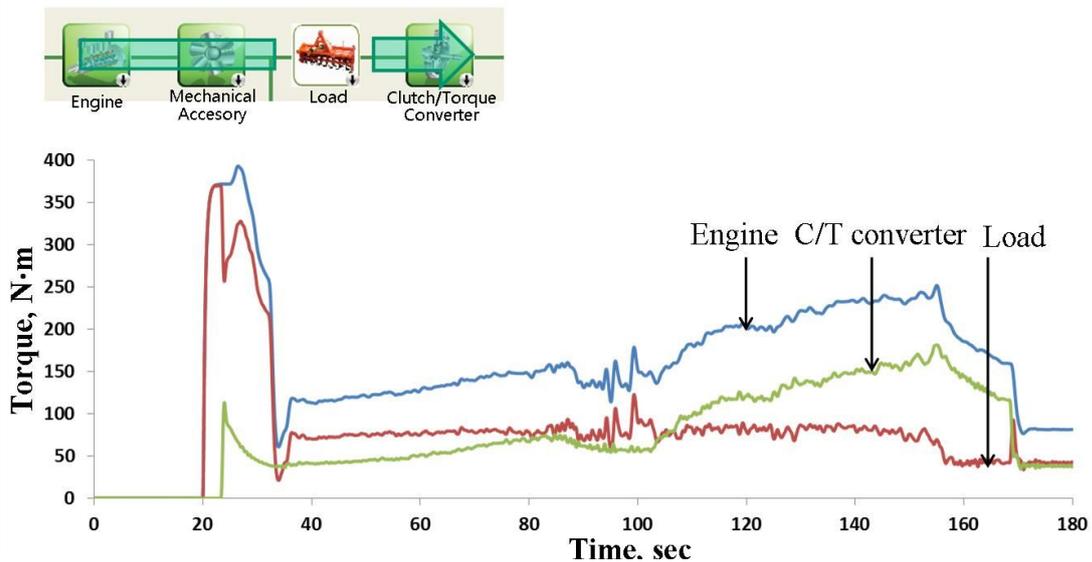


그림 3-32 PTO 부하에 따른 엔진의 소모 토크.

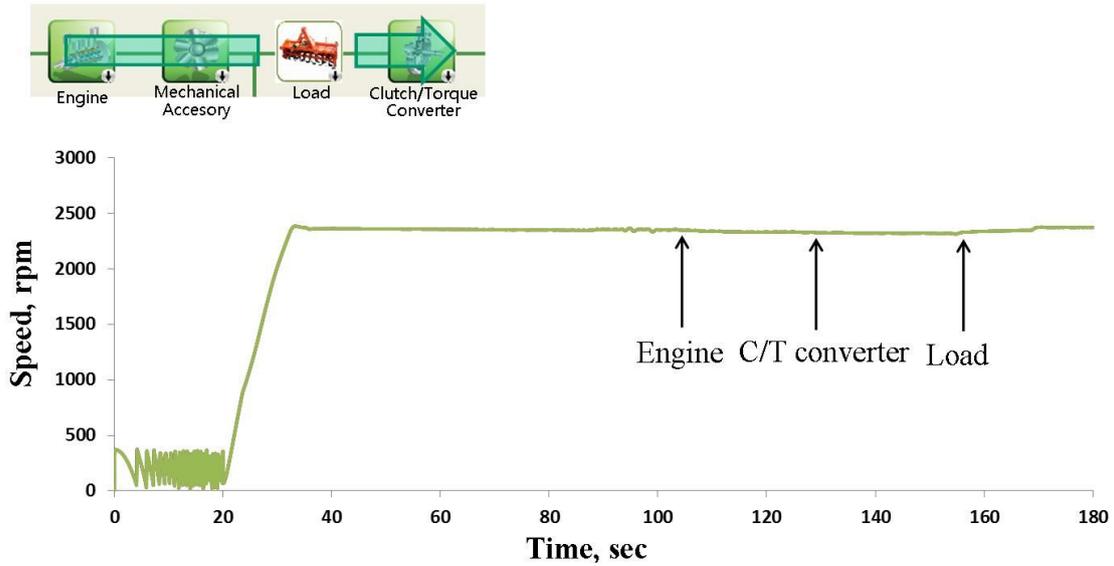


그림 3-33 엔진과 작업 부하, 클러치 속도.

그림 3-34는 클러치에서 변속기어를 지나는 과정에서의 속도 변화 과정으로 변속 단수인 부 변속 1단 주변속 2단에서 기어비인 8,903만큼 회전 속도가 감소하였다. 변속 과정에서 소요되는 동력이 없으므로 회전수가 기어비만큼 속도가 감소함에 따라 토크는 그림 3-35와 같이 기 어비만큼 증가함을 확인하였다.

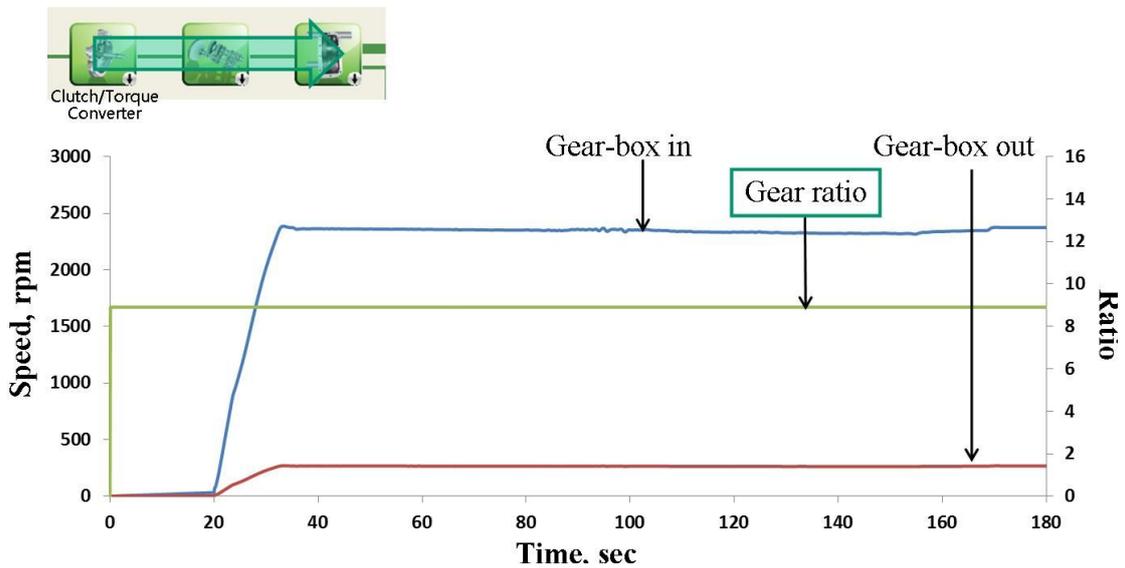


그림 3-34 기어박스 동력전달과정에서의 회전 속도.

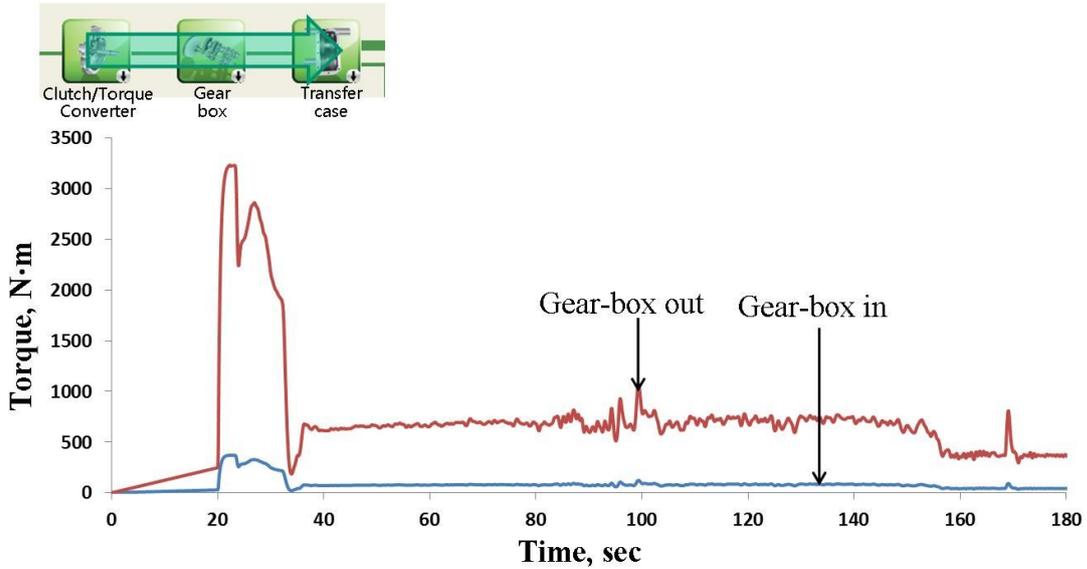


그림 3-35 기어박스 동력전달과정에서의 토크.

그림 3-36은 기어박스에서 전달된 소요동력이 최종 구동축으로 전달되는 과정에서 회전 속도의 변화 과정으로 트랙터의 경우 앞바퀴와 뒷바퀴의 반경이 다르므로, 반경에 따른 회전비를 고려하여 속도 분배가 이루어지도록 하였다.

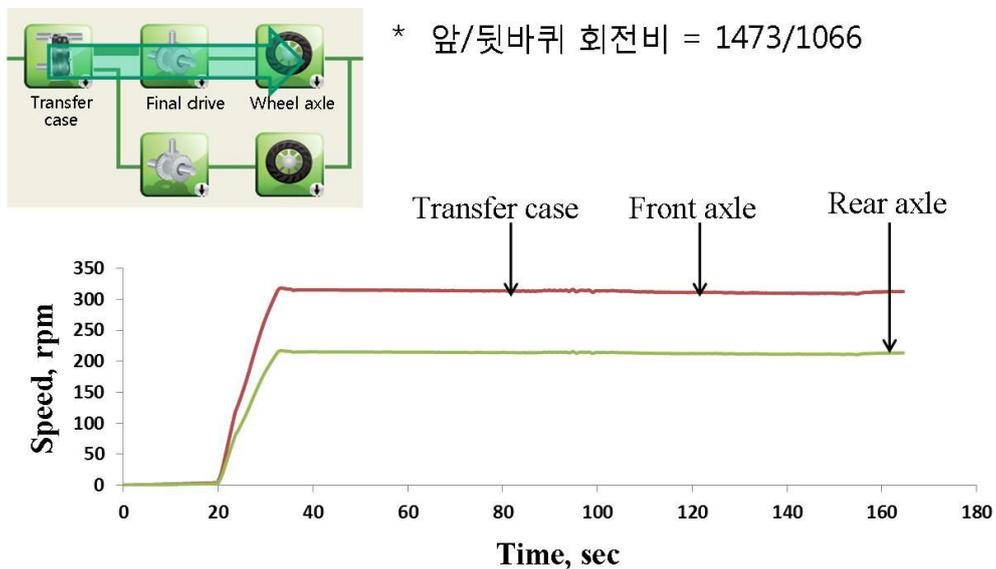


그림 3-36 앞/뒷바퀴 회전비에 따른 회전속도 분배.

그림 3-37은 시뮬레이션 수행 결과 엔진에서 소요되는 소모동력을 나타낸 것으로 시뮬레이션 결과와 측정된 데이터가 초기 가속구간 및 선회구간을 제외하고 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 수행 시 선회구간에 대한 적용이 없고 초기 가속구간의 경우 토양 조건

에 의해 발생할 수 있는 slip에 의해 차이가 날 수 있어 추후 선회구간 적용 및 토양 성분 분석에 따라 시뮬레이션 결과와 실험 데이터가 유사하게 나타날 수 있을 것으로 판단된다. 그림 3-38과 3-39는 앞차축과 뒷차축의 소요되는 토크값을 나타낸 것으로 시뮬레이션 결과와 실제 실험결과가 엔진 소요동력과 마찬가지로 초기 가속구간 및 선회 구간을 제외하고 실제 실험결과와 시뮬레이션 결과가 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

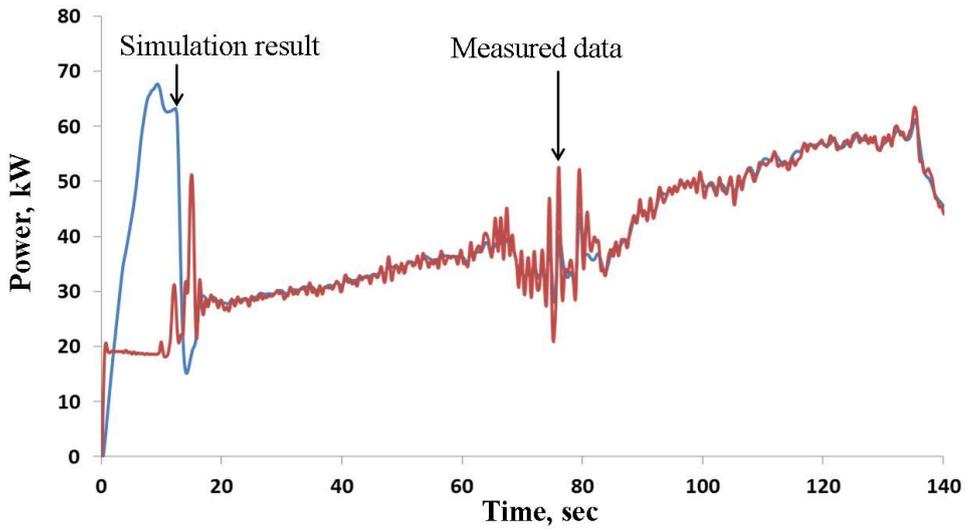


그림 3-37 시뮬레이션 결과와 실제 데이터 간의 엔진 소요동력 비교.

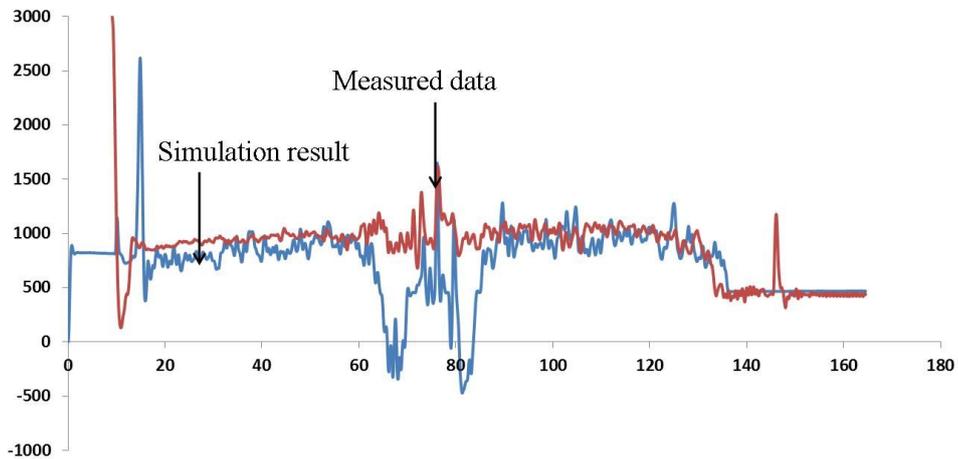


그림 3-38 시뮬레이션 결과와 실제 데이터 간의 앞차축 토크 비교.

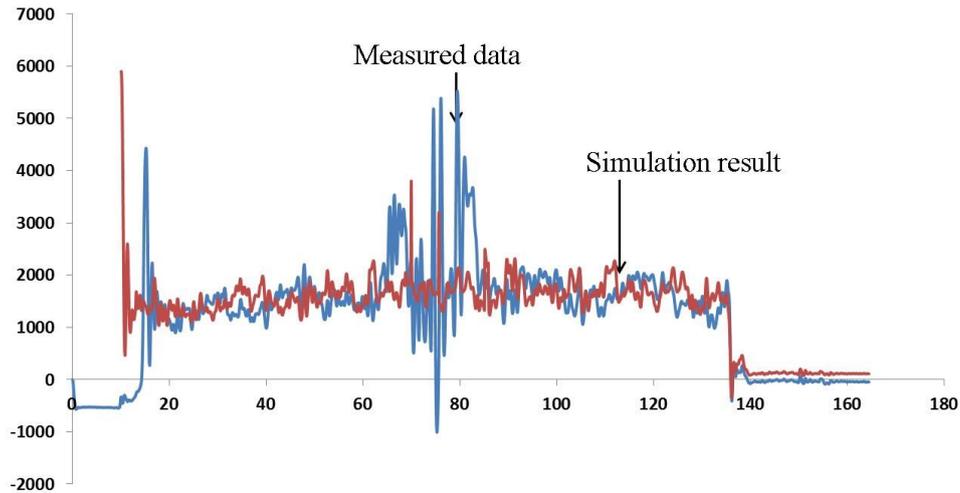


그림 3-39 시뮬레이션 결과와 실제 데이터 간의 뒷차축 토크 비교.

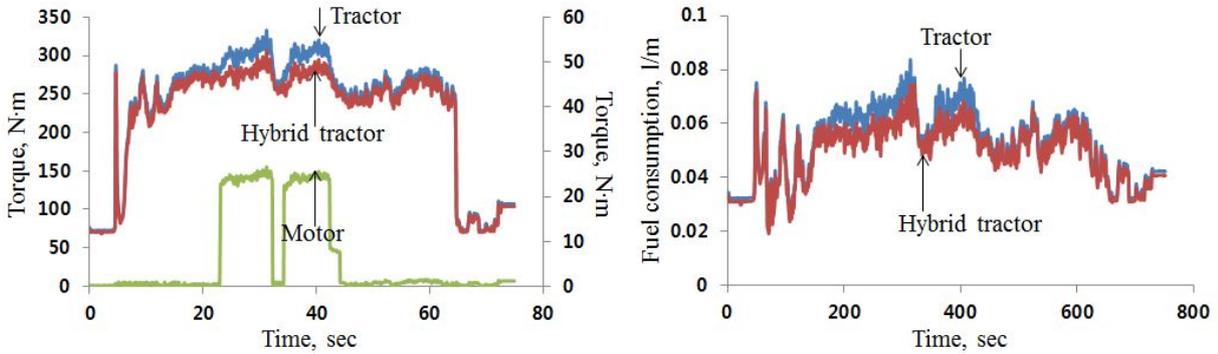
#### (다) 하이브리드 트랙터 성능평가

개발된 하이브리드 트랙터 모델의 성능 평가를 위해 작업 별 엔진 토크와 모터 토크, 연료 소비율을 일반 트랙터 모델과 비교하였으며, 결과는 그림 3-40과 같이 나타났다. 그림 3-40(a)은 로타리 경운 작업 시 시뮬레이션을 통해 확인한 엔진 토크, 모터 토크, 연료 소비율을 나타낸 것으로 요구되는 토크의 양이 정격 토크인  $295 \text{ N} \cdot \text{m}$  이상일 경우 하이브리드 트랙터 모델이 일반 트랙터 모델에 비해 토크의 소모가 적었으며 동시에 모터의 토크 어시스트가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 연료 소비율의 경우 모터의 토크 어시스트가 있지 않은 0~22초 구간까지는 연료 소비율이 비슷하게 나타났으나 모터의 토크 어시스트가 있는 구간에서는 연료 소비율이 일반 트랙터가 더 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

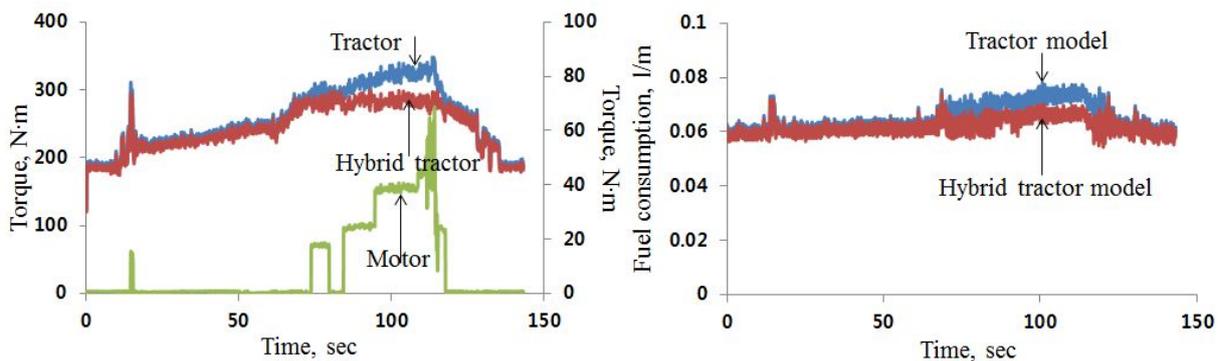
그림 3-40(b)는 베일러 작업 시뮬레이션 결과로 로타리 경운 작업과 마찬가지로 정격 토크 이상일 경우 하이브리드 트랙터 모델이 일반 트랙터 모델에 비해 토크의 소모가 적었으며 동시에 모터의 토크 어시스트가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 연료 소비율의 경우 모터의 토크 어시스트가 있지 않은 0~70초 구간까지는 연료 소비율이 비슷하게 나타났으나 모터의 토크 어시스트가 있는 구간에서는 로타리 작업과 마찬가지로 연료 소비율이 일반 트랙터가 더 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

그림 3-40(c)는 플라우 경운 작업 시뮬레이션 결과로 플라우 경운의 소요동력은 다른 작업에 비해 대체로 적게 나타나 모터 어시스트 구간이 다른 작업에 비해 적게 나타났다. 로타리 경운 작업, 베일러 작업과 마찬가지로 정격 토크 이상일 경우 하이브리드 트랙터 모델이 일반 트랙터 모델에 비해 토크의 소모가 적었으며 동시에 모터의 토크 어시스트가 이루어졌다. 연료 소비율의 경우 모터의 토크 어시스트가 있지 않은 0~100초 구간까지는 연료 소비율이 비슷하게 나타났으나 모터의 토크 어시스트가 있는 구간에서는 로타리 작업, 베일러 작업과 마찬가지로 연료 소비율이 일반 트랙터가 더 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

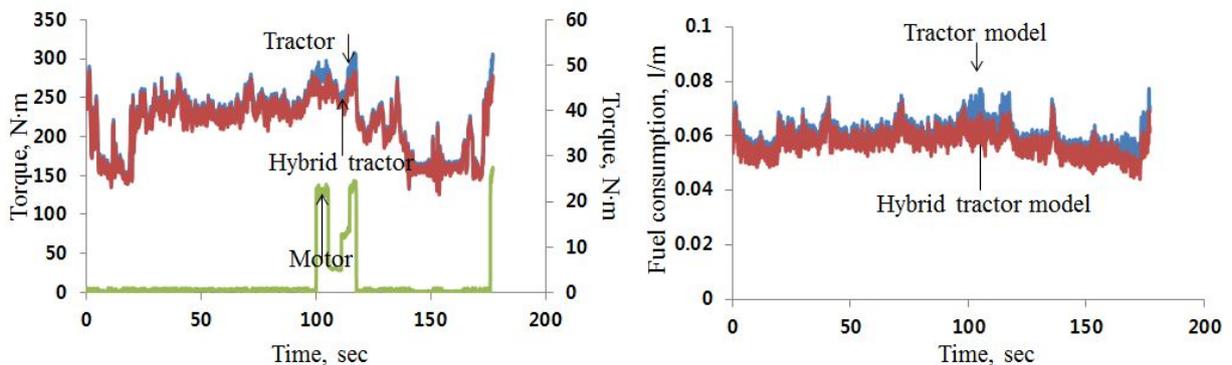
연료 소비율의 경우 각 작업에서 하이브리드 트랙터와 일반 트랙터의 차이가 크게 나타나지 않았으나 장시간 작업이 수행될 경우 누적되는 연료의 소비량이 하이브리드 트랙터에 비해 일반 트랙터가 매우 클 것으로 예상돼, 경제적으로 효용성이 있음을 판단할 수 있었다.



a. Engine and motor torque  
b. Fuel consumption  
(a) Rotary tillage operation



a. Engine and motor torque  
b. Fuel consumption  
(b) Baler operation



a. Engine and motor torque  
b. Fuel consumption  
(c) Plow tillage operation

그림 3-40 Simulation results of hybrid tractor model.

### 3. 시뮬레이션을 통한 하이브리드 트랙터 성능평가

#### 가. 하이브리드 트랙터 성능 분석

시뮬레이션 모델을 통한 하이브리드 트랙터 성능평가를 위해 시뮬레이션 모델과 연동하여 구동할 수 있는 실내 시험장치를 이용해 하이브리드 트랙터 성능 분석을 실시하였다. 실내 시험장치는 엔진, 모터/발전기, 인버터, 컨버터, 배터리-BMS로 구성되어 있어 시뮬레이션 모델 중 변속기, 차축을 제외한 시뮬레이션 모델로 실내 시험장치와 연동하여 성능평가를 실시하였다.

##### (1) 충방전 성능 분석

하이브리드 시스템의 충방전 제어 성능을 검증하기 위해서는 작업 구간뿐만 아니라 필지 간 이동 시 발생하는 충방전 상황을 고려해야 한다. 그러므로 모터/발전기의 회전수에 따른 충방전 시간에 대한 기준이 필요하므로 본 연구에서는 모터/발전기와 동축으로 연결되어 모터/발전기 회전수와 동일한 엔진 회전수에 따른 SOC 변화시간을 측정하였다. 시험은 하이브리드 트랙터 실내 시험장치를 이용하여 실시하였으며 엔진 회전수에 따라 최대 방전 토크 상태(30 Nm)에서의 충전 시간과 최대 충전 토크 상태(-27 Nm)에서의 충전 시간을 비교하였다. SOC는 오차 범위, 배터리의 과충전 및 과방전을 방지하기 위해(남 등, 2003) 한계 범위를 20 ~ 80%로 설정하였다. 현재 배터리 상태에 따른 충방전 속도 차이를 확인하기 위해 20% 간격으로 구간을 나누어 SOC가 20 ~ 40%, 40 ~ 60%, 60 ~ 80%일 때 각각의 충방전 소요 시간을 측정하였다. 엔진 회전수 기준은 2,000 rpm일 때 플라우 경우와 로타리 경우 작업 사이클에서 모터의 동작이 거의 없고 2,400 rpm 이상일 경우 발전기를 통한 충전이 거의 없어 본 연구에서는 엔진 회전수를 2,100, 2,200, 2,300 rpm의 3 기준으로 선정하였다.

##### (2) 충방전 제어 전략

하이브리드 트랙터 제어 성능 검증을 위해 그림 3-41과 같은 기준으로 충방전 제어 전략에 대한 검증을 실시하였다. 하이브리드 제어 방법은 작업 부하에 따라 모터/발전기의 충방전 기준을 엔진 정격 회전수인 2,300 rpm으로 선정하고 엔진 회전수가 2,300 rpm 이상일 경우 충전이 일어나며 2,300 rpm 이하일 경우 방전이 일어나도록 하였다. 충방전 제어 전략을 검증하기 위해 플라우 경우와 로타리 경우 작업 사이클 입력에 따라 모터/발전기의 출력 토크를 분석하고, 실내 시험장치를 이용한 결과와 비교하였다. 분석 결과와 실제 실험 결과는 토크값을 비교하여 t-test를 통해 평균값의 동일 여부를 확인하였으며 플라우 작업 구간 별로 토크값을 비교하여 동일 여부를 확인하였다.

분석된 모터/발전기의 출력 토크는 엔진 회전수를 기준으로 충전 구간에서 엔진 회전수가 2,300 rpm으로 감소할 때까지 필요한 출력 토크를 계산하여 결정하였으며 2,300 rpm 이하로 감소할 경우 2,300 rpm으로 회전수가 증가할 때까지 필요한 출력 토크를 계산하여 결정하였다.

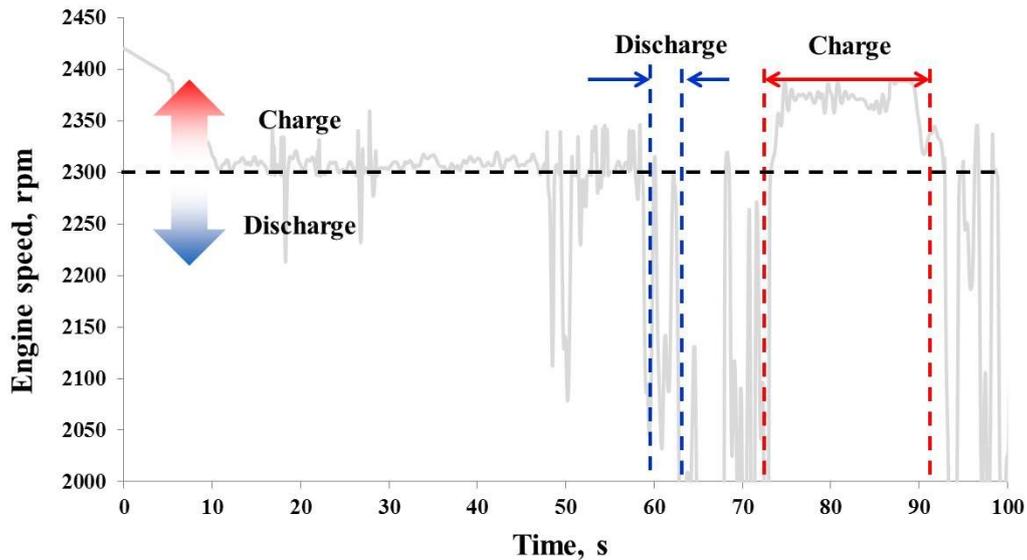


그림 3-41 하이브리드 트랙터 제어 전략.

### (3) 충전 성능 분석 결과

엔진 회전수에 따른 하이브리드 트랙터의 충전 소요시간 비교 결과는 표 3-17과 같다. 충전 시 배터리 SOC가 20 → 40%, 40 → 60%, 60 → 80%일 때 각각의 소요시간을 측정하였다. 엔진 회전수는 높아짐에 따라 모든 배터리 잔량 구간에서 충전 소요시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 엔진 회전수가 증가함에 따라 동축으로 연결된 모터의 회전수 또한 증가하여 단위 시간 당 발생하는 전류량이 증가하고 그 결과 충전 속도가 빨라지기 때문이다. 현재 SOC에 따른 충전 소요시간을 분석한 결과 현재 SOC에 따른 충전 속도는 유의성이 없음을 확인할 수 있었다.

20 → 40%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 증가하는 데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 17.7초, 2,200 rpm에서 16.9초, 2,300 rpm에서 16.5초로 나타났다. 40 → 60%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 증가하는데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 17.2초, 2,200 rpm에서 16.5초, 2,300 rpm에서 15.7초가 걸렸다. 60 → 80%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 증가하는데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 17.4초, 2,200 rpm에서 16.6초, 2,300 rpm에서 15.8초가 걸렸다. 이처럼 SOC 1% 당 충전하는데 걸리는 시간은 현재 SOC의 초기값에 관계없이 평균 16.6초로 나타났으며, 트랙터 작업 중 한 필지에서 다른 필지로 이동 시 걸리는 시간이 3분 이상일 경우 SOC를 약 10% 충전 가능함을 확인할 수 있었다.

표 3-17 Charging time of SOC by engine speed

Status	Speed (rpm)	SOC (%)		
		20 → 40	40 → 60	60 → 80
Charge	2,100	353.7±4.5s <sup>A1)a2)</sup>	343.9±3.1s <sup>Ab</sup>	347.0±3.0s <sup>Ab</sup>
	2,200	338.5±5.3s <sup>Ba</sup>	329.8±3.7s <sup>Bb</sup>	332.8±3.8s <sup>Bb</sup>
	2,300	329.9±2.3s <sup>Ca</sup>	313.7±1.9s <sup>Cb</sup>	316.6±1.8s <sup>Cb</sup>

<sup>1)</sup> averages with different superscript (A, B, C) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

<sup>2)</sup> averages with different superscript (a, b) in each column are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

엔진 회전수에 따른 하이브리드 트랙터의 방전 소요시간 비교 결과는 표 3-18과 같으며 방전 시 배터리 SOC가 80 → 60%, 60 → 40%, 40 → 20%일 때 각각의 소요시간을 측정하였다. 엔진 회전수가 높아짐에 따라 모든 배터리 잔량 구간에서 방전 소요시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 엔진 회전수가 증가함에 따라 동축으로 연결된 모터의 회전수 또한 증가하여 단위 시간 당 소모하는 전류량이 증가하고 그 결과 방전 속도가 빨라지기 때문이다. 현재 SOC에 따른 방전 소요시간을 비교한 결과 현재 SOC와 방전 소요시간 간의 유의성이 없음을 확인하였다.

80 → 60%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 감소하는 데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 13.2초, 2,200 rpm에서 13.1초, 2,300 rpm에서 12.8초로 나타났다. 60 → 40%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 감소하는데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 13.1초, 2,200 rpm에서 13.0초, 2,300 rpm에서 12.7초가 걸렸다. 40 → 20%의 SOC 변화에서 SOC 1% 당 감소하는데 걸리는 시간은 2,100 rpm에서 12.2초, 2,200 rpm에서 12.1초, 2,300 rpm에서 11.8초가 걸렸다.

표 3-18 Discharging time of SOC by engine speed

Status	Speed (rpm)	SOC (%)		
		80 → 60	60 → 40	40 → 20
Discharge	2,100	268.9±3.9s <sup>A1)a2)</sup>	267.1±4.6s <sup>Aa</sup>	250.6±2.2s <sup>Ab</sup>
	2,200	261.0±2.8s <sup>Ba</sup>	260.6±3.2s <sup>Ba</sup>	242.4±1.1s <sup>Bb</sup>
	2,300	255.8±3.5s <sup>Ca</sup>	253.2±4.6s <sup>Ca</sup>	236.2±4.6s <sup>Cb</sup>

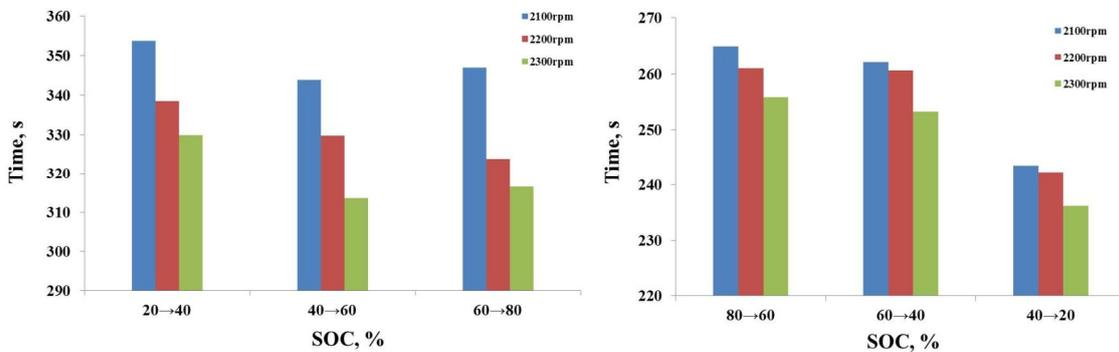
<sup>1)</sup> averages with different superscript (A, B, C) in each row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

<sup>2)</sup> averages with different superscript (a, b) in each column are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test

#### (4) 충전소요시간 분석

표 3-17과 3-18의 결과에 따라 충전에 소요되는 시간과 방전에 소요되는 시간을 비교하였으며 결과는 그림 3-42와 같이 나타났다. SOC에 따라 충전에 소요되는 시간보다 방전에 소요되는 시간이 더 짧은 것을 알 수 있는데 이는 동일한 실험 조건에서도 배터리의 충전 효율이 방전 효율보다 낮기 때문에 충전에 더 오랜 시간이 소모되기 때문이다(전 등, 2010).

동일한 SOC 구간에서의 충전시간을 비교한 결과 20 → 40%의 평균 충전 시간은 340.7초, 40 → 20%의 평균 방전 시간은 243초로 충전 시간이 방전 시간보다 약 100초 느리게 변화하였으며 40 → 60%의 평균 충전 시간은 329.1초, 60 → 40%의 평균 방전 시간은 260.3초로 충전 시간이 방전 시간보다 약 70초 느리게 변화하였다. 60 → 80%의 평균 충전 시간은 332.1초, 80 → 60%의 평균 방전 시간은 261.9초로 충전 시간이 방전 시간보다 약 70초 느리게 변화하였다.



(a) charging time of SOC

(b) discharging time of SOC

그림 3-42 Charging/discharging time of SOC.

#### 나. 하이브리드 트랙터 실용화 검증

##### (1) 플라우 경운 작업

플라우 경운 작업의 충전/방전 성능 검증 결과는 그림 3-43과 같이 나타났다. SOC 측정 단위는 1% 단위로 측정돼 계단식 형태의 SOC 변화가 나타났으며, 각 단위 사이클에서 SOC 변화 과정 중 모터의 충전과 방전이 모두 일어났다. SOC의 최소값은 72%로 8% 감소한 결과를 보였으며 모터가 충분히 동작하지 못한 것으로 추후 하이브리드 트랙터 시스템의 최적 제어 알고리즘 개발을 통해 개선해야 할 것이다.

표 3-19는 단위 사이클의 평균 토크에 따른 SOC 변화를 나타낸 것으로 1번 사이클의 경우 모터의 토크가 12.3 Nm, 발전기의 토크가 16.4 Nm로 나타났으나 충전 시간이 6.8초, 방전 시간이 18.8초로 나타났으며 발전기의 효율이 충전기의 효율보다 높아 SOC가 감소하는 경향을 보였다. 2, 3번 사이클의 경우 모터 토크가 각각 13.5, 18.2 Nm, 발전기의 토크가 각각 13.2, 11.1 Nm로 나타났으며 모터의 방전 시간이 발전기의 충전 시간보다 길게 나타나 SOC가 가장

급격하게 감소하였다. 4번 사이클의 경우 모터 토크가 6.7 Nm, 발전기 토크가 16.4 Nm로 나타났으며 충전 시간이 60.5초, 방전 시간이 11.4초로 나타나 SOC가 증가하는 경향을 보였다. 5번 사이클이 모터 토크는 9.7 Nm, 발전기 토크는 13.2 Nm로 나타났으며 충전 시간은 34.0초 방전 시간은 15.6초로 나타났으나 방전 시간이 충전 시간에 비해 비교적 높게 나타났고 모터 토크가 발전기 토크에 비해 비교적 높게 나타났으며 방전 효율이 충전 효율보다 높아 SOC의 변화는 나타나지 않았다. 6~9번 사이클의 경우 발전기 토크가 모터 토크보다 높게 나타났으며 충전 시간이 방전 시간에 비해 길게 나타나 SOC가 증가하는 경향을 보였다.

SOC 변화는 초기 80%로 시작하여 한 필지에 대한 작업 사이클이 끝나고 3%가 감소한 77%로 나타났다. 이는 엔진의 정격 회전수, 최대 충전 토크 상태에서 SOC 1% 당 충전 시 16초가 소요되므로 하루 평균 작업량이 8개의 필지임을 고려하였을 때 필지 간 이동 거리가 3분 이상이므로 SOC를 3% 이상 회복이 가능한 것으로 판단된다.

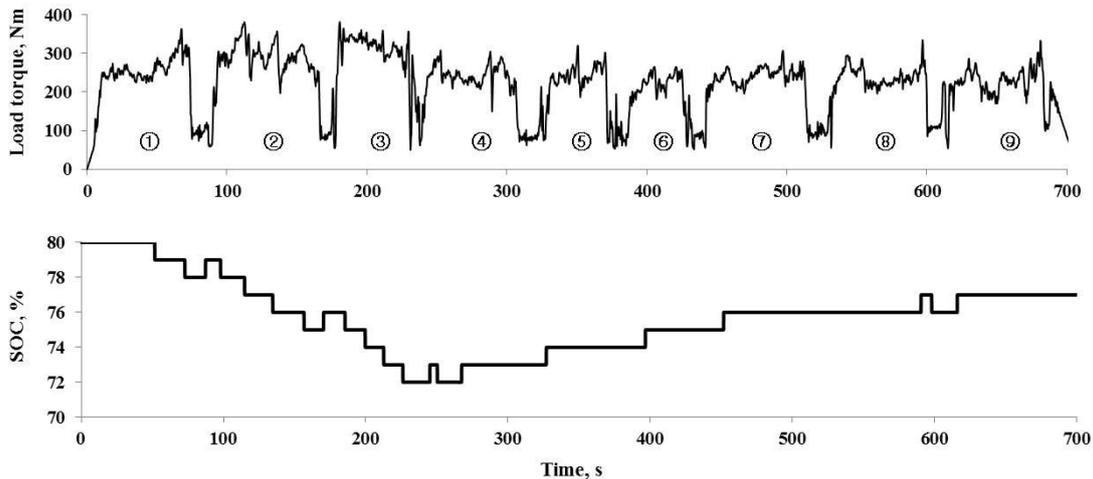


그림 3-43 Variation of SOC at plow tillage.

표 3-19 Variation of SOC by work load at plow tillage

Cycle No.	Charging time (s)	Discharging time (s)	Motor torque (Nm)	Generator torque (Nm)	Variation of SOC (%)
1	6.8	18	12.3	16.4	-2
2	35.1	47.2	13.5	13.2	-4
3	12.9	47.4	18.2	11.1	-4
4	60.5	11.4	6.7	16.4	+1
5	34.0	15.6	9.7	13.2	0
6	48.2	2.2	3.2	14.2	+1
7	66.4	13.3	6.3	17.1	+1
8	62.5	12.9	7.2	17.3	+1
9	70.1	10.9	8.7	15.1	+1

(2) 로타리 경운 작업

실내 시험장치를 통해 로타리 경운 작업의 충/방전 성능 검증 결과는 그림 3-44와 같이 나타났다. 각 단위 사이클에서 SOC 변화 과정 중 모터의 충전과 방전이 모두 일어났으며 SOC의 최소값은 74%로 6% 감소한 결과를 보였으며 모터가 충분히 동작하지 못한 것으로 추후 하이브리드 트랙터 시스템의 최적 제어 알고리즘 개발을 통해 개선해야 할 것이다.

표 3-20은 단위 사이클의 평균 토크에 따른 SOC 변화를 나타낸 것으로 1번 사이클의 경우 충전 시간이 32.5초, 방전 시간이 40.5초로 1번 사이클 작업 시간 중 각각 55%, 45%로 나타났으며 평균 모터 토크의 값은 10.1 Nm, 발전기의 평균 토크는 15.2 Nm로 나타났다. 평균 모터 토크 값이 발전기의 평균 토크 값보다 작게 나타났으나 모터의 방전 시간이 충전 시간보다 길고 모터의 방전 효율이 발전기의 충전 효율보다 높아 SOC는 감소하는 경향을 보였다. 2번 사이클은 모터 토크가 13.7 Nm, 발전기 토크가 16.1 Nm로 나타났으나 충전 시간이 32.7초, 방전 시간이 46.5초로 각각 나타나 SOC가 유지되는 경향을 나타내었다. 3번 사이클은 모터 토크가 12.8 Nm, 발전기 토크가 13.8 Nm로 나타났으나 충전 시간이 37.7초, 방전 시간이 34.9초로 나타나 SOC가 유지되는 경향을 나타내었다. 4번 사이클의 경우 모터 토크가 18.4 Nm, 발전기 토크가 12.1 Nm로 모터 토크가 더 크게 나타났으며 충전 시간 20.0초보다 방전 시간 55.4초가 더 길게 나타나 SOC가 가장 급격하게 감소하였다. 5, 6번 사이클의 경우 모터 토크가 방전 토크보다 높게 나타났으며 충전 시간이 방전 시간보다 길게 나타났지만 방전 효율이 충전 효율보다 높아 SOC가 감소하는 경향을 보였다. 7번 사이클의 경우 발전기의 토크가 15.8 Nm로 모터 토크인 14.9 Nm 보다 높게 나타났으나 방전 시간이 충전 시간보다 비교적 길게 나타나

SOC가 감소하는 경향을 보였다. 8번 사이클의 경우 발전기의 토크가 15.8 Nm로 모터 토크인 3.8 Nm 보다 높게 나타났으며 충전 시간이 방전 시간보다 길게 나타나 SOC가 증가하는 경향을 보였다. 9번 사이클의 경우 발전기 토크가 모터 토크보다 높게 나타났으며 충전 시간이 방전 시간보다 길게 나타났으나 방전 효율이 충전 효율보다 높아 SOC가 유지되는 경향을 보였다.

SOC 변화는 초기 80%로 시작하여 한 필지에 대한 작업 사이클이 끝나고 5%가 감소한 75%로 나타났다. 이는 엔진의 정격 회전수, 최대 충전 토크 상태에서 SOC 1% 당 충전 시 16초가 소요되므로 하루 평균 작업량이 8개의 필지임을 고려하였을 때 필지 간 이동 거리가 3분 이상이므로 SOC를 5% 이상 회복이 가능한 것으로 판단된다.

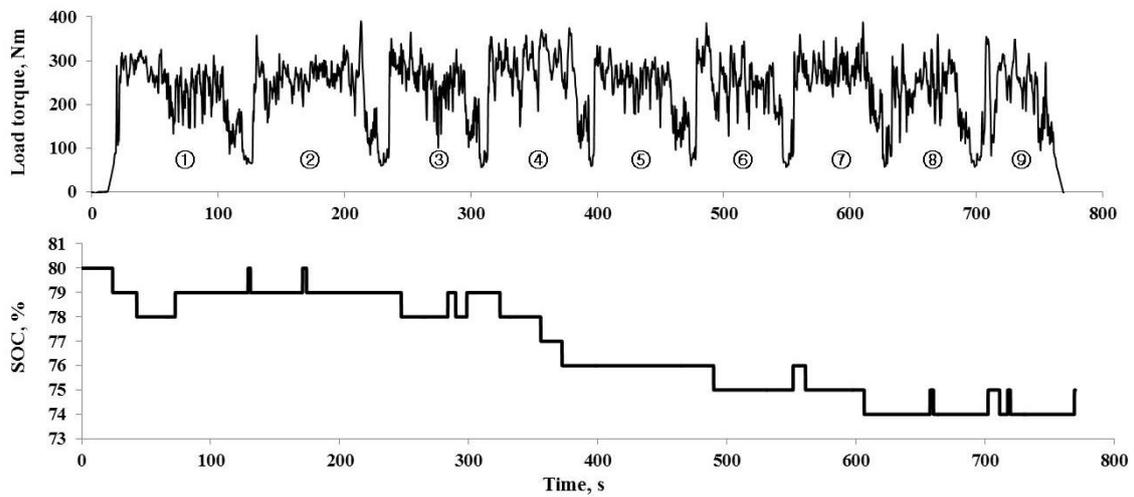


그림 3-44 Variation of SOC at rotary tillage.

표 3-20 Variation of SOC by work load at rotary tillage

Cycle No.	Charging time (s)	Discharging time (s)	Motor torque (Nm)	Generator torque (Nm)	Variation of SOC (%)
1	32.5	40.5	10.1	15.2	-1
2	32.7	46.5	13.7	16.1	0
3	37.7	34.9	12.8	13.8	0
4	20	55.4	18.4	12.1	-3
5	39.1	36.5	13.3	15.9	-1
6	38.3	31.3	14.4	14.6	-1
7	27.1	40.8	14.9	15.8	-1
8	37.6	21.9	3.8	15.8	+1
9	34.9	22.3	8.7	15.3	0

(3) 연료 소모량 분석

단위출력 당 연료 소모량 분석 결과는 표 3-21, 3-22와 같이 나타났으며 연료 소모량은 부하가 높은 구간에서 더 큰 개선효과가 있음을 보였다. 플라우 경운 작업에서 부하가 가장 높은 3번 사이클 작업 시 일반 트랙터는 328.3 g/kWh, 하이브리드 트랙터는 299.7 g/kWh로 약 10%의 개선 효과를 보였으며 가장 낮은 부하인 6번 사이클에서 일반 트랙터는 257.9 g/kWh, 하이브리드 트랙터는 256.3 g/kWh로 0.6%의 가장 낮은 개선 효과를 보였다. 로타리 경운 작업에서 부하가 가장 높은 4번 사이클 작업 시 일반 트랙터는 281.6 g/kWh, 하이브리드 트랙터는 270.5 g/kWh로 약 4%의 개선 효과를 보였으며, 부하가 가장 낮은 8번 사이클의 경우 일반 트랙터는 285.4 g/kWh, 하이브리드 트랙터는 284.9 g/kWh로 0.2%의 가장 낮은 개선 효과를 보였다. 이처럼 하이브리드 트랙터는 일반 트랙터에 비해 높은 부하에서 출력 당 연료 소모량 개선에 더욱 효과적임을 확인하였다. 각 단위 사이클의 부하 표준편차를 통해 부하 변동량을 구할 수 있었으나 연료 소모량과 유의성이 없는 것으로 확인되었다.

플라우 경운작업의 전체 평균 연료 소모량은 295.0 g/kWh, 로타리 경운작업은 287.0 g/kWh로 나타났다. 하이브리드 시스템을 적용한 트랙터의 경우 플라우 경운작업에서 281.1 g/kWh, 로타리 경운 작업에서 282.3 g/kWh의 연료 소모율을 보여 일반 트랙터에 비해 플라우 경운 작업은 약 3.8%, 로타리 경운은 약 1.6%의 연료 소모량 개선 효과를 보였다. 하루 평균 작업량이 8개의 필지임을 고려했을 때 출력 당 연료소모량은 더 큰 개선 효과를 보일 것으로 판단된다.

☒ 3-21 Fuel consumption per power at plow tillage

Cycle No.	Workload (Nm)	BSFC (g/kWh)	
		Normal mode	Hybrid mode
1	252.8±45.5	308.7	291.7
2	278.5±68.2	317.0	300.2
3	313.7±72.6	328.3	299.7
4	233.0±35.5	296.7	278.2
5	233.3±57.6	284.8	278.1
6	204.3±57.1	257.9	256.3
7	233.5±53.5	277.6	283.7
8	235.1±47.3	283.8	285.8
9	223.9±52.5	299.8	274.5

☒ 3-22 Fuel consumption per power at rotary tillage

Cycle No.	Workload (Nm)	BSFC (g/kWh)	
		Normal mode	Hybrid mode
1	226.7±54.9	290.2	288.4
2	247.7±52.2	280.6	277.3
3	234.8±58.3	291.7	288.4
4	261.1±60.6	281.6	270.5
5	238.6±52.6	279.8	276.2
6	251.3±54.8	287.2	278.7
7	258.7±64.0	280.9	272.9
8	214.3±50.8	285.4	284.9
9	226.8±68.4	305.2	303.7

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1 절 연도별 연구목표 및 달성도

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
1차 년도 (2011)	1세부	핵심부품 사양 분석	조사 및 기준설정	100%
		전체 시스템 layout 설계	설계도면	100%
		부하 분석 시스템 개발	구성 및 개발	100%
		핵심부품 장착 위한 환경분석	설계도면	100%
	1협동	인버터/컨버터, BMS layout 설계	설계도면	100%
		고출력 구동모터 layout 설계	설계도면	100%
	2협동	시뮬레이션 layout 설계	모델 개발	100%
		포장작업 모드 개발	제어 성능	100%

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
2차 년도 (2012)	1세부	시스템 설계 및 통합 플랫폼 개발	설계도면 및 개발	100%
		CAN 통신 통합 시스템 구축	CAN 통신 통합 시스템 구축	100%
		트랙터의 부하 분석	동력 분배 평가	100%
		기구-링크부 설계 및 개발	설계도면 및 개발	100%
	1협동	인버터/컨버터 개발	개발 및 성능	100%
		고효율/고출력 구동모터의 개발	설계도면 및 개발	100%
	2협동	핵심부품의 모델 개발 및 모듈화	모델 개발	100%
		전체 시뮬레이션 모델 개발	모델 개발	100%

구분	세부연구개발 목표		평가의 착안점 및 기준	달성도
3차 년도 (2013)	1세부	핵심부품, 전체 시스템의 최적화	내구성 및 효율	100%
		system integration	개발 및 성능평가	100%
		핵심부품의 성능평가	내구성 및 성능	100%
	1협동	와이어 하네스 개발	개발 및 평가	100%
		인버터/컨버터 및 BMS 최적화	제어 성능	100%
		구동모터 적용 및 최적화	성능 평가	100%
	2협동	인간공학 기반 변속레버의 개발	모델 검증 및 성능	100%
		인간공학 기반 변속레버의 성능	작업효율 평가	100%

## 제 2 절 관련분야 기여도

### 1. 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발

하이브리드 트랙터는 기존 차량에 적용된 하이브리드 기술인 Miid형, 직렬형, 병렬형, 복합형 방식 중 비교적 작은 모터와 배터리를 사용하여 구현이 가능한 병렬형 방식으로 개발하였다. 하이브리드 트랙터 핵심부품인 모터/발전기는 엔진 정격 회전수와 동일한 2,300 rpm, 정격출력과 토크는 7kW, 29Nm으로 설계하였다. 배터리-BMS (Battery Management System)는 체적 대비 효율이 높은 LiFePO<sub>4</sub>를 이용하였으며 배터리 SOC 제어 및 인버터와 통신이 가능하도록 설계하였다. HCU (Hybrid Control Unit)는 MCU (Motor Control Unit)와 BMS의 신호를 통해 하이브리드 시스템 구동이 가능하도록 설계하였으며, MCU는 모터 구동이 가능하도록 300V, 50A rms 로 설계하도록 하였다. 하이브리드 트랙터 동력제어 알고리즘 및 통합 플랫폼 개발을 위해 실내 시험장치를 이용하여 내구 시험평가를 실시하였으며 하이브리드 트랙터 다이내모미터를 설계 및 개발하여 하이브리드 시스템에 대한 성능평가가 가능하도록 하였다. 또한 하이브리드 HCU 알고리즘을 개발하고, HCU와 MCU, BMS의 CAN 통신을 통해 하이브리드 통합 제어 시스템을 구축하였다. 실내 시험장치를 통해 핵심부품 및 제어 시스템을 최적화하고 포장작업을 통해 하이브리드 시스템의 성능평가 및 에너지 효율 분석을 실시하였다. 하이브리드 트랙터의 플랫폼 및 시스템 통합 기술에 대한 연구는 현재 71kW급 트랙터 뿐만 아니라 다양한 마력대에 하이브리드 시스템을 적용하거나 기타 작업차량에 하이브리드 시스템을 적용할 경우 layout을 구성하고 해당 차량에 적합한 핵심부품을 선정하고 개발하는데 기여가 가능하다.

### 2. 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발

전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발을 위해 고효율/고출력 구동모터와 인버터/컨버터, 배터리 관리 시스템(BMS)을 개발하였다. 구동모터의 경우 하이브리드 방식임을 고려하여 모터/발전기로 설계하였으며 정격출력과 토크는 7kW, 29Nm, 정격 회전수는 트랙터의 정격회전수와 동일한 2,300 rpm으로 설계하였다. 트랙터에 장착 가능한 1차 시작품을 설계하고 개발하였으나 높은 무게 및 구조적 문제, 내구성 문제로 인해 이에 대한 개선품으로 2차 시작품을 개발하고 트랙터에 장착이 가능하도록 설계하였다.

인버터/컨버터의 경우 모터/발전기의 입출력 조건에 적합하도록 설계하였으며 CAN 통신 방식을 이용하여 상위제어기인 HCU에 신호를 전달하거나 받을 수 있도록 하였다. 개발된 인버터/컨버터의 성능평가를 위해 온도 변화 시뮬레이션과 방열 특성 시뮬레이션을 실시하여 내열

성 평가를 실시하였으며 모터 구동, 모터의 발전 시험을 통해 제어가 가능함을 확인하였다. 또한 하이브리드 시스템 성능 평가 장치를 통해 인버터/컨버터가 엔진의 회전수에 따라 하이브리드 모드 동작이 원활이 이루어지는지 확인하였다.

배터리-BMS의 경우 체적대비 에너지 밀도가 높고 충전 효율이 높은 리튬인산철 배터리를 사용하였으며 특히 BMS는 Micro-Controller를 이용하여 모니터링 및 제어를 수행하면서 고전압, 고전류의 작동환경에서도 높은 신뢰도를 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한 배터리와 BMS를 일체화하여 결선의 외부 노출을 없애고 장착에 용이하도록 하였다. 개발된 모터/발전기, 인버터/컨버터, 배터리-BMS는 하이브리드 성능평가를 실시하여 모터/발전기 토크에 따른 배터리 충방전 시간을 확인할 수 있었다. 하이브리드 트랙터 개발에 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술은 다양한 농업기계 및 타 마력 트랙터에서 하이브리드 시스템 적용 시 해당 차량에 적합한 용량의 모터 및 인버터/컨버터, 배터리-BMS의 설계 및 개발이 가능할 것으로 기대된다.

### 3. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 71kW급 중형 트랙터와 동일한 사양의 시뮬레이션 모델 layout을 설계하였다. 시뮬레이션 프로그램은 하이브리드 차량 모델에 사용되는 Autonomie 프로그램을 이용하였으며 일반 트랙터 모델을 구성하고 모터/발전기를 추가하는 방식으로 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 또한 하이브리드 트랙터 모델에 대한 성능평가를 위해 트랙터 주요 포장작업인 플라우 경운, 베일러 작업에서 작업 모드를 개발하였다.

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 layout을 바탕으로 핵심부품 모듈화를 통해 시뮬레이션 모델을 구성하였으며 작업 부하 입력에 따라 핵심부품 시뮬레이션 모델 검증은 실시하였다. 또한 트랙터 모델과 하이브리드 트랙터 모델을 시뮬레이션을 통해 비교하여 성능 검증을 실시하였다.

하이브리드 트랙터 성능평가 및 실용화 검증을 위해 시뮬레이션 모델과 연동하여 구동할 수 있는 실내 시험장치를 이용해 하이브리드 성능 분석을 실시하였다. 실내 시험장치는 엔진, 모터/발전기, 인버터, 컨버터, 배터리-BMS로 구성되어 있어 시뮬레이션 모델 중 변속기, 차축을 제외한 시뮬레이션 모델로 실내 시험장치와 연동하여 성능평가를 실시하였다. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델은 하이브리드 트랙터 개발에 필요한 layout 설계를 검토하고 실차 실험없이 성능평가를 실시할 수 있어 시간과 노력을 절약할 수 있다. 또한 layout의 간단한 변경을 통해 71kW급 트랙터 뿐만 아니라 타 마력대 트랙터 및 농작업기계의 하이브리드 시스템 적용을 용이하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 기대효과

##### 가. 기술적 측면

하이브리드 트랙터의 종합평가 기준 정립 및 평가 기술 개발을 통하여 향후 개발될 다양한 종류의 하이브리드 농작업기에 적용이 가능하다. 병렬형 하이브리드 기술의 확보로 직렬형, 마일드형, 마이크로형 등의 다양한 하이브리드 기술 개발에 기틀을 마련할 수 있다. 또한 전기 에너지 구동에 관한 원천 기술 확보 및 트랙터 관련 유관기술 개발의 활성화 도모가 가능하다. 전기 에너지 구동에 관한 원천 기술 확보 및 고효율의 변속기, 고회력의 구동 모터, 전기 에너지 발전 및 저장의 최적화 기술 개발로 인한 유관기술 개발의 활성화를 도모할 수 있으며 고효율의 변속기, 고회력의 구동 모터, 전기 에너지 발전 및 저장의 최적화 기술 개발로 인하여 관련 기술의 발전에 이바지할 수 있다. 71 kW급에 적용된 하이브리드 기술은 다양한 트랙터 마력급에 적용이 가능 할 뿐만 아니라 다양한 농업기계에도 적용이 가능할 것이다.

##### 나. 산업적 측면

친환경 고효율 하이브리드 트랙터의 개발로 유가 상승에 대한 농민의 경제적 부담 해소가 가능하며 최초의 하이브리드 트랙터 개발로 차세대 농업기계 개발에 대한 기대를 고취시켜 농업기계 산업 기술 발전에 이바지할 수 있다. 또한 트랙터 수출 경쟁국과 차별화된 기술 확보로 해외 시장에서 국내 트랙터의 국가 경쟁력을 향상시키며 에너지 효율뿐만 아니라 친환경 제품에 대한 이점을 특화시켜 해외 시장 개척 및 외화 획득에 기여가 가능하다.

하이브리드 트랙터는 트랙터 관련 작업의 효율을 높여 농업인의 작업환경을 개선하고 농가의 수익을 증대시킬 수 있다. 따라서 하이브리드 트랙터 기술의 확보로 다양한 마력대의 트랙터에 제품에 대해 적용이 가능하며 이는 개발기간 및 시행착오를 단축하게 되므로, 개발비용 절감과 함께 조기 제품 출시에 의한 시장 선점이 가능할 것이다.

##### 다. 사회적 측면

트랙터 작업의 부하 분석은 엔진, 변속기, PTO 등의 동력 제어 및 분배에 관련된 연구에 활용 가능하다. 관련기술의 특허출원과 홍보를 위한 국내외 전문 학술지에 게재하고 매스컴 홍보를 통하여 국내 농업기계 기술의 우수성을 두각시킬 수 있을 것이다.

하이브리드 트랙터의 개발로 전반적인 친환경에 대한 장점 및 필요성에 대한 인식을 고취시킬 수 있으며 기존의 트랙터는 주로 기계 제어로서 고장 발생 시 자가 진단이 어려웠으나 하이브리드 시스템의 제어 신호는 대부분 전기 신호이므로 고장의 자가진단 및 예방이 용이하여 제품에 대한 신뢰성 확보가 가능할 것이다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 제 1 절 연구개발 성과

#### 1. 지적재산권

구분	특허		신품종				유전자원 등록	논문		기타
	출원	등록	품종 명칭등록	품종생산 수입판매 신고	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
목표	9	6	-	-	-	-	-	5	11	
실적	17	6	-	-	-	-	-	5	13	

가. 특허

(1) 해외

■ 특허 명 : HYBRID ELECTRIC WORKING VEHICLE AND CONTROL METHOD  
THEREOF

출원인 : 최정용, 김상현, 김용주

출원번호 : US/12/689,338 (미국)

APPLICATION NUMBER	FILING or 371(c) DATE	GRP ART UNIT	FIL FEE RECD	ATTY DOCKET NO	TOT CLAIMS	IND CLAIMS
13/171,949	06/29/2011	2839	1090	661-0010	10	2

CONFIRMATION NO. 6414  
FILING RECEIPT



60803  
SHERR & VAUGHN, PLLC  
620 HERNDON PARKWAY  
SUITE 320  
HERNDON, VA 20170

Date Mailed: 07/13/2011

Receipt is acknowledged of this non-provisional patent application. The application will be taken up for examination in due course. Applicant will be notified as to the results of the examination. Any correspondence concerning the application must include the following identification information: the U.S. APPLICATION NUMBER, FILING DATE, NAME OF APPLICANT, and TITLE OF INVENTION. Fees transmitted by check or draft are subject to collection. Please verify the accuracy of the data presented on this receipt. **If an error is noted on this Filing Receipt, please submit a written request for a Filing Receipt Correction. Please provide a copy of this Filing Receipt with the changes noted thereon. If you received a "Notice to File Missing Parts" for this application, please submit any corrections to this Filing Receipt with your reply to the Notice. When the USPTO processes the reply to the Notice, the USPTO will generate another Filing Receipt incorporating the requested corrections**

**Applicant(s)**

Jung Woong CHOI, Suwon-si, KOREA, REPUBLIC OF;  
Sang Hyun KIM, Anyang-si, KOREA, REPUBLIC OF;  
Yong Joo KIM, Gunpo-si, KOREA, REPUBLIC OF;

**Power of Attorney:** The patent practitioners associated with Customer Number 60803

**Domestic Priority data as claimed by applicant**

**Foreign Applications** (You may be eligible to benefit from the **Patent Prosecution Highway** program at the USPTO. Please see <http://www.uspto.gov> for more information.)  
REPUBLIC OF KOREA 10-2010-0071210 07/23/2010

**Permission to Access** - A proper **Authorization to Permit Access to Application by Participating Offices** (PTO/SB/39 or its equivalent) has been received by the USPTO.

**Request to Retrieve** - This application either claims priority to one or more applications filed in an intellectual property Office that participates in the Priority Document Exchange (PDX) program or contains a proper **Request to Retrieve Electronic Priority Application(s)** (PTO/SB/38 or its equivalent). Consequently, the USPTO will attempt to electronically retrieve these priority documents.

**If Required, Foreign Filing License Granted:** 07/12/2011

The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is **US 13/171,949**

**Projected Publication Date:** 01/26/2012

**Non-Publication Request:** No

■ 특 허 명 : HYBRID ELECTRIC WORKING VEHICLE AND CONTROL METHOD  
THEREOF

출 원 인 : 최정용, 김상현, 김용주

출원번호 : OF11P181/CN/TYL (중국)

출원번호 : 2011, 10214309.7



中华人民共和国国家知识产权局



100101

北京市朝阳区慧忠路5号远大中心B座18层  
隆天国际知识产权代理有限公司  
张浴月 张龙楠

发文日:

2011年08月03日



21E



申请号: 201110214309.7

发文序号: 2011072900163840

专利申请受理通知书

根据专利法第28条及其实施细则第36条、第39条的规定,申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日、申请人和发明创造名称通知如下:

申请号: 201110214309.7

申请日: 2011年07月22日

申请人: LS美创有限公司

发明创造名称: 混合动力工作的车辆及其控制方法

经核实,国家知识产权局确认收到文件如下:

发明专利请求书1份3页;说明书摘要1份1页;

摘要附图1份1页;权利要求书1份2页10项;

说明书1份11页;说明书附图1份7页;

原文1份1页;实质审查请求书1份1页;

专利代理委托书1份1页;经证明的在先申请文件副本1份1页;

经证明的在先申请文件副本首页译文1份1页;

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后,认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时,可以向国家知识产权局请求更正。

2. 申请人收到专利申请受理通知书之后,再向国家知识产权局办理各种手续时,均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 蒲晓娟

审查部门: 专利初审及流程管理部

联系电话: 5500



200101  
2010.2

纸质申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 国家知识产权局专利局受理处收  
电子申请, 应当通过电子专利申请系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸质等其他形式提交的文件视为未提交。

1 / 2

**The State Intellectual Property Office of the People's Republic of China**

**100101**

18<sup>th</sup> Floor, Tower B, Grand Place, No. 5 Huizhong Road, Chaoyang District,  
Beijing Lungin Int'l Intellectual Property Agent Ltd.  
Yuyue ZHANG Longbu ZHANG

Issuing Date:

August 3, 2011

Application or Patent No. 201110214309.7

**Notification of Acceptance for Patent Application**

The Patent Office has received the patent application filed by the applicant in accordance with the Article 28 of the Chinese Patent Law and Rules 38 and 39 of the Implementing Regulations of the Chinese Patent Law. The accorded application number, filing date, applicant(s) and the title of invention creation are notified herewith as the following:

Application Number: 201110214309.7

Filing Date: July 22, 2011

Applicant(s): LS Mtron Ltd.

Title of invention-creation: HYBRID ELECTRIC WORKING VEHICLE AND CONTROL METHOD THEREOF

The State Intellectual Property Office has received the following documents after checking:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1. Request for Patent Application   | 1 set, each 3 sheets;  |
| 2. Abstract   | 1 set, each 1 sheet;   |
| 3. Drawing for Abstract   | 1 set, each 1 sheet;   |
| 4. Claims   | 1 set, each 2 sheets;  |
| 5. Description  | 1 set, each 11 sheets; |
| 6. Drawings   | 1 set, each 7 sheets;  |
| 7. Power of attorney  | 1 set, each 1 sheet;   |
| 8. Certified copy of the priority document                                    | 1 set                  |
| 9. The Original Application Document  | 1 set                  |
| 10. Request for substantive examination                                       | 1 set                  |
| 11. Chinese translation of the cover sheet of the certified priority document | 1 set                  |

Reminder:

1. After receiving this notification, if the applicant finds the recorded contents is not identical with the contents filed by him, he may request CSIPO to correct.
2. After receiving this notification, the applicant should indicate the application number accurately and clearly in any proceedings before CSIPO.

Examiner: Xiaojuan LIN  
Tel.: 5500

Examination Department: Preliminary and Procedure Administration Department

200101  
2009.10

Paper Application, address: The Receiving Department, SIPO, No. 6 Xitucheng Rd., Jiemingqiao, Haidian District, Beijing, 100088;  
Electronic Application, the corresponding documents shall be submitted in the form of electronic documents through the electronic patent application system. The corresponding documents submitted in other form than electronic documents, such as in paper, shall be deemed not to have been submitted unless otherwise provided.

(2) 국내

■ 특 허 명 : 하이브리드 차량의 전기장치 냉각시스템

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 이대현

출원번호 : 10-2011-0136333

## 관인생략 출원번호통지서

출 원 일 자 2011.12.16  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2011-0136333 (접수번호 1-1-2011-1002644-25)  
출원인 명칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인 성명 김영철(9-1998-000040-3)  
발명자 성명 최정웅 김용주 이대현  
발명의 명칭 하이브리드 차량의 전기장치 냉각시스템

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
\* 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
\* 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민중서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.  
\* 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내  
\* 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/8B/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
\* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 동력전달 효율을 향상한 변속장치

출 원 인 : 김수철

출원번호 : 10-2012-0000288

출원번호공시서

Page 1 of 3

## 관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2012.01.02  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2012-0000288 (접수번호 1-1-2012-0003307-33)  
출원인 명칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인 성명 특허법인대아(9-2009-100101-8)  
발명자 성명 김수철  
발명의 명칭 동력전달 효율을 향상한 변속장치

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
\* 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 경정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
\* 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 국내출원건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.  
\* 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12월, 상표-디자인은 6월 이내  
\* 미국특허상표형의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표형에 [전자적교환허가서(PTO/8B/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명 서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
\* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특허명 : 작업 차량의 변속 제어 시스템 및 그 방법

출원인 : 정상철

출원번호 : 10-2012-0127945

출원번호

Page 1 of 1

관인생략

## 출원번호통지서

출원일자 2012.11.13  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2012-0127945 (접수번호 1-1-2012-0930857-10)  
출원인명칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인성명 김영철(9-1998-000040-3)  
발명자성명 정상철  
발명의명칭 작업 차량의 변속 제어 시스템 및 그 방법

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
\* 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 경정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
\* 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
\* 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
\* 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
\* 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/98/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
\* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 작업용 차량의 전자식 팬 클러치 제어 장치 및 방법

출원인 : 최정용, 김용주, 이대현

출원번호 : 10-2012-0131567

관인생략  
출원번호통지서

출원일자 2012.11.20  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2012-0131567 (접수번호 1-1-2012-0954803-17)  
출원인명칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인성명 김영철(9-1998-000040-3)  
발명자성명 최정용 김용주 이대현  
발명의명칭 작업용 차량의 전자식 팬 클러치 제어 장치 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
\* 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
\* 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
\* 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
\* 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
\* 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/88/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
\* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 트랙터의 쟁기 경심 제어 장치 및 방법

출원인 : 이대현, 최정용, 김용주

출원번호 : 10-2012-0124767

관인생략

## 출원번호통지서

출원일자 2012.11.06  
특기사항 심사청구(무) 공개신청(무)  
출원번호 10-2012-0124767 (접수번호 1-1-2012-0909780-11)  
출원인명칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인성명 김영철(9-1998-000040-3)  
발명자성명 이대현 최정용 김용주  
발명의명칭 트랙터의 쟁기 경심 제어 장치 및 방법

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보장이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의결서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선권로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/98/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 엔진 연료소비량 측정시스템

출 원 인 : 이대현, 최정용, 김용주

출원번호 : 10-2012-0124766

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2012.11.06  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2012-0124766 (접수번호 1-1-2012-0909779-64)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 김영철(9-1998-000040-3)  
발 명 자 성 명 이대현 최정용 김용주  
발 명 의 명 칭 엔진 연료소비량 측정시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/88/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 트랙터에서의 리프트 위치 보정 장치 및 방법

출 원 인 : 최철환

출원번호 : 10-2012-0124233

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

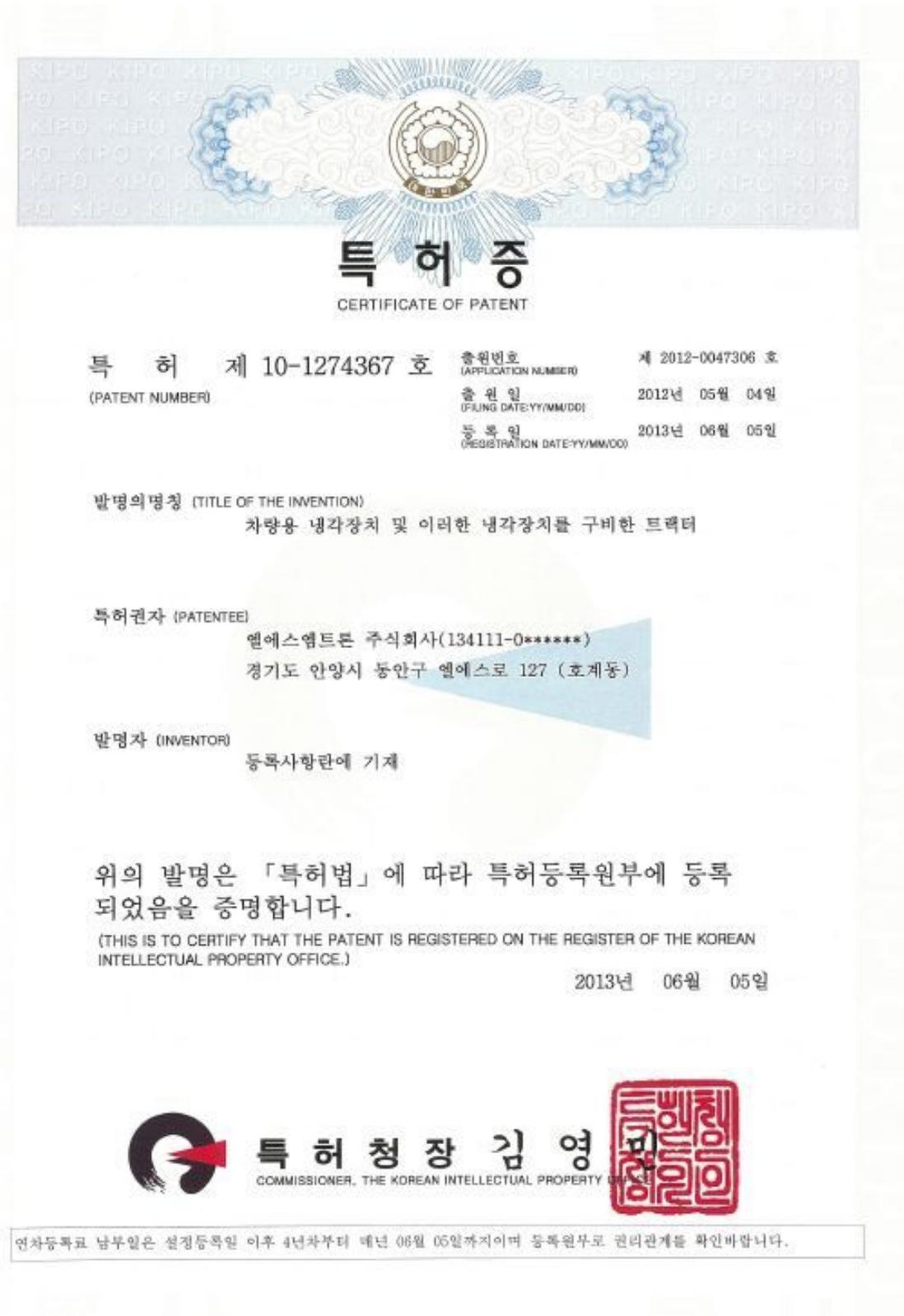
출 원 일 자 2012.11.05  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2012-0124233 (접수번호 1-1-2012-0906194-40)  
출원인 명 칭 엘에스엘트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 김영철(9-1998-000040-3)  
발 명 자 성 명 최철환  
발 명 의 명 칭 트랙터에서의 리프트 위치 보정 장치 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
\* 납부자번호 : 0181(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
\* 특허포(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
\* 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-POT/마드리드  
\* 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
\* 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/88/89)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
\* 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

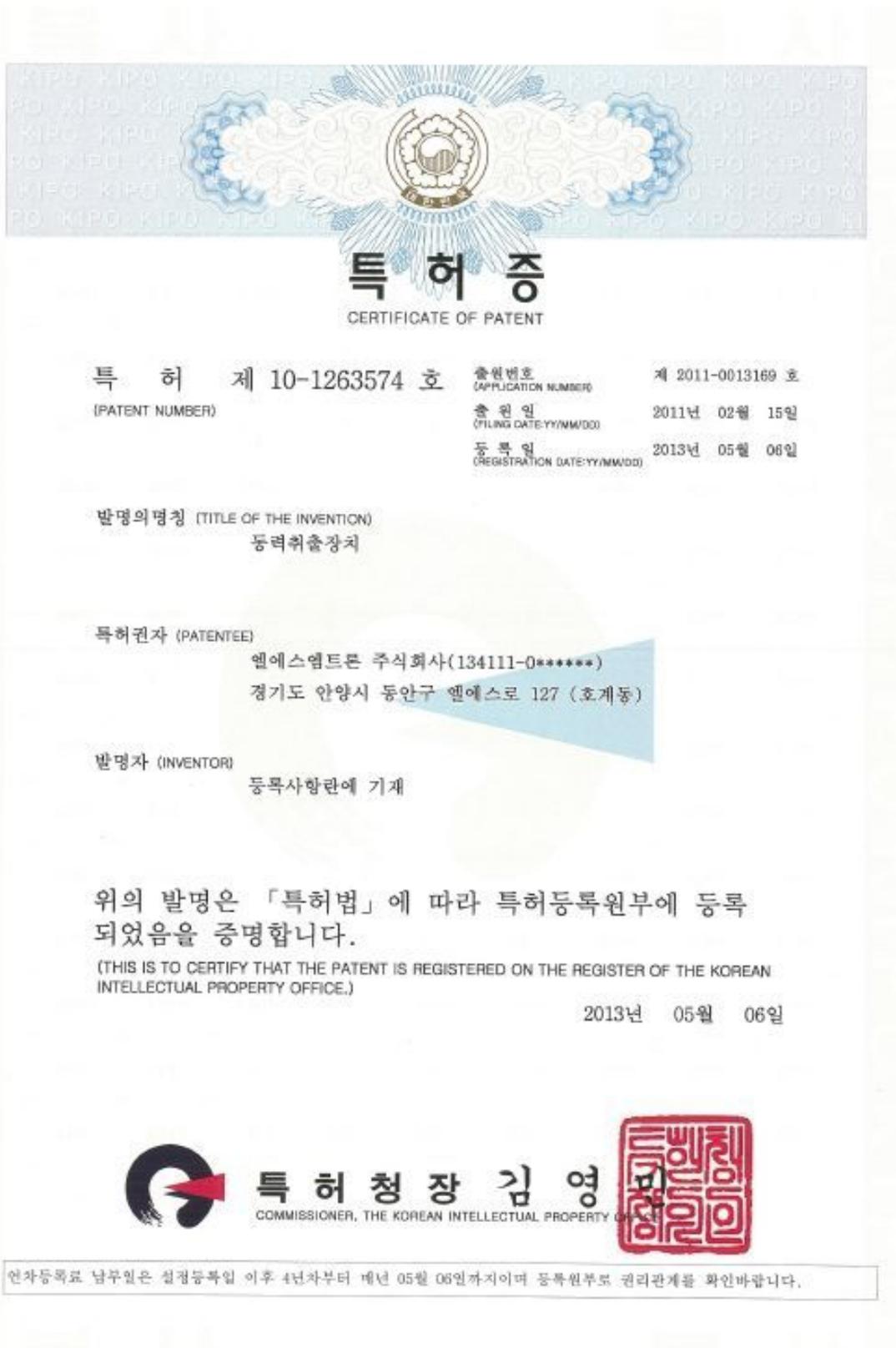
- 특허명 : 차량용 냉각장치 및 이러한 냉각장치를 구비한 트랙터
- 출원인 : 최정용, 김용주, 이대현
- 등록번호 : 10-1274367



■ 특허명 : 동력취출장치

출원인 : 정상철, 김상현, 최정용, 김용주

등록번호 : 10-1263574



■ 특허명 : 하이브리드 차량의 제어 장치 및 방법

출원인 : 정상철, 김상현, 최정용, 김용주

등록번호 : 10-1235461



# 특허증

CERTIFICATE OF PATENT

특허제 10-1235461 호 (PATENT NUMBER)	출원번호 (APPLICATION NUMBER) 2011-0013523 호
	출원일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2011년 02월 16일
	등록일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2013년 02월 14일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)  
하이브리드 차량의 제어 장치 및 방법

특허권자 (PATENTEE)  
엘에스엠트론 주식회사(134111-0\*\*\*\*\*)  
경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동)

발명자 (INVENTOR)  
등록사람란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2013년 02월 14일



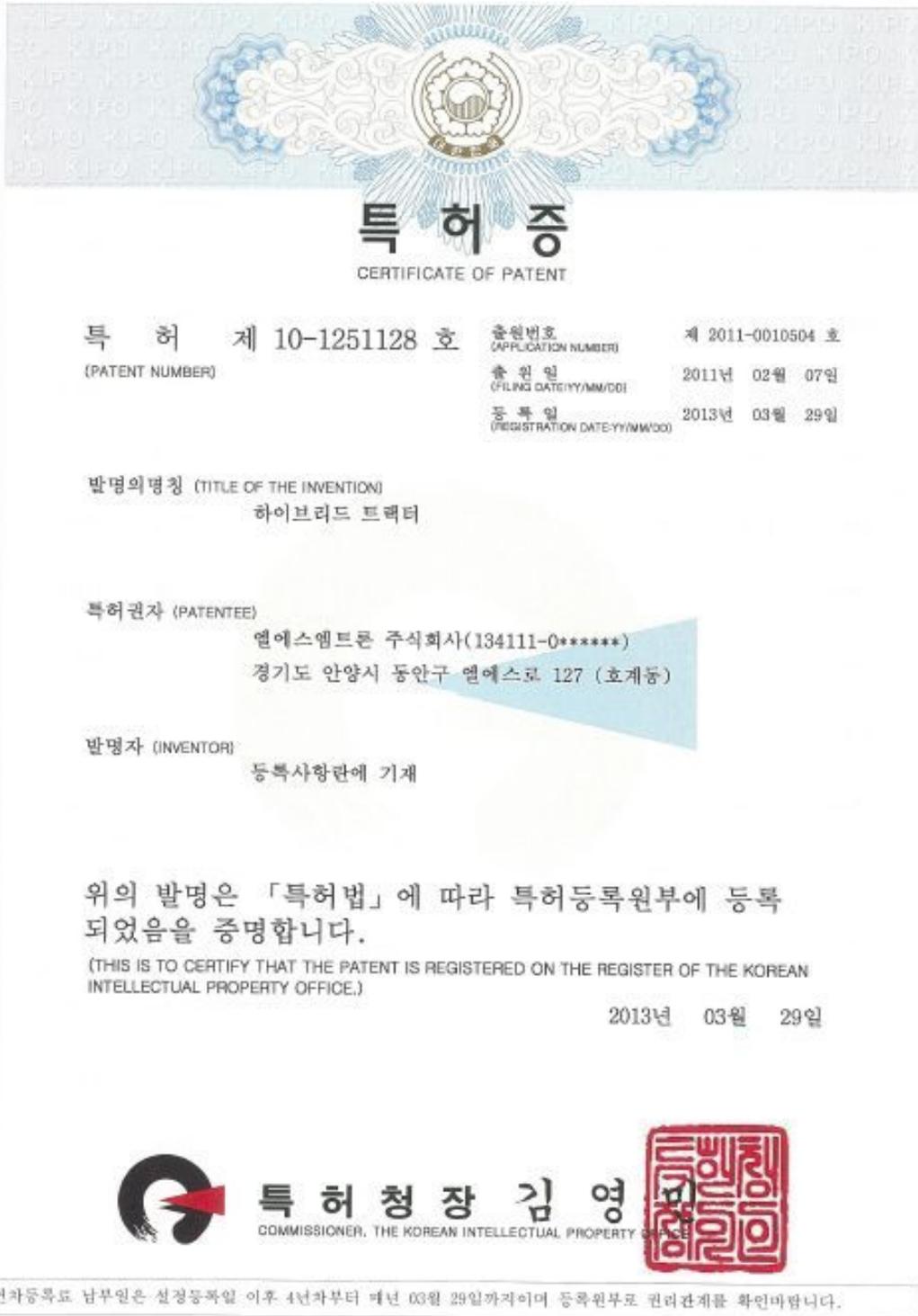
특허청

COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

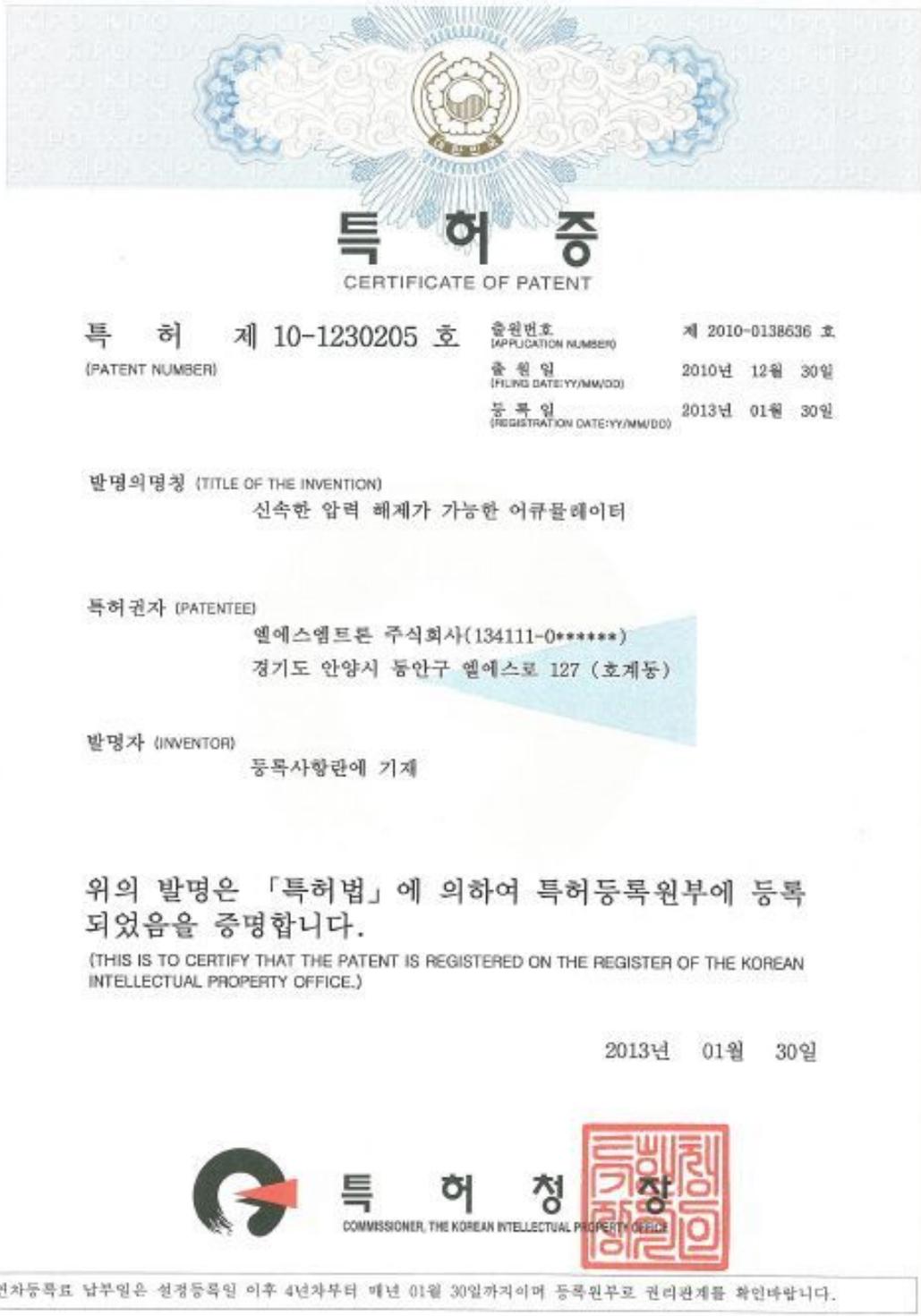


연차등록료 납부일은 설정등록일 이후 4년차부터 매년 02월 14일까지이며 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터
- 출 원 인 : 김상현, 최정용, 김용주
- 등록번호 : 10-1251128



- 특허명 : 신속한 압력 해제가 가능한 어큐플레이터
- 출원인 : 최정용, 김상현, 김용주
- 등록번호 : 10-1230205



■ 특허명 : 하이브리드 트랙터의 3점 링크 유압 시스템

출원인 : 김상현, 최정용, 김용주

등록번호 : 10-1223839



**특 허 증**  
CERTIFICATE OF PATENT

<b>특 허 제 10-1223839 호</b> <small>(PATENT NUMBER)</small>	<b>출원번호</b> <small>(APPLICATION NUMBER)</small>	<b>제 2010-0137914 호</b>
	<b>출원일</b> <small>(FILING DATE:YY/MM/DD)</small>	2010년 12월 29일
	<b>등록일</b> <small>(REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)</small>	2013년 01월 11일

**발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)**  
하이브리드 트랙터의 3점 링크 유압 시스템

**특허권자 (PATENTEE)**  
엘에스엠트론 주식회사(134111-0\*\*\*\*\*)  
경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동)

**발명자 (INVENTOR)**  
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 의하여 특허등록원부에 등록  
되었음을 증명합니다.  
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN  
INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2013년 01월 11일



**특 허 증**  
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



연차등록료 납부일은 설정등록일 이후 4년차부터 매년 01월 11일까지이며 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

■ 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동방법과 이를 이용한  
하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이브리드 트랙터

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0102044

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.08.27  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0102044(접수번호 1-1-2013-0782828-58)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
발 명 자 성 명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발 명 의 명 칭 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동방법과 이를  
이용한 하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이브리드 트랙터

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허포(patent.go.kr) 접속 > 인원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 3점 히치와 PTO의 연동에 따른 하이브리드 엔진의 구동 방법

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0111171

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 지 2013.09.16  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0111171 (접수번호 1-1-2013-0846744-01)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
발 명 자 성 명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발 명 의 명 칭 하이브리드 트랙터의 3점 히치와 PTO의 연동에 따른 하이브리드 엔진의 구동방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경 (경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선권로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 무단변속기 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동방법과

이를 이용한 하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이브리드 트랙터

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0111213

## 관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.09.16  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0111213 (접수번호 1-1-2013-0847031-34)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
발 명 자 성 명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발 명 의 명 칭 무단변속기 하이브리드 트랙터의 엔진 및 모터-발전기 구동  
방법과 이를 이용한 하이브리드 트랙터엔진시스템 및 하이  
브리드 트랙터

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경 (경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 하이브리드 트랙터용 디스플레이 장치와 이를 포함하는 하이브리드 트랙터용 인터페이스 시스템

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0111228

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.09.16  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0111228 (접수번호 1-1-2013-0847191-20)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
발 명 자 성 명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발 명 의 명 칭 하이브리드 트랙터용 디스플레이 장치와 이를 포함하는 하이브리드 트랙터용 인터페이스 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드)+접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

- 특 허 명 : 부스트 시스템이 적용된 하이브리드 트랙터의 부스터 구동방법
- 출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현
- 출원번호 : 10-2013-0111418

관 인 생 략  
**출 원 번 호 통 지 서**

출 원 일 지 2013.09.16  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출 원 번 호 10-2013-0111418 (접수번호 1-1-2013-0848374-57)  
 출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
 대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
 발 명 자 성 명 최정용 이대현 김용주 윤민석  
 발 명 의 명 칭 부스트 시스템이 적용된 하이브리드 트랙터의 부스터 구동 방법

**특 허 청 장**

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경 (경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 영세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 영세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
 ※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
 ※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내  
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

- 특 허 명 : 하이브리드 트랙터의 배터리 시스템 및 이를 이용한 하이브리드 트랙터
- 출 원 인 : 최정용, 김용주, 윤민석, 이대현
- 출원번호 : 10-2013-0111442

관 인 생 략  
**출 원 번 호 통 지 서**

출 원 일 자 2013.09.16  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출 원 번 호 10-2013-0111442 (접수번호 1-1-2013-0848554-79)  
 출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
 대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
 발 명 자 성 명 최정용 이대현 김용주 윤민석  
 발 명 의 명 칭 하이브리드 트랙터의 배터리 시스템 및 이를 이용한 하이브리드 트랙터

**특 허 청 장**

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
 ※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 하이브리드 트랙터 엔진을 구성하는 모터 제조 방법과 이를 이용한 하이브리드 트랙터

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0111444

관 인 생 략  
출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2013.09.16  
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출 원 번 호 10-2013-0111444 (접수번호 1-1-2013-0848565-71)  
출 원 인 명 칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대 리 인 성 명 한상수(9-2012-000297-0)  
발 명 자 성 명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발 명 의 명 칭 하이브리드 트랙터 엔진을 구성하는 모터 제조 방법과 이를 이용한 하이브리드 트랙터

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경 (경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특 허 명 : 시동보조기능을 갖는 하이브리드엔진과 이를 이용한 하이브리드 트랙터 및 하이브리드 차량

출 원 인 : 최정웅, 김용주, 윤민석, 이대현

출원번호 : 10-2013-0111453

관인생략  
출원번호통지서

출원일자 2013.09.16  
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
출원번호 10-2013-0111453 (접수번호 1-1-2013-0848604-64)  
출원인명칭 엘에스엠트론 주식회사(1-2008-029030-3)  
대리인성명 한상수(9-2012-000297-0)  
발명자성명 최정웅 이대현 김용주 윤민석  
발명의명칭 시동보조기능을 갖는 하이브리드엔진과 이를 이용한 하이브리드 트랙터 및 하이브리드 차량

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 영세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 영세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교합허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

## 나. 논문

### (1) 해외

■ 논문명 : Effects of gears selection of agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage

저 자 : 김용주, 정선옥, 이대현, 최창현

학술지 : Soil & tillage research

Soil & Tillage Research 134 (2013) 90–96



Contents lists available at ScienceDirect  
**Soil & Tillage Research**  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/still](http://www.elsevier.com/locate/still)



---

**Effects of gear selection of an agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage** 

Yong-Joo Kim<sup>a</sup>, Sun-Ok Chung<sup>b,\*</sup>, Chang-Hyun Choi<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Machinery Technology Group, Advanced R&D Center, LS Mtron Ltd., Anyang, Republic of Korea  
<sup>b</sup> Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea  
<sup>c</sup> Department of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea

---

**ARTICLE INFO**

**Article history:**  
Received 15 December 2012  
Received in revised form 26 July 2013  
Accepted 27 July 2013

**Keywords:**  
Agricultural tractor  
Gear selection  
Transmission  
PTO (power take off)  
Load severeness  
Rotary tillage

**ABSTRACT**

For better performance and durability of a tractor during field operations, it is necessary to select the optimal gear setting for the operation. The purpose of this study was to analyze effects of the gear selection on load acting on the transmission and PTO shafts of a 75 kW agricultural tractor during rotary tillage with a 20-cm tillage depth. In order to measure the loads acting on the transmission and PTO input shafts, a load measurement system was installed on the tractor. The system consisted of strain-gauge sensors to measure the torque on the transmission and PTO input shafts, a radio telemetry I/O interface to acquire the sensor signals, and embedded software to acquire the data. Rotary tillage was conducted at three ground speeds and three PTO rotational speeds under upland field sites with the same soil conditions. The load data was converted to a load spectrum using the rain-flow counting and SWT (Smith Watson Topper) equations. Sum of damage due to the load was calculated using the Modified Miner's rule for each gear selection, and then the load severeness was calculated as the relative magnitude of the damage sum. The average torque on the transmission input shaft increased significantly as the ground speed increased from L1 (1.87 km h<sup>-1</sup>) to L3 (3.77 km h<sup>-1</sup>) at the same PTO rotational speed. Also, the average torque on the PTO input shaft increased as the PTO rotational speed increased at the same ground speed. Rotary tillage exerted significantly greater loads on the PTO input shaft than on the transmission input shaft. The severeness of the load on the transmission and PTO shafts increased, indicating possible decreased fatigue life, as both the ground and PTO rotational speeds increased. Results of the study might provide information useful for optimum gear selection for rotary tillage, considering not only field efficiency, but load severeness on the transmission and PTO input shafts.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

---

**1. Introduction**

Agricultural tractors are used as a power source for various field operations such as tillage, planting, chemical application, harvesting, transportation, through driving axles, power take off (PTO) devices, and hydraulic lines. The number of agricultural tractors is increasing in many countries in the world. For example, the utilization ratio of a tractor in Korea has been increased to 71.8% of agricultural working days during the spring and autumn seasons in 2010 (Park et al., 2010a,b). A tractor has various levels of driving and PTO gear settings, and different combinations of the gear settings are used to provide the required power suitable for an operation type and field condition.

Optimum gear setting for operation type is important since the load acting on the tractor, part durability and working performance are determined by the gear setting (Park et al., 2010c). Durability of tractor parts is one of the important concerns (Rotz and Bowers, 1991). Simens and Bowers (1999) reported that American farmers spent about 40% of the total maintenance costs to repair the tractor and about 30% to repair the failure of powertrain parts due to excessively high operating speeds. Also, working performance affects fuel consumption of the tractor. In the case of the Republic of Korea, annual fuel consumption by tractors was 345 ML/year, accounting for about 48.5% of the total annual fuel consumption of agricultural machinery (KAMICO and KSAM, 2010). Therefore, it would be meaningful to analyze effects of gear selection on tractor load during field operations.

Kichler et al. (2011) analyzed the effects of the transmission gear selection on the tractor performance and reported a 105% increase in fuel consumption rate, a 28% increase in implement draft, and a 255% increase in required power when the gear setting was changed from 3.0 km h<sup>-1</sup> to 8.3 km h<sup>-1</sup> in plow tillage. Several

---

\* Corresponding author at: Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea.  
Tel.: +82 42 821 6712; fax: +82 42 823 6246.  
E-mail address: sochung@cnu.ac.kr (S.-O. Chung).

0167-1987/\$ – see front matter © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.07.013>

■ 논문명 : Load torque estimation for a parallel hybrid agricultural tractor in field operations

저 자 : 송봉섭,

학술지 : International Journal of Precision Engineering and Manufacturing

## Load Torque Estimation for a Parallel Hybrid Agricultural Tractor in Field Operations

Yong Joo Kim<sup>1</sup>, Bongsob Song<sup>2\*</sup>, and Jinho Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LS Motor, 150-31, Dangleong-dong, Gunpo, Korea, 435-030

<sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, Ajou University, San 5, Wonchon-dong, Yeongtong-gu, Suwon, Korea, 443-749

<sup>3</sup> School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, 280 Daehak-ro, Gyongsan, Gyeongsangbuk, Korea, 712-749

\* Corresponding Author / E-mail: bsong@ajou.ac.kr, TEL: +82-31-219-2339, FAX: +82-31-219-1611

KEYWORDS: Torque estimation, Hybrid tractor, Adaptive observer, Torque-assist strategy

*This paper presents a load torque estimation algorithm for a parallel hybrid agricultural tractor (HAT) in major field operations such as baling, plowing, and rotary tillage. While the load torque in a hybrid electric vehicle is mostly used to make the vehicle drivable, a large portion of the load torque in a HAT is required for field operations. To identify dynamic characteristics of each field operation, both PTO and transmission torque in major field operations are measured. Based on the measurement results, it is inferred that the load torque estimation is necessary to develop a torque-assist strategy to capture the characteristics of the field operation. Thus, an adaptive observer is proposed for the load torque estimation, and its performance is validated experimentally by comparing the estimated load torque with the measurements.*

Manuscript received: April 9, 2013 / Accepted: July 26, 2013

### NOMENCLATURE

$v$  = tractor speed  
 $\omega_e, \hat{\omega}_e$  = engine speed and estimated engine speed  
 $\omega_w$  = wheel speed  
 $m_t, m_w$  = mass of tractor and wheel respectively  
 $J_e$  = rotational inertia of engine and motor  
 $J_w$  = rotational inertia of wheel  
 $b_e$  = viscous damping coefficient of engine  
 $T_e$  = engine torque  
 $T_h, \hat{T}_l$  = load torque and estimated load torque  
 $T_m$  = input torque  
 $T_{PTO}$  = power take-off (PTO) driving torque  
 $T_p$  = input torque to transmission  
 $T_d$  = wheel driving torque  
 $T_m$  = motor torque  
 $T_{rr}$  = rolling resistance moment  
 $F_r$  = reaction force at the axle  
 $F_p$  = tractive force at the wheel  
 $F_{db}$  = implement draft (or drawbar) force  
 $F_a$  = aerodynamic drag force  
 $F_{d,sp}$  = gravitational force due to slope  
 $\eta_g$  = overall gear ratio  
 $r$  = effective radius of wheel  
 $\theta$  = road or ground slope

### 1. Introduction

The benefits of hybrid electric vehicles are now well known: carbon dioxide emissions are reduced and fuel efficiency is improved by including an electric path, *i.e.*, electric motor and battery.<sup>1,2</sup> Recently these systems have been extended to heavy-duty vehicles such as excavators and agricultural tractors.<sup>3-5</sup> However, it should be remarked that the objectives of these hybrid heavy-duty vehicles may not coincide with those of hybrid electric vehicles on the market, as they may require different torque-assist strategies.<sup>7</sup>

When a parallel hybrid agricultural tractor (HAT) shown in Fig. 1 is considered, the main objective is to generate an input torque by use of both an engine and a motor to be large enough to perform major field operations such as baling, plowing, and rotary tillage.<sup>6</sup> Although fuel efficiency is also one of the key objectives for the hybrid tractor, a more important goal of the tractor in this study is to minimize the size of the engine with the assistance of an electric motor. Furthermore, if a small-size of a motor is chosen for this system as listed in Table 1, the tractor cannot be driven only by the motor; thus the torque generated by the motor is used only to assist the limited torque coming from the engine in field operations.

To develop the torque-assist strategy of the electric motor, one of the most challenging problems is to estimate load torque depending on

■ 논문명 : Analysis of load and fuel efficiency of agricultural tractor by gear selection during plow tillage

저자 : 박승제, 김용주, 이대현

학술지 : Journal of Food, Agriculture, Environment



WFL Publisher  
Science and Technology  
Meri-Rastilantie 3 B, FI-00980  
Helsinki, Finland  
e-mail: info@world-food.net

Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.11 (3&4):631-635, 2013 www.world-food.net

Analysis of load and fuel efficiency of agricultural tractor by gear selection during plow tillage

Seung Je Park<sup>1</sup>, Yong Joo Kim<sup>2\*</sup> and Dae Hyun Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Bioindustrial Machinery Engineering, Division of Bioresource System Engineering, Chonbuk National University, Jeonju-si, 561-756, Korea. <sup>2</sup> Machinery Technology Group, Advanced R&D Center Tractor Part, LS Mtron Ltd., 124, Gongdanno, Gunpo-si, 435-831, Korea. \*e-mail: sjpark@chonbuk.ac.kr, babina@smtron.com

Received 10 June 2013, accepted 28 August 2013.

Abstract

This study was conducted to recommend a guideline of optimum gear setting for enhancing tractor performance. The purpose of this study was to measure and analyze driving axle load and fuel consumption of a 71 kW agricultural tractor during plow tillage under different gear settings (L2, L3 and L4). The total four torque of front and rear driving axles and fuel consumption were measured and analyzed in terms of gear settings considering working hours and tillage depth during plow tillage. One-way ANOVA with Duncan's multiple range test were used to analyze the driving axles torque, fuel consumption, working hours, and tillage depth with gear settings using the SAS (version 9.1, SAS Institute, USA). The results showed that when the gear was raised from L2 to L3 and from L2 to L4, the average torque on the axle increased by 28% and 71%, respectively. However, the fuel consumption decreased by 13% and 22%, respectively. Also, the working hours was reduced by 28.6 s (33%) when the gear set changed from L2 to L3, and 40.9 s (48%) from the changes of L2 to L4. The tillage depth of gears L2, L3, and L4 were 196, 192 and 161 mm, respectively, especially, the gear L4 showed the difference of 39 mm (20%) with goal depth of 200 mm. It is known that the fuel efficiency was high with higher gear set because higher gear set reduced working hours. However, excessive higher speeds caused decreasing tillage quality such as uniform tillage depth. Thus, appropriate gear selection considering not only field performance but also tillage quality is needed at the plow tillage.

**Key words:** Agricultural tractor, field performance, plow tillage, gear selection, driving axle torque, fuel consumption, tillage depth.

Introduction

Oil prices climbed above \$100 a barrel recently. The prices have been rising on geopolitical concerns and are expected to rise further<sup>1</sup>. High oil prices caused recession in most of the industries; as a result, the ways for improving fuel efficiency are needed especially in agricultural area<sup>2</sup>.

A tractor is a farm vehicle that is used for general purposes around the farmstead if agricultural implements are attached. The total volume of tractor production in 2012 was 40,449, accounting for 57% of the total volume of major agricultural machineries such as cultivator, tractor, combine, rice transplanter, and cultivator. The utilization rate of the tractor reached 85.7%, which implies that the tractor is the most widely used machine on the farm in 2011<sup>1</sup>. Moreover, the tractor uses 345,000 kL of oil which takes 48.5% of total oil consumption of agricultural machines, so developing high performance tractors which make high power with low oil consumption are needed in this high-oil-price era<sup>3</sup>.

Most studies on tractor performance have focused on the power-train since it takes about 30% of the total tractor costs<sup>4</sup>. Since the tractor is used for general purposes, it has different gear ranges for different speeds. For this reason, the tractor efficiency differs depending on gear set, and many farmers waste the tractor power with incorrect gear set<sup>5</sup>. Therefore, analysis of the power-train efficiency with different gear selection is important. For analysis of the power-train efficiency of the tractor,

researchers analyzed torque load acting on the transmission shaft during field operations<sup>6,7</sup>. The load was different by soil conditions and operation speeds, and the load was higher at plow tillage than rotary tillage. Kim *et al.*<sup>8</sup> analyzed the torque acting on the transmission and driving axle shafts of the tractor during plow tillage. The torque measurements were conducted under five field conditions and with two speed levels. The results showed that load increased with plowing speed in both input shaft and final drive shaft in every field condition.

Some researchers considered fuel consumption during field operations<sup>8,9</sup>. Park *et al.*<sup>10</sup> analyzed the factors affecting on fuel consumption of the tractor. The results showed that the fuel consumption was considerably influenced by throttle engine speed and gear selection but much led by kind of soil. Especially, the fuel consumption increased as throttle engine speed increased but reversely proportional with gear step. According to Janulevicius *et al.*<sup>11</sup>, tractor used 43% of fuel with maximum torque of over 50% and medium engine speed of 1,100 - 1,900 rpm. Of total fuel 30% was used with maximum torque of over 50% and high engine speed of 1,900 rpm. In addition to the research of prediction of fuel consumption, Korean government supports fuel saving of agricultural machines by funding the research which develops the tractor monitor for fuel efficiency<sup>5</sup>. Japanese government also supports the education of tractor energy saving practices<sup>12</sup>.

Literature review revealed that the analysis of the load and fuel consumption was investigated separately. However, the load and fuel consumption need to be considered at the same time to

\*Corresponding Author: Mr. Yong Joo Kim

■ 논문명 : Motor Position Control Algorithm for an Automated Manual Transmission  
of the Agricultural Tractor

저자 : 김용주, 이영철, 김지환

학술지 : Biosystems Engineering

## **Motor Position Control Algorithm for an Automated Manual Transmission of the Agricultural Tractor**

Yongjoo Kim, Jihwan Kim and Hyeongcheol Lee

*Abstract*— This paper presents a motor position control algorithm for an automated manual transmission (AMT) of the agricultural tractor, based on modified linear quadratic tracking (LQT). In this paper, the modified LQT is derived from the original LQT by applying the Luenberger observer in order to design an output feedback controller. A dynamic model of the actuator is derived to represent characteristics of the worm geared DC motor and the proposed control algorithm is applied and tuned with the model. The proposed position control algorithm of the worm geared motor using the modified LQT can improve steady-state performance without changing the hardware configuration of the AMT. The simulation results show the validity of the proposed control algorithm.

*Index Terms*— Automated Manual Transmission, Synchronizer Gear Shifting, Motor Position Control, Modified Linear Quadratic Tracking, Luenberger Observer

### **I. INTRODUCTION**

In recent years, the needs related with the fuel and production efficiency of the agricultural tractors have increased significantly (Scarlet, 2001; Lindgren, & Hansson, 2002; Lindgren, 2005). In order to increase the production efficiency, the control operation of the clutch pedal and gear lever should be decreased and this can be achieved by using automatic transmissions such as the dual-clutch transmission (Kulkarni, Shim, & Zhang, 2007), the power-shift transmission (Molari & Sedoni, 2008; Tanelli, Panzani, Savaresi, & Pirola, 2011), and the continuously variable transmission (Savaresi, Taroni, Previdi, & Bittanti, 2004). The automated manual transmission (AMT) is a modification of the manual transmission which has electronically controlled actuators in order to

■ 논문명 : Main shift control for a dual-mode power-split-type hybrid electric vehicle

저자 : 홍성화, 최을선, 안성현, 김용주, 김현수

학술지 : Journal of AUTOMOBILE ENGINEERING

Original Article

Institution of  
**MECHANICAL  
ENGINEERS**



## Mode shift control for a dual-mode power-split-type hybrid electric vehicle

Proc IMechE Part D:  
J Automobile Engineering  
2014, Vol. 228(10) 1217–1231  
© IMechE 2014  
Reprints and permissions:  
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav  
DOI: 10.1177/0954407014521177  
pid.sagepub.com

Sungwha Hong<sup>1</sup>, Woulsun Choi<sup>1</sup>, Sunghyun Ahn<sup>1</sup>, Yongjoo Kim<sup>2</sup> and Hyunsoo Kim<sup>1</sup>

### Abstract

This paper presents a mode shift control algorithm for reducing the variation in the driveshaft torque for a dual-mode power-split-type hybrid electric vehicle. To evaluate the shift characteristics of this hybrid electric vehicle, dynamic models for the hybrid electric vehicle powertrain were developed. Using the dynamic models, a mode shift performance simulator was developed, and simulations were performed. To analyse the shift characteristics during the mode shift, bond-graph models for the transient state were constructed, and state equations were derived. From the bond-graph models and state equations, it was found that the transient torque occurs because of the inertia torques of the first motor-generator and the second motor-generator. Based on the transient torque, a mode shift control algorithm was proposed, which compensates for the transient torque. To evaluate the performance of the proposed control algorithm, a test bench for the dual-mode power-split-type hybrid electric vehicle was developed. From the simulations and test results, it was found that the variation in the driveshaft torque was reduced by the proposed control algorithm, which provides improved shift quality.

### Keywords

dual-mode power-split transmission, mode shift control algorithm, motor torque control

Date received: 29 August 2013; accepted: 18 December 2013

### Introduction

A power-split-type hybrid electric vehicle (HEV) consists of one engine and two or more motor-generators (MGs) combined with planetary gears (PGs). The most successful commercial power-split-type HEV to date has been the Toyota Prius, which was launched in 1997. Since then, various structures of the power-split-type HEV have been studied worldwide.

Power is distributed to the engine and motors in the power-split-type HEV by the power-split transmission (PST). The PST has a mechanical path consisting of mechanical elements such as PGs, and an electrical path consisting of MGs (Figure 1). Furthermore, the PST enables high-efficiency engine operation, independent of the output shaft speed, through the electrically controlled continuously variable transmission function of two MGs, and can implement the electric vehicle (EV) mode because the PST can freely switch the engine on and off while driving.<sup>1</sup>

PSTs can be classified into input, output and compound split types depending on the position of the power split.<sup>2</sup> A system that uses only one power-split structure is called a *single-mode system*. Toyota Prius,

Lexus RX-400-H and Ford Hybrid Escape are single-mode systems that use the input split. These single-mode systems have a low efficiency because the power circulation is in a specific high-velocity range.<sup>3–5</sup> Furthermore, to provide a sufficiently good performance, a single-mode system requires a motor with a high maximum speed for the input shaft, and a motor with a high maximum torque for the output shaft. Because two large-capacity motors are needed and the prices of the power electronics, such as the inverter, are high, the additional cost due to hybridization cannot be reduced below a certain level.

To overcome these weaknesses of the single-mode system, various types of multiple-mode system have

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea

<sup>2</sup>Machinery Technology Group, LS Mtron, Gunpo, Republic of Korea

### Corresponding author:

Hyunsoo Kim, School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, 300 Chunchun-dong, Jangan-gu, Suwon 440-746, Republic of Korea.

Email: hskim@me.skku.ac.kr

■ 논문명 : Analysis of PTO load of agricultural tractor during rotary tillage

저자 : 이대현, 김용주, 정선옥, 최창현

학술지 : 2013 ACPA



associated with green color and SPAD measurement. Though, the most strongest relationship was between non-normalized green and Kawashima index with  $r^2=0.561^{***}$  and  $r^2= 0.546^{***}$  respectively. Purpose of using conventional low-cost digital cameras for determining of Nitrogen in rice leaf offers a potential new tool as inexpensive, fast, accurate and applicable sensor for small farms.

**[P-62] A CASE STUDY FOR ISO11783 IMPLEMENTATION FOR TRACTOR MONITORING ACCORDING TO SAMPLE FREQUENCY**

*(Jae-Min Moon, Seung-Min Kim, and Dong Hoon Lee)*

The ISO 11783 standard is basically based upon well-known communication technology designated using the controller area network (CAN) bus and consists of 14 sub-standard. Various technical aspects of the standard description about physical layer, data link layer, the term diagnostic network, caustic terminal and file servers is definitively recommended. In our previous study, a basic prototype of the standard was developed and evaluated with an external GPS receiver in field. Nevertheless former experimental tests concluded that the prototype was suitable for enough transmittance speed some or more 250 kbps as recommended the standard, the number of sensor Electronic controller unit (ECU) and sampling rate of each ECU were not sufficiently considered. In this case study, a tractor equipped with 3 new ECU (Fuel sensor, hitch height and GPS) was integrated with previous ISO11783 infrastructure. Experimental tests in both laboratory and field were performed according to the change of sampling frequency of each ECU. The sensor signals (multiple messages and packets of measurement data) weremeasured by interrupt method, additionally, that were transmitted from sensor ECU to main ECU. Total amount of transmitted, throughput and loss rate was calculated and assessed. In case with sampling frequency lower than 100 hz, both of experimental tests resulted in the exact same performance, as being supposed by ISO11783, regardless of the number of ECU and the distance between the ECUs. In case with sampling frequency higher than 100 hz, throughput was severely decreased (40%) and loss rate was some or worse (45%). Even if the high sampling frequency (>100 hz) might not be probable in the future implementation, the physical distance between each ECU should be carefully considered to ensure the integrity of a implemented system. Also anappropriated noise removal processing technology might be useful to improve the performance of high frequency measuring system in an agricultural vehicle.

**[P-64] ANALYSIS OF PTO LOAD OF AGRICULTURAL TRACTOR DURING ROTARY TILLAGE**

*(Yong-Joo Kim, Dae-Hyun Lee, Sun-Ok Chung, and Chang-Hyun Choi)*

The number of tractor is 243,531 units as of 2010, accounting for about 86% of agricultural machinery (tractor, combine, and rice transplanter) for field operations in Korea. The utilization ratio of a tractor in field operations is 71.8%, and the ratio is continuously increasing. In particular, the fuel consumption of a tractor is 345,000 kL, accounting for about 48.5% of the total fuel consumption by the agricultural machinery, thus it is important to improve the energy efficiency of the tractor. To design a high-efficiency of tractor, analysis of load on major parts of the tractor power drive line during field operations is critical for an efficient and optimum design of a tractor. In this paper, PTO severeness ofan agricultural tractor during rotary tillag was analyzed. First, S-N (stress vs. number of cycle) curve of the PTO gear was obtained through a fatigue life test. In order to obtain the S-N curve of the PTO gear using a PTO dynamometer, the breakage time and the rotational speed of the gear were measured by observation of bending stress by tooth width and torque change. Second, torque acting in the rear PTO shaft was measured and analyzed during rotary tillage. A load measurement system was constructed with strain-gauge sensors to measure the torque of a PTO input shift, a radio telemetry I/O interface to acquire the sensor signals, and embedded software to calculate severeness. Rotary tillage was conducted at two grounding speeds and two PTO rotational speeds under upland field site with the same soil conditions. The load data was inverted to a load spectrum using rain-flow counting and SWT (Smith Watson Topper) equations. Modified Miner's rule was used to calculate the partial damage sum. The relative severeness represented the relative ratio of the damage sum. The results showed that the severeness of PTO input shaft increased with higher-speed gears of the tractor. It was also known that the load on the PTO input shaft was affected more significantly by the PTO rotational speed rather than the ground speed during rotary tillage. Results of this study would provide useful information for tractor PTO design with consideration of loading of rotary tillage.

**[P-65] EVALUATION OF TRACTOR CHARACTERISTICS DURING PLOWING BY GEARS SELECTION**

*(Yong-Joo Kim, Dae-Hyun Lee, Sun-Ok Chung, and Chang-Hyun Choi)*

This study was conducted to analyze effect of the gear selection on fuel consumption of a 95ps agricultural tractor during plowing. First, In order to measure the loads acting on driving axles and fuel consumption during plowing, measurement system was installed with strain-gauge sensors to measure torque of four driving axles, flow meter to measure fuel consumption of the tractor engine, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to acquire data. Plowing was conducted at three ground speeds (L2, L3, L4) under upland field sites with the same soil conditions. In this study, to analyze the effects of the gear

# ■ 논문명 : Analysis of Power Requirement of Agricultural Tractor in Major Field Operations

저자 : 김용주, 이대현, 정선옥, 최창현

학술지 : 2013 ACPA

Jeju Island, Republic of Korea, June 25-28, 2013



setting on the driving axles and fuel consumption of the tractor engine, One-Way ANOVA and the least significant difference test (LSD), whose factor was the ground speed were conducted. The average torque which was torque sum of four driving axles was increased as the ground speed increased from L2 to L4, and there was statistical significant difference as increasing the ground speed, considerably. Also, the average fuel consumption was decreased as the ground speed increased, and there was statistical significant difference, too. The results show that plowing required the greatest torque at the ground speed L4, but the fuel consumption was lowest at the ground speed L4. Because duration of plowing was decreased as the ground speed increased, and fuel efficiency of the tractor engine was increased as the engine rotational speed decreased.

## [P-66] ANALYSIS OF POWER REQUIREMENT OF AGRICULTURAL TRACTOR BY MAJOR FIELD OPERATION

*(Yong-Joo Kim, Dae-Hyun Lee, Sun-Ok Chung, and Chang-Hyun Choi)*

The purpose of this study was to analyze power requirement of an agricultural tractor by major field operations. First a survey was conducted to obtain annual usage ratio of agricultural tractor by field operation. Plowing, rotary tillage, and loader operations were selected as major field operations of agricultural tractor. Second, a power measurement system was constructed with strain-gauge sensors to measure torque of four driving axles and a PTO axle, speed sensors to measure rotational speed of the driving axles and an engine shaft, pressure sensors to measure pressure of hydraulic pumps, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to calculate power requirement. Third, the major field operations were experimented under fields with different soil conditions following planned operation paths. Power requirement was analyzed during the total operation period consisted of actual operation period (plowing, rotary tillage, and loader operations) and period before and after the actual operation (3-point hitch operating, forward and reverse driving, braking, and steering). Power requirement of tractor major components such as driving axle part, PTO part, main hydraulic part, and auxiliary hydraulic part were measured and calculated to determine usage ratio of agricultural tractor power. Results of averaged power requirement for actual field operation and total operation were 23.1 and 17.5 kW, 24.6 and 19.1 kW, and 14.9 and 8.9 kW, respectively, for plowing, rotary tillage, and loader operations. The results showed that rotary tillage required the greatest power among the operations. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic part, and auxiliary part during the actual field operation were 8.1, 7.8, 3.4, and 1.5 kW, respectively, and the total requirement power was about 70 % (20.8 kW) of the rated power. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic, and auxiliary hydraulic for the total operation period were 6.5, 6.0, 2.1, 0.9 kW, respectively, and total requirement power was about 52 % (15.5 kW) of the rated power. Driving axles required the greatest amount of power among the components.

## [P-67] DEVELOPMENT OF GRAIN YIELD REMOTE MONITORING SYSTEM BASED ON INTELLIGENT MOBILE PHONE

*(Xincheng Li, Minzan Li, Lihua Zheng, Hong Sun, Xiaofei An, Jia Wu, Xiang Guo)*

This paper designed a set of real-time yield information acquisition and remote monitor system based on Differential Global Positioning System (DGPS), computer communication technology and intelligent mobile phone. The system includes three parts: vehicle-mounted yield estimating system, remote PC and intelligent mobile terminal. The yield estimating system can collect impulse sensor data, elevator shaft speed, grain moisture, harvester travel speed, cutting width and yield loss data to establish mathematical model and measure the grain yield accurately. It also receives the geographical position information from GPS receiver to draw grain yield distribution map. Moreover, through the GPRS network, it can send the data to a remote PC for processing and displaying; And through GPRS/3G or Internet network, the remote PC can connect with intelligent mobile phone. The intelligent phone is to receive data, carry on data processing and realize data storage. It can fix position on Baidu map and also can draw the yield map. The software running on the intelligent mobile was developed mainly including three parts: wireless communication module, database management module and Baidu map module. By using intelligent mobile phone, Managers can master the real-time working condition and yield data of each vehicle at anytime and anywhere, and it is very convenient to query information or carry out remote control.

(2) 국내

■ 논문명 : 농업용 트랙터의 주요 농작업 소요동력 분석

저자 : 김용주, 정선옥, 박승제, 최창현

학술지 : 바이오시스템공학

바이오시스템공학 (J. of Biosystems Eng.)  
Vol. 36, No. 2, pp.79-88 (2011. 4)  
DOI:10.5307/JBE.2011.36.2.79

Research Article

Open Access

농업용 트랙터의 주요 농작업 소요동력 분석

김용주 정선옥 박승제 최창현

Analysis of Power Requirement of Agricultural Tractor by Major Field Operation

Y. J. Kim S. O. Chung S. J. Park C. H. Choi

Abstract

The purpose of this study was to analyze power requirement of an agricultural tractor by major field operations. First a survey was conducted to obtain annual usage ratio of agricultural tractor by field operation. Plowing, rotary tillage, and loader operations were selected as major field operations of agricultural tractor. Second, a power measurement system was constructed with strain-gauge sensors to measure torque of four driving axles and a PTO axle, speed sensors to measure rotational speed of the driving axles and an engine shaft, pressure sensors to measure pressure of hydraulic pumps, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to calculate power requirement. Third, the major field operations were experimented under fields with different soil conditions following planned operation paths. Power requirement was analyzed during the total operation period consisted of actual operation period (plowing, rotary tillage, and loader operations) and period before and after the actual operation (3-point hitch operating, forward and reverse driving, braking, and steering). Power requirement of tractor major components such as driving axle part, PTO part, main hydraulic part, and auxiliary hydraulic part were measured and calculated to determine usage ratio of agricultural tractor power. Results of averaged power requirement for actual field operation and total operation were 23.1 and 17.5 kW, 24.6 and 19.1 kW, and 14.9 and 8.9 kW, respectively, for plowing, rotary tillage, and loader operations. The results showed that rotary tillage required the greatest power among the operations. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic part, and auxiliary part during the actual field operation were 8.1, 7.8, 3.4, and 1.5 kW, respectively, and the total requirement power was about 70 % (20.8 kW) of the rated power. Averaged power requirement of driving axles, PTO axle, main hydraulic, and auxiliary hydraulic for the total operation period were 6.5, 6.0, 2.1, 0.9 kW, respectively, and total requirement power was about 52 % (15.5 kW) of the rated power. Driving axles required the greatest amount of power among the components.

Keywords : Agricultural tractor, Power requirement, Plowing, Rotary tillage, Loader operation

1. 서론

최근 자동차 산업은 유가 상승 및 환경 문제의 대두로 새로운 국면을 맞이하고 있다. 국제유가는 지속적으로 증가하

여(KNOC, 2010) 2030년에는 최고 배럴당 118.7 달러까지 상승 될 전망으로 자동차 산업의 유가 의존도는 가중될 것으로 예상된다(EIA, 2008). 자동차 분야의 환경 규제는 새로운 무역규제 방안의 하나로 선진국들은 그린라운드(Green Round)

This work was supported by the Technology Innovation Program funded by the Ministry of Knowledge Economy. The article was submitted for publication on 2011-04-06, reviewed on 2011-04-13, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-04-15. The authors are Yong Joo Kim, Senior Research Engineer, KSAM member, LS Mtron LTD., Anyang, Korea, Sun-Ok Chung, Assistant Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, Seung-Jae Park, Professor, KSAM member, Division of Bioresource System Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Chonbuk, Korea, and Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: S. O. Chung, Assistant Professor, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, 220 Gung-Dong, Yuseung-Gu, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-822-6246; E-mail: <sochung@cnu.ac.kr>

# 논문명 : 로타리 경운작업 시 트랙터 PTO 가혹도 평가

저자 : 김용주, 정선옥, 최창현, 이대현

학술지 : 바이오시스템공학

바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)  
Vol. 36, No. 3, pp.163-170 (2011. 6)  
DOI:10.5307/JBE.2011.36.3.163

Research Article

Open Access

## 로타리 경운작업 시 트랙터 PTO 가혹도 평가

김용주 정선옥 최창현 이대현

### Evaluation of Tractor PTO Severeness during Rotary Tillage Operation

Y. J. Kim S. O. Chung C. H. Choi D. H. Lee

#### Abstract

Analysis of load on major parts of the tractor power drive line is critical for efficient and optimum design of a tractor. The purpose of this study was to evaluate severeness of the tractor PTO driving axle during rotary tillage operation. First, S-N (stress vs. number of cycle) curve of a PTO driving gear was obtained through the fatigue life test using a PTO dynamometer. Second, PTO severeness was evaluated during rotary tillage operation. Torque measurement system was constructed with strain-gauge sensors to measure torque of a PTO axle, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to calculate severeness. The severeness of PTO was analyzed using measured torque data during rotary tillage. In the PTO gear life fatigue test, breakage time and bending stress of the gear were measured by tooth widths and torque change during the fatigue life test. The S-N curve showed a good linear relationship between bending stress and number of cycle (life) with a coefficient of determination of 0.97. For PTO severeness evaluation, rotary tillage operations were conducted at two PTO rotational speeds (level-1, level-2) under different paddy and upland field sites with different soil conditions. Results of averaged relative severeness for PTO level-1 and PTO level-2 were 1.96 and 3.34, respectively, at paddy field sites, and they were 1.36 and 2.51, respectively, at upland field sites. The results showed that the PTO driving axle experienced more severe load during rotary tillage at paddy fields than at upland sites, and relative severeness was greater at the higher PTO rotational speed under all of the soil conditions.

**Keywords :** Tractor, Rotary tillage, PTO driving gear, Fatigue life test, S-N curve, Relative severeness

#### 1. 서론

트랙터는 국내 주요 농작업기계(트랙터, 이앙기, 콤바인) 중 보유대수 86%(234,531대), 가동률 71.8%로 다른 기종에 비해 사용 빈도가 매우 높으며, 그 비중은 계속적으로 증가하고 있다. 또한 트랙터의 유류 사용량은 농업용 면세유 사용량의 약 19%(395,200 kL)로 난방기 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있어 국내의 토양 및 작업 조건에 적합한 고효율의 트랙터 개발의 필요성이 대두되고 있다(KAMICO and

KSAM, 2010).

고효율 트랙터 개발을 위해서는 동력 전달계에 대한 최적 설계가 가장 중요하며, 이를 위해서는 다양한 농작업에 따른 트랙터 주요 요소의 부하 가혹도 분석이 필요하다(Han et al., 1999). 특히 변속기는 트랙터 전체 비용 중 약 30%를 차지하기 때문에 대부분의 부하 가혹도 분석에 관한 연구는 변속기를 대상으로 수행되었다(Kim, 1998). Kim 등(1998)은 트랙터 주요 포장작업인 플라우 경운작업, 로타리 경운작업, 운반작업을 대상으로 변속기 입력축과 최종 구동축의 부하를 측

This work was supported by the Technology Innovation Program funded by the Ministry of Knowledge Economy. The article was submitted for publication on 2011-06-01, reviewed on 2011-06-08, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-06-14. The authors are Yong Joo Kim, Senior Research Engineer, KSAM member, Dae-Hyun Lee, Research Engineer, LS Mtron LTD., Anyang, Korea, Sun-Ok Chung, Assistant Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea, and Chang Hyun Choi, Professor, KSAM member, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: S. O. Chung, Assistant Professor, Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, 220 Gung-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea; Fax: +82-42-822-6246; E-mail: <sochung@cnu.ac.kr>.

■ 논문명 : 베일러 작업 시 트랙터 소요동력 분석  
저자 : 김용주, 이대현, 정선옥, 박승제, 최창현  
학술지 : 바이오시스템공학

바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)  
Vol. 36, No. 4, pp.243-251 (2011. 8)  
DOI:http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2011.36.4.243

ISSN (Online) : 2234-1862  
ISSN (Print) : 1738-1262

Original Article

Open Access

## 베일러 작업 시 트랙터 소요동력 분석

김용주<sup>1</sup> · 이대현<sup>1</sup> · 정선옥<sup>2\*</sup> · 박승제<sup>3</sup> · 최창현<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LS엠트론(주) 중앙기술연구소, <sup>2</sup>충남대학교 바이오시스템기계전공, <sup>3</sup>전북대학교 생물산업기계공학과,  
<sup>4</sup>성균관대학교 바이오메카트로닉스

### Analysis of Power Requirement of Agricultural Tractor during Baler Operation

Yong Joo Kim<sup>1</sup>, Dae Hyun Lee<sup>1</sup>, Sun-Ok Chung<sup>2\*</sup>, Seung-Jae Park<sup>3</sup>, Chang Hyun Choi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>LS Mtron LTD., Anyang, 431-080, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

<sup>3</sup>Division of Bioresource System Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea

<sup>4</sup>Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

(Received: August 2<sup>th</sup>, 2011; Revised: August 9<sup>th</sup>, 2011; Accepted: August 16<sup>th</sup>, 2011)

#### Abstract

Purpose of this study was to analyze power requirement of an agricultural tractor for baler operation. First, a power measurement system was developed and installed in a 75 kW agricultural tractor. Strain-gages with a telemetry system were used to measure torques of transmission and PTO input shafts. An engine tachometer was used to measure rotational speed of transmission and PTO input shafts. The measurement system also included pressure sensors to measure pressure of hydraulic pumps, an I/O interface to acquire the sensor signals, and an embedded system to determine power requirements. Second, field experiments were conducted at two PTO speed levels, and proportion of utilization ratio of rated engine power and power consumption of major parts (transmission input shaft, PTO input shaft, main hydraulic pump, and auxiliary hydraulic pump) were analyzed. Results of usage proportion of engine power for PTO speed level 1 and 2 were 4.1 and 2.2%, 31.5 and 16.3%, 49.6 and 59.7%, 14.4 and 20.8%, and 0.4 and 1.0%, respectively, for ratio of measured engine power to rated engine power of less than 25%, 25 ~ 50%, 50 ~ 75%, 75 ~ 100%, and greater than 100%. The results showed that the usage proportion increased in the range with the ratio of power requirement to rated engine power of over than 50% when the PTO gear was shifted from P1 to P2. Averaged engine power requirement for baling operation, tying and discharging operation, and total operation were 43.3, 37.3, and 42.0 kW and 49.0, 37.0, and 47.4 kW, respectively, for PTO speed level 1 and 2. Paired t-test showed significant difference in power consumption of engine, transmission input shaft, and PTO input shaft for different PTO speed levels. Therefore, the power consumption of engine for baler operation increased when the PTO gear was shifted from P1 to P2. It was indicated that the power requirement of tractor was affected by the PTO rotational speed for baler operation.

**Keywords** : Agricultural tractor, Power requirement, Baler operation

\*Corresponding author: Sun-Ok Chung  
Tel: +82-42-821-6712; Fax: +82-42-823-6246  
E-mail: sochung@cnu.ac.kr

■ 논문명 : 조사료 생산을 위한 베일러 및 랩핑 작업의 트랙터 소요동력 분석  
 저 자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 이상현, 박승제  
 학 술 지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회

조사료 생산을 위한 베일러 및 랩핑 작업의 트랙터 소요동력 분석  
 Analysis of Power Requirement during Baler and Wrapping  
 Operations for Forage Production

이대현\* 김용주\* 최정웅\* 최창현\*\* 정선옥\*\*\* 박승제\*\*\*\*  
 D. H. Lee Y. J. Kim J. W. Choi C. H. Choi S. O. Chung S. J. Park

1. 서론

국제유가는 석유 수요의 상승에 따라 지속적인 증가하여 2030년에는 최고 배럴당 118.7 달러까지 상승 될 전망이며(KNOC, 2010), 유류비용 부담이 증가함에 따라 농업기계 분야에서도 유가 상승에 따른 대책 마련이 필요하다. 유럽의 경우 스페인에서는 트랙터 에너지소비효율을 5등급으로 설정하여 소비자가 에너지 효율이 높은 트랙터를 선택할 수 있도록 하고 있으며(Park et al., 2010), 일본의 경우에도 트랙터 등 농작업 기계의 에너지절감 실천방법이 보고되고 있다(Fujii, 2008).

트랙터는 국내 주요 농작업기계(트랙터, 이앙기, 콤바인) 중 보유대수 86%(234,531대), 가동률 71.8%로 다른 기종에 비해 사용 빈도가 매우 높으며, 그 비중은 계속적으로 증가하고 있다. 또한 트랙터의 유류 사용량은 395,200 kL로 전체 농업용 면세유 사용량의 약 19%를 차지하고 있어 국내의 토양 및 작업 조건에 적합한 고효율의 트랙터 개발의 필요성이 대두되고 있다(KAMICO and KSAM, 2010).

따라서 본 연구는 고효율 트랙터 개발의 기초연구로써 트랙터 작업의 효율적인 에너지 분배를 위해 동력 계측 시스템을 개발하여 조사료 생산을 위한 베일러, 랩핑 작업의 소요동력을 분석하는 것을 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

가. 트랙터 제원

본 연구에서는 표 1과 같이 크기 4,000(L) × 2,000(W) × 2,640(H) mm, 무게 3,260 kg의 4륜구동 트랙터를 사용하였으며, 엔진 정격출력은 2,500 rpm에서 75 kW로 이때 PTO 출력은 65 kW이다. 트랙터의 유압장치는 3점 히치 제어 및 베일러, 랩핑 작업기에 사용되는 주

† 본 연구는 IT융합 농기계 종합기술지원사업의 지원에 의해 이루어진 것임.  
 \* LS엠트론(주) 중앙연구소  
 \*\* 성균관대학교  
 \*\*\* 충남대학교  
 \*\*\*\* 전북대학교

■ 논문명 : 하이브리드 트랙터 구동모터의 형상 설계  
 저자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 이상현, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회

## 하이브리드 트랙터 구동모터의 형상 설계 Design of Driving Motor for Hybrid Tractor

이대현\*    김용주\*    최정웅\*    이상현\*    박승제\*\*  
 D. H. Lee    Y. J. Kim    J. W. Choi    S. H. Lee    S. J. Park

### 1. 서론

최근 자동차 산업은 유가 상승 및 환경 문제의 대두로 새로운 국면을 맞이하고 있으며 선진국들의 무역규제 강화에 따라 환경 친화적, 고효율의 하이브리드 차량 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 하이브리드 기술은 승용차, 건설기계를 넘어 현재 농업기계 분야에서도 연구 및 개발이 진행되고 있으며, 특히 트랙터는 보유대수 243,531대로 트랙터, 이앙기, 콤팩트 등의 농작업기 중 약 86%를 차지하고 있고(KSAM, 2009), 유류 사용량은 전체 농업기계 2,080,000 kL의 약 19%로 난방기(64%) 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다(RDA, 2008). 따라서 하이브리드 트랙터 개발을 통한 에너지 효율의 향상이 필요하며 이에 따른 효과는 전체 농업기계 중 가장 높을 것으로 판단된다. 하이브리드 트랙터 개발을 위해서는 배터리, 모터, 발전기, 제어기 등의 핵심부품의 개발이 필요하며 이 중 하이브리드 트랙터의 주 구동원으로 사용되는 고효율, 고회출력의 구동모터 개발이 가장 중요하다.

따라서 본 연구는 고효율의 하이브리드 트랙터 개발을 위한 연구로써 구동 모터에 적합한 모터를 선정 후 하이브리드 트랙터에 적합한 고효율, 고회출력의 구동모터의 형상 설계를 목적으로 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 모터의 분류

모터(motor)는 전기 에너지를 회전하는 기계 에너지로 변환시키는 장치로 그림 1과 같이 전원, 동작 원리, 구조에 의해 구분될 수 있다.

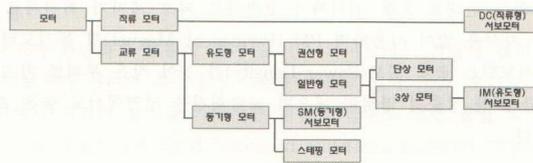


Fig. 1 Classification of motors.

† 본 연구는 IT융합 농기계 종합기술지원사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* LS엠트론(주) 중앙연구소

\*\* 전북대학교

■ 논문명 : 대용량 인버터의 신뢰성 향상을 위한 방열판 개발 및 성능 평가  
 저 자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 최철환, 정상철, 박승제  
 학 술 지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회

## 대용량 인버터의 신뢰성 향상을 위한 방열판 개발 Development of Heat-sink for Reliability Improvement of High Power Inverter

이대현\*    김용주\*    최정웅\*    최철환\*    정상철\*    박승제\*\*  
 D. H. Lee    Y. J. Kim    J. W. Choi    C. H. Choi    S. C. Jung    S. J. Park

### 1. 서론

최근 국제유가 상승 및 환경규제에 따라 자동차 산업 뿐만 아니라 농업기계의 에너지 효율 향상을 위한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 특히 농업기계 중 트랙터는 유류 사용량이 전체 농업기계 중 난방기 다음으로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며(RDA, 2008), 유럽의 경우 트랙터 에너지 등급 제도를 실시하고 있는 등 트랙터 에너지 효율 향상에 대한 관심이 높아지고 있어 고효율의 트랙터 개발이 필요한 실정이다(Park et al., 2010).

하이브리드 기술은 기존의 내연기관에 모터를 추가하는 등, 두 가지 이상의 동력원을 효율적으로 사용하는 방식으로 에너지 효율 향상 및 연료 절감이 가능하다. 하이브리드 기술을 트랙터에 적용하기 위해서는 모터, 인버터, 배터리 등의 핵심부품 개발이 필요하며, 이중 인버터는 다이오드, 트랜지스터, IGBT 등의 전력형 소자가 사용되므로 과열을 방지하는 것이 무엇보다도 중요하다.

따라서 본 연구는 고효율의 하이브리드 트랙터 개발을 위한 연구로써 구동 모터 제어에 적합한 인버터를 설계하고 인버터의 동작 신뢰성 향상을 위해 방열판을 개발한 후 시뮬레이션을 통해 성능을 평가하는 것을 목적으로 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 인버터 정의

인버터는 다이오드(diode), 트랜지스터(transistor), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 등의 전력용 반도체를 이용하여 그림 1과 같이 3상 교류를 직류로 변환시키는 컨버터(converter)부, 맥동분(ripple)을 제거하는 평활 회로부, 변환된 직류를 가변 전압, 가변 주파수의 교류 형태로 변환하는 인버터(inverter)부 및 인버터부를 제어하는 제어회로부로 구성된 유도형 모터를 제어한다. 이때 유도형 모터의 회전속도는 식 (1)과 같이 주파수 및 극수에 의해 결정된다. 인버터 제어 방식에는 주로 아날로그 전압 등으로 모터의 회전속도를

† 본 연구는 IT융합 농기계 종합기술지원사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* LS엠트론(주) 중앙연구소

\*\* 전북대학교

■ 논문명 : 하이브리드 트랙터의 배터리 관리 시스템 개발  
 저 자 : 이대현, 김용주, 최정웅, 김상현, 김수철, 박승제  
 학 술 지 : 한국농업기계학회 2011년 하계 학술대회

## 하이브리드 트랙터 배터리 관리 시스템 개발

### Development of Battery Management System for Hybrid Tractor

이대현\*    김용주\*    최정웅\*    김상현\*    김수철\*    박승제\*\*  
 D. H. Lee    Y. J. Kim    J. W. Choi    S. H. Kim    S. C. Kim    S. J. Park

#### 1. 서론

최근 각국의 자동차 산업 기술 발전에 따라 하이브리드 자동차에 대한 연구 개발이 활발이 진행되고 있다. 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)는 기존 내연기관에 전기모터를 추가하는 등 두 가지 동력원을 사용하여 차량을 구동하는 방식으로 친환경적이고 에너지 효율이 높아 다양한 분야에서 연구 개발이 진행되고 있다. 특히 농업기계 중 트랙터는 작업 부하에 따른 연료 소모가 크므로 하이브리드 기술 적용 시 높은 에너지 효율을 발생시킬 수 있을 것으로 기대된다.

현재 하이브리드 차량의 모터 동력원으로 사용되는 배터리는 상시 감시 및 개별 장애 예측이 불가능하며 정전 시 장애복구 비용의 손실이 일어난다. 이에 BMS (Battery Management System)는 배터리의 성능 상태를 온라인으로 실시간 관리하는 시스템으로 사전 장애 예측 및 대응, 안정적인 전원공급이 가능하다는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 하이브리드 트랙터 개발을 위한 연구로 배터리의 효율적인 사용을 위해 BMS를 개발하고 과전압, 저전압에 따른 보호 기능의 신뢰성을 평가하였다.

#### 2. 재료 및 방법

##### 가. 니켈수소(Ni-MH) 전지

차량에 사용되는 배터리는 충/방전이 가능한 2차 전지를 사용하며 일반적인 차량에는 주로 납축전지(lead-acid)가 사용되며 하이브리드 차량의 경우 배터리의 에너지 밀도가 낮고 무거운 납축전지 대신 니켈(nickel)이나 리튬(lithium)계열이 많이 사용된다. 니켈 및 리튬 계열의 배터리는 니켈카드뮴(Ni-cd)전지, 니켈수소전지(Ni-MH), 리튬이온(Li-ion)전지가 있으며 각각의 성능은 표 1과 같다. 니켈카드뮴전지는 가격이 저렴하고 안정성이 높은 장점이 있어 차량에 널리 쓰이고 있지만 에너지 밀도 및 효율이 낮으며 전지를 완전히 방전시키지 않은 상태에서 충전을 하게 되면 전지의 충전 가능 용량이 줄어드는 메모리 효과(memory effect)가 있어 하이브리드 차량에는 적합하지 않으며 리튬이온전지는 에너지 밀도와 효율 뿐만 아니라 셀(cell)당 전압이 높은 등 성능이 우수하지만 가격이 고가이며 안정성이 낮아 작업 환경이 열악한 트랙터에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.

† 본 연구는 IT융합 농기계 종합기술지원사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\* LS엠트론(주) 중앙연구소

\*\* 전북대학교

■ 논문명 : 병렬형 하이브리드 차량의 주행속도에 따른 SOC 및 연료 소모 시뮬레이션  
 저자 : 박진감, 김용주, 윤현웅, 최창현, 이대현, 최정웅, 박승제  
 학술지 : 한국농업기계학회 2011 하계 학술대회

병렬형 하이브리드 차량의 주행속도에 따른 SOC 및  
 연료 소모 시뮬레이션

SOC and Fuel Consumption Simulation by  
 Driving Velocity for Paralle Hybrid Electric Vehicle

박진감\*    윤현웅\*    최창현\*    김용주\*\*    이대현\*\*    최정웅\*\*    박승제\*\*\*  
 J. K. Park    H. W. Yun    C. H. Choi    Y. J. Kim    D. H. Lee    J. W. Choi    S. J. Park

1. 서론

최근 자동차 산업분야에서 유가 상승과 이산화탄소 평균 배출량 기준의 강화 추세에 따라 친환경적이고 높은 에너지 효율을 가지는 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 하이브리드 자동차는 기존의 동력원인 내연기관에 전기모터를 추가하여 두 가지 동력원을 사용하는 방식으로 주행 속도나 환경에 따라 엔진과 모터를 번갈아 사용하여 효율적인 운행이 가능하다는 장점이 있다(양 등, 2007).

트랙터는 로터리, 쟁기 등의 작업을 수행하는 농업기계로 국내 농업기계 보유현황에서 약 86%의 높은 비중을 차지하고 있으며(김 등, 2010), 평균 작업시간이 다른 농업기계에 비해 상대적으로 높다. 이러한 트랙터에 자동차 하이브리드 기술을 적용할 경우 친환경, 고효율의 트랙터 개발이 가능하나 낮은 작업 속도 및 높은 토양 부하, 잦은 변속의 작업 조건에 맞는 적절한 하이브리드 제어 전략이 선행되어야 한다.

본 연구는 하이브리드 트랙터 개발을 위한 기초 연구로, 하이브리드 차량의 시뮬레이션 모델을 개발한 후 고속도로와 시내 도로에서의 주행 속도 및 트랙터 작업 속도에서 주행 시뮬레이션을 수행하고 연료 소모량 및 배터리 충전잔량(State Of Charge, SOC)을 분석하여 트랙터에 자동차 하이브리드 기술 적용 가능 여부를 확인하였다.

2. 재료 및 방법

가. 병렬형 하이브리드 시스템

하이브리드 시스템 중 병렬형 시스템은 엔진, 모터, 변속기, 배터리로 구성되어 모터와 엔진을 모두 동력원으로 사용하는 것으로 구동 방식은 그림 1과 같다. 출발 및 가속, 오르

† 본 연구는 IT융합 농기계 종합기술지원사업의 지원에 의해 이루어진 것임.  
 \* 성균관대학교  
 \*\* LS엠트론(주) 중앙연구소  
 \*\*\* 전북대학교

■ 논문명 : 트랙터 베일러 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발  
 저 자 : 박진감, 윤현웅, 최창현, 이대현, 김용주  
 학 술 지 : 한국농업기계학회 2013년 춘계 학술대회

## 트랙터 베일러 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발<sup>\*</sup>

### Development of Working Cycle for Performance Evaluation of Tractor Baler Operations

박진감<sup>1\*</sup>    윤현웅<sup>1</sup>    최창현<sup>1</sup>    이대현<sup>2</sup>    김용주<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>성균관대학교 생명공학부    <sup>2</sup>(주)LS 엠트론  
 Jin Kam Park<sup>1\*</sup>    Hyun Woong Yun<sup>1</sup>    Chang Hyun Choi<sup>1</sup>  
 Dae Hyun Lee<sup>2</sup>    Yong Joo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Life Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, Suwon, Gyeonggi, 440-746, Korea

<sup>2</sup>LS Mtron LTD, Anyang, Gyeonggi, 431-080, Korea

#### 서론

국제유가 상승에 따라 농가에 유류비용 부담이 증가하고 있어 이에 대한 방안이 필요하다. 특히 연료 소비가 많은 트랙터에 대한 에너지 효율 등급화가 필요하나 자동차와 같이 주행 사이클로 성능평가가 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 트랙터의 주요작업 중 하나인 베일러 작업의 부하를 측정하고 베일러 작업의 성능평가를 위한 작업 사이클을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

#### 재료 및 방법

71 kW급 4륜구동 중형 트랙터의 변속기 입력축, PTO 입력축, 유압장치의 소요 동력을 측정하고 그 합을 엔진 소요 동력으로 간주하여 엔진 토크를 계산하였다. 변속수준은 부변속 L단, 주변속 3단, PTO 1단으로 설정하여 5.1 km/h의 속도로 원형 베일러를 사용하여 그림 1과 같은 동선에서 작업을 수행하였다. 측정된 자료를 모드(mode) 분석법에 적용하여 작업환경 및 부하 변동을 분석하였다. 작업 구간을 세부 작업으로 구분하여 각 세부작업에 micro-trip method를 적용하여 작업 사이클을 개발하고 평가를 위해 토크-토크변화량 연계 분석을 실시하였다.

#### 결과 및 고찰

트랙터 베일러 작업의 작업 사이클 개발 결과는 그림 2와 같이 나타났다. 개발된 작업 사이클은 모드 분석법에 의해 출발, 베일작업, 선회, 베일결속, 배출 구간으로 구분되었으며 출발 모드를 제외하고 구간 별 차지하는 비율이 포장 실험 자료와 5% 이내의 오차를 보였다. 표 1은 포장 실험 자료와 개발된 작업 사이클의 특성값을 비교한 것으로 토크와 토크 변화량의 오차가 5%의 범위 내를 유지하여 우수한 성능을 나타내었다. 작업 사이클의 평가를 위해 토크-토크변화량 연계분석 결과는 그림 3과 같으며 실제 작업 데이터의 확률분포 범위에 비해 줄었으나 확률분포가 높은 핵심부분에서 차이가 크게 발생하지 않아 작업 성능 평가에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

Andre, M. 2004. The ARTEMIS european driving cycles for measuring car pollutant emissions. Science of The Total Environment, 334-335:78-84.

\* 교신저자 : T. 031-290-7834, F. 031-290-7830, pj2815@naver.com  
 + 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

■ 논문명 : 농작업별 트랙터 부하데이터 전처리 (1) - 이상치 제거 -  
 저자 : 류명진, 추연국, 정선옥, 김용주, 이대현, 최창현, 이경환  
 학술지 : 한국농업기계학회 2013년 춘계 학술대회

한국농업기계학회 / 한국생물환경조절학회 2013 춘계공동학술대회 논문집 pp. 165-166

농작업별 트랙터 부하데이터 전처리 (1) - 이상치 제거 -  
 Pre-processing of Tractor Load Data during Field Operations (1)  
 - Outlier Removal -

류명진<sup>1</sup> 추연국<sup>1</sup> 정선옥<sup>1\*</sup> 김용주<sup>2</sup> 이대현<sup>2</sup> 최창현<sup>3</sup> 이경환<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>충남대학교 바이오시스템기계공학과, <sup>2</sup>LS엠트론(주) 중앙연구소,  
<sup>3</sup>성균관대학교 바이오메카트로닉스학과, <sup>4</sup>전남대학교 지역·바이오시스템공학과  
 Myong-Jin Ryu<sup>1</sup> Youn-Kug Choo<sup>1</sup> Sun-Ok Chung<sup>1\*</sup> Yong-Joo Kim<sup>2</sup>  
 Dae-Hyung Lee<sup>2</sup> Chang-Hyun Cho<sup>3</sup> Kyeong-Hwan Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea  
<sup>2</sup>Machinery Technology Group, Advanced R&D Center, LS Mtron Ltd., Gunpo, Korea  
<sup>3</sup>Dept. of Bio-mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea  
<sup>4</sup>Dept. of Rural & Bio-Systems Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Korea

서론

농작업 시 트랙터 동력전달부에 가해지는 부하를 분석하는 것은 최적 농작업 수행, 트랙터 및 작업기 부품 설계 등에 필요한 사항이다. 본 연구에서는 농작업 시 측정된 부하데이터를 분석하기 위하여 데이터에 포함되어 있는 이상치를 제거하고자 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구에서는 75 kW급 트랙터로 농작업을 수행하면서 측정된 데이터를 사용하였다. 주행 및 PTO 속도 수준을 조합하여, 플라우 경운 2수준, 로터리 경운 4수준, 베일러 작업 4수준, 램핑 작업 1수준으로 작업하였다. 측정된 데이터는 변속기 입력축, PTO 입력축, 주 및 보조 유압펌프의 부하 관련 데이터로 구성되어 있었다. 센서의 측정범위를 벗어나는 데이터, 동력장치의 구동범위를 벗어나는 데이터, 변화 정도가 다른 부하 인자들과 비교하여 적합하지 않는 데이터를 이상치로 판단한다. 이상치로 판단된 데이터는 데이터 특성에 주파수 특성에 변화를 주지 않도록 제거하고 원 데이터와 비교한다.

결과 및 고찰

모든 포장 작업 데이터에서 변속기 입력축 및 차축 토크가 0 kg·m이하인 이상치가 확인되었다. 이상치 제거 후 평균, 최솟값, 표준편차가 변하였고, 플라우 경운데이터는 엔진의 정격출력을 고려한 범위를 벗어나는 토크데이터 이상치가 확인되어 제거하였고 최댓값이 4732.1 kgf·m에서 3232.1 kgf·m로 변하였다. PTO 입력축 토크의 이상치는 로터리 경운, 베일러 작업에서 확인되었고 제거 후 평균값이 1649.2, 538.4 kg·m에서 1646.9, 538.5 kg·m으로 변하였다. 로터리 경운에서 주 유압펌프 압력 이상치가 확인되었고 제거 후 최댓값이 126.1 bar에서 69.8 bar로 변하였다. 부하데이터의 이상치 제거 후 원 데이터와 비교하여 평균은 크게 변화가 없고 최대, 최솟값이 변화하여 편차가 줄어들어 향후 분석을 위한 안정적인 데이터로 변한 것을 확인하였다.

참고문헌

Kim, Y. J., S. O. Chung, S. J. Park, and C. H. Choi. 2011. Analysis of power requirement of agricultural tractor by major field operation. Journal of Biosystems Engineering. 36(2):79-88.

\* 교신저자 : T. 042-821-7975, F. 042-823-6246, sochung@cnu.ac.kr  
 + 본 연구는 농림수산식품부 생명산업기술개발사업(111051032WT011)의 지원으로 수행되었음.

■ 논문명 : 트랙터 플라우 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발  
 저 자 : 이현민, 윤현웅, 최창현, 이대현, 김용주  
 학 술 지 : 한국농업기계학회 2013년 추계 학술대회

한국농업기계학회 2013 추계 학술대회 논문집 18(2):167-168

## 트랙터 플라우 작업 성능평가를 위한 작업 사이클 개발<sup>+</sup> Development of Working Cycle for Performance Evaluation of Tractor Plow Operations

이현민<sup>1</sup> 윤현웅<sup>1</sup> 최창현<sup>1\*</sup> 이대현<sup>2</sup> 김용주<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>성균관대학교 생명공학부 <sup>2</sup>(주)LS 엠트론  
 Hyun Min Lee<sup>1</sup> Hyun Woong Yun<sup>1</sup> Chang Hyun Choi<sup>1\*</sup>  
 Dae Hyun Lee<sup>2</sup> Yong Joo Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Life Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University,  
 Suwon, Gyeonggi, 440-746, Korea

<sup>2</sup>LS Mtron LTD, Anyang, Gyeonggi, 431-080, Korea

### 서 론

유류 사용량이 많은 트랙터는 국제유가 상승에 따라 비용 절감을 위한 방안 마련이 필요한 실정이다. 자동차와 같이 트랙터에 대한 에너지 효율 등급화가 필요하나 포장작업이 주요 목적인 트랙터는 주행 사이클로 성능평가가 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 트랙터의 포장작업 중 하나인 플라우 작업의 부하 측정과 성능평가를 위한 작업 사이클 개발을 목적으로 하였다.

### 재료 및 방법

71 kW급 4륜구동 중형 트랙터의 변속기 입력축, PTO 입력축, 유압장치의 소요 동력을 측정하고 그 합을 엔진 소요 동력으로 간주하여 엔진 회전수로 나누어 엔진 토크를 계산하였다. 변속수준을 부변속 L단, 주변속 3단으로 일정하게 유지하였으며 5.1 km/h의 속도로 8열 단용 플라우를 사용하여 그림 1과 같이 외곽부터 안쪽으로 작업을 수행하였다. 플라우 경운 작업을 수행하며 측정된 자료를 모드 분석법에 의해 구분한 뒤 모드에 따른 토크와 토크변화량 연계분석에 의해 작업 환경 및 작업 경향을 분석하였으며 작업 사이클 개발을 위해 micro-trip method를 적용하였다.

### 결과 및 고찰

트랙터 플라우 작업의 작업 사이클 개발 결과는 그림 2와 같이 나타났다. 모드 분석법에 의하여 개발된 작업 사이클을 분석하면 출발 모드 7.36%, 경운 모드 56.25%, 경심조절 모드 23.41%, 선회모드 12.98%로 포장 실험 자료의 분석결과와 5% 이내의 오차를 보여주었다. 표 1은 포장 실험 자료와 작업 사이클의 특성값을 비교한 결과로 토크와 토크 변화량의 오차가 5%의 범위 내를 유지하여 우수한 성능을 나타내었다. 작업 사이클의 평가를 위해 토크-토크변화량 연계분석 결과는 그림 3과 같은 포장 실험 자료와 유사하게 0 ~ 10 Nm<sup>2</sup> 사이클 분포를 개화하면 10 ~ 20 Nm<sup>2</sup> 범위의 토크와 -5 ~ 5 Nm/s 범위의 토크변화량에서 95% 이상의 높은 확률 분포를 나타내었다.

### 참고문헌

Choi C. H. and M. J. Nahmgung. 2000. Load measurement of tractor on field performance. Proceeding of the KSAE 2000 Annual Conference, pp. 29-34. (In Korean)

\* 교신저자 : T. 031-290-7834, F. 031-290-7830 choiauto@skku.edu

+ 본 연구는 농림수산식품부의 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

## 제 2 절 산업화 추진 및 기술확산 방안

### 1. 산업화 추진

#### 가. 경제성 분석

하이브리드 트랙터의 경제성 분석을 통해 판매 단가 및 연비의 장점을 소비자들에게 강조하여 구매력을 높일 필요가 있다. 경제성 분석은 하이브리드 트랙터의 예상판매 수립 및 타사 제품과의 평가 비교, 연료 절감 금액의 비교를 통해 하이브리드 트랙터 구매 시 절감할 수 있는 금액을 분석한 것이다.

먼저 하이브리드 트랙터의 재료비는 기존 95마력급 트랙터(P7195, LSMtron)의 단가에 하이브리드 핵심부품 비용인 5,640 천원이 추가되었다. 예상 평가는 하이브리드 핵심부품 재료비의 2배를 옵션 판매가로 결정하여 기존 트랙터 가격인 71,690 천원에 옵션 판매가를 더한 82,970 천원으로 하였다. 하이브리드 트랙터의 평가는 해외 수입품인 110마력급 엔진 전용 트랙터와 비교하여 A사보다 12,260천원, B사보다 29,930천원 저렴하게 구입이 가능하다.

#### 하이브리드 트랙터 핵심부품 가격

품목	비용(천원)
모터 / 발전기	650
인버터	1,895
HCU / 배선	631
배터리 팩	2,000
C/H, 케이스	141
기타	323
합계	5,640

#### 110마력급 엔진전용 트랙터 및 하이브리드 트랙터 평가 비교

	A 社	B 社	P7195	Hybrid
엔진(cc)	3,769	4,485	4,485	4,485
출력(kW)	84	82/97	71	81(71+10)
중량(kg)	3,781	5,112	3,226	3,300
평가(천원)	95,230	112,900	71,690	*82,970

\* 평가 (82,970) = P7195 가격 (71,690) + 옵션가 (5,640 × 2)

예상 연료 절감 금액의 경우 B사와 연간 연료 소비량 비교를 통해 분석을 실시하였으며, B사 제품보다 연간 669천원의 연료를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 여기에 트랙터의 평균 사용 연수가 8년임을 감안하면 하이브리드 트랙터 구매 시 B사의 제품보다 5,352천원의 연료 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 하이브리드 트랙터는 해외 수입제품과 동일한 성능으로 최대 35,282천원의 절감 효과가 있어, 비싼 해외 수입제품을 대신하여 소비자들의 구매력을 향상시킬 수 있으며 대형 트랙터 시장의 높은 점유율 확보가 가능하다.

연간 연료 절감량

	로타리	쟁기	기타	합계
*연간 사용시간(h)	210	105	37	315
연료 B社	384.4	215.2	-	5,996
소모량(l) Hybrid	368.4	170.4	-	5,388
연료 절감량(l)	160	448	-	608

\*전라북도 지역의 70kW급 트랙터 사용자 작업실태 분석, 2013

- 연간 연료 절감량 : 608l/년
- 연간 연료 절감 비용 : 608l/년 × 1,100원/l (면세유 가격) = 669천원/년
- 평균 사용 연수 대비 연료 절감 비용 : 669천원/년 × 8년 = 5,352천원

나. 사업화 추진 전략

기술의 안정적인 제품화를 위해 지속적인 필드 시험 및 부하 분석이 진행되어야 한다. 또한 신기술 / 저탄소 인증을 통해 용자를 100% 지원하여 정부 보조금 지원책을 마련할 계획이다.

일정	절차	내용	비고
'13년 12월	하이브리드 트랙터 시작품 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>시작품 2대 제작</li> <li>- 실내 및 필드시험</li> <li>- 형식검사 용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연구내용 변경</li> <li>- 기존 1대</li> </ul>
'14년 2월	지정 검사(농업실용화재단)	<ul style="list-style-type: none"> <li>형식검사 방안 분석</li> <li>- 일반 트랙터와의 차이점 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업실용화재단</li> </ul>
'14년 4월	형식 검사 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>형식검사 방안 수립</li> <li>- OECD 시험 코드 변경</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국립농업과학원</li> </ul>
'14년 12월	신기술 인증/저탄소 인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>신기술 인증(농림부)</li> <li>- 판가 100% 용자 지원</li> <li>저탄소 인증(환경부)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농림수산식품부 /환경부</li> </ul>
'15년 12월	하이브리드 트랙터 인증	<ul style="list-style-type: none"> <li>독자 인증 코드 수립</li> <li>- OECD -&gt; 실용화재단</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농업실용화재단</li> </ul>
'15년 4월	정부 보조금 확보	<ul style="list-style-type: none"> <li>농협 임대 사업 적용</li> <li>- 구매 보조금 지원 : 판가의 10% (일본)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>농림수산식품부 /환경부</li> </ul>

다. 시장 진입을 위한 단계적 전략

전 세계 트랙터 시장의 친환경 및 고효율 기술 요구 추세에 맞추어 하이브리드 트랙터의 제품화뿐만 아니라 타 마력대 적용을 통하여 해외 수출 시장을 점차 확대 할 계획이다. 따라서 개발단계에서 양산 및 실용화를 앞당기기 위하여, 상세도면을 바탕으로 연구개발 종료와 동시에 부품별 양산체제를 구축하여 제품 판매를 조기에 실시할 예정이다.

또한 트랙터 시장에서 최초로 선보이는 하이브리드 기술을 통한 높은 연료 효율, 동급 마력대 트랙터보다 낮은 원가, 제품 경쟁력 향상을 통해 기업의 이미지 상승과 함께 국내외 트랙터 시장 공략이 수월할 것으로 판단된다. 유가 상승으로 인해 면세유 가격 역시 상승함에 따라 농업인에게 부담이 증가하고 있으므로 트랙터의 하이브리드화를 통해 연료 사용량을 줄여 소비자의 요구를 만족시킬 예정이다.

또한 국내 전시회(KIEMSTA) 출품을 통해 국내 시장에 하이브리드 기술과 장점을 소비자에게 소개하고 이후 북미/유럽 시장 진입을 위하여 국제 전시회 (EIMA, 루이빌쇼) 적극 출품하여 하이브리드 트랙터에 대한 홍보를 진행할 계획이다.

## 2. 기술 확산 방안

### 가. 기술 홍보

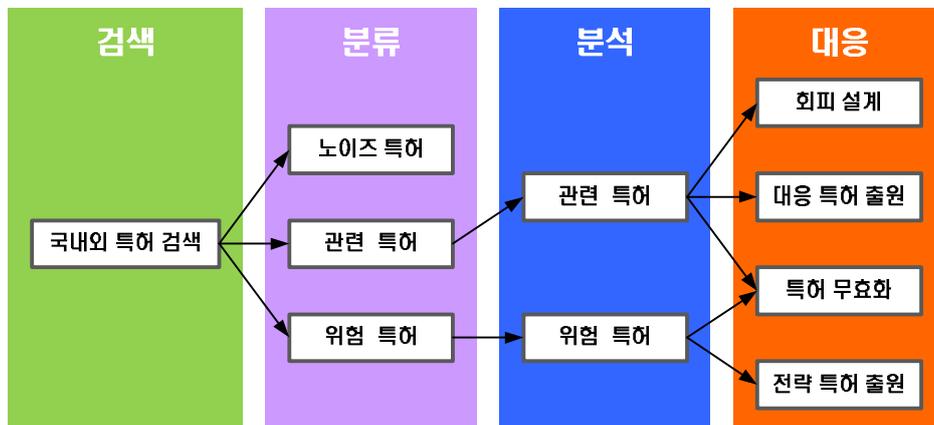
기술 홍보 및 확산을 위해서는 연구개발품에 대한 성과(매출/수출 등)의 향상을 위해 본 연구개발품을 국내/외 전시회에서 활용하여야 한다. 제품의 홍보 및 광고를 위해 국내/외 전시회에서 실제 개발품을 출품하는 것을 고려하였으나, 이는 실제 개발품의 구조 및 전략 등을 타 경쟁업체에 알려주게 되어(공개) 추후 본 기술의 보호가 어려울 수 있으므로(특허 등 지식재산권 확보 불가능), 작은 모형(간단한 구조 및 동작 구현이 가능), 애니메이션 등의 광고물 제작을 통해 본 기술을 알리는 것이 적합할 것으로 판단된다. 이를 통하면 일반 사용자들에게 현물을 전시하는 것에 비해 더욱더 성능 및 효과를 어필할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 위한 별도의 비용이 차년도에 추가로 산정되어야 할 것이다.

### 나. 외부 네트워크 활용

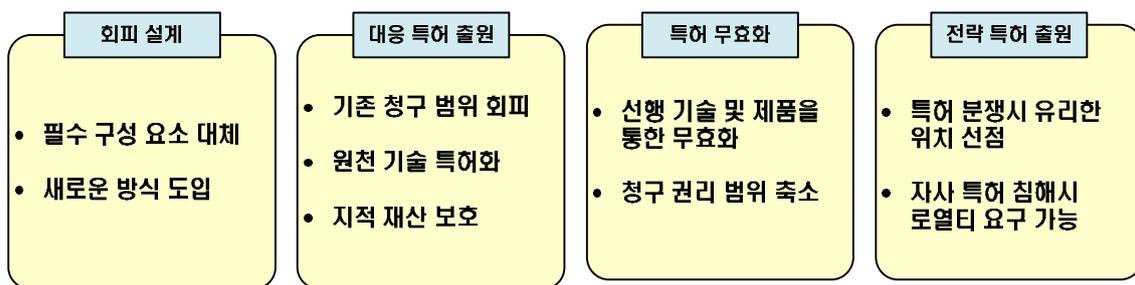
시험 인증 기관과의 협력 네트워크를 구축하여 하이브리드 트랙터 특성에 적합한 시험 및 표준인증 절차 및 방법을 개발하여 현재 개발품뿐만 아니라 추후 개발되는 하이브리드 농업기계에 대한 기준을 마련해야 한다. 따라서 R&D 관련 기업 및 연구소, 대학 및 시험, 인증 기관의 네트워크 구축을 통해 주요기술 개발에 관련된 전문 인력과 기존의 선행 연구 결과를 적절히 활용하여 연구결과의 실용화할 것이다.

### 제 3 절 지적재산권 확보 계획

최근 해외 선진사에서 하이브리드 관련 특허가 발견되기 시작하고 있으며 특허 가장 큰 경쟁사인 구보다의 경우 하이브리드 트랙터의 배터리 장착 관련 특허를 출원하는 등 . 본 연구를 수행하면서 지적재산권을 확보하기 위해 하이브리드 트랙터에 대한 국내외 특허를 지속적으로 검색한 후, 관련 없는 특허인 ‘노이즈 특허’와 관련은 있으나 회피 가능성이 있는 ‘관련 특허’, 핵심적인 기술을 청구 범위로 등록하여 회피하기 어려운 ‘위험특허’로 분류하고, ‘관련 특허’와 ‘위험 특허’는 특허의 청구항을 중심으로 분석하여 회피 설계, 대응 특허 출원, 특허 무효화, 전략 특허 출원 등의 방법으로 대응할 것이다.



하이브리드 트랙터의 특허 출원 프로세스



하이브리드 트랙터의 특허 대응 전략

하이브리드 트랙터에 관한 지속적인 연구 수행을 통해 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발, 전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발, 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발 기술에 대한 논문 등을 작성하여 국내외 학술지 또는 학술대회에

발표하여 농업기계의 학술적 수준 향상을 이끌어 낼 계획이다.

하이브리드 트랙터는 개발 과정에서 개발 및 설계된 주요 부품뿐만 아니라 실내시험과 포장 시험 등의 성능평가에 관한 내용을 논문을 작성하여 한국농업기계학회, 대한기계학회 등의 국내 저명학회와 미국농공학회(ASAE), 국제노외차량학회(ISTVS) 등의 SCI급 학회 투고할 계획이다.

본 연구에서 하이브리드 트랙터의 주요 작업에 따른 PTO 부하분석, 하이브리드 모터의 위치제어 알고리즘에 관한 기술 내용을 종합하여 국내외 제어관련 학회에 투고할 계획이다. 또한 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발 내용과 관련하여 다양한 트랙터 모델에 하이브리드 시스템을 적용하고 이에 따른 성능평가 결과를 토대로 국내외 학회에 투고할 예정이다.

## 제 4 절 타분야 활용 및 추가연구 필요성

### 1. 하이브리드 트랙터 플랫폼 및 시스템 통합기술 개발

하이브리드 트랙터는 기존 차량에 적용된 하이브리드 기술인 Mild형, 직렬형, 병렬형, 복합형 방식 중 비교적 작은 모터와 배터리를 사용하여 트랙터에 적합한 병렬형 방식으로 개발하였다. 트랙터에 작업 특성에 적합한 모터와 배터리 사양 결정은 다양한 농기계의 작업 특성에 맞게 하이브리드 모터 배터리 사양을 결정하는데 활용될 수 있다. 또한 HCU와 MCU의 개발 및 제어 알고리즘 개발을 통해 목적함수를 작업 조건이나 환경에 따라 변화시켜 71kW급뿐만 아니라 다양한 마력대 트랙터의 제어 시스템 개발에 사용될 수 있다. 하이브리드 실내 시험장치는 하이브리드 시뮬레이션과 연동하여 직접 실차 실험을 하지 않아도 다양한 작업의 부하 모드에서 하이브리드 트랙터 성능평가가 가능하며 이는 주요 작업 뿐만 아니라 해외의 다양한 작업 환경에서 하이브리드 트랙터 시스템의 성능평가를 통해 핵심부품 및 제어 알고리즘 개선이 가능할 것으로 판단된다.

현재 트랙터 시장은 전년대비 판매 대수는 유사하나 시장규모가 지속적으로 증가하는 대형화 추세를 보이고 있으며, 이에 따라 대형마력 트랙터 외에도 중소형 마력 적용을 위한 하이브리드 시스템 설계 및 구성에 대한 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

### 2. 전기에너지 고효율 변환 및 관리 기술 개발

전기에너지의 고효율 변환 및 관리 기술 개발은 하이브리드의 동력 어시스트에 핵심부품인 모터/발전기, 인버터/컨버터, 배터리-BMS를 설계하고 개발하는 연구이다. 트랙터에 장착하기 위해 트랙터 엔진 사양 및 하우징 크기를 고려하여 모터/발전기를 설계하고 개발한 과정은 이후 타 마력 대 트랙터의 하이브리드 시스템 적용 시 설계 지표가 될 수 있는 기준을 제공할 수 있을 것이다. 또한 인버터/컨버터의 경우 모터/발전기 입출력 조건 및 트랙터 작업 환경을 고려하여 설계하였으며, 온도 변화 시뮬레이션과 방열 특성 시뮬레이션을 실시하여 가혹한 환경에서의 내구성 시험을 실시하였다. 이러한 연구 내용은 가혹한 환경에서 작업하는 트랙터 외 굴삭기 등의 건설기계의 인버터/컨버터 개발에 활용될 수 있을 것이다. 또한 인버터/컨버터의 모터 제어 시스템 개발을 통해 다양한 출력의 모터의 제어 시스템 개발에 활용될 수 있을 것이다. 배터리-BMS의 경우, 내환경성을 고려하여 설계 및 개발하였으며 인버터/컨버터와 마찬가지로 가혹한 환경에서 작업하는 동력 기계의 하이브리드 시스템 적용 시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델 개발

하이브리드 트랙터 시뮬레이션 모델은 Autonomie 프로그램을 이용하여 개발하였다. Autonomie 프로그램은 미국방성 Argonne에서 하이브리드 차량에 관한 성능평가를 실시하는 시뮬레이션 Tool로 하이브리드 시스템에 대한 다양한 라이브러리와 시뮬레이션 모델 개발 및 구조 변경이 용이하도록 구성되어 있다. 이러한 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 현재 개발 중인 하이브리드 트랙터 외에 다양한 트랙터 모델 및 농작업기계에 대한 개발 및 성능평가가 가능할 것으로 판단된다. 또한 성능평가를 위해 개발된 작업 모드는 차량의 주행 성능평가를 위해 개발된 주행 모드 개발 과정을 이용하여 개발하였으며 이러한 작업 모드는 다양한 트랙터 모델의 성능평가에 활용될 수 있을 것이다.

### 4. 제품 개발 프로세스 활용

본 연구에서 사용된 제품 설계 및 개발 프로세스는 설계와 분석이 동시에 이루어져 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 기술 동향 분석, 설문 조사, 관련 제품의 비교 결과 등을 이용하여 개발할 제품의 특성을 분석하고 설계 및 개발 방향을 설정할 수 있다. 특성 분석 결과를 바탕으로 사용자의 작업 환경을 분석하고 정량적인 성능 평가 방법을 설정한다. 사용자의 작업 환경, 정량적 성능 평가 및 최적 설계 결과를 기반으로 주요 요소부품 및 링크 등을 설계하고, 실내 단품 성능 및 전체 시스템의 평가를 위한 시험장치를 개발하여 각각의 성능을 평가 및 검증한다. 하이브리드 트랙터 개발에 이용된 제품 개발 프로세스는 각각의 요소 부품 설계와 동시에 전체 레이아웃 구성이 가능하고 하이브리드 트랙터 성능평가를 위한 시험 장치 개발의 별도 진행이 가능하므로 개발 기간 및 비용을 줄일 수 있다. 따라서, 농업기계 분야는 물론 현장 실험이 필요한 제품의 개발에 적극 활용될 수 있다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제 1 절 학술논문

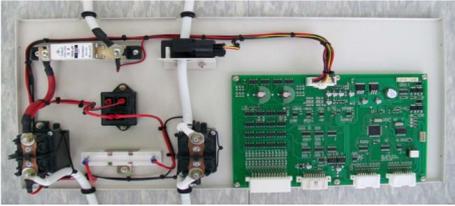
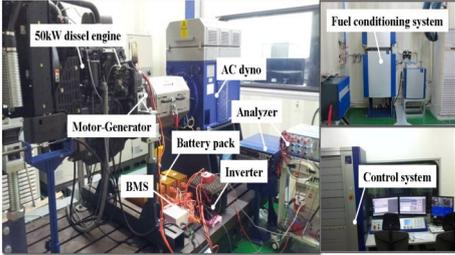
- Mousazadeh H, Keyhani A, Javadi A, Mobli H, Abrinia K, and Sharifi A. 2010. Evaluation of alternative battery technologies for a solar assist plug-in hybrid electric tractor. *Transportation Research Part D*. 15(8):507-512.
  - 현재 사용가능한 solar assist plug-in 배터리 기술에 대한 다양한 연구를 하이브리드 전기 트랙터의 조건에서 수행함. 태양 보조 플러그인 장치가 맑은 날에만 사용이 제한되는 단점이 있지만, 태양 에너지 조건 하에서 주변 환경 조건에 가장 잘 부합하는 네 가지 기술을 반영함.
  
- Finesso R, Spessa E, and Venditti M. 2014. Layout design and energetic analysis of a complex diesel parallel hybrid electric vehicle. *Applied Energy*. 134(2):573-588.
  - 복잡한 하이브리드 병렬 기구의 레이아웃 디자인을 설계하고 실시간 광범위 최적화 제어 전략을 개발함. Rule-베이스 제어 전략으로 연료 소모와 질소의 배출량을 최소화하고 배터리와 엔진이 과열되지 않는 시스템을 개발.
  
- sudhir G. 2014. Experimental analysis and feasibility study of 1400 CC diesel engine car converted into hybrid electric vehicle by using BLDC hub motors. *Energy Procedia*. 54:177-184.
  - 시중에 판매하는 1400cc 디젤 자동차를 HEV 자동차로 실험적으로 변환한 뒤, EV모드에서 꾸준한 속도로 달릴 때와 속도의 변화가 많은 ICE 모드로 달릴 때 연료의 소모량을 측정 및 비교함. 연료 절감 차원에서 ICE 모드보다 EV 모드가 더 효율적이라는 결론을 도출.
  
- Elisabeth A. G., and Lester B. L. 2012. Comparing resale prices and total cost of ownership for gasoline, hybrid and diesel passenger cars and trucks. *Transport Policy*. 27:200-208.
  - Turbocharged direct injection(TDI) 디젤과 hybridized electric gasolie (HEV)을 탑재한 기구는 높은 연료 소모율에도 불구하고 높은 제조가로 인해 효율이 좋지 않음. 5년 기준 net present value(NPV) 방식으로 비교하여 정확한 연료소비율 절감 방식을 찾음.

- T. W. Ku, Y. Kim, and B. S. Kang. 2006. Design and modification of tool to manufacture rectangular cup of Ni-MH battery for hybrid cars. *Journal of Materials Processing Technology*. 187(2):197-201.
  - 하이브리드 자동차에 일반적으로 쓰이는 배터리 대신 Ni-MH 배터리를 사용한 전원공급부를 설계함. 네 면이 둥근 직사각형 형태인 Ni-MH 배터리의 특성상 가공 및 결합하기가 어려운 점을 FE 분석법을 통해 해결함.
  
- Felix B, Mario M, Antonio L, Sergio B, Vincente R, Jose E, B., Manuel C, and Arturo V. 2012. Design and development of a multipurpose utility AWD electric vehicle with a hybrid powertrain based on PEM fuel cells and batteries. *International Journal of Hydrogen Energy*. 37(20):15367-15379.
  - PEM 내의 연료 셀과 배터리를 구성하고 4륜구동 시스템 하에서 새로운 방식의 multi-purpose electric vehicle을 개발함. 개발품은 유연한 기능으로 off-road 주행에서 하이브리드 시스템의 안정된 제어수행 능력을 증명함.
  
- Santiangeli A, Fiori C, Zuccari F, Dell E. A., Orecchini F., and D. Orazio A. 2014. Experimental analysis of the auxiliaries consumption in the energy balance of a pre-series plug-in hybrid-electric vehicle. *Energy Procedia*. 45:779-788.
  - 플러그인 특성의 하이브리드 자동차의 실제 도로주행 사이클 능력을 확인함. 주행 거리, 속도, 평행수치, RPM, 배터리의 전압 및 SOC를 측정. Auxiliary 시스템의 연료 소비량과 총 연료 소비량을 실시간으로 구분 및 분석하여 electric mode에서의 연료 소비량과 효율을 도출함.

## 제 2 절 관련특허

- Frank Messano. 2005. Hybrid farm tractor power train. EP 1 317 050 B1
  - 경하중량 차량(트럭, 버스)에 하이브리드 시스템을 구성하여 태양광 에너지를 통해 에너지를 보충하는 시스템으로 연료 소모량 감소에 탁월함.
  
- Honda Giken Kogyo Kabushiki Kaisha. 2008. Control system for hybrid vehicle. JP-8-204531
  - 하이브리드 자동차의 제어 시스템 개발 특허로 선택적으로 전기 에너지를 공급하기 위해 저장장치와 전동기에 의해 저장장치에 전력을 저장하는 제어 시스템을 구성함.
  
- Nissan Motor Co., Ltd. 2007. Motor torque control apparatus and method for automotive vehicle. US-07164247.
  - 하이브리드 차량의 모터 토크를 제어하는 장치를 개발하였으며 모터 토크 제어를 위해 컨트롤러를 통해 구동력을 타깃 구동력을 추종하게끔 제어 시스템을 구성함.
  
- Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha. 2006. Hybrid drive system wherein clutch is engaged when engine speed has exceeded motor speed upon switching from motor drive mode to engine drive mode. US-07168515.
  - 하이브리드 차량 구동 시 하이브리드 모드에서 엔진동작에서 모터 동작으로 변환할 때 클러치를 engaging 하거나 disengaging하여 동력원을 전환하는 시스템.
  
- Hashimoto Toshiya . 2011. Hybrid vehicle and control method of hybrid vehicle. JP-2008-044926.
  - 모터 온도가 기준 설정 온도보다 하락하고 차량 속도가 설정 속도보다 하락한 조건에서 구동 전압을 높게 설정하기 위해 제어하기 위해 승압회로를 구성하고 컨트롤러를 개발함.
  
- Plug-In Conversions Corporation Kim ADELMAN. 2014. SYSTEM AND METHOD OF CONVERTING A STANDARD HYBRID VEHICLE INTO A PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE. US-13615824 .
  - 하이브리드 플러그인 방식으로 배터리 관리 소프트웨어를 통해 배터리 충전 정보 및 성능을 실시간으로 확인하고 엔진 제어 유닛과 연계하여 제어가 가능하도록 구성함.

## 제 7 장 연구시설·장비 현황

순번	개발 제품명	성과물	주요사항
1	Motor-Generator		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rated power : 7.377 kW</li> <li>- Rated speed : 2,300 rpm (max. 2,800 rpm)</li> <li>- Rated torque : 30.63 Nm</li> <li>- Elec. time constant : 32.88 ms</li> <li>- Mech. time constant : 45.12 ms</li> <li>- torque constant : 0.6126 Nm/A(rms)</li> <li>- Phase resistance : 0.0097 Ω</li> <li>- Phase inductance 0.3189 mH</li> </ul>
2	E-MCU (Inverter/converter)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Input DC voltage : 300 VDC (220~380 V)</li> <li>- Output power : 7 kW (continuous)</li> <li>- Output current : 70.7 peak /50 A RMS</li> <li>- AC output freq. : 280 Hz @ 12p</li> <li>- PWM freq. : 15 kHz</li> <li>- Ambient temperature : -10 ~ 55</li> <li>- Monitoring peak efficiency : 85%</li> </ul>
3	BMS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoring range <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cell voltage : -0.7~5.2V (±10mV)</li> <li>• Pack current : -100~100A (±100mA)</li> <li>• Cell temp. : -20~100°C (±3°C)</li> </ul> </li> <li>- Function <ul style="list-style-type: none"> <li>• Module over/under voltage protection</li> <li>• Pack over/under voltage protection</li> <li>• Charge over/under current protection</li> </ul> </li> </ul>
4	Battery		<ul style="list-style-type: none"> <li>- LiFePO4 (리튬인산철)</li> <li>- 3 kWh (300V, 10Ah)</li> <li>- 4 packs</li> </ul>
5	실내 성능시험 장치		<ul style="list-style-type: none"> <li>- AC dynamometer (rated : 200 kW)</li> <li>- Motor-Generator for torque assist</li> <li>- Inverter (converter) for Motor control</li> <li>- BMS for battery monitoring</li> <li>- Battery pack for power supply</li> <li>- 50 kW diesel tractor engine</li> <li>- Analyzer for voltage/current/power analysis</li> <li>- Fuel conditioning system for fuel consumption measurement</li> </ul>

순 번	개발 제품명	성과물	주요사양
6	Motor- Generator 2차 시작품		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rated power : 7.377 kW</li> <li>- Rated speed : 2,300 rpm (max. 2,800 rpm)</li> <li>- Rated torque : 30.63 Nm</li> <li>- Elec. time constant : 32.88 ms</li> <li>- Mech. time constant : 45.12 ms</li> <li>- torque constant : 0.6126 Nm/A(rms)</li> <li>- Phase resistance : 0.0097 Ω</li> <li>- Phase inductance 0.3189 mH</li> <li>- Stator, rotor 분리형</li> <li>- Sensorless 제어 방식</li> </ul>
7	E-MCU (Inverter/ converter) 2차 시작품		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Input DC voltage : 300 VDC (220~380 V)</li> <li>- Output power : 7 kW (continuous)</li> <li>- Output current : 70.7 peak /50 A RMS</li> <li>- AC output freq. : 280 Hz @ 12p</li> <li>- PWM freq. : 15 kHz</li> <li>- Ambient temperature : -10 ~ 55</li> <li>- Monitoring peak efficiency : 85%</li> <li>- IP등급 67, 냉각팬 설치</li> <li>- 링단자형 체결방식, 상위 방열판, 부피축소</li> </ul>
8	배터리팩 (일체형)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoring range <ul style="list-style-type: none"> <li>· Cell voltage : -0.7~5.2V (±10mV)</li> <li>· Pack current : -100~100A (±100mA)</li> <li>· Cell temp. : -20~100℃ (±3℃)</li> </ul> </li> <li>- Function <ul style="list-style-type: none"> <li>· Module over/under voltage protection</li> <li>· Pack over/under voltage protection</li> <li>· Charge over/under current protection</li> </ul> </li> <li>- BMS + 배터리 4개 일체형</li> <li>- 내부 밀폐, 방수, 방진</li> </ul>
9	하이브리드 트랙터		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최고속도 : 약 36 km/h</li> <li>- 최저속도 : 약 1.5 km/h</li> <li>- 견인력 : 최대 24,9 kN</li> <li>- PTO 출력 : 최대 64 kW (85 ps)</li> <li>- 연료절감율 : 최대 21% 절감</li> <li>- 전동기 효율 : 88%</li> </ul>

## 제 8 장 참고문헌

1. Andre, M. 2004. The ARTEMIS european driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of The Total Environment*, 334-335:78-84.
2. Chang, D. I., S. O. Chung, B. K. Cho, and N. H. Cho. 2010. Performance evaluation of a round baler attachable to medium agricultural tractors. *Journal of Agricultural Science*. 37(2): 309-314.
3. Choi C. H. and M. J. Nahmgung. 2000. Load measurement of tractor on field performance. *Proceeding of the KSAE 2000 Annual Conference*, pp. 29-34. (In Korean)
4. Choi, D. and S. Yi. 1999. Simulation of the powertrain for the parallel type hybrid electric vehicle. *KSAE*. pp. 742-747.
5. Choi, S. W., K. Z. Choi, and Y. H. Jeong. 2009. A study on required power of the paved road cutter. *Proceeding of KSPE 2009 Spring Conference* pp. 233-234. (In Korean)
6. Chung, N. H., W. T. Lee, M. H. Sunwoo, Y. J. Lee, and M. D. Eom. 2002. A study of driving pattern of city-bus in the city of Seoul. *Journal of Korea Society of Automotive Engineers*, 10(2): 55~65. (In Korean)
7. Dowling, N. E. 1972. Fatigue failure predictions for complicated stress-strain histories. *Journal of Materials* 7:71-87.
8. Fujii, Y. 2008. Recent trends in energy saving for development and use of agricultural machinery in Japan. *SIEMSTA 2008 International Symposium of KSAM, Energy Saving in the field of Agricultural Machinery Engineering*. pp. 3-38.
9. Gerlach, A. 1966. Field measurement of tractor transmission forces. *Transactions of the ASAE* 9(5):707-12.
10. Gonder, J., A. Simpson. 2006. Measuring and reporting fuel economy of plug-in hybrid electric vehicles. *EVS-22*
11. Han, K. H., K. U. Kim, and Y. G. Wu. 1999. Severeness of transmission loads of agricultural tractor for rotary operations in poorly drained paddy field. *Journal of Biosystems Engineering*. 24(4):293-300. (In Korean)
12. Hung W. T., H. Y. Tong, C. P. Lee, K. Ha., and L. Y. Pao. 2007. Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong.

Transportation Research Part D. 12(2):115-128.

13. Janulevičius, A., A. Juostas and G. Pupinis. 2013. Engine performance during tractor operational period. *Energy Conversion and Management*. 68:11-19
14. Kang, H. M., D. B. Jeong, M. J. Kim and M. K. Deok. 2013. Study of energy management strategy considering various working modes of plug-in hybrid electric tractor. *The Korean Society of Mechanical Engineers*. 37(2):181-186.
15. Kanezawa, Y., Y. Daisho and T. Kawaguchi. 2001. Increasing efficiency of construction machine by hybrid system. *Society of Automotive Engineers of Japan*. 100:17 - 20.
16. Karden E., S. Ploumen, B. Fricke, T. Miller, K. Snyder. 2007. Energy storage devices for future hybrid electric vehicles. *Journal of Power Sources*. 168:2-11.
17. Kim, D. C. 1998. Analysis of load spectrum of tractor drive line. Master's thesis, Seoul National University, Seoul, Korea. (In Korean)
18. Kim, D. J. 2004. Hydraulic engineering. Bookshill, Seoul, Korea. (In Korean)
19. Kim, H. G., D. j. Kim, C. B. Lee, J. H. Park, and J. T. Lee. 2010. The study for development of seoul city bus driving cycle. *Proceeding of the KSAE 2010 Annual Conference*, pp. 934-939. (In Korean)
20. Kim, J. H., K. U. Kim, and Y. G. Wu. 2000. Analysis of transmission load of agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*. 37(3):113-125.
21. Kim, S. C., and K. U. Kim. 2010. Rating agricultural tractors by fuel efficiency. *Journal of Biosystems Engineering*. 35(2):69-76. (In Korean)
22. Kim, S. C., K. U. Kim and D. C. Kim. 2009. Analysis of drawbar load acting on tractor engine at maximum drawbar power. *Journal of Biosystems Engineering*. 34(2):71-76. (In Korean)
23. Kim Y. J., D. H. Lee, S. O. Chung, S. J. Park, and C. H. Choi. 2011. Analysis of power requirement of agricultural tractor during baler operation. *Journal of Biosystems Engineering*, 36(4):243-251. (In Korean)
24. Kim, Y. J., S. O. Chung, S. J. Park, and C. H. Choi. 2011. Analysis of power requirement of agricultural tractor by major field operation. *Journal of Biosystems Engineering*. 36(2):79-88. (In Korean)
25. KNOC. 2010. Council for International Petrol Price Professionals. Korea National Oil Corporation, Anyang, Korea. (In Korean)
26. Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative (KAMICO) and Korean Society for

- Agricultural Machinery (KSAM). 2010. Agricultural Machinery Yearbook in Republic of Korea. Korean Society for Agricultural Machinery, Suwon, Korea. (In Korean)
27. Lee, Y. S, H. K. Choi, and H. Shida. 2006. Power consumption for double-stage paddle impeller cylindrical and spherical agitated vessels. *Journal of KSIA* 9(4):247-253. (In Korean)
  28. MIFAFF. 2007. Number of Agricultural Machinery. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea. (In Korean)
  29. Morteza M. G., P. Amir and G. Babak. 2006. Application of genetic algorithm for optimization of control strategy in parallel hybrid electric vehicles. *J Franklin Inst.* 343:420-435.
  30. Nahmgung, M. J. 2001. Load Analysis of Driving Axles and Life Evaluation of Driving Gear of PTO on Tractors. Ph.D. Dissertation, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. (In Korean)
  31. NIAE. 2001~2007. Agricultural machinery test report (Tractor). National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea. (In Korean)
  32. OECD. 2008. OECD standard code 2 for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. OECD, Paris, France.
  33. Park, S. H., Y. J. Kim, D. H. Im, C. K. Kim, S. C. Jung, H. J. Kim, J. S. Lee, and S. S. Kim. 2010. Characteristics of tractor PTO power and work loads. *Journal of Biosystems Engineering*, 35(1):15-20. (In Korean)
  34. Park, W. Y. and K. S. Lee. 2003. Prediction of bulk type trailer capacity in consideration of soil physical properties of paddy field. *Journal of Biosystems Engineering* 28(1):1-10. (In Korean)
  35. Pebrian D. E. and A. Yahya. 2010. Comparisons on engine power requirements of 6WD and 4WD prime movers for the oil palm plantation in Malaysia. *Journal of Terramechanics* 47:132-142.
  36. RDA. 2008. Symposium on the Energy Saving Technology and Diffusion for Low Carbon Green Growth. Rural Development Administration, Suwon, Korea. (In Korean)
  37. Ryu, K. H. 2004. Tractor Engineering Principles. Munundang, Seoul, Korea. (In Korean)
  38. Sim, K. J., W. Y. Cho, and Y. J. Lee. 2011. Development on test specification of reliability. *Proceeding of the KSAE 2011 Fall Conference* pp. 43-48. (In Korean)

39. Song, J. H., D. J. Kim, C. H. Lee, and C. B. Lee. 2010. The study of analytic methodologies for the driving cycle development of city bus. Proceeding of the KSAE 2010 Annual Conference. pp. 2-1182. (In Korean)
40. Sun, H., L. Yang, J. Jing and Y. Luo. 2011. Control strategy of hybrid/electric synergy system in heavy hybrid vehicles. *Energy Conversion and Management*. 52:668-674.
41. Tong J. and B. Z. Moayad. 2006. Effects of rake angle of chisel plough on soil cutting factors and power requirements: A computer simulation. *Soil and Tillage Research*. 88:55-64.
42. Woo, Y. M. and Y. J. Lee. 2010. Development of a chassis dynamometer test mode for heavy duty commercial vehicles. Proceeding of the KSAE 2010 Fall Conference. pp. 1005-1008. (In Korean)
43. Xiao Q., Q. Wang and Y. Zhang. 2008. Control strategies of power system in hybrid hydraulic excavator. *Automation in Construction*. 17(4):361-367.
44. Xuan, D. K., J. W. Kim and Y. B. Kim. 2011. Optimal operation strategy development for fuel cell hybrid vehicle. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 25(1):183-192.
45. Yoon, H. W. 2013. Development of working cycle for performance Evaluation of tractor field operations. Master's thesis. SungKyunKwan University, Suwon, Korea. (In Korean)

## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.