

# 전기트랙터의 다양한 작업 환경을 고려한 주행 시뮬레이션에 대한 연구

유일훈<sup>1</sup>, 김병우<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학과, <sup>2</sup>울산대학교 전기공학부

## A study of driving simulation considering the various working modes of electric tractor

Ilhoon Yoo<sup>1</sup> and Byeongwoo Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Electrical Engineering, University of Ulsan

<sup>2</sup>School of Electrical Engineering, University of Ulsan

**요 약** 본 논문은 ASM(Automotive Simulation Model)을 기반으로 한 전기 트랙터 구동 시스템의 모델링을 실시하였다. 실제 전기 트랙터를 개발하기 전에 트랙터 구동 시스템 요소 각각의 사양에 대한 정의는 필수적이다. 트랙터는 차량과 달리 주행과 작업을 동시에 수행하기 때문에 2개의 PMSM을 효율적으로 운용할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 Simulink를 기반으로 한 ASM과 Carsim을 활용하여 전기 트랙터 구동 시스템을 연구하였다. 전기 트랙터 구동시스템의 검증을 위해 시뮬레이션과 실차 테스트를 실시하여 각각에 대한 최대 출력, SOC, 주행가능거리, 최대속도를 측정 및 비교 하였다. 시뮬레이션 연구를 통해 트랙터 전반적인 동적 특성에 대한 선행 연구 기반을 마련하였으며 전기 구동 시스템에 대한 설계가이드라인을 제시할 수 있었다.

**Abstract** In this paper, we propose that a model based design for a electric tractor system by using ASM(Automotive Simulation Models). Before developing a realistic electric tractor, it is essential that defining the capacities of power sources and optimizing the parameters of electric tractor. In additionally, because the electric tractor must have not only driving function but also working function, two PMSM are used at electric tractor. ASM which is based on simulink and Carsim were used to design a electric system and powertrain of electric tractor. For verifying the electric tractor system, we compared the design parameters such as max power, state of charge, drive distance, velocity which were carried out by the simulation and experimental method. The predicted results by the development model were in good agreement with the simulation results. According to simulation of tractor, it is possible to arrange the advanced research of dynamical characteristic of tractor and present the guidelines for the electrical driving system.

**Key Words** : Automotive Simulation Models, Simulink, Electric tractor, Rotary, Loader, Trailing, Model based design

## 1. 서 론

[1]농촌 청·장년층의 감소와 노령화 현상과 같은 시대적 흐름에 따라 효율적이고 쾌적한 영농을 실현하기 위하여 농기계의 경량화, 고효율 구동장치 개발, 환경 위해

물질 배출 저감 등은 반드시 필요하다. 그중 농가에서 가장 많이 사용되는 농기구로서 운반뿐만 아니라 작업 기능을 갖춘 트랙터에 대한 연구를 수행 하였다. 트랙터는 자동차와 달리 주행부와 작업기 회전을 위한 PTO 출력 부로 분할되어 있다. 특히 부하변동이 극심한 트랙터의

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업과 울산대학교 학부 일류화 지원 사업의 일환으로 수행된 논문입니다.

\*Corresponding Author : Byeongwoo Kim(Univ. of Ulsan)

Tel: +82-10-3413-6018 email: bywokim@ulsan.ac.kr

Received July 24, 2013

Revised September 5, 2013

Accepted November 7, 2013

작업조건 특성상 순간 고출력 에너지가 필요하고 변동부하에 따른 제어특성이 용이한 구동 장치를 구성하여 작업능률을 극대화 할 시스템 개발이 필요하다.

기존 내연기관의 경우 기계기술이 차량의 동력 특성을 크게 좌우한다. 그러나 전기 동력 기반 차량의 경우 모터, 배터리, 인버터 등과 같은 전기전자 장치 특성의 영향을 많이 받는다. [3]즉, 전기 트랙터의 핵심 구성 부품에 대한 단품 최적화를 비롯한 각 구성 단품이 전기 트랙터의 시스템에 미치는 영향을 분석하여 전체적인 구동 시스템을 최적화 할 수 있다. 그러나 현재까지의 전기 트랙터 연구는 활발히 진행되고 있는 전기 자동차 구동시스템과는 달리 해석부품의 특성에 대한 해석보다는 경험을 통한 연구가 진행되었기 때문에 개발단계에서의 효율성이나 소요 기간이 오래 걸렸다. 따라서 본 연구에서는 차량의 전장 부품개발에 주로 적용되는 V-cycle 기반의 MBD 기법을 적용하였다. 특히 핵심 부품인 모터와 배터리는 전기트랙터의 가혹한 주행 및 작업 환경에 따라 전기적 성능이 급변하게 된다. 그러므로 전체 시스템의 안정화를 위해서는 이와 같은 핵심 부품에 대한 전기적 특성을 정량적으로 해석해야할 필요가 있다.

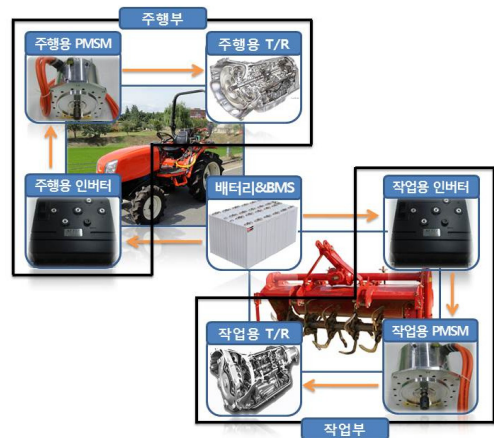
따라서 본 연구에서는 ASM을 활용하여 전기 트랙터 핵심 부품인 모터(PMSM)와 배터리, 모터제어기에 대한 로직을 모델링 하여 정량적 성능 평가와 설계 기준을 제시하고자 한다. 또한, Rotary(밭갈기), Mower(잔기깎기), Loader(적재), Trailing(견인)작업에 따른 구동부하에 대한 트랙터 모델 설계 가이드라인을 제시하고자 한다.

## 2. 전기 트랙터 시스템 설계

### 2.1 전기 트랙터 구성 및 목표 성능

전기 트랙터의 구성은 크게 주행부와 작업을 위한 PTO 출력부로 구분된다. 각각의 주행부와 PTO출력부가 에너지저장 시스템(배터리&BMS)과 통합제어기에 대해서는 하나의 모듈을 사용한다. 한편 나머지 모터와 변속기모듈, 인버터에 대해서는 주행부와 PTO출력부 각각의 모듈로 구성된다.

본 연구 대상인 전기 트랙터는 45마력급 4륜구동 내연기관 엔진의 트랙터를 기준으로 하여 전기 동력 시스템을 구성하였다. 충전 편의성을 높이기 위해 OBC를 적용하였고 효율적인 배터리 운용을 위한 BMS와 리튬 인산철 배터리팩으로 구성되어 있다. 구동 및 작업용 모터로는 고효율, 고역률 및 고출력 밀도 등의 장점으로 인하여 제어용 모터로써 사용이 증대되고 있는 PMSM을 적용하였다.



[Fig. 1] Electrical structure of tractor

본 연구에서는 35마력급 내연기관 트랙터와 유사한 성능을 발휘하는 전기 트랙터를 재구성하기 위해 Table 1 과 같이 내연기관 트랙터의 성능을 기준으로 설계 목표를 설정하였다. 설계 목표 달성 여부의 판단 기준을 설정하기 위해, 일반 아스팔트 도로와 경사로 각각의 코스에 대한 목표 속도를 설정하였다.

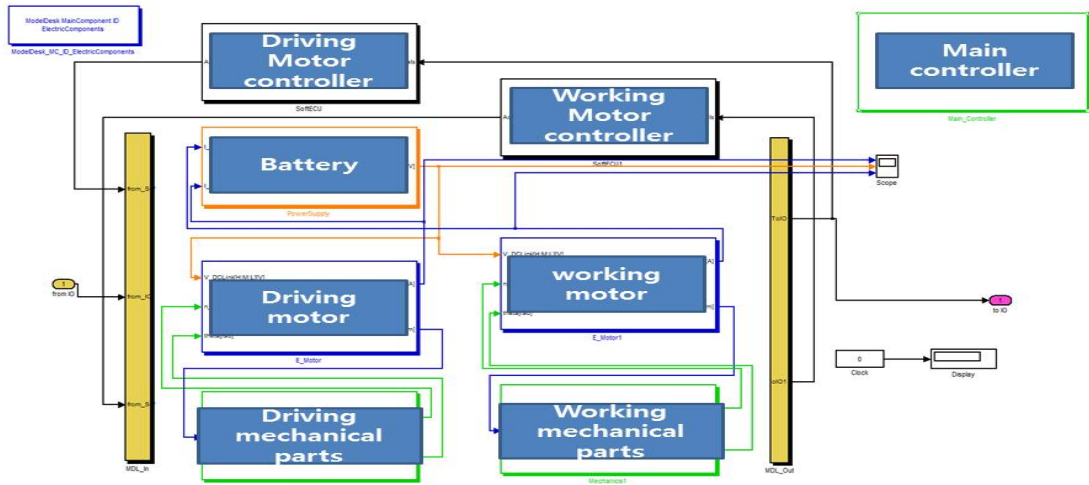
등판능력의 경우 국내 농지 작업 환경을 고려하여 최대 20%의 경사도에서 5km/h의 주행속도를 목표로 설정하였으며, Nominal voltage는 72V, 차량 무게는 운전자를 포함하여 1460kg으로 정하였다.

[Table 1] The specification of electric tractor

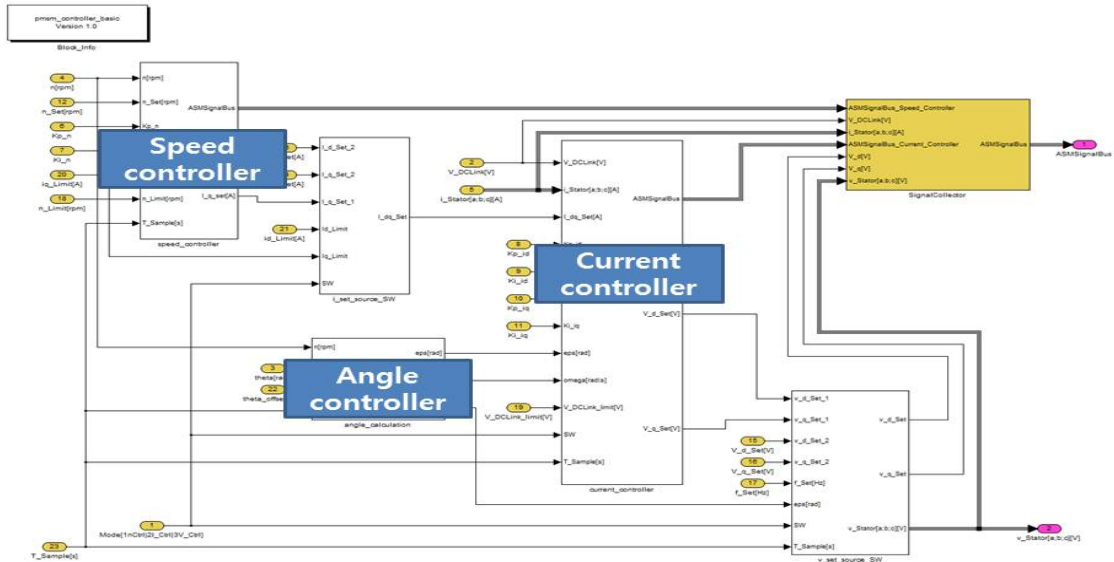
Parameter	Value	Unit
Maximum rating speed	20	km/h
Gradeability (Slope 20%)	5	km/h
Wheelbase	1682	mm
Maximum weight	1460	kg
Front wheel tread	1160	mm
Rear wheel tread	1180	mm
Nominal Voltage	72	V

### 2.2 전기 트랙터 시스템 모델링

본 연구에서는 전기 트랙터 핵심 구동 시스템을 모델링하기 위하여 dSPACE사의 ASM을 활용하였다. ASM이란 리얼 타임 시뮬레이션을 위한 자동차 어플리케이션으로 Simulink 기반의 소프트웨어이다. 트랙터 모델을 제공하는 CARSIM과의 리얼타임 연동과 HILS 구성 및 범용 ECU 구성이 용이하다. 또한, 이번 전기 트랙터와 같이 모터, 배터리, 인버터 등에 대해서 다양한 종류의 어플리케이션을 지원하기 때문에 본 연구에 적합하다.



[Fig. 2] Electrical components of electrical tractor



[Fig. 3] Logic of motor controller

연구 대상인 전기 트랙터의 주행부와 PTO 작업부를 구성하기 위하여 Fig. 2와 같이 전기 구동 시스템을 모델링 하였다. 본 논문에서는 실제 트랙터와 동일한 성능의 주행과 작업을 수행하기 위한 제어 로직, 모터와 배터리 모델링 및 검증을 중점적으로 다루었다.

모터 제어기 모델은 Fig. 3와 같이 크게 속도제어기와 전류제어기로 구성되어있다. 식 (1)은 구동 시스템의 마찰력, 토크 부하와 실질적으로 차량을 움직이는데 필요한 토크의 합으로써 모터에서 출력되어야 하는 토크이기도 하다. 이는 피드백 제어를 기초로 하는 시스템 특성상 필

요한 식이다. 모터는 전기에너지를 기계적 회전력으로 변환하는 장치이다. 이러한 모터의 토크는 축에 연결된 기계 시스템의 관성에 의한 필터링이 된 후 속도로 변환되고, 위치로 나타난다. 모터의 위치  $\theta$  는 모터의 속도  $w_m$  을 적분한 값이므로, 위치제어하기 위해서는 우선 모터의 속도를 제어해야 한다. 이러한 모터의 속도는 식 (2)로부터 전동기의 토크를 제어해야 제어가능하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 위치나 속도 제어기가 요구되는 시스템에서 궁극적으로 제어해야 할 대상은 전동기의 토크라고 할 수 있다.

$$T = J \frac{dw_m}{dt} + Bw_m + T_L \quad (1)$$

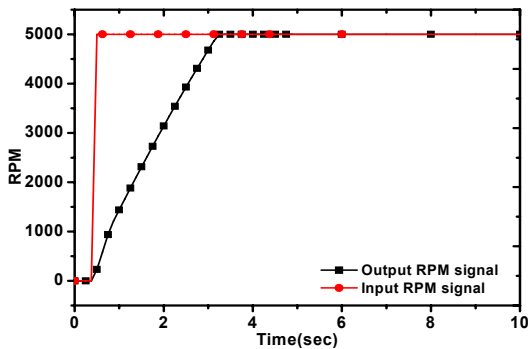
$T$ : Motor torque  
 $J$ : Total system moment  
 $W_n$ : Angular velocity of rotor  
 $B$ : Coefficient of friction

그러나 위치나 속도 제어를 위한 모터의 토크 자체를 직접 제어하는 것은 실용적으로 적용하기 어렵다. 그러나 식 (2)의 토크식 으로부터 알 수 있듯이 계자 자속이 일정한 경우 토크는 전기자 전류에 비례한다. 따라서 전기자 전류를 제어를 통해 토크를 제어할 수 있다. 결과적으로 속도제어를 위해서는 전류제어가 필수적이어야 한다.

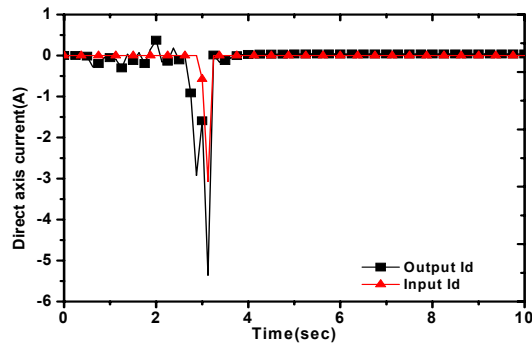
$$T = k_T \cdot \Phi_f \cdot i_a \quad (2)$$

$T$ : Motortorque  
 $\Phi_f$ : Magneticfield  
 $i_a$ : Armature current

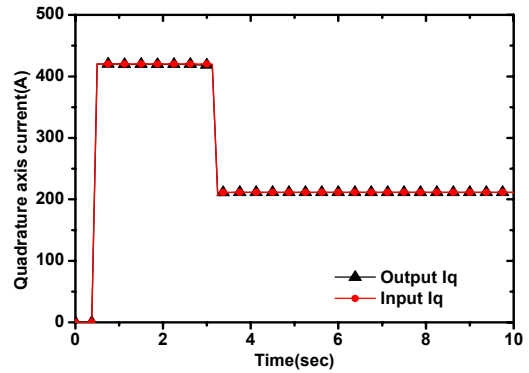
시뮬레이션 결과 속도제어기와 전류제어기는 Fig. 4,5,6과 같이 입력된 RPM과 Id, Iq값에 대해 안정적으로 출력값을 추종하였다.



[Fig. 4] Input & output rpm



[Fig. 5] Input & output Id



[Fig. 6] Input & output Iq

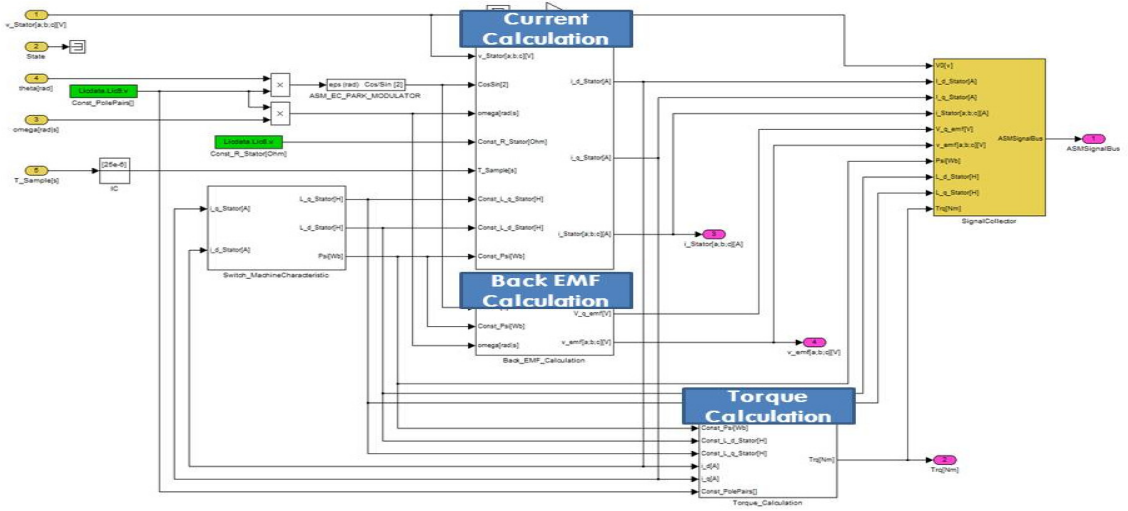
모터 모델은 Fig. 7 과 같이 크게 전류 계산 모델과 역기전력 계산 모델, 토크 계산 모델로 구성되어 있다. 전류 계산모델에서는 고정자 전압, 각속도, 고정자 저항, d축과 q축의 인덕턴스, 자속을 활용하여 d축과 q축의 전류를 계산한다. 역기전력은 회전자 각도와 각속도, 자속에 의해서 계산 된다. 차량을 구동하게 하는 토크는 식 (3)과 같이 자속과 d, q축의 인덕턴스, 전류에 의해서 계산된다. 주행 및 작업용 PMSM의 제원은 Table 2와 같다.

$$Trq = \frac{3}{2} p [\psi_p i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (3)$$

$L_d$ : Direct axis inductance  
 $L_q$ : Quadrature axis inductance  
 $R_s$ : Stator winding resistance  
 $\psi_p$ : Flux induced by the magnet  
 $P$ : Number of pole pairs

[Table 2] The specification of PMSM

Parameters	Unit	Driving motor	Working motor
Stator resistance	ohm	0.0008	0.0009
Number of pole pairs		4	4
Inductance in q axis	H	0.00005	0.00008
Inductance in d axis	H	0.00005	0.00008
Flux	Wb	0.012	0.015
Nominal motor current	A	220	266



[Fig. 7] Components of PMSM

배터리 모델은 ASM 라이브러리에서 제공하는 Multicell battery를 사용하였다. 배터리 모델은 단자전압을 계산하기 위한 단자전압 모델, SOC(State of charge)를 계산하기 위한 SOC model, 배터리 온도를 계산하기 위한 모델과 각 셀의 전압을 계산하기 위한 Delta 모델로 구성되어있다. SOC란 배터리의 가용 용량을 정량적으로 표현하기 위해 백분율로 나타내는 방법이다. 배터리 단자전압은 식 (4)을 통해서 계산된다. 배터리 단자전압 계산식에서  $V_{Loss}$ 는 식 (6)과 같이 온도에 따른 손실 전류, 배터리 내부저항, 인덕턴스, Double layer효과, 확산 효과에 따라 변화 한다. 그러나 본 논문에서는 SOC와  $I_{Bat}$ ,  $T_{Bat}$ 에 의한  $V_{Loss}$ 를 제외한 다른 손실 요인들은  $V_{Loss}$ 에 거의 영향을 미치지 않는다고 가정하고  $V_{Bat}$ 를 계산하였다.

$$V_{Bat} = V_{Bat,0} - V_{Loss} \quad (4)$$

$$V_{Bat,0} = n_{Cell} V_{Cell}(SOC) \quad (5)$$

$$V_{Loss} = \frac{1}{C_{DL}} \int (I_{Bat} - \frac{V_{CDL}}{R_{DL}}) + \frac{1}{C_{Diff}} \int (I_{Bat} - \frac{V_{CDiff}}{R_{Diff}}) + I_{Bat} R_{Bat}(SOC, I_{Bat}, T_{Bat}) + \frac{dI_{Bat}}{dt} L_{Bat} \quad (6)$$

- $V_{bat}$  : Battery terminal voltage
- $V_{bat,0}$  : Balanced voltage
- $V_{Loss}$  : Loss voltage
- $V_{Cell}$  : Cell voltage
- $n_{cell}$  : Nmber of battery cells
- $I_{Bat}$  : Battery current

Thermal model의 경우 식 (7)과 같이 열 발생과 열손실을 반영하여 온도를 계산 할 수 있다. 온도 증가는 배터리 고유 저항에 의한 내부적 열 발생과 배터리의 화학적 반응, 전지의 충 방전 시 발생하는 가스가 주요원인이다. 반면 배터리 외부로 방출되는 복사열에 의한 냉각효과를 감안하여  $P_w$ 을 계산하였다.

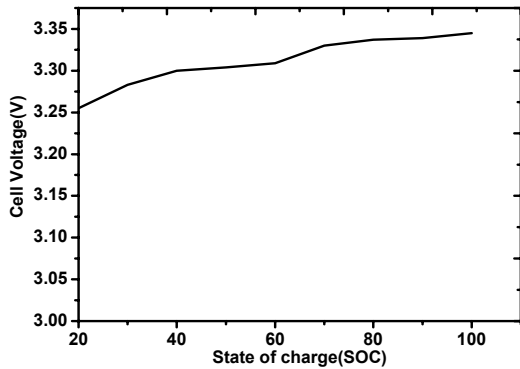
$$T_{Bat} = T_{Bat,0} + \frac{1}{c_{Bat} m_{Bat}} \int P_w dt \quad (7)$$

- $T_{bat,0}$  : Initial battery temperature
- $C_{bat}$  : Heat capacity
- $m_{bat}$  : Battery mass
- $P_w$  : Heat power

SOC 계산 로직은 Thermal model에서 계산된 손실 전류와 배터리의 충 방전 전류에 의해서 계산된다. 배터리 전류와 손실 전류의 차가 양수이면 충전중임을 의미하고 음수이면 방전중임을 의미한다. SOC를 산출 하는 식은 식 (8)과 같다.

$$SOC = SOC_0 + \frac{1}{K_N} \int (I_{Terminal} - I_{Loss}) dt \quad (8)$$

본 연구에 사용된 배터리는 리튬 인산철 배터리로써 단위 셀 전압이 최대 3.4V에서 최소 2.9V의 특성을 갖도록 설계하였다. 팩 구성은 24개의 셀을 직렬로 연결 하였다. Fig.8는 SOC에 따른 단위 셀의 전압 변화를 나타낸 것이다. 리튬 이온 배터리의 경우 20% 이하로의 과도한 방전은 셀의 수명에 악영향을 미치기 때문에 SOC가 20%에 해당하는 3.255V로 사용 전압범위를 제한하였다. 35마력급 소형 트랙터로 농가에서 하루 평균 사용하는 시간은 약 1시간이며 평균 주행 속도는 12.9km/h이다. 12.9km/h로의 정속 주행과 동시에 작업용 모터를 구동하는 경우 평균 소비 전류는 100A이기 때문에 배터리 SOC가 100%에서 20%까지 떨어지는 방전 특성과 출력을 고려하여 배터리 용량은 180Ah로 설정하였다.



[Fig. 8] Cell voltage according to the SOC

### 3. 주행 및 작업 모드별 시뮬레이션

앞에서와 같이 모델링을 완료한 후 모델 검증을 위해 최대 속도 측정 및 15km/h 정속 주행 시 단순 1충전 주행 거리 측정 테스트에 대한 시뮬레이션과 실차 테스트 결과를 비교하였다. 최대 속도는 고속 모드에서 측정 하였다. 또한 작업 모드별 전기 트랙터 가동 시뮬레이션과 실차 테스트 결과를 비교하였다. 모든 테스트에서 배터리 보호를 위해 최소 충전 상태인 20% 잔량에서는 강제적으로 시스템 구동을 정지하였다. 한편 모든 차량의 주행에서는 주행부하에 의해 동력 손실이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 전기 트랙터가 동일 출력의 내연기관 트랙터와 유사한 성능이 가능한지를 검증하기 위해서 주행부와 작업부 모터가 동적 부하로 인해 정지하지 않고 원활한 주행 및 작업이 가능한지를 분석하였다. 첫 번째로 주행부 모터에 대한 동적 부하를 해석하였다. 고속주행과 저속주행에서 요구되는 출력과 속도를 만족하기 위하여

전, 후륜 차동기어와 트랜스미션의 기어비를 선정하였다. 주행 결과, 15km/h로의 평지 주행과 5km/h의 속도로 20%경사로 주행을 만족하기 위하여 모터가 평지와 경사로에서 각각 3700rpm과 2500rpm으로 구동하였다. 동적 부하에 대한 구동 출력은 식 (9)를 활용하여 구한 구름 저항 부하와, 식 (10)을 이용하여 구한 경사로 저항 부하의 합보다 커야한다.

$$P_{load} = f_r \cdot W \tag{9}$$

$$R_{load} = W \cdot \sin\theta \tag{10}$$

$P_{load}$  : Rolling resistance

$R_{load}$  : Slope resistance

$f_r$  : Rolling resistance constant

$W$  : Weight of vehicle

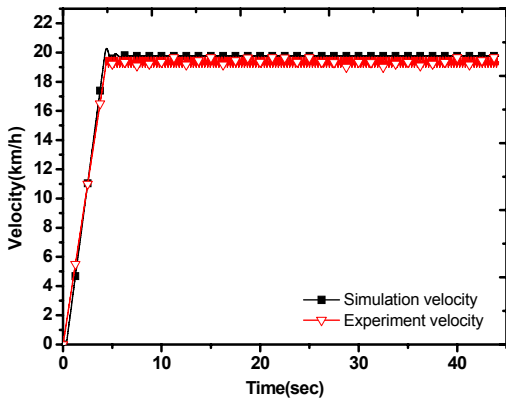
$\theta$  : degree of a slope way

전기 트랙터에 사용된 모터의 출력은 16kW로써 단순 평지 주행 시 주행 부하가 5.97kW이며 20% 등판 주행 시 5.55kW로 모터의 출력성능보다 작기 때문에 설계 기준을 만족하였다.

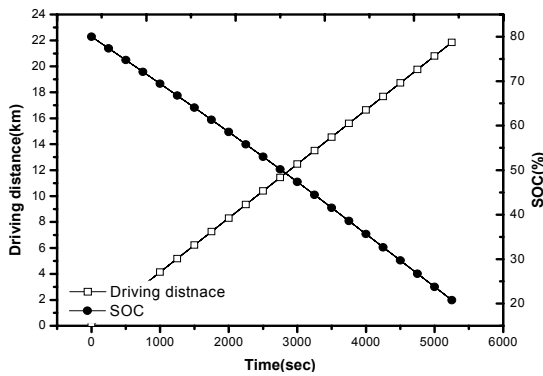
[Table 3] Total road loads & required motor power

	Driving of flat road	Driving of slope road
Motor rpm	3750	2500
Gear ratio	100 : 1	140 : 1
Rolling resistance	0.1	0.1
Slope degree	•	11.1 °
Power for flat road(kW)	5.97	1.95
Power for slope road(kW)	•	3.6
Total power (kW)	5.97	5.55
Motor power (kW)	16	
Conclusion	OK	OK

그 결과 고속 모드에서 측정된 최대 속도는 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 19.77km/h로 실제 전기 트랙터의 최고 속도인 20km/h와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 실차 테스트의 경우 트랙터의 주행 속도는 GPS를 통해서 측정하였다. 주행 가능 거리는 15km/h 정속 주행으로 초기 배터리 SOC가 80%에서 20%까지 감소하는 범위의 이동 거리를 측정하였다. 이때 배터리에서 출력되는 방전 전류는 120A로 총 주행 거리는 20.1km이다. 시뮬레이션도 실제 전기트랙터의 주행과 동일한 환경에서 수행하였으며 Fig. 10과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 주행결과 주행거리는 22.8km로 실차 테스트와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

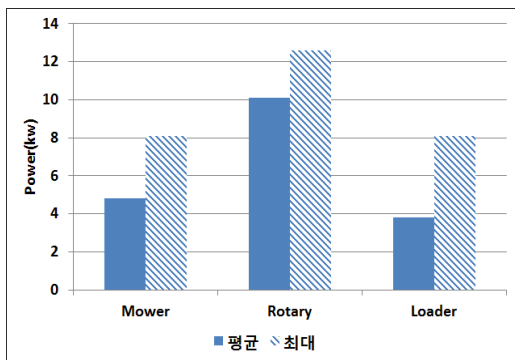


[Fig. 9] Maximum velocity of tractor simulation & experiment

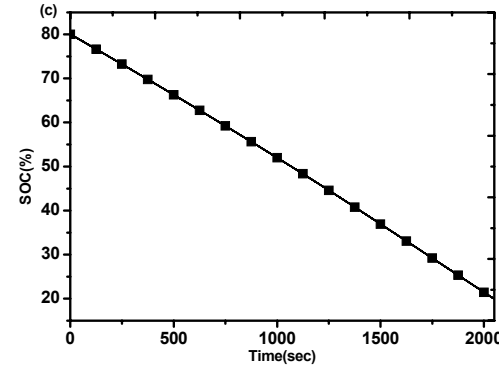
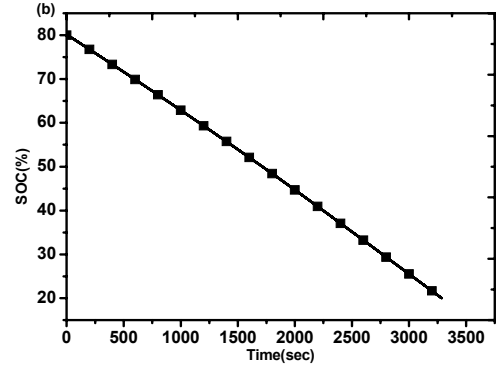
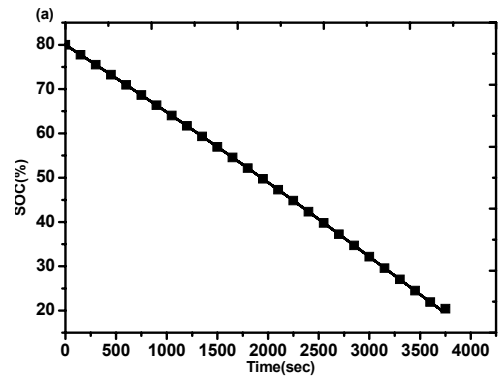


[Fig. 10] Maximum driving distance and SOC in 15km/h

두 번째로 작업용 모터에 대한 동적 부하를 실험 하였다. 작업 모터를 직접적으로 활용하는 Mower 작업과 Rotary 작업, Loader 작업에 대해서 모델링을 실시하였다. 본 연구에서 목표로 잡고 있는 35마력급 전기 트랙터 각각의 작업 모드에 따른 출력은 Fig. 11와 같다.



[Fig. 11] The character of working modes



[Fig. 12] SOC tendency at each driving mode.  
(a) Loader (b) Mower (c) Rotary

[Table 4] Maximum time for each working mode

Loader	Mower	Rotary
63.03 min	54.77 min	34.1min

분석 결과 현재 전기 트랙터에 장착된 20kW급 작업용 PMSM으로 충분한 작업이 가능하다는 것을 예측 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 전기 트랙터에 장착된 모터로 충분한 작업 시간의 확보가능여부를 검증하기 위하여 모델링 및 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 환경은 저속모드를 사용하며 평균 속도 5km/h로 정속 주행하는

것으로 가정하였다. Loader 작업과 Mower 작업은 SOC가 80%에서 20%로 감소하는 시간이 Table 4와 같이 소형 경작지 작업에는 지장이 없을 정도 적합한 구동시간을 가졌다. 그러나 Rotary작업과 같은 동적부하가 큰 작업에서는 원활한 작업을 수행하기에 가용 구동시간이 부족하였다. Rotary 작업을 지속적으로 수행하기 위해서는 작업 사이의 휴식 시간을 통한 충전시간을 확보하거나 다른 효율적인 방법으로 작업을 진행해야 할 것이다.

결과적으로 Loader작업과 Mower작업을 제외한 Rotary작업에서는 현재의 발전계 용량으로는 부족하기 때문에 배터리 용량을 늘리거나 기존의 순수 전기 구동 방식이 아닌 하이브리드 방식의 트랙터의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 ASM을 활용한 전기 트랙터의 주행부와 PTO 작업부에 대한 주요 핵심 구동부의 모델링을 제안하였다. 전기 트랙터 모델의 신뢰성을 높이기 위해 시뮬레이션 결과 값과 실차테스트 결과 값을 비교하였다. 전기 트랙터 모델 설계 시 MBD 기법을 활용하여 제어 로직 수정 및 구성 부품의 사양변경에 따른 트랙터 전체 구동 능력의 변화를 쉽게 확인 할 수 있어 전기 트랙터의 개발기간 단축 및 모델 재사용성을 확인할 수 있었다.

[Table 5] Electric tractor simulation results

항목	목표	결과
최대 속도	20km/h	19.77km/h
주행 거리	20km	21km
작업 시간	Loader	60min
	Mower	60min
	Rotary	45min

기존의 35마력 내연기관 트랙터의 동력특성을 기준으로 국내 농경지 환경을 고려한 전기 트랙터 핵심 부품 모델의 설계 가이드라인을 다음과 같이 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 결과 최대 속도 20km/h, 15km/h 정속주행으로 1충전 주행 거리 22km로 실제 주행테스트 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, 실제 테스트 주행 시 경사각인 20%를 등판 주행하기에 16kW의 정격 모터 출력이 적합함을 확인하였다.

TPO 작업부의 경우에는 Loader작업과 Mower 작업 시 발생하는 요구출력을 반영한 작업 모터의 운용과 함께, 5km/h로 정속 주행하여 실제 트랙터 테스트와 유사한 결과를 얻었다. 그러나 Rotary 작업의 경우 과도한 요구출

력으로 인해 실제 작업을 수행하기에는 가용 시간이 부족하여 해결 방안이 필요하다는 결론을 얻었다.

본 연구에서는 ASM을 활용한 전기 트랙터 핵심 부품 모델 검증과 정량적 설계 가이드라인을 제시 할 수 있었으며 향후, 연구에서는 트랙터 모델의 정확도를 높여 갈 것이며 기존의 전기트랙터의 효율 향상을 위한 제어적 측면의 로직 구성에 대한 연구를 진행하고자 한다.

#### References

- [1] H. M. Kang, D. B. Jung, M. J. Kim and K. D. Min, A Study of Energy management strategy considering various working modes for a plug-in hybrid electric tractor, KSME , pp. 82~84, 2012  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2013.37.2.181>
- [2] P. Andrea, B. beth, C. Robert, T. Pinak, R. Giorgio, G. Yann and M. M. Shawn, Application of model-based design techniques for the control development and optimization of a hybrid-electric vehicle, In Society of automotive engineers proceedings, 2009  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2009-01-0143>
- [3] Y. S. Kim, S. H. Lee, J. H. Jo, J. P. Hong, and S. J. kwon, Development of electric-drive-tractor motor controller, Korea Institute of Electrical Engineering, pp.18-20, 2012.
- [4] D. G. Thomas, Fundamentals of vehicle dynamics, SAE, US, p.112, 2002.
- [5] ASM electric components reference manual, pp.35~42, 51~57, 2010

유 일 훈(II-Hoon Yoo)

[준회원]



- 2012년 2월 : 울산대학교 기계자 동차 공학부 졸업 (학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 석사 과정

<관심분야>  
전자제어



김 병 우(Byeong-Woo Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 졸업 (석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 (박사)
- 1989년 4월 : 일본 KOSAKA연구소 초빙 연구원
- 1994년 1월 ~ 2006년 2월 : 자동차부품연구원 전장기술연구센터장

- 2006년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 부교수

<관심분야>

자동차 전자제어, 지능형 자동차, 친환경 자동차