

전기 트랙터 듀얼 모터 파워트레인 내구 해석 연구 A Study on Durability Analysis of Dual-motor Powertrain for Electric Tractor

백승민^{1,2} · 백승윤^{1,2} · 전현호³ · 박민종³ · 박종대³ · 양철우² · 박민재² · 김용주^{1,2,3*}

Seung Min Baek, Seung Yun Baek, Hyeon Ho Jeon, Min Jong Park,
Jong Dae Park, Cheol Woo Yang, Min Jae Park and Yong Joo Kim

Received: 17 Nov. 2024, Accepted: 25 Nov. 2024

Key Words : Electric tractor(전기 트랙터), Dual-motor(듀얼 모터), Powertrain(파워트레인), 내구 해석(Durability analysis)

Abstract: This study conducted design and durability verification for the development of a dual-motor and planetary gear-type powertrain for electric tractors. Using commercial software, an analysis was performed to determine whether main components of the powertrain, namely gears and bearings, met target lifespan based on agricultural workload. The electric tractor was configured as a dual-motor type with a rated output of 55 kW, consisting of a 55 kW PTO motor and a 20 kW traction motor, with the powertrain being a compound planetary gear type. The powertrain structure allows for the combination and separation of PTO and traction power depending on the operating mode, with an ability to set high-load power coupling mode and PTO power separation mode based on operation of the clutch and brake located in front of the first planetary gear set's ring gear. A powertrain analysis model was constructed to match the designed layout and a duty cycle was established using representative agricultural workload data. Gear analysis results indicated that the safety factor of the spiral bevel gear was 1.54, which was relatively weak. However, all gear pairs satisfied the target safety factor. The bearing analysis showed that damage to the needle bearing of the PGS1 shaft was 33.4%, which was also relatively weak, although all bearings met the target lifespan. Based on results of this study, the development of an electric tractor dual-motor type powertrain will proceed. Future dynamometer test will be conducted to improve and optimize the simulation model.

기호 설명

S_F : Safety factor for bending stress

σ_{FG} : Tooth root stress limit, MPa

σ_F : Tooth root stress, MPa

S_H : Safety factor for contact stress

σ_{HG} : Pitting stress limit, MPa

σ_H : Contact stress, MPa

L_{10} : Life for bearing, h

C_r : Basic dynamic load, N

P_{eq} : Equivalent dynamic load, N

p : Fatigue damage index for bearings

* Corresponding author: babina@cnu.ac.kr

1 Eco-friendly Hydrogen Electric Tractor & Agricultural Machinery Institute, Chungnam National University, Daejeon, Korea

2 Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

3 Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Copyright © 2024, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

온실가스로 인한 지속적인 기후 변화에 따라 탄소 중립을 실현하기 위해 친환경 기술이 개발 중이다.¹⁻³⁾ 농업기계 분야에서도 전동화에 관한 연구 개발이 활발하게 수행되고 있으며, John Deere, Kubota 등 해외 선진사는 소형 마력을 대상으로 전기 트랙터를 상용화한 사례가 있다.⁴⁻⁵⁾ 전기 트랙터는 디젤 엔진을 대체하여 배터리, 모터, 인버터 등 전기구동 시스템을 동력원으로 차축과 PTO에 동력을 전달하도록 구성되어 있다. 전기 트랙터에 적용되는 모터의 개수에 따라 가격 및 성능이 결정되기 때문에 동력전달 시스템을 효율적으로 구성하는 것은 매우 중요하며, 이에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다.⁶⁻⁷⁾

Kim and Park (2012)는 전기 트랙터 파워트레인 설계를 위해 농작업 부하를 이용하여 모터 정격 운전 영역에서 작동할 수 있도록 감속비를 분석하였다.⁸⁾ Baek et al (2022)는 44 kW급 전기 트랙터의 성능 평가를 위해 상용 소프트웨어를 이용하여 설계한 동력전달 시스템 검증을 수행하였다.⁹⁾ An et al (2023)는 듀얼 모터 타입 전기구동 트랙터의 파워트레인 동력 특성 분석을 수행하였다.¹⁰⁾

현재 상용화된 전기 트랙터 파워트레인은 Single motor, Dual-motor, Multi-motor 타입 등 다양한 타입으로 개발되고 있으며, 전기 트랙터 동력전달 시스템은 차축, PTO, 유압 펌프 연결에 따라 다양하게 구성될 수 있다.¹¹⁻¹³⁾ 전기 트랙터는 기존 내연기관 플랫폼 활용이 불가하여, 프레임 타입으로 개발되는 추세이며 배터리 공간 확보 및 레이아웃 배치가 중요하다. 듀얼 모터 타입 및 유성기어 타입은 공간 확보의 이점이 있으며, 작업 모드에 따라 적절하게 모터 출력을 분배할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 상용 소프트웨어를 이용하여 전기 트랙터 듀얼 모터 파워트레인 구조에 대해 내구 해석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 전기 트랙터

Fig. 1은 본 연구에서 개발된 55 kW급 전기 트랙터 레이아웃을 나타낸다. 개발 목표 사양은 동일 출력 내연 기관 트랙터를 기준으로 설정하였다. 전기

트랙터는 모터 구동 시스템, 배터리 시스템, 열관리 시스템, 통합 제어시스템 등으로 구성되며, 듀얼 모터 및 유성기어 타입 파워트레인이 탑재되어 있다. PTO 모터는 사양은 정격 출력 기준 55 kW (240 Nm @2,200 rpm), Traction 모터는 20 kW (87 Nm @2,200 rpm)이며, 최대 출력은 55 kW까지 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 배터리는 80 kWh 리튬이온이 탑재되며, 연속작업은 4시간이 가능하도록 설계되었으며 세부 제원은 Table 1과 같다.

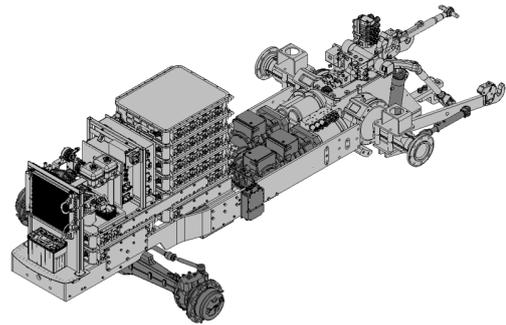


Fig. 1 Lay-out of a 55 kW electric tractor used in this study

Table 1 Specification of a 55 kW electric tractor used in this study

Item		Specification
Length × width × height (mm)		3,900 × 1,900 × 2,780
Weight (kgf)		3,800
Motor	PTO (kW)	55 kW (240 Nm @2,200 rpm)
	Traction (kW)	20 kW (87 Nm @2,200 rpm)
Battery (kWh)		80 (Li-ion)
Transmission		Compound planetary geartrain
Hydraulic	Main pump (cc/rev)	16
	Sub pump (cc/rev)	9
Tire	Front	11.2-24
	Rear	16.9-30

Fig. 2는 전기 트랙터 동력전달 시스템 레이아웃을 나타낸다. 파워트레인은 복합 유성기어(CPGT, compound planetary geartrain) 타입으로 두 개의 유성기어 세트(PGS, planetary gear set)로 구성되어 있다. 모터 동력은 복합 유성기어, 드랍기어, 베벨기어, 최종감속기어 순서로 전달되며, 첫 번째 유성기어 앞단의 클러치, 브레이크 체결 여부에 따라 작업 모드

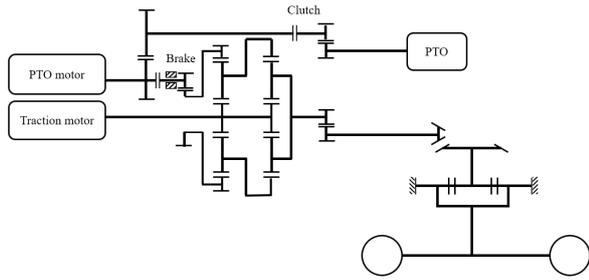


Fig. 2 Lay-out of the power transmission system for a 55 kW electric tractor

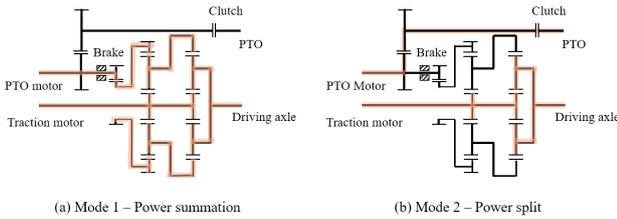


Fig. 3 Working mode of the power transmission system for a 55 kW electric tractor

가 결정된다. 동력 결합 모드 시 PTO 모터 동력은 복합 유성기어의 첫 번째 유성기어 세트 링기어로 전달되어 Traction 모터 동력과 결합된다.

Fig. 3은 동력전달 시스템 작업 모드를 나타내며, 작업 모드는 동력 결합과 분배 모드로 구성된다. 동력 결합 모드는 쟁기, 견인, 고속 주행 작업 등의 고 부하 작업 시 사용되고 PTO 모터와 Traction 모터의 동력이 결합되어 차축으로 전달된다. 동력 분배 모드는 로타리 작업 등 PTO 작업 시 사용되며 PTO 모터와 Traction 모터 동력이 각각 PTO와 차축으로 전달된다.

2.2 파워트레인 해석 모델

Fig. 4는 전기 트랙터 파워트레인 해석 모델을 나타낸다. 파워트레인 모델은 설계 사양과 동일하게 두 개의 유성기어 세트에 구성되며, 유성기어 세트는 각각 선기어, 링기어, 유성기어로 구성된다. 기어 설계 소프트웨어인 Romax DT (2024.1, Hexagon, UK)를 이용하여 파워트레인 모델링을 수행하였으며, 동력 결합 및 분기 모드 구현을 위한 Power flow를 반영하였다. Power input은 4WD 축에 위치하며 PGS2 Carrier로 연결된다. Power output은 PGS1 Ring gear (PTO 모터), PGS1 Sun gear (Traction 모터)로 구성하였다.

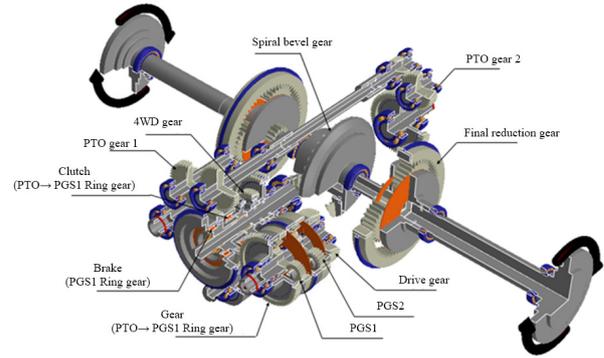


Fig. 4 Simulation model of powertrain for electric tractor used in this study

2.3 파워트레인 해석 조건

Table 2는 시뮬레이션 해석 Duty cycle을 나타낸다. 입력 부하는 내연기관 동일 마력 트랙터 농작업 계측 데이터 기반 쟁기 경운 작업, 로타리 경운 작업, 주행 작업 등 3가지 작업 조건으로 구성하였다. 계측된 부하 데이터를 레벨 분포 카운팅(LDC, level distribution counting)을 이용하여 하중 지속 분포(LDD, load duration distribution) 데이터로 변환하여

Table 2 Simulation condition for a powertrain of the 55 kW electric tractor used in this study

Load Case	Operation	Torque (Nm)	Speed (rpm)	Frequency (%)	Duration (h)
1	Plow tillage	38.0	151.0	4.16%	113.8
2		150.4	531.2	1.56%	42.7
3		239.6	521.9	1.08%	29.5
4		341.0	565.0	5.80%	158.7
5		418.8	563.5	13.56%	371.0
6		496.8	560.6	10.28%	281.3
7		581.7	545.9	2.76%	75.5
8		665.0	548.8	0.80%	21.9
9	Rotary tillage	69.8	121.0	2.88%	78.8
10		99.3	249.3	18.04%	493.6
11		122.2	248.7	12.20%	333.8
12		151.7	248.9	4.20%	114.9
13		180.1	240.0	1.28%	35.0
14		210.9	224.6	0.80%	21.9
15		237.7	221.4	0.60%	16.4
16	257.9	226.1	0.04%	1.1	
17	Driving operation	38.6	2304.6	12.12%	331.6
18		57.7	2177	5.68%	155.4
19		111.3	1850.4	0.64%	17.5
20		153.3	1897	0.66%	18.1
21		192.8	1145.6	0.32%	8.8
22		242.8	512.2	0.32%	8.8
23		270.7	388.4	0.18%	4.9
24		316.2	462.7	0.04%	1.1
Sum				100.0%	2736.0

입력 조건으로 활용하였다. 중형 트랙터 연간 사용 시간 (342시간) 및 내구연한 (8년)을 고려하여 2,736 시간의 Duty cycle을 구성하였다. 작업 및 주행은 8:2로 분배하였으며 작업은 쟁기 및 로타리 작업은 5:5로 분배하였다. 결과적으로 쟁기, 로타리, 주행 작업의 비율은 4:4:2로 분배하였으며, 각각 1,094.4시간, 1,094.4시간, 547.2시간으로 설정하였다.

2.4 파워트레인 내구 평가

전기 트랙터 파워트레인 해석 모델을 이용하여 주요 부품인 기어 및 베어링을 대상으로 내구 해석을 수행하였다.

스퍼 및 헬리컬 기어의 안전율은 ISO 6336 규격을 활용하였으며, 스파이럴 베벨 기어의 안전율은 ISO 10300 규격을 활용하여 계산하였으며 관련 수식은 (1) 및 (2)와 같다.

$$S_F = \frac{\sigma_{FG}}{\sigma_F} \tag{1}$$

$$S_H = \frac{\sigma_{HG}}{\sigma_H} \tag{2}$$

여기서, S_F 는 기어 이뿌리의 굽힘 안전율, σ_{FG} 는 이뿌리 응력 한도, σ_F 는 이뿌리 응력, S_H 는 기어 치면의 접촉 안전율, σ_{HG} 는 접촉 응력 한도, σ_H 는 접촉 응력을 나타낸다.

베어링의 수명은 ISO 281 규격을 활용하여 손상된 데미지를 계산하였으며 관련 수식은 (3)과 같다.

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_{eq}} \right)^p \tag{3}$$

여기서, L_{10} 는 베어링 기본 정격 수명, C_r 는 베어링에 작용하는 동적 부하 용량, P_{eq} 는 베어링에 작용하는 동적 등가 하중, p 는 베어링의 피로손상지수를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기어 해석 결과

Table 3은 파워트레인 기어 접촉 및 굽힘 안전율을 나타낸다. PGS1 Sun, Planet, Ring gear의 접촉 안전율은 각각 1.968, 1.934, 2.733으로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 8.173, 4.549, 7.156으로 나타났다. PGS2 Sun, Planet, Ring gear의 접촉 안전율은 각각 2.242, 2.131, 3.109으로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 9.610, 6.437, 12.304로 나타났다. Drop 구동 및 피동 기어의 접촉 안전율은 각각 2.349, 2.410으로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 3.956, 2.513으로 나타났다. Spiral bevel 구동 및 기어의 접촉 안전율은 1.545, 1.713으로 나타났으며, 굽힘 안전율은 2.476, 2.495로 나타났다. 최종 감속 Sun, Planet, Ring gear의 접촉 안전율은 각각 1.564, 1.765, 3.291로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 5.344, 3.569, 6.341로 나타났다. PTO input 및 output의 각 기어쌍에는 부하가 작용하지 않는 것으로 나타났다. PTO 1의 구동 및 피동 기어의 접촉 안전율은 각각 4.924, 4.844로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 22.852, 10.433으로 나타났다. PTO 2의 구동 및 피동 기어의 접촉 안전율은 3.853, 3.859로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 10.833, 9.045로 나타났다. 4WD 구동 및 피동 기어의 접촉 안전율은 각각 2.273, 2.307로 나타났으며, 굽힘 안전율은 각각 3.619, 3.607로 나타났다.

이에 따라, 파워트레인 모든 기어쌍에서 접촉 및

Table 3 Results of the gear for a 55 kW electric tractor powertrain

Item		Gear												
		PGS1			PGS2			Drop		Spiral bevel		Final reduction		
		Sun	Planet	Ring	Sun	Planet	Ring	Drive	Driven	Drive	Driven	Sun	Planet	Ring
Safety factor	Contact	1.968	1.934	2.733	2.242	2.131	3.109	2.349	2.410	1.545	1.713	1.564	1.765	3.291
	Bending	8.173	4.549	7.156	9.610	6.437	12.304	3.956	2.513	2.476	2.495	5.344	3.569	6.341
-		PTO input			PTO output			PTO 1		PTO 2		4WD		
		Drive	Idle	Driven	Drive	Idle	Driven	Drive	Driven	Drive	Driven	Drive	Driven	
Safety factor	Contact	-	-	-	-	-	-	4.924	4.844	3.853	3.859	2.273	2.307	
	Bending	-	-	-	-	-	-	22.852	10.433	10.833	9.045	3.619	3.607	

굽힘 강도에 대한 목표 안전율을 확보한 것으로 판단된다.

3.2 베어링 해석 결과

Table 4는 파워트레인 베어링의 동하중, 정하중 및 데미지를 나타낸다. 구동부 입력축의 No. 1, 2 베어링은 각각 1.7%, 29.0% 손상된 것으로 나타났다. PGS1 축의 No. 3, 4, 5 베어링은 각각 2.7%, 31.4%, 33.4% 손상된 것으로 나타났다. PGS2 축의 No. 6, 7, 8, 9 베어링은 각각 12.5%, 9.1%, 6.1%, 12.9% 손상된 것으로 나타났다. 구동부 출력축의 No. 12, 13, 17, 18은 각각 0.9%, 3.5%, 0.5%, 13.3% 손상된 것으로 나타났다. Differential 축의 No. 19 베어링은 1.6%

손상된 것으로 나타났다. 최종감속축의 No. 21 베어링은 1.1% 손상된 것으로 나타났다. 4WD 축의 No. 24, 26 베어링은 각각 0.3%, 1.2% 손상된 것으로 나타났다. PTO 입력 및 출력축, 이외의 베어링은 모두 무한 수명으로 나타났다.

이에 따라, 파워트레인 모든 베어링에서 목표 수명을 확보한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 전기 트랙터 듀얼 모터 및 유성기어 타입 파워트레인 개발을 위해 설계 및 내구성 검증을 수행하였다. 상용 소프트웨어를 이용하여 설계된 파

Table 4 Results of the bearing for a 55 kW electric tractor powertrain

No.	Shaft	Type	No.	Dynamic load (kgf)	Static load (kgf)	Damage (%)
1	Driving Input shaft	Ball bearing	6209	3,365	2,070	1.7
2		Ball bearing	6307	3,620	1,957	29
3	PGS1	Ball bearing	6009	2,161	1,468	2.7
4		Ball bearing	6009	2,161	1,468	31.4
5		Needle bearing	K20 × 26 × 20	2,049	2,957	33.4
6	PGS2	Ball bearing	6009	2,161	1,468	12.5
7		Needle bearing	K20 × 28 × 25	2,977	3,976	9.1
8		Ball bearing	6208	3,161	1,815	6.1
9		Ball bearing	6208	3,161	1,815	12.9
10	Driving output shaft	Needle bearing	K35 × 40 × 25	2,865	6,118	-
11		Thrust Needle bearing	AXK3552	1,692	8,463	-
12		Needle bearing	K35 × 40 × 17	2,019	3,976	0.9
13		Needle bearing	K35 × 40 × 17	2,019	3,976	3.5
14		Thrust Needle bearing	AXK4060	2,549	11,624	-
15		Needle bearing	K40 × 45 × 27	3,201	7,494	-
16		Thrust Needle bearing	AXK4060	2,549	11,624	-
17		Taper bearing	32011	10,136	11,828	0.5
18	Taper bearing	32211	13,256	13,154	13.3	
19	Differential	Taper bearing	32011	10,136	11,828	1.6
20		Taper bearing	32011	10,136	11,828	-
21	Final reduction	Needle bearing	Ø7 × 40L - 19			1.1
22		Taper bearing	32012	10,299	12,440	-
23		Taper bearing	32013	10,503	12,950	-
24	4WD	Ball bearing	6307	3,620	1,957	0.3
25		Needle bearing	K40 × 45 × 27	3,201	7,494	-
26		Ball bearing	6307	3,620	1,957	1.2
27	PTO input	Ball bearing	6209	3,365	2,070	-
28		Needle bearing	K50 × 58 × 25	4,262	8,310	-
29		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
30		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
31		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
32		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
33		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
34		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
35	PTO output	Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
36		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
37		Ball bearing	6306	3,110	1,651	-
38		Ball bearing	6309	5,710	3,212	-
39		Ball bearing	6309	5,710	3,212	-

워트레인 주요 부품인 기어, 베어링에 대해 농작업 부하 기반 목표 수명을 만족하는지 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

1) 전기 트랙터는 55 kW급의 듀얼 모터 타입으로 정격 출력 기준 55 kW PTO 모터와 20 kW Traction 모터로 구성되며, 파워트레인은 복합 유성기어 타입이다.

2) 파워트레인은 작업 모드에 따라 PTO 및 Traction 동력이 결합 및 분기되는 구조이며, 첫 번째 유성기어 세트 링기어 앞단의 클러치 및 브레이크 작동 여부에 따라 고부하 작업의 동력 결합 모드, PTO 작업의 동력 분기 모드 설정할 수 있다.

3) 파워트레인 해석 모델은 설계된 레이아웃과 동일하게 구성하였으며, 대표적인 농작업 부하 데이터를 이용하여 Duty cycle을 구성하였다.

4) 기어 해석 결과, Spiral bevel 기어의 안전율이 1.54로 상대적으로 취약한 것으로 나타났으나, 모든 기어 쌍에서 목표 안전율을 만족한 것으로 판단된다. 베어링 해석 결과, PGS1 축의 Needle 베어링의 데미지가 33.4%로 상대적으로 취약한 것으로 나타났으나, 모든 베어링에서 목표 수명을 만족한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과를 바탕으로 전기 트랙터 듀얼 모터 타입 파워트레인 제작을 진행할 예정이며, 향후 다이내모 및 성능 시험을 통해 해석 모델 최적화 작업을 수행할 예정이다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품 기술기획평가원의 친환경동력원적용농기계기술개발 사업(322047-5) 및 과학기술정보통신부 및 국가과학기술연구회의 융합연구단사업(CRC23041-000)의 지원을 받아 연구되었으며 Hexagon(MSC Software)의 University Partnership의 지원을 통해 수행된 연구입니다.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) National Air Emission Inventory and Research Center, 2017 National Air Pollutants Emission, 2020.
- 2) J. D. Park, M. J. Park, S. M. Baek, H. H. Jeon, D. W. Kim, D. S. Hwang and Y. J. Kim, "Dynamic characteristics of a tractor cabin during plow tillage and rotary tillage," Korean J.Agric. Sci., Vol.51, No.3, pp.295-305, 2024.
- 3) M. A. Son, H. H. Jeon, S. Y. Baek, S. M. Baek, W. S. Kim, Y. S. Kim, D. Y. Shin, R. G. Lim, and Y. J. Kim, "Development and performance evaluation of lateral control simulation-based multi-body dynamics model for autonomous agricultural tractor," Korean J. Agric. Sci., Vol.50, No.4, pp.773-784, 2023.
- 4) M. J. Park, H. H. Jeon, S. Y. Baek, S. M. Baek, D. I. Kang, S. J. Ma and Y. J. Kim, "Development of simulation model of an electric all-wheel-drive vehicle for agricultural work," Korean J. Agric. Sci., Vol.50, No.3, pp.499-510, 2023.
- 5) G. S. Kim, and Y. W. Kwon, "The Development of Gradient Response CVT for a Small Size Electric Vehicle," Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol.19, No.6, pp. 33-38, 2015.
- 6) D. J. Shin, J. H. Hyun and I. Y. Ohm, "Effectiveness Evaluation of Auto-Transmission Application for Electric Two-Wheeled Vehicle(1)," Transactions of KSAE, Vol.29, No.4, pp.289-297, 2021.
- 7) B. S. Kim, H. W. Han and Park, Y. J., "Experimental Analysis of Noise Characteristics of Electric Agricultural Utility Terrain Vehicle Gearbox," Journal of Biosystems Engineering, Vol.45, pp.432-439, 2020.
- 8) J. Y. Kim and Y. I. Park, "Analysis of Agricultural Working Load Experiments for Reduction Gear Ratio Design of an Electric Tractor Powertrain," Transactions of KSAE,

- Vol.20, No.5, pp.138-144, 2012.
- 9) S. Y. Baek, S. M. Baek, H. H. Jeon, J. H. Lee, W. S. Kim, and Y. J. Kim, "Design Verification of an E-driving System of a 44 kW-class Electric Tractor using Agricultural Workload Data," *J. Drive Control*, Vol.19, No.4, pp.36-45, 2022.
- 10) D. V. Ahn, H. S. Hwang, K. D. Kim, S. J. Cho and Y. J. Park, "Analysis of E-Powertrain Performance for Dual motor Electric Tractor based on Agricultural work load," *Proceedings of KSAE Spring Conference*, pp. 174-174, 2024.
- 11) J. G. Kim, J. S. Park, K. J. Choi, D. K. Lee, M. S. Shin, J. Y. Oh and J. S. Nam, "Analysis of Agricultural Tractor Transmission using Actual Farm Work Load," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.19, No.11, pp.42-48, 2020.
- 12) J. G. Lee, S. H. Kim, S. G. Han, Y. I. Shin and C. K. Song, "Design of a Reducer Gear for Small Electric Vehicles," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.19, No.9, pp.116-121, 2020.
- 13) J. H. Choi, J. H. Suh and N. G. Park, "Optimal Design of Lightweight Two-Speed Transmission of Electric Vehicles," *Tribology and Lubricants*, Vol.36, No.2, pp.96-104, 2020.