

발 4
과 른
수 독립
원 구
주 동
행 능
능 렣 이 려
이 향 상 된 전
고 동
령 운
자 반
및 차
여 개
성 발
친 및
화 산
형 업
화
2021

농
림
축
산
식
품
부
농
림
식
품
기
술
기
획
평
가
원

발간등록번호

11-1543000-004013-01

**발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성
친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화**

납본일자 : 2022. 04. 10

주관연구개발기관 / SB산업

**농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원**

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “밭, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화”(개발기간 : 2019.04.16 ~ 2021.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

주관연구기관명 : SB산업

(대표자) 이원식



위탁연구기관명 : 충남대학교 산학협력단

(대표자) 정선옥



주관연구책임자 : 이원식

위탁연구책임자 : 정선옥

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서							보안등급			
							일반[√], 보안[]			
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명	사업명		농식품기술개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)		첨단생산기술개발사업			
공고번호				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)						
				연구개발과제번호		119007-3				
기술분류	국가과학기술 표준분류	생산관리기술	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%			
	농림식품과학기술분류	농작업기계,시스템	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)										
연구개발과제명		국문	밭, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전 동운반차 개발 및 산업화							
		영문	Independent-driven 4W electrical vehicle with improved off-road capability on drylands and orchards for aged and female farmers							
주관연구개발기관		기관명	SB산업		사업자등록번호		210-04-76895			
		주소	충남 천안시 서북구 성환 읍 와룡길 5		법인등록번호					
연구책임자		성명	이원식		직위		대표			
		연락처	직장전화	041-556-0700		휴대전화				
			전자우편			국가연구자번호		1147 6367		
연구개발기간		전체	2019. 4. 16. - 2021. 12. 31. (2년 8개월)							
		단계 (해당 시 작성)	1단계							
			n단계							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		합 계			연구개발비 외 지원금		
		현금	현금	현물	현금	현물	합계			
총계		384,000	8,300	120,700	392,300	120,700	513,000			
1단계	1년차	110,000	3,700	33,300	113,700	33,300	147,000			
	2년차	137,000	4,600	41,400	141,600	41,400	183,000			
	3년차	137,000	.	46,000	137,000	46,000	183,000			
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고			
공동연구개발기관							역할	기관유형		
위탁연구개발기관		충남대학교	정선옥	교수			위탁	대학		
연구개발기관 외 기관										
연구개발담당자 실무담당자		성명	이현석		직위		연구원			
		연락처	직장전화	041-556-0700		휴대전화				
			전자우편			국가연구자번호		1147 6361		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처
분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 1월 10일

연구책임자: 이원식 (인)

주관연구개발기관의 장: 이원식 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 정선옥 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		농식품기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)		첨단생산기술개발사업			연구개발과제번호		119007-3
기술 분류	국가과학기술 표준분류	생산관리기술	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
	농림식품 과학기술분류	농작업기계,시스템	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		밭, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화					
전체 연구개발기간		2019. 4. 16. - 2021. 12. 31. (2년 8개월)					
총 연구개발비		총 513,000천원 (정부지원연구개발비: 384,000천원, 기관부담연구개발비 : 129,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[○] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(2단계) 종료시점 목표(9단계)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<p>○ 밭, 과수원 노면: 요철이 많고, 습하고, 낙엽, 작물 잔유물, 멀칭 비닐 등이 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 운반차 바퀴 중 1, 2개가 미끄러지고, 미구동 차륜은 제멋대로 움직여 조작 어려움 - 낙엽, 잔유물, 멀칭 비닐 등이 바퀴에 찢기거나 엉키는 경우가 많음 - 이러한 현장의 애로를 해결해 달라는 소비자들의 요구가 있음 <p>□ 밭, 과수원 등 농경지 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 미끄럼 방지를 위한 4륜 독립구동 주행부 및 모터 제어기술, 4륜 독립구동 모터 - 감속기 - 차륜 동력전달부, 조향각 감응형 차동 및 잠금모터 제어 개발 ○ 회전반경, 멀칭 비닐 찢김 피해 최소화와 힘이 덜 들어가는 조향 메커니즘 개발, 차륜 수직형 조향, 내외측 조향각을 달리하여 부드러운 조향 구현, ○ 수확물 등 운반물 손상 최소화를 위한 서스펜션 기능 향상 및 유격롤링반동 원터치 제어기능으로 전복 위험을 최소화한 적재함-주행부 프레임 개발, ○ 방제기, 퇴비살포, 이식기 등 전동운반차 플랫폼 활용성 증대 					

	<p style="text-align: center;">전체 내용</p>	<p>□ 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 농업인의 근골격계 질환 등 질환 예방, 노력절감, 농작업 효율 향상을 위하여 전동운반차가 2008년~2017년 기간에 “농작업 편이장비 지원사업”의 일환으로 약 500억원 이상 보급되었음 ○ 최근에는 발작물, 과수 등 농사를 위해 방제작업, 퇴비살포작업, 수확물 운반, 농자재 운반 등을 위하여 다양한 동력운반차가 보급되고 있음 ○ 하지만 요철, 습지, 낙엽, 경사지 등에서 차륜이 미끄러지고, 멀칭 비닐이 찢기고 영키는 등 농작업자가 운전하기에 불편하고 조향 조작에 힘이 많이 드는 실정임 ○ 또한, 수확물 등이 운반 중에 요철 등에 의한 충격으로 손상되고 있음 ○ 본 연구에서는 고령자 및 여성 농업인들도 적은 힘으로 작업하고, 미끄러움이나 멀칭 비닐 찢김이 최소화, 수확물 등 운반물 손상을 최소화 할 수 있는 전동운반차를 개발하고자 함 <p>□ 요소 및 통합 시작품 설계, 제작, 산업화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주행부 및 모터 제어기 설계, 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 모터 테스트 및 선정: 동력 및 부하특성 - 감속비 및 기어조합 설계, 제작 - 하우징 설계, 제작 - 모터 제어기 및 알고리즘 제작 ○ 조향 메커니즘 설계, 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 조향 메커니즘 링크 합성 - 조향 메커니즘 설계, 제작 - 조향부 본체 장착 프레임 설계, 제작 <p>□ 동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 소요동력 이론 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 차체 및 토양에 따른 소요동력 수학 모델링 - 변수에 따른 소요동력 계산 ○ 동력전달 모델링 및 시뮬레이션 <ul style="list-style-type: none"> - 동력전달부 모델링 - 동력전달 효율 시뮬레이션, 감속부 설계 방향 제시 <p>□ 요소 및 통합 시작품 설계, 제작, 산업화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 적재함-주행부 설계, 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 적재함-주행부 유격 조정 기구 설계, 제작 - 적재함 진동최소화 서스펜션 개선 ○ 통합 시작품 제작 및 현장적용 <ul style="list-style-type: none"> - 요소 매칭 및 조립 - 통합 시작품 1차 제작 - 과수원, 밭 토양에서 성능시험, 문제점 도출 <p>□ 동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기어 응력 및 피로 해석 <ul style="list-style-type: none"> - 소요동력 측정 - 부하 스펙트럼 모델링 - 감속기어 응력 및 피로 해석 - 감속기어, 축 등 최적 선정 ○ 현장적용 시험 및 개선점 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 경사각, 조향력 측정
--	------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>전체 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 요소 및 통합 시작품 설계, 제작, 산업화 <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 문제점 보완 및 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> - 2년차 현장적용 시 도출된 문제점 검토 - 부품 개선 설계 및 제작 - 조립 및 2차 시작품 제작 <input type="radio"/> 산업화 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 과수원, 밭 2개소 실증시험 - 공인 시험(농업기술 실용화 재단) <input type="checkbox"/> 동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 기체 안정성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 정적 및 동적 주행 시뮬레이션 - 전도 안전범위 산출, 정적 전도각 측정 <input type="radio"/> 실증시험 및 성능분석 <ul style="list-style-type: none"> - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 조향력, 주행속도 등 측정 												
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">1단계 (해당 시 작성)</td> <td style="text-align: center;">목표</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">내용</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">n단계 (해당 시 작성)</td> <td style="text-align: center;">목표</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">내용</td> <td></td> </tr> </table>	1단계 (해당 시 작성)	목표			내용		n단계 (해당 시 작성)	목표			내용		
1단계 (해당 시 작성)	목표													
	내용													
n단계 (해당 시 작성)	목표													
	내용													

<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 정성적 성과 <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 <input type="radio"/> 3륜 승용 자주형 동력분무기 개발 <input type="radio"/> 현장 적용을 통한 실증시험, 문제점 보완 및 산업화 <input type="checkbox"/> 정량적 성과 <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 기술실시 1건 <ul style="list-style-type: none"> - 사료독립구동 전동운반차 기술에 대해 직접실시로 기술이전 및 실시 1건 <input type="radio"/> 제품화(사업화) 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 4륜 독립구동 농용동력운반차를 실용화재단에서 안전검사를 통과하고, 농기계협동조합에 등록하여 정부 지원 모델로 등재되었습니다. 2022년 1월자 P.224(2100049286880) SB-4X4 모델. 또한 해당 플랫폼을 사용하여 3륜구동 승용자주형 동력분무기를 개발하여 실용화재단 종합검사를 통과하고, 농기계조합에 등록, 정부지원 모델로 등재되었습니다. <input type="radio"/> 고용창출 7명 <ul style="list-style-type: none"> - 김동호, 이한상, 심지혜, 최경철, 이은선, 한수민, 조남휘 <input type="radio"/> 연구인력활용/양성 성과(박사, 석사, 학사 기타 인력양성 등) 4명 <ul style="list-style-type: none"> - 석사 : MDZAFARIQBAL, 장보은, Kamal Rasool - 학사 : 김예솔 <input type="radio"/> 논문(비SCI 1건) <ul style="list-style-type: none"> - Analysis of power requirement of a prototype four-wheeled electric vehicle under different off-road conditions. (IOP Conference Series : Earth and Environmental Science 2021.05.04.) <input type="radio"/> 학술대회 발표 3건 <ul style="list-style-type: none"> - 농업용 4륜 전동운반차 설계를 위한 동력전달장치 모델링 및 시뮬레이션 (춘계 공동학술대회 2020.06.15.) - Analysis of power requirement of a prototype four-wheeled electric vehicle under different off-road conditions (International Conference on Green Agro Industry and Bio Economy 2020.07.27.) - 농업 4륜 전기 자동차 설계를위한 환감 기어의 부하 분석 (21년 춘계 공동학술대회 초록집 2021.04.30)
---------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 홍보실적 3건 <ul style="list-style-type: none"> - 홈페이지, 유튜브 동영상 제작/등록, 정부지원 목록집 등록 및 홍보 ○ 인증 2건 <ul style="list-style-type: none"> - 농업기술실용화재단 SB-900TH 종합검정(M-21-00853) 합격(21.10.12) - 농업기술실용화재단 SB-4X4 안전검정(M-21-00961) 합격(21.11.09)
--------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>□ 연구개발 성과 활용계획 및 기대 효과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 발작물, 과수 등 농사를 위해 방제작업, 퇴비 살포작업, 수확물 운반, 농자재 운반 등을 위하여 다양한 동력운반차가 보급되고 있음. 하지만 요철, 습지, 낙엽, 경사지 등에서 차륜이 미끄러지고, 멀칭 비닐이 찢기고 엉키는 등 농작업자가 운전하기에 불편하고 힘이 많이 드는 실정임. 또한 수확물 등이 운반 중에 요철 등에 의한 충격으로 손상 및 차체 전복 위험이 있음 ○ 현장의 불편 사항을 해소한 4륜독립구동 운반차, 3륜 승용 자주형 동력분무기 두 기종으로 비포장도로 등 요철이 있는 충격이나 과부하가 걸릴 수 있는 현장조건에서 여성·고령 또한 쉽게 조작할 수 있는 제품을 산업화하여 국내 기술력을 향상시키고 국외 제품들과의 경쟁력을 확보하고자 함 <p>가. 기술적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 4륜구동, 캡버, 토우를 적용한 회전축 동력일체형 전동운반차로써 농기계 산업뿐만 아닌 일반산업 기계화에도 적용이 가능. ○ 원격 핸들 조향 및 전자 감응식 센서를 통한 4륜 제어 기술 확보. ○ 선행 개발된 바퀴장착장치 서스펜션 특허를 활용한 안전성 확보 ○ 전기 모터로 구동하는 제품으로 친환경에 기여 <p>나. 경제·산업적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 다목적 전동운반차로서 농작업의 편이와 생산비 절감에 기여 ○ 승용 자주형 동력분무기를 통한 약액 살포 작업의 편리성과 호흡기, 근, 골격계 질환등을 예방함. ○ 친환경 농기계 보급의 활성화 ○ 일반산업 기계화에도 적용하여 운반 산업 전반에 활용. ○ 개발된 기술을 다양하게 활용될 수 있도록 호환성 강구
---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	·
--------------------	---

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화학물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
1		1										

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	4륜 독립구동	4륜구동	전동운반차	3륜승용형	주행형 동력분무기
영문핵심어 (5개 이내)	Independent-driven 4W	Four-wheel drive.	Electrical vehicle	Three-wheeled car	Driving power sprayer.

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

- [1] Blair P D 1978 Modeling energy and power requirements of electric vehicles. *Energy Con.*, **18** 3 127-134.
- [2] Pugi L, Grasso F, Pratesi M, Cipriani M, Bartolomei A 2017 Design and preliminary performance evaluation of a four wheeled vehicle with degraded adhesion conditions. *Int'l J. Elect. Hybrid Vehic.* **9** 1 1-32.
- [3] Katabonia S K, Reddy M J, Dusarlapudi 2020 Multi-functional electric vehicle for agricultural applications. *J. Adv. Res. Dyn. Cntrl. Sys.* **12** 02 101-110.
- [4] Hori Y 2004 Future vehicle driven by electricity and control research on four-wheel-motored "UOT Electric March II". *IEEE Trans. Indus. Electro.* **51** 5 954-962.
- [5] Ashfaq A M, Kim S H, Kim C J, Han C S 2013 Evaluating the performance of rear wheel drive and four wheel drive electric vehicle with independent front wheel steering. *Korean Soc. Autom. Eng.* 576-581.
- [6] Pornharuthai P, Kuna P, Sukson S, Ekthammathat N 2019 Design and test of DC motor drive system for agriculture electric vehicle. *J. Phys. Conf. Ser.* **1380** 1-4.
- [7] Chauhan S 2015 Motor torque calculations for electric vehicle. *Int'l J. Sci. Tech. Res.* **4** 8 126-127.
- [8] Sun Y, Li M, Liao C 2017 Analysis of wheel hub motor drive application in electric vehicles. Proceedings of the 13th Global Congress on Manufacturing and Management 2017 P6.
- [9] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2019 World Population Prospects pp1-46.
- [10] Kim Y J, Chung S O, Park S J, Choi C H 2011 Analysis of power requirement of agricultural tractor by major field operation. *J. Biosyst. Eng.* **36** 2 79-88
- [11] Hong S J, Park S J, Kim W S, Kim Y J, Park S U 2016 Analysis of the axle load of an agricultural tractor. *Korean J. Agri. Sci.* **43** 4 665-669.
- [12] Xin X, Chengning Z 2017 Optimal Design of electric vehicle power system with the principle of minimum curb mass. *Energy Proc.* **105** 2629-2634.
- [13] Jang J H, Kim W S, Choi C H, Park S U, Kim Y J 2018 Analysis of power requirement of the underground crop harvester attached on agricultural tractor during traction operation. *J. Korea Institute Inform. Electro. Comm. Tech.* **11** 2 150-155.
- [14] Kim W S, Kim Y S, Kim T J, Park S U, Choi Y, Choi I S, Kim Y K, Kim Y J 2019 Analysis of power requirement of 78 kW class agricultural tractor according to the major field operation. *Trans. Korean Soc. Mech. Engrs.* **43** 12 911-922.
- [15] Lee P U, Lee N G, Choi C H, Kim Y J 2018 Effects of working speeds of an agricultural tractor on a gear transmission. Proceedings of the ASABE Annual International Meeting 2018 (paper no. 1800978) Michigan: St. Joseph.
- [16] Lee Y S, Ali M, Islam M N, Rasool K, Jang B E, Kabir M S N, Kang T K, Chung S O 2020 Theoretical analysis of bending stresses to design a sprocket for transportation part of a Chinese cabbage

- collector. *J. Biosyst. Eng.* **45** 85–93.
- [17] Patil A 2017 Bending stress analysis of spur gear. *Int'l J. Res. App. Sci. Eng. Tech.* **5** 6 422–426.
- [18] Jung J W, Kim K P, Ji H C, Moon T S 2015 Design improvement of the driving bevel gear in transmissions of a tracked vehicle. *J. Korean Soc. Manuf. Process. Eng.* **14** 2 1–6 [In Korean].
- [19] Heingartner P, Mba D 2003 Determining power losses in the helical gear mesh; case study. Proceedings of the DETC'3 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference 2003 **4** P965–70.
- [20] Johnson T T P, Kahraman A, Anderson N E, Chase D R 2008 An experimental investigation of spur gear efficiency. *J. Mech. Des.* **15** 6 062101–10.
- [21] Kuria J, Kihiu J 2011 Prediction of overall efficiency in multistage gear train. *Int'l. J. Mech., Aeros., Ind., Mech. Manufact. Eng.* **5** 2 50–56.
- [22] Zhao Y E, Zhang J W, Guan X Q 2009 Modeling and simulation of electronic differential system for an electric vehicle with two-motor-wheel drive 2009 P1209–1214.
- [23] Lee P U, Chun S O, So J H, Nam Y S, Choi C H, Kim Y J 2016 Analysis of PTO gear pair using gear design program. Proceedings of the ASABE Annual International Meeting 2016 (Paper no. 162461087) Michigan: St. Joseph.
- [24] Im B G, Lee G H, Kim H R, Park Y J, Kim T W 2013 A summary of strength analysis of the main gearbox for helicopter. Proceedings of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences (spring conference) 2013 948–954.
- [25] Han H S, Lee J K 2004 Development of a web-based powertrain performance simulation system. *J. Korean Soc. Prec. Eng.* **21** 2, 100–107 [In Korean]
- [26] Socie D, Pompetzki M 2004 Modeling variability in service loading spectra. *J. ASTM Int.* **1**, 11561.
- [27] Perozzi D, Mattetti M, Molari G, Sereni E 2016 Methodology to analyse farm tractor idling time. *Biosyst. Eng.* **148**, 81–89.
- [28] Margolin L G 2020 Damage and failure in a statistical crack model. *Appl. Sci.* **10**, 8700.
- [29] Lee Y S, Ali M, Islam M N, Rasool K, Jang B E, Kabir M S N, Kang T K, Chung S O 2020 Theoretical analysis of bending stresses to design a sprocket for transportation part of a chinese cabbage collector. *J. Biosyst. Eng.* **45**, 85–93.
- [30] Prabhakaran S, Ds B 2014 Stress analysis and effect of misalignment in spur gear stress analysis and effect of misalignment in spurgear. *Int. J. Appl. Eng. Res.* **9**, 13061–13071.
- [31] Li S 2008 Effect of addendum on contact strength, bending strength and basic performance parameters of a pair of spur gears. *Mech. Mach. Theory*, **43**, 1557–1584.
- [32] Pedrero J I, Pleguezuelos M, Muñoz M 2011 Critical stress and load conditions for pitting calculations of involute spur and helical gear teeth. *Mech. Mach. Theory*, **46**, 425–437.
- [33] Zhang Y, Fang Z 1999 Analysis of tooth contact and load distribution of helical gears with crossed axes. *Mech. Mach. Theory*, **34**, 41–57.
- [34] Arafa M H, Megahed M M 1999 Evaluation of spur gear mesh compliance using the finite element method. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* **213**, 569–579.
- [35] Pimsarn M, Kazeronian K 2002 Efficient evaluation of spur gear tooth mesh load using pseudo-interference stiffness estimation method. *Mech. Mach. Theory*, **37**, 769–786.
- [36] Hwang S C, Lee J H, Lee D H, Han S H, Lee K H 2013 Contact stress analysis for a pair of mating gears. *Math. Comput. Model.* **57**, 40–49.
- [37] Park S, Kim S, Choi J H 2018 Gear fault diagnosis using transmission error and ensemble empirical mode decomposition. *Mech. Syst. Signal Process.* **108**, 58–72.
- [38] Kim W S, Kim Y J, Baek S M, Moon S P, Lee N G, Kim Y S, Park S U, Choi Y, Kim Y K, Choi I S 2020 Fatigue life simulation of tractor spiral bevel gear according to major agricultural operations. *Appl. Sci.* **10**, 889.
- [39] Herral B B 1987 The application of a statistical fatigue life prediction method to agricultural equipment. *Int. J. Fatigue*, **9**, 115–118.
- [40] Kim J H, Kim K U, Wu Y G 2000 Analysis of transmission load of agricultural tractors. *J. Terramechanics*, **37**, 113–125.
- [41] Graham J A, Berns D K, Olberts D R 1962 Cumulative damage used to analyze tractor final drives. *Trans. ASAE*, **5**, 139–146.
- [42] Chen Y C, Tsay C B 2002 Stress analysis of a helical gear set with localized bearing contact. *Finite Elem. Anal. Des.* **38**, 707–723.
- [43] Litvin F L, Lian Q, Kapelevich A L 2000 Asymmetric modified spur gear drives: Reduction of noise, localization of contact, simulation of meshing and stress analysis. *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, **188**, 363–390.
- [44] Lisle T J, Shaw B A, Frazer R C 2017 External spur gear root bending stress: A comparison of ISO 6336:2006, AGMA 2101–D04, ANSYS finite element analysis and strain gauge techniques. *Mech. Mach. Theory*, **111**, 1–9.
- [45] Townsend D P, Coy J J, Zaretsky E V 1978 Experimental and analytical load-life relation for AISI 9310 steel spur gears. *J. Mech. Des. Trans. ASME*, **100**, 54–60.
- [46] Pedrero J I, Izaskun I V, Miguel P 2007 Calculation of tooth bending strength and surface durability of

- high transverse contact ratio spur and helical gear drives. *Journal of Mechanical Design*, **129**(1), 69–74.
- [47] Kim Y J, Chung S O, Choi C H 2013 Effects of gear selection of an agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage. *Soil Tillage Res.***134**, 90–96.
- [48] Nejad A R, Gao Z, Moan T 2014 On long-term fatigue damage and reliability analysis of gears under wind loads in offshore wind turbine drive trains. *Int. J. Fatigue*, **61**, 116–128.
- [49] Nejad A R, Xing Y, Guo Y, Keller J, Gao Z, Moan T 2015 Effects of floating sun gear in a wind turbine's planetary gearbox with geometrical imperfections. *Wind Energy*,**18**, 2105–2120.
- [50] Nguyen H T, Chu Q T, Kim S E. 2011 Fatigue analysis of a pre-fabricated orthotropic steel deck for light-weight vehicles. *J. Constr. Steel Res.* **67**, 647–655.
- [51] Kim W S, Kim Y S, Kim Y J, Choi C H, Inoue E, Okayasu T. 2018 Analysis of the load of a transplanter PTO shaft based on the planting distance. *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.* **63**, 97–102.
- [52] Miner M A 2018 Cumulative damage in fatigue. *J. Appl. Mech.* **12**, 159–164.
- [53] International Standard ISO 16251-2 2015 Self-propelled agricultural machinery – assessment of stability – part 2: Determination of static stability and test procedures. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- [54] Chen W, Zhang Z, Zhou C 2009 Simulation for the handling and stability of four-wheel steering vehicle based on Matlab/simulink. In: Proceedings of the Second International Conference on Transportation Engineering. pp.1908–1913.
- [55] Franceschetti B, Lenain R, Rondelli V 2014 Comparison between a rollover tractor dynamic model and actual lateral tests. *Biosystems Engineering*, **127**, 79–91.
- [56] Sun C, Nakashima H, Shimizu H, Miyasaka J, Ohdoi K 2019 Physics engine application to overturning static analysis on bank sand uniform slopes for an agricultural tractor with a rollover protective structure. *Biosystems Engineering*, **185**, 150–160
- [57] Nguyen N V, Harada Y, Takimoto H, Shimomoto K 2020 Measurement of static lateral stability angle and roll moment of inertia for agricultural tractors with attached implements. *Journal of Agricultural Safety and Health*, **26** (1), 15–29.
- [58] Kim D H, Choi C H, Kim Y J 2018a Analysis of driving performance evaluation for an unmanned tractor. *International Federation of Automatic Control*, **51**(17), 227–231.
- [59] Kim Y S, Lee S D, Kim Y J, Kim Y J, Choi C H 2018b Effect of tractor travelling speed on a tire slip. *Korean Journal of Agricultural Science*, **45**(1), 120–127.
- [60] Meywerk M, Fortmuller T, Fuhr B, Baß S 2016 Real-time model for simulating a tracked vehicle on deformable soils. *Advances in Mechanical Engineering*, **8**(5), 1–14.
- [61] Zhou C K, Huang Y Y, Ni L 2014 The dynamics simulation of tracked vehicles on the hard and soft ground based on the RecurDyn. *Advanced Materials Research*, **842**, 351–354.
- [62] Kim T S 2011 Analysis of safety and convenient equipment system of orchard aerial lift. Master. thesis, Sungkyunkwan Univ., Gyeonggi-do, Korea. [In Korean].
- [63] Liljedahl J, Turnquist P, Smith D, Hoke M 1989 Tractors and their power units (4th ed.). New York, NY: Van Nostrand Reinhold.
- [64] Rédl J, Váliková V, Antl J 2014 Design of active stability control system of agricultural off-road vehicles. *Research in Agricultural Engineering*, **60** (Special Issue), S77–S84.

※ 각 항목에서 요구하는 정보를 포함하여 연구개발과제의 특성에 따라 항목을 추가하거나 항목의 순서와 구성을 변경하는 등 서식을 수정하여 사용하거나 별도의 첨부자료 활용이 가능합니다.
다만, '1.3) 세부 정량적 연구개발성과' 항목은 2021.1.4.부터 2021.12.31.까지 수정 사용 가능합니다.

1. 연구개발과제의 개요

SB산업

□ 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화

- 농업인의 근골격계 질환 등 질환 예방, 노력절감, 농작업 효율 향상을 위하여 전동운반차가 2008년~2017년 기간에 “농작업 편이장비 지원사업”의 일환으로 약 500억원 이상 보급되었음
- 최근에는 밭작물, 과수 등 농사를 위해 방제작업, 퇴비살포작업, 수확물 운반, 농자재 운반 등을 위하여 다양한 동력운반차가 보급되고 있음
- 하지만 요철, 습지, 낙엽, 경사지 등에서 차륜이 미끄러지고, 멀칭 비닐이 찢기고 영키는 등 농작업자가 운전하기에 불편하고 조향 조작에 힘이 많이 드는 실정임
- 또한, 수확물 등이 운반 중에 요철 등에 의한 충격으로 손상되고 있음
- 본 연구에서는 고령자 및 여성 농업인들도 적은 힘으로 작업하고, 미끄럼이나 멀칭 비닐 찢김이 최소화, 수확물 등 운반물 손상을 최소화 할 수 있는 전동운반차를 개발하고자 함

구분	연도	연구개발의 목표
1차년도	2019	- 미끄럼 방지를 위한 주행부 및 모터 제어기 설계 제작 - 4륜 독립구동 모터 감속기 차륜 동력전달부 - 조향 메커니즘 설계, 제작
2차년도	2020	- 적재함 - 주행부 설계, 조향각 감응형 차동 및 잠금 모터 제어 - 회전반경, 멀칭 비닐 찢김 피해 고려한 조향력 최소화 설계 - 차륜 수직형 조향, 내외측 조향각을 달리하여 부드러운 조향 설계 - 통합 시작품 제작 및 현장 테스트
3차년도	2021	- 문제점 보완 및 실증시험 - 전동운반차 플랫폼을 활용한 승용 자주형 동력분무기 개발 - 공인인증(농업기술실용화재단 시험 및 검정), 산업화 추진

충남대학교 : 동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험

종합 개요

농업은 경운, 방제, 잔디깎이, 베일러, 로더, 운반 작업 등 다양한 농작업을 수행하는 다기능 차량이 필요하다. 상업적인 규모에서 보면, 다양한 종류의 내연 기관 차량들이 이러한 농업 활동을 수행하기 위해 사용된다. 그러나 이러한 차량은 엔진의 비효율성, 울퉁불퉁한 지형, 도로 기울기, 낮은 견인 능력으로 인해 불편함이 있다. 게다가, 무거운 차량은 비용이 많이 들고 그것들을 다루는 데 숙련된 노동력이 필요하다. 이러한 문제는 친환경 고효율 차량을 개발하거나 전기차(EV) 대안을 고려함으로써 해결할 수 있다

[1-3]. EV는 주로 도시에서 사용토록 설계되었지만, 최근에는 임업과 농업을 포함한 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 농업에서는 친환경 동력원으로 EV가 선호되고 있으며, 이 차량의 글로벌 시장 수요가 나날이 증가하고 있다. 본 연구에서 분석한 사륜전기차(4WEV)는 전기 배터리[4, 5]로 구동되며, 환경 문제를 해결할 뿐만 아니라 차량의 동력 전달 효율도 향상된다. 또한 EV는 화석 연료에 대한 의존도를 줄임으로써 전 세계의 에너지 정책을 고안하는 데 중요한 역할을 한다[6].

농업 분야에서 EV의 사용이 증가함에 따라 최적의 동력 공급 시스템을 설계하게 되었다. 따라서 도로상황 및 현장운행에 따른 차량 주요부품의 부하 스펙트럼 및 소요동력 분석이 필요하다. 모든 EV에서 중요하고 필수적인 구성 요소는 구동 모터이다 [7, 8]. 구동 모터가 생성하는 토크의 양은 차량을 움직이는 역할을 하므로 EV의 성능을 확인하는 데 중요한 역할을 한다. 즉, 계산된 토크는 구동 모터의 동력을 의미한다. 게다가, 한국, 일본, 싱가포르, 중국과 같은 동아시아와 동남아시아를 중심으로 고령화 인구가 증가함에 따라 소형차도 현대적인 수요가 되고 있다. 대한민국은 이미 고령화 사회에 진입한 만큼 상황에 따라 기계개발 연구가 집중돼 있다. 이 지역에서는 주요 고지 작물 기계와 장비가 필요하여 부녀자와 고령 농민이 쉽게 농사 활동을 할 수 있다.

내부 연소 엔진 동력 농업 차량의 하중 및 동력 분석에 대한 많은 연구가 수행되었다[10-14]. 그러나 소형 4W EV의 성능 분석에 대한 연구가 부족하다. 게다가, 특히 산악 지대와 노약자 및 여성 농민들이 차량을 사용해야 하는 경우, 적재 용량과 오프로드 성능, 설계 구성 요소, 동력 분석, 송전 신뢰성 및 안전성과 같은 특별한 고려가 필요하다. 따라서 주행 및 작업 조건에 따른 농용 차량의 작업 효율 및 안정성을 향상시키기 위한 성능분석이 필수적이다. 이 연구의 전체적인 목표는 필요한 동력 분석, 구성 요소의 사용 수명 및 4WEV 시제품(SB산업에서 제작)의 전도 안전성에 따라 차량 성능을 분석하고 평가하는 것이다.

구분	연도	연구개발의 목표
1차년도	2019	<ul style="list-style-type: none"> - 차체 및 토양에 따른 소요동력 수학 모델링 - 변수에 따른 소요동력 계산 - 동력전달부 모델링 - 동력전달 효율 시뮬레이션, 감속부 설계 방향 제시
2차년도	2020	<ul style="list-style-type: none"> - 소요동력 측정 - 부하 스펙트럼 모델링 - 감속기어 응력 및 피로 해석 - 감속기어, 축 등 최적 선정 - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 경사각, 조향력 측정
3차년도	2021	<ul style="list-style-type: none"> - 정적 및 동적 주행 시뮬레이션 - 전도 안전범위 산출, 정적 전도각 측정 - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 조향력, 주행속도 등 측정

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

SB산업

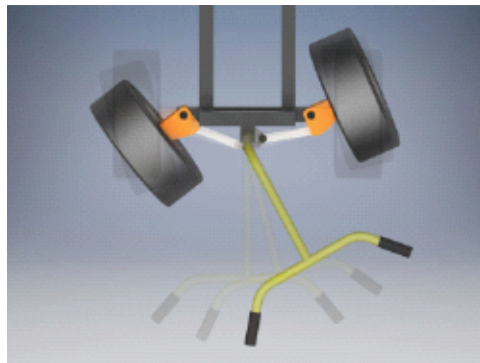
연구 개발 내용	<p>[1년차]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미끄럼 방지를 위한 주행부 및 모터 제어기 설계 제작 - 4륜 독립구동 모터 감속기 차륜 동력전달부 - 조향 메커니즘 설계, 제작 <p>[2년차]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적재함 - 주행부 설계, 조향각 감응형 차동 및 잠금 모터 제어 - 회전반경, 멀칭 비닐 찢김 피해 고려한 조향력 최소화 설계 - 차륜 수직형 조향, 내외측 조향각을 달리하여 부드러운 조향 설계 - 통합 시작품 제작 및 현장 테스트 <p>[3년차]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 문제점 보완 및 실증시험 - 전동운반차 플랫폼을 활용한 승용 자주형 동력분무기 개발 - 공인인증(농업기술실용화재단 시험 및 검정), 산업화 추진
----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 전동운반차의 현 기술상황 및 문제점

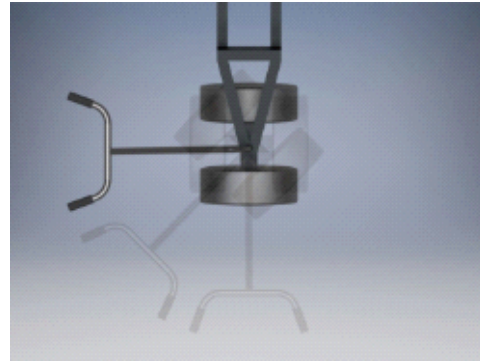
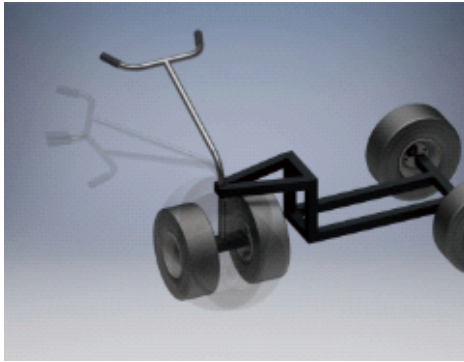
- **밭, 과수원 노면:** 요철이 많고, 습하고, 낙엽, 작물 잔유물, 멀칭 비닐 등이 있다.
 - 운반차 바퀴 중 1, 2개가 미끄러지고, 미구동 차륜은 제멋대로 움직여 조작 어려움
 - 낙엽, 잔유물, 멀칭 비닐 등이 바퀴에 찢기거나 엉키는 경우가 많다.
 - 이러한 현장의 애로를 해결해 달라는 소비자들의 요구가 있다.



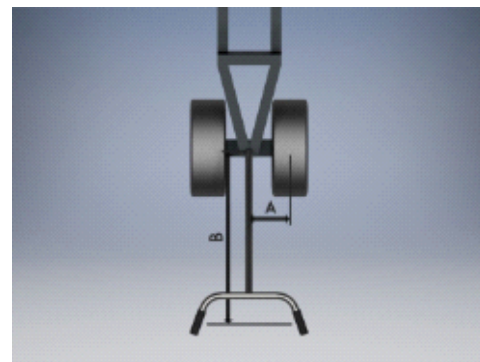
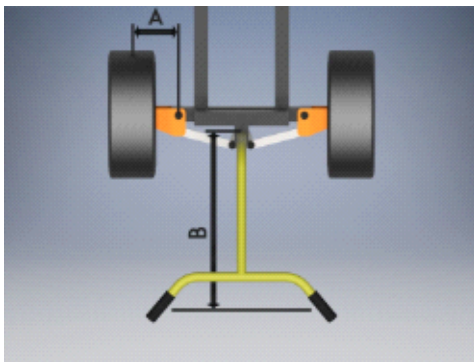
○ **4륜 운반차:** 핸들 조향 시 차륜 궤적이 크고, 멀칭 비닐 등을 찢는 경우가 많고, 조향력이 크게 요구된다.



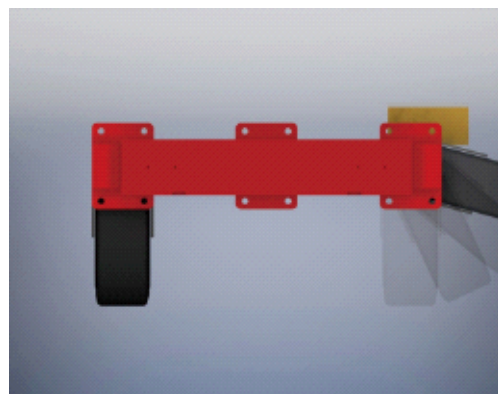
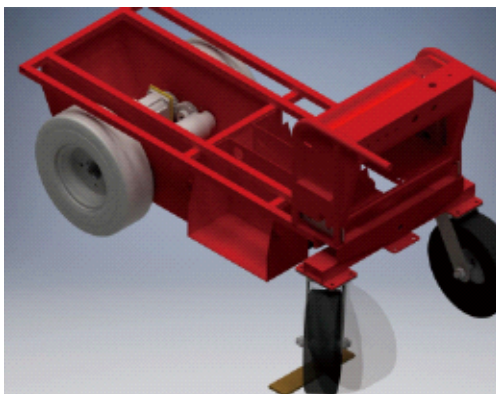
- **3륜 운반차:** 회전축과 바퀴 부착위치에 거리가 있어서 4륜 방식보다는 조향이 용이하지만 지면을 끌게 되고 특히나 3륜 형식이어서 고랑을 지나다닐 때 문제가 있다.



- 거리 A는 회전축과 바퀴 중심과의 거리이며, 클수록 회전 시 부하가 많이 걸리고 지면을 끌게 됨. B는 힘을 주기위한 지렛대 역할을 하는 거리이며, 이 거리가 커질수록 차체 길이는 길어지는 단점이 있다.

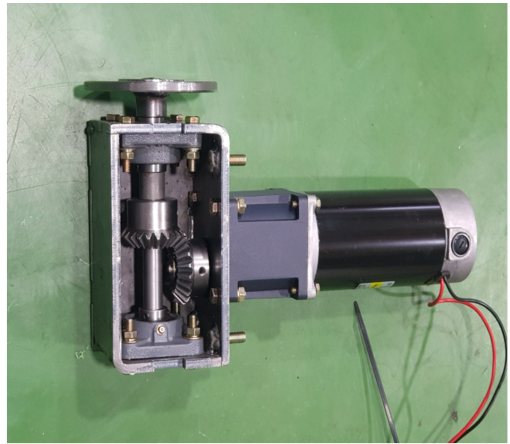


- **2륜 구동 운반차:** 미끄럼 발생되는 구간에서 구동 힘을 못 쓰게되고, 장애물이 있으면 후륜 2개가 멋대로 돌기 때문에 더욱 주행 시에 많은 문제가 발생하고 멀칭 비닐이 찢어지거나 감기는 등의 문제가 발생된다.



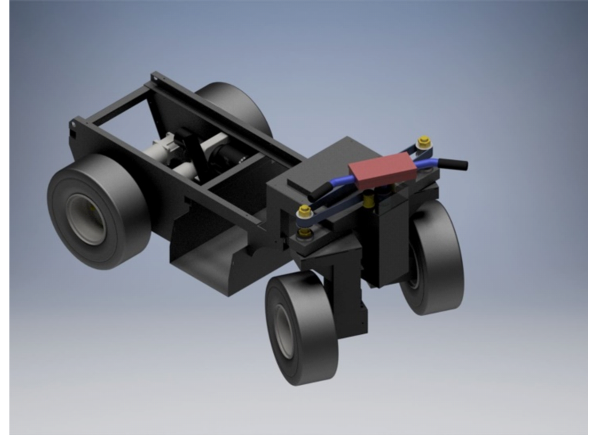
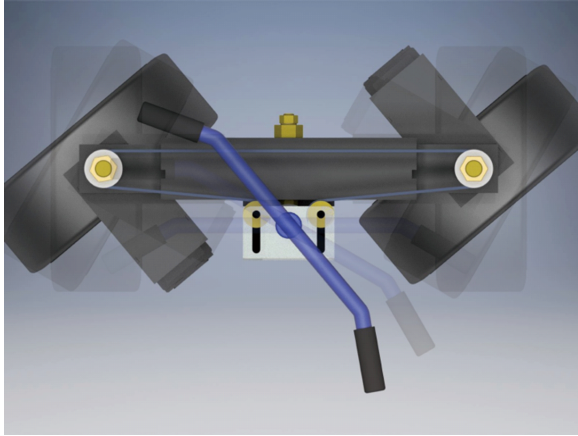
○ 미끄럼 방지를 위한 4륜 독립구동 주행부 및 모터 제어기 개발

- 미끄럼 방지를 위한 주행부 및 모터 제어 기술
- 모터 테스트 및 선정: 동력 및 부하특성
- 감속비 및 기어조합 설계, 제작
- 4륜 독립구동 모터-감속기-차륜 동력전달부
- 하우징 설계, 제작
- 조향각 감응형 차동 및 잠금 모터 제어



○ 회전반경, 비닐 찢김 피해, 조향력 최소화를 위한 조향 메커니즘 개발

- 회전반경 및 비닐 찢김 피해 최소화를 위한 조향 메커니즘 개발
- 조향력 최소화를 위한 캠버각, 토우각 구현
- 조향 메커니즘 링크 합성
- 조향 메커니즘 설계, 제작
- 조향부 본체 장착 프레임 설계, 제작



○ 서스펜션 기능 향상 및 유격롤링반동 원터치 제어기능으로 전복 위험을 최소화한 주행부 프레임 개발

- 불규칙한 노면에서 운반물 손상 최소화를 위한 서스펜션 기능 향상
- 서스펜션 유격롤링반동 원터치 제어기능 - 주행부 유격 조절 기능 구현



구분 (연도)	세부과 제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2019)	요소 및 통합 시 작품 설 계, 제 작, 산업 화	주행부 및 모 터 제어기 설 계, 제작	모터 테스트 및 선정: 동 력 및 부하특성	모터 후보군 및 스펙을 비교 분석후 최적의 모터 로 DMK DC Motor 12V, 24V 250W, 400W 모 터를 적용함.
			감속비 및 기어조합 설 계, 제작	농업용 전동운반차의 평균 속도인 시속 4Km/h로 설 계, 모터 바퀴속도 비율 계산, 기어조합 및 토크 측정 센서를 장착하여 제작함.
			하우징 설계, 제작	4륜독립구동 운반차로 4바퀴의 사이즈를 동일 하게 구성하고, 후륜의 수직 독립구동을 위해 후 륜 조향장치쪽의 휠하우스 폭을 측정하여 자유 롭게 움직일수 있도록 제작됨. 차체의 무게중심 을 맞추기 위해 배터리를 중앙으로 배치하였음.
			모터 제어기 및 알고리즘 제작	조향신호와 악셀신호를 받아서 전륜바퀴의 구동 회전수를 비례제어하는 알고리즘으로 제작.
		조향 메커니 즘 설계, 제 작	조향 메커니즘 링크 합성	조향부분에 0~20k옴의 가변 저항을 사용하여, 바퀴의 조향각도를 측정. 측정된 조향각도를 근거로, 전륜 좌/우 바퀴의 회전수를 비례적으로 제어함. 후륜 바퀴는 전륜 바퀴의 회전수에 비례하여 설정하며, 두개의 모터를 직렬로 결속하여 차동 동작을 하도록 구성.
			조향 메커니즘 설계, 제 작	Curtis DC Motor Controller 4개를 사용하여 전 륜2, 후륜 각1×2, 조향 핸들을 독립적으로 모터 제어를 할수 있게끔 설계 및 제작함.
			조향부 본체 장착 프레 임 설계, 제작	전 후진 조이스틱의 입력 값에 따라 전륜 좌/ 우, 후륜 모터 컨트롤러에 제어 신호를 전달. 전륜 좌/우, 후륜 모터 제어는, 각 컨트롤러에서 개별적으로 관리.

1-1) 모터 후보군 및 스펙

1. 세우산전 BK90 BLDC 400W (₩307,020)

개별적인 미세 디지털 제어가 가능한 BLDC모터로 뛰어난 제어성능을 기대할수 있으나 제품 가격대가 높아서 5개 장착시 모터 부품가격만 ₩1,535,100 으로서 제품가격이 월등히 향상됨으로 제품 양산 및 보급에 지장을 초래할것으로 예상됨.

BLDC MOTOR □90(고출력형)

4-#4.5HOLE THRU
PCD #96±0.05

□90

4-#6.5 HOLE THRU
PCD #104

LEADWIRE: 500mm

CONNECTOR

DC 12, 24V
(SBDM-25A)

1. CONNECTOR(S014-02)

2. CONNECTOR

AC 220V
(SBDSMD-05A)

CONNECTOR(S007-12)

VIEW A-A'

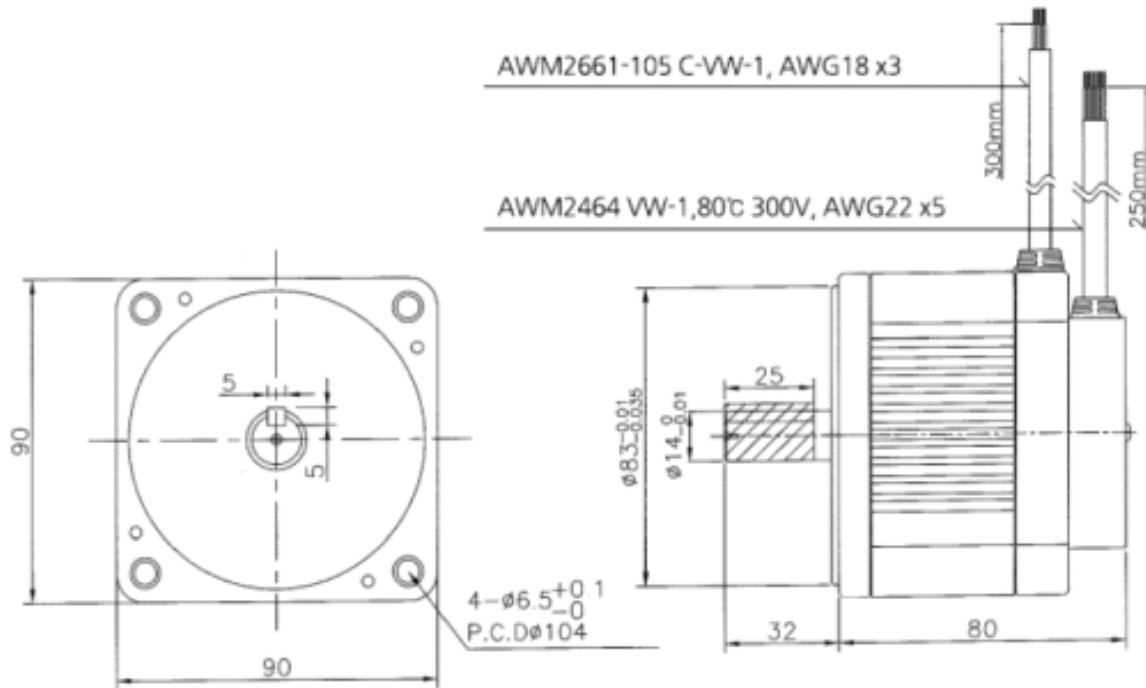
L	MODEL
81.3	S220300 / S220400
91.3	S012100 / S024200 / S220500
101.3	S012120 / S024250 / S220600
111.3	S012150 / S024300

* ENCODER / BRAKE 장착 가능(별도협의후 구매)

Applicable Driver	
Voltage	Driver
DC 24V	SBDM-25A
AC 220V	SBDSMD-05A

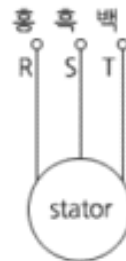
2. BLDC모터 BL8090 (250W) BLDC모터 (₩148,500)

1번 제품과 마찬가지로 개별적인 미세 디지털 제어가 가능한 BLDC모터로 뛰어난 제어성능을 기대할 수 있으나 출력이 250W가 최대로써, 계획상의 만족할만한 성능을 낼수 없음.



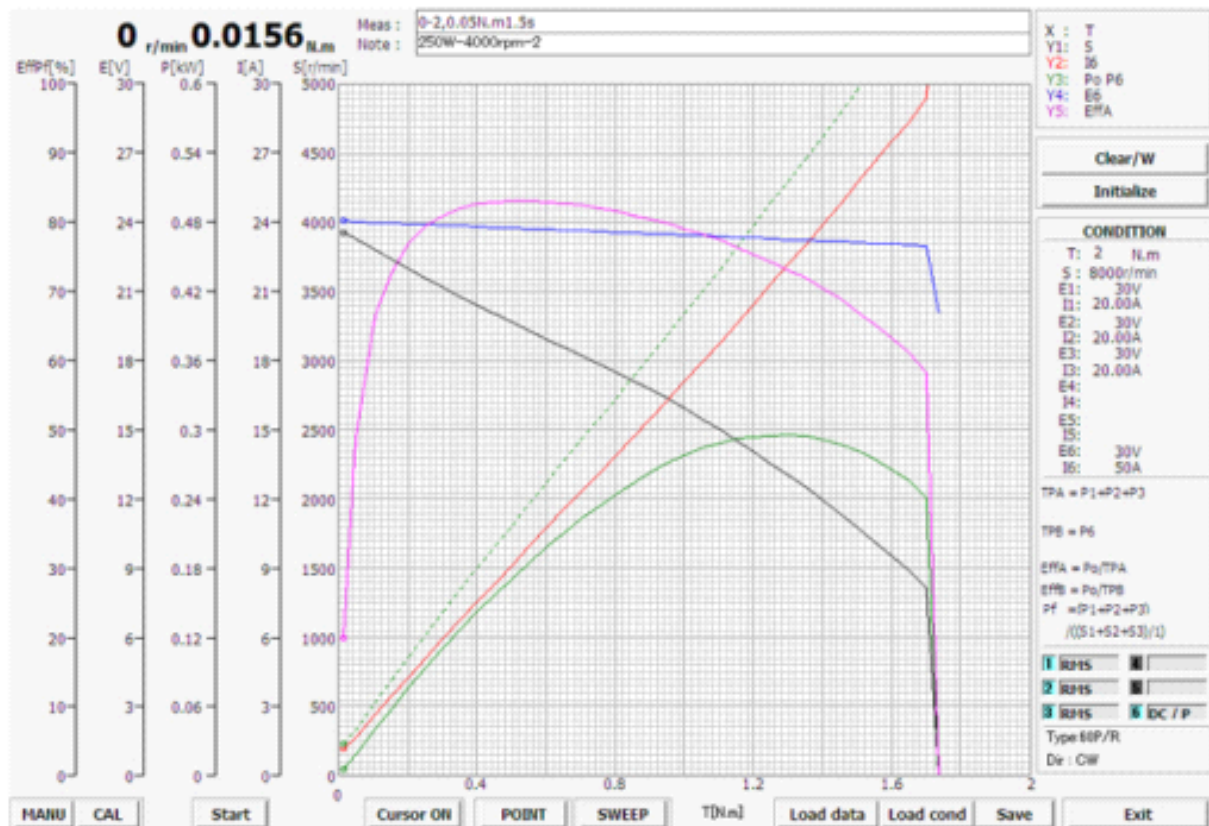
SENSOR OUTPUT		
Pin5	Pin4	Pin3
1	0	1
0	0	1
0	1	1
0	1	0
1	1	0
1	0	0

DRIVER OUTPUT		
R	S	T
HI	x	LOW
HI	LOW	x
x	LOW	HI
LOW	x	HI
LOW	HI	x
x	HI	LOW



신호	PIN	색상
+	1	주황
GND	2	검정
Hall Cc	3	갈색
Hall Bc	4	회색
Hall Ac	5	흰색

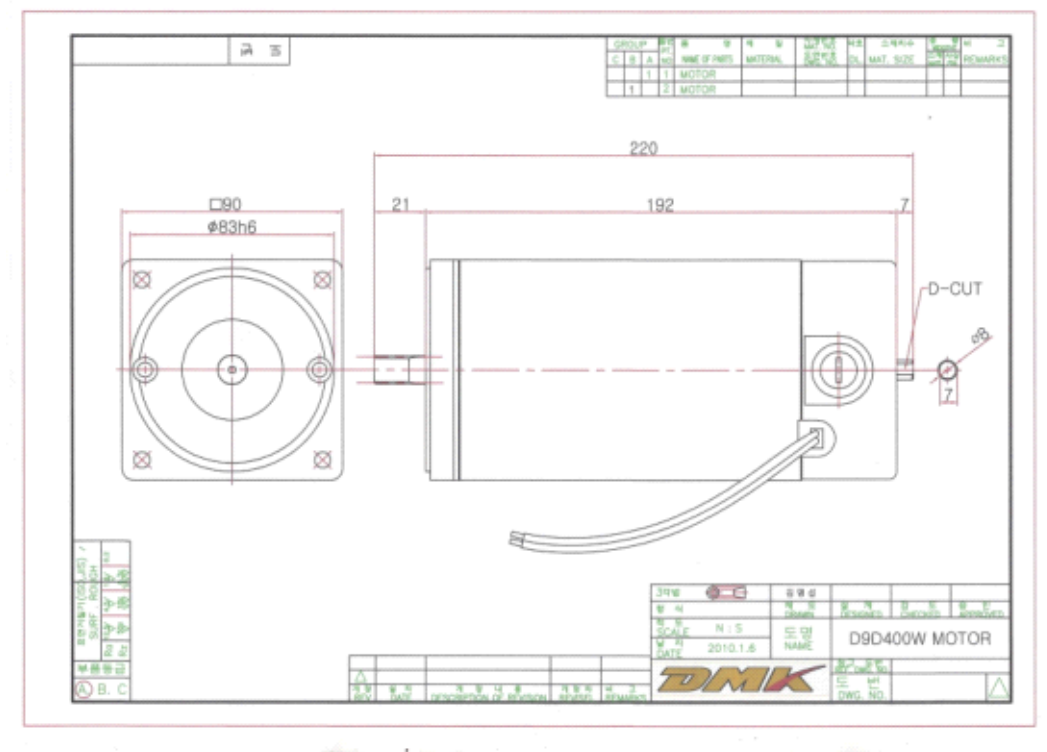
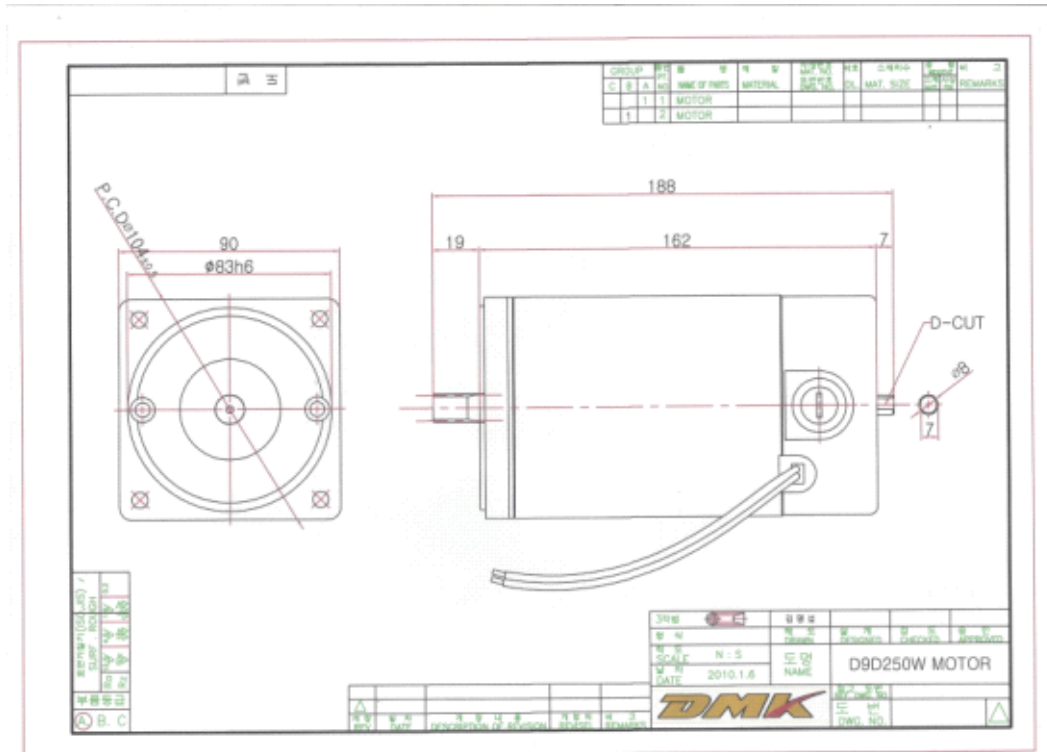
Item	Unit	Specification
Rated Voltage	(VDC)	24
No-load speed	(RPM)	4000
Continuous torque	(Kg-cm)	7.5
Continuous speed	R.P.M.	2300
Continuous current	A	12.5
Output power	W	250
Resistance	Ohm	0.14
Inductance	mH	0.18
Weight	Kg	1.56
Insulation Classification		F Class (155 °C)
Operating Temperature	°C	-10 ~ +40



3. DC Motor Korea

1. DMK 24V 400W, DMK 12V 400W, DMK 24V 250W

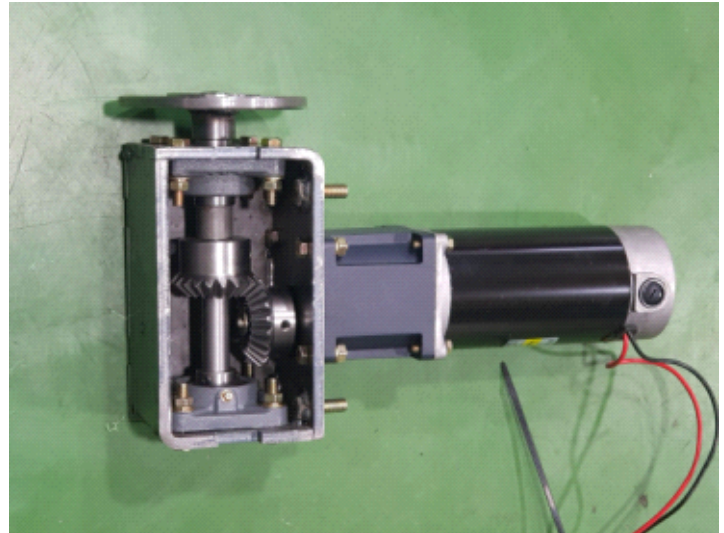
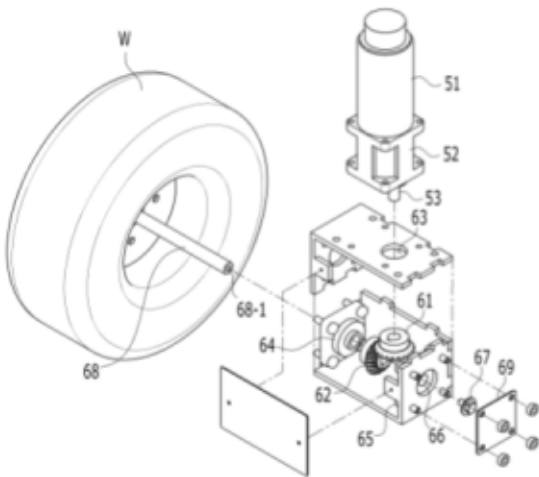
가격 경쟁력, 성능 우수, 국내 제품으로 제품조달이 쉬움.



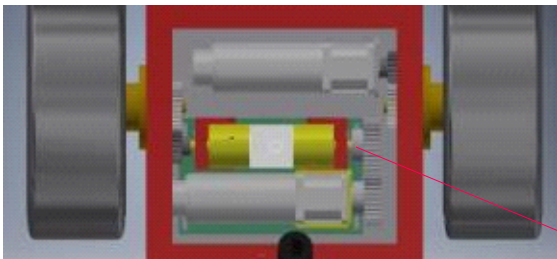
II. 감속비 및 기어조합 설계, 제작

농업용 전동운반차의 평균 속도인 시속 4Km/h로 설계

- 12/24V 250W/400W 3300RPM DC모터
- 베벨기어 32mm, 20T



- 24V 400W 3300RPM DC모터
- 평기어 72mm, 27T



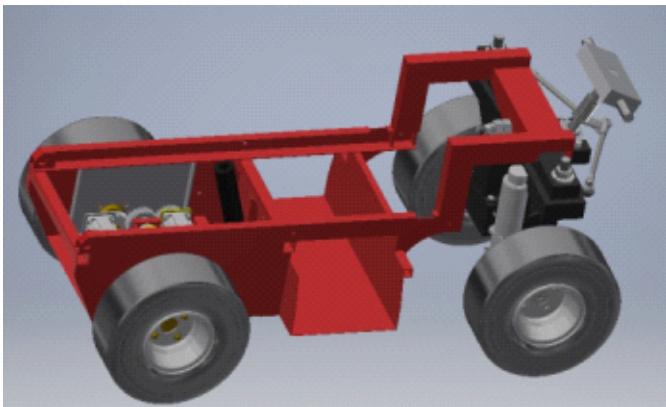
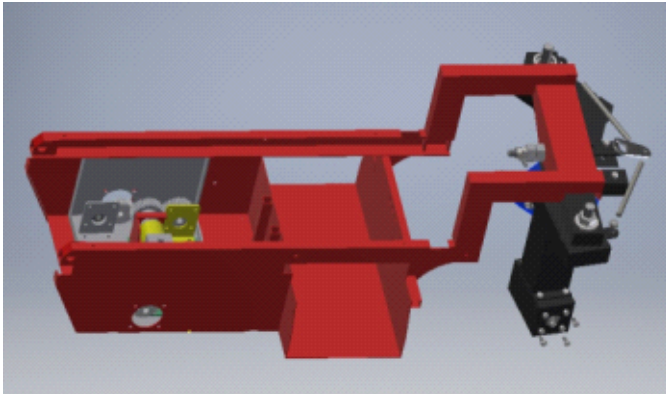
토크 측정 센서 설치로 인해 설계를 변경하여 2중 구조로 작업하게되었음.

- 하우징 설계, 제작

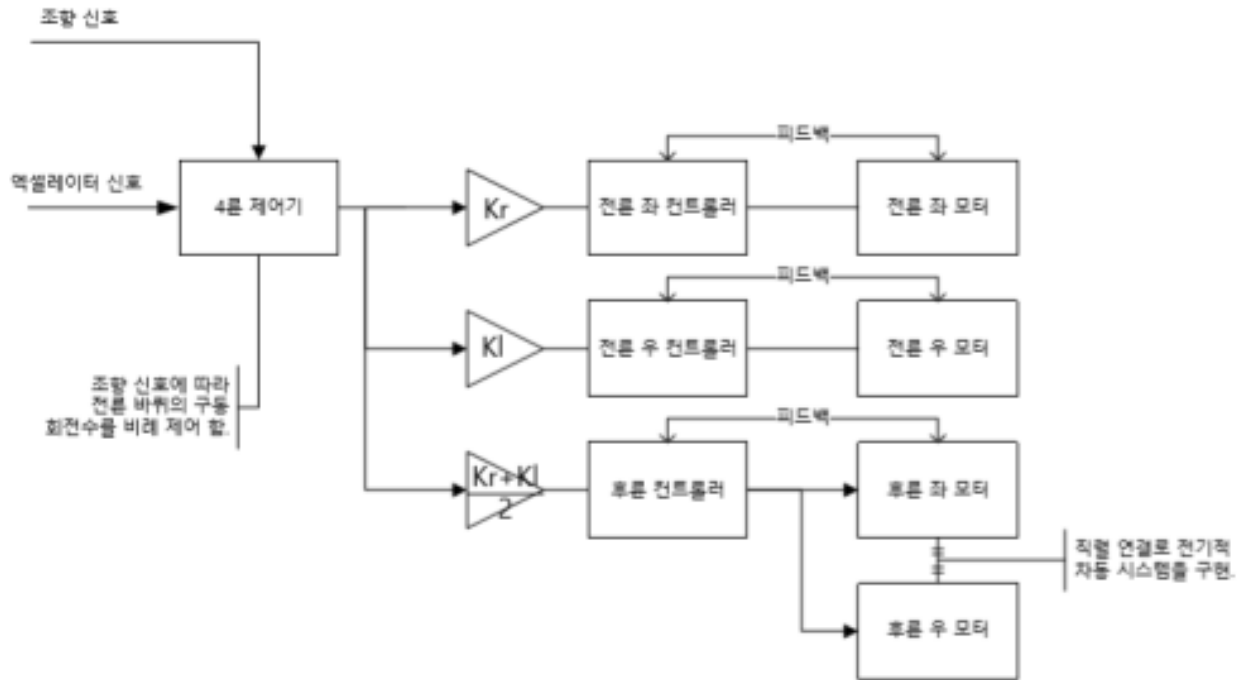
4륜독립구동 운반차로 4바퀴의 사이즈를 동일하게 구성하고, 후륜의 수직 독립구동을 위해 후륜 조향장치 쪽의 휠하우스 폭을 측정하여 자유롭게 움직일수 있도록 제작됨. 차체의 무게중심을 맞추기 위해 배터리를 중앙으로 배치하였음.

전륜 모터하우징에는 2차년도 덤프 리프트 기능을 위한 유압 덤프 장치의 기초를 장치하여 다기능 운반차 기본 플랫폼으로서의 역할에 초점을 맞추어 설계함.

2차년도 원격조종을 위해 조향부에 모터를 장착하여 원격제어가 가능하게 설계하였고, 수동조작 겸용을 위해 전자식 클러치를 장착하여, 보행형 직접 제어 및 원격조작이 가능하게 설계 및 제작함.



- 모터 제어기 및 알고리즘 제작

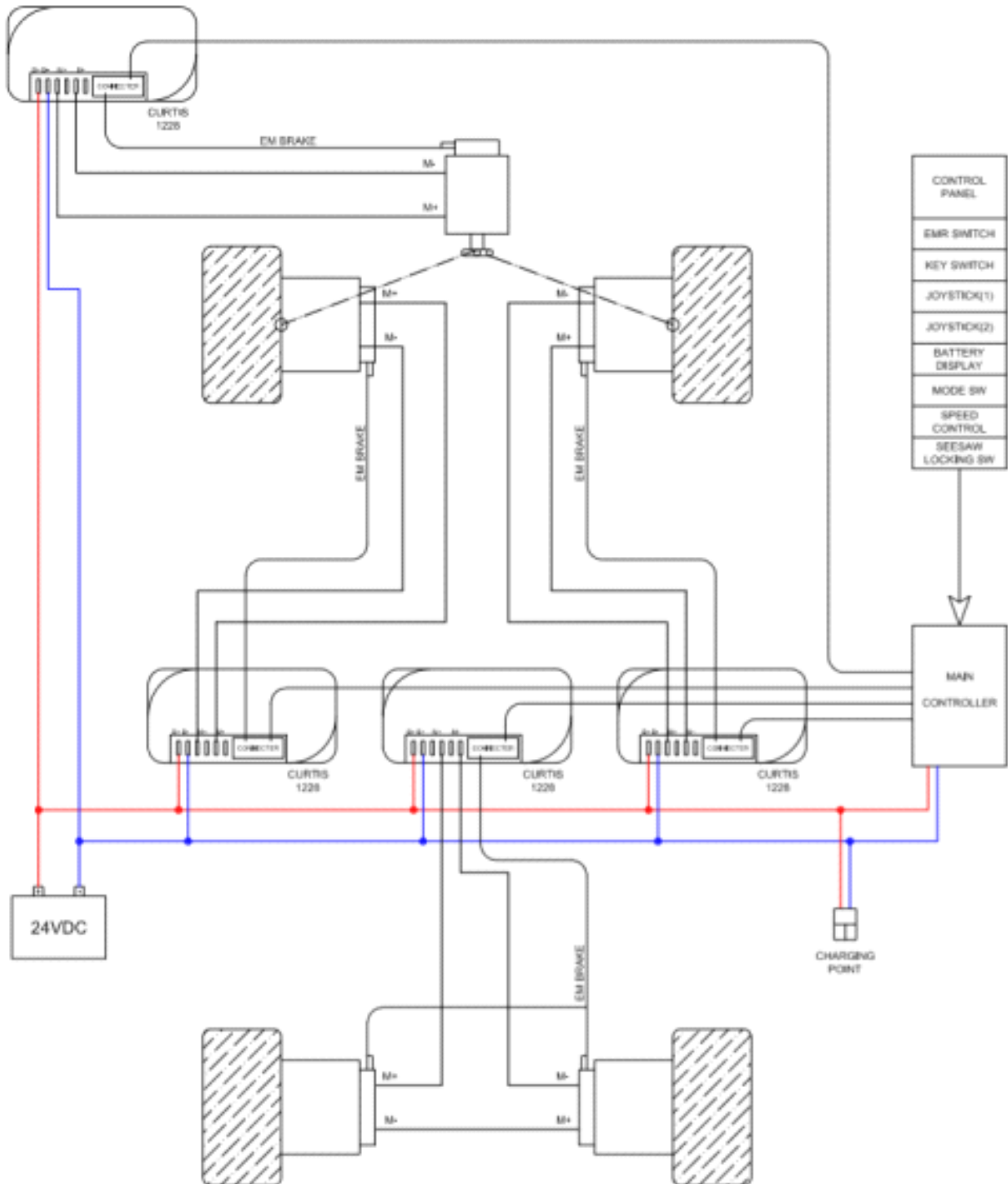


- 조향 메커니즘 링크 합성

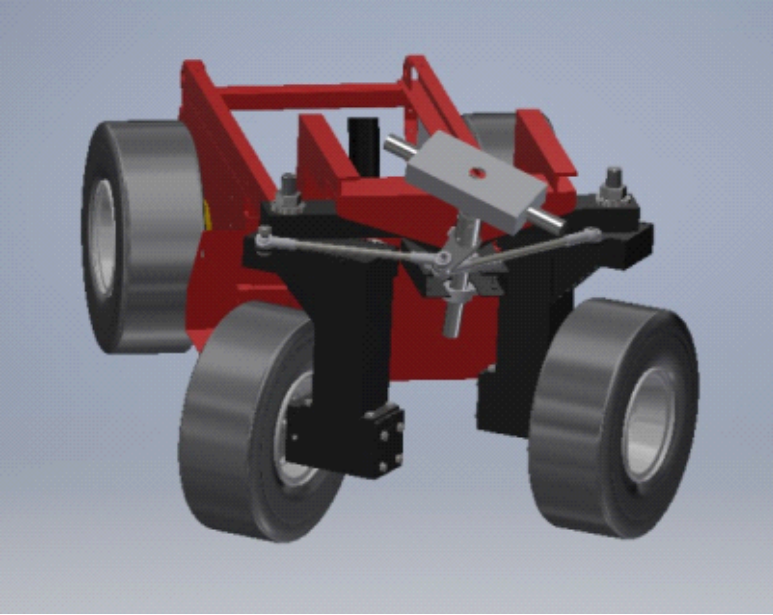
1. 조향부분에 0~20k옴의 가변 저항을 사용하여, 바퀴의 조향각도를 측정.
2. 측정된 조향각도를 근거로, 전륜 좌/우 바퀴의 회전수를 비례적으로 제어함.
3. 후륜 바퀴는 전륜 바퀴의 회전수에 비례하여 설정하며, 두개의 모터를 직렬로 결속하여 차동 동작을 하도록 구성.
4. 전 후진 조이스틱의 입력 값에 따라 전륜 좌/우, 후륜 모터 컨트롤러에 제어 신호를 전달.
5. 전륜 좌/우, 후륜 모터 제어는, 각 컨트롤러에서 개별적으로 관리.

- 조향 메커니즘 설계, 제작

Curtis DC Motor Controller 4개를 사용하여 전륜2, 후륜 각1×2, 조향 핸들을 독립적으로 모터 제어를 할 수 있게끔 설계 및 제작함.



- 조향부 본체 장착 프레임 설계, 제작

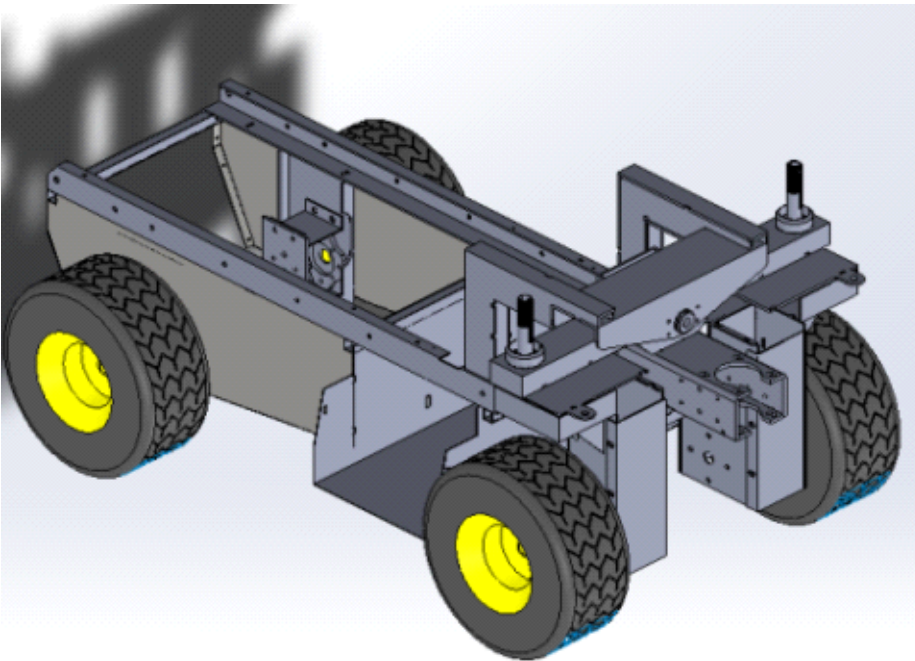




구분 (연도)	세부와 제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
2차 년도 (2020)	요소 및 통합 시 작품 설 계, 제 작, 산업 화	적재함-주행부 설계, 제작	적재함-주행부 유격 조정기구 설계, 제작	<그림1~5> 소재 연마봉 샤프트를 가공하고 오일리스 원추롤러 축반이 베어링 부상을 사 용하여 유격을 최소화 함으로 안정성을 높이 고 회전시 마찰력을 최소화함
			적재함 진동 최소화 서스펜션 개선	<그림6~13> 서스펜션이 받, 과수원등 노면이 불규칙한 농지에서 작동시, 정차중에 작업 안 정성을 위한 서스펜션 고정 브레이크 탑재
		통합 시작품 제작 및 현장 적용	요소 매칭 및 조립 통합 시작품 1차 제작	<그림14~17>> 통합 시작품 제작 완료하여 충 남대 실험실로 이송 및 테스트 시작
			과수원, 밭 토양에서 성능시험, 문제점 도출	<그림18~20> 후륜 기어 하나가 차체 무게와 500KG 하중을 버티지 못해 파손됨 3차년도 개선사항에 포함시켜 안정성 및 내구성 향상 필요.

1. 적재함 주행부 설계, 제작

가. 적재함-주행부 유격 조정기구 설계, 제작



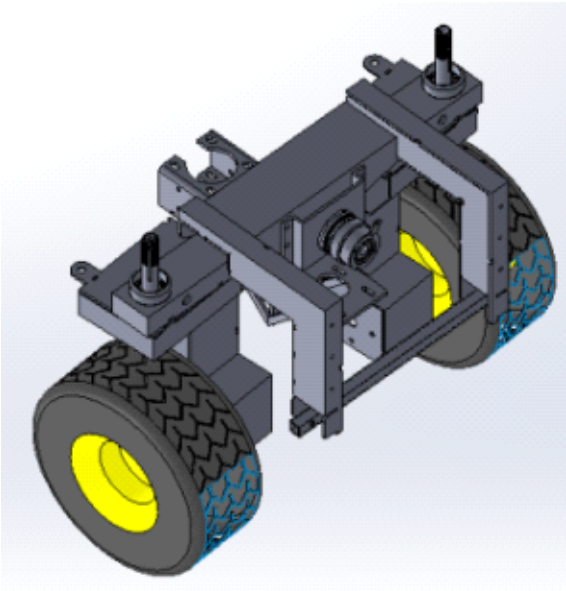
<그림1> 1차 프로토 타입 CAD 설계



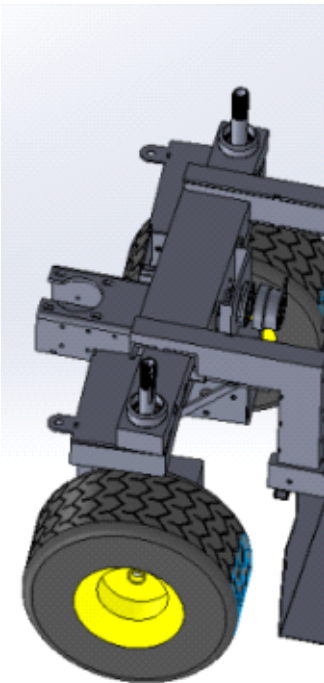
<그림2> 1차 프로토타입 모델



<그림3> 적재함 주행부 연결부



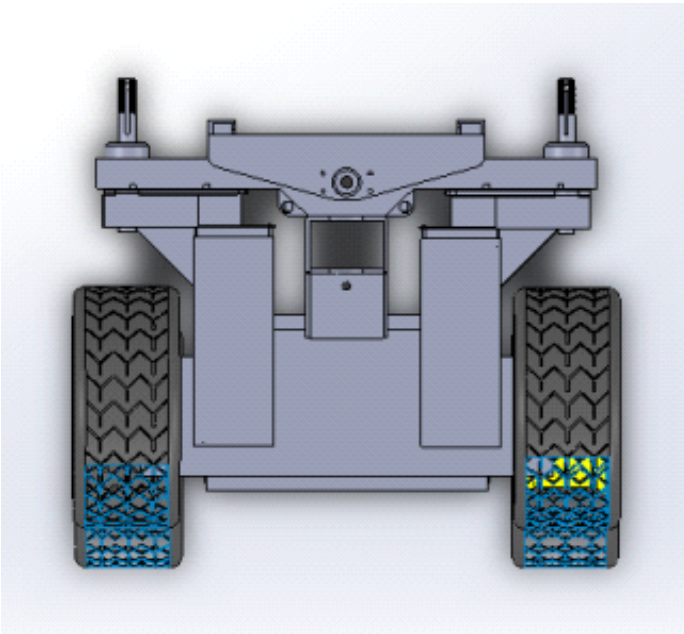
<그림4> 후륜 주행부 CAD도면



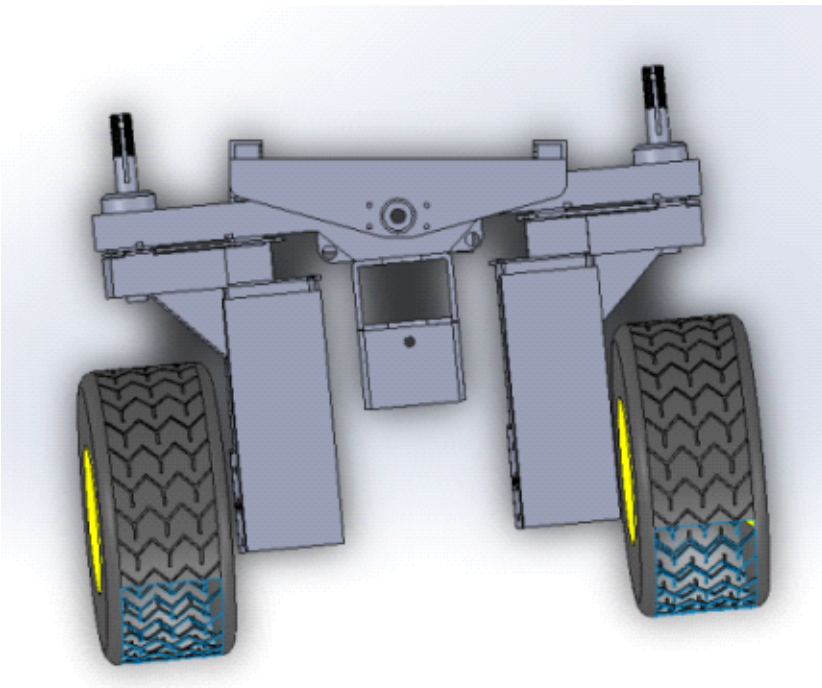
<그림5> 후륜 주행부 측면 CAD도면

- <그림3> 적재함과 후륜 주행부간에 축으로 제작되었던 선반가공 샤프트의 무급유부시 플랜지 부싱에서 롤링으로 인한 안전성 부분이 문제가 되어, 적재량 500KG을 안정적으로 이송하지 못하는 문제가 발생
- 소재 연마봉 샤프트를 가공하고 오일리스 원추롤러 축받이 베어링 부싱을 사용하여 유격을 최소화 함으로 안정성을 높이고 회전시 마찰력을 최소화 하여 문제를 해결함.

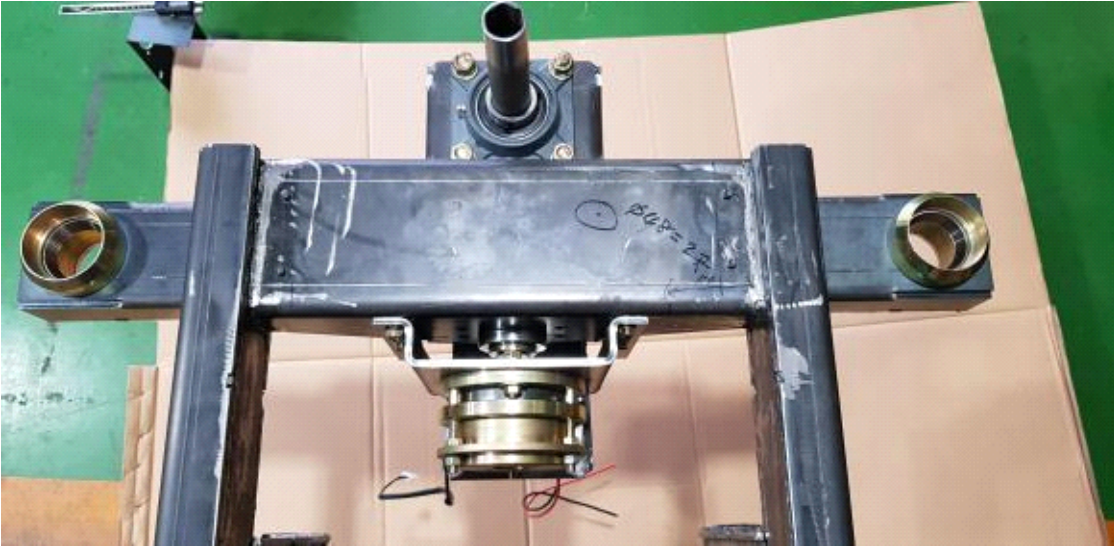
2. 적재함 진동 최소화 서스펜션 개선



<그림6> 서스펜션 CAD 도면

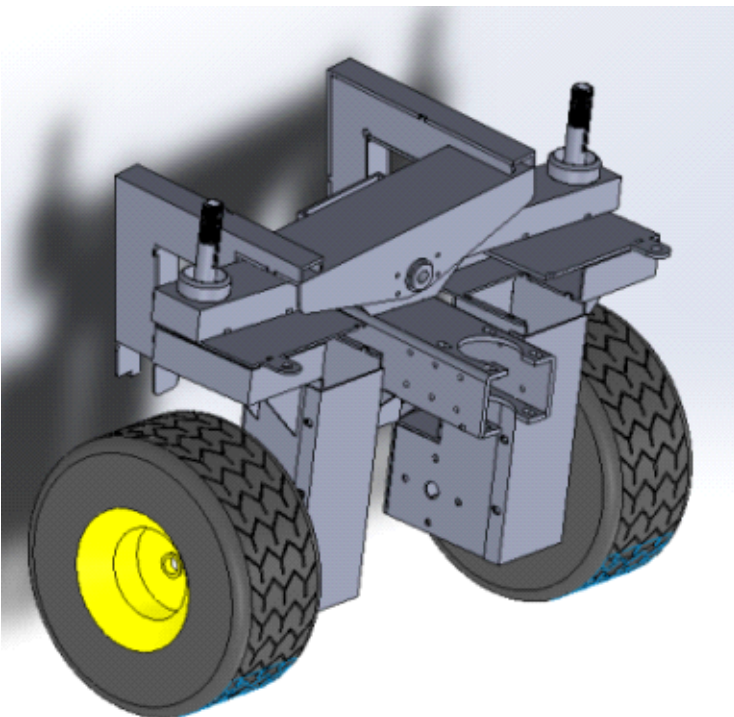


<그림7> 서스펜션 시뮬레이션 CAD 도면

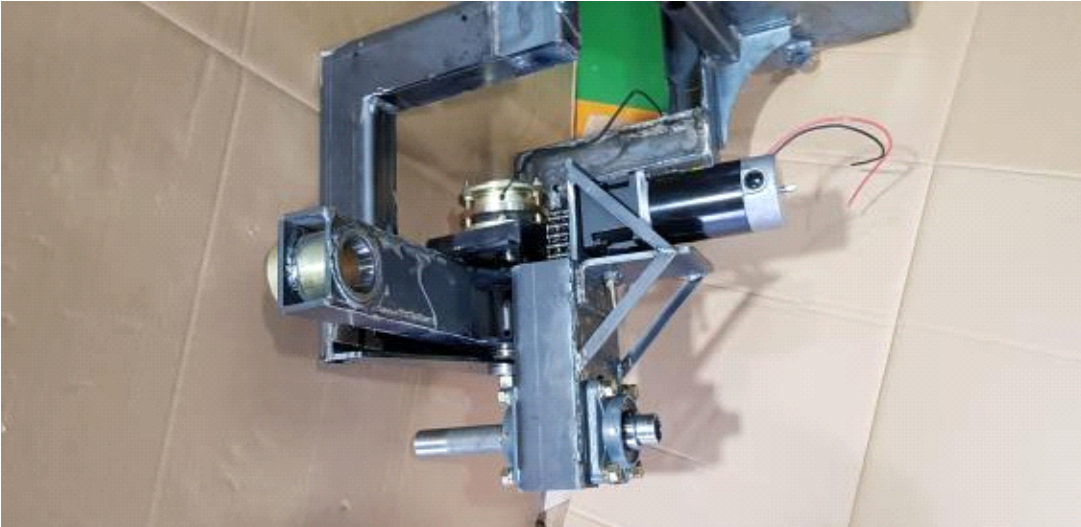


<그림8> 서스펜션 부분

- 적재함과 후륜 주행부간에 축과 마찬가지로 제작된 선반가공 샤프트의 무급유부시 플랜지 부상에서 유격이 생기고 마찰이 커서 후륜 회전에 문제가 생김

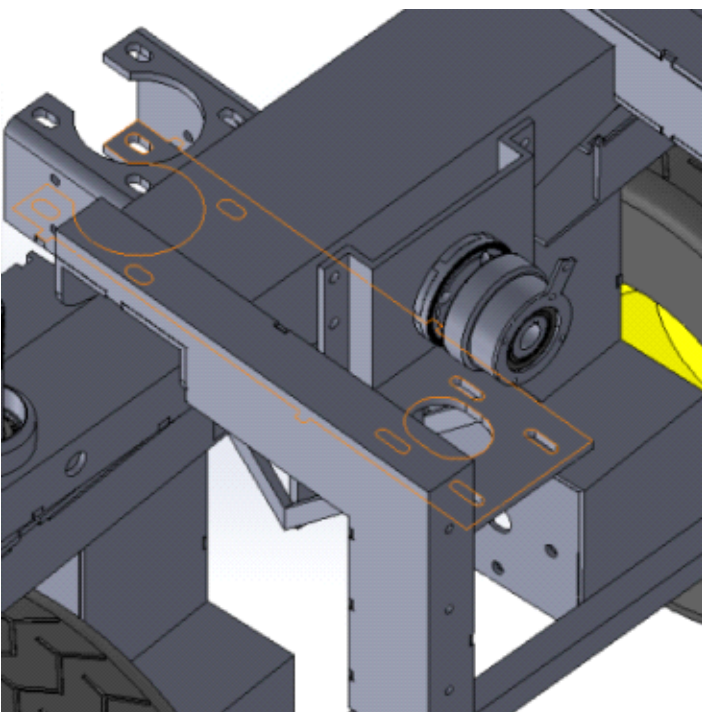


<그림9> 서스펜션 시뮬레이션 측면 CAD 도면

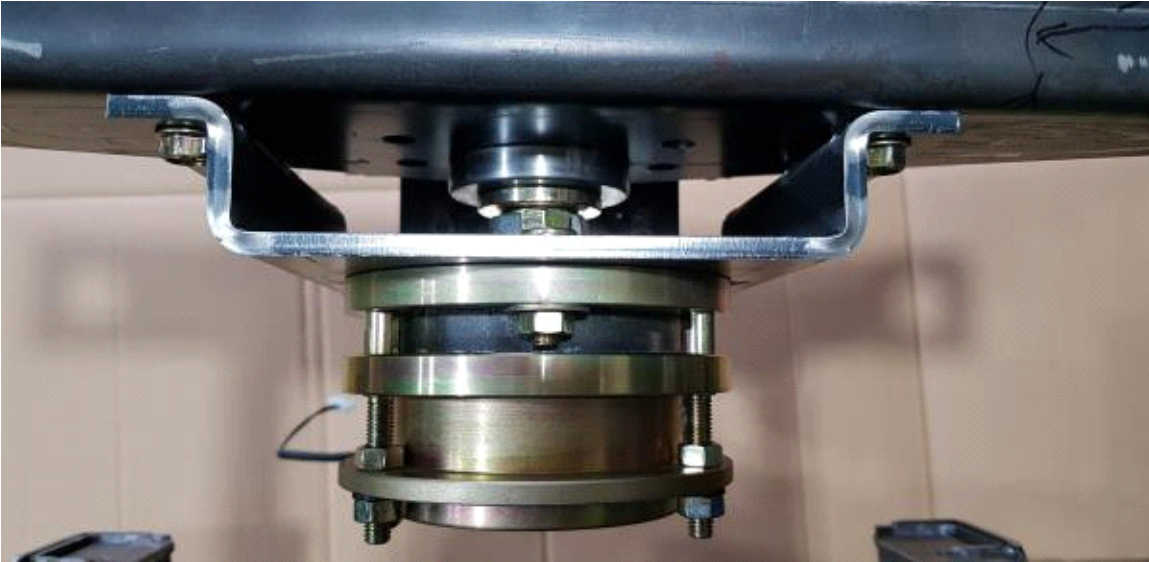


<그림10> 원추롤러 축받이 베어링 부상 개선

- 소재 연마봉 샤프트를 가공하고 오일리스 원추롤러 축받이 베어링 부싱을 사용하여 유격을 최소화 함으로 안정성을 높이고 회전시 마찰력을 최소화 하여 문제를 해결함.

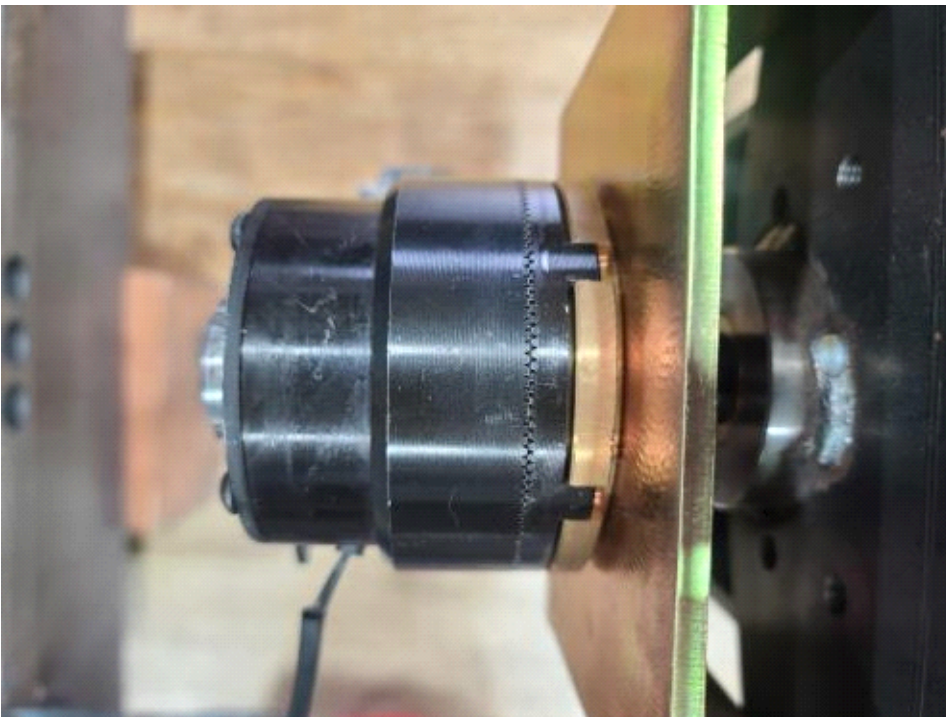


<그림11> 서스펜션 개선 CAD도면



<그림12> 서스펜션 고정 전자식 브레이크

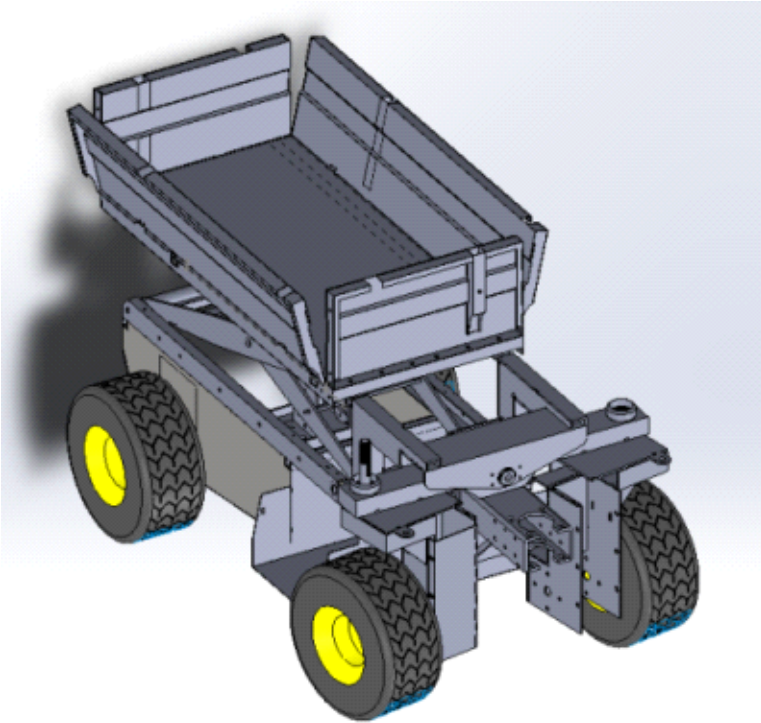
- 서스펜션이 발, 과수원등 노면이 불규칙한 농지에서 작동시, 정차중에 작업 안정성을 위한 서스펜션 고정 브레이크가 필요함.



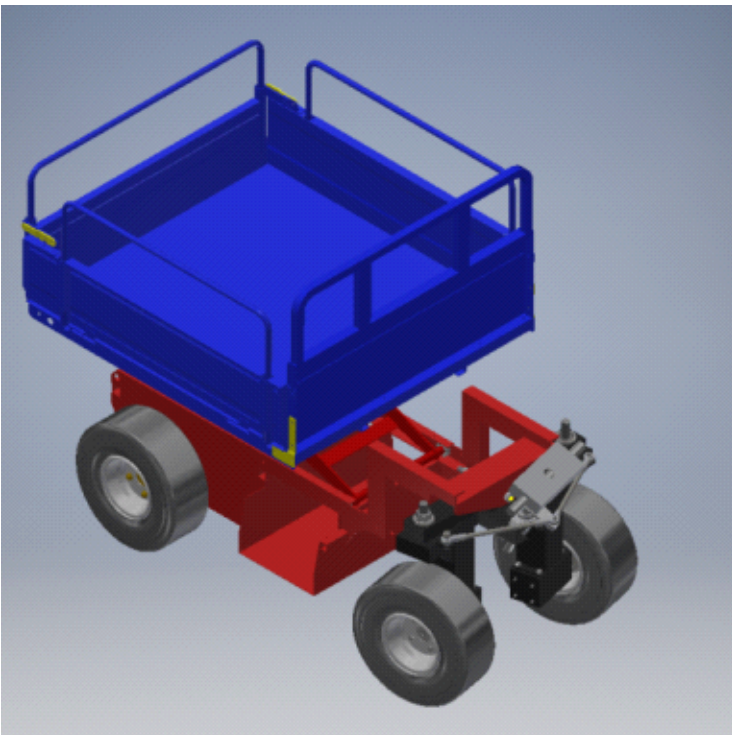
<그림13> 서스펜션 톱니기어 방식으로 개선

- 전자식 브레이크가 적재량 500KG 하중을 버티지 못해 톱니기어 방식으로 개선함.

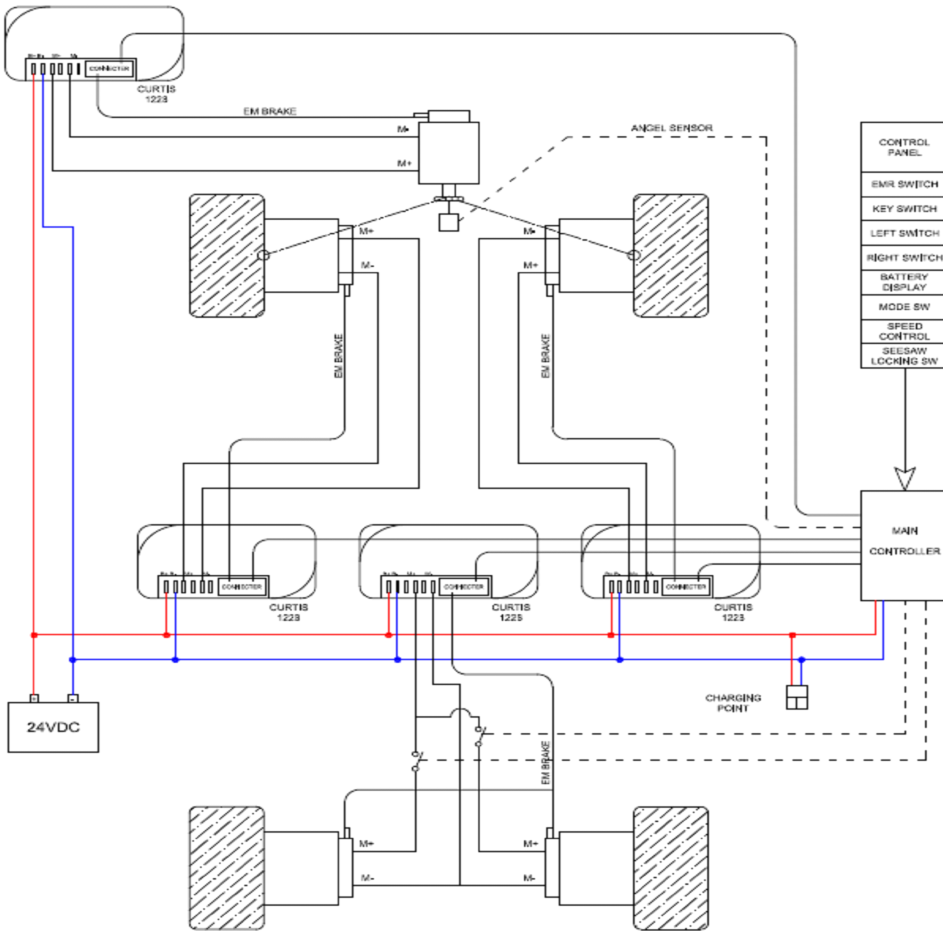
1. 요소 매칭 및 조립, 통합 시제품 제작 및 현장적용



<그림14> 조립 3D 설계도면



<그림15> 시제품 3D 설계도



<그림 16> 설계 다이어그램



<그림17> 시작품 완성 및 500KG 테스트

2. 과수원, 밭 토양에서 성능시험 및 문제점 도출



<그림18> 밭, 과수원 현장시험 테스트-1



<그림19> 밭, 과수원 현장시험 테스트-2



<그림20> 테스트중 파손발생

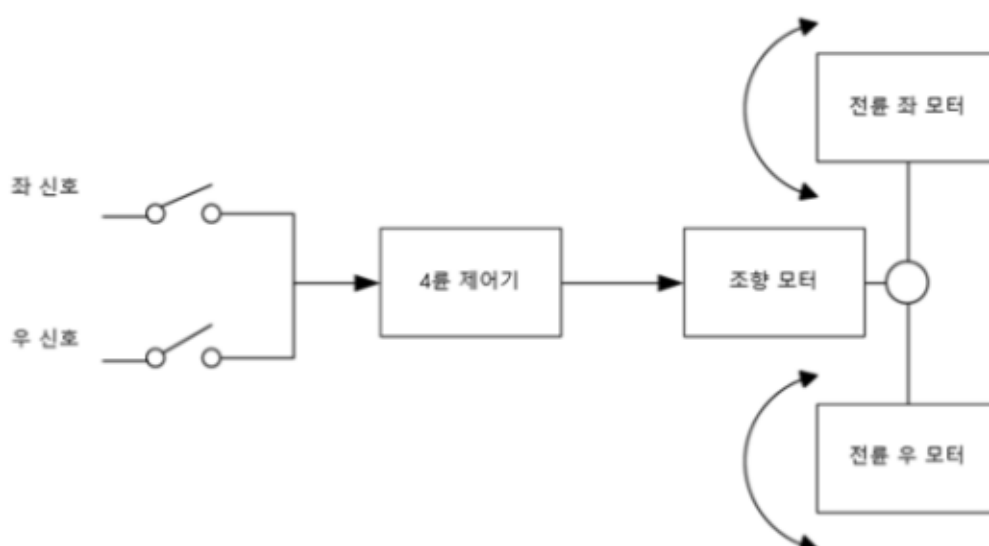
- 후륜 기어 하나가 차체 무게와 500KG 하중을 버티지 못해 파손됨
3차년도 개선사항에 포함시켜 안정성 내구성 향상 필요.

구분 (연도)	세부과 제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
3차 년도 (2021)	요소 및 통합 시 작품 설 계, 제 작, 산업 화	문제점 보완 및 실증시험	2년차 현장적용시 도출 된 문제점 검토	베벨기어, 감속기 파손 -> 감속기 일체형 하 이브리드 기어채택으로 해결
			부품개선 설계 및 제작	조향 메커니즘 개선, 차동기능 첨가, 시소 기 능에 Lock / Unlock 장치를 추가하여 안정 적인 주행이 되도록 변경.
		산업화 추진	<추가 성과>	플랫폼 활용으로 승용 주행형 동력분무기 개발(SB-900TH)
			공인 시험(농업기술 실 용화 재단)	농업기술실용화재단 SB-900TH - 종합검정(M-21-00853) 합격(21.10.12) 농업기술실용화재단 SB-4X4 - 안전검정(M-21-00961) 합격(21.11.09)

1. 4륜 조향 관련

가. 2차년도 조향메커니즘

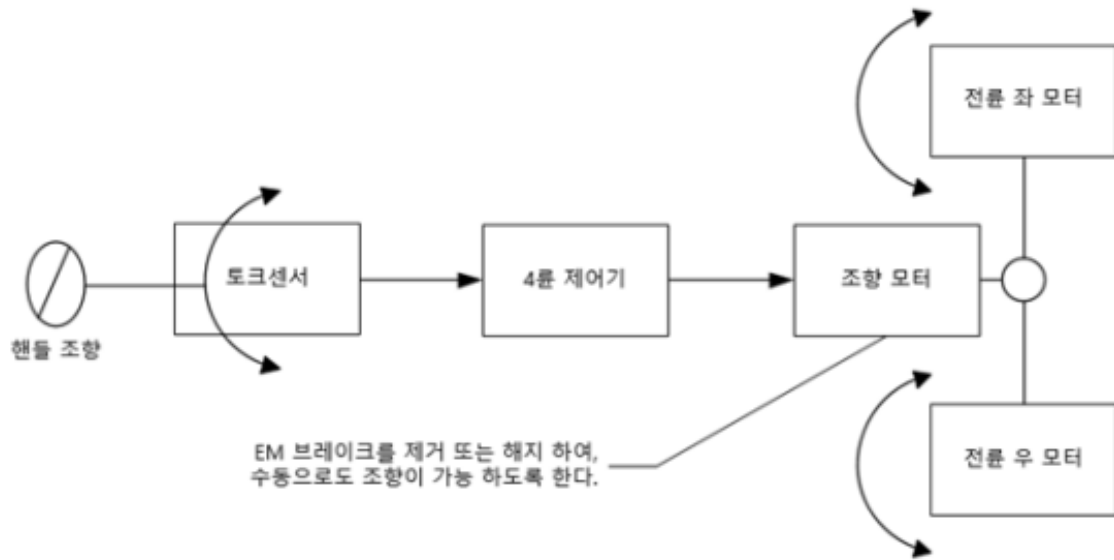
- 1) 조향은 좌/우 스위치로 동작을 하게 되며, 좌/우 스위치의 신호에 따라 조향모터가 정/역 방향으로 움직이게 된다.
- 2) 조향의 조작이 스위치로 이루어져 있어 타 동작 방법보다 센서류 또는 대차의 노이즈에 강하다.
- 3) 그러나, 고정된 속도로 움직이게 설계 되어 있어, 미세 조정이 어렵고, 노면이 안좋아 핸들 스위치를 놓치게 되면, 원하는 방향으로 동작하는 것이 힘들다는 단점이 있다.



<그림36> 2차년도 조향 메커니즘

나. 3차년도 개선 조향메커니즘

- 1) 신호 스위치를 토크 센서로 교환하여, 전기 차량 핸들 조정과 같이 조향 방법을 변경하였다.
- 2) 2차년도에 사용된 스위치 조작법에 비해, 센서의 고장률이 높아지게 되어, 관련 부분을 하기 와 같이 개선 할 예정이다.
- 3) 토크 센서가 문제가 있어도, 조향을 수동으로 조작할 수 있게 하여 혹시 있을 안전 사고에 대처 할 수 있게 한다.

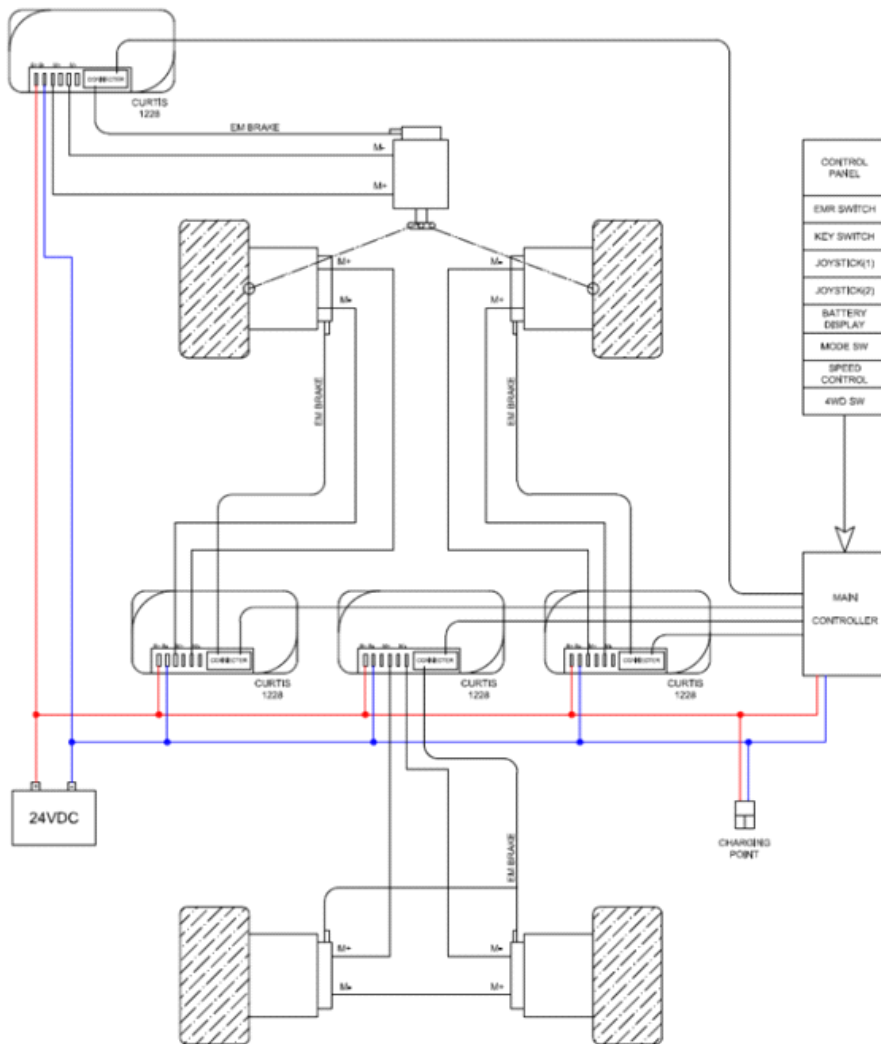


<그림37> 3차년도 개선 조향 메커니즘

나. 2차년도 구동 메커니즘

- 1) 초기 구동 컨셉의 문제점을 개선하기 위하여, 조향 부분에 조향각을 알 수 있도록, 조향 센서(저항타입)를 설치하여, 조향각에 따라 좌/우 앞바퀴의 속도를 조절하게 한다.
- 2) 험로 탈출 시 4륜 구동을 구현하기로 결정하였고, 이를 위해 차동 제어를 직구동으로 변경하고, 일정 범위 이상의 조향각이 입력되면 양쪽 바퀴 중 한쪽을 자유롭게 풀어 자연스러운 회전이 되도록 구현하였다.
- 3) 4바퀴를 동시에 같은 속도로 동작하게 하는 험로 탈출 기능을 탑재 하여, 험로에서 강한 구동을 보여 줄 수 있게 제작 하였다.

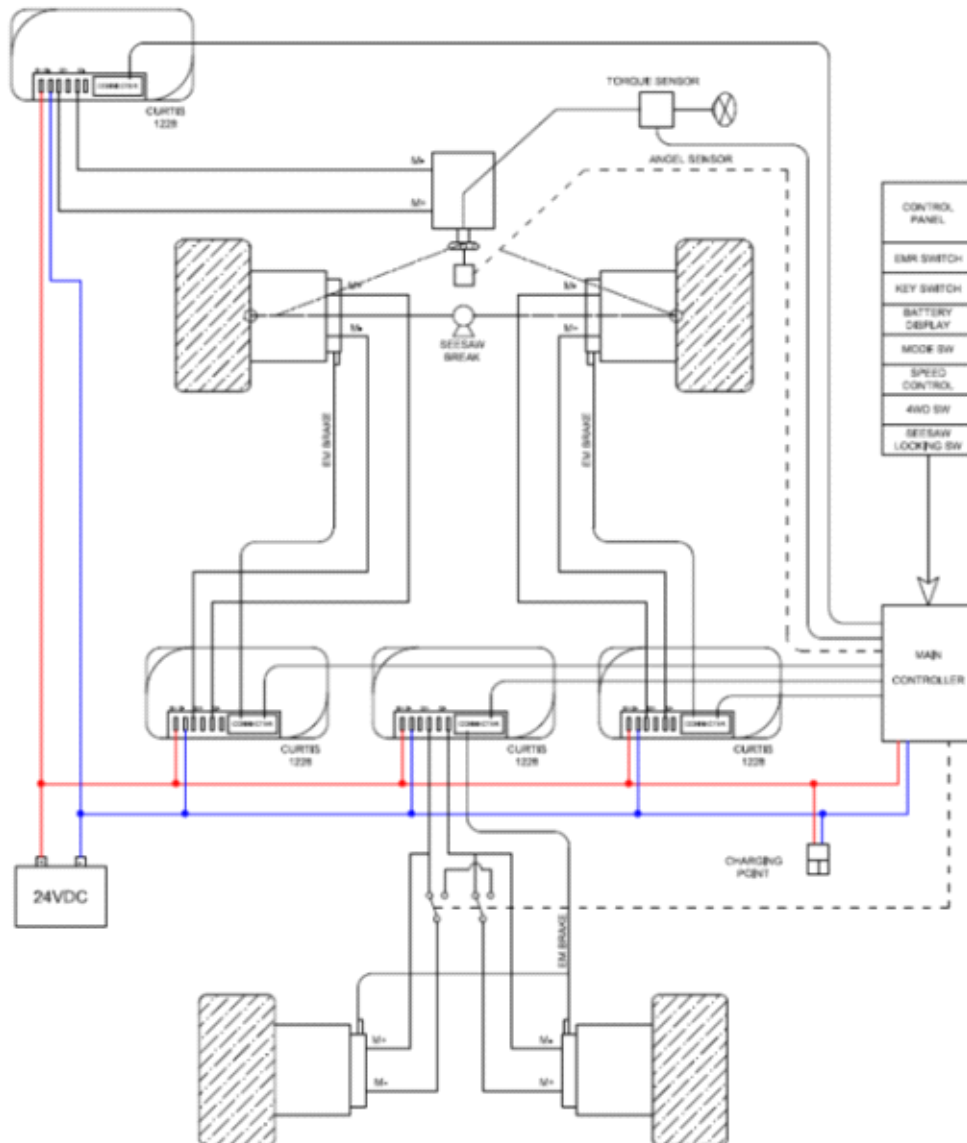
그러나 차량의 차동 제어를 포기함으로써, 바퀴를 풀어주는 임계 값에서의 대처 동작이 부드럽지 않게 되고, 조향각 센서의 고장 또는 오프셋 값의 변경 오류 등에 대처 할 수 없게 되는 단점이 발생하였다.



<그림39> 2차년도 구동컨셉

다. 3차년도 구동메커니즘

- 1) 2차년도 문제를 해결하기 위하여 대차를 다시 차동 구성으로 변경하고, 4륜 기능이 될 수 있도록, 직 구동으로 회로를 변경 구성하였다. 모터 컨트롤러에서, 4륜과 차동을 구분하여 출력을 내는 프로그램을 설계.
- 2) 차량 앞 바퀴의 시소 기능을 LOCK하고 UNLOCK 하는 기능을 추가 하여 많은 무게를 실었을 때, 안정적인 주행이 되도록 개발.



<그림40> 3차년도 구동컨셉

3. 추가성과 - 승용 주행형 동력분무기 SB-900TH 개발



- 밭, 과수원 등 농경지에서의 주행능력이 향상된 4륜 독립구동 전동운반차의 개발로 공유되는 기술로, 최근 들어 소비자들에게 인기가 많고 매출력이 극대화된 샤인머스켓 포도 농가에서 필요로 하는 제품인 3륜승용 자주형동력분무기 모델을 개발하였다.
- 고랑이 있는 농장 현황에 맞추어 기존 플랫폼을 바탕으로 3륜으로 제작되었으며 고랑 높이를 고려하여 앞바퀴는 높낮이 조절이 가능합니다. Youtube에 동영상을 올려두고 홍보를 하여 많은 문의가 오고있는 상황입니다.

3.2 SB-900TH 종합검정 시험 인증

제 M-21-00853호

농업기계 종합검정 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 이원식
- 나. 사업자등록번호 : 210-04-76895
- 다. 주소 : 충청남도 천안시 서북구 성환읍 와룡길 5
- 라. 상호 : SB산업

2. 검정 용도의 제품

- 가. 기종명 : 주행형동력분무기
- 나. 형식명 : SB-900TH
- 다. 형식 및 규격 : 승용자주형, 약액탱크용량 200 L

3. 검정번호 : 21-MG-182

4. 검정성적 : 불임

5. 검정 결과 판정: 종합검정 관련 기준에 적합

「농업기계화 촉진법」 제9조 제1항 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 검정 신청한 농업기계에 대한 종합검정 성적입니다.

2021년 10월 12일

농업기술실용화재단 이사장



3,2 SB-4x4 안전검정 시험 인증

제 M-21-00961호

농업기계 안전검정 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 이원식
나. 사업자 등록번호 : 210-04-76895
다. 주소 : 충청남도 천안시 서북구 성환읍 와룡길 5
라. 상호 : SB산업

2. 검정 용도의 제품

- 가. 기종명 : 농업용동력운반차
나. 형식명 : SB-4X4
다. 형식 및 규격 : 보행4륜구동형 전동기식, 적재정량 400 kg

3. 검정번호 : 21-MS-157

4. 검정성적 : 불임

5. 검정 결과 판정 : 안전검정 관련 기준에 적합

「농업기계화 촉진법」 제9조 제1항 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 검정 신청한 농업기계에 대한 안전검정 성적입니다.

2021년 11월 09일

농업기술실용화재단 이사장



3.3 브로슈어(카탈로그) 제작, Youtube 시연 동영상 홍보 및 정부지원 용자 대상기종 신청

ISO 9001 인증기업

SB 농용동력운반차 편이장비

▶ 다목적 농용동력운반차(농업인 맞춤 적재함)
◆ 정부지원 용자기종 ◆ 발명특허품

★ 편이장비 정부지원 대상기종 ★ 국립농업과학원 검정승인품 ★

▶ SB-300T



신제품

▶ SB-500T
발명특허품



신제품

4륜 서스펜션
3륜 전환가능

▶ SB-3000T 발명특허품



▶ SB-2000T



▶ SB-5000T
발명특허품



신제품

특징

- ▶ 동력분무기(SB-300H, SB-5000H) 탈부착 가능
- ▶ 고압 컨트롤러 장착, 긴급정지 가능
- ▶ 기어식 동력전달
- ▶ 무소음, 무진동 농산물 운반으로 상품성 최적
- ▶ 서스펜션 조절장치
- ▶ 제자리 360도 회전가능
- ▶ 고정속도 자동주행가능
- ▶ 최대속도 조절, 충전중 운행제한
- ▶ 배터리 표시(B.D.I) 기능

용도

- ▶ SB-2000T, SB-300T 3륜, SB-3000T 오이, 고추, 토마토, 수확운반
- ▶ SB-500T, SB-5000T 포도, 블루베리, 참다래 수확운반

모델	SB-2000T	모델	SB-300T, SB-3000T	모델	SB-500T, SB-5000T
규격	폭410x길이1,560x높이1,560	규격	폭410x길이1,450x높이430~815	규격	폭800x길이1,670x높이480~870
배터리	264Ahx2	배터리	804Ahx2	배터리	1004Ahx2
모터	250W	모터	250W, 400W	모터	250Wx2, 400Wx2
충전기	DC24V 자동충전기	충전기	DC24V 자동충전기	충전기	DC24V 자동충전기
적재량	80kg	적재량	120kg	적재량	180, 250kg

본사 공장 : 충남 천안시 서북구 성환읍 외룡길 5
TEL : 041-556-0700 FAX : 041-556-0750
E-mail : sb8000@naver.com http://www.sbind.kr

SB산업 (우수발명품 제조업체)
Spray Best

A/S보안 * 본 제품은 품질 및 성능 향상을 위하여 예고없이 변경될 수 있습니다.

ISO 9001 인증기업 http://www.sbind.kr

우수발명특허 개발품

특허품 친환경 승용 포도전용 용 분무기

● 종합검정 승인품(농촌진흥청, 농업기술실용화재단)

- 편이장비 정부지원 대상 업체
- 정부사업 농기계 공급지원 기종
- 녹색산업 친환경 우수 농기계
- 정부용자 등록 업체
- 서울대학교, 충남대학교 협동업체

▶ SB-900TH(승용 포도전용 효자분무기)

▶ SB-500TH3륜



▶ SB-3000TH




▶ SB77WP2륜



SB산업 (우수발명품 생산기업)
Spray Best








No.33




회사 연혁

1990. 02. 01 하우스 농작물 연면시비 및 방제 연구소 창립
1993. 02. 05 비닐하우스용 비닐 의장등록 제 13686호 외 32건 등록
1995. 01. 16 비닐하우스용 필기장치 특허 제 081386호 등록
2000. 08. 17 비닐하우스용 손수레 막걸리분무기 특허 제 0271433호 등록 - 우수발명특허 선정
2000. 12. 29 SB산업(명인시비 및 방제) 설립
2004. 06. 14 농약이 및 폭 조압이 가능한 동력분무기 특허 제 0437472호 등록 카 10건
2007. 12. 28 농약분무기 중앙회 회장 표창
2011. 03. 16 중소기업 중앙회 회장 표창
2012. 07. 01 공장 확장 이전 - 충남 천안시 서북구 성환읍 외룡길 5
2013. 05. 20 농림 축산 식품부 장관 표창
2013. 09. 06 ISO 9001:2008 / KS Q ISO 9001:2009
2017. 11. 15 수확용 직경차 특허 제10-1799192호
2021. 04. 08 독립구동 전동운반차 특허 제10-229092호

특허 현황



우수발명특허 개발품 ISO 9001 인증기업

특허품 친환경 승용 포도전용 용 분무기

● 정부지원 용자 기종(농림축산 1년 4차 4년 분할 2차) ● 종합검정 승인품(농촌진흥청, 농업기술실용화재단)

★ 분사위취 및 각 자유!! ★ 회오리 분무!! ★ 균일한 미립자 분무!

◆ 승용자주형 동력분무기 (포도 전용)

▶ SB-900TH

특징

- ▶ 우수발명특허 포도 효자분무기는 연면시비, 방제 및 운반겸용 가능
- ▶ 조향바퀴 높낮이를 조절하여 이랑, 멀칭 및 비닐보호
- ▶ 3륜승용은 분무주행시 직진운전이 용이함
- ▶ 상시 3륜구동(DC24V x 400W x 3EA)으로 주행성이 탁월하다.
- ▶ 3단계 거름망으로 미세노출 사용가능(작업분무시 막힘 없음)
- ▶ 중앙분배 호스 연결식으로 노출 이동 및 구성이 자유롭고 분무입자가 균일하다.
- ▶ 회오리 간개식 미세분무로 부착성, 침투성, 확산성이 탁월하다.
- ▶ 분무 약액탱크 탈부착 가능
- ▶ 고압 컨트롤러 장착, 긴급정지 가능
- ▶ 운반차는 무소음, 무진동 농산물 운반으로 상품성 최적
- ▶ 약액탱크 용량 : 200L

용도

- ▶ 포도, 블루베리, 참다래 연면시비 방제와 농산물 운반

SB산업(우수발명품 생산기업) 03

우수발명특허 개발품 ISO 9001 인증기업
특허품 친환경 승용 포도전용 분무기
 ● 정부지원 용자 기증(농협등자 1년 개지 4년 구분 상환 년 2%) ● 종합검정 승인품(농촌진흥청, 농업기술실용화재단)
 ★분사위치가 각 자유!! ★화오리 분무!! ★균일한 미립자 분무!



▶ SB-900TH 분사장면



▶ SB-900TH 포도농장 시연

04 • SB산업(우수발명품 생산기업)

SB산업(우수발명품 생산기업)•05

SB산업 (우수발명품 생산기업) ISO 9001 인증기업
 Spray Best

◆ SB-900T 농용 전동운반차 (약액 탱크 탈, 부착형)



▶ 좌, 우로 확장하면 콘테이너 6개 적재가능



▶ 덩크시 앞 차체를 올려서 편리하게 수동으로 슬라이딩 덩크 가능

SB산업 (우수발명품 생산기업) ISO 9001 인증기업
 Spray Best

◆ 특허품 친환경 승용 포도전용 효자분무기

• SB-900TH 사양

항 목	내 용	
모 터	DC 24V-400Wx3 EA	
배터리	DC 12V-100Ahx4 EA	
타이어	16.5x6.5-8	
타이어폭/mm	1,028(최대폭)	
적재할규격	2200(L)x960(W)x1370(H)	
노출대장치	폭 : 1,000~1,500(선택 및 조절 가능), 높이 : 1,000~1,500(조절가능)	
차체중량	505kg	
최고속도	(전진)1단3.9km/h, 2단6.8km/h, (후진)3.3km/h.	
충전기	24V-17A	
엔진	형식	GX160
	사용방법	자동, 수동
펌프	3번 피스톤식/26L/3800 kpa	
노출장치	원터치 광폭조절 가능	
노출	일산/10두구	
거리계	출입2개, 토출2개	
약액통	200L	

※ 기계성능 향상을 위하여 예고없이 사양이 변경될 수 있습니다.

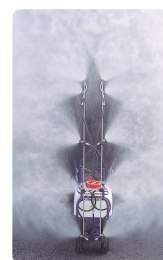
06 • SB산업(우수발명품 생산기업)

SB산업 (우수발명품 생산기업) ISO 9001 인증기업
 Spray Best

◆ 자주형 동력분무기 (포도, 블루베리)



▶ SB-300TH



▶ SB-3000TH



▶ SB-300H

특징

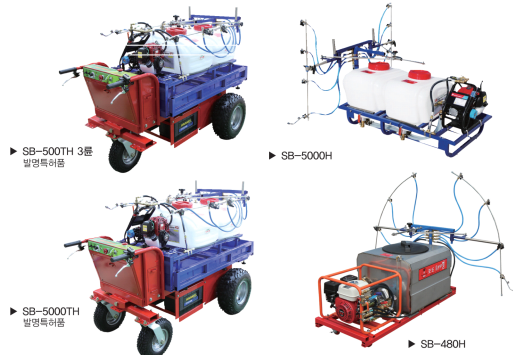
- ▶ 우수발명특허 효자분무기는 엽면시비, 방제 및 윤반결음
- ▶ 중앙분배 호스 연결식으로 노출 이동 및 구성이 자유롭고 분무입자가 균일하다.
- ▶ 화오리 안개식 미세분무로 부착성, 침투성, 확산성이 탁월하다.
- ▶ 동력분무기(SB-300H, SB-3000TH) 탈부착 가능
- ▶ 고급 컨트롤러 장치, 간담장치 가능
- ▶ 무소음, 무진동 농사를 윤반으로 상품성 최적
- ▶ 고경속도 자동주행 가능(SB-300H, SB-3000TH 3분)

사양

모 델	SB-300TH, SB-3000TH	충전기	DC24V 자동충전기
규 격	폭410x깊이1,450x높이 430~815	적재량	120kg
배터리	DC12V 80Ahx2	탱크용량	55L
모 터	SB-300TH DC24V 250Wx1, SB-3000TH DC24V 400Wx1		

SB산업(우수발명품 생산기업)•07

◆ **자주형 동력분무기 (포도, 블루베리, 참다래 전용)**



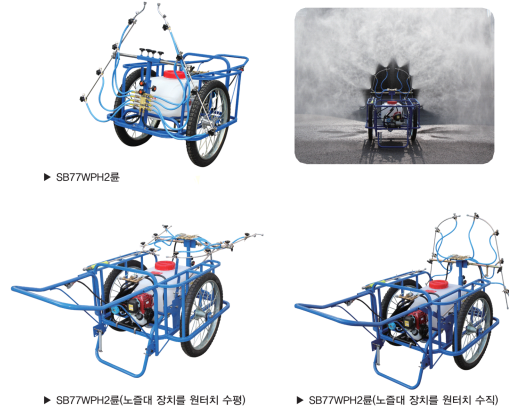
- 특징**
- ▶ 우수발명특허 효자분무기는 엽면시비, 방제 및 운반겸용
 - ▶ 중앙분배 호스 연결식으로 노즐 이동 및 구성이 자유롭고 분무입자가 균일하다.
 - ▶ 회오리 안개식 미세분무로 부착성, 침투성, 확산성이 탁월하다.
 - ▶ 동력분무기(SB-5000H, SB-480H) 탈부착 가능
 - ▶ 고급 컨트롤러 장착, 긴급정지 기능
 - ▶ 무소음, 무진동 농산물 운반으로 상품성 최적
 - ▶ 제자리 360도 회전기능, 고정속도 자동주행기능

용도 ▶ 포도, 블루베리, 참다래 엽면시비 및 방제와 농산물 운반

모델	SB-500TH, SB-5000TH, SB-480H
규격	폭800~1,700×길이1,670×높이 1,030~1,600
배터리	DC12V 100Ah×2
모터	DC24V 400W×2
충전기	DC24V 자동충전기
적재량	250kg
탱크용량	110L, 200L (SB-480H)



◆ **동력분무기 (포도, 블루베리 전용)**



▶ SB77WP2를(노즐대 정치를 원터치 수정) ▶ SB77WP2L를(노즐대 정치를 원터치 수정)

◆ **신제품 SBWPH2를 우수발명특허 포도전용 효자분무기**

- 터널 이차형 노즐대 장치를 원터치로 눌러 포도 나무 사이로 열 이동하여 왕복 분무 작업으로 시간 단축됨.
- 아래에서 위로 미립자 엽면시비로 부착성, 침투성, 확산성이 탁월하다.
- 중앙분배 호스 연결식으로 노즐 이동 및 구성이 자유롭고 분무입력, 분무입자가 균일하다.
- 1인작업 양쪽분무로 노동력 및 작업시간 절감
- 미세 회오리 분무로 농작물 약해방지 및 토양오염 예방 및 생약/식물영양제 절감
- 일산 노즐상적으로 내구성 및 미립자가 탁월하여 분무 약액 50% 절감
- 3단계 거름망으로 미세노즐 사용가능

특허품 SB-4x4 (상시 4륜구동으로 험로 운전 탁월함)

◆ **SB-4x4 농용동력운반차**

특징

- 상시4륜구동 운전으로 다양한 농로 안전주행 가능
- 강력한 파워(모터 (24V-400W x 4 EA))
- 발명특허제품으로 조향성 향상
- 수동 슬라이딩 덤프 가능
- 유압 덤프 및 리프트기능 탑재(선택)
- 적재적량 : 400kg
- 적재함 3면 개방가능
- 적재함 좌, 우 확장시 콘테이너 6개 적재가능

모델명	농용 동력운반차	구분	2400W x 950 x 1050 (4륜구동)
형식	SB-4x4	차체중량	1127kg x 910 x 1050 (4륜구동)
동력	DC 24V 400W x 4EA	제동장치	클러치 전동 제동식
배터리	12V 100Ah x 4EA	최고속도	0 ~ 4.0 km/h
충전장치	수동 충전장치	충전장치	DC 24V 400W x 4
차체중량	400 kg	연속시간	연속 제동식
타이어	무릎타이어 : 16.5x4.0-8	충전장치	20'
타이어	공용타이어 : 16.5x4.0-8	타이어	0
타이어	무릎타이어 : 3375	연속시간	0
타이어	공용타이어 : 3375		



친환경 명품 엽면 시비 유SS킹

★노즐 분사송풍장치 개발 / 탑재로 더 넓게 안개분무가능★

- 스피드 스프레이어(보행형)
- 안전감속 승인품(농업기술 실용화 재단)
- 편이장비 정부지원 대상 업체
- 녹색산업 친환경 우수 농기계
- 정부사업 농기계 보급지원 기종
- 정부유자 등록 업체



▶ SB-88SSGI

• **SB명품88SSGI 특·장점**

- 안개분무(일산초미립자) 약액절감(50%) (좌우 18개)
- 안개분무(일산초미립자) 미립자 엽면시비로 확산성, 침투성, 부착성이 탁월
- 독립된 송풍전용 엔진(타이퍼(13ps))로 송풍량 (φ630mm) 자유조절가능함
- 최강의 파워 주행엔진 Honda 690타이퍼
- 안전감속 기계기어높이를 낮춰 전복 위험을 최소화

• **제품사양**

기종명	스피드 스프레이어(보행형)	주행, 분무용 엔진	Honda GX690
형식명	SB-88SSGI	송풍용 엔진	미쓰비시 GT1300PE
기체크기	2,750 x 950 x 1,050	변속단수	전진 3단, 후진 2단
용량	500L	분무기	영흥 100A



최강Honda 690

미쓰비시GT1300

영흥 100A

송풍노즐 익스텐션

- 유튜브 시연 동영상



검색



SB산업 포도 방제기

조회수 2,103회 · 2021. 11. 8.

👍 14 🗑️ 싫어요 ➦ 공유 📄 오프라인 저장 ≡ 저장 ...

- 정부지원 용자모델 가격집 등록

SB산업	2100032719760	SB-2000T	80	1,360	보행형(전동)
	2100032904463	SB-3000T	120	1,360	보행형(전동)
	2100037126723	SB-300T	120	1,280	보행형(전동)
	2100032998950	SB-5000T	180	2,640	보행형(전동)
	2100035949140	SB-500T	250	2,640	보행형(전동)
	2100049286880	SB-4X4	400	4,000	보행,4륜(전동)

SB산업	2100032904432	SB-2000TH	55	2,160	보행자주형
	2100032904487	SB-3000TH	55	2,160	보행자주형
	2100037126730	SB-300TH	55	2,160	보행자주형
	2100032999018	SB-5000TH	110	3,470	보행자주형
	2100035949171	SB-500TH	110	3,470	보행자주형
		SB-900TH	200	13,200	승용자주형

충남대학교

연구 개발 내용	<p>[1년차] 소요동력 이론 분석, 동력전달 모델링 및 시뮬레이션</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 차체 및 토양에 따른 소요동력 수학 모델링 ○ 변수에 따른 소요동력 계산 ○ 동력전달부 모델링 ○ 동력전달 효율 시뮬레이션, 감속부 설계 방향 제시 <p>[2년차] 기어응력, 피로해석 및 현장적용 시험, 시직품 현장적용시험 및 개선점 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 동력전달 시스템의 구조 분석 및 데이터 수집 ○ 토크 데이터에 의한 동력 산출 ○ 다양한 도로 조건에서 필요한 전력 계산 ○ 시뮬레이션 및 모델링에 의한 부품 선택 ○ 동력전달 프로세스 에 따른 부품 제안 ○ 진동센서를 이용한 진동수치 측정 ○ 바퀴를 돌리는 데 필요한 조향력 측정 <p>[3년차] 구조 안정성 평가, 현장 성능 시험 및 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 정적 및 동적 주행 시뮬레이션 ○ 전도 안정성 범위 산정, 정적 전도 각 측정 ○ 과수원, 현장 주행 및 조종 장치 테스트 ○ 진동, 기온 각도, 조종 장치의 힘 측정
----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. 소요 동력 분석: 차체 및 토양에 필요한 소요 동력의 수학적 모델링, 변수에 따른 필요 소요 동력 산정

1.1 서론

농업용 차량은 다양한 농업활동을 수행하기 위한 동력을 작업부에 전달한다. 세계 각국의 영농활동 증가로 오프로드 차량의 전반적인 수요가 증가하고 있다. 기계의 작동과 작업 조건에 따라 다양한 종류의 차량이 복합 농업 작업에 사용되어 왔다. 농업용 차량은 대부분 고동력으로 어려운 농업환경에 처한 고령·여성 농업인들이 이용하기에 불편하다. 만족스러운 구동력을 제공하기 위해서는 다양한 농업 작업패턴을 집중해 편리한 기계 개발에 앞서 동력 평가가 필수적이다.

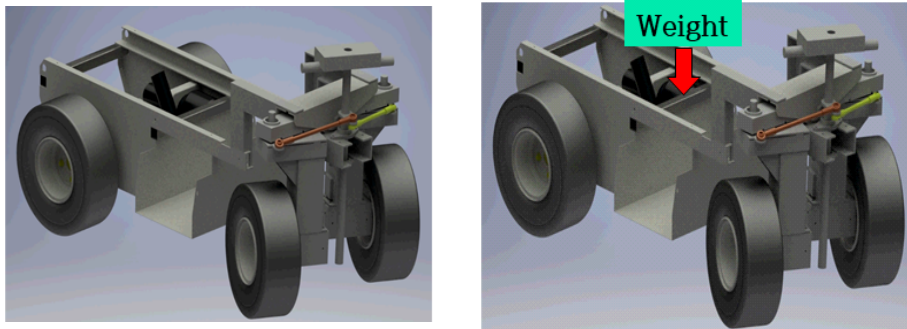
이밖에도 전기차는 기존 차량에 비해 동력전환이 높고 소음이 적으며 오염이 없다는 장점이 있으며, 모터는 다양한 부하유지 기능과 속도조절 기능을 갖춰 여러 기계장치를 제거 할 수 있다. 전기차의 핵심 부품인 구동모터의 품질이 전기차의 동력, 경제성, 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 모터 구동 시스템은 차량 구조의 크기에 영향을 받을 뿐만 아니라 복잡한 작동 조건도 고려된다. 따라서 구동모터의 고효율·저질량·고동력밀도·작은 크기·신뢰성·저비용 요구사항 외에도 높은 토크를 충족시키기 위해 다양한 자율주행 모터와 높은 과부하 요인이 필요한 차량을 시동·정지·상승시킬 수 있다.

전기차의 성공적인 설계와 성능 평가는 농작업에 필요한 동력에 달려 있다. 따라서 소형 전기차를 개발할 때는 농업 현장 조건에서 차량을 주행하기 위해 총력 값에 따른 모터 선택과 같은 매개변수가 필요하다. 따라서 전기차 모델의 개발은 다양한 주행 환경에서 차량의 전반적인 동력 요구량을 추정하는 데 사용할 수 있는 설계 차량의 성능을 설명하는 데 도움이 될 것이다.

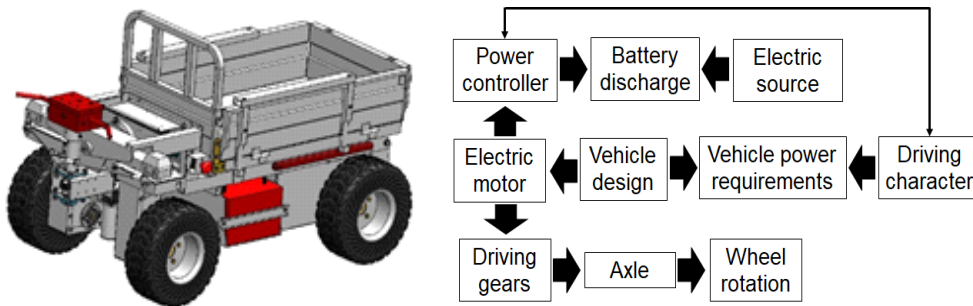
1.2. 재료 및 방법

1.2.1. 차량 구조와 동력 분석

소형 저용량(최대 하중 지지 용량 3,922.66 N) 농업 차량은 농작물 및 자재 운반용으로 설계되었다(그림 참조). 제안된 차량은 기어를 통한 직접 동력 전달 방식으로 설계되었다(그림 참조). 제안된 4륜 전기차의 힘 분석은 차체 및 토양 특성 이론에 따른 수학적 모델을 바탕으로 결정되었다. 본 연구에서는 부하 및 무부하 조건에서 토양 저항을 극복하기 위해 필요한 동력을 구하고자 하였다. 모터는 차량의 다른 매개 변수를 고려하여 계산된 값에 따라 선택되었다.



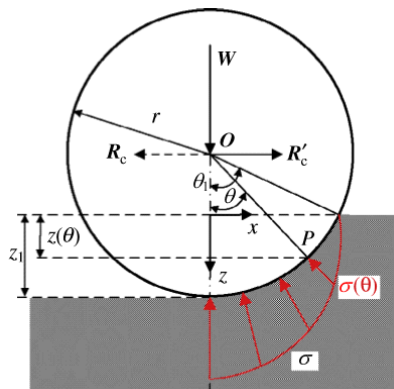
<소형 4륜구동 전기자동차의 부하 및 무부하 상태의 모델링>



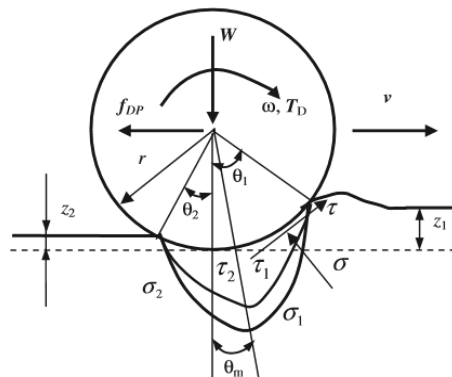
<4륜 전기차의 전반적인 동력 전달 개략도>

1.2.2. 차량 동역학적 분석

일반적으로 네 가지 힘이 차량 움직임에 영향을 미친다. 즉, 롤링 저항, 공기역학적 항력, 기울기 저항, 관성 저항이다. 회전 저항은 타이어 재료, 타이어 구조 및 노면의 함수이다. 도로 접촉 부위에서 차량 타이어 차체의 굴곡으로 인해 발생한다. 기계의 총 힘은 차량 휠과 토양 상호 작용에 따라 계산된다.



<Bekker의 wheel-soil 상호작용 모델>



<Wong-Reece의 wheel-soil 상호작용 모델 다이어그램>

여기서,

W = 수직 휠 하중 (N)

R_c = 바퀴에 작용하는 토양의 압축 저항 (N)

Z = 판 또는 바퀴의 침하 (m)

σ = 휠의 법선 방향에 작용하는 수직 응력 (Pa)

f_{DP} = 휠 축에 작용하는 차체 저항력 (N)

T_D = 휠 모터 및 감속 기어에 의해 생성되는 구동 토크 (N-m)

r = 휠 반지름 (m)

θ_1 = 지형을 따라 이동하는 휠 입력각 (deg.)

θ_2 = 토양 위에서 이동하는 휠 탈출각 (deg.)

θ_m = 바퀴에 작용하는 토양의 최대 응력의 각도 위치 (deg.)

τ = 휠 반경방향에 작용하는 전단 응력 (Pa)

v = 휠의 선형 속도 (m/s)

1.2.3. 동력 요구량에 대한 수학적 모델

소요동력은 아래 공식으로 계산한다.

$$P = (T \times W) / 9.549$$

여기서, P = 소요 동력 (W), T = 토크 (Nm), W = 속도 (rpm).

토크 측정을 위해 다음 방정식을 도출하였다.

$$F_{rolling} = F_{normal_force} \times C_r = M \times g \times C_r$$

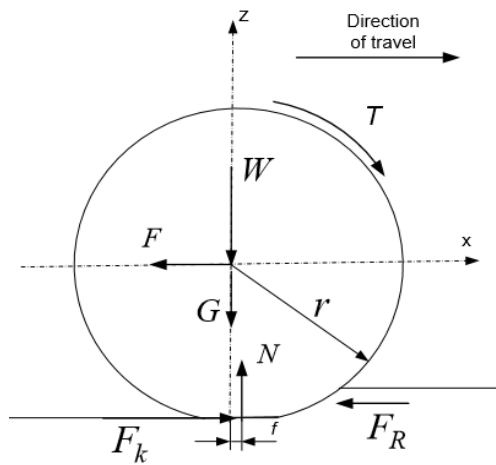
$$F_{aerod} = 0.5 \times \rho \times A \times C_d \times v_{vehicle}^2$$

$$F_{gravity} = M \times g \times \sin(\alpha)$$

여기서, $F_{rolling}$ = 구름 저항, F_{aerod} = 공기 저항, $F_{gravity}$ = 중력, C_r = 구름저항계수, C_d = 공기저항계수, M = 기계의 질량 (Kg), g = 중력가속도 (m/s^2), α = 등반각도.

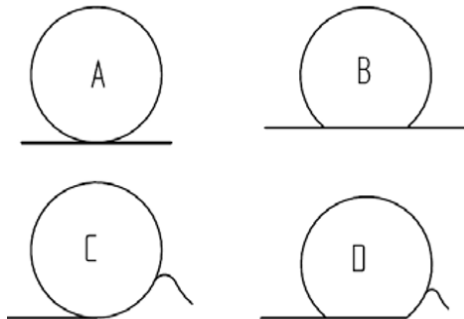
1.2.3.1. 구름 저항 결정

차량이 포장된 노면과 도로 위를 이동할 때, 중력과 관성력 뿐 아니라 타이어와 지면 사이의 회전저항 C_d 을 극복하기 위한 동력이 필요하다. 회전 저항은 바퀴와 차량의 움직이는 표면 사이의 구르는 움직임에 의해 차량이 극복해야 하는 반작용력이다. 회전 저항의 특성은 타이어의 재질과 움직이는 표면의 거칠기에 따라 달라진다. 토양 저항은 차량 타이어 트레드 유형, 속도, 환경 조건 등과 같은 다른 매개변수 때문에도 달라진다.



- G= 바퀴의 무게
- W= 휠에 가해지는 무게
- N= 휠의 정상 반응
- F_R = 휠과 토양 과의 저항력 합계
- F_K = 견인력
- T= 적용된 토크
- R= 바퀴의 반지름

<구동 휠에 작용하는 힘>



- (A) 단단한 지형을 주행하는 단단한 휠
- (B) 단단한 지형을 주행하는 변형 휠
- (C) 변형 가능한 지형을 주행하는 단단한 휠
- (D) 변형 가능한 지형 위를 주행하는 변형 가능한 휠

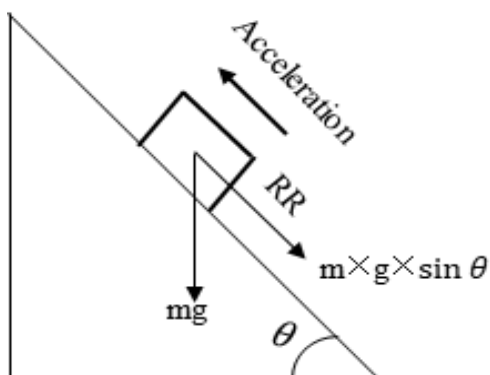
<휠-지형과의 관계>

1.2.3.2. 공기저항 계수

공기 저항 계수는 차량의 움직임에 작용하는 공기의 점도 저항이다. 공기저항 계수는 공기역학적 요소와 속도 제곱에 따라 달라진다. 이번 연구에서 바퀴의 공기저항계수는 바퀴의 운동저항에 미치는 영향이 적고, 저속에도 큰 영향을 미치지 않기 때문에 무시할 수 있는 수준이었다.

1.2.3.3. 중력

가속력은 차량이 지정된 시간 내에 정지 상태에서 목표 속도에 도달할 수 있는 힘이다. 모터의 토크는 가속력과 직접 관련이 있다. 토크가 증가하면 차량이 특정 속도에 도달하는 데 필요한 시간이 줄어든다. 다음 방정식은 제안된 전기 자동차의 가속력을 예측하는 데 사용된다.



$$F_A = m \times a$$

$$m = GVW/g$$

$$F_A = \text{가속력}$$

$$m = \text{차량의 질량}$$

$$g = \text{중력 가속도}(9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$a = \text{가속도}$$

<경사면을 따라 이동하는 차량의 자유물체도>

1.2.3.4. 구름저항 계수

산업용 바퀴의 회전 저항을 정량화하는 데 도움이 되는 구름 마찰 계수가 있다. 이것은 다양한 재료에 대해 경험적으로 결정된 수치이며, 휠의 속도, 휠에 가해지는 하중 및 휠이 접촉하는 재료에 따라 달라질 수 있다. 구름 마찰 계수 또는 저항 계수는 휠과 휠이 굴러가는 표면 사이의 주어진 정상 힘에 대해 구름 저항이 얼마나 큰지 나타내는 지표이고, 접촉면의 종류에 따라 구름 저항 계수가 결정된다.

<다양한 접촉면에서의 구름저항 계수>

Contact surface	C_{rr}
Concrete (good/fair/poor)	0.010/0.015/0.020
Asphalt (good/fair/poor)	0.012/0.017/0.022
Macadam (good/fair/poor)	0.015/0.022/0.037
Snow (2 inch/4 inch)	0.025/0.037
Dirt (smooth/sandy)	0.025/0.037
Mud (firm/medium/soft)	0.037/0.090/0.150
Grass (firm/soft)	0.055/0.075
Sand (firm/soft/dune)	0.060/0.150/0.300

1.2.4. 매개 변수별 소요동력 계산

동력 요구조건은 제안된 차량의 설계 매개변수에 기초하여 계산된다. 다음 표는 소형 및 4륜 전기 자동차 설계를 위해 고려된 변수이다. 필요한 동력의 예측은 변수 사양에 따라 아래 수식으로 계산되었다.

<4륜 전기차 설계변수>

Calculation parameters	
Gross vehicle weight (N)	4314.93
Diameter of wheel (m)	0.38
Desired top speed (m/s)	0.83
Desired acceleration time	1.00
Maximum incline angle (α)	40 degrees (assumed)
Working surface	concrete, asphalt, and grass

총 견인력은 다음 방정식을 사용하여 계산된다.

$$W_T = F_{total} \times R_w \times R_f$$

여기서,

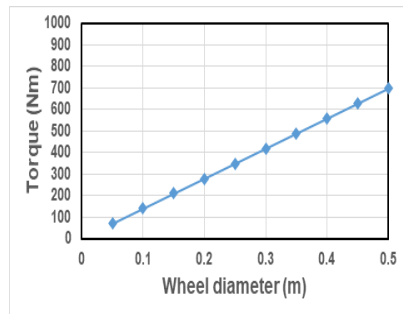
W_T = 휠토크 (Nm), F_{total} = 총 견인력, R_w = 휠 반경, R_f = 저항 인자

1.3. 결과 및 고찰

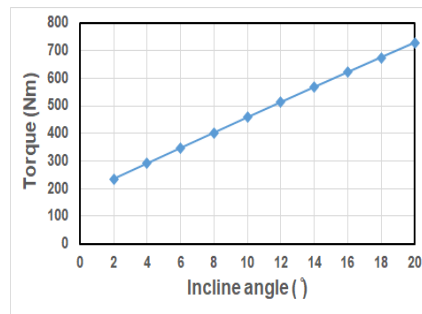
1.3.1. 소요동력에 영향을 미치는 매개변수의 영향

이론 수식을 활용하여, 전기 자동차의 필요 동력이 계산되었다. 값은 매개 변수(차량 중량, 타이어 크기, 휠 직경, 전방 속도, 도로 경사 및 노면)에 따라 달라진다. 계산된 토크의 특성은 회전 휠 속도에 따라 달라진다. 변화하는 힘의 특성이 그림에 나와 있으며, 결과는 변수 매개변수의 조건에 따라 동력이 달라짐을 보여준다.

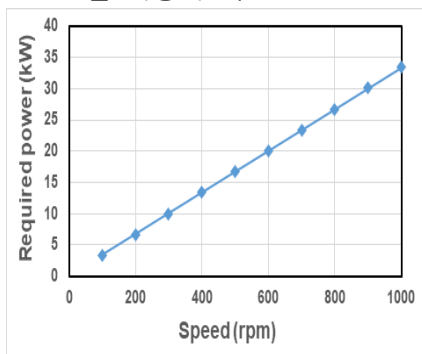
다양한 매개변수가 필요한 동력의 변화를 초래한다. 휠의 직경이 커지면 필요한 동력도 증가하여 휠 간의 관계를 유지하게 된다. 표면의 최대 경사각은 차량 바퀴의 토크 요구량을 변화시켰다. 원하는 차량 속도에 대해 모터가 필요한 동력을 생산해야 한다. 개별 구동 모터 토크의 합계는 계산된 휠 토크보다 커야 한다. 이러한 계산에 적합한 방법은 유의해야 하며, 매개변수가 선택되었다.



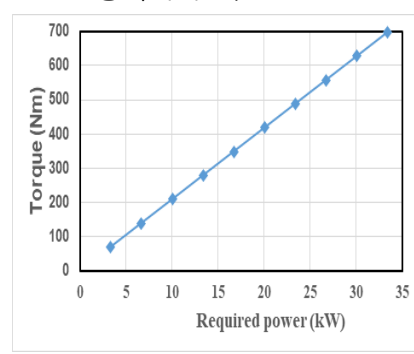
<휠 직경에 따른 토크>



<경사각에 따른 토크>



<EV에 대한 동력 및 속도 관계>



<토크 및 동력의 관계>

<계산된 매개변수에 따른 필요 동력 특성>

1.3.2. 토양 조건의 소요동력에 대한 영향

필요 동력은 토양 표면 조건으로 인해 변화되었다. 4륜 전기차의 경우 적재 조건 없이 163.87N-m에서 토크가 계산되었다. 하중, 경사, 표면 조건에 따라 소요 토크도 달라졌다. 구동 휠에서 지면으로 전달되는 토크를 통해 동력이 확인되었다. 휠은 휠과 접지 사이의 마찰 계수에 구동 휠의 반지름을 곱한 일반 부하와 동일한 최대 트랙토크를 전달할 수 있다.

<소요동력 계산 결과>

Steps	Calculated force
Rolling resistance (N-f)	43.15
Grade resistance (N-f)	375.99
Acceleration force (N-f)	365
Total tractive force (N-f)	784.14
Wheel torque (N-m)	163.87

2. 동력 전달 모델링 및 시뮬레이션: 동력 전달부 모델링, 동력 전달 효율 및 감속기 설계 방안

2.1. 서론

소형 차량은 주로 다양한 현장 작업에 사용된다. 따라서, 그 수요는 세계적으로 증가하고 있다. 일반적으로 농업 트랙터는 대규모 농업 현장에서 다양한 활동을 수행하기 위한 유틸리티 차량으로 사용된다 [15]. 그럼에도 농업경영비 증가와 농업의 고령화로 과수원 등 좁은 분야에서 농업활동을 하기가 상당히 어렵다. 현재, 부피가 큰 기계는 운전자와 노동자들에게 심한 부상을 입힐 수 있기 때문에, 특히 산간 지역을 중심으로 작업하기 위험하기 때문에, 저동력과 경제적인 전기 자동차의 개발이 농업에서 주요한 요건이다. 무거운 기계에 대한 의존도를 줄이기 위해, 소형 전기 구동 차량이 해결책이 될 수 있다. 농업용 차량의 동력 전달이 작업효율 판단에 가장 큰 영향을 미치는 사안으로 꼽힌다. 소형 전기차는 배터리로 작동하는 전기차로 설계되었다. 단일 기어 트레인은 최소한의 동력 손실로 높은 전송 효율을 달성할 수 있도록 제안된 차량을 제안하였다.

변속기 시스템에서, 기어와 스프로킷은 규정된 동력을 전달하기 위한 주요 전송 장치로 사용되기 때문에 중요한 역할을 한다[16]. 기어는 응용 분야 및 서비스 요구 사항에 따라 다양한 매개 변수를 사용하여 설계된다. 제안된 차량의 변속기 시스템은 기어 감속기와 함께 다양한 기어, 베어링 및 축으로 구성된다. 스퍼 기어는 동력 전달의 핵심 구성 요소로 간주된다. 스퍼 기어 쌍의 설계는 제조가 용이하며[17], 농업 기계에서 동력 전달 시스템의 지배적인 부분으로서 단일 및 다단계 기어열에 많은 연구가 수행되었다 [18-22]. 적절한 회전 속도와 토크를 고려하여 변속 장치가 동력 전달에 중요한 역할을 하는 전기 자동차에 다양한 유형의 모터가 적용되었다[23]. 차량의 설계와 개발은 전달 방식을 선택함으로써 개선될 수 있다[24]. 기어 시스템의 모델링 및 시뮬레이션은 동력 전송 시스템의 효율성을 개선하고 개발 및 개선에 필요한 시간을 줄이기 위해 다양한 소프트웨어를 사용하여 수행되었다[25].

따라서, 다목적 농업용으로 4륜 전기차를 제안하고, 시뮬레이션을 통해 다양한 스퍼기어에 대해 제안 차량의 동력 전달 시스템의 전반적인 효율과 동력 손실을 분석하였다. 즉, 본 연구는 설계된 스퍼 기어의 톱니 수와 얼굴 너비를 변경하여 기어 모듈의 효과를 검증하는 것을 목표로 한다.

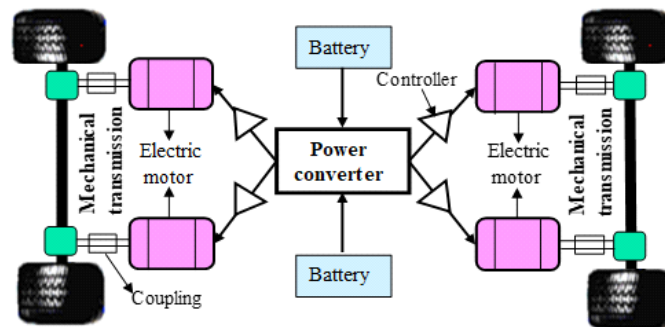
2.2. 재료 및 방법

2.2.1. 동력 전달 시스템의 구조 및 원리

4륜 전기 자동차는 특정 차량 매개 변수와 현장 운영 환경을 고려하여 개발되었다. 4WEV의 주요 제원은 아래 표와 같다. 차량은 주로 구동 장치, 본체, 동력 전달 장치로 구성되어 있다. 이 차량의 구동 장치는 전기 회로를 통해 제어되었다. 4WEV의 동력 전달 장치의 주요 요소는 직류 모터, 배터리(4배터리), 전원 컨버터 및 커플링이었다. 동력은 두 기어 사이의 직접적인 결합에 의해 전달되었다. 배터리와 모터에서 발생하는 필요한 동력은 기어를 통해 각 휠에 직접 공급되었다. 4WEV의 동력 전송 시스템 개요는 그림에서 볼 수 있다. 4WEV를 테스트하기 위해 앞바퀴와 뒷바퀴에 각각 스퍼 기어(72.3mm 직경, 27개의 톱니, 1:1 비율)와 베벨 기어(64mm 직경, 20개의 톱니, 1:1 비율)가 사용되었다.

<프로토타입 4WEV의 주요 제원>

Item	Specification
Vehicle dimension (Length × Width × Height) (m)	1.8 × 0.85 × 0.7
The gross weight of the vehicle (kg)	440
Maximum load capacity (kg)	400
Maximum forward speed (km/h)	3
Single DC motor (24 V)	0.40 kW @ 3400 rpm
Battery (amp)	100
Wheel diameter (m)	0.38



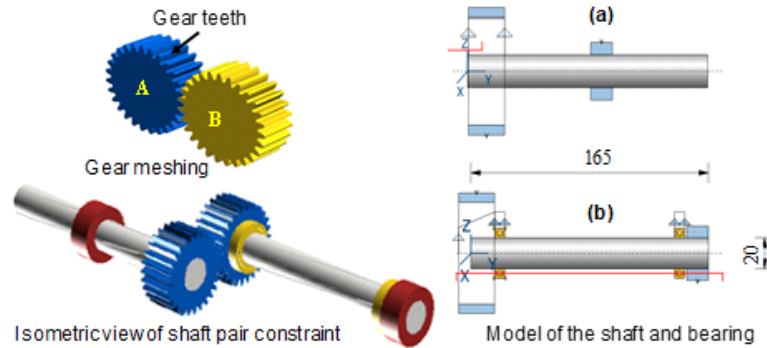
<4EV의 동력 전달 시스템>

2.2.2. 동력 전달 시스템 모델링

축과 스퍼 기어는 2017년 버전의 KISS소프트 드라이브트레인 소프트웨어(KISSsoft AG, Bubikon, Schwyz, Switzerland)를 사용하여 모델링되었다. 축의 길이와 직경은 각각 165mm와 20mm였다. 스퍼 기어는 15, 18, 21, 24, 27 및 30개의 톱니 수(T)로 설계되었으며, 두 측면 폭은 15mm와 25mm이다. 제안된 차량의 작업 성능을 예측하기 위해 두 가지 사례 연구가 조사되었다. 변속기 시스템의 효율은 기어의 톱니 수와 얼굴 너비를 기준으로 평가되었다. 제안된 기어 메커니즘에서 높은 효율을 달성하기 위해 1차 테스트를 위해 기어비를 1:1로 선택하였으며, 샤프트 및 기어의 사양은 다음 표와 같다. 다양한 기어 크기를 사용할 때의 효과를 모니터링하기 위해 설계된 샤프트와 기어가 시뮬레이션되었다. 샤프트 쌍 구속조건과 샤프트 및 베어링 모델의 등축도가 아래 그림에 나와 있다.

<축 및 기어 주요 제원>

Item	Specification
Gear type	Spur gear
Gear module (mm)	3.2, 2.7, and 2.2
Gear teeth (T)	15, 18, 21, 24, 27, and 30
Gear material	SM45C
Tensile strength (MPa)	640
Elastic modulus (GPa)	207
Yield strength(MPa)	370
Gear ratio	1:1
Poisson's ratio	0.3
Face width (mm)	15 and 25
Shaft length and diameter (mm)	165 and 20

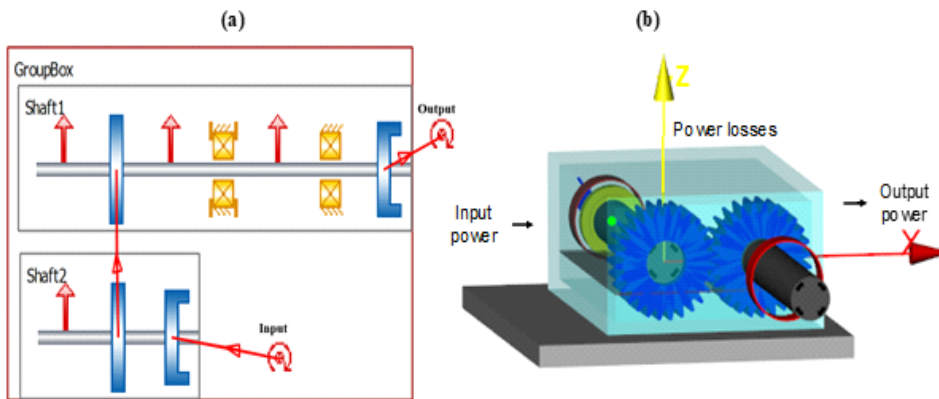


<기어 및 샤프트 쌍 구속조건 모델: (a) 축 기구학적 모델, (b) 베어링 및 커플링 포함 샤프트 모델>

2.2.3. 동력 전달 시스템의 시뮬레이션 절차

이 변속 장치는 제안된 변속기 시스템의 전반적인 효율과 동력 손실을 제어하기 위해 설계되었다. 구동 기어, 구동 기어, 기어박스는 SM45C를 사용하여 설계되었다. 기어박스의 효율은 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 사용하여 계산되었다. 기어박스의 하우징 벽 두께는 5 mm로 가정하였고 열전도율은 50 w/m·K로 설정하였다.

차량의 동력 전달 장치를 위한 기어 트레인의 변속기 모델과 기어박스 모델은 다음 그림과 같다. 동력전달 모델에서 커플링은 전체 동력전달 모델에서 입력 동력 및 동력 동력을 보여주기 위해 사용되었다. 토크는 입력축으로 전달되었고, 전송 후 동력축으로 동력이 이동되었다(그림 a). 이 과정에서 추링, 와인디지, 슬라이딩 마찰, 롤링 마찰 손실 등 내부 파라미터 효과로 일부 동력이 손실된다. 시뮬레이션 프로세스는 5, 10, 15 Nm의 토크 값에 대해 수행되었다.



<(a) 메인 기어 시스템의 동력 전달 모델 (b) 동력 전달 기어박스 모델>

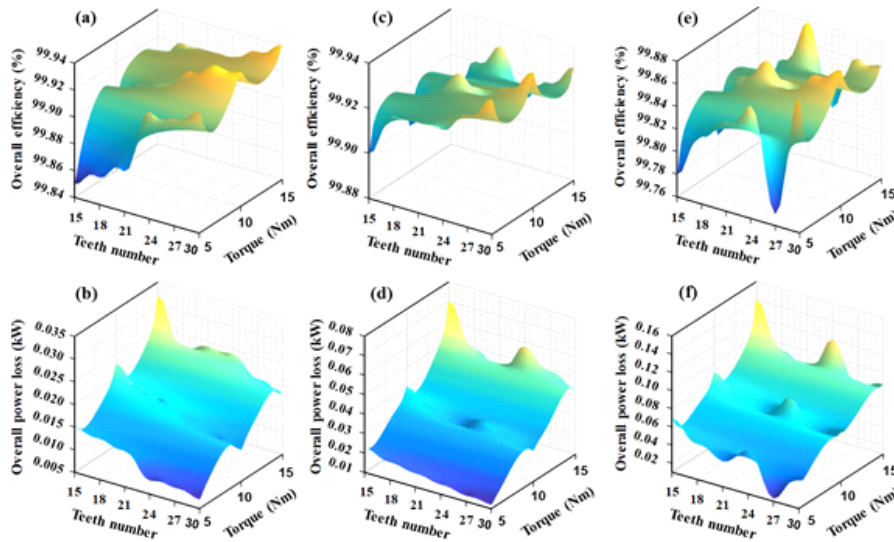
2.3. 결과 및 고찰

2.3.1. 잇수의 영향

3D 표면도는 3.2, 2.7 및 2.2 mm의 기어 모듈에서 톱니 숫자의 효과를 보여준다. 맵은 5, 10, 15Nm의 추정 토크 값에 대한 기어 크기 및 톱니 수를 기반으로 전반적인 효율과 동력 손실을 나타낸다. 이 실험에 사용된 최소 잇수는 15개인 반면, 최대 잇수는 30개였다.

3.2mm 기어 모듈은 톱니 수가 가장 높은 99.94%의 최고 변속기 효율을 달성했다. 이와 대조적으로 가장 낮은 전달효율은 가장 낮은 잇수에서 99.85%로 나타났다. 잇수의 차이로 인해 초과 손실의 약 9%가 발생했다. 반대로, 시뮬레이션 결과는 30개의 톱니 기어에 대해 0.032 kW의 최대 동력 손실을 보여준 반면, 최소 동력 손실은 15개의 톱니 기어에 의해 달성되었다. 2.7mm 기어 모듈에서도 비슷한 추세가 관찰되었다. 동력 손실이 0.058kW, 0.04kW일 때 달성된 최대 전송 효율과 최소 전송 효율은 각각 99.93%와 99.89%였다.

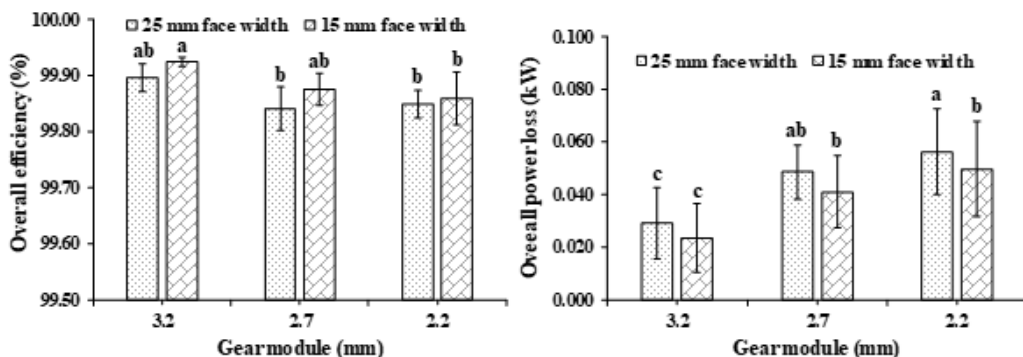
마찬가지로, 2.2mm 기어 모듈의 시뮬레이션에서 최대 및 최소 전송 효율은 99.88%와 99.78%로 계산되었으며, 전체 최대 및 최소 동력 손실은 0.087kW와 0.07kW였다. 시뮬레이션 결과는 전반적인 효율 성과 동력 손실이 반비례한다는 것을 증명한다. 톱니 수가 높은 기어는 높은 전송 효율을 가능케 했지만, 동력 손실도 증가시켰다. 시뮬레이션에서, 토크 값이 동력 전달 시스템의 전반적인 성능에 영향을 미치는 것을 관찰했다. 높은 토크 값은 높은 동력 손실과 함께 최대 효율을 초래하였다. 하지만, 전체 전달 시스템의 내부 손실 발생 요인의 변화로 인해, 결과는 다른 패턴을 보여주었다.



<총 효율 및 동력 손실 맵: 3.2 mm (a)-(b), 2.7 mm (b)-(c), 2.2 mm (c)-(d) 스퍼 기어 모듈>

2.3.2. 기어 면폭의 영향

면 폭이 다른 다양한 스퍼 기어 크기에 대한 전체적인 효율과 동력 손실은 아래 그림과 같다. 그래프는 15mm와 25mm의 페이스 폭에서 기어 변속 성능의 효과를 보여준다. 면폭이 15mm일 때 동력 손실을 최소화하면서 전체적인 효율이 높았다. 반면, 25mm 전면 폭은 높은 동력 손실과 함께 상대적으로 낮은 효율을 보였다. 본 연구를 통해 3.2mm 기어 모듈의 전체 효율은 25mm와 15mm 페이스 폭에서 각각 99.90%, 99.92%로 나타났다. 효율 차이는 얼굴 폭 10mm 차이가 2%로 낮은 입력 동력과 부적절한 기어 톱니 맞물림 현상 때문이다. 또한 2.7mm 기어 모듈의 경우 면폭 10mm 차이에 대해 최대 4%의 차이가 관찰되었다. 얼굴 너비가 25mm인 2.2mm 모듈 기어의 경우 최대 동력 손실은 0.056 kW인 반면, 너비 25mm와 15mm인 3.2mm 기어 모듈의 경우 최소 손실이 관찰되었다($p \leq 0.05$).



<스퍼기어의 면 폭에 대한 총 효율(왼쪽) 및 동력 손실(오른쪽). 그림에서 평균값의 차이는 Tukey의 1원 비교($p \leq 0.05$)로 판정하고 서로 다른 문자로 표기하였음>

시뮬레이션 결과 3.2, 2.7, 2.2mm 기어 모듈의 경우 25mm 페이스 폭은 99.15%, 99.84%, 99.85%, 15mm 페이스 폭은 99.92%, 99.88%, 99.86%의 전체 효율을 보였다. 이에 반해 시뮬레이션 결과 3.3, 2.7, 2.2mm 기어 모듈의 25mm와 15mm 페이스 폭에 대해 각각 0.029, 0.049, 0.056 kW와 0.024, 0.041, 0.051 kW의 전체 동력 손실이 나타났다. 시뮬레이션 결과 최소 면폭의 대형 기어가 최대 변속기 효율을 달성했다.

동력 전달 기어의 소프트웨어 기반 분석은 제안된 다목적 농업 유틸리티 차량의 최적 설계를 위한 지침을 고안하기 위해 수행되었다. 다양한 크기의 스퍼 기어를 사용할 때의 효과를 분석하기 위해 단일 기어 트레인 드라이브 라인을 선택하였다. 최소한의 톱니 수를 가진 큰 기어일수록 더 나은 변속 효율을 달성하였다. 변속 장치의 효율은 다양한 요소에 따라 달라진다. 하지만, 시뮬레이션에서, 더 나은 효율은 높은 동력 손실로 이어졌다. 전체 실험에서 전반적인 효율과 동력 손실은 토크의 영향을 받았다. 높은 범위의 토크는 높은 동력을 발생시켰으며, 그 중 일부는 변속 중에 손실되었다. 다중 기어 열차 모델과 시뮬레이션은 더 나은 전달 시스템을 선택하기 위해 사용될 수 있다. 그럼에도 불구하고 농업용 차량의 동력전달시스템을 설계하기 위해서는 등가 토크, 각종 운전 중에 필요한 토크, 변속 시스템의 의존성 향상을 위한 작업 여건 등을 고려하여 현장시험과 검증이 필요하다.

3. 기어 응력 및 피로 해석: 소요동력 측정, 부하 스펙트럼 모델링, 감속 기어 응력 및 피로분석, 감속 기어 및 축 최적 선정

3.1. 서론

기계 부품이 사용 수명에 기초한 적절한 피로 강도를 갖도록 설계된 경우 기계의 구조적 내구성 요구 조건은 충족될 수 있다[26, 27]. 기계의 가장 중요한 설계 조건은 재료 및 치수 요구 조건이다. 일부 구성 요소에는 과도한 하중이 발생할 수 있기 때문이다[28, 29]. 기계의 주요 구성 요소들 중에서, 기어 및 기어 샤프트와 같은 중요한 부하 조건은 변속기 시스템에서 발생한다[30]. 일반적으로, 기어 메커니즘에서, 즉각적인 부하 변화는 기계적 변속기와 관련하여, 특히 톱니 접촉점에서 발생한다[31, 32]. 연구자들은 기어 세트의 하중 분포와 응력을 계산하기 위한 시뮬레이션 기반 유한 요소 분석(FEA)을 포함한 다양한 접근 방식을 제안했다[33-37]. 이러한 연구에 기초하여 기어 메커니즘의 접촉 응력 분석은 필요한 기어 치수와 재료 특성을 추정할 수 있으며 개발 및 성능 평가 단계에서 기계의 손상을 평가하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. 다양한 접촉 위치에서 회전 중 기어 접촉 응력을 조사하였다[38]. 롤 각도를 사용하여 접촉 위치를 측정하고 특정 위치에 대한 FEA 결과를 평가하였다[39]. 변속기 에러에 대한 앙상블 경험 모드 분해를 분석하여 다양한 유형의 기어 결함을 분류하고 FEA 방법을 적용하여 최대 기어 결함 기준을 찾아냈다. 단일 쌍의 치아의 경우, 이론적 분석에 기초하여 다른 하중과 속도로 두 구 사이의 접촉 표면에서 응력이 결정되었다[40]. 시뮬레이션 기반 연구에서는 관리 시간과 비용 측면에서 몇 가지 강점이 사용되었지만 실제 작업 환경 조건이 반영되지 않으면 결과의 일관성을 보장하기 어려웠다[41]. 선택된 기어 치수와 재료 특성에 대한 손상 수준을 결정함으로써 시뮬레이션 기반 연구를 검증하기 위해 부하 측정 실험이 필요했다.

기어의 피로 파괴는 기어가 많은 현대 기계의 동력 전달 시스템에서 중요한 요소라는 점을 고려하여 장비의 치명적인 고장으로 이어질 수 있다. 이 때문에, 운송, 발전, 기계 산업 분야의 재난 대비와 관리에 관련된 전문가들을 포함하여, 기어의 부하 용량과 내용 수명을 평가하기 위한 효과적인 절차와 정보가 필요하다. 공학의 실제 실행과 기어의 현재 적용에서 작업 속도의 증가는 또는 보다 큰 사이클 수에 대한 강철 피로 거동의 더 나은 사양을 요구했다. 이러한 의미에서, AGMA 표준은 많은 사이클 수를 대비하여 강철 기어의 피로 하중 용량을 고려하는 유용한 정보를 도출하였다.

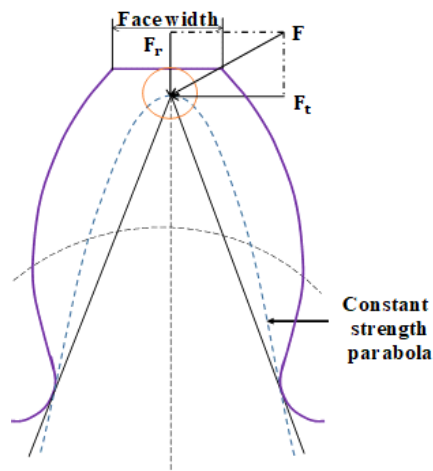
3.2. 재료 및 방법

3.2.1. 기어 설계 절차

기어는 정면 너비가 다른 다양한 수의 톱니로 설계되었다. 기존 연구에서 설계된 4륜 전기차의 동력 전달 부품용 스피어 기어 쌍을 설계하기 위한 소재(SM45C 탄소강)가 선택되었다. 제안된 기어 치수는 상용 소프트웨어(SolidWorks Simulation, Dassault Systems SolidWorks Corporation, MA, USA)를 사용하여 계산되었다. 기어의 치수는 제안된 차량의 운송 부분의 동력 요구 사항에 의해 선택되었다. 그러나 기어 피치 직경, 루트 직경, 팁 직경은 각각 57.07, 49.30, 63.26mm로 선택되었다. 디자인된 기어의 모듈은 4.5, 3.5, 2.5mm의 서로 다른 면폭에 4.08mm였다. 재료는 20° 압력각으로 분석되었다. 모델링 된 기어의 휨 응력은 Lewis, AGMA 및 FEA 방법을 사용하여 계산되었다.

3.2.2. Lewis 와 AGMA 이론에 의한 접촉력 계산

기어 톱니는 하중 전송 동안 개별적인 캔틸레버 빔으로 간주되며, 구부러짐이나 권선의 영향을 받는다[42]. 평균 기어 하중은 접선이며, 면폭을 따라 중간 지점에 적용되며, 휨 응력 계산에 고려된다[43]. Lewis 공식을 사용하여, 기어의 재료 특성과 작용 하중을 기어 면폭을 사용하여 추정하였다[44]. 기어 톱니의 휨 응력은 방정식에 나타난 것처럼 Lewis 휨 응력 이론을 사용하여 계산되었다. 이 이론은 기어 톱니를 최대 하중을 경험하는 기본 캔틸레버 빔으로 설명한다[45].



<힘이 가해진 상태에서 기어 톱니의 개략도>

이 정적인 조건에서 치아 미끄럼 마찰력과 치아 모퉁이 내 응력 농도는 무시할 수 있을 정도로 낮은 하나의 치아 끝에 정상 힘(F)을 가했다. 총 하중은 시험하는 동안 전면 너비를 넘어 균일하게 분포되었다. 스프로킷 기어의 휨 응력에 대한 이론적 분석은 다음의 Lewis 방정식으로 계산되었다.

$$\sigma_b = \frac{F_t}{m \times b \times Y}$$

여기서,

σ_b = 허용 휨 능력, N/mm^2

F_t = 접선력, N

m = 기어의 모듈, mm

b = 기어 톱니의 정면 너비, mm

Y = Lewis 형상 계수

Lewis 방정식과 비교해 AGMA 공식은 동적 계수, 크기 계수, 하중 분포 계수 등 다양한 요인(표)을 포함하여 도출되어 기어 휨 응력에 영향을 미쳤다. 아래 수식은 AGMA2001-B88 표준의 벤딩 응력 계산식을 보여준다.

$$\sigma_b = \frac{F_t K_o K_s}{K_v} \frac{1}{bm} \frac{K_H K_B}{J}$$

여기서,

F_t = 접선력, N

K_o = 과부하 계수

K_v = 동적 계수

K_s = 크기 계수

b = 기어 톱니의 정면 너비, mm

m = 기어의 모듈, mm

K_H = 하중 분포계수

K_B = 테 두께 계수

J = 휨 응력의 기하학적 계수

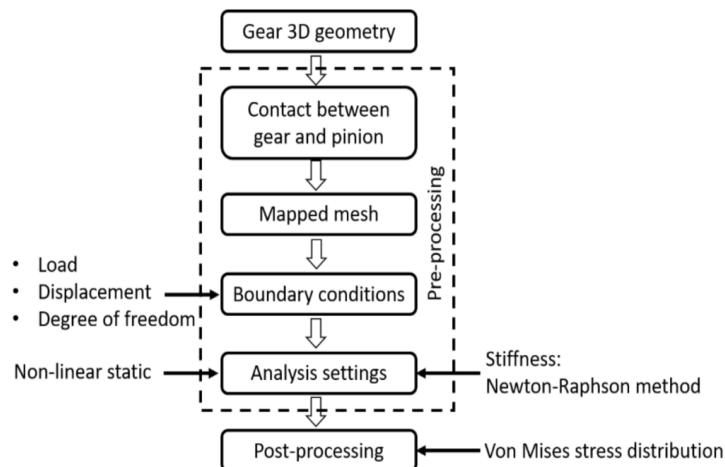
<AGMA 이론 적용에 사용된 요인의 값>

b	K_o	K_v	K_s	m	K_H	K_B	J
4.5	1	1.34	1.16	4.08	1.3	1	.218
3.5	1	1.34	1.14	4.08	1.3	1	.218
2.5	1	1.34	1.12	4.08	1.3	1	.218

3.2.3. FEA 시뮬레이션을 통한 기어 접촉 응력 해석

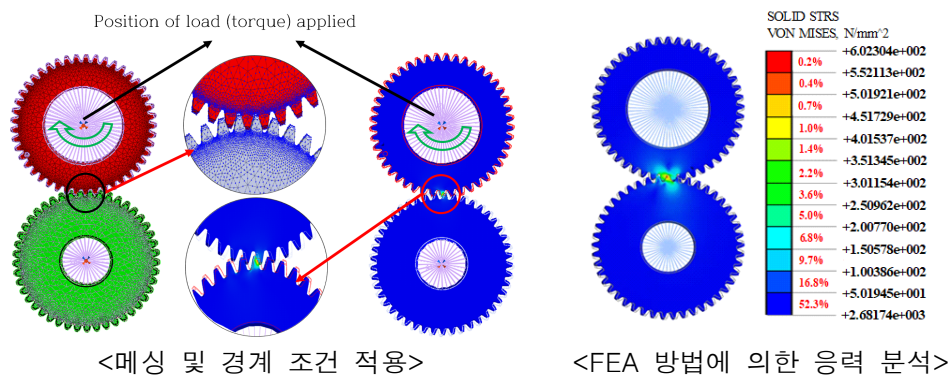
FEA 소프트웨어 패키지(Midas NFX-2019, MIDAS Information Technology Co.)를 활용하여 접촉 응력을 추정하고 피킹 장치 기어에서 최대 응력 위치를 결정하기 위해 사용되었다. 기어 세트는 SCM 420H 탄소강(중간 탄소강)으로 제조된다고 가정했다. 기어 세트 톱니의 윤곽은 배연 곡선과 트로코이드 곡선으로 구분되었다. 먼저 기어 톱니 윤곽이 드러나는 기어 세트 톱니를 식별해야 한다. 모듈, 톱니 번호, 압력각, 피치 원의 반지름과 같은 기어 매개변수가 명시된 경우, 톱니 윤곽은 기어 매개변수와 인볼루트 곡선의 기능을 사용하여 결정할 수 있다[46].

조립 이산화와 응력 분포를 위해 매핑된 면 메싱을 사용하여 3차원 형상을 메싱하여 균일한 메쉬 구조를 얻었다. 메쉬를 완성한 뒤 기어가 시계 반대 방향으로 회전하면서 자체 중량, 변위, 지지대, 하중(토크), 자유도 등 경계 조건을 모델에 적용했다. 기어 샤프트의 중앙은 기어 톱니 표면의 세로 방향으로 설정되었다. 각 세트에서 받침의 동일한 각도 위치에 대해 기어에 하중 값(토크)이 가해졌다. 접촉 응력을 추정하고 최대 응력 위치를 결정하기 위해 Newton-Raphson 방법을 사용한 비선형 정적 분석이 사용되었다. 후처리 부분에서는 Von Mises 응력 분포 기법을 적용하여 응력을 10단계로 나누어 얻었다. 다음 그림은 기어 접촉 응력을 결정하기 위한 FEA 시뮬레이션 절차를 보여준다.



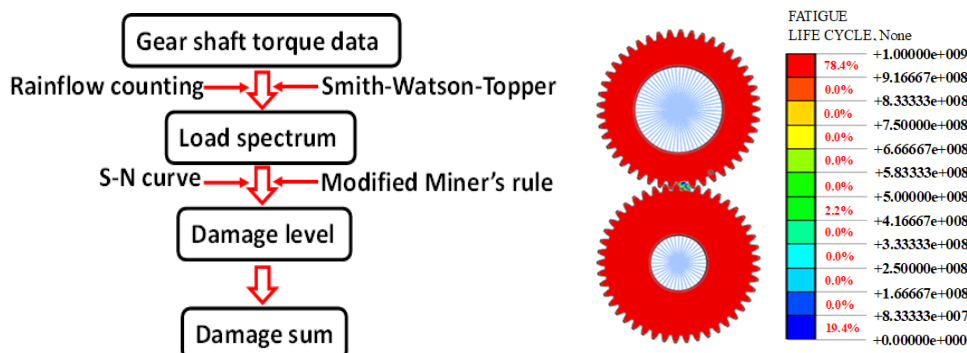
<기어 접촉 응력을 결정하기 위한 FEA 시뮬레이션 절차 블록 다이어그램>

아래 그림은 메싱 및 경계 조건 적용 다이어그램과 두 기어 세트의 최대 응력 위치를 보여준다. 기어 샤프트에 하중(토크)을 가하고 기어의 톱니 접촉점에서 최대 응력이 설정되었다. 기어의 적절한 응력 분석을 수행하기 위해, 시뮬레이션에서 두 개의 기어 세트의 사양을 고려하였다.



3.2.4. 피로 수명 예측

피로는 물질에서 손상 부위의 주기적 축적을 수반하는 과정이다. 기능 상실은 특정 횟수의 하중 변동을 경험한 후 누적된 손상 수준의 결과로 발생한다[46]. 4WEV 피킹 장치의 기어 동작 부하는 부하 신호를 토크 데이터로 수집하여 분석하였다. 그림에는 하중 해석 절차, 하중 지속시간 결정 및 마지막으로 피로 수명 예측이 표시된다[47,48]. 기어와 베어링의 부하 주기 계산 방법은 다른 기계 부품들과 다르다[49]. 기어와 베어링의 하중 주기를 계산하기 위해, ISO 10300 [50]에 근거한 하중 지속시간 분포 (LDD) 방법을 권장한다.



FEA 방법에 의한 손상합계 및 피로분석을 계산하는 절차

기어의 응력 사이클 계산은 외부 부하 사이클에 따라 달라지며, 이는 기어 회전 속도의 함수이다 [51]. 모든 스트레스 bin의 로드 주기는 개별 bin의 시간 지속 시간 및 기어 회전 속도에 따라 달라진다. 그림에는 LDD 방법을 사용하여 적재 bin과 적재시 계열에서 응력 bin을 만드는 절차를 보여준다. 응력 사이클의 수는 아래와 같이 계산되었다.

$$N_T = 60 \frac{D_i}{D_t} N_i L$$

S-N 곡선은 다음 공식을 사용하여 각 기어 재료에 대해 각각 구하였다.

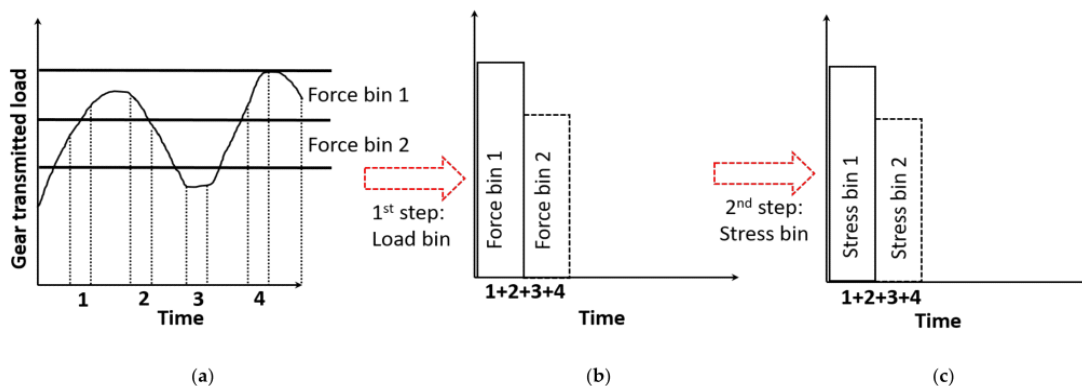
$$N_c = 10^{(6 - 6.097 \log(\frac{\sigma_H}{223}))}$$

Palmgren-Miner 누적 손상 규칙[52]은 손상 합계를 계산하기 위해 사용되었다. 4WEV의 수명은 10년으로 추정되었고, 연간 사용 시간은 25.5시간이었다. 피킹 장치 기어의 총 수명은 각 스트레스 수준에서 소비된 수명의 백분율을 더하여 계산되었다. 예측 피로수명은 4WEV의 수명과 손상합계를 나누어 계산하였다. 예측된 피로 수명 주기는 아래와 같이 계산되었다.

$$D_t = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_c}$$

$$L_f = \frac{L_s}{D}$$

$$C_f = 60 L_f N_c$$



<부하 지속 시간 분포(LDD) 방법을 사용하여 부하 bin 및 부하 시계열로부터 응력 bin을 계산: (a) 부하 곡선, (b) 부하 bin 및 (c) 응력 bin>

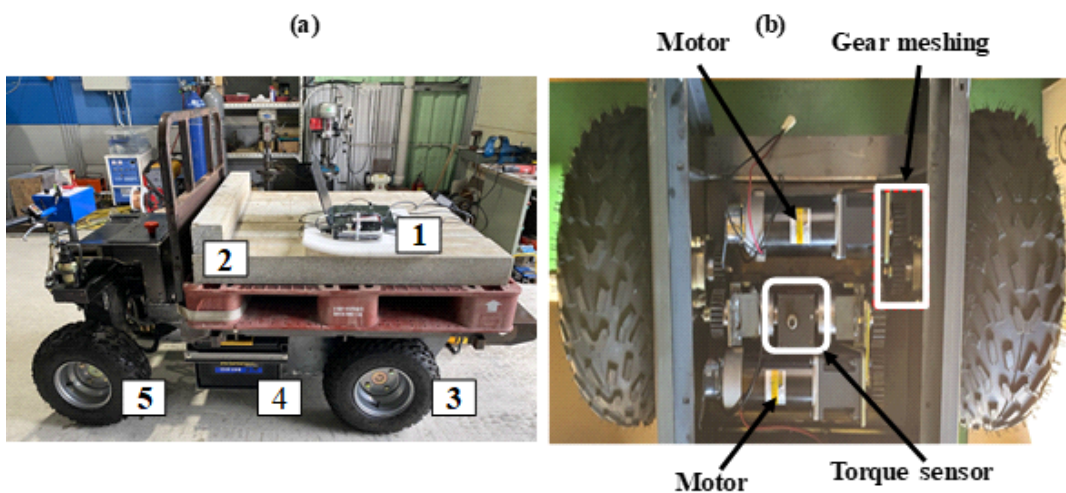
<피로 분석을 위한 4WEV 기어 메커니즘의 상태>

변수	특성
수명	10 년
연간 사용량	25.5 h
작동 속도	5.24, 6.28, and 7.33 rad/s
주기계수법	적재 유통 기간 (LDD)

3.2.5. 현장 실험에 요구되는 동력 측정

3.2.5.1 토크 및 각도 센서 부착

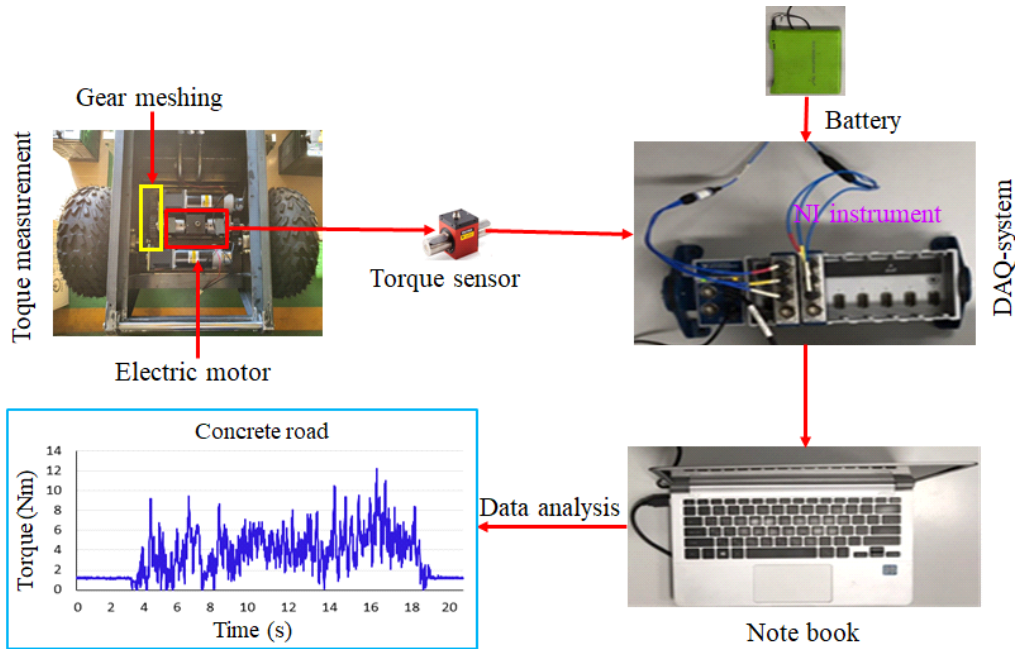
4WEV의 필요한 액슬 동력을 측정하기 위해 리어 액슬에 토크 센서(TRS605 FUTEK, Advanced Sensor Technology Inc., California, USA)가 장착되었다. 토크 센서는 모터 드라이브라인과 동기화되었으며 두 구성 요소가 동일한 속도로 회전하였다. 60Hz에서 모터의 정격 동력과 속도는 각각 0.40kW와 3400rpm이었다. 인버터(SV-iG5A; LS 전기, 안양, 대한민국)는 모터의 회전 속도를 제어하기 위해 On/Off 스위치로 구성되었다. 센서 데이터를 기록하기 위해 데이터 수집 장치(NI 6212, National Instruments Corporation, Austin, TX, USA) 및 LabVIEW 소프트웨어(버전 2010, National Instruments Corporation, Austin, TX, USA)가 사용되었다. 토크 센서의 위치는 아래 그림에 나와 있다. 도로 경사를 측정하기 위해 고정밀 경사계(SST420, Shanghai Vigor Technology Development Co., Shanghai, China)가 사용되었다.



실험에 사용된 4WEV 프로토타입(a) 및 모터 장착 모습(B): (1) 데이터 수집 시스템이 장착된 노트북, (2) 부하, (3) 뒷바퀴, (4) 배터리 및 (5) 앞바퀴

3.2.5.2. 실험 데이터 수집

4WEV는 농장에서 운반 활동을 용이하게 하기 위해 개발되었습니다. 4WEV의 소요 동력 측정 실험은 각각 1, 2, 3km/h의 서로 다른 전진 속도로 두 가지의 전형적인 한국 농로에서 수행되었다. 토크 측정 절차는 다음 그림에 나와 있다.



<토크 측정 절차>

4WEV의 성능 매개변수는 다중 페이로드 용량(최대 부하 500 kg 적용)과 경사(최대 경사 15°까지)에 대해 평가되었다. 실험 조건은 표에 나와 있다. 실험 중 뒷바퀴의 토크를 결정하기 위해 바퀴 축의 회전 속도를 50, 60, 70rpm으로 고정하였다. 100, 300 및 500 kg의 하중을 사용하여 5°, 10° 및 15° 경사 도로에서의 소요동력과 토크를 평가하였다. 또한, 각각의 테스트는 세 번 반복하였다. 평균 최대 소요동력은 다음 수식을 사용하여 계산하였다.

$$P = \frac{T \times W}{9.549}$$

여기서, P = 동력 (W), T = 토크 (Nm), W = 휠 회전 속도 (rpm).

<현장 작동 실험 조건>

변수	특성
전진 속도 (Km/h)	1, 2, 3
외부 하중 (kg)	100, 300, 500
각도 (°)	5, 10, 15
도로 종류	콘크리트와 아스팔트

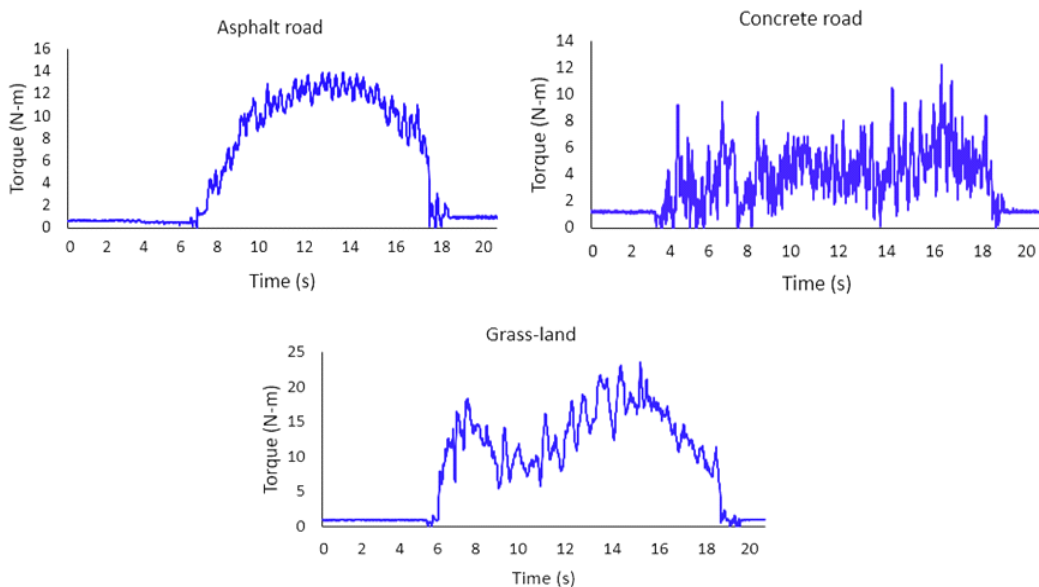
3.3. 결과 및 고찰

3.3.1. 적절한 기어면 폭 및 재료 선택

기어의 휨 응력은 설계된 기어의 면폭을 변화시켜 계산되었다. 가해진 하중(N)과 톱니 수, 압력각, 모듈과 같은 다른 설계 매개변수는 상수로 간주되었다. 설계된 거리에 대한 허용 휨 응력은 Lewis 공식과 같이 다른 면의 폭 조건을 가진 AGMA 지침을 사용하여 계산되었다. 결과는 최대 허용 휨 응력이 기어 톱니의 면 폭에 따라 직접적으로 변화한다는 것을 보여주었다. 루이스 방정식을 사용하여 최대 허용 휨 응력은 각각 650.07, 464.36 및 361.15 MPa인 것으로 확인되었다. 그러나 AGMA 지침에 따라 최대 허용 휨 응력이 각각 826.23, 595.44, 475.41MPa로 변경되었다. 이와 관련하여, AGMA 방정식은 설계 기어에 가장 가능성이 높은 설계 요소를 고려하여 보다 정확한 결과를 보여주었다. 개별 설계 매개변수에 대해 루이스 방정식과 AGMA에서 구한 허용 휨 응력 값이 매우 가까웠으며, 기어 톱니의 면 폭 감소에 따라 휨 응력이 증가했다는 것을 명확히 보여주었다.

3.3.2. 부하 스펙트럼과 접촉 응력

소요동력 실험은 부하가 다른 오프로드 조건에서 실시해 개발된 4륜 전기차의 실제 하중 지지 용량을 찾기 위한 토크를 측정했다. 그림과 표는 아스팔트, 콘크리트, 초지 표면에서의 4WEV의 하중 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다.



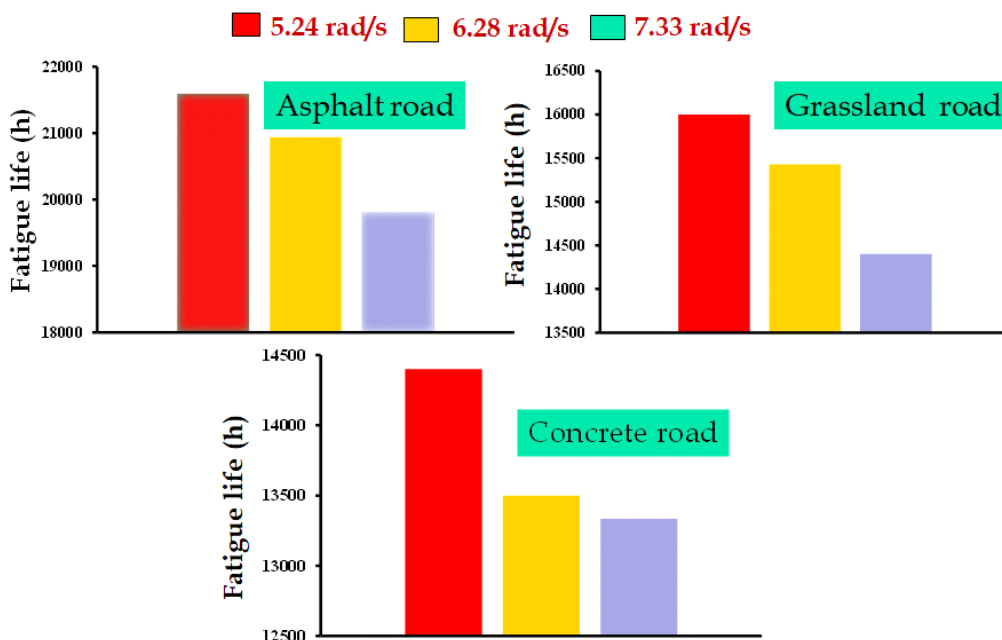
<아스팔트, 콘크리트, 초지에서의 토크 측정 결과>

<400kg 적재 조건에서 최대 하중>

Sl. No.	작동 속도 (rad/s)	도로 상태	최대 접촉 응력 (MPa)	수명 N=10 ⁶
1	5.24	아스팔트	513	2.35
		콘크리트	489	2.10
		초지	505	1.99
2	6.28	아스팔트	390	1.67
		콘크리트	410	1.45
		초지	470	1.55
3	7.33	아스팔트	590	2.10
		콘크리트	613	1.59
		초지	600	1.71

3.3.3. 손상도 및 피로 수명 예측

아래 그림에는 다양한 작동 조건에서 4-WEV 기어 메커니즘의 손상 심각성 및 예상 피로 수명이 요약되어 있다. 가장 심각한 피로 손상은 7.33 rad/s로 나타나는데, 이는 기어가 높은 작동 속도에서 높은 하중을 받기 때문이었다. 전기차의 수명은 255-h로 추정되었다. 이번 분석에서 예측된 기어 메커니즘 피로 수명은 4륜 전기차의 수명보다 컸다. 사용한 소재가 10년 수명에 적합하다고 나타났다.



<10년 서비스 수명 동안 4WEV 기어 메커니즘의 예상 피로 수명>

3.3.4. 현장 작업에 요구되는 동력

동력 수요의 변동은 서로 다른 변수들이 원인이었다. 그 결과 도로 상태와 차량 탑재량에 따라 동력 소요량이 달라지는 것으로 나타났다. 바퀴의 속도가 바뀌자 필요한 동력도 달라졌다. 또한, 두 매개 변수는 서로 정비례하였다. 다만 기울기 각도가 바뀌면서 뒷바퀴의 토크도 달라졌다. 그럼에도 불구하고 모터는 차량 속도에 따라 필요한 동력을 제공하였다.

3.3.4.1. 콘크리트 도로에서 요구되는 동력

아래 표에는 다양한 조건에서 다양한 경사면에서 4WEV를 구동하는 데 필요한 평균 최대 동력이 요약되어 있다. 15° 기울어진 콘크리트 도로에서 4WEV는 500kg 하중의 경우 0.84 ± 0.025kW, 0.69 ± 0.055kW, 0.61 ± 0.037kW, 0.57 ± 0.020kW, 0.51 ± 0.084의 최대 동력을 제공하였다. 결과는 기울기가 0°일 때 최소 동력 요구량을 보여주었다. 그러나, 모든 휠 속도에서 15° 경사에서의 페이로드 500kg에 대해 모터에서 최대 동력이 요구된 반면, 모터는 기울기가 0°일 때 최소 동력이 요구되었다.



<도로 형태(콘크리트 및 아스팔트)에 따른 토크 측정>

<콘크리트 도로에서의 4WEV 동력요구량 분석 실험 결과>

휠 속도 (rpm)	적용 하중 (kg)	휠 당 최대 동력 요구량(kW)			
		경사(°)			
		0	5	10	15
70	500	0.29 ± 0.023	0.50 ± 0.039	0.73 ± 0.071	0.84 ± 0.025
	300	0.23 ± 0.075	0.41 ± 0.048	0.52 ± 0.036	0.70 ± 0.069
	100	0.13 ± 0.012	0.22 ± 0.090	0.31 ± 0.061	0.41 ± 0.081
60	500	0.26 ± 0.014	0.41 ± 0.021	0.61 ± 0.019	0.69 ± 0.055
	300	0.21 ± 0.081	0.36 ± 0.083	0.44 ± 0.030	0.57 ± 0.020
	100	0.13 ± 0.026	0.18 ± 0.056	0.28 ± 0.068	0.32 ± 0.022
50	500	0.21 ± 0.062	0.37 ± 0.075	0.53 ± 0.055	0.61 ± 0.037
	300	0.18 ± 0.079	0.29 ± 0.070	0.37 ± 0.063	0.51 ± 0.084
	100	0.11 ± 0.033	0.15 ± 0.036	0.21 ± 0.019	0.29 ± 0.079

3.3.4.2. 아스팔트 도로에서 요구되는 동력

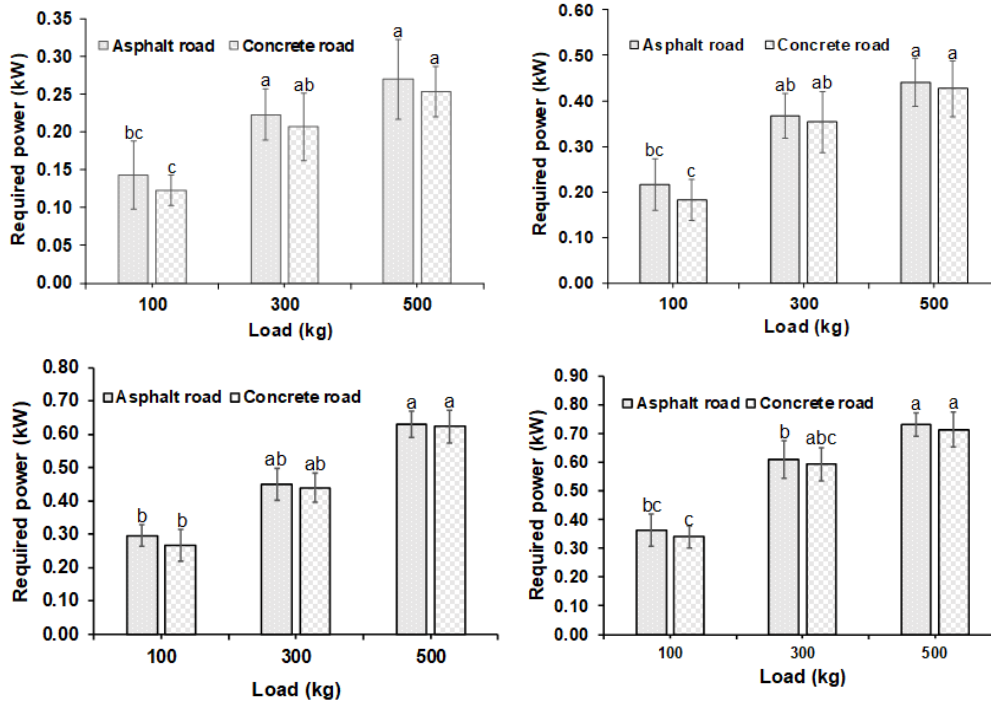
아스팔트 도로에서 4WEV가 요구하는 동력은 콘크리트 도로와 표면마찰계수가 달라 요구되는 동력이 달랐다. 5°, 10° 및 15°의 기울기는 500kg 하중의 경우 0.52 ± 0.050kW, 0.75 ± 0.040kW 및 0.85 ± 0.087kW의 최대 동력, 0.42 ± 0.078kW, 0.54 ± 0.056kW 및 0.71 ± 0.011kW가 필요하였다. 반면, 60 및 50 rpm 휠 속도에서는 70 rpm에 비해 4WEV의 평균 동력은 낮았는데, 이는 토크, 동력 및 속도의 관계 때문이었다. 아스팔트 도로의 다양한 조건에서 4WEV가 요구하는 평균 최대 동력은 아래 표와 같다.

<아스팔트 도로에서의 4WEV 동력요구량 분석 실험 결과>

휠 속도 (rpm)	적용 하중 (kg)	휠당 평균 최대 동력 요구량(kW)			
		경사(°)			
		0	5	10	15
70	500	0.31 ± 0.069	0.52 ± 0.050	0.75 ± 0.040	0.85 ± 0.087
	300	0.24 ± 0.023	0.42 ± 0.078	0.54 ± 0.056	0.71 ± 0.011
	100	0.16 ± 0.056	0.26 ± 0.045	0.34 ± 0.011	0.43 ± 0.050
60	500	0.26 ± 0.067	0.43 ± 0.070	0.63 ± 0.031	0.72 ± 0.010
	300	0.23 ± 0.064	0.37 ± 0.020	0.45 ± 0.068	0.60 ± 0.098
	100	0.14 ± 0.050	0.23 ± 0.044	0.30 ± 0.031	0.35 ± 0.060
50	500	0.24 ± 0.052	0.37 ± 0.049	0.55 ± 0.028	0.62 ± 0.069
	300	0.20 ± 0.015	0.31 ± 0.049	0.40 ± 0.018	0.52 ± 0.089
	100	0.13 ± 0.030	0.16 ± 0.070	0.27 ± 0.080	0.31 ± 0.014

3.3.4.3. 다양한 경사 조건에 대한 최대 동력 요구량 비교

다음 그림은 다양한 부하 조건(100, 300 및 500 kg)에 대한 평균 최대 동력 요구사항을 보여준다. 필요한 최대 동력은 부하 상태에 따라 달라진다. 이 실험에서, 다른 경사 조건에서도 최대 하중 조건 사이에 큰 차이가 없었다. 100 kg 및 300 kg 하중의 경우 아스팔트와 콘크리트 도로 조건에서 4WEV를 구동하는 데 필요한 동력은 매우 유사하였다. 그러나 5°와 15°의 경사 도로 사이에서 관측된 동력 차이는 미미하였다. 경사각이 10°일 때 최소하중에 대한 아스팔트 도로와 콘크리트 도로의 동력요구량 차이가 없었다. 그러나 계산된 데이터는 차량이 최대 하중을 운반할 때 추가 동력이 필요하다는 것을 보여주었다. 반대로 오프로드 조건에서 경사를 오르려면 고통력이 필요하였다. 전반적인 실험 결과 콘크리트 도로는 아스팔트 도로보다 동력이 적게 필요하였다. 콘크리트 노면의 필요 동력에 다소 영향을 미치는 분배토크를 증가시키기 때문에 노면의 마찰계수가 높아져 발생할 수 있다.



<아스팔트 및 콘크리트 도로조건의 동력요구량 비교 ($P \leq 0.05$)>

본 연구에서는 개발된 4WEV의 동력효율 향상을 위해 경사도, 하중, 도로조건에 따른 동력소모량을 분석하는 기초시험이 실시되었다. 토크 데이터는 100, 300, 500 kg의 하중을 받는 0°, 5°, 10° 및 15° 기울어진 콘크리트 및 아스팔트 도로에서 4WEV를 주행하여 수집하였다. 프로토타입 4WEV는 각 조건에서 만족스러운 결과를 보였다. 차량의 안전한 사용을 위해 최대 15°의 도로 경사에 대해 최대 400kg의 하중이 권장된다. 또 농업분야 4WEV 발전을 위해서는 경제성 평가와 내구성 검사가 중요한 사안이다. 기존 프로토타입 EV는 개발 중이며, 향후 연구는 EV 신뢰성 확장을 위한 표준 평가 접근법을 따르게 된다. 고령농가와 여성농가가 다양한 농가활동을 할 수 있도록 도로조건별 대응표면방법론(RSM)과 개발차량의 개조에 따른 다양한 지표조건(토, 초원)에 대한 추가연구를 실시해야 한다.

4. 구조 안정성 평가: 정적 및 동적 주행 시뮬레이션, 전도 안전성 범위 산정 및 정적 전도각 측정

4.1. 서론

오프로드 차량은 농업 생산과 다른 지형 기반 직업에 필수적이다. 오프로드 차량 전도는 작업자 사망 및 심각한 부상의 주요 원인이다. 오프로드 차량의 전도 성향은 차량 안정성에 의해 결정되며, 여기에는 차량과 차량의 정적 및 동적 특징이 포함된다. 여기에는 차량 정적 치수(중력 중심, 축간거리 및 트레드 폭)와 작동 조건(속도, 회전 반경, 경사 및 표면 상태)이 포함된다. 횡방향(측면)과 종방향(후면) 정적 안정성 각도, 즉 차량이 정적 조건에서 전도되기 직전의 각도는 특정 차량의 전도 성향을 설명하는데 사용되었다. 차량의 정적 안정성 각도를 이해하면 작동 중 전도되는 경향을 파악하는 데 도움이 될 수 있다.

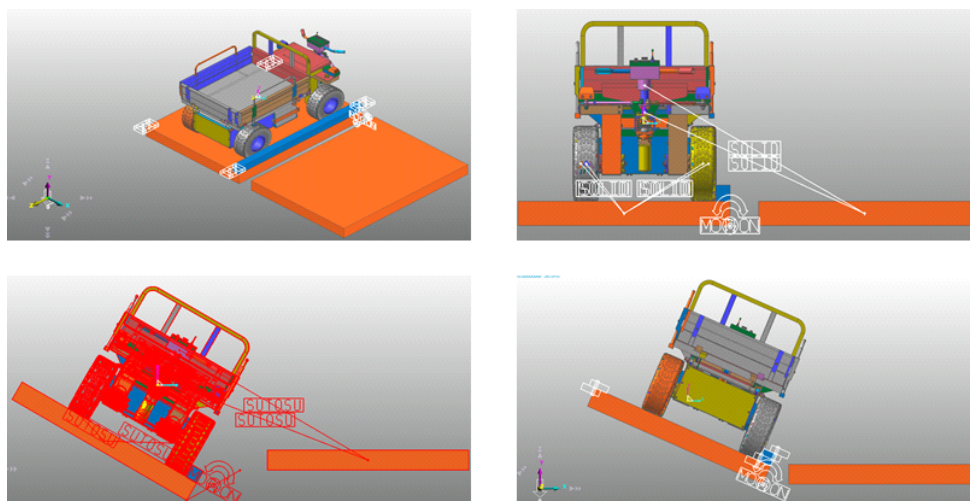
안정성 한계는 일반적으로 국제 표준화 기구 (ISO) 16251-2 표준[53]에 따라 15 - 45°까지 다양하다. 전도 사고를 방지하기 위해 많은 연구에서 다양한 농업용 차량에 대한 동적 전도 안정성[54-56]과 정적 전도 안정성[57]의 동작을 보고했다. 소프트웨어 기반 시뮬레이션 방법이 최소 노동력과 시간을 사용하여 정확한 결과를 제공하고[58, 59], 현장 실험을 통해 검증하기 때문에 대부분의 안정성 분석은 먼저 전산 시뮬레이션을 통해 수행되었다. 토양 조건, 차량 선로 면의 압력, 침하, 전단 응력, 전단 변형을 및 기타 정보와 같은 전도 안정성에 영향을 미치는 요인은 계산 시뮬레이션 동안 쉽게 고려될 수 있다. 차량의 모델링과 시뮬레이션은 주로 TRACKSim, ADAMS/ATV 및 RecurDyn과 같은 다중 차체 동적 소프트웨어를 통해 수행되어 변형 가능한 토양 표면에서 차량의 동작을 평가하였다[60, 61].

본 연구에서 테스트 절차의 목적은 4륜 전기 자동차의 가로 방향 및 세로 방향 안정성 각도를 계산하는 것이었다. 이 연구는 또한 개발된 차량에 대한 정적 및 동적 안정성 각도의 변화에 대한 추가 차량 적재 효과의 영향을 평가하였다.

4.2. 재료 및 방법

4.2.1. 안정성 분석 절차

사륜 전기차의 3D 모델은 SolidWorks 를 이용해 준비한 뒤 RecurDyn에 수입해 횡방향 전도와 장애물 통과 주행 등을 전제로 주행 안정성을 분석하였다. RecurDyn은 토양과 차량 사이의 동적 분석에 적합한 동적 시뮬레이션 소프트웨어이다[62]. 4WEV의 무게중심은 차량의 사양을 사용하여 계산됨. 4륜 전기 자동차의 정적 안정성을 위한 시뮬레이션 조건은 그림과 같다. 차량의 횡방향 및 종방향 전도 분석을 위해 적재 및 비적재 조건을 모두 사용하였다.



<Recurdyne 소프트웨어를 이용한 4WEV의 정적 안정성 시뮬레이션>

4.2.2. 정적 전도각

문헌[63]에 의해 보고된 수학적 절차는 후방 차축 전면(X_{cg})의 수평 방향과 지면 위의 수직 방향에서 차량에 대한 비적재 무게 중심을 계산하기 위해 사용되었다. 이것은 ISO (2015)에서 제공한 것과 동일한 무게중심 계산이다.

$$X_{cg} = \frac{R_f L}{W_t}$$

여기서, R_f : 전차축 아래의 힘, L : 윤거, W_t : 차량 총 중량.

$$\Delta r = r_r - r_f$$

여기서, r_r : 후륜 반경, r_f : 전륜 타이어 반경.



<기울어진 상태에서의 사륜전기차의 무게중심 측정>

<4륜 전기차 주요 제원>

Vehicle specifications		Only Vehicle (without load)	Normal	Lifted
Model	SB Model	Weight in left front wheel	124	119
Weight (kg)	440	Weight in right front wheel	128	122
Wheelbase (cm)	133	Weight in the left rear wheel	98	101
Wheel track (cm)	82	Weight in the right rear wheel	91	99
Front-wheel radius (cm)	19	Vehicle with load		
Rear-wheel radius (cm)	19	Weight in left front wheel	176	162
Front tread width (cm)	14	Weight in right front wheel	162	154
Rear tread width (cm)	14	Weight in the left rear wheel	239	251
Rim radius (cm)	10	Weight in the right rear wheel	263	271
Height from ground to base (cm)				13
Tire height (cm)				7.5
Ground to axle height (cm)				67 ~65
Axle position to RW centre (cm)				128

$$L' = \sqrt{L^2 + (\Delta r)^2 - (n - r_r)^2}$$

여기서, L' : 들어 올렸을 때 전차축과 후차축 사이의 수평 거리, n : 전차축이 들어 올려진 높이.

수평축과 전면축 점(λ_1)과 후면축 점(λ_2) 사이의 각도는 아래 수식으로 구하였다.

$$\tan \lambda_1 = \frac{n - r_r}{L'}$$

$$\tan \lambda_2 = \frac{\Delta r}{L}$$

$$\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$$

무게중심의 높이(Z_{cg})는 아래 수식으로 결정될 수 있다.

$$h = \frac{W_t l - R_f' L}{W_t \tan \lambda} - \frac{R_f' \Delta r}{W_t}$$

여기서, h : 후차축으로부터 무게중심까지의 높이, R_f' : 차량이 들어 올린 위치에 있을 때 전차축에 위로 작용하는 힘.

$$Z_{cg} = r_r + h$$

두 개의 무게 중심값이 결정된 후, 정적 종방향 및 횡방향 안정성 각도는 다음과 같이 확인할 수 있다(Liu, Ayers, 1999).

$$\text{Longitudinal stability angle (rear)} = \tan^{-1}\left(\frac{X_{cg}}{Z_{cg}}\right)$$

$$\text{Lateral stability angle} = \tan^{-1}\left(\frac{TW}{2 \times Z_{cg}}\right)$$

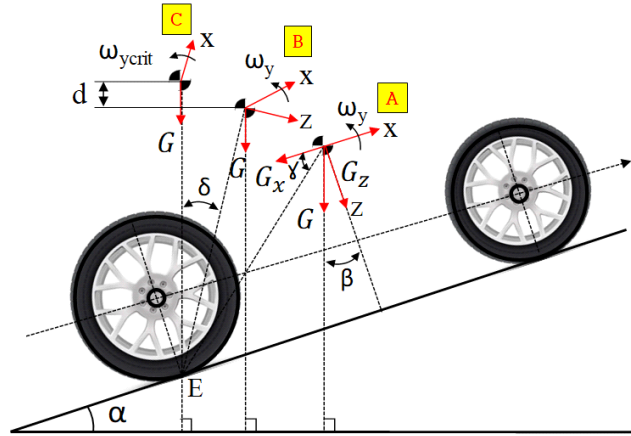
여기서, $\frac{TW}{2}$: 무게 중심에서 티핑 축까지의 최단 수평 거리로 정의됨.

$$\frac{TW}{2} = \left(\frac{FT}{2}\right) + \left(\frac{L - X_{cg}}{L}\right)\left(\frac{RT}{2} - \frac{FT}{2}\right) \times \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{\frac{RT}{2} - \frac{FT}{2}}{L}\right)\right)$$

여기서, FT: 전륜 트레드 폭, RT: 후륜 트레드 폭. 이 접근법은 무게 중심이 차량의 중심선에 있다고 가정하는 것임.

4.2.3. 동적 전도각

발농사는 땅이 울퉁불퉁하고 작업환경이 다양하고 어렵다. 따라서 주행 중 안정성 분석을 위해 4륜 전기차가 장애물을 통과할 때의 안정성을 분석하는 주행 시뮬레이션이 수행되었다. 동적 전도 모델[75]을 사용하여 4WEV의 안정성을 확인하였다. 내리막길 바퀴 접점에 대한 차량의 운동 에너지가 안정적인 한계 내에서 CG 변위의 위치 에너지보다 크기 때문에 오르막길에서 운행하는 동안 차량이 불안정해진다. 이 상황에서 뒤집히는 경향은 바퀴에 작용하는 수직 반작용력에 전적으로 좌우된다. 또한, 무게 벡터의 방향은 지면과 내리막 바퀴의 접촉점에 따라 변화하며, 관성 효과는 이 상황에서 주요한 역할을 한다(그림 참조). 이 경우 경사의 초기 위치에서 차량의 중량(G_x, G_z) 구성품이 이에 따라 식별된다. 전도 단계는 내리막 부분에 대한 차량의 오르막 부분의 각도 회전으로 시작된다. 수학적으로 결과적인 무게 벡터와 그것의 성분들 사이의 관계는 방정식을 사용하여 표현될 수 있다.



<오르막 경로를 이동하는 동안 4WEV의 안정성에 대한 수학적 표현: (A-C)는 전도 과정 동안 CG의 변위를 나타냄>

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_z^2}$$

$$\beta_1 = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_z}$$

$$SH = \frac{\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{G_z}{X_r}}{\beta_1}$$

SH 값이 1 미만일 때는 정적인 상태에서도 차량이 전도된다. 안정적인 조건에서, CG가 곡선 형태로 뒤로 이동했지만, SH의 값은 불안정하기 전에 1로 남아있었다(위 그림에 표시된 위치 (A)와 (B)). 이 과정에서 CG는 아래 수식을 사용하여 계산할 수 있는 E 지점에 대해 특정 반경을 따라 뒤로 이동한다.

$$\overline{ECG} = \sqrt{CG^2 + X^2}$$

차량이 동적 효과를 위해 E 지점에 대해 전도될 때 CG는 위치 (B)에서 위치 (C)로 뒤로 이동한다. 위치 (B)에 있는 4WEV의 운동 에너지는 CG의 집중 운동 에너지, CG의 회전을 위한 운동 에너지, 그리고 E 지점에 대한 CG의 회전 운동의 합이다. 이러한 현상은 중력 상수 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 를 고려하여 아래 수식을 사용하여 표현된다.

$$KE = \frac{1}{2} \omega_y^2 \times (J_y + 0.98 G \times \overline{ECG}^2)$$

CG의 위치(B)에 대한 Z축에 대한 4WEV의 각속도이며, 아래 수식으로 표시된다.

$$\omega_y = \sqrt{\frac{2KE}{J_y + 0.98 G \times \overline{ECG}^2}}$$

CG의 위치가 (B) 위치에서 (C) 위치로 이동하는 동안, E에 대한 이 두 위치 사이에 각도가 생성된다. 그림에서 각도는 아래 수식에 의해 결정된다.

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{KE}{G \times \overline{ECG}} + \cos \left(\frac{\pi}{2} - \beta - \gamma \right) \right)$$

CG가 위치 (B)에서 위치 (C)로 이동하는 동안 얻은 위치 에너지는 아래 수식을 사용하여 표현될 수 있다.

$$PE = G \times \overline{ECG}(1 - \sin(\beta + \delta))$$

이 위치에서, 운동 에너지는 동적 조건 동안 차량이 전도되는 발생된 위치 에너지보다 크거나 같다. 이 위치의 각속도는 아래 수식으로 표현할 수 있는 임계 각속도로 불린다.

$$w_{ycrit} = \sqrt{\frac{2PE}{J_y + 0.98 G \times \overline{ECG}^2}}$$

4WEV의 전도는 오르막 표면에서 작동하는 동안 조건 $\omega_y \geq \omega_{ycrit}$ 을 만족하는 경우 CG의 모든 위치에서 발생한다.

4.2.4. 정적 및 동적 전도각 검증

농업기술실용화재단(전라북도 익산시)에서 4륜 전기차의 전도시험이 진행되었다. 빈 차량과 적재된 차량은(3,922.66N의 추가 적재물) 차량을 전도시키기 위해 지상에 인공 경사를 발생시키기 위해 사용되었다. 가로 및 세로 전도 테스트는 각 조건에서 5회 반복되었다(위 그림 참조). 동적 안정성 검증을 위해 대한민국 대전의 충남대학교 농업농장에서 차량이 임계각(최대 30도) 이상으로 서로 다른 경사 조건에서 작업하였다.

4.3. 결과 및 고찰

4.3.1. 정적 및 동적 전도 조건 시뮬레이션 및 실용적 해석

From the lateral overturning simulation under static conditions, the lateral overturning angles were 41.49°, 41.32°, and 41.98° when the 4-wheels electric vehicle was tilted toward the right side. Similarly, the lateral overturning angles were 39.85°, 39.49°, and 39.45° for the left side. On the other hand, for the longitudinal simulation under static condition, the longitudinal overturning angles were 49.75°, 49.56°, and 49.77° for the rear side. Likely, the longitudinal angles were 47.29°, 47.65°, and 47.33° for the front side of 4-wheels electric vehicle. The Longitudinal and lateral overturning critical angles are shown in the table for developed 4-wheels electric vehicle.

정적 및 동적 전도 조건의 시뮬레이션 및 실용적 해석

정적 조건에서 횡방향 전도 시뮬레이션에서 4륜 전기차가 오른쪽으로 기울었을 때 횡방향 전도 각도는 41.49°, 41.32°, 41.98°이었다. 이와 비슷하게, 왼쪽 측면의 전도 각도는 39.85°, 39.49°, 39.45°이었다. 반면에, 정적 조건에서의 종방향 시뮬레이션의 경우, 후방으로 종방향 전도 각도는 49.75°, 49.56°, 49.77°으로 나타났으며, 전방으로의 종방향 전도 각도는 47.29°, 47.65°, 47.33°이었다. 종방향 및 횡방향 전도 임계 각도는 아래 표에 제시되었다.

<정적 및 동적 전도 실험 조건에 따른 결과>

Conditions	Longitudinal stability (°)				Lateral stability (°)			
	Rear side		Front side		Left side		Right side	
Unloaded	Simulation	Practical	Simulation	Practical	Simulation	Practical	Simulation	Practical
	49.75	42.50	47.29	42.50	39.85	42.50	41.98	42.50
Error (°)	7.25		4.79		2.65		0.52	
Loaded	46.55	42.50	46.93	42.50	37.82	40.90	40.32	40.10
Error (°)	4.05		4.43		3.08		0.22	

실제 검증을 위해, 농업기술실용화재단(전라북도 익산)에서 적재 및 하역 상태에서 사륜 전기차의 전도 시험이 진행되었다. 적재되지 않은 조건에서 차량은 최대 전도 각도 42.50까지 안정적이다(ISO 권장). 적재 상태에서는 차량이 횡방향 조건(좌측 및 우측)에서 전도되며, 이는 개별 바퀴에 최대 힘이 가해졌기 때문에 발생한다. 이런 상황에서 무게중심이 위치를 바꿔 부하 상태에서 횡방향 전도가 발생하는 불균형 상황이 발생한다. 실험 결과는 다음 그림과 같다.



Longitudinal stability

Lateral stability

<비적재 조건 (4314.93 N)>



Longitudinal stability

Lateral stability

<적재 조건 (8237.59 N) >

동적 상황에서 임계 각도를 계산하기 위해 이론적 방정식이 사용되었고 정적 안정성 테스트의 검증 결과에 따라 차량이 실제 현장 조건(그림에 표시)에서 작동되었다. 전도 테스트는 다양한 전진 속도(1, 2, 3km/h)와 지상 경사 30°까지 수행되었다. 적재된 상태와 적재되지 않은 상태 모두에서 안정적인 작업 행동을 보여주었다. 이밖에 소프트웨어에서는 최대 주행속도 3km/h에서 앞바퀴의 무게중심이 약 2cm 정도 지상으로 상승할 것으로 예측됐으며, 뒷바퀴 무게중심의 변화는 장애물에서도 안정적인 것으로 예측되었다. 또한 장애물 통과 구역에서 30-40%의 감속도로 주행하는 것이 안전한 것으로 판단되었다.



<다양한 오프로드에서의 동적 안정성 측정>

4.3.1. 정적 전도 조건 검증

전도 테스트 벤치의 유압 시스템은 적재 및 적재 상태 모두에서 차량이 전도될 때까지 지상에 인공 경사를 발생시키기 위해 사용되었다. 사륜 전기차가 뒤집혔을 때 기울기 각도를 측정해 기록하였다. 사륜 전기차의 전도는 임계 전도 각도를 얻기 위해 테스트되었으며 전도 테스트는 세로 및 측면 중 하나에 대해 각각 세 번 수행되었다. 차량이 좌우로 비었을 때 횡방향 시험 조건에서 전도되지 않았다. 그러나, 왼쪽과 오른쪽의 적재된 차량은 각각 40.1°와 40.9°에서 전도되었다. 이론적 결과에서 관찰된 바와 같이 왼쪽으로 기울어지면서 차량이 과적할 때 지면과 충돌할 위험이 큰 것으로 추정되었다. ISO 16251-2에 따르면 오프로드 상황에서 농기계의 안정성 각도는 최대 45°까지 다양하다. 본 연구에서 양쪽의 반전 각도는 ISO 기준을 충족하는 하중 조건에서 약 41° 범위 이내에 있었다.

5. 현장 성능시험 및 개선방안 도출: 과수원 및 농경지 주행과 조향시험, 진동/경사각/조향력 측정

5.1. 서론

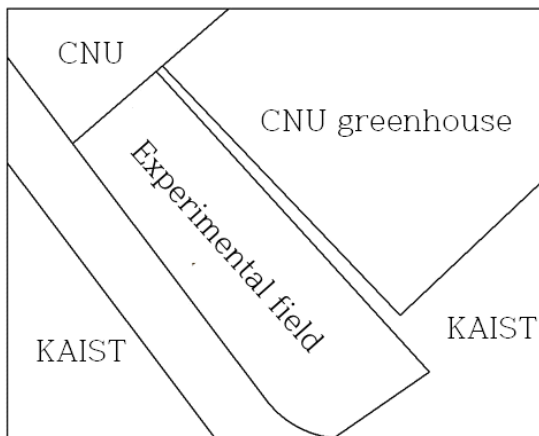
농업에서 운반은 농작물을 재배에 중요한 작업이다. 기존 이동 가능한 차량 중 소형 저전력 배터리 작동 가능한 여성과 고령자 친화형 농산물 카트/차량이 필요하다. 일반적으로 이러한 종류의 차량은 낮은 출력과 높은 작업 효율로 인해 수요가 매우 많다. 본 연구는 차량의 작동 조건과 기계적/물리적 매개변수(즉, 휠 토크, 재료 강도 및 안전) 사이의 관계를 다양한 테스트 현장 필드에서 검토하고 개발된 사륜 전기 자동차 현장 실험의 결과를 보고하고자 한다. 시험 매개변수는 공칭 차량 속도(1, 2, 3 km/h), 회전 속도(68 rpm), 지상 경사 최대 30°까지로 구성되었다. 이 데이터는 서로 다른 작업 조건에서 차량 성능을 평가하기 위해 분석되었다. 제시된 결과는 작업 효율성 및 차량 수명과 관련하여 어떤 매개변수(운전 조건, 자재 유형, 전도 각도)가 유리할 수 있는지를 보여준다. 이 정보는 농작업자들에게 비용 절감과 안전성 보장에 매우 유용할 수 있다. 또한, 동력 요구량 및 효율성에 관한 측정된 매개변수는 제조업체가 이러한 종류의 농업용 차량의 설계를 개선하는 데 도움이 될 수 있다.

농민들이 한 번에 두 가지 작업을 하고 싶은 경우가 많다. 농민들은 방제, 고소작업 등 다목적 작업을 수행할 수 있다. 본 연구는 개발된 4륜 전기차의 전반적인 성능을 조사하기 위해 계획된 광범위한 실험 분석 결과를 제시하고자 한다. 특히, 이 연구는 다양한 오프로드 조건에서 운송 작업 중 중요한 전도 각도와 동력 요구량, 작동 속도, 재료 강도에 대한 데이터를 제공한다.

5.2. 재료 및 방법

5.2.1. 과수원 및 밭 주행과 조향 시험

개발차량은 두 곳에서 성능시험을 실시하였으며, 한 곳은 충남대학교 부속농장이었고, 다른 한 곳은 천안시에 위치한 배 과수원이었다. 아래 그림에 두 가지 실험 장소 배치를 나타내었다. CNU 농장 현장에는 세 가지 오프로드 조건, 즉 주행 및 조향 테스트를 위한 아스팔트, 콘크리트 및 초지가 있었다. 기계는 실제 필드 조건에서 다른 속도(1, 2, 3 km/h)와 지면 경사(최대 30)로 작동하고 하중 유무에 따라 시험하였다. 이 차량의 적재 용량은 400kg이었다. 주행 시 회전구간에서 특히 양호한 성능을 보여주었다. 최대 적재 조건에서, 기어 감속 장치(70:1)는 첫 번째 실험에서 약간의 소음을 보여주었으며, 개선을 통해 감속기를 수정하였다(50:1).



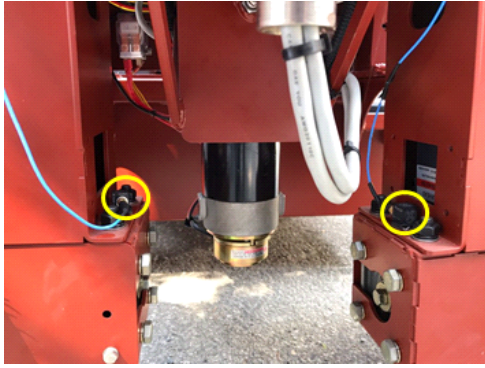
<CNU 농장의 차량 성능 시험 현장>



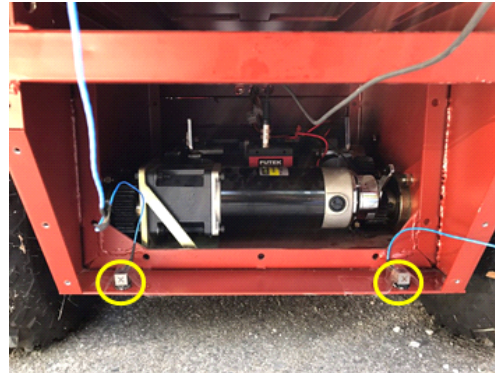
<배 과수원 차량 성능시험 장소>

5.2.2. 진동, 경사각, 조향력 측정

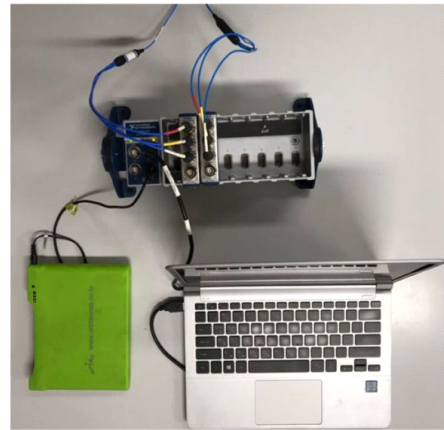
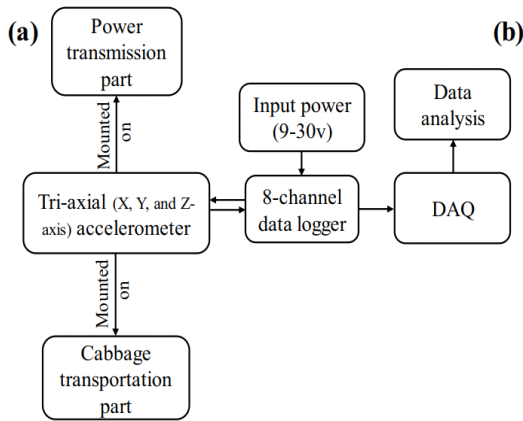
접착식 3축 진동 센서 4개(모델:356A01, PCB Piezotronics, Inc., Depew, NY, USA)를 사용하여 직교축 3개(X, Y, Z 축)에서 진동을 측정하였다. 전면에 2개의 센서가 장착되었고, 4WEV 후면에 2개의 센서가 장착되었다. 아래 그림은 진동 센서의 위치를 나타내고 있다. 진동 센서의 주파수 감도는 Y축과 Z축의 경우 2 ~ 8000Hz, X축의 경우 2 ~ 5000Hz이었다. 4WEV의 진동 데이터는 ISO 표준(그림 참조)에 따라 4채널 모듈(NI 9234, National Instruments, USA)에 연결된 8채널 데이터 로거(모델: NI cDAQ-9178; National Instruments, USA)를 통해 수집되었다. LabVIEW 소프트웨어 프로그램(버전 2010; National Instrument; Austin, Texas, USA)을 사용하여 진동 노출을 무작위로 기록하였다. 수신된 진동 데이터는 Matlab R2010a 소프트웨어 패키지(미국 MathWorks 버전 7.10)를 사용하여 추가 평가를 위해 분석되었다.



<전륜 좌우 센서 위치>



<후륜 좌우 센서 위치>



<진동 측정 절차(a) 및 데이터 수집 장치(b)>

T진동 데이터는 각 실험마다 0.5kHz의 주파수로 수집되었다. 4륜 전기차의 진동 특성은 0°, 5°, 10°, 15°의 경사 오프로드와 1, 2, 3km/h의 전진 주행 등 다양한 조건에서 측정하고 평가되었다. 실험은 우리나라의 전형적인 농로(CNU 온실)에서 수행되었다. 경사계(SST420, Shanghai Vigor Technology Development Co., Shanghai, China)는 도로의 경사각을 측정하기 위해 사용되었다. 각 실험마다 세 번의 반복실험을 하였다. 진동수치는 ISO 표준에 따라 X축, Y축, Z축 방향(세로축, 가로축, 세로축)으로 측정하였다. 진동 가속도의 가중 R.M.S.(root mean square)로 아래 수식으로 계산하였다. 수평축(X 및 Y) 진동 값은 ISO 2631-1 표준을 고려하여 1.4의 계수를 곱하였다.

$$A_{w,axis} = \left[\int_0^T [a_{w,axis}(t)]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

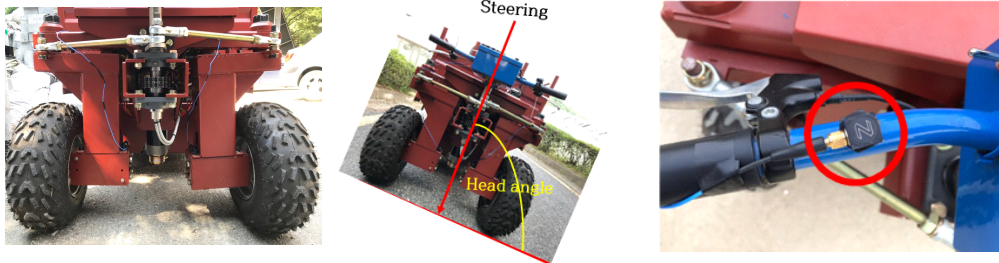
여기서, $a_{w,axis}$ 는 각각 직교 축 X, Y, Z에 관한 시간 t에서의 주파수 가중 가속도(m/s²)임. T는 총 측정 지속 시간이며 $A_{w,axis}$ 는 4WEV 본체 및 전력 전송 영역에서 총 주파수 가중 RMS 가속도임.

총 진동 값(X, Y, Z 축)은 아래 수식으로 계산하였다.

$$A_v = \sqrt{(1.4 \times A_{w,x})^2 + (1.4 \times A_{w,y})^2 + (A_{w,z})^2}$$

여기서, A_v 는 진동 총값(A_v)임. 각 실험의 진동 측정은 세 번 반복되었고 벡터 합(m/s²) 결과는 평균 ± 표준 편차로 정의됨.

조향력 측정은 다양한 조건에서 수행되었다. 휠을 돌리는 데 필요한 토크는 마찰에 의한 저항 토크보다 커야 한다. 속도 센서는 조향력을 측정하기 위해 사용되었다. 4WEV의 조향 메커니즘 및 센서 부착을 아래 그림에 나타내었다.



<조향력 측정 방법을 보여주는 사진>

5.3. 결과 및 고찰

5.3.1. 경사각이 토크 측정값에 미치는 영향

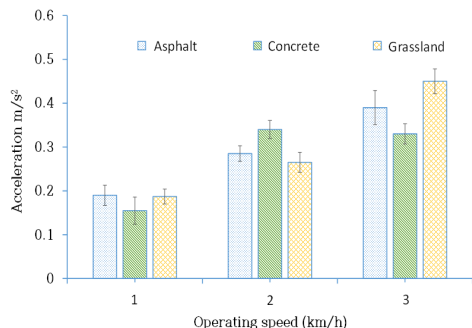
측정된 동력의 평균값은 지반 경사의 증가로 인한 다양한 양상을 보여주었다(표 참조). 얻어진 작업 동력은 다양한 경사 조건(0°, 5°, 10°, 15° 기울기)에서 계산된 동력값(kW)보다 평균적으로 크게 나타났다. 토크 데이터는 다양한 작업 조건 수준(아스팔트 도로, 콘크리트 도로 및 초지 도로)에서 수집하였다. 실험 중 차륜은 공칭값 50, 60 및 70 rpm에서 설정되었으나 약간의 변동이 있었다. 소요 동력은 경사의 영향으로 증가하였다.

<다양한 경사에서의 바퀴당 평균 최대 동력 요구량>

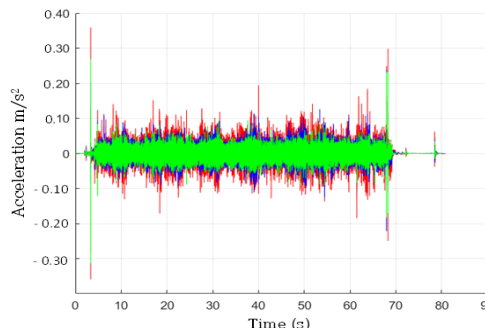
Wheel speed (rpm)	Applied load (kg)	Average maximum power requirement per wheel (kW)			
		Slope (degree)			
		0	5	10	15
70	400	0.29 ± 0.023	0.50 ± 0.039	0.73 ± 0.071	0.84 ± 0.025
	200	0.23 ± 0.075	0.41 ± 0.048	0.52 ± 0.036	0.70 ± 0.069
	100	0.13 ± 0.012	0.22 ± 0.090	0.31 ± 0.061	0.41 ± 0.081
60	400	0.26 ± 0.014	0.41 ± 0.021	0.61 ± 0.019	0.69 ± 0.055
	200	0.21 ± 0.081	0.36 ± 0.083	0.44 ± 0.030	0.57 ± 0.020
	100	0.13 ± 0.026	0.18 ± 0.056	0.28 ± 0.068	0.32 ± 0.022
50	400	0.21 ± 0.062	0.37 ± 0.075	0.53 ± 0.055	0.61 ± 0.037
	200	0.18 ± 0.079	0.29 ± 0.070	0.37 ± 0.063	0.51 ± 0.084
	100	0.11 ± 0.033	0.15 ± 0.036	0.21 ± 0.019	0.29 ± 0.079

5.3.2. 진동의 영향

진동 측정에서는 과도한 진동이 4WEV의 성공적인 운송에 영향을 미치는 소형차 구조에 영향을 미칠 수 있기 때문에 차량 부분이 주요 관심사였다. 이것은 소형 4WEV의 제작 부품을 악화시킨다. 주 동력원으로 작동하는 모터(차량 앞·뒷면) 인근에 위치한 동력전달부위에서 진동 특성을 조사하였다. 평가에서 최대 진동 노출은 2 km/h의 작동 속도로 콘크리트 노면에 시작되었다. 현장 작업 동안 진동 수준은 전진 속도에 따라 통계적으로 다양했다. 진동 측정 수준은 다음 표와 같이 추정하여 제시되었다. 설계안전을 위해 농로 조건에 대한 측정을 실시하였다. 그림에는 4WEV의 진동 특성을 보여준다.



<서로 다른 작업 속도에서 Z축 방향 및 방향의 진동 특성>



<X(녹색), Y(적색), Z(청색) 방향의 진동 특성>

벡터 합(A_v)은 3축 방향의 전반적인 진동 특성을 평가하기 위해 계산되었다. 벡터 합계 결과는 모터 속도, 주행 속도 및 경사 조건에 의해 영향을 받았다. 오프로드 조건에서 벡터 합계 값은 테스트 중 도로의 거칠기로 인해 0-15° 경사 조건에서 1~3km/h 전방 속도에서 불규칙한 특성을 보였다. 진동 평가에서는 4WEV 컨베이어 부분의 경사도 상승 시 진동 노출도가 감소하였다. 이와는 대조적으로, 송전부의 경우 속도와 경사가 증가하면 진동수치가 증가하였다. 이러한 시나리오는 4WEV의 구성 요소 설계로 인해 발생하였다. 4WEV가 더 느린 조건에서 이동할 때, 안정화되고 낮은 진동 수준을 발생시켰다.

<운반 작업 시 주행속도, 도로표면 조건, 측정위치에 따른 가속도 합>

Operation	Forward speed (km/h)	Measurement location	Road type/Accelerations vector sum ($A_v, m/s^2$)		
			Asphalt	Concrete	Grassland
Transportation	1	Front-right	0.22	0.20	0.17
		Front-left	0.20	0.18	0.16
		Rear-right	0.16	0.11	0.13
		Rear-left	0.13	0.10	0.28
	2	Front-right	0.20	0.13	0.30
		Front-left	0.63	0.54	0.35
		Rear-right	0.85	0.78	0.13
		Rear-left	0.49	0.30	0.33
	3	Front-right	1.60	1.13	1.50
		Front-left	1.20	1.20	1.50
		Rear-right	1.50	1.40	1.10
		Rear-left	1.50	1.50	1.50

전반적인 진동 측정은 4륜 전기구동 자동차 부품의 시제품 설계에 대한 진동 가이드라인을 제안하는 기초 연구로 수행되었다. 인체가 진동 표면과 직접 접촉하지 않았고, 진동 노출도 기계 성능에 영향을 미치지 않았다. 향후 차량 개조 시 적절한 조건에서 진동을 유지하기 위해 진동 감소 절차를 적용해야 할 것이다.

5.3.3. 조향력의 영향

마찰력(한 바퀴에 가해짐)은 39.24N으로 계산되었다. 또한 마찰력에 의한 토크가 5.03Nm로 기록되었다. 기록된 토크는 타이 로드로부터의 측면 밀기와 동일했다. 뉴턴 제2법칙에 따르면, 조향력은 15 Nm로 기록되었고, 여기서 가속도는 1.5로 측정되었고 조향의 질량은 98.07N이었다. 조향장치가 정교했지만 특히 회전도로 구간에서 최대하중을 수동으로 제어할 수 있는 가벼운 경도를 보여 고령자와 여성농업인을 고려한 개량차량의 자동조종장치로서 조향·제동부분을 개선하는 것이 필요하였다.



<CNIU온실(충남대학교 부속농장)의 오프로드 조건별 조향시험>



<배 과수원 조향시험>

요약하자면, 기존 기계를 독립적인 스티어링 시스템과 구동 시스템을 통해 사륜 구동 전기차의 코너링 성능을 향상시키도록 개발되었다. 이에 본 연구에서는 주행능력 향상을 위한 회전반경 최소화 및 서스펜션 기능 향상 기술 개발, 서스펜션 기능을 개선한 4WD 전기차의 동력분석, 기어응력 분석, 피로분석 등이 추진됨. 개발된 사륜 전기차 시제품의 전반적인 테스트 결과는 성공적인 운영을 위한 합리적인 가치에 초점이 맞춰졌다. 시험 결과, 현재 배터리 기술과 4WEV의 구조는 대한민국의 다양한 농업 현장 조건에서 400kg의 하중을 견딜 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 이 기계는 다양한 종류의 현장 활동을 위해 쉽게 작동할 수 있었다. 여러 종류의 부품과 부품들은 매우 간단하게 변경될 수 있었다. 적절하게 사용하면 농민, 중소 무역업자 및 기업가들이 다양한 농업 분야에서 다양한 활동을 증진시키는 데 도움이 될 것이다. 또한, 소형 저출력 사륜구동 전기자동차가 고령자 및 여성농업인이 이 기계로 농사활동을 할 때 도움이 될 것이다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

- SB산업

연구개발 수행내용		연구결과
주행부 및 모터 제어기 설계, 제작	모터 테스트 및 선정: 동력 및 부하특성	모터 후보군 및 스펙을 비교 분석후 최적의 모터로 DMK DC Motor 12V, 24V 250W, 400W 모터를 적용함.
	감속비 및 기어조합 설계, 제작	농업용 전동운반차의 평균 속도인 시속 4Km/h로 설계, 모터 바퀴속도 비율 계산, 기어조합 및 토크측정 센서를 장착하여 제작함.
	하우징 설계, 제작	4륜독립구동 운반차로 4바퀴의 사이즈를 동일하게 구성하고, 후륜의 수직 독립구동을 위해 후륜 조향장치쪽의 휠 하우스 폭을 측정하여 자유롭게 움직일수 있도록 제작됨. 차체의 무게중심을 맞추기 위해 배터리를 중앙으로 배치하였음.
	모터 제어기 및 알고리즘 제작	조향신호와 악셀신호를 받아서 전륜바퀴의 구동 회전수를 비례제어하는 알고리즘으로 제작.
조향 메커니즘 설계, 제작 (사륜 독립구동 전동운반차 - 특허출원 및 등록)	조향 메커니즘 링크 합성	조향부분에 0~20k옴의 가변 저항을 사용하여, 바퀴의 조향각도를 측정. 측정된 조향각도를 근거로, 전륜 좌/우 바퀴의 회전수를 비례적으로 제어함. 후륜 바퀴는 전륜 바퀴의 회전수에 비례하여 설정하며, 두개의 모터를 직렬로 결속하여 차동 동작을 하도록 구성.
	조향 메커니즘 설계, 제작	Curtis DC Motor Controller 4개를 사용하여 전륜2, 후륜 각1x2, 조향 핸들을 독립적으로 모터 제어를 할수 있게끔 설계 및 제작함.
	조향부 본체 장착 프레임 설계, 제작	전 후진 조이스틱의 입력 값에 따라 전륜 좌/우, 후륜 모터 컨트롤러에 제어 신호를 전달. 전륜 좌/우, 후륜 모터 제어는, 각 컨트롤러에서 개별적으로 관리.
적재함-주행부 설계, 제작	적재함-주행부 유격 조정기구 설계, 제작	소재 연마봉 샤프트를 가공하고 오일리스 원추롤러 축받이 베어링 부싱을 사용하여 유격을 최소화 함으로 안정성을 높이고 회전시 마찰력을 최소화함
	적재함 진동 최소화 서스펜션 개선	서스펜션이 받, 과수원등 노면이 불규칙한 농지에서 작동시, 정차중에 작업 안정성을 위한 서스펜션 고정 브레이크 탑재(틸팅 잠금장치 - 특허출원)
통합 시작품 제작 및 현장 적용	요소 매칭 및 조립 통합 시작품 1차 제작	통합 시작품 제작 완료하여 충남대 실험실로 이송 및 테스트 시작
	과수원, 밭 토양에서 성능시험, 문제점 도출	후륜 기어 하나가 차체 무게와 500KG 하중을 버티지 못해 파손됨 3차년도 개선사항에 포함시켜 안정성 및 내구성 향상 필요.
문제점 보완 및 실증시험	2년차 현장적용시 도출된 문제점 검토	베벨기어, 감속기 파손 -> 감속기 일체형 하이브리드 기어채택으로 해결
	부품개선 설계 및 제작	조향 메커니즘 개선, 차동기능 첨가, 시소 기능에 Lock / Unlock 장치를 추가하여 안정적인 주행이 되도록 변경.
산업화 추진	<추가 성과>	플랫폼 활용으로 승용 주행형 동력분무기 개발 (SB-900TH)
	공인 시험(농업기술 실용화 재단)	농업기술실용화재단 SB-900TH - 종합검정(M-21-00853) 합격(21.10.12) 농업기술실용화재단 SB-4X4 - 안전검정(M-21-00961) 합격(21.11.09)

- 충남대학교

연구개발 수행내용	연구결과
○ 필수 동력 분석	- 구름저항, 공기저항, 중력을 고려한 소요동력 수학적 모델 계산 - 다양한 조건하의 휠과 토양의 관계 비교 완료 - 희망속도, 최대경사각, 작업 토양의 종류 등을 고려한 다양한 작업환경에 따른 소요 동력 계산 완료
○ 동력전달 모델링 및 시뮬레이션	- 기어, 축, 휠의 동력전달부 모델링 완료 - 다양한 기어 형상에 따른 손실 및 효율성 시뮬레이션 결과 작성 후 설계방향 제시 완료 - 동력전달체계 : 4륜 휠에 독립모터를 구동하여 모터-감속기-차륜으로 동력전달 - 기어형태 및 크기 결정 및 동력전달 효율 계산 - 기어비 결정 : 기어비 1:1로 설정하여 동력 전달하고 감속은 전자 제어를 통해 진행
○ 기어 응력 및 피로 분석	- 도로조건(아스팔트, 콘크리트, 초원)에 따른 소요 동력 산출 완료 - 메인 기어에 토크 센서(TRS605)장착 후 토크와 속도 측정 완료 - 최대 토크값을 사용한 부하 분석 및 기어의 기대수명 계산
○ 구조 안정성 평가, 진동해석	- RecurDyn 다차원 소프트웨어를 사용하여 주행 안정성 평가 - 실제 현장 실험을 통한 시뮬레이션 결과 검증 - 다양한 도로 조건에서 진동 센서를 이용한 진동 수준 측정 - 높은 진동 노출 기록 및 진동 특성 도출
○ 현장 성능 시험 및 개선	- 주행 및 조향시험 실시 완료 - 동력전달부, 핸들부 진동노출 측정 완료 - 5도, 10도, 15도의 기울기에서 차량의 성능평가 완료 - 뉴턴식을 이용한 조향 핸들에 필요한 힘 도출

(1) 정성적 연구개발성과

- 미끄럼 방지를 위한 4륜 독립구동 주행부 및 모터 제어기술, 4륜 독립구동 모터 - 감속기 - 차륜 동력전달부, 조향각 감응형 차동 및 잠금모터 제어 개발
- 회전반경, 멀칭 비닐 찢김 피해 최소화와 힘이 덜 들어가는 조향 메커니즘 개발, 차륜 수직형 조향, 내외측 조향각을 달리하여 부드러운 조향 구현,
- 수확물 등 운반물 손상 최소화를 위한 서스펜션 기능 향상 및 유격롤링반동 원터치 제어기능으로 전복 위험을 최소화한 적재함-주행부 프레임 개발,
- 고령자 및 여성 농업인들도 적은 힘으로 작업하고, 미끄럼이나 멀칭 비닐 찢김이 최소화, 수확물 등 운반물 손상을 최소화 할 수 있는 전동운반차(SB-4x4)를 개발 완료 및 산업화
- 3륜 승용 자주형 동력분무기(SB-900TH) 개발 완료 및 산업화

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기 타 (타 연구 활용비)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	평 균 등 급	건	백 만원	건	백 만원	백 만원	명	백 만원	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	15			10	10	20					10		5	5	5	5			
최종 목표	2	2			1	1						1		3	3		2			
1 단계 (`19)	목표	1							2					1	1					
	실적	1							4					0	1					
2 단계 (`20)	목표	1	1											1	1		1			
	실적	1	0						2					2	2		1			
3 단계 (`21)	목표		1		1	1					1		1	0.41	1	1	1			
	실적		1		1	2			1		2		1	1	4	2	2			
계	2	1			1	2			7		2		1	3	7		3			
가중치 (%)	15	15			10	10	20				10			5	5	5	5			

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Analysis of power requirement of a prototype four-wheeled electric vehicle under different off-road conditions	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Mohammod Ali	733	United Kingdom	IOP publishing	SCOPUS	2021-05-04	1755-1315	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1.	International Conference on Green Agro-Industry and Bioeconomy	Mohammad Ali	2020.08.25	Malang, East Java	인도네시아
2.	KSAM & ARCs 2020 Spring Conference	Mohammad Ali	2020.06.15~26	Online	대한민국
3.	KSAM & ARCs 2021 Spring Conference	Mohammad Ali	2021.04.30	Online	대한민국

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기어울	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	사륜 독립구동 전동운반차	대한민국	이원식 이현석	19.11.27	10-2019-0154877		이원식 이현석	21.04.06	10-2239092	100%	활용
2	틸팅 잠금장치를 구비한 사륜 독립구동 전동운반차	대한민국	이원식 이현석	20.10.30	10-2020-0143313					100%	활용

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	농기계 인증	농업기술실용화재단	종합검정	M-21-00853	21.10.12	대한민국
2	농기계 인증	농업기술실용화재단	안전검정	M-21-00961	21.11.09	대한민국

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	SB-4X4	21.06.05	SB산업	SB산업	농용동력운반차	3년	실용화재단	21.10.12
2	SB-900TH	21.10.05	SB산업	SB산업	승용 주행형 동력분무기	1년	실용화재단	21.11.09

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	직접실시	사륜 독립구동 전동운반차	SB산업	22.01.11	1,540,000	

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	대한민국	사륜 독립구동 전동운반차	특허등록 된 4륜 독립구동 전동운반 차에 대한 지재권	SB산업				20년

□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

성과		4륜 독립구동 전동운반차, 3륜 승용 주행형 동력분무기		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1		
	소요예산(천원)	.		
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		.	500,000	1,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후
국내			30	40
국외			3	4
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		4륜 승용 주행형 동력분무기		
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
		.	500,000	1,000,000
	수출	.	200,000	400,000

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2019년	2020년	2021년	
1	4륜 독립구동 전동운반차	SB산업	4명	2명	1명	7명
합계			4명	2명	1명	7명

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	2
		생산인력	5
	개발 후	연구인력	3
		생산인력	7

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도	3륜 승용 주행형 동력분무기	.	.	.	30%	1	
기대 목표		200,000.	50,000	200,000	30%	1	

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2019		1			1						√
2		2020	1	1				1	√				√
3		2021		1	3		3	1					√

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	기타	홈페이지	홈페이지 동영상	2020.06.01
2	기타	Youtube	SB산업 포도방제기	2021.11.08
3	중앙전문지	정부지원목록집	정부용자지원 제품 등록 및 홍보	2022.01.01

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

특허4권 독립구동 플랫폼을 사용한 승용 3륜 자주형 동력분무기를 개발 및 사업화 완료

2) 목표 달성 수준

추진 목표		달성 내용	달성도(%)
주행부 및 모터 제어기 설계, 제작	모터 테스트 및 선정: 동력 및 부하특성	모터 후보군 및 스펙을 비교 분석후 최적의 모터로 DMK DC Motor 12V, 24V 250W, 400W 모터를 적용함.	100%
	감속비 및 기어조합 설계, 제작	농업용 전동운반차의 평균 속도인 시속 4Km/h로 설계, 모터 바퀴속도 비율 계산, 기어조합 및 토크 측정 센서를 장착하여 제작함.	100%
	하우징 설계, 제작	4륜독립구동 운반차로 4바퀴의 사이즈를 동일하게 구성하고, 후륜의 수직 독립구동을 위해 후륜 조향장치쪽의 휠하우스 폭을 측정하여 자유롭게 움직일수 있도록 제작됨. 차체의 무게중심을 맞추기 위해 배터리를 중앙으로 배치하였음.	100%
	모터 제어기 및 알고리즘 제작	조향신호와 악셀신호를 받아서 전륜바퀴의 구동 회전수를 비례제어하는 알고리즘으로 제작.	100%
조향 메커니즘 설계, 제작 (사륜 독립구동 전동운반차 - 특허출원 및 등록)	조향 메커니즘 링크 합성	조향부분에 0~20k옴의 가변 저항을 사용하여, 바퀴의 조향각도를 측정. 측정된 조향각도를 근거로, 전륜 좌/우 바퀴의 회전수를 비례적으로 제어함. 후륜 바퀴는 전륜 바퀴의 회전수에 비례하여 설정하며, 두개의 모터를 직렬로 결속하여 차동 동작을 하도록 구성.	100%
	조향 메커니즘 설계, 제작	Curtis DC Motor Controller 4개를 사용하여 전륜2, 후륜 각1x2, 조향 핸들을 독립적으로 모터 제어를 할수 있게끔 설계 및 제작함.	100%
	조향부 본체 장착 프레임 설계, 제작	전 후진 조이스틱의 입력 값에 따라 전륜 좌/우, 후륜 모터 컨트롤러에 제어 신호를 전달. 전륜 좌/우, 후륜 모터 제어는, 각 컨트롤러에서 개별적으로 관리.	100%
적재함-주행부 설계, 제작	적재함-주행부 유격 조정기구 설계, 제작	소재 연마봉 샤프트를 가공하고 오일리스 원추롤러 축반이 베어링 부싱을 사용하여 유격을 최소화 함으로 안정성을 높이고 회전시 마찰력을 최소화함	100%
	적재함 진동 최소화 서스펜션 개선	서스펜션이 밟, 과수원등 노면이 불규칙한 농지에서 작동시, 정차중에 작업 안정성을 위한 서스펜션 고정 브레이크 탑재(틸팅 잠금장치 - 특허출원)	100%
통합 시작품 제작 및 현장 적용	요소 매칭 및 조립 통합 시작품 1차 제작	통합 시작품 제작 완료하여 충남대 실험실로 이송 및 테스트 시작	100%
	과수원, 밭 토양에서 성능시험, 문제점 도출	후륜 기어 하나가 차체 무게와 500KG 하중을 버티지 못해 파손됨 3차년도 개선사항에 포함시켜 안정성 및 내구성 향상 필요. 문제점을 파악.	100%
문제점 보완 및 실증시험	2년차 현장적용시 도출된 문제점 검토	베벨기어, 감속기 파손 -> 감속기 일체형 하이브리드 기어채택으로 해결	100%
	부품개선 설계 및 제작	조향 메커니즘 개선, 차동기능 첨가, 시소 기능에 Lock / Unlock 장치를 추가하여 안정적인 주행이 되도록 변경.	100%
산업화 추진	<추가 성과>	플랫폼 활용으로 승용 주행형 동력분무기 개발 (SB-900TH)	100%
	공인 시험(농업기술 실용화 재단)	농업기술실용화재단 SB-900TH - 종합검정(M-21-00853) 합격(21.10.12) 농업기술실용화재단 SB-4X4 - 안전검정(M-21-00961) 합격(21.11.09)	100%

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
[동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험] ○ 소요동력 이론 분석 ○ 동력전달 모델링 및 시뮬레이션	○ 차체 및 토양에 따른 소요동력 수학 모델링 ○ 변수에 따른 소요동력 계산 ○ 동력전달부 모델링 ○ 동력전달 효율 시뮬레이션, 감속부 설계 방향 제시	100%
[동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험] ○ 기어 응력 및 피로 해석 ○ 현장적용 시험 및 개선점 도출	○소요동력 측정 ○부하 스펙트럼 모델링 ○감속기어 응력 및 피로 해석 ○감속기어, 축 등 최적 선정 ○과수원, 밭 주행 및 조향 시험 ○진동, 경사각, 조향력 측정	100%
[동력전달 및 부품 구조해석, 실증시험] ○ 기체 안정성 평가 ○ 실증시험 및 성능분석	○정적 및 동적 주행 시뮬레이션 ○전도 안전범위 산출, 정적 전도각 측정 ○과수원, 밭 주행 및 조향 시험 ○진동, 조향력, 주행속도 등 측정	100%

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 최근 발작물, 과수 등 농사를 위해 방제작업, 퇴비 살포작업, 수확물 운반, 농자재 운반 등을 위하여 다양한 동력운반차가 보급되고 있음. 하지만 요철, 습지, 낙엽, 경사지 등에서 차륜이 미끄러지고, 멀칭 비닐이 찢기고 엉키는 등 농작업자가 운전하기에 불편하고 힘이 많이 드는 실정임. 또한 수확물 등이 운반 중에 요철 등에 의한 충격으로 손상 및 차체 전복 위험이 있음
- 현장의 불편 사항을 해소한 4륜독립구동 운반차, 3륜 승용 자주형 동력분무기 두 기종으로 비포장도로 등 요철이 있는 충격이나 과부하가 걸릴 수 있는 현장조건에서 여성·고령 또한 쉽게 조작할 수 있는 제품을 산업화하여 국내 기술력을 향상시키고 국외 제품들과의 경쟁력을 확보하고자 함
- 4륜구동, 캠버, 토우를 적용한 회전축 동력일체형 전동운반차로써 농기계 산업뿐만 아닌 일반산업 기계화에도 적용이 가능.
- 원격 핸들 조향 및 전자 감응식 센서를 통한 4륜 제어 기술 확보.
- 선행 개발된 바퀴장착장치 서스펜션 특허를 활용한 안전성 확보
- 전기 모터로 구동하는 제품으로 친환경에 기여

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 다목적 전동운반차로서 농작업의 편이와 생산비 절감에 기여
- 승용 자주형 동력분무기를 통한 약액 살포 작업의 편리성과 호흡기, 근, 골격계 질환등을 예방함.
- 친환경 농기계 보급의 활성화
- 일반산업 기계화에도 적용하여 운반 산업 전반에 활용.
- 개발된 기술을 다양하게 활용될 수 있도록 호환성 강구

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	매년 목표치 1
	비SCIE	
	계	
국내논문	SCIE	
	비SCIE	
	계	
특허출원	국내	
	국외	
	계	
특허등록	국내	1
	국외	1
	계	2
인력양성	학사	
	석사	
	박사	
	계	
사업화	상품출시	1
	기술이전	
	공정개발	
제품개발	시제품개발	1
비임상시험 실시		
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상
		2상
		3상
	의료기기	
진료지침개발		
신의료기술개발		
성과홍보		
포상 및 수상실적		
정성적 성과 주요 내용		

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.	1)
	2)

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농식품기술개발사업 발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화 연구개발과제 최종 보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	119007-3		
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화			과제유형	(기초,응용,개발)
연구개발기관	SB산업			연구책임자	이원식
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	19.04.16~19.12.31	110,000	37,000	147,000
	2차년도	20.01.01~20.12.31	137,000	46,000	183,000
	3차년도	21.01.01~21.12.31	137,000	46,000	183,000
	4차년도				
	5차년도				
	계	19.04.16~21.12.31	384,000	129,000	513,000
위탁기관	충남대학교				
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 22.02.10

3. 평가자(연구책임자) : 이원식

소속	직위	성명
SB산업	대표	이원식

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확 약	이원식
-----	-----

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

우수

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

우수

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

우수

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

우수

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, 보통, 미흡, 극히불량)

우수

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
<ul style="list-style-type: none"> - 미끄럼 방지를 위한 주행부 및 모터 제어기 설계 제작 - 4륜 독립구동 모터 감속기 차륜 동력전달부 - 조향 메커니즘 설계, 제작 	20	100	<ul style="list-style-type: none"> - 커티스 컨트롤 중 제어기능이 구성된 제품을 사용하여 해결. - 하이포이드 감속기와 DC24V-4극모터 일체형으로 해결함. - 원활한 조향을 위하여 독립구동과, 바퀴캠버를 적용하고, 4바퀴 지면접지를 위하여 서스펜션 기능을 접목한 조향장치를 개발함.
<ul style="list-style-type: none"> - 적재함 - 주행부 설계, 조향각 감응형 차동 및 잠금 모터 제어 - 회전반경, 멀칭 비닐 찢김 피해 고려한 조향력 최소화 설계 - 차륜 수직형 조향, 내외측 조향각을 달리하여 부드러운 조향 설계 - 통합 시작품 제작 및 현장 테스트 	20	100	<ul style="list-style-type: none"> - 적재함:수동 슬라이딩형 덤프기능탑재 (덤프시 적재함 고정장치 개발) - 주행부설계 : 4륜동시 지면접지와 동시구동 가능하여 미끄럼 탈출이 용이함. - 생산비용 절감을 위하여 조향바퀴 회전축(캠버)을 수직으로 제작하고 내, 외측바퀴 회전을 달리한 차동 기능을 구현하여 회전반경 및 멀칭 비닐 찢김피해를 해결함. - 조향과 기동력에 만족하고, 적재량 확충은 모터 용량만 상향시키면 얼마든 해결가능함.
<ul style="list-style-type: none"> - 문제점 보완 및 실증시험 - 전동운반차 플랫폼을 활용한 승용 자주형 동력분무기 개발 - 공인인증(농업기술실용화재단 시험 및 검정), 산업화 추진 	20	100	<ul style="list-style-type: none"> - 2차년도 문제점을 감속기 일체형 하이브리드 기어를 채택하여 해결함 - 승용자주형 동력분무기 개발은 포도 및 과실수 농업인에게 호평받음. - 농업기술실용화재단/농용동력운반차(안전검정합격) - 농업기술실용화재단/자주형(승용식)동력분무기(종합검정합격) - 국내시판 및 수출 기대함.
<ul style="list-style-type: none"> - 차체 및 토양에 따른 소요동력 수학 모델링 - 변수에 따른 소요동력 계산 - 동력전달부 모델링 - 동력전달 효율 시뮬레이션, 감속부 설계 방향 제시 	10	100	<ul style="list-style-type: none"> - DC24V-4극모터와 하이포이드 감속기 일체형 독립구동 모터로 모터 구동파워와 4륜 동시 구동형으로 파워 및 험로 탈출시 대 성공하였음.

<ul style="list-style-type: none"> - 소요동력 측정 - 부하 스펙트럼 모델링 - 감속기어 응력 및 피로 해석 - 감속기어, 축 등 최적 선정 - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 경사각, 조향력 측정 	10	100	<ul style="list-style-type: none"> - 충남대학 연구진의 도움으로 해결하여 만족함.
<ul style="list-style-type: none"> - 정적 및 동적 주행 시뮬레이션 - 전도 안전범위 산출, 정적 전도각 측정 - 과수원, 밭 주행 및 조향 시험 - 진동, 조향력, 주행속도 등 측정 	20	100	<ul style="list-style-type: none"> - 농업기술실용화재단 안전검정 및 종합검정 기준에 적합판정 받음.
합계	100점	100	제품에 만족하고 내수와 수출에 기대함

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

적절하게 수행되었음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 고수익 포도농장 현황(하우스, 멀칭 비닐멀칭) 및 과수농장에 꼭 필요한 제품이며,
- 여성 및 노약자 농업인 요구에 항시 대응 가능한 제품이므로 매출증대, 특히 수출에 기대됨.
- 각 농장의 현황이 다르므로 그에 따른 제품으로 업그레이드 하는데 최적에 플랫폼이다.
- 농장 현장에 따른 발명특허 준비도 하고 있음.

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	첨단생산기술개발사업
연구과제명	발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화			
주관연구개발기관	SB산업		주관연구책임자	이원식
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	384,000	129,000		513,000
연구개발기간	2019.04.16 ~ 2021.12.31 (2년 8개월)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 발, 과수원 주행능력이 향상된 고령자 및 여성 친화형 4륜 독립구동 전동운반차 개발 및 산업화	4륜 독립구동 전동운반차(SB-4X4)와 플랫폼을 활용한 작업기 3륜 승용 주행형 동력분무기(SB-900TH)를 개발하고, 시험검증을 통과하고 제품화 하여 좋은 결과를 이루어 냈습니다.
②	

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											S C I		비 S C I	논 문 평 균 I F	정 책 활 용	홍 보 전 시			
단위	건	건	건	평 균 건 수	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건		
가중치	15	15			10	10	20				10			5	5	5	5	5	
최종 목표	2	2			1	1			2	1		1		3		3		2	
당해 년도	목표	2	2		1	1			2	1		1		3		3		2	
	실적	2	1		1	2			7	2		1	0.41	3		7		3	
달성률 (%)	100	50			100	100				100		100		100		100		100	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	사륜 독립구동 전동운반차 (특허출원 및 등록)
②	틸팅 잠금장치를 구비한 사륜 독립구동 전동운반차 (특허출원)
③	

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 해결	정책 자료	기타
①의 기술	v	v				v	v	v		
②의 기술	v	v				v		v		
③의 기술										
·										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	개발 메인 플랫폼으로 지속적인 개선, 개량을 통해 부속작업기를 늘려나갈 계획입니다.
②의 기술	특허 등록을 추진하려 합니다.
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용예외)
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출		투자유치	논문 SCI	비SCI			논문평균 I-F	학술 발표	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건		건	명	건	건	
가중치	15	15			10	10	20				10			5	5		5		5
최종목표					1		1	800	200	2									
연구기간내 달성실적	2	1			1		2			7	2		1	0.4	3		7		3
연구종료후 성과창출 계획								800	200										

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.