

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )

기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004760-01

# 자주식 두 줄 무수확기의 개발

2024.07.29.

주관연구기관 / 주식회사 에이치엠씨

공동연구기관 / 전남대학교 산학협력단

공동연구기관 / 충남대학교 산학협력단

위탁연구기관 / 사단법인한국농업기계화정책연구원

농림축산식품부  
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

동림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 「자주식 등 출 부수학기의 개발」(개발기간 2021.04.01 ~ 2023.12.31)  
과제의 최종보고서로 제출합니다

남분양자 2024.01.20

주관연구기관명 : 주식회사 에이치엠씨 이리송 (인)

공동연구기관명 : 전남대학교 산학협력단 하준석 (인)

충남대학교 산학협력단 임남형

주관연구책임자 이리송 (인)

공동연구책임자 : 최영수 (인)

공동연구책임자 : 강영선 (인)

국기연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다

### 최종보고서

보안등급

일반[√], 보안[ ]

중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명		기술사업화지원사업	
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원		내역사업명 (해당 시 작성)		민간중심 R&D 사업화지원	
공고번호		제 농축2021-41호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
				연구개발과제번호			
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
	농림식품과학기술분류	RC0101	100%	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문					
		영문					
연구개발과제명		국문		자주식 두 줄 무수확기의 개발			
		영문		Development of self-propelled two-row radish harvester			
주관연구개발기관		기관명		주식회사 에이치엠씨		사업자등록번호	
		주소		(우)58279 전라남도 나주시 다시면 문암길 38(가운리)		법인등록번호	
연구책임자		성명		이리중		직위	
		연락처		직장전화 062-334-0985		휴대전화	
				전자우편		국가연구자번호	
						1142 8648	
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31( 2년 9개월)			
		단계 (해당 시 작성)		1단계		2021. 04. 01 - 2022. 04. 01( 1년 9개월)	
		2단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(12개월)			
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원		기관부담		그 외 기관 등의 지원금	
		연구개발비		연구개발비		지방자치단체 기타( )	
		현금		현금 현물		현금 현물	
총계		803,000	9,928 126,582	- -	- -	812,928 126,582	939,510 -
1단계	1년차	219,000	- 37,230	- -	- -	219,000 37,230	256,230 -
	2년차	292,000	4,964 44,676	- -	- -	296,964 44,676	341,640 -
2단계	1년차	292,000	4,964 44,676	- -	- -	296,964 44,676	341,640 -
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위	
		휴대전화		전자우편		비고	
		역할		기관유형			
공동연구개발기관		전남대학교산학협력단		최영수		교수	
		충남대학교산학협력단		강영선		연구교수	
위탁연구개발기관		사단법인한국농업기계화정책연구원		강창호		원장	
연구개발담당자 실무담당자		성명		노현석		직위	
		연락처		직장전화 061-334-0985		휴대전화	
				전자우편		국가연구자번호	

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

2024년 07월 29일

연구책임자: 이리중 (인)

주관연구개발기관의 장: 주식회사 에이치엠씨 이리중 (직인)

공동연구개발기관의 장: 전남대학교 산학협력단 하준석 (직인)

공동연구개발기관의 장: 충남대학교 산학협력단 임남형 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 사단법인한국농업기계화정책연구원 강창호 (직인)

농림축산식품부장관 · 농림식품기술기획평가원장 귀하

## &lt; 요약 문 &gt;

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		기술사업화지원사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)		민간중심 R&D 사업화 지원			연구개발과제번호		821053-3	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	100 %	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%	
	농림식품 과학기술분류	RC0101	100 %	2순위 소분류 코드명	%	3순위 소분류 코드명	%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)								
연구개발과제명		자주식 두 줄 무수확기의 개발						
전체 연구개발기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31 (2년9개월)						
총 연구개발비		총 995,100천원 (정부지원연구개발비: 803,000천원, 기관부담연구개발비 : 136,510천원)						
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준( 5 ) 종료시점 목표( 8 )	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)								
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)								
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구 최종 목표 : 자주식 두 줄 무수확기의 개발</li> <li>-본 연구는 '자주식 무 수확기 개발 및 산업화'과제의 후속 연구개발 과제로서, 두줄 무 재배 양식에 근거하여, '자주식 두줄 무 수확기의 개발'을 목표로 한다.</li> <li>-관행농법의 노동력을 절감하고 작업능률을 향상시켜 농가 소득 및 생산성을 높인다.</li> <li>○ 기계화에 적합한 표준 재배 방식을 제안하고, 실증시험을 통한 개선으로 제품의 완성도를 높인다.</li> </ul>						
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 개발</li> <li>-윤거 조절이 가능한 HST 주행 플랫폼 시스템 개발</li> <li>-수확물 적재 및 하역용 이송 크레인 개발</li> <li>○ 인발부 설계 및 제작</li> <li>-품종별 특성 조사를 통한 인발부의 형상 최적화</li> <li>-인발 성능 향상을 위한 감아올림장치, 진입유도장치 시스템 설계</li> <li>-작업속도 및 무 자세에 따른 인발 구조의 설계</li> <li>-생육상태 및 상이한 재배방식을 고려한 인발부의 위치 조절형 구조 설계</li> <li>○ 이송부 설계 및 개발</li> <li>-수확물 손상 방지를 위한 고무벨트 시스템 설계</li> <li>-이송부 전동모터식 동력원 적용 검토:실증시험 및 결과 도출</li> <li>○ 주요 부품 DATA를 적용한 시뮬레이션 및 구동 성능 분석</li> <li>-동력전달부 주요부품(유압펌프, 밸브 등)의 특성 및 재원 분석</li> <li>-SI(System Integration)을 통한 통합 시뮬레이션 모델 개발</li> <li>-실증시험을 통한 시뮬레이션 검증 및 동력전달부 최적화</li> <li>○ 두줄 무 수확 기계화 표준재배양식(안) 제시</li> <li>-국내 무 재배양식 분석과 표준재배양식(안) 구명</li> <li>-재배 양식에 따른 수작업 분석 및 기계화 경제성 평가 수행</li> <li>-한줄, 두줄 관행농법 대비 기계화 경제성 평가</li> <li>-실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 분석 및 표준안 구명</li> </ul>						
	1차 목표	○ 발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계						

년도		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실증시험을 위한 테스트베드 준비</li> <li>○ 두줄 무 수확시스템 개발</li> <li>○ 동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 및 분석</li> <li>○ 무 재배의 표준양식 현황 분석</li> </ul>
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술(특허) 및 시장조사</li> <li>- 윤거 조절이 가능한 HST 주행 플랫폼 시스템 설계</li> <li>- 수확물 적재 및 하역용 이송 크레인 설계</li> </ul> </li> <li>○ 실증시험을 위한 테스트베드 준비 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트베드 확보 및 파종</li> </ul> </li> <li>○ 두줄 무 수확시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무 재배 양식 특성 조사</li> <li>- 인발부 및 이송부 줄기절단부 설계안 도출</li> </ul> </li> <li>○ 동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시뮬레이션 모델 개발을 위한 시스템 분석</li> <li>- 주요 부품 제원을 적용한 시뮬레이션 모델 개발</li> </ul> </li> <li>○ 무 재배의 표준양식 현황 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 무 재배양식 조사 및 핵심 재배기술 분석</li> <li>- 생육량 측정을 위한 영상 처리 기술 개발</li> </ul> </li> </ul>
2차년도	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주행 플랫폼 제작 및 구동성능 확인</li> <li>○ 동력부 및 인발부, 이송부 제작&amp;구동성능 확인</li> <li>○ 인발부, 이송부의 전동모터 구동 방식 검토</li> <li>○ 테스트베드를 활용한 품종별 특성 연구</li> <li>○ 최적화된 구굴부 설계 및 개발</li> <li>○ 시뮬레이션 모델을 통한 동력전달부 분석</li> <li>○ 실증시험 데이터 확보를 위한 계측 시스템 개발</li> <li>○ 무 수확의 현황 및 기계화 경제성 분석</li> <li>○ 두줄 무 재배양식의 경제성 조사</li> </ul>
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 주행 플랫폼 제작 및 구동성능 확인</li> <li>○ 동력부 및 인발부, 이송부 제작&amp;구동성능 확인 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 작동부별 성능 시험 및 평가</li> <li>- 성능 향상을 위한 개선안 도출 및 적용</li> </ul> </li> <li>○ 인발부, 이송부의 전동모터 구동 방식 검토 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유압식 → 전동 모터 방식 적용 가능성 검토</li> </ul> </li> <li>○ 테스트베드를 활용한 품종별 특성 연구 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 품종, 재배 양식별 특성 조사 및 분석</li> <li>- 무의 인발 특성 연구</li> </ul> </li> <li>○ 최적화된 구굴부 설계 및 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구굴부의 기구학적 특성 분석 및 설계</li> </ul> </li> <li>○ 시뮬레이션 모델을 통한 동력전달부 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 동력전달부 동력 효율 분석 및 검증</li> <li>- 모델 간소화를 위한 주요 부품 선정 및 분석</li> </ul> </li> <li>○ 실증시험 데이터 확보를 위한 계측 시스템 개발</li> <li>○ 무 수확의 현황 및 기계화 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관행농법(수작업)의 소요 비용 분석</li> </ul> </li> <li>○ 두줄 무 재배양식의 경제성 조사 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한줄, 두줄 재배에 따른 경제성 분석</li> </ul> </li> </ul>
3차년도	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 성능 시험을 통한 개선 설계 및 보완</li> <li>○ 인발 성능 최적화</li> <li>○ 현장 실증 시험 및 성능평가</li> <li>○ 시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가</li> <li>○ 기계화에 따른 경제성 분석</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명</li> </ul>
	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 성능 시험을 통한 개선 설계 및 보완 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선·보완된 인발부 성능 시험</li> <li>- 실증시험을 통한 성능 개선안 도출 및 적용</li> <li>- 운전 및 작업자의 작업성, 편의성을 위한 주행부 및 이송부, 하역부 개선</li> </ul> </li> <li>○ 인발 성능 최적화 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 품종, 재배 양식별 특성 조사·분석 결과 반영</li> </ul> </li> <li>○ 현장 실증 시험 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주행부와 수확부의 이상적 속도비 도출</li> <li>- 인발, 이송, 줄기절단 성능 평가 및 보완</li> </ul> </li> <li>○ 시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계측시스템을 통한 데이터 계측</li> <li>- 계측된 실증 데이터와 시뮬레이션 데이터의 비교 및 분석</li> </ul> </li> <li>○ 기계화에 따른 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수작업 대비 두줄 무 수확기의 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>○ 실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명</li> </ul>

	연구개발성과	<p><b>[주관기관 - ㈜에이치엠씨]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 자주식 두줄 무 수확기 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 윤거 조절 기능을 구비한 무한계도식 주행 플랫폼 제작 및 실증시험</li> <li>- 2조식 인발장치 제작 및 실증시험</li> <li>- 무의 자세 및 생육 상태를 고려한 인발 위치 조절식 인발장치 제작</li> <li>- 수확 후 이송·적재를 위한 적재부 및 톤백 하역 크레인 제작</li> <li>- 인발·이송부 동력원 전동화 검토</li> </ul> </li> </ul> <p><b>[공동연구기관 - 전남대학교 산학협력단]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 국내 무의 재배작형 및 물리적 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트베드에서 직접 재배한 주품종들의 특성 실측 및 분석</li> </ul> </li> <li>□ 무의 특성을 고려한 인발장치의 구조 고안 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각도에 따른 인발력 연구 및 최적화된 인발 진입각 도출</li> <li>- 견어올림 속도비에 따른 인발 성능 분석</li> </ul> </li> </ul> <p><b>[공동연구기관 충남대학교 산학협력단]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시뮬레이션 모델 개발을 위한 시스템 분석 및 중요 인자 도출</li> <li>- 주요 부품 제원을 이용한 시뮬레이션</li> <li>- 계측시스템을 개발하고 이를 이용한 실증 데이터와 시뮬레이션 모델과의 비교·분석</li> </ul> </li> </ul> <p><b>[위탁기관 사단법인 한국농업기계화 정책연구원]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ 무 재배 양식 및 표준양식 현황 분석 (국내/해외) <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 무 재배양식 조사(작물 특성, 생육 단계별 온도, 습도, 토양, 개화습성 등)</li> <li>- 핵심 재배 기술 분석</li> <li>- 작형 및 지역별 재배양식 분석</li> <li>- 생육량 측정을 위한 영상 처리 기술 개발</li> </ul> </li> <li>□ 무 수확의 현황 분석 및 기계화에 따른 경제성 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관행농법(수작업)의 소요 비용 분석</li> <li>- 수작업 대비 두줄 무 수확기의 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>□ 두줄 무 재배 양식의 경제성 조사 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한줄, 두줄 재배에 따른 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>□ 실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명</li> </ul>
	연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구개발성과의 활용계획 및 활용내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지속된 연구개발·개선으로 국내 무 수확기 시장 선점</li> <li>- 두줄 무 수확기의 주요 시장 <ul style="list-style-type: none"> <li>: 국내 대규모 농가 및 위탁 재배 업체</li> <li>: 무 주산지(전남, 강원, 경기도지역)의 155개 임대사업소 - 소규모 농가로의 장비 공급</li> </ul> </li> <li>- 전국 총판(대리점)을 활용한 교육 및 홍보, 농가 시연</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 위탁 재배 업체로의 시연·홍보</li> <li>○ 경제적 파급효과</li> <li>- 발작물 수확 분야의 노동력 절감 및 가격 경쟁력 확보를 통한 농가 소득 향상에 기여</li> <li>- 국내 개발 기술 및 선진사 제품 대비 74% 수준의 판매가격 책정으로 해외 의존도 방어</li> <li>- 발작물 수확 시기의 인력난 해소</li> </ul>											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	-											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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)	무		수확기		두 줄		괘도식		크레인			
영문핵심어 (5개 이내)	Radish		Harvester		Two-row		Crawler		Crane			

210mm×297mm[(백상지(80g/m<sup>2</sup>) 또는 증질지(80g/m<sup>2</sup>)]

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	07
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 .....	11
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 .....	88
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) .....	98
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 .....	99
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....	99
별첨자료. (자체평가 의견서 외) .....	100



## 1. 연구개발과제의 개요

### 1) 자주식 두줄 무 수확기 개발의 개요

#### ㉠ 두줄 무 재배의 대규모화 예상과 낮은 기계화율 문제

밭작물은 기계화율이 매우 낮으며, 특히 수확 작업 시 많은 인력이 필요하다.

지속적인 농촌인구 감소는 밭작물을 재배하는 농가에게는 많은 영향을 끼치고 있으며, 'KREI 농업관측본부'에 따르면 소비자의 김장 의향이 감소되고, 시판 김치 구입 의향이 2014년 8%에서 2019년 19%로 증가하는 추세이다. 이러한 사실은 김치 업체가 직접 재배지를 보유하거나 연계 관리되는 대규모 경작지가 늘어남에 따라 무 수확에 대한 기계화가 필요해진 상황이다.

주산지시군	2013	2014	2015
<b>총합 당진</b>	324	331	641
<b>전북 고창</b>	1,195	689	497
<b>전북 부안</b>	85	136	122
<b>전남 나주</b>	95	174	119
전남 영암	425	281	395
<b>전국</b>	7,532	5,498	5,769

표 1. <가을무 주산지시군 재배면적, 2019, KOSIS>

당사는 전남 나주에 위치하고 있으며, 전남·전북의 무 주산지시군의 시장을 목표로 무 수확기 제품을 개발하고자 한다. 무 재배는 수확 공정에서 12.8%의 기계화율을 보이고 있다.

작물별	종류별	밭작물 기계화율(주산지)					
		경운_정지	파종_정식	비닐피복	방제	수확	평균
무	계	100.0	10.5	99.3	99.8	<b>12.8</b>	64.5
	보행	0.2	7.1	80.5	82.1	<b>0.9</b>	34.2
	승용	99.8	3.4	18.8	17.7	<b>11.9</b>	30.3

표2. <밭작물 기계화율(주산지), 2021, KOSIS>

무 수확 공정의 기계화율은 트랙터에 구굴 장치를 장착하여 지면 위로 올려놓는 과정에 불과하며 이후 운송 및 무청 절단 등은 수작업으로 진행되고 있다. 따라서 장비를 사용한 후에도 운반 및 후처리, 저장을 위해 많은 인력이 투입되고 있는 현실이다.



그림 1. <트랙터 장착용 무 수확 장치>

#### ㉠ 자주식 무 수확기 도입을 통한 경제적 이익

2016년 제주 동부농업기술센터의 무 수확 기계화 시범사업에 따르면, 자주식 무 수확기 도입으로 1ha당 기존 56명에서 30명으로, 195만원의 인건비 절감 효과가 있다.



그림2. <무 수확 기계화 시범사업, 2016, 제주 동부농업기술센터>

관행 인건비(1ha 기준)	기계화 인건비(1ha)
남자 8명, 여자 48명	남자4명, 여자8명
56명	30명
26×75,000원=195만원	

작업	기존 노동력 투입(hr/10a)	자주식 기계화 투입(hr/10a)
굴취 및 예취	34	2.5
수집	24	

표3. < 무 수확 기계화 시범사업, 2016, 제주 동부농업기술센터>

◎ 선진 무 수확기 도입의 어려움

유럽 쪽의 자주식 무 수확기는 순무 품종에 국한되고, 일본 YANMAR社에서 개발된 궤도형 1조식 무 수확기는 우리나라로의 보급할 의향이 없는 것으로 보이며, 판매가 역시 8,100만원으로 형성되어 있어 장비 구입에는 농가의 부담이 크다.

2) 두줄 가을무 재배의 시장성

◎ 두줄 가을무의 재배 면적과 생산량

노지 가을무 재배면적은 2013년 기준 7,532ha로 전체 무 재배면적(22,067ha)의 약 34%를 차지하고 있으며 생산량은 약 64만톤 내외이다. 현재 가을무 재배의 경우, 강원도를 제외한 전국 대부분의 농가가 두줄 재배를 하고 있다. *(가을 무 두줄 재배를 위한 적정 재식거리 실험, 2015, 농촌진흥청, 한국환경농학회지)*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)	면적 ha (생산톤)
계	22,137 (1,199,198)	19,936 (1,252,812)	19,090 (1,206,513)	18,409 (979,231)	21,891 (1,123,578)	22,427 (1,194,716)	18,953 (1,086,683)

표4. <전국 노지 무재배 현황>

ha	2015			2016			2017			2018			2019			2020		
	봄	가을	겨울	봄	가을	겨울	봄	가을	겨울	봄	가을	겨울	봄	가을	겨울	봄	가을	겨울
충북	37	88	0	45	136	0	55	284	0	43	256	0	4	198	0	8	174	0
충남	174	1,242	0	81	837	0	175	888	0	102	727	0	38	574	0	88	584	0
전북	351	778	0	272	1,032	0	356	971	0	297	1,081	0	302	978	0	371	1,234	0
전남	126	743	0	152	783	0	163	898	0	271	739	0	153	654	0	178	807	0
경북	6	350	0	70	327	0	35	380	0	12	293	0	10	215	0	15	299	0
경남	0	237	0	32	150	0	8	199	0	6	193	0	12	279	0	4	164	0
제주	128	54	5,477	165	98	5,100	103	0	6,275	74	9	7,564	103	0	5,881	87	0	6,319
계	822	3,492	5,477	817	3,363	5,100	895	3,620	6,275	805	3,298	7,564	622	2,898	5,881	751	3,262	6,319

표.5 <노지 무 재배 면적(ha), KOSIS>

㉠ 기후 변화에 적합한 가을무의 두줄 재배

두줄 재배는 외줄 재배에 비해 대체로 단위면적당 수량이 많고 관리가 편리하지만 식물을 밀식 재배하게 되므로 습해에 약한 경향이 있다. RCP 8.5를 적용할 경우, 가을 강수량은 2030년까지 감소할 전망이다(한반도 기후변화 전망 보고서, 2012, 기상청) 향후 무의 가을 재배 시 두줄 재배가 더 적절할 것으로 판단된다. 무의 재배는 지역과 시기에 따라 봄, 여름, 가을, 월동 때에 하며, 특히 우리나라 무 재배 작형은 가을 김장 무 재배가 주종을 이루고 있다.(가을 무 두줄 재배를 위한 적정 재식거리 실험, 2015, 농촌진흥청, 한국환경농학회지 중 발췌)



그림3. <김장 무 노지 재배>

3) 두줄 무 재배 양식과 수익률

㉠ 두줄 무 재배 양식

이랑간격 : 120cm (두둑 폭 70cm, 고랑 폭 50cm)

멀 칭 : 검은 비닐

파종거리 : 열간 및 주간거리 35×22cm

㉠ 두줄 무 재배의 수익률 ; 35×22cm로 파종 시 10a 당 수익률 비교

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 - 35×28cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 12,000립 40,000원 - 35×22cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 15,000립 50,000원 - 계(A) : 10,000원	○ 증가되는 이익 - 35×28cm 재식밀도: 파종 주수 5,960주 × 635원* = 3,784,600 - 35×22cm 재식밀도: 파종 주수 7,200주 × 635원* = 4,572,000 - 계(B) : 787,400원
○ 추정수익액(B-A) = (787,400원 - 10,000원) × 0.8(상품수량) = 621,920원/10a	

표6. <두줄 무 재배의 수익률>



그림4. <정식 후 27일 무\_ 60×25cm(왼쪽), 35×25cm(오른쪽)>

4) 자주식 두 줄 무 수확기의 개발 구상

**자주식 두 줄 무 수확기의 개발**



그림5. <두줄 무 수확기 개발 구상도>

기관명	연구목표		
	1차년도	2차년도	3차년도
주관기관 (주식회사 에이치엠씨)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>-기술(특허) 및 시장조사</li> <li>-윤거 조절이 가능한 HST 주행 플랫폼 시스템 설계</li> <li>-수확물 적재 및 하역용 이송 크레인 설계</li> </ul> </li> <li>○실증시험을 위한 테스트베드 준비               <ul style="list-style-type: none"> <li>-테스트베드 확보 및 파종</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○주행 플랫폼 제작 및 구동성능 확인</li> <li>○동력부 및 인발부, 이송부 제작&amp;구동성능 확인               <ul style="list-style-type: none"> <li>-작동부별 성능 시험 및 평가</li> </ul> </li> <li>-성능 향상을 위한 개선안 도출 및 적용</li> <li>○인발부, 이송부의 전동모터 구동 방식 검토               <ul style="list-style-type: none"> <li>-유압식→전동모터 방식 적용 가능성 검토</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○성능 시험을 통한 개선 설계 및 보완               <ul style="list-style-type: none"> <li>-개선·보완된 인발부 성능 시험</li> <li>-실증 시험을 통한 성능 개선안 도출 및 적용</li> </ul> </li> <li>-운전 및 작업자의 작업성, 편의성을 위한 주행부 및 이송부, 하역부 개선</li> <li>○인발 성능 최적화               <ul style="list-style-type: none"> <li>-품종, 재배 양식별 특성 조사·분석 결과 반영</li> </ul> </li> </ul>
공동 연구기관1 (전남대학교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○두줄 무 수확시스템 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>-무 재배 양식 특성 조사</li> <li>-인발부 및 이송부, 줄기절단부 설계안 도출</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○테스트베드를 활용한 품종별 특성 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>-품종, 재배 양식별 특성 조사 및 분석</li> <li>-무의 인발 특성 연구</li> </ul> </li> <li>○최적화된 구굴부 설계 및 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>-구굴부의 기구학적 특성 분석 및 설계</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○현장 실증 시험 및 성능평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>-주행부와 수확부의 이상적 속도비 도출</li> <li>-인발, 이송, 줄기절단 성능 평가 및 보완</li> </ul> </li> </ul>
공동 연구기관2 (충남대학교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 및 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-시뮬레이션 모델 개발을 위한 시스템 분석</li> <li>-주요 부품 제원을 적용한 시뮬레이션 모델 개발</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○시뮬레이션 모델을 통한 동력전달부 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-동력전달부 동력 효율 분석 및 검증</li> <li>-모델 간소화를 위한 주요 부품 선정 및 분석</li> </ul> </li> <li>○실증시험 데이터 확보를 위한 계측 시스템 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가               <ul style="list-style-type: none"> <li>-계측시스템을 통한 데이터 계측</li> <li>-계측된 실증 데이터와 시뮬레이션 데이터의 비교 및 분석</li> </ul> </li> </ul>
위탁 연구기관 (한국농업기계 정책연구원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무 재배의 표준양식 현황 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-국내 무 재배양식 조사 및 핵심 재배기술 분석</li> <li>-생육량 측정을 위한 영상처리기술 개발</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무 수확의 현황 및 기계화 경제성 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-관행농법(수작업)의 소요 비용 분석</li> </ul> </li> <li>○두줄 무 재배 양식의 경제성 조사               <ul style="list-style-type: none"> <li>-한줄, 두줄 재배에 따른 경제성 분석</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○기계화에 따른 경제성 분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>-수작업 대비 두줄 무 수확기의 경제성 분석</li> </ul> </li> <li>○실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명</li> </ul>

표7. <연구개발 목표>

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

### 1) 발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계

#### 가. 무한궤도 타입의 주행 플랫폼 기술 현황 분석

차륜형 바퀴는 평지를 주행하기에는 매우 이상적이지만, 진흙과 같은 무른 땅이나 험지에서는 접지압이 한 지점으로 집중되기 때문에 고립 가능성이 크다. 이를 개선하기 위한 방법 중 한 가지로는 바퀴의 갯수를 늘릴 수 있는데 험지를 돌파하기 위해서는 모든 바퀴에 동력을 전달해야 하기 때문에 좋은 해결책이라고 보기는 어렵다. 이에, 주행속도가 비교적 느린 단점이 있지만, 진흙과 같은 무른 땅이나 험지에서의 원활한 주행을 위해 궤도식 주행 장치를 선호한다.

개발하고자 하는 두줄 무 수확기의 경우, 규격이 다른 발두둑에도 적용 가능한 궤도폭 조절기능을 적용하고자 하며, 경사지와 같은 험지에 위치하고 있는 발작물 산지 특성에 대응할 견고한 주행장치로 궤도폭 조절 기능이 탑재된 무한궤도식 주행장치 적용을 목표로 하고, 이에 따른 기술을 분석하였다.

항목	내용
무게 분산	궤도의 넓은 접지면적으로 지표면의 집중하중 분산
간섭 대응	크롤러의 주행로 무한생성으로 지형등에 따른 간섭요인 감소
동력 효율	스프로킷 기어 구동에 의한 링크작동으로 효율적인 동력전달
개별적 작동 구조	좌·우 각 측의 개별적으로 작동되는 구조로서 궤도폭 조절기능 적용 가능

표8. <무한궤도 방식의 주행장치 기술 분석>

#### 나. 윤거 조절이 가능한 HST 주행 플랫폼 시스템 설계 및 제작

우리나라의 발농업은 지역·농가별로 농법이 다양하여, 이에 적용 가능하도록 궤도폭 조절 기능을 갖춘 주행 플랫폼을 구상하였다. 메인동력부(60hp급 디젤엔진), 유압펌프, 휠모터(구동륜), 유동륜, 고무궤도, 궤도폭 조절용 유압실린더, 장력조절용 유압실린더, 메인프레임, 주행부 프레임(좌,우)로 구성되어 있다. 궤도폭 조절장치는 4개의 실린더로 구성되고, 인출-인입 스위치(토글)가 솔레노이드 밸브에 신호를 주어 작동되는 구조이다. 주행부는 콤파인, 굴삭기 등에 쓰이는 유압 휠 모터를 적용하였다.

주요명칭	기능
운전조작부	엔진 시동 및 주행용 조이스틱1, 인발부 높낮이 조절 및 궤도폭 조절용 조이스틱2 외 각부 작동을 제어할 수 있는 토글 스위치 등으로 구성
구동엔진부	60마력급 디젤엔진 탑재, 주행 및 각 유압부의 구동을 위한 주 동력원
메인·서브 밸브부	주행궤도부의 휠모터 및 각 부의 실린더 및 유압 펌프를 제어(솔레노이드 밸브)
주행프레임부 (좌/우)	메인프레임의 좌/우측에 삽입되고 유압실린더 작동으로 주행궤도 폭 조절 가능
유압오일 냉각부	작동 중 과열 방지를 위해 유압오일 쿨러 장착
유압오일 탱크	주행용 휠모터 및 각 유압펌프, 실린더를 작동하기 위한 유압오일 저장부
유압실린더	궤도폭 조절을 위해, 메인프레임-주행프레임에 연결되며 좌/우측 각 2개씩 총 4개의 유압 실린더로 구성

표9. <주행 플랫폼 시스템의 구성 및 기능>

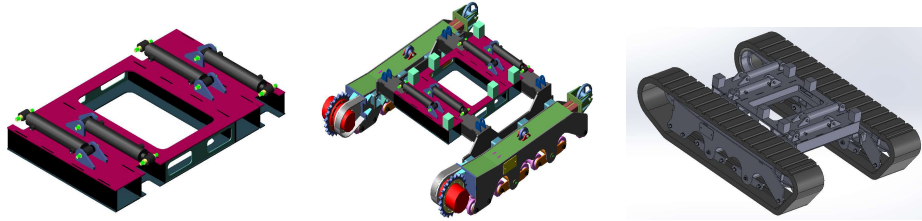


그림6. <주행 및 메인 프레임 설계안>



그림7. <주행 및 메인 프레임 제작 및 조립>

## 2) 인발 이송부 설계 및 제작

인발 진입부는 줄기(무 청)를 견어올려 인발부에 진입할 수 있도록 별(☆) 형상의 고무 러그 회전체(DC12V 전동모터 구동식)를 좌·우에 각 1개씩, 총 4개를 부착했으며, 러그의 형상은 아래 그림과 같이 설계하였다.

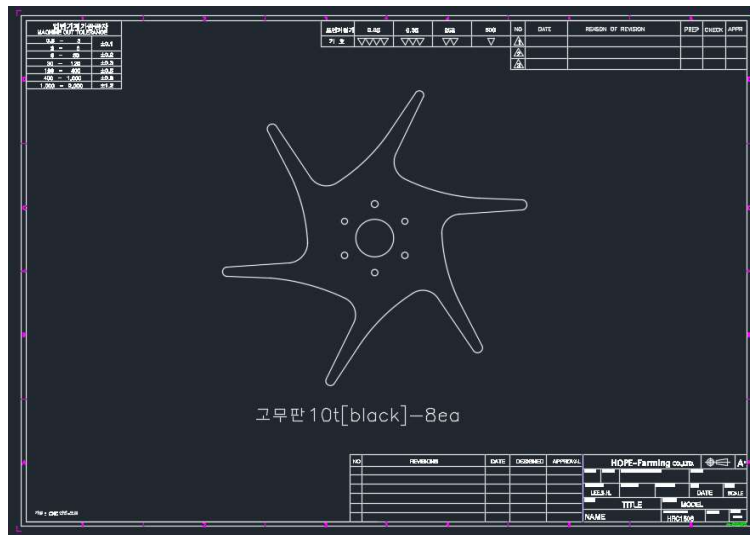


그림8. <인발진입부의 줄기 견어올림용 고무 날개>

1차 설계·제작 후 테스트 결과, 1개의 중앙 회전 러그로는 설계의 목적인 견어올림 기능이 부족하여, 아래 그림9의 우측과 같이 2개의 중앙 회전 러그로 구조를 개선하고 테스트를 진행했으며, 견어올림 기능은 중앙의 1개인 경우보다 효과가 탁월했다.

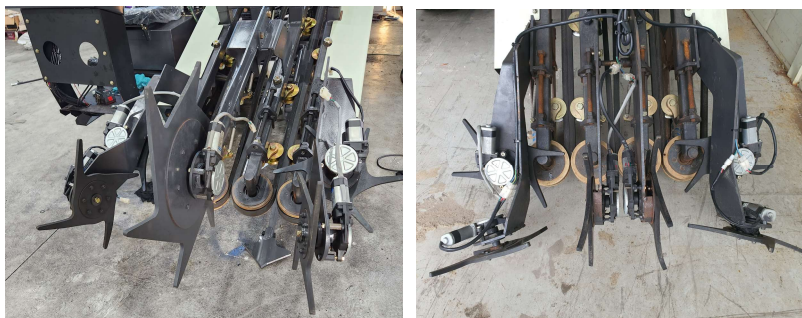


그림9. <인발 진입부의 견어올림용 고무 러그 시제품 1차(좌)와, 2차 선품(우)>



그림 10. <작동 중인 인발 진입부의 견어올림용 고무 러그>

이송부는 이송구간의 간격(장력)을 조절할 수 있도록 스프링 작동 구조의 가이드 롤러를 부착한 고무벨트 회전식(유압 모터 구동 방식)으로 설계했으며 아래 그림과 같다.

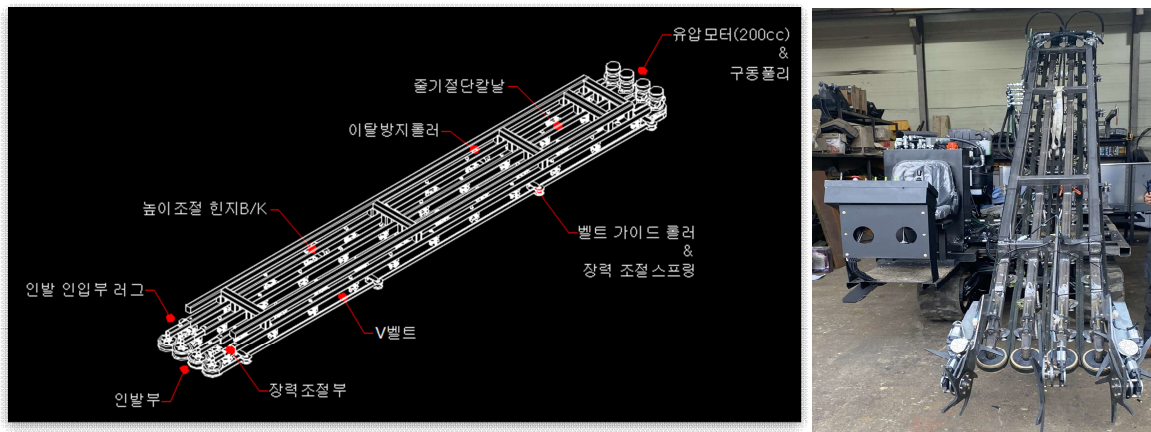


그림11. <인발 이송부의 설계안 및 제작>

이송부의 말단 직전 하부에는 유압모터로 구동되는 줄기(무청) 절단장치를 구성하였으며, 이송장치의 구동과 연동되어 작동한다.

동일 재배지에서도 무 생육상태에 따라 좌우 위치, 높이가 다른 변수를 대응하기 위해, 인발 진입부의 위치를 상·하·좌·우로 조절할 수 있도록 링크+유압실린더 구조의 인발·이송부가 메인프레임에 조립되며, 운전 조작부에서 4방향 조이스틱으로 조절할 수 있도록 구성했다. 이송부의 조절은 좌우방향으로 200mm, 높이 방향으로 150mm가 조절 가능한 구조로 설계했다.

구굴부는 토질의 견밀도를 낮추도록 쟁기의 방식과 유사하게 무의 인발 진입부 직전에 보습날을 구성했다.

### 3) 비닐 제거 장치 설계 및 제작

무 인발 및 이송 시, 비닐이 따라 올라와 이송 롤러·줄기절단날 사이의 끼임 문제가 빈번히 발생하여, 비닐 제거를 위한 방법으로 최초 롤러 수거식으로 설계·제작·테스트를 했으나, 손상된 비닐은 롤러에 설계 의도만큼의 효과가 없었다. 최종적으로 인발부 직전 하단에 우레탄 고무바퀴(캐스터)+스프링 타입의 장치를 부착하여 진압식 비닐 분리 기능을 추가하였다.

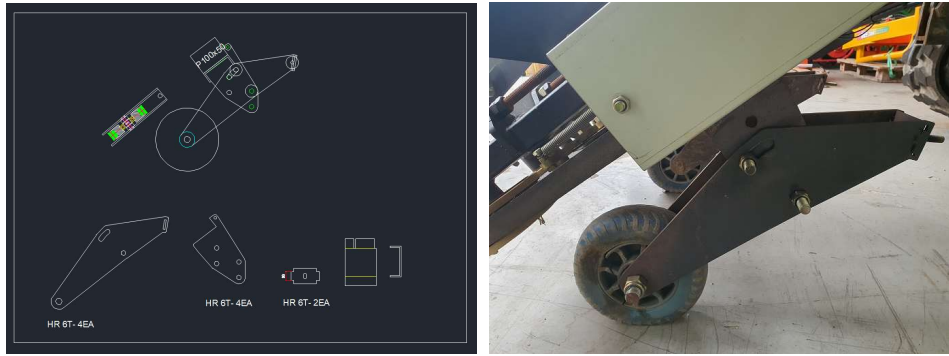


그림12. <비닐 진압을 위한 캐스터의 설계안과 제작품>

#### 4) 이송 컨베이어1,2 설계 및 제작

인발부 및 이송부를 거쳐 수확된 무는 줄기절단장치에 의해 낙하되고, 1차 컨베이어를 통해 2차 컨베이어로 이동, 최종적으로 적재부에 적재되게 된다. 1차 컨베이어는 무청 등 절단된 이물질이 걸러지도록 ‘스’자 무늬의 고무벨트로 구성되어 있고, 2차 컨베이어는 날개 사이로 무를 정렬시켜 원활한 선별이 가능하도록 날개 타입의 벨트를 적용했다.



그림13. <1차 및 2차 컨베이어 제작>

테스트베드에서 성능시험을 진행하는 과정에서 줄기절단장치에서 절단된 무청은 인발 벨트의 말단에서 같이 낙하되어 수확 무와 같이 컨베이어로 운동되는 현상이 발생되었다. 개선안으로 2차 컨베이어의 말단에는 무청을 완전히 걸러내기 위해, 2차 컨베이어를 짧게 재제작, 프리롤러와 배출 슈터를 부착했으며, 프리롤러는 여러개의 홈을 뚫어 무의 생육상태에 따라 간격 조절이 가능하도록 제작하였다.



그림14. <무청 배출용 프리롤러 및 배출 슈터>

#### 5) 하역용 크레인 및 리프트 설계 및 제작

이송된 수확물을 적재 및 하역하기 위해 리프트식 하역 장치를 설계 및 제작했으며, 무 수확 시 흔히 쓰이는 톤백 마대의 가로×세로 사이즈를 참고하여 설계하였다. 수확 작업 초기에 마대가 비어



있을 경우에는 리프트의 높이를 올릴수 있도록 하여, 결과적으로 낙하 높이를 이송·적재되는 무의 손상율을 줄이는 효과를 갖는다.

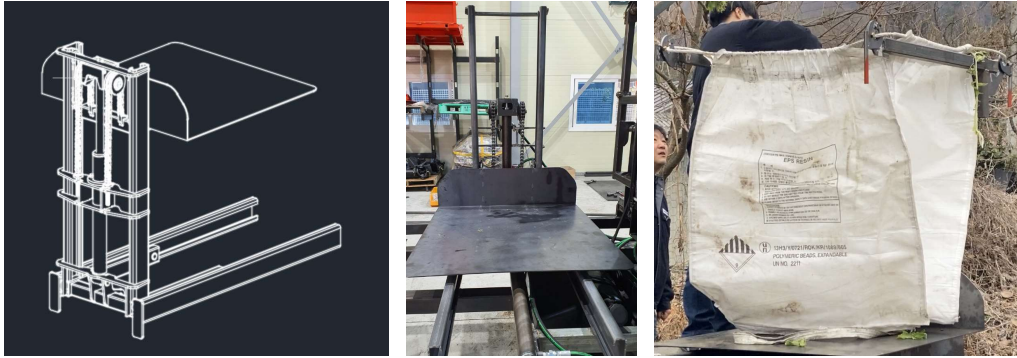


그림15. <적재·하역용 톤백 리프트>

또한, 톤백의 받침대 역할을 하는 하역용 리프트와 더불어 만재된 톤백을 장비에서 하역할 수 있는 회전 구동형 크레인 장치를 설계·제작·테스트를 진행하였으며, 최초 설계된 구조는 아래 그림과 같다.

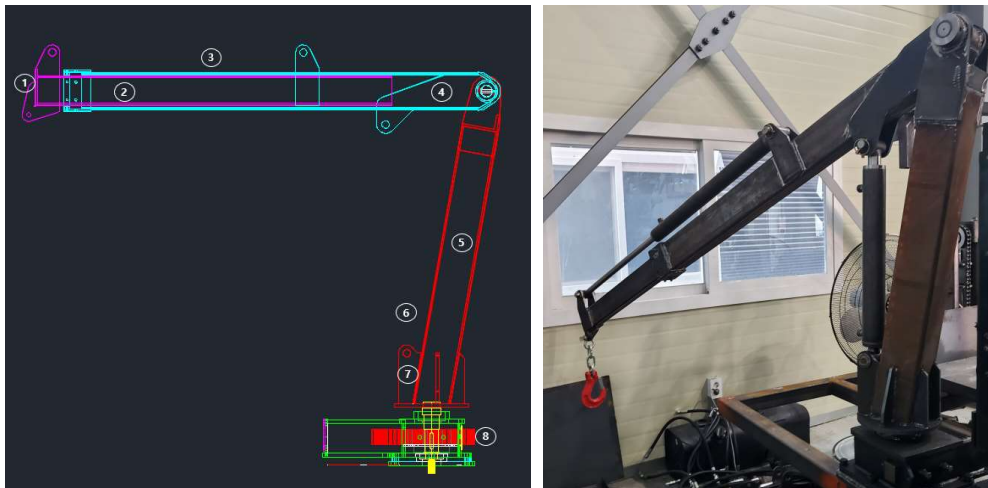


그림16. <회전 구동형 2단 붐식 크레인의 설계안 및 제품(1차)>

하역용 크레인은 주행 플랫폼의 후미에 위치해 있으며, 하부에 고정된 선회베어링을 통해 약 150°의 회전이 가능하다. 제작 및 테스트 결과, 톤백 마대에 600kg의 중량을 매달아 하역 상황을 시험하였으나, 기체 전도 위험이 우려되어, 개선을 위한 설계를 토대로 2차 제작물인 붐 고정형 크레인을 아래 그림과 같이 설계·제작·테스트를 완료하였으며, 구조는 아래와 같다.

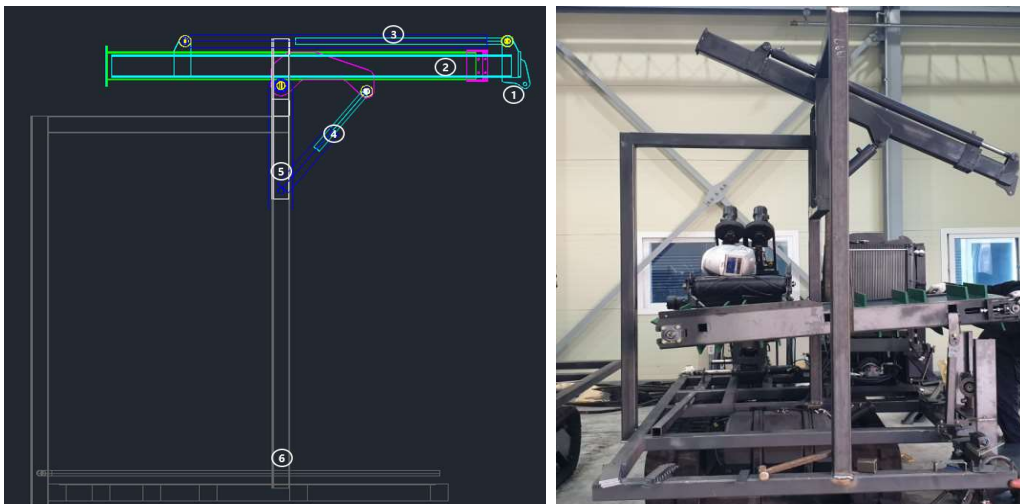


그림17. <전도 위험이 개선된 붐 고정식 크레인 설계 및 제작>

6) 주행 및 제어부 컨트롤러 설계 및 제작

주행 및 제어부 컨트롤러 구성 및 기능은 아래 그림과 같다.

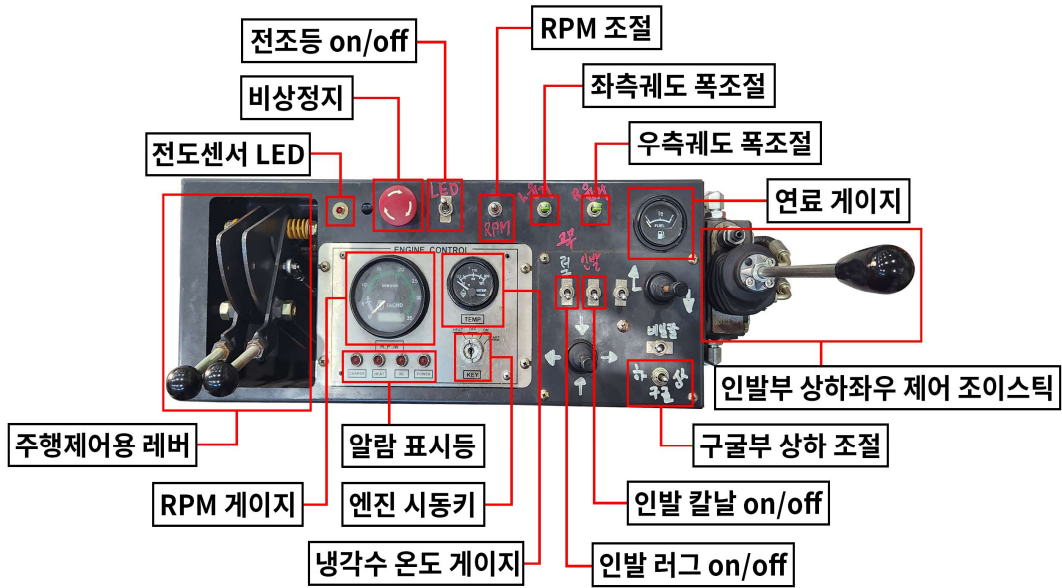


그림18. <주행 및 제어를 위한 컨트롤러 구성 및 기능>

7) 유압 회로 시스템

유압 회로 시스템은 엔진(디젤, 60hp급)에 직결 연결된 유압펌프(P1~P3) 및 P3로부터 연결된 P4, P5는 제어밸브를 통해 각각 좌,우측 주행모터, 윤거 조절 실린더, 인발부 높이/좌우 조절, 인발부 이송, 컨베이어 벨트 등을 구동시킨다.

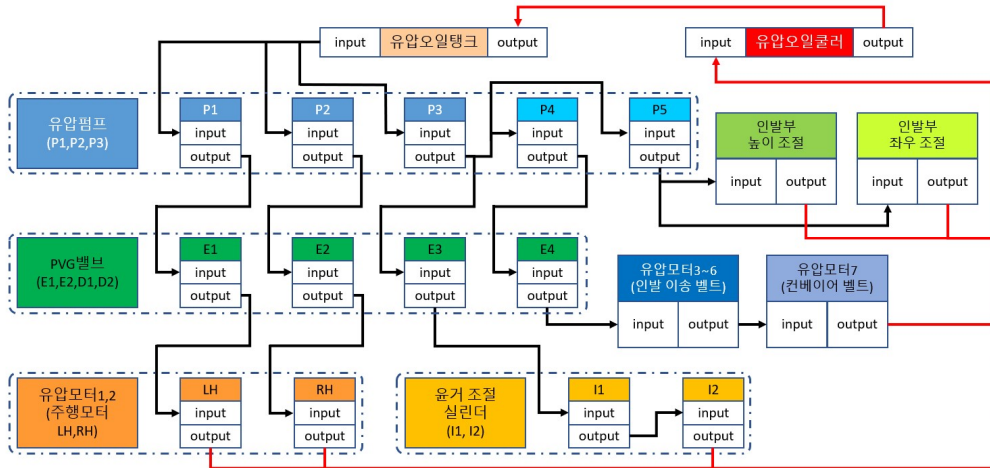


그림19. <두줄 무 수확기의 유압 회로 시스템>

위의 내용들로 이루어진 두줄 무 수확기의 기초 제원은 아래 표와 같다.

엔진	형식 및 출력	수냉식 디젤엔진 44kW(59HP)@2,600rpm
유압펌프 P1~P4 (단위: CC)		57.8 / 57.8 / 34 / 21.1
전장 × 전폭 × 전고		2,300 × 1,710 × 1,403 mm
주행부	주변속	무단 HST
	부변속	2단(저속/고속)
	바퀴	무한궤도(폭 : 300mm)
	윤거	최소 1,400mm ~ 최대 1,800mm
탑승자	운전자	1명
	보조 작업자	1~2명
주요장치		인발 이송장치/줄기절단장치/적재 · 하역용 크레인 및 리프트
주행속도		작업속도 5km/h 이내

표10. <두줄 무 수확기의 기초 제원>

탑재 엔진의 상세 제원	
ENGINE MODEL	4B243TLWS / (췌)대동
EMISSION STANDARD TYPE	INTERIM TIER 4 (VERTICALWATER-COOLED4CYCLEDIESELENGINE)
No. OF CYLINDERS	4
BORE(DIA.) x STROKE	87mm x 102.4mm
TOTAL DISPLACEMENT	2435cc
COMPRESSION RATIO	21.8 : 1
COMBUSTION CHAMBER	VORTEX CHAMBER
INJECTION TIMING	BITDC 22 DEG.
MAXIMUM POWER /rpm	59 HP / 2600 rpm
MAXIMUM TORQUE /rpm	19.9 kgf.m / 1700rpm
MAXIMUM BARE SPEED	2800 rpm
DIRECTION OF ROTATION	COUNTER-CLOCKWISE VIEWED FROM FLYWHEEL SIDE
ALTERNATOR CAPACITY	12V - 50A
STARTER CAPACITY	12V - 1.7kw
USED FUEL	DIESEL FUEL
COOLANT CAPACITY	ENGINE ONLY = 4.0 (L)
LUBRICANT	SAE 15W-40, BETTER THAN API CLASS CD
LUBRICANT CAPACITY	9.7 LITER
OIL PRESSURE INDICATOR	ON/OFF TYPE SWITCH, 0.5 kgf/cm <sup>2</sup>
COOLING FAN(DIA.)	SUCTION TYPE 400mm
COOLING SYSTEM	SUCTION COOLING
DRY WEIGHT	APPRO.260 kg
THERMOSTAT	OPENING TEMP. : 71 °C, FULL OPEN : 82°C

표11. < 탑재엔진의 상세 사양>

#### 8) 인발 이송부의 전동모터 구동 방식 검토

두줄 무 수확기의 주기능인 수확 성능에 있어서 전동 모터 구동 방식의 적용 가능성을 추가로 검토했다. 먼저, 앞서 수행한 인발 이송부에 장착하여 테스트한 400cc의 유압모터의 구동 토크 및 회전수를 산출하고 이에 맞춰 DC24V 200W/3,000rpm, 감속비 120:1 및 DC모터 컨트롤러를 구성하여 구동 테스트를 진행했다.



그림20. <전동모터 구동 방식의 인발 이송부>

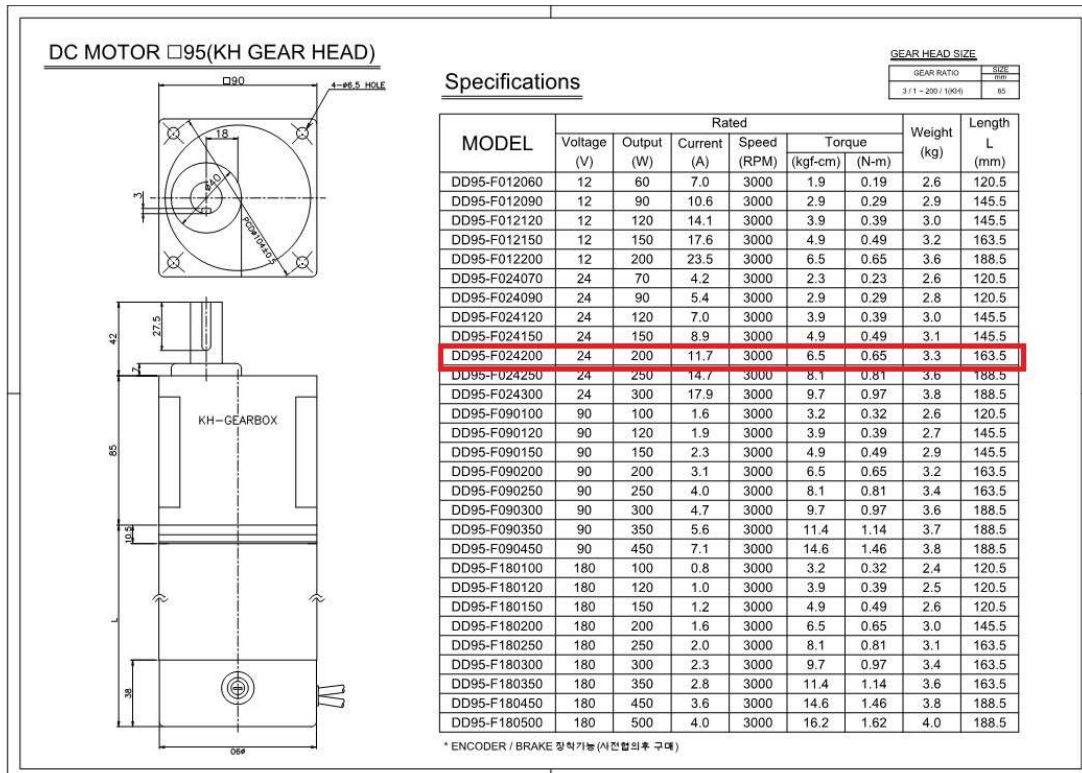


그림21. <인발 이송부 전동모터의 선정>

**가. 인발 이송부 전동모터 적용 테스트(1차)**

테스트 조건은 전동모터:DC24V 200W/3,000rpm + 감속비 120:1이며, 인발 이송부의 고무벨트의 장력 상태등은 동일하게 조정하여 진행하였다. 전동모터①~④의 회전수별 소모전류량을 각 3회씩 측정하였으며, 비접촉식 RPM 측정기로 인발 이송벨트의 회전수를 저/중/고속 3단계로 조절하고 전류 측정기는 직류 최소 분해능 0.1A의 HIOKI 3288 DC 클램프 메타를 사용했으며, 측정 결과값은 아래 표와 같다.



구분	rpm	소모전류량(A)					
		M1	M2	M3	M4	합계	
저속	1차	12.24	1.0	1.2	0.8	1.0	4.0
	2차	12.51	1.2	1.1	1.0	0.9	4.2
	3차	12.36	1.2	1.1	0.9	1.0	4.2
	평균		1.13	1.13	0.9	0.97	<b>4.1</b>
중속	1차	16.25	2.1	2.3	2	2.5	8.9
	2차	16.53	2.0	2.2	2.1	2.3	8.6
	3차	16.41	2.1	2.1	2.0	2.4	8.7
	평균		2.07	2.2	2.03	2.4	<b>5.7</b>
고속	1차	22.41	4.9	5.1	5.3	4.9	20.2
	2차	23.04	5.1	4.9	5.1	4.9	20.0
	3차	22.72	5.0	5.0	5.4	5.0	20.4
	평균		5.0	5.0	5.27	4.93	<b>20.2</b>

표12. <인발 이송부의 전동모터 DC24V 120:1의 소모전류 테스트>

테스트 결과값으로 최고RPM 22.4~23.0에서 평균 20.2A의 소모전류가 측정되었다. 인발 이송부를 구동하는데 예상외의 낮은 전류값이 측정되었지만, 유압모터식 인발부의 회전속도가 50~60RPM 구동속도 대비 작업능률이 낮다고 판단하여, 인발부 회전속도를 증속하여 2차 테스트를 진행하기로 했다.

#### 나. 인발 이송부 전동모터 적용 테스트(2차)

1차 테스트를 참고로 인발부 회전속도를 50~60RPM으로 구동하기 위해, 전동모터의 감속비는 120:1에서 50:1로 수정하여 테스트를 진행하였다. 소모전류량을 측정한 결과 고속 53.1~53.9RPM에서 평균 35.4A의 전류가 소모되는 것으로 나타났다.

구분	rpm	소모전류량(A)					
		M1	M2	M3	M4	합계	
저속	1차	7.78	4.5	6.0	5.2	6.5	22.2
	2차	7.92	4.4	6.1	5.0	6.2	21.7
	3차	7.95	4.5	6.3	5.1	6.3	22.2
	평균		4.47	6.13	5.10	6.33	<b>22.0</b>
중속	1차	38.6	7.2	8.3	7.9	8.9	32.3
	2차	38.2	7.1	8.3	7.7	8.6	31.7
	3차	38.0	7.1	8.2	7.8	9.1	32.2
	평균		7.13	8.27	7.80	8.87	<b>32.1</b>
고속	1차	53.9	9.1	9.5	8.6	8.3	35.5
	2차	53.1	8.9	9.1	8.5	8.4	34.9
	3차	53.5	9.2	9.5	8.7	8.3	35.7
	평균		9.07	9.37	8.6	8.33	<b>35.4</b>

표13. <인발 이송부의 전동모터 DC24V 50:1의 소모전류 테스트>

구동을 위한 조건으로 자동차용 배터리 DC12V 100Ah 2개를 직렬로 연결했으며, 100Ah의 배터리 용량으로 볼 때, 측정된 값으로는 최고 속도일 때 연속 약 2.8시간을 사용할 수 있다. 일일 작업시간 8시간을 고려한다면 최소 283Ah 이상의 배터리 용량이 필요하며 이는 DC12V 100Ah 배터리를 직병렬로 구성할 때 6개의 배터리가 필요하며, 배터리를 충전하기 위한 충전기와 충전 시간 등이 추가로 요구된다. 엔진 구동 방식의 플랫폼에 전동 모터를 추가로 장착하는 것은 비용적인 측면에서 동력원에 대한 중복 소비로 판단되어지며, 결론적으로 인발 이송부의 전동 모터 방식 구동은 가능하지만, 비용적인 측면에서 엔진 플랫폼에 구성하는 것은 비효율적이라고 판단된다.

#### 9) 향후 연구개발 방향

자주식 플랫폼은 유압 구동식으로 구성되어져, 기계식 플랫폼에 비해 자율작업을 위한 센서와의 호환성이 뛰어난 강점을 토대로, 1단계:직진 구간에서의 수확 작물을 타겟으로 하는 자율 주행, 2단

계:선회구간 자율 주행, 3단계:만재 시 하역지로의 운송 및 작업 재시작 위치로의 복귀 후 연속 작업의 단계로 자율농작업 적용 방안을 기대할 수 있다.

### 10) 인발 이송부 설계 및 개발

#### 가. 무 재배 양식에 따른 복합 무 인발부의 배치 설계

본 연구에서 개발된 무 수확기의 인발 이송부는 무 수확기에 있어 가장 중요한 장치라고 할 수 있다. 인발 이송부는 2조의 고무벨트가 무 줄기를 협지하여 무 뿌리를 뽑아내는 인발부와 이송부로 구성되며, 인발 진입부는 무 줄기를 세워주며 인발된 무의 이송 컨베이어로의 유입을 유도하는 회전날개(수평과 수직)로 이루어진 줄기수집부로 구성된다. 또 인발된 무를 적재부까지 이송하는 컨베이어 벨트1,2로 구성되어 있다.

인발 방법은 전방의 수직날개인 감아올림장치에 의해 무의 눕혀진 줄기를 세워 수평날개인 진입유도장치에 의해 반송부로의 진입을 유도한다. 이송부에 유도된 무는 고무벨트의 협지와 회전에 의해 발생하는 인발력에 의해 인발된다. 인입부 풀리는 컨베이어 벨트를 구동시킬 뿐만 아니라 인발 시 무를 밀어주어 인발력을 감소시키는 역할을 한다. 또한 인발 후 이송되는 무가 이탈되지 않도록 컨베이어 벨트에 압축력을 발생시키기 위하여 벨트 장력 조절 역할을 하는 압축스프링의 제원은 아래 표15.와 같다.

이송부의 동력전달은 엔진으로부터 출력된 동력이 유압모터를 작동시킨 후 기어박스, 인입부 풀리, 벨트 순으로 동력이 전달되며, 유량제어밸브를 사용하여 이동속도에 따른 주수확부의 속도 조절이 가능하다. 이는 솔레노이드 및 매뉴얼 밸브, 유량제어를 통해 조절하게 된다. 기존 궤도형 수확기의 단점인 산악지형 또는 요철이 많은 지형에서의 주행성능저하에 따른 인발작용 기능개선을 위하여 주행부 진행속도에 비례한 인발속도 유지를 통해 지형환경별 맞춤형 수확작업이 가능하도록 하였다. 인발부의 수직 및 수평 날개는 12V 직류모터를 사용하여 구동하였다.

표14. Specifications of inlet pulley

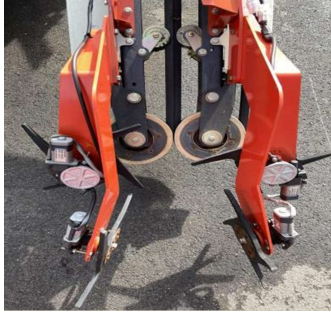
Inside Diameter	Outside Diameter	Thickness	Texture
89.97 mm	175 mm	10 mm	Crude rubber

표15. Specifications of compression spring in main conveyor

Wire Diameter	Inside Diameter	Outside Diameter	Length of body	Spring constant
1.5 mm	20 mm	23 mm	50 mm	0.5 N/mm

#### a. 감아올림장치 간격

본 연구에서 개발된 무 수확기는 감아올림장치에 의해 무의 눕혀진 줄기가 수집된 후 진입유도장치에 의해 무 줄기의 인입부 풀리 진입을 유도하게 된다. 이러한 줄기 수집의 메커니즘은 무 수확기의 효과적인 인발을 위한 주요 설계 인자가 된다. 감아올림장치의 간격이 비교적 클 경우 무의 줄기가 처진 상태로 인입부 풀리에 진입되어 인발 작업 중 줄기가 절단되거나 인발 후 이송 과정에서 떨어지는 현상이 발생해 인발률에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 재배 포장 무의 물리적 특성 측정 결과 나타난 무 줄기 너비의 범위를 고려하여 감아올림장치 간격의 범위를 38 cm ~ 42cm로 설정하였다.



(a) Pulling unit(front view)



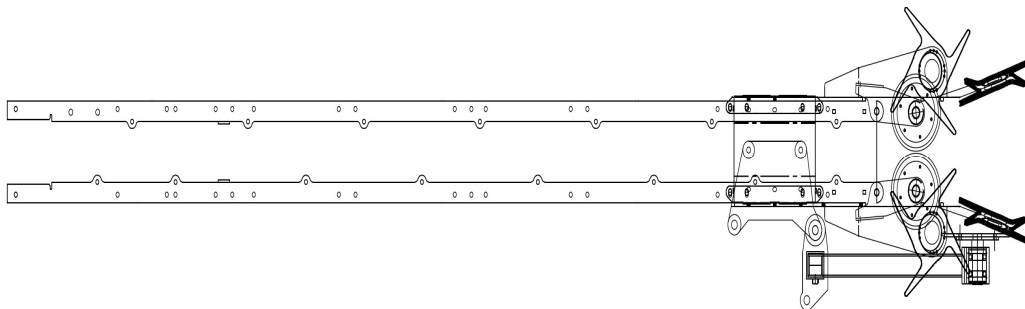
(b) Pulling unit(side view)



(c) Unloading conveyor(1st trial)



(d) Improved pulling and conveying device



(e) 2D drawings of main conveying unit (1 row)

그림21. Main harvesting mechanism

**b. 무의 인발높이**

무는 전체 무게의 85% 이상을 뿌리 부분이 차지하기 때문에 무의 줄기 시작부분과 최대한 가까운 지점을 무 인발시 이상적인 협지 위치로 설정해야 한다. 그렇지 않을 경우 무의 자중이 줄기의 인장 파단력보다 커져 줄기가 절단되는 현상이 발생한다. 따라서 무를 인발할 때 무 줄기 시작부분에서 0 cm ~ 3cm 아래 부분을 인발벨트의 무의 협지점으로 설정하였다.

**c. 걷어올림 속도비**

주행속도와 감아올림장치 속도의 비인 걷어올림 적정 속도비는 다음과 같이 결정하였다.

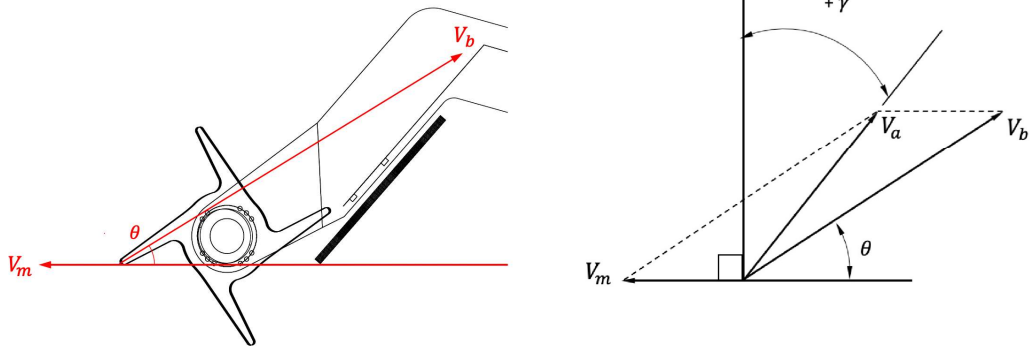


그림22. Velocity diagram for determining speed ratio

- where,  $V_b$  : Lifting device speed  
 $V_m$  : Vehicle travel speed  
 $V_a$  : Sum speed of lifting device speed and vehicle travel speed  
 $\theta$  : Pulling angle  
 $\gamma$  : Direction angle of pulling trajectory

그림22.에서 감아올림장치 속도  $V_b$ 와 기체의 주행속도  $V_m$ 의 합속도  $V_a$ 의 방향은 걷어올림 작용을 크게 좌우하며,  $V_a$ 의 방향과 수직선이 이루는 각을 걷어올림궤적의 방향각  $\gamma$ 라고 한다. 합속도  $V_a$ 의 수평방향 속도  $V_{a_x}$ 와 수직방향 속도  $V_{a_y}$ 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{a_x} &= V_{b_x} - V_m \\ &= V_b \cos \theta - V_m \end{aligned} \quad (1)$$

$$V_{a_y} = V_b \sin \theta \quad (2)$$

여기서, 감아올림장치와 무 줄기 사이에 슬립현상이 발생하지 않는다면, 합속도와 걷어올림궤적의 방향각은 식 (3), (4)와 같다.

$$V_a = \sqrt{V_{a_x}^2 + V_{a_y}^2} \quad (3)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{V_{a_y}}{V_{a_x}} \quad (4)$$

아래 그림23.에서 도복각  $\beta$ 는 작물의 기울기가 수직선과 이루는 각으로 도복방향과 기체 진행방향이 같을 때  $-\beta$ 이고, 그와 반대인 경우를  $+\beta$ 로 규정하였다. 무의 경우 줄기의 분포상태에 따라  $-90^\circ \leq \beta \leq +90^\circ$ 의 범위를 가지는 것으로 나타났다. 걷어올림 작용은 그림23.과 같이  $|\gamma| < |\beta|$ 일 경우 이루어지는데 식 (4)에 의해 구한 걷어올림궤적의 방향각은 최소  $30.62^\circ$  ~ 최고  $52.85^\circ$ 의 값을 가지므로 본 연구에서 개발한 시작기의 걷어올림 작용은 원만히 이루어지는 것으로 판단된다.

감아올림장치는 12V 직류모터에 의해 구동되고 감아올림장치 속도  $V_b$ 는 1.56 m/s로 고정하였다. 기체의 주행속도가 0.30 m/s일 때, 주행속도와 감아올림장치 속도의 비인 걷어올림 이론 속도비는



5.20가 되며, 주행속도가 0.45 m/s일 때, 견어올림 이론 속도비는 3.47이 된다. 주행속도가 0.60 m/s일 때, 견어올림 이론 속도비는 2.60이다. 이론식을 통해 얻어진 이론 속도비는 감아올림장치와 무 줄기 사이에 슬립현상이 발생하지 않는다는 가정 하에서 계산되었기 때문에 실제 무 수확 시험에서는 일정 비율 이상으로 높여 시험을 수행해야 할 것으로 판단하였다.

표16.은 견어올림속도비에 관한 각 요인별 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

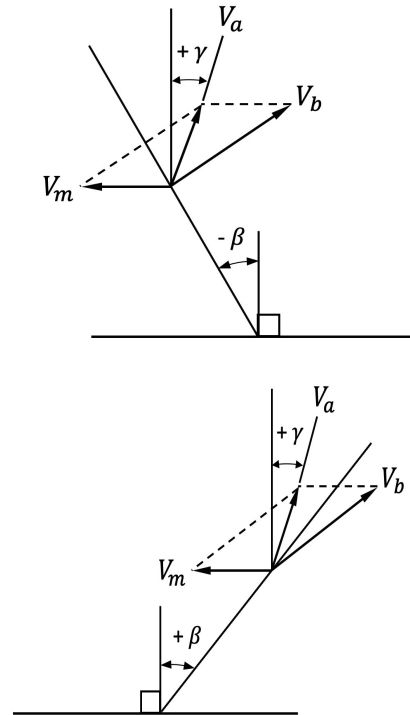


그림23. Lodging angle(left) and Pulling action(right)

표16. Determination of pulling speed ratios

$\theta (^{\circ})$	$V_m$ (m/s)	$V_b / V_m$	$V_a$ (m/s)	$\gamma (^{\circ})$
25	0.30	5.20	1.29	30.62
	0.45	3.47	1.17	34.37
	0.60	2.60	1.05	39.01
30	0.30	5.20	1.31	36.58
	0.45	3.47	1.19	40.88
	0.60	2.60	1.08	46.09
35	0.30	5.20	1.33	42.46
	0.45	3.47	1.22	47.22
	0.60	2.60	1.12	52.85

**d. 인발 이송부 위치제어부의 이상적 설계 조건**

인발이송부는 무 두둑의 높낮이와 무의 인발을 위한 협지점의 위치, 기체의 선회 등 작업 상황에 따라 독립적으로 레버를 조작하여 상하 및 좌우 인발위치가 조정되도록 하였다. 인발이송부 위치제

어를 위한 유압은 유압펌프로 발생되며, 레버를 통한 솔레노이드 밸브 조절을 통해 위치를 제어하도록 하였다. 무 재배환경에 따른 두둑높이와 무의 물리적 특성에 따른 무의 위치를 고려하여 위치제어의 범위는 상하의 경우 최저 0mm ~ 최고 1,293mm 사이에서, 좌우의 경우 최저 0mm ~ 최고 250mm 사이에서 제어되도록 하였다.



(a) Vertical control



(b) Horizontal control

그림24. Position control cylinder of main pulling conveyor

#### e. 인발, 이송, 줄기절단부 설계

본 연구에서 인발성능에 영향을 미치는 요인으로는 재배지 특성, 무의 물리적 특성, 기계적 특성, 운전자의 숙련도 등이 있다. 특히 토양의 종류, 불규칙한 두둑과 골의 형상 등의 재배지 특성 등과 기계적 요인 중 주행부의 종류 및 형상이 인발성능에 크게 영향을 미친다. 이러한 요인들을 고려한 최적설계가 이루어지지 못하면 인발력이 줄기의 인장파단력보다 커져 줄기가 절단되거나 인발 후 이송 과정에서 떨어지는 현상이 발생하게 된다.

본 연구에서 개발된 자주식 무 수확기는 무의 줄기를 벨트로 헐지하여 인발하게 되므로 줄기의 인장파단력이 인발력보다 커야만 줄기가 끊어지지 않고 토양으로부터 인발할 수 있게 된다. 따라서 인발력 감소 및 인발 이송부로의 원활한 이송을 위해 새로운 메커니즘이 필요하다고 판단되었고, 초기에 설계된 인발 이송부를 보조할 수 있는 전처리 장치를 설계하였다. 인발 이송부의 전처리부는 무의 눕혀진 줄기를 세워 모으는 기능을 하는 감아올림장치, 무 줄기의 수집 및 인입부 폴리로의 진입을 유도하는 진입유도장치 그리고 감아올림장치와 진입유도장치 사이에 부착형식인 도복유인장치로 구성된다. 시작기의 인입부 폴리는 벨트 구동이 주 기능이나 무를 밀어서 인발력을 감소시키는 효과도 유발되었으나 미는 과정에서 상처를 발생시켜 더욱 효과적인 도복유인장치를 설계하게 되었으며, 도복유인장치는 회전하는 롤러가 인발각만큼 무를 밀어줌으로써 인발력을 감소시키고 더불어 롤러의 회전에 의해 정확한 자세를 유지한 채 반송부로 이동시켜주는 기능을 수행하게 된다.

이 때 무와 직접적으로 접촉되어지는 롤러의 소재는 무의 파손을 억제하기 위해 인입부 폴리에 설치된 완충장치의 재질과 같은 생고무로 설정하였다. 롤러는 자유경첩으로 부착되어 있어 무를 밀어준 후 스프링의 힘에 의해 제자리로 돌아오며, 깔때기 형태의 구조를 지녀 직선 형태일 때보다 접촉면적이 늘어나 효과적으로 무를 밀어주게 된다.

전처리부는 전장 39cm, 전고 17cm, 전폭 42cm의 치수로 설계되었으며, 도복유인장치에 의해 무가 일정 각도로 넘어가더라도 감아올림장치와 진입유도장치로 이루어진 줄기 수집부에서 줄기를 수집해 주지 않는다면 무가 기울어진 상태로 이송부로 진입하게 되어 무 줄기의 인발과 이송이 불가능하게 된다. 따라서 효과적인 줄기 수집을 위해 감아올림장치와 진입유도장치로 이루어진 줄기 수집부의 날개수를 기존의 4개에서 6개로 추가해야 할 것으로 판단된다.

#### 나. 이송부 설계 및 개발

##### a. 두줄 무 수확기 개발을 위한 국내 무의 재배작형과 물리적 특성 조사

무 수확기의 전처리부 설계 요인 분석을 위한 기초자료로서, 재배 작형별 무의 기계적 수확에 관련

되는 물리적 특성 조사를 위하여 여름 무, 가을 무를 대상으로 각각의 무 포장에서 줄기 너비, 뿌리 직경, 토양 수분함수율에 따른 인발력을 조사하였다. 수확시기의 테스트베드에서 무의 줄기 너비와 뿌리의 최소·최대 직경을 측정하였으며, 각 포장 내에서 20개를 임의 선택하여 측정하였다. 무의 수직인발에 필요한 힘은 줄기가 묶여진 상태에서 디지털 하중계(Digital force gage, 측정범위 0~200 N)로 측정하였으며, 토양 수분함수율은 토양 수분계(Soil moisture meter)를 이용하여 측정하였다.



그림25. View of digital force gage(left) and soil moisture meter(right)

표17. Specifications of digital force gage

Index	Specification
Model	Mecmesin co. BFG200
Measurement range	0 ~ 200 N
Accuracy	±0.25% of full scale
Units of measurement	mN, N, kN, g <sub>f</sub> , kg <sub>f</sub> , oz <sub>f</sub> , lb <sub>f</sub>
Sampling rate	1,000 Hz
Overload rating	150% of full scale

표18. Specifications of soil moisture meter

Index	Specification
Model	IMKO co. TRIME-PIC064
Power supply	DC 7V~24V
Moisture measuring range	0~100% volumetric water content
Accuracy (moisture range 0~40%)	±1%
Repeating accuracy	±0.2%

무의 품종별 재배작형과 물리적 특성 조사는 전라남도 나주시 소재 시험 포장, 광주광역시 광산구 소재 농가 시험포장지에서 실시하였다. 전라남도 나주시 소재 시험포장지에서는 2가지의 품종에 대해 조사하였다. 첫 번째 품종 및 재배작형은 청황무(여름 무)이고, 토양수분함량 13.6%(d.b.), 둥근 두둑의 1열 재배이며, 주간거리 65 cm, 조간거리 27.5 cm의 재배양식으로 재배되었으며, 두 번째 품종 및 재배작형은 청두무(가을 무)이고, 토양수분함량 7.8%(d.b.), 둥근 두둑의 1열 재배이며, 주간거리 23 cm, 조간거리 73 cm의 재배양식으로 재배되었다. 광주광역시 광산구 소재 농가에서 품종 및 재배작형은 토광무(가을 무)이고, 토양수분함량 6.3% (d.b.), 둥근 두둑의 1열 재배이며, 주간거리 28.2 cm, 조간거리 85 cm의 재배양식으로 재배되었다.

수확시기 재배작형별 무의 물리적 특성 조사를 위해 각각 포장별로 무의 줄기 너비와 뿌리의 최소·최대 지름을 측정하였으며 그 결과는 표19와 같다. 청황무의 줄기 너비는 49cm ~ 82cm, 뿌리의

최소 지름은 6cm ~ 8cm, 최대 지름은 8cm ~ 12cm 범위였으며, 청두무의 줄기 너비는 55cm ~ 80cm, 뿌리의 최소 지름은 6cm ~ 8cm, 최대 지름은 10cm ~ 13cm 범위로 나타났다. 토광무의 줄기 너비는 43cm ~ 74cm, 뿌리의 최소 지름은 5.5cm ~ 8.5cm, 최대 지름은 9cm ~ 12cm 범위로 나타났다. 대체로 토광무가 다른 품종의 재배작형에 비해 크기가 작은 것으로 나타났다. 무의 재배작형별 인발력은 무의 재배작형에 따라 다양하게 나타났다. 이는 무의 품종 및 길이, 무게, 토양함수율, 재배환경 등의 요인으로 인하여 차이가 나타난 것으로 판단된다.

표19. Physical characteristics of Korean radishes

Variety		Stem width (cm)	Root diameter(cm)		Pulling force (N)	Soil moisture content (% , d.b.)
			Min	Max		
Cheonghwang (Summer radish)	Ave.	66.9	7.0	9.5	122.3	13.6
	S.D.	12.2	0.6	1.1	17.0	1.6
Cheongdu (Autumn radish)	Ave.	65.8	7.4	11.1	82.9	7.8
	S.D.	5.2	0.5	0.7	12.1	1.4
Togwang (Autumn radish)	Ave.	55.4	7.0	10.30	77.8	6.2
	S.D.	7.9	0.7	0.7	12.2	0.7



그림26. Field view of Cheonghwang(left), Cheongdu(middle) and Togwang(right)

#### b. 최소 인발력을 위한 인발각 연구

인발력을 감소시키고, 무 줄기가 인발벨트에 이송에 적합한 자세로 진입하기 위해서는 무를 도복유 인장장치 등을 이용하여 직립한 무를 어느 정도 밀어야 한다. 도복유인장치를 설계하기 위하여 그림 7 과 같이 무의 밀림정도에 따른 인발력을 측정하였다. 인발각은 기존에 보고된 근채류 수확기의 인발 각과 시작기의 각도조절 범위를 고려하여 0° , 15° , 30° 의 3수준에서 인발력을 측정하여 그 결과를 그림28에 나타내었다. 인발각에 따른 인발력을 측정한 결과, 인발각 0° 에서 평균 인발력은 82.9 N, 15° 에서의 평균 인발력은 66.7 N, 30° 에서의 평균 인발력은 56.1 N으로 인발각을 주지 않았을

경우보다 약 32%의 인발력 감소 효과를 나타내었다. 따라서 전처리부 설계에서 무의 인발력을 감소시켜 줄기의 인장파단력에 의한 줄기 절단현상을 억제하고 무의 안정적인 인발 및 이송을 위한 인발 각은  $30^\circ$  로 설정하였다.



그림27. Measurement of the pulling force according to the pulling angle

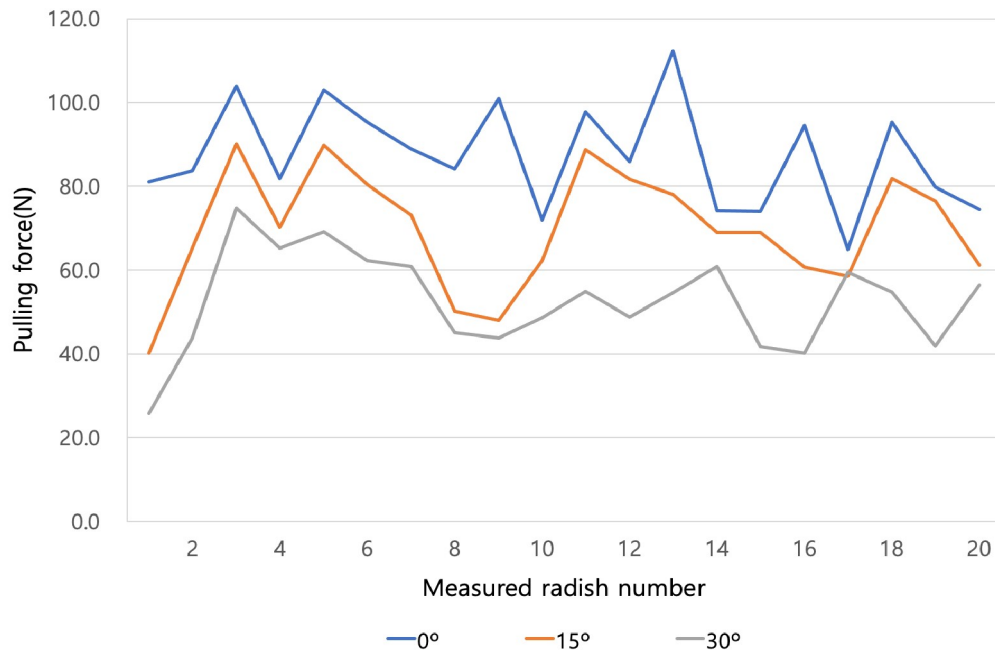


그림28. Comparison of the pulling force according to the pulling angle

### c. 도복유인장치 설계

인발각이  $30^\circ$  일 때 인발력을 최소화할 수 있다고 분석되어 도복유인장치의 설치 위치를 결정하기 위해 무가  $30^\circ$  로 기울어지기 위해 필요한 도복유인장치의 전진거리를 결정하고자 하였다.

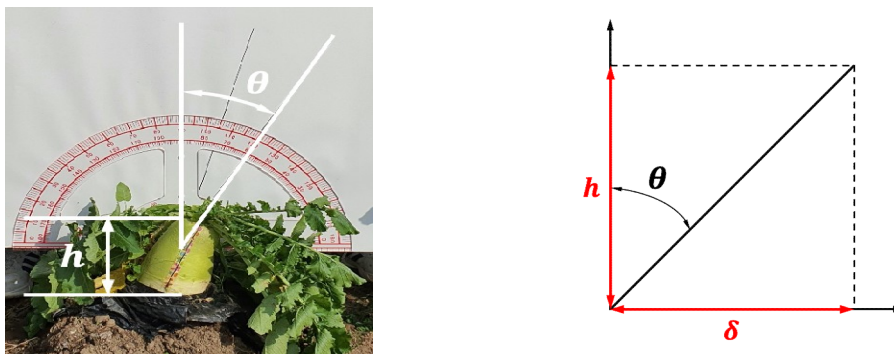


그림29. Schematic diagram for determining advance distance

where,  $\theta$  : Pulling angle

$h$  : Length of exposed radish out of soil

$\delta$  : Advance distance

그림29에서 전처리부와 무 사이에 슬립현상이 발생하지 않는다는 가정하에 전처리부에 의해 무가 인발각만큼 기울어지려면 도복유인장치의 이론 전진거리는  $\delta$ 가 되어야 하며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tan \theta = \frac{\delta}{h} \quad (8)$$

$$\delta = h \tan \theta \quad (9)$$

수확시기 무의 물리적 특성에 따르면 작형별 무의 독 위 높이는 청황무의 경우 12cm ~ 20cm, 청두무의 경우 11cm ~ 24cm, 토광무의 경우 12cm ~ 21cm 범위로 나타났다. 인발각을 30° 로 고정하고 작형별 독 위 높이를 고려한 인발각에 따른 도복유인장치의 이론 전진거리는 청황무의 경우 8.1cm ~ 11.5cm, 청두무의 경우 6.4cm ~ 13.9cm, 토광무의 경우 6.9cm ~ 12.1cm 범위로 나타났으며, 모든 재배작형의 독 위 높이를 고려했을 경우 도복유인장치의 이론 전진거리는 6.4cm ~ 13.9cm 범위로 도복유인장치의 롤러가 이론 전진거리만큼 무를 민 후 제자리로 되돌아와 하기 때문에 이 거리를 고려해서 도복유인장치의 스프링을 결정해야한다. 또한 실제 수확 시 토양의 경도, 함수율 등에 의한 슬립현상을 고려하여 도복유인장치의 이론 전진거리를 일정 비율로 높여 작업을 수행해야 할 것으로 판단되었다.

무는 전체 무게의 85% 이상을 뿌리 부분이 차지하기 때문에 롤러는 상대적으로 가벼운 무의 줄기 시작부분을 시작으로 무를 통과해야 효과적으로 무를 밀어줄 수 있다.

수확시기 무의 물리적 특성에 따르면 작형별 무 뿌리의 최소 지름은 청황무의 경우 6cm ~ 8cm, 청두무의 경우 6cm ~ 8cm, 토광무의 경우 5.5cm ~ 8.5cm 범위로 나타났다. 무 뿌리의 최대 지름은 청황무의 경우 8cm ~ 12cm, 청두무의 경우 10cm ~ 13cm, 토광무의 경우 9cm ~ 12cm 범위로 나타났다.

따라서 작형별 무의 최소·최대 지름을 고려하여 도복유인장치 롤러의 상부간격은 5.5cm ~ 8.5cm, 하부간격은 8cm ~ 13cm 범위에서 설계되어야 한다.

표20. Design of lodging induced device for radish varieties

Variety		Cheonghwang	Cheongdu	Togwang
		(Summer radish)	(Autumn radish)	(Autumn radish)
Index	Ave.	16.9	15.8	17.3
	S.D.	2.2	2.2	1.9
Advance distance (cm)		8.1 ~ 11.5	6.4 ~ 13.9	6.9 ~ 12.1

#### 다. 작동 요인별 성능 평가

##### a. 인발율, 이송율, 절단 위치, 누락율 확인

##### (1) 두줄 무 수확기의 성능 시험

개발된 시작기의 수확 성능의 평가와 보완을 위한 추가 설계 인자 도출을 위해 2022년 11월 7일에 전라남도 나주시 다시면 가운리 168-5 소재 테스트베드에서 재배한 두줄 무 포장에서 예비실험을 실시하였다. 재배포장 조성을 위해 사전에 국내 무 재배의 작형별 재식간격 및 지역별 재배양식을 조

사하였으며 결과는 표21, 22와 같다. 또한 밭 농업 경쟁력 제고를 위한 밭 농업 기계화 촉진방안 및 주요 작목별 기계화전략 도출에서 제시한 표준 기계화 재배양식은 표23에 나타내었다. 본 연구를 위한 무 포장은 가을 무 작형으로 조성하기 위해 작형별 재식간격 및 지역별 재배양식의 기준과 표준 기계화 재배양식을 기준으로 1줄, 두둑 폭 60 cm, 고랑 폭 30 cm, 주간거리 23 cm의 무 포장을 조성하였다. 무 수확기의 수확 성능 평가를 위한 시험은 2022년 11월 18일 실시하였으며, 무 포장은 그림 1과 같이 약 1,752 m<sup>2</sup> 면적에 평균 100개/줄 밀도로 재식하였다.



그림30. 전남 나주시 다시면 테스트베드

표21. 표준 무 재배 양식

Cropping pattern	Sowing timing and area	Planting distance(cm)
House	-	55 x 21
Tunnel	-	60 x 25
Open field	-	60 x 25
spring radish	-	60 x 25
Summer radish	May-July sowing	60 x 25
	The coastal area	60 x 25
Autumn radish	Early sowing	60 x 25
	Timely sowing	60 x 27 or more
	Late sowing	60 x 24
Winter radish	-	60 x 25

표22. 표준 무 재배 포장 형식

Cultivation region (season)	Ridge standard(cm)				Planting standard(cm)		
	Ridge type	Ridge width	Ridge height	furrow width	NO. of row	Interrows pacing	Hill spacing
Gochang	Round	60	20	20	1	100	30
Gangneung	flat	-	-	62	-	62	20
Pyeongchang	Round	65	20	20	1	65	23
Yeongam	Round	70	20	15	1	70	22

표23. 기계화를 위한 무 재배 형식

Type	Ridge type	Ridge spacing (cm)	Interrow spacing (cm)	Hill spacing (cm)	Planting number (ea/10a)
1row planting	round	60	-	20~25	6,667~8,333
2row planting	flat	120	30~50	20~25	6,667~8,333

표24. 연구에서 채택된 무 재배 형식

Ridge standard(cm)			Planting standard(cm)			
Ridge type	Ridge width	Ridge height	furrow width	NO. of row	Interrows pacing	Hill spacing
Round	60	13.5	30	2	73	23

**(2) 인발 이송부 성능 시험**

인발 이송부 주요 설계 요인으로는 감아올림장치 간격, 인발각, 주행속도와 감아올림장치 속도의 비 등이 있다. 본 시험에서는 무의 인발 및 이송 성능에 큰 영향력을 끼치는 설계 요인인 인발각, 주행속도와 감아올림장치 속도의 비인 견어올림 속도비의 영향을 평가하고자 하였다. 인발각은 기존에 보고된 근채류 수확기의 인발각과 본 연구에서 개발된 수확기의 각도조절 범위를 고려하여 25°, 30°, 35° 의 3수준으로 설정하였다. 견어올림 속도비는 2.5 ~ 5.5 범위에서 3수준으로 설정하였으며, 성능 시험의 수준은 표 5에 나타내었다. 수확 성능 시험은 인발각, 견어올림 속도비에 따른 인발률, 이송률, 손상율을 측정하였고, 각 시험 수준별로 10m의 작업구간에서 5회 반복하여 수행하였다. 인발률은 무의 줄기를 인발벨트로 협지하여 무의 뿌리가 지면에서 완전히 뽑힐 때까지의 무의 개수이고, 이송률은 인발 후 무가 인발벨트에서 떨어지지 않고 배출부의 수평 컨베이어까지 이송된 무의 개수이다. 손상율은 시험 구간당 전체 무에서 인입부 폴리에 의한 무름이나 찌힘 등 상품성을 잃었다고 판단되는 무를 육안으로 판별하여 결정하였다.

$$\text{인발률(\%)} = \frac{\text{인발된 무의 개수}}{\text{구간당 전체 무의 개수}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{이송률(\%)} = \frac{\text{벨트에 협지된 무의 개수} - \text{이송중 떨어진 개수}}{\text{벨트에 협지된 개수}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{손상율(\%)} = \frac{\text{손상된 무의 개수}}{\text{구간당 전체 무의 개수}} \times 100 \quad (3)$$



표25. Experimental design for harvesting performance test of the developed harvester

Factors	Measurements	Remarks	
Pulling angle	25°		
	30°		
	35°	- Pulling rate - Conveying rate	- Radish variety: Cheongdu - Traveling distance: 10 m
Speed ratio	2.60	- Damaged rate	- Average no. of radish: 100
	3.47		
	5.20		

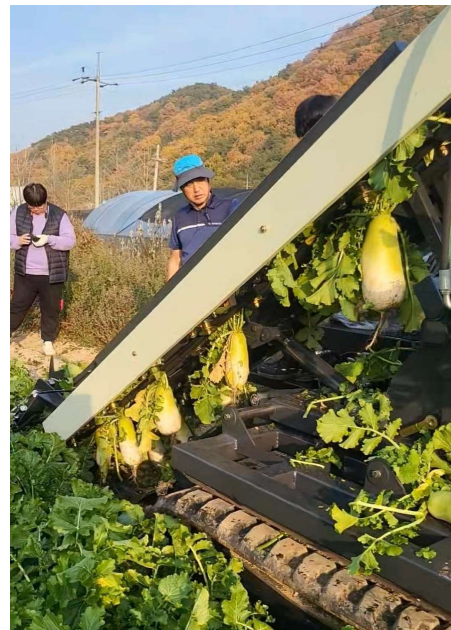


그림31. View of harvesting performance test

**라. 결과 및 고찰**

**a. 자주식 무 수확용 시작기**

2조식의 두줄 무 수확기는 주행부, 인발부, 이송부, 동력전달부, 적재부 등으로 구성된다. 인발부의 감아올림장치에 의해 무의 눕혀진 줄기를 세워 모은 후 인발 진입부에 의해 무 줄기의 이송부 진입을 유도하고 각 2개의 인발벨트의 압착력에 의해 줄기 부분이 헐지되어, 이송부의 전면 경사에 따라 무가 지면에서 뽑혀 올라오게 된다. 인발된 무는 적재부로 컨베이어 벨트 위로 낙하·이송되고 최종적으로 적재용 톤백(마대)에 수확된다. 이때 무 줄기를 헐지하는 힘은 가이드롤러+스프링 방식에 의해 조정되고, 낙하 중 손상이 없도록 컨베이어의 높이를 조절 가능하도록 제작했다. 또한 필요한 경우에는 이송부의 말단에 추가 줄기절단부를 두어 필요한 경우 후작업을 할 수 있도록 장치를 추가하였다.

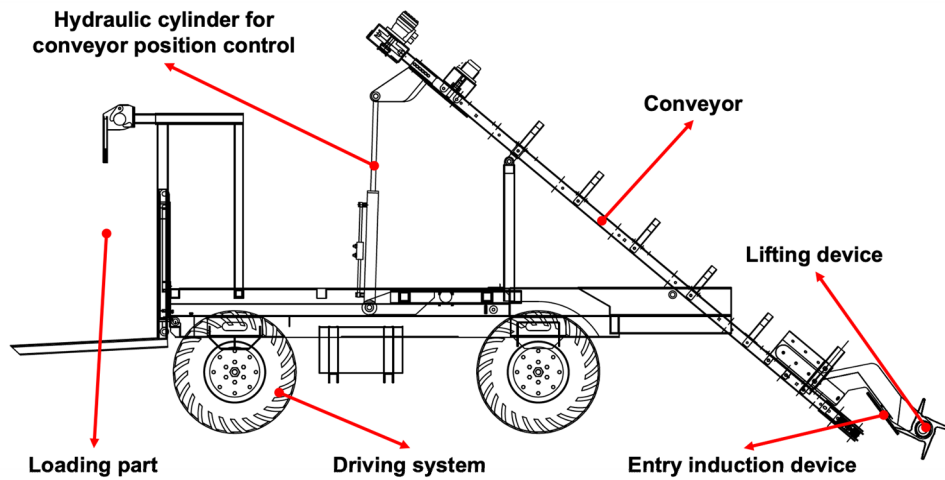


그림32. 자주식 두줄 무 수확기

**b. 걷어올림 속도비가 인발성능에 미치는 영향**

걷어올림 적정 속도비를 찾기 위하여 인발각은 기존에 보고된 근채류 수확기의 인발각과 본 연구에서 개발된 수확기의 각도조절 범위를 고려하여, 30°로 시험하였으며, 주행속도는 무 수확기의 저속 및 고속 주행속도를 고려하여 0.30m/s, 0.45m/s, 0.60m/s로 하였다. 이에 비례하는 걷어올림 속도비는 이론분석을 통하여 계산된 값의 평균값으로 설정하였지만, 실제 포장 작업에 있어서 무 줄기의 수분으로 인해 무 줄기와 감아올림장치 사이에 슬립현상이 발생하였기 때문에 이론 속도비에 20%를 높여 시험하였다.

주행속도 0.30m/s, 0.45m/s, 0.60m/s에 따른 걷어올림 속도비를 3.12로 설정하여 시험한 결과 평균 인발률은 74.0%, 평균 이송률은 69.0%, 평균 손상율은 1.2%로 나타났다. 주행속도 0.45m/s, 감아올림장치의 속도 1.40m/s에서 상대적으로 더 우수한 결과를 보였다.

표26. 걷어 올림 속도비의 영향 (pulling speed ratio of 3.12)

Pulling speed ratio	Driving speed (m/s)	Lifting device speed (m/s)	Pulling rate (%)	Transferring rate (%)	Damaged rate (%)
3.12	0.30	0.94	70.0	65.0	1.5
	<b>0.45</b>	<b>1.40</b>	<b>77.0</b>	<b>72.0</b>	<b>0.9</b>
	0.60	1.87	75.0	70.0	1.3

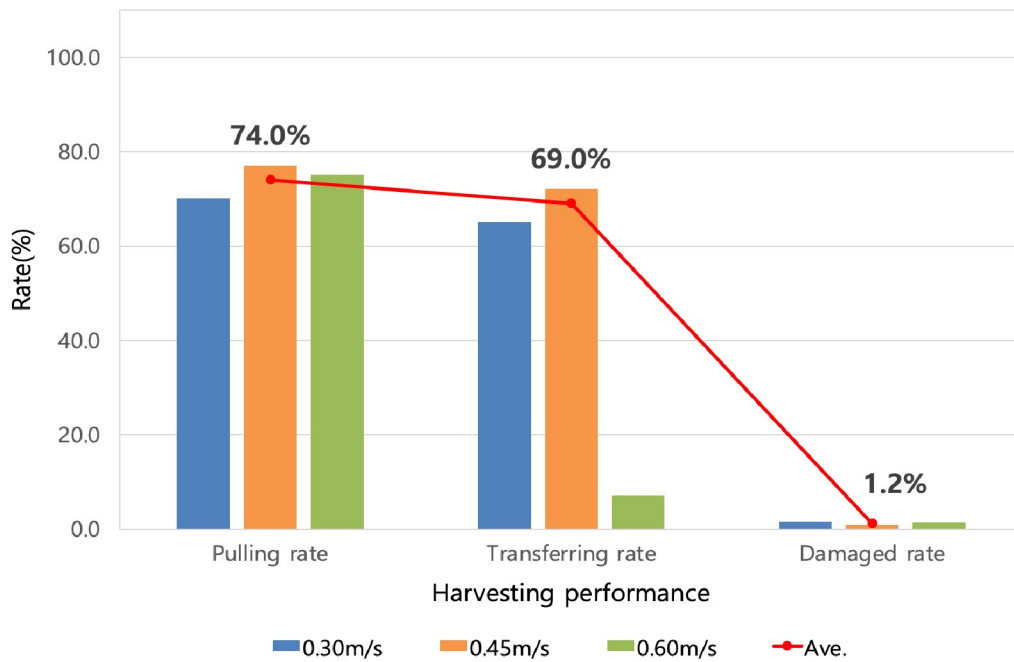


그림33. 걷어올림속도비의 영향 (pulling speed ratio of 3.12)

표27. 걷어올림속도비의 영향 (pulling speed ratio of 4.16)

Pulling speed ratio	Driving speed (m/s)	Lifting device speed (m/s)	Pulling rate (%)	Transferring rate (%)	Damaged rate (%)
4.16	0.30	1.25	75.0	70.0	0.9
	<b>0.45</b>	<b>1.87</b>	<b>82.0</b>	<b>75.0</b>	<b>0.6</b>
	0.60	2.50	72.0	68.0	1.3

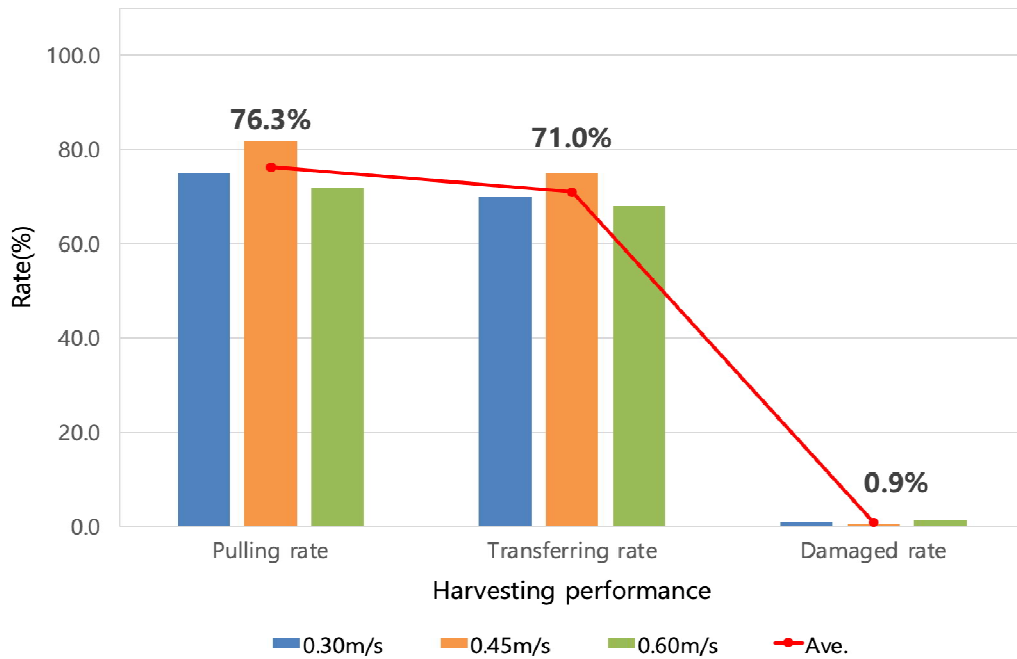


그림34. 걷어올림속도비의 영향 (pulling speed ratio of 4.16)

주행속도 0.30m/s, 0.45m/s, 0.60m/s에 따른 걷어올림 속도비를 6.24로 설정하여 시험한 결과 평균 인발률은 72.0%, 평균 이송률은 67.7%, 평균 손상율은 1.0%로 나타났다. 주행속도 0.30m/s, 감아올림장치의 속도 1.87m/s에서 상대적으로 더 우수한 결과를 보였다.

표28. Harvesting performance at pulling speed ratio of 6.24

Pulling speed ratio	Driving speed (m/s)	Lifting device speed (m/s)	Pulling rate (%)	Transferring rate (%)	Damaged rate (%)
6.24	0.30	1.87	75.0	70.0	1.0
	0.45	2.81	72.0	68.0	1.7
	0.60	3.74	69.0	65.0	1.3

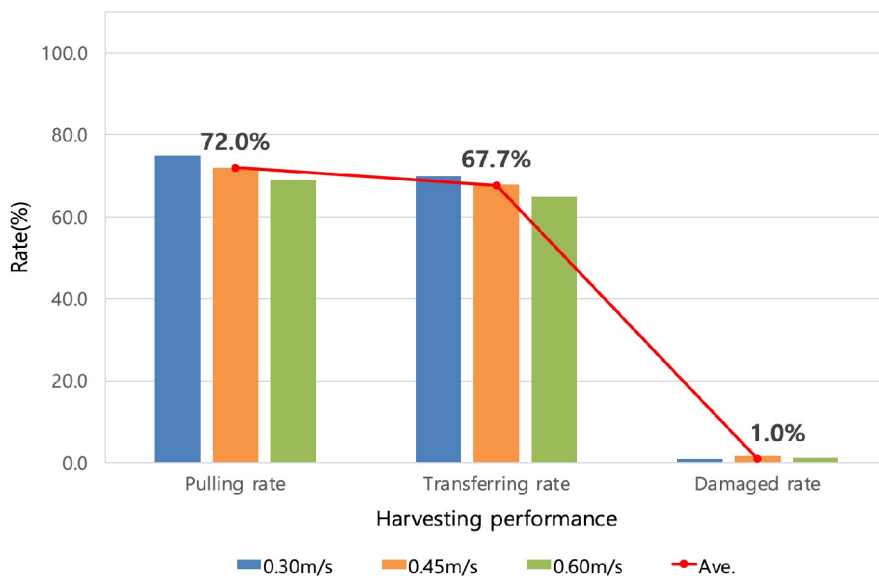


그림35. 걷어올림속도비의 영향 (pulling speed ratio of 6.24)

감아올림장치의 속도는 견어올림 속도비에 따라 자동으로 결정되어 진다. 견어올림 속도비 4.16에서 인발률 76.3%, 이송률 71.0%, 손상을 0.9%로 가장 우수한 성능을 나타내었다. 하지만 두둑의 높이 등과 같은 재배지 구조 등에 의한 무의 생육 자세가 불규칙하므로 작업자가 모든 상황을 고려하여 작업을 하기엔 한계가 있었으며, 수확 성능 시험 과정에서 인발 중 무 줄기의 절단과 이로 인해 이송 중 낙하, 뿌리의 비대함으로 인한 인발력 증가 등의 이유로 기대했던 수확 성능에는 미치지 못하였다.

### c. 인발각이 인발성능에 미치는 영향

주수확부의 적정 인발각을 찾기 위하여 주행속도 0.45m/s, 견어올림 속도비를 4.16으로 고정하였다. 이에 따라 감아올림장치의 속도는 1.87m/s, 인발각은 25°, 30°, 35°의 3수준에서 수확 성능을 시험하였다. 인발각 조절에 따른 수확 성능 시험을 수행한 결과 표29와 같은 수확 성능이 나타났으며, 이 결과는 견어올림 속도비에 따른 수확 성능과 마찬가지로 인발각을 변화하여도 인발률, 이송률 그리고 손상에 있어서 기대했던 성능에는 미치지 못한 결과를 나타내었다. 따라서 자주식 무 수확기의 수확 성능을 개선시킬 수 있는 방안 중 하나로 인발 이송부를 보조할 수 있는 장치를 설계하여 무를 효과적으로 인발 및 이송할 수 있는 전처리 장치가 개발될 필요가 있다고 판단되었다.

표29. 인발각에 따른 수확 성능

Pulling angle (°)	Pulling rate (%)	Transferring rate (%)	Damaged rate (%)
25	76.2	70.1	1.0
30	78.4	71.2	0.7
35	70.5	65.0	1.5

## 11) 적응성 수확 평가 성능 시험

### 가. 재료 및 방법

개발된 두줄 무 수확기의 다양한 무 품종과 작업조건에 따른 추가 수확 성능 평가를 위해 2023년 11월 24일~29일에 걸쳐 전라남도 나주시 다시면 가운리 168-5 소재 밭에서 재배한 두줄 무 포장에서 평가실험을 실시하였다. 본 연구를 위한 무 포장은 가을 무 작형으로 조성하기 위해 작형별 재식간격 및 지역별 재배양식의 기준과 표준 기계화 재배양식을 기준으로 2줄, 둥근 모양의 두둑 폭 40 cm, 두둑 높이 15 cm, 조간거리 80 cm, 주간거리 27 cm의 무 포장을 조성하였다. 실험 수준 당 10 m를 수행하였으며, 인발부의 경사도는 30°를 유지하였다. 작업자로는 운전자 1명, 선별자 2명이 탑승하였다.

다양한 무 품종에 대한 적응성을 평가하기 위하여 4가지 다른 품종을 재배하였으며, 각각 청두, 백자, 청운플러스, 토광 등 물리적 특성이 다른 품종들을 사용하였다. 표 10에는 사용된 무 품종의 물리적 특성을 나타내었다. 인발력 측정에는 IMADA사의 DST-500N 인장력계를 사용하였으며, 잎 특성에는 인발부 전처리부의 견어올림 휠의 성능을 분석하기 위하여 세워진 잎, 눕혀진 잎의 개수도 조사하였다.



그림36. 적응성 시험 포장 전경

표30. 시료 무 물리적 특성

품종	순번	인발력(N)		무게 길이	뿌리 길이	뿌리 직경	뿌리 개수	문 힘 깊이	잎				
		높이	너비						30° 경사	kg	cm	mm	cm
		수직	30° 경사	kg	cm	mm	cm	cm	cm	cm	cm	세워짐	넓혀짐
청 구	1	46.3	18.7	1.17	11.8	978	12.3	11.5	14	30.5	10.5	4	4
	2	46.7	22.2	1.19	13.2	1571	13.3	25	47	34	10.4	6	5
	3	51.6	23.1	1.59	14	917	17.5	18	55	34.5	11	8	6
	4	52.9	27.6	1.53	13.7	1040	17.8	24	54	35	10.3	7	4
	5	38.7	23.3	1.12	11.8	1573	12.2	27	60	38	9	7	6
	6	74.3	36.9	2.2	10.3	1115	19.3	25	63	38	13	10	6
	7	56.5	26.1	1.44	10.8	1655	17.8	33	70	37	10	7	6
백 자	1	58.1	48.4	1.45	15.3	1087	17.2	25	56	38	10.6	7	6
	2	62.3	36.5	1.5	12.5	1136	10.3	20	66	36	9.5	9	4
	3	82.2	57.9	1.83	13.5	1228	19.5	30	63	35	10.2	8	5
	4	102.9	25.4	4.2	10.4	1673	22	45	78	42	14	10	12
	5	154.1	49.5	1.4	11.1	1903	18	39	87	50	10.7	15	14
청 안 플러 스	1	110	37.9	3.06	11.6	1565	16.5	35	75	47	13	9	9
	2	116	45.2	2.44	16.2	1636	16.8	30	74	40	12.3	10	8
	3	73.4	19.6	1.24	12	1554	13	37	80	42	8.5	7	8
	4	105.8	87.9	2.7	11.3	1876	16.4	36	81	43	12.4	9	9
	5	99.9	18.2	2.87	13.1	1367	17	41	78	43	13	7	8
토 광	1	97.6	85.2	2.27	8.9	1744	17.5	43	53	41	10.5	8	12
	2	84	41.2	2.06	12.4	1617	12.6	50	80	51	14	8	15
	3	137	125.2	3.06	12	1567	21	45	88	48	11.5	11	14
	4	119.5	61.4	3.04	12.5	1909	20	50	97	50	12.6	11	14
	5	171.2	66.5	3.31	10.2	2090	22	47	92	44	11.7	12	12

## 나. 결과 및 고찰

수확기 성능평가를 위해서 실험요인으로 수확기의 진행속도, 반송부의 이송벨트속도를 변화시켰다. 1차 성능평가 실험에서 수확성능에 미치는 요인으로 수확기의 진행속도, 반송부의 경사, 반송부 벨트속도를 설정하여 성능평가를 실시하였고, 본 추가 평가실험에서는 다양한 품종에 대한 성능평가를 하고자 하였으므로 작업기 진행속도, 반송부 이송벨트 속도만을 요인으로 설정하였다. 시료 품종에 따른 물리적 특성에는 많은 차이가 있어 수확성능을 일률적으로 평가하기는 어려우나 주 성능평가 지표로 삼은 손실률에서는 7% 이하의 우수한 성능을 나타내었다. 표 11에는 실험 수준과 품종에 따른 작업조건과 손실율을 나타내었다. 여러 품종 중 첫 실험대상인 토광 품종에 대한 수확기 진행속도별 시험에서는 0.4m/s 속도에서 손실율이 크게 발생하여 그 이하의 속도로 작업해야 한다고 판단되어 다른 품종에서는 최고속도 0.4m/s 이하의 진행속도 수준으로 실험을 진행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 두줄 무 수확의 경우에는 1줄 무 수확의 경우보다 재배 밀도가 높아 수확기의 진행속도를 낮게 설정해야 함을 확인하였다. 동일 실험 수준에서도 손실률이 차이가 나는 것은 동일 품종이라도 시료들의 생육상태가 다른 원인으로 판단되었다.

표31. 수확성능 (손실률)

품종	순번	작업속도	이송벨트속도		수확성능		
		m/s	rpm	m/s	전체(개)	손실(개)	손실률(%)
토광	1	0.2	58	0.6	59	5	7.7
	2	0.2	58	0.6	45	0	0.0
	3	0.2	58	0.6	30	2	5.0
	4	0.3	30	0.3	57	2	2.6
	5	0.3	30	0.3	62	2	0.0
	6	0.4	60	0.6	47	6	12.9
청두	1	0.2	30	0.3	45	0	0.0
	2	0.2	30	0.3	35	3	8.7
	3	0.2	30	0.3	29	3	10.5
	4	0.3	30	0.3	63	0	0.0
	5	0.3	30	0.3	44	5	10.3
백자	1	0.2	30	0.3	47	3	6.5
	2	0.2	45	0.5	38	5	12.0
	3	0.2	45	0.5	42	2	3.6
	4	0.3	45	0.5	45	3	6.7
	5	0.3	60	0.6	47	3	6.5
청운 플러스	1	0.2	60	0.6	30	2	5.0
	2	0.2	60	0.6	57	3	5.3
	3	0.2	45	0.5	51	3	5.9
	4	0.3	60	0.6	51	2	2.9
	5	0.3	60	0.6	29	0	0.0

## 12) 인발 이송부 최적 설계

### 가. 견어올림 속도비

수확기 설계에 있어서 도복된 대상 작물의 줄기나 잎을 견어올리는 작용을 분석하는데 견어올림 속도비(Chung et al., 1988)를 사용한다. 견어올림 속도비( $K_t$ )는 식 (4)와 같이 표시되며 견어올림장치 속도( $V_b$ )와 수확기의 주행속도( $V_m$ )의 합속도( $V_a$ )의 방향은 견어올림 작용을 크게 좌우하게 되며, 그림 8에서와 같이  $V_a$ 의 방향과 수직선이 이루는 각을 견어올림궤적의 방향각( $\gamma$ ), 견어올림장치 속도가 지면과 이루는 각을 인발각( $\theta$ ) 이라고 한다.

$$K_t = \frac{V_b}{V_m} \quad \text{식 (4)}$$

where,  $K_t$  : Pulling speed ratio  
 $V_b$  : Lifting device speed  
 $V_m$  : Vehicle travel speed

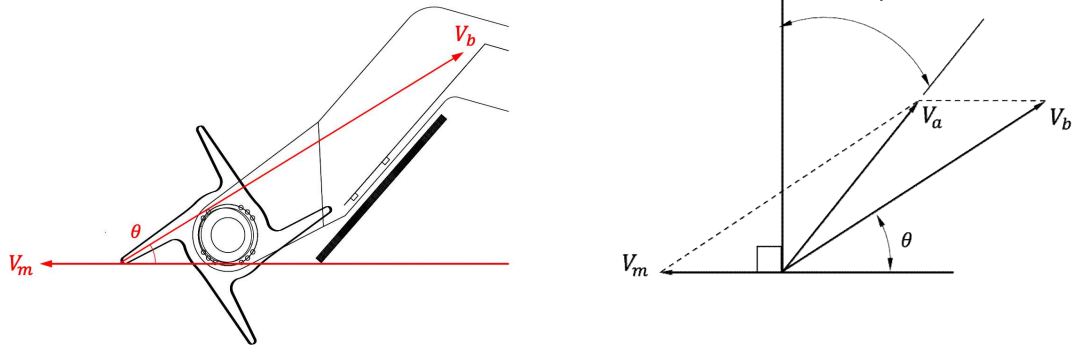


그림37. Velocity diagram of lifting device speed(  $V_b$  ) and vehicle travel speed(  $V_m$  ).

걷어올림 궤적의 방향각( $\gamma$ )는 식 (5)와 같이 나타나며, 도복각( $\beta$ )은 그림 9에 나타난 바와 같이 무의 기울기가 수직선과 이루는 각으로서 걷어올림 궤적의 방향각과의 관계에 의하여 걷어올림 작용을 결정한다.

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{V_b \sin \theta}{V_b \cos \theta - V_m} \quad \text{식 (5)}$$

where,  $\gamma$ : Direction angle of pulling trajectory

$\theta$  : Pulling angle

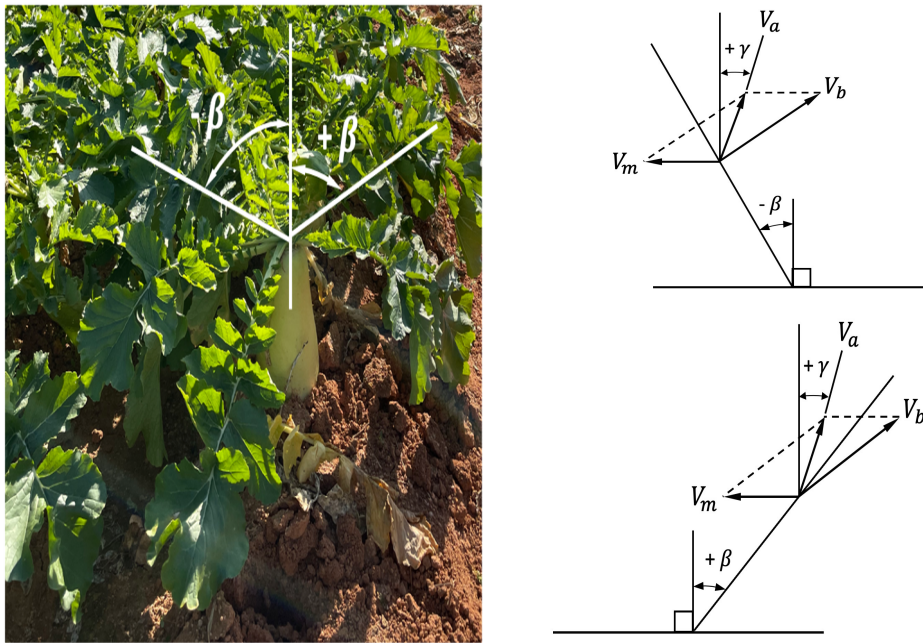


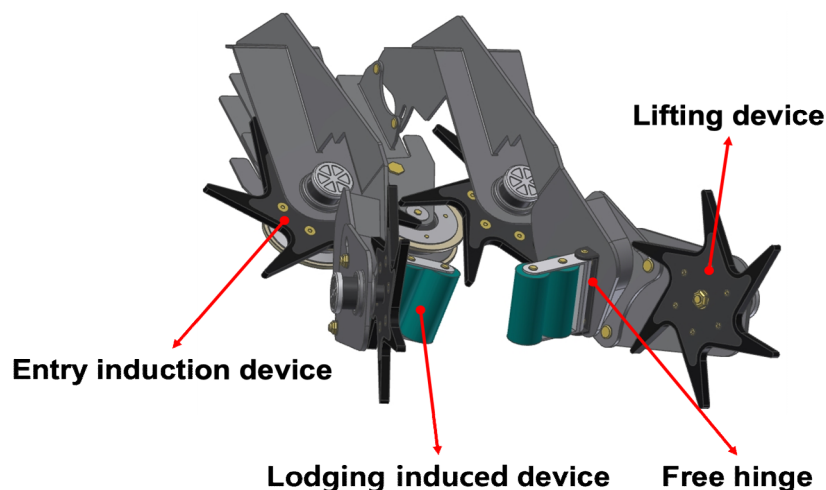
그림38. Lodging angle(left) and Pulling action(right)

그림38에서 도복각  $\beta$  는 작물의 기울기가 수직선과 이루는 각으로 도복방향과 기체 진행방향이 같을 때  $-\beta$  이고, 그와 반대인 경우를  $+\beta$  로 규정하였다. 무의 경우 줄기의 분포상태에 따라  $-90^\circ \leq \beta \leq +90^\circ$  의 범위를 가지는 것으로 나타났다. 걷어올림 작용은 Fig. 3에서  $|\gamma| < |\beta|$  일 경우 이루어지는데 식 (5)에 의해 구한 걷어올림 궤적의 방향각은 최소  $30.6^\circ$  ~ 최고  $52.8^\circ$  의 값을 가지므로 본 연구에서 개발한 시작기의 걷어올림 작용은 원만히 이루어지는 것으로 판단된다.



## 나. 전처리부 설계

낮은 인발 성능에 영향을 미치는 요인으로는 재배지 특성, 무의 물리적 특성, 장비의 기계적 특성, 운전자의 숙련도 등이 있다. 특히 토양의 종류, 불규칙한 두둑과 골의 형상 등의 재배지 특성 등과 기계적 요인 중 주행부의 종류 및 형상 등으로 판단되었다. 이로 인하여 인발력이 줄기의 인장파단력보다 커져 줄기가 절단되거나 인발 후 이송 과정에서 떨어지는 현상이 발생되었다. 따라서 인발 성능을 향상시키기 위해서는 인발부의 효율적 설계와 더불어 기체나 인발부의 수평제어가 고려될 필요가 있다. 본 연구에서는 인발력 감소 및 주수확부로의 원활한 이송을 위해 주수확부를 보조할 수 있는 전처리 장치를 설계하였다. 두줄 무의 경우에도 한줄 무 수확기의 전처리부를 사용하였으므로 한줄의 경우를 기준으로 설계하였다. 주요 구성으로는 무의 눕혀진 줄기를 세워 모으는 기능을 하는 견어올림장치와 무 줄기의 수집 및 인입 회전부로의 진입을 유도하는 진입유도장치 그리고 견어올림장치와 진입유도장치 사이에 부착형식인 도복유인장치이다. 시작기의 인입부 풀리는 벨트 구동이 주기능이나 무를 밀어서 인발력을 감소시키는 효과도 유발되었으나 미는 과정에서 상처를 발생시켜 이를 개선하고자, 도복유인장치를 설계하게 되었으며, 도복유인장치는 회전하는 롤러가 인발각만큼 무를 밀어줌으로써 인발력을 감소시키고 더불어 롤러의 회전에 의해 정확한 자세를 유지한 채 이송부로 이동시켜주는 기능을 수행하게 된다. 이 때 무와 직접적으로 접촉되어지는 롤러의 소재는 무의 파손을 억제하기 위해 고무로 설정하였다. 고무벨트 가이드롤러는 링크 형식으로 부착되어 무를 밀어준 후 스프링의 장력에 의해 원위치되며, 테이퍼 형태의 구조를 지녀 직선 형태일 때 보다 접촉면적이 늘어나 효과적으로 무를 밀어주게 하였다. 전처리부의 주요 치수로는 전장(진입유도장치 회전날 중심축에서 견어올림장치 회전날 중심축까지) 39 cm, 전고(인입부 풀리와 견어올림장치 회전날과의 수직거리) 17 cm, 전폭(양쪽 견어올림장치 거리) 42 cm로 설계되었으며, 작형별 무의 물리적 특성을 분석하여 도복유인장치 롤러의 상부 간격은 5.5 ~ 8.5 cm, 하부간격은 8 ~ 13 cm 범위로 설계하였다.(표 12) 또한 도복유인장치에 의해 무가 일정 각도로 넘어가더라도 견어올림장치와 진입유도장치로 이루어진 줄기 수집부에서 줄기를 수집해주지 않는다면 무가 기울어진 상태로 이송부로 진입하게 되어 무 줄기의 인발과 이송이 불가능하게 된다.



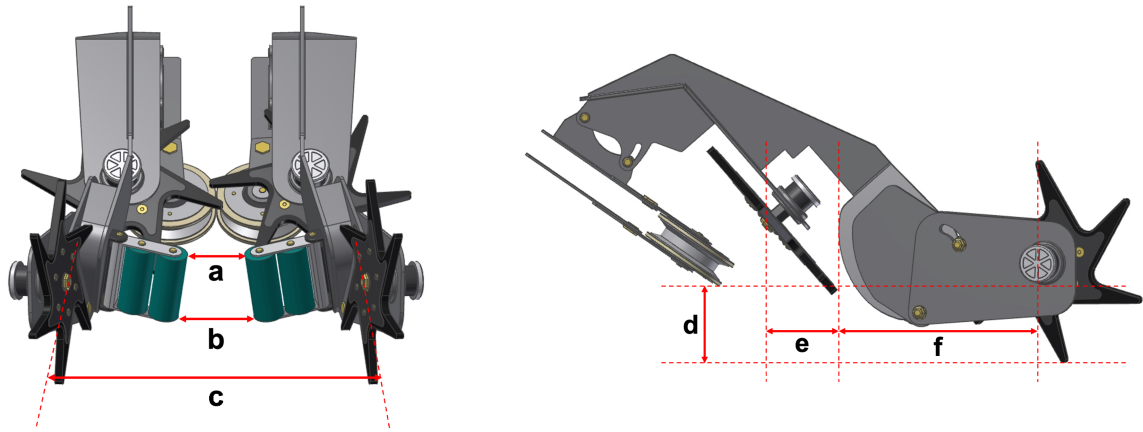


그림39. Structure of designed preprocessing unit.

표32. 전처리부 설계

Index	Dimension
a	5.5 cm
b	13 cm
c	42 cm
b	17 cm
e	12 cm
f	27 cm

### 13) 시뮬레이션 모델 개발을 위한 시스템 분석 및 중요 인자 도출

#### 가. 시뮬레이션 모델 개발을 위한 시스템 분석

##### a. 두 줄 무 수확기의 동력전달흐름도

- 엔진으로부터 출력된 동력이 주행부를 구동시키는 P1 및 P2 유압 펌프, 작업부를 구동시키는 P4 유압 펌프로 전달되며, 궤도 윤거 조절과 관련된 P3 유압 펌프는 서브 펌프를 통해 동력을 전달받는다.

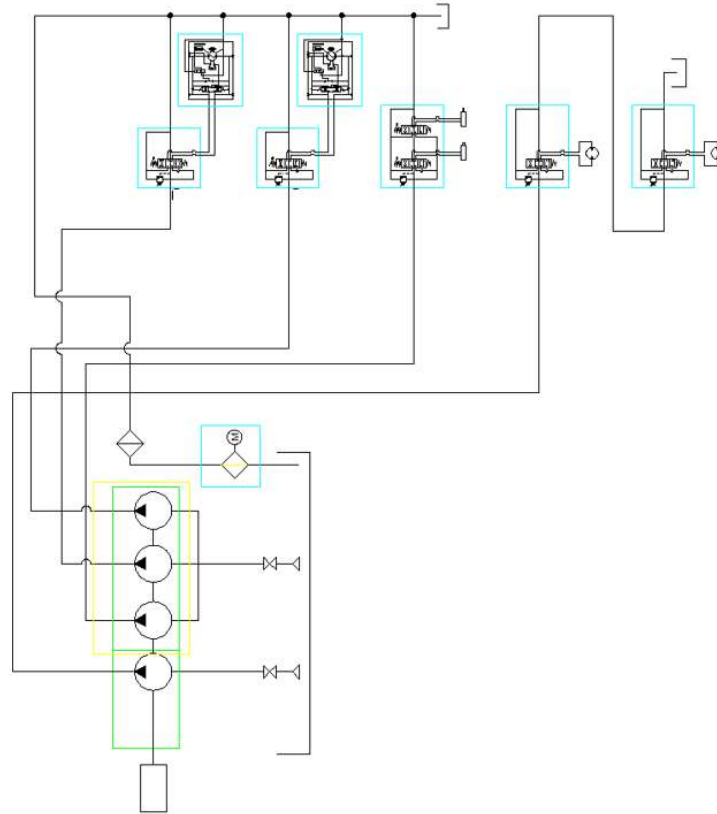


그림40. <두줄 무 수확기 동력전달흐름도>

- P1 및 P2 유압 펌프는 엔진으로부터 동력을 전달받아 유압을 생성하여 유압 모터로 이동시켜 수확기의 전·후진 및 조향을 제어하며, P4 유압 펌프는 두줄 무 수확을 위해 2개의 인발부의 기어 모터 및 유압 모터를 구동시킨다.
- P3 유압 펌프는 궤도 윤거 조절 실린더에 유압을 발생시켜 실린더를 제어하여 궤도의 윤거를 조절한다.

**b. 두줄 무 수확기 플랫폼**

- 본 연구에서 개발된 두줄 무 수확기 플랫폼은 44kW 엔진을 탑재하였으며, 크기 제원은 2,300 × 1,710 × 1410 (L × W × H) mm이다.
- 주변속은 유압 비례제어방식을 이용하여 이루어지며, 2개의 정유압 무단변속기(Hydrostatic Transmission, HST)로 구성하여 좌·우 각각 독립적인 제어가 가능하도록 구성되어 있다.
- 두줄 무 수확기 플랫폼에 탑재된 엔진은 (주)대동社の의 4B243TLWS 모델을 기준으로 개발하였으며, 엔진은 Tier-3 타입이며, 4행정 수냉식이다. 정격출력은 44kW/2,600rpm이며, 정격 토크는 190 Nm/1,800rpm이다. 세부 제원은 아래 표와 같다.



그림41. <(주)대동社の의 4B243TLWS 엔진>

표33. <주>대동 社の 4B243TLWS 엔진 제원표>

항목	값
Model	4B243TLWS
Emission Level	Tier 3/Stage 3A
Engine Type	4-Cylinder, 4-Cycle, In-line, Diesel, Water cooled, Turbo
Combusor Type	In-Direct Injection(Swirl Chamber)
Dimension (L × W × H)	766 × 545 × 714 mm
Rated power (@rpm)	44kW@(2,600rpm)
Maximum torque (@rpm)	190 Nm@(1,700rpm)
Alternator Capacity	12V-75A
Aspiration	Turbo Charged

c. 정유압 무단변속기(Hydrostatic transmission, HST)

- 정유압 무단변속기는 일반적으로 기관에서 발생하는 기계적 에너지를 유압에너지를 바꾸는 가변용량형 유압 펌프와 유압 에너지를 다시 기계적 에너지로 바꾸는 유압모터로 구성된다.
- 본 연구에서는 2개의 HST를 사용하여 좌·우 궤도에 적용하였으며, 비례제어밸브를 통해 주행 및 조향 제어 시 독립제어가 가능하도록 설계하였다.
- 두줄 무 수확기 사용된 유압 펌프는 소프트웨어 내에 고정형 펌프 서브모델을 이용하여 구성하였으며, 고정형 펌프의 경우 엔진으로부터 입력된 동력, 유압 펌프의 입력된 모터용량 및 회전속도를 통해 유량을 만들어 기계 내에 공급한다.
- 본 연구에서 사용된 유압 모터는 J. I. Hydraulic 社の JT03VJ 모델을 사용하였으며, 펌프 용량 및 정격 회전속도는 21.4 cc/rev 및 1,631.5 rpm를 적용하였다.

나. 시뮬레이션 결과값을 이용한 동력전달부 유압 시스템 출력 결과 및 분석

a. 시뮬레이션 출력 결과

① 유압 시스템 출력

- 두줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델 해석 결과를 분석하기 위해 단품 모델 제원을 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 엔진, 유압모터, 유압펌프의 압력 및 유량, 용적 효율을 산출하여 유압시스템의 출력을 계산하였음.

$$Power_{hydraulic} = \eta_v \frac{P \times Q}{1000}$$

여기서,  $Power_{hydraulic}$  : 유압시스템의 출력 [kW]  
 $\eta_v$  : 용적 효율 [%]  
 $P$  : 유압 시스템의 압력 [MPa]  
 $Q$  : 유압 시스템의 유량 [cc/s]

- 본 연구에서는 두줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델에 대해 단순 주행을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 엔진 제원보다 낮은 엔진 회전속도를 입력하였다.
- P1, P2 주행부 유압 펌프의 경우 궤도 윤거를 조절하는 P3 유압 펌프에 보조 동력을 공급하기 때문에 실제 제원보다 낮은 25 cc/rev 용량으로 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

② 엔진 출력

- 두줄 무 수확기 동력전달시스템 시뮬레이션 해석 결과 엔진 출력은 엔진 구동 후 약 2초 후

급격히 증가하여 약 27 kW의 출력을 보였으며, 이후 약간 감소하여 출력을 유지하는 것으로 나타났다.

- 엔진 출력이 상승하는 구간에서는 엔진이 구동되기 시작한 후 플라이휠을 구동하고 이후 변속기 수확기 구동모터에 동력을 전달해 주기 위해 출력이 상승하는 것으로 판단되며, 그 이후 변속기 및 구동부에 충분한 회전속도를 전달하면, 엔진 회전속도가 안정화되어 엔진 출력이 일정하게 나타나는 것으로 분석되었다.

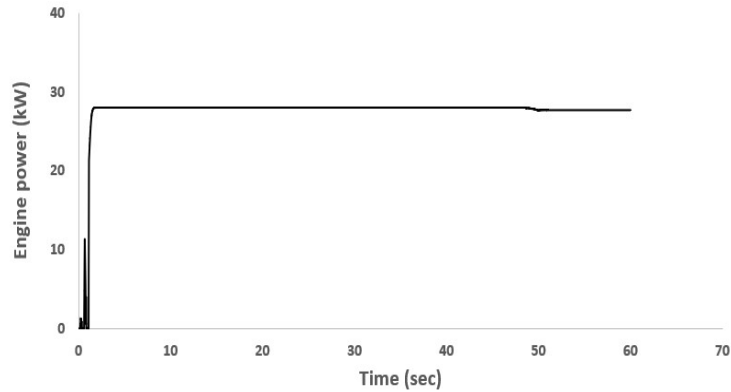


그림42. <두줄 무 수확기 시뮬레이션 엔진 출력 결과>

③ 유압 펌프 유량

- 유압 펌프의 출력은 엔진의 구동과 동시에 엔진으로부터 분기된 동력이 유압펌프에 전달되며, 이후 급격히 상승하여 약 38 l/min의 유량을 보였으며, 이후 약간 증가하여 40 l/min를 유지하는 것으로 나타났다.
- HST 모델 후단에 수확기의 하중만을 고려한 부하모델이 적용되었기 때문에 펌프 유량은 급격하게 증가한 후 안정적으로 유지되는 것으로 나타났다.

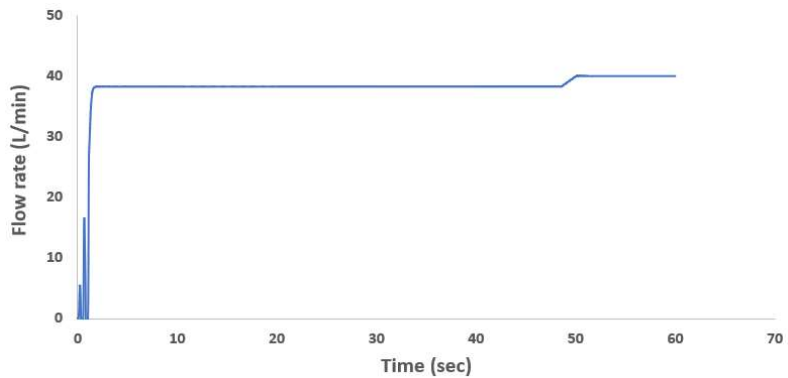


그림43. <두줄 무 수확기 시뮬레이션 유압 펌프 유량 결과>

④ 유압 펌프 출력

- 유압 펌프의 출력은 유압펌프의 구동과 동시에 유량이 공급되어 12kW의 출력을 보였으며, 이후 약간 감소하여 안정적으로 출력을 유지하는 것으로 나타났다.
- 유압 모터의 부하 모델 외에 다른 부하 모델을 적용되지 않았고 단품 모델의 실제 제원들만 적용하였기 때문에, 엔진 출력에 따라 증가하며 이후 서서히 일정한 값을 나타냈다.

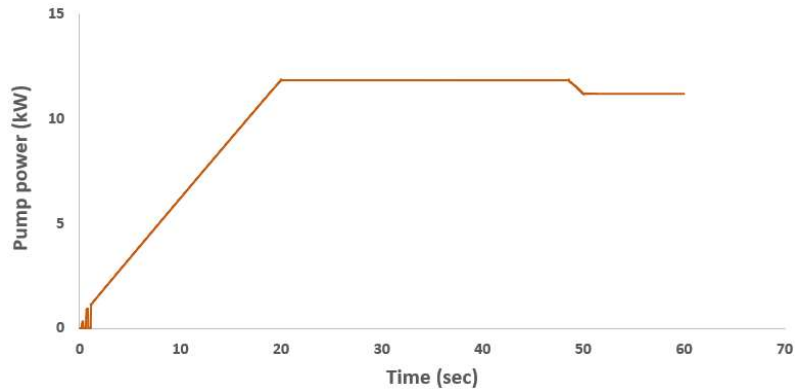


그림44. <두줄 무 수확기 시뮬레이션 유압 펌프 출력 결과>

⑤ 유압 모터 출력

- 유압 모터의 출력은 유압펌프의 구동과 동시에 유량이 공급되어 작동하기 시작하여 20초 후 약 5.5 kW의 출력을 보였으며, 이후 출력을 유지하는 것으로 나타남.

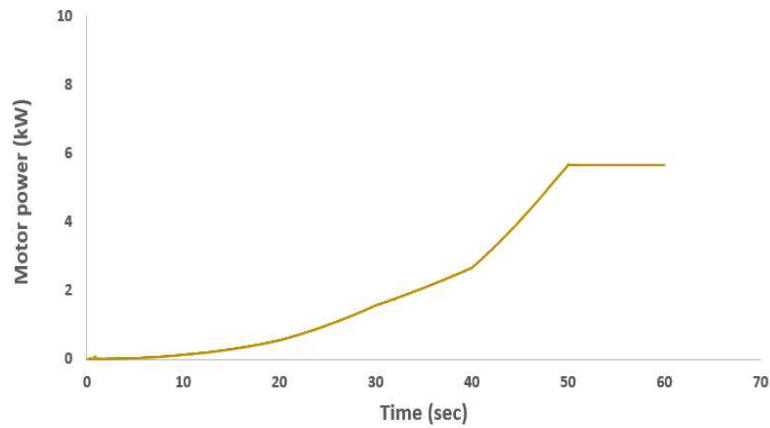


그림45. <두줄 무 수확기 시뮬레이션 유압 모터 출력> 결과>

- 유압 모터의 경우 시뮬레이션 내에 부하 모델이 결합되어 있어 시뮬레이션 시작 후 입력된 부하에 의해 모터 출력이 시간이 지남에 따라 증가하는 경향을 보였다. 50초 이후 모터 출력은 약 5.5 kW까지 상승하여 안정적으로 유지되었다.

⑥ HST 효율

- HST의 효율은 정유압식 무단변속기의 출력값인 유압 모터의 출력값과 입력값인 유압펌프의 출력의 비로 계산하였으며, 이때, 유압 펌프와 유압 모터의 출력은 유압 시스템의 유압 및 유량을 이용하여 아래 식과 같이 계산하였다.

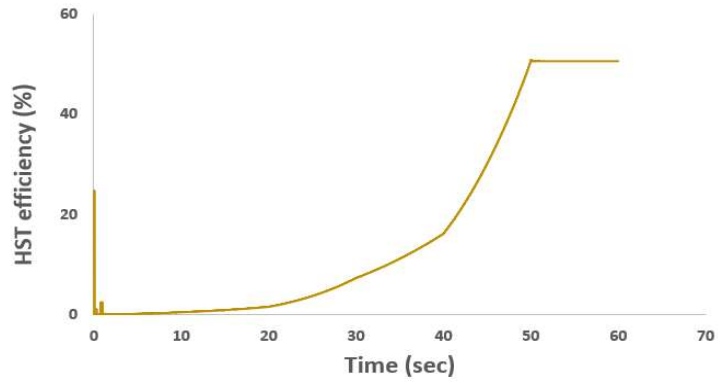


그림46. <두줄 무 수확기 시뮬레이션 HST 효율 결과>

- 본 연구에서 개발된 시뮬레이션 모델의 HST 효율은 40초 이전 초기 구간에서는 유압펌프와 유압 모터의 출력이 상승하는 구간으로, 40초 이후 증가하여 약 56%로 나타남.
- 본 시뮬레이션은 두줄 무 수확기의 단순 주행을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 이에 엔진 출력에 비해 단순 주행에서의 엔진 출력이 높게 나타난 것으로 판단됨.
- 차후 두줄 무 수확기의 하중 및 두줄 무 수확작업에 따라 시뮬레이션 결과가 달라질 것으로 판단되며, 향후 필드 시험을 통한 실작업 부하를 측정하고 이를 이용하여 시뮬레이션 모델을 최적화가 필요하다고 판단된다
- 궤도 윤거 조절부 및 수확 작업을 수행하는 인발부 시뮬레이션 모델을 추가로 개발하여 보완할 계획이다.

#### 14) 주요 부품 제원을 이용한 시뮬레이션 모델 개발

##### 가. 유압 펌프 및 밸브 등 부품 모델 개발

###### a. 엔진 및 유압 부품 제원을 이용한 시뮬레이션 모델 개발

###### ① 시뮬레이션 소프트웨어

- 두줄 무 수확기의 동력전달부 시뮬레이션 부품 및 통합 모델 개발은 유압 및 파워트레인 해석 소프트웨어인 LMS AMESim software (Ver.: 16, Imagine S. A. company, France)를 이용하여 개발했다.
- 소프트웨어를 통해 두줄 무 수확기의 엔진, 유압 펌프, 유압 밸브, 유압 모터의 부품 모델을 구현하고, 통합 시뮬레이션 모델을 개발했다.

###### ② 엔진 시뮬레이션 부품 모델

- 엔진 시뮬레이션 부품 모델은 두줄 무 수확기에 탑재된 (주)대동 社の 4B243TLWS 모델을 기준으로 개발하였다.

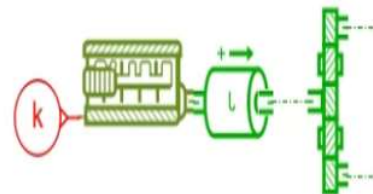


그림47. <(주)대동 社の 4B243TLWS 모델 및 엔진 부품 모델>

- 엔진 모델은 구동 모터 및 구동 축으로 구성하였으며, 구동 모터에 엔진 회전 속도를 입력하여 토크가 생성되고 이 토크는 2개의 펌프로 분기되어 좌·우 HST의 유압 펌프로 전달된다.
- 구동 모터의 회전속도는 본 연구에 사용된 엔진 제원 및 수확기 선행연구의 노지 주행에 대한 엔진 회전속도 데이터를 기반으로 2,000rpm를 적용하였다.

③ 정유압 무단변속기 시뮬레이션 단품 모델

- 두 줄 무 수확기에서는 가변형 유압 펌프와 고정형 유압 모터로 구성된 HST를 사용하였음. HST의 유압 펌프 단품 모델은 수확기에 탑재된 J. I. Hydraulic 社の JT03VJ 모델을 기준으로 개발하였다.
- HST의 주요 컴포넌트 제원은 아래 모델 제원표를 기준으로 입력하여 적용하였으며, 고정형 유압 모터는 21.4 cc/rev, 최고 입출력 회전수는 1,631.5rpm이며, 최대 압력은 24.5 MPa으로 적용하였다.
- 본 연구에서는 유압의 유량 및 방향제어를 구현하기 위해 Danfoss 社の PVG 32 proportional valve를 사용하여 단품 모델을 구성하였으며, 비례제어밸브는 좌·우측 HST에 각각 설치되어 있다.
- 비례제어 단품 모델은 4방향제어 밸브 모델을 이용하여 구성하였으며, 입력된 신호값이 -1 ~ 1에 따라 설정된 방향으로 유량을 제어하게 된다.

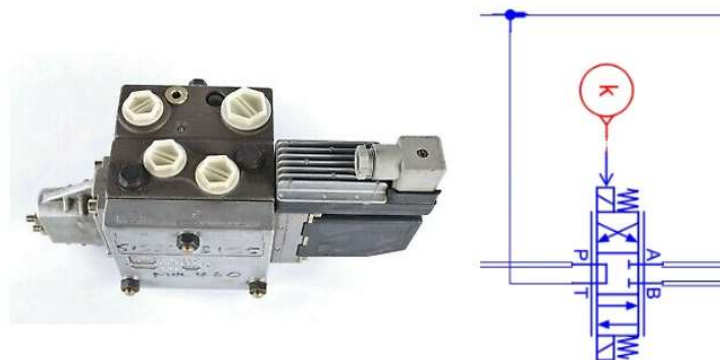


그림48. <비례제어밸브 및 단품 모델>

④ 유압밸브 시뮬레이션 단품 모델

- 유압밸브는 회로의 전체적인 압력을 유지하기 위해 릴리프밸브와 유량을 일정한 방향으로 제어하는 체크밸브를 비례제어밸브 내에 각각 적용했다. 릴리프밸브의 허용압력은 모두 220 bar를 적용하였으며, 유압회로의 압력이 220 bar 이상 발생 시, 설정 압력 이상의 유량은 릴리프 밸브를 통해 유압오일 탱크로 흐르도록 설계했다.

⑤ 유압펌프 시뮬레이션 단품 모델

- 두줄 무 수확기 사용된 유압 펌프는 소프트웨어 내에 고정형 펌프 서브모델을 이용하여 구성하였으며, 고정형 펌프의 경우 엔진으로부터 입력된 동력, 유압 펌프의 입력된 모터용량 및 회전속도를 통해 유량을 만들어 기계 내에 공급한다.
- 두줄 무 수확기는 2개의 HST로 구성되어 있으므로 유압 펌프의 펌프용량 및 회전속도는 펌프 제원에 따라 51.7 cc/rev/1,700rpm를 적용하였다.



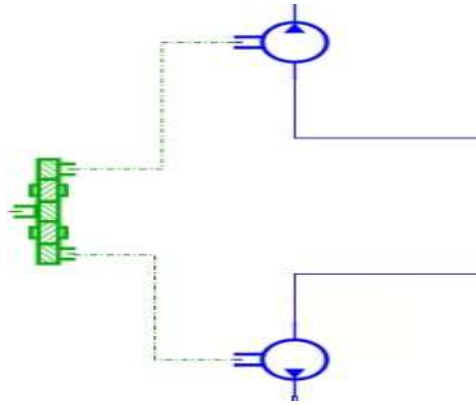


그림49. <유압펌프 단품 모델>

⑥ 유압모터 시뮬레이션 단품 모델

- 본 연구에서 사용된 유압 모터는 고정형 모터를 사용하였으며, 유압펌프로부터 발생하는 유압 에너지를 기계적 에너지로 전환하여 전진·후진하도록 한다.
- 유압 모터의 제원은 수확기에 설치된 유압 모터의 제원을 입력하였으며, 모터 용량은 21.4 cc/rev, 회전속도는 1,631.5rpm를 입력함.
- 시뮬레이션 해석을 위해 수확기 하중과 크기를 고려하여 모터 양 끝단에 1,800 Nm 토크를 입력하였다.

⑦ SI(System Intergration)을 통한 통합 시뮬레이션 모델 개발

- 본 연구에서는 두줄 무 수확기 동력전달부의 시뮬레이션 단품 모델을 이용하여 통합 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

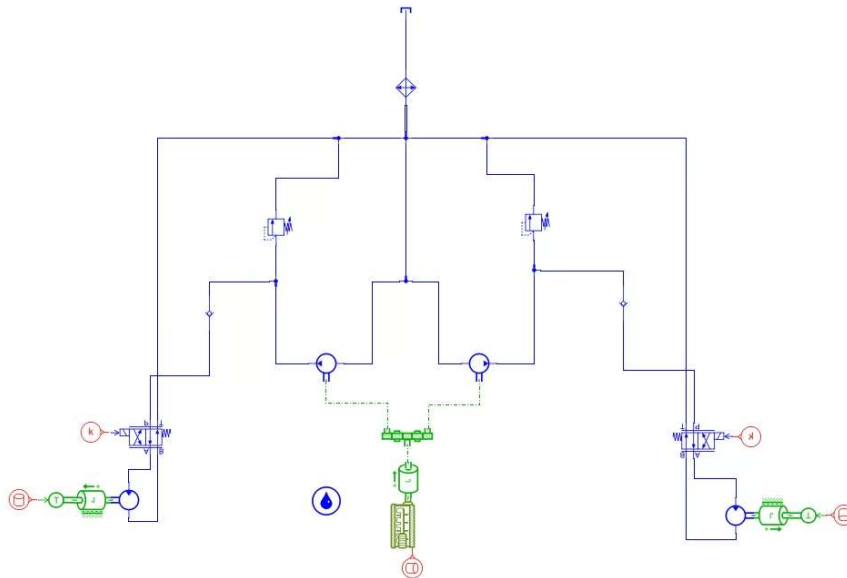


그림50. <두줄 무 수확기 동력전달 시뮬레이션 모델>

- 시뮬레이션 모델은 엔진으로부터 2개의 HST의 유압 모터로 동력을 전달하는 동력 펌프에 의해 동력을 전달하며, 유압 펌프로부터 공급된 유량은 비례제어밸브에 의해 유량 및 방향 제어가 가능하도록 설계함.
- 유압 펌프는 엔진으로부터 전달받은 동력을 이용하여 HST에 유압을 공급하며 릴리프밸브의 허용압력은 모두 220 bar를 적용하였으며, 유압회로의 압력이 220 bar 이상 발생 시, 설정 압력 이상의 유량은 릴리프 밸브를 통해 유압오일 탱크로 흐르도록 설계했다.
- 비례제어밸브는 가압된 전류에 따라 유압을 이동시키며 유압 모터는 비례제어밸브로부터 유압을 공급받아 모터를 회전시키게 된다.

- 유압 모터 입력라인에 토크 입력 단품 모델을 개발하여 수확기 하중 및 크기를 고려한 토크를 입력하여 시뮬레이션 모델을 개발했다.

## 15) 주요 사양을 통한 동력전달부의 시뮬레이션 및 구동 성능 분석

### 가. 동력전달부 주요 시뮬레이션 단품 모델 개발 및 분석

#### a. 동력전달부 통합 시뮬레이션 모델 개발 및 분석

- 두 줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 해석 결과를 통해 구동 성능을 분석하기 위해 단품 모델 제원을 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 주요 단품 모델로는 수확기 구동에 필요한 엔진, 유압펌프, 유압모터, HST를 선정하였다.
- 본 연구에서는 선정된 단품 모델을 이용하여 두 줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델을 설계하였으며, 자주식 두 줄 무 수확기의 동력 전달부 시뮬레이션 모델 개발은 기계와 유압 등 파워트레인에 대한 시스템 해석에 주로 쓰이는 1D 해석 소프트웨어인 LMS AMESim software (Ver.: 16, Imagine S. A. company, France)를 이용하여 개발하였다.

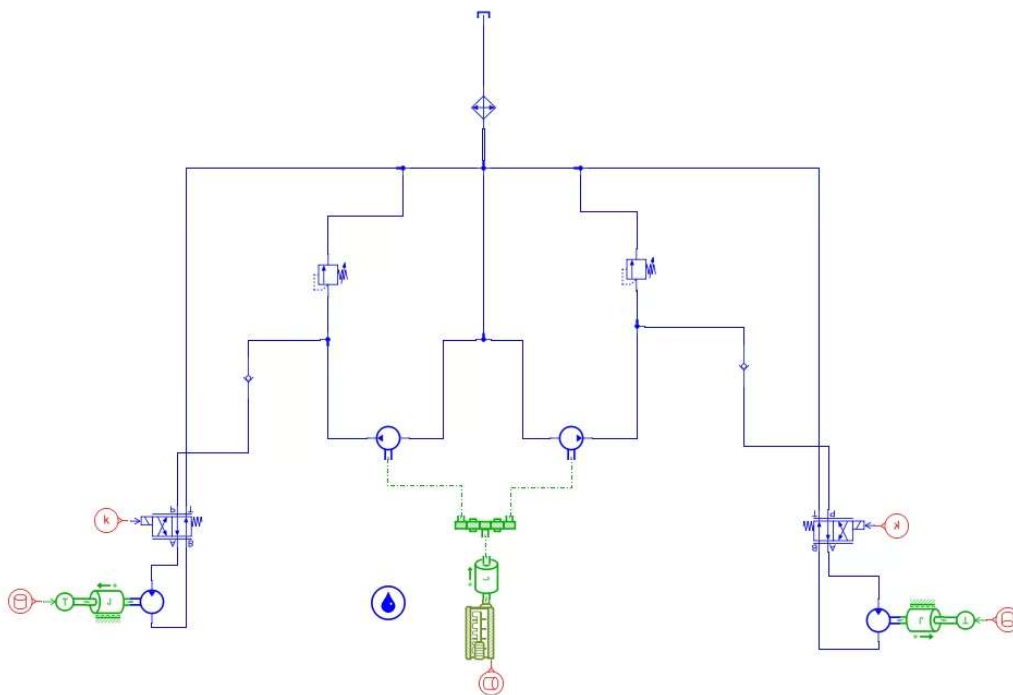


그림51. <두 줄 무 수확기 동력전달 시뮬레이션 모델>

- 엔진으로부터 동력을 전달하는 유압펌프는 2개의 HST 유압모터로 동력을 전달하며, 시스템 내 릴리프 밸브를 구성하여 설정 압력 이상 시 릴리프 밸브가 개방되어 시스템 내 압력을 일정하게 유지하도록 설계하였다.
- 유압펌프에서 공급되는 유량은 비례제어밸브를 구성하여 유량 및 방향 제어를 통해 각각 HST의 유압모터의 구동을 가능하도록 설계하였다.
- 유압모터에 토크 입력 단품 모델을 구성하여 수확기 하중 및 크기를 고려한 토크를 입력하여 수확기의 실제 구동 조건과 유사하도록 설계하였다.
- 본 연구에서는 두 줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델에 대해 실제 농작업 간 발생하는 조건을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 작업에 사용하는 엔진 회전속도를 입력하였다.

#### b. 엔진 제원 및 시뮬레이션 단품 모델

- 시뮬레이션 모델에 선정된 엔진 단품 모델은 두 줄 무 수확기에 탑재된 (주)대동社の 4B243TLWS 모델을 기준으로 설계하였으며, 세부 제원은 아래와 같다.

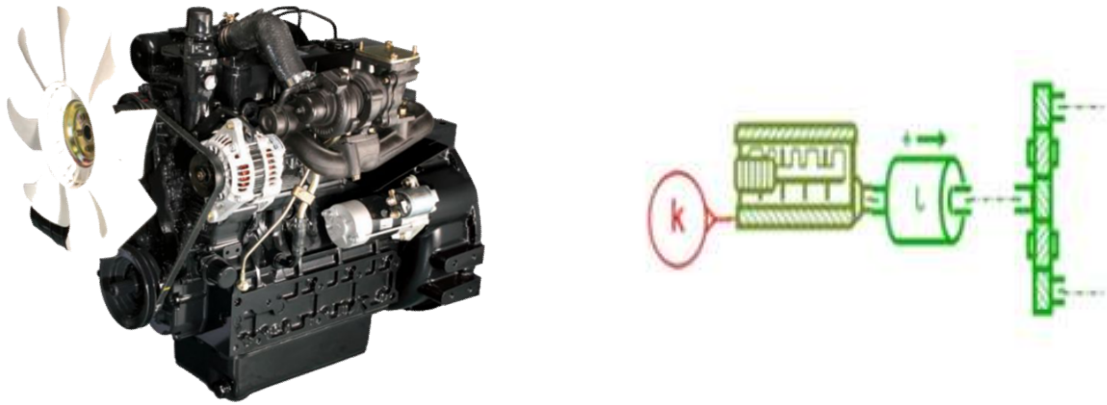


그림52. <㈜대동 社の 4B243TLWS 엔진 모델 및 엔진 단품 모델>

표34. <㈜대동 社の 4B243TLWS 엔진 제원표>

항목	값
Model	4B243TLWS
Emission Level	Tier 3/Stage 3A
Engine Type	4-Cylinder, 4-Cycle, In-line, Diesel, Water cooled, Turbo
Combusor Type	In-Direct Injection(Swirl Chamber)
Dimension (L × W × H)	766 × 545 × 714 mm
Rated power (@rpm)	44kW@(2,600rpm)
Maximum torque (@rpm)	190 Nm@(1,700rpm)
Alternator Capacity	12V-75A
Aspiration	Turbo Charged

- 선정된 엔진 모델은 구동 모터 및 구동 축으로 구성하였으며, 구동 모터에 엔진 회전 속도를 입력하여 토크가 생성되고 이 토크는 2개의 펌프로 동력을 전달하도록 구성하였다.
- 구동 모터의 회전속도는 선정된 엔진 제원 및 수확기 선행연구의 노지 주행에 대한 엔진 회전속도 데이터를 기반으로 2,200rpm를 입력하였다.

c. 유압 펌프 제원 및 시뮬레이션 단품 모델

- 본 연구에서 사용된 유압펌프는 고정형 펌프 서브 모델을 구성하였음. 엔진으로부터 입력된 동력, 유압 펌프의 입력된 모터용량 및 회전속도를 통해 유량을 만들어 기계 내에 공급한다.
- 두 줄 무 수확기는 2개의 HST로 구성되어 있으므로 유압 펌프의 펌프용량 및 회전속도는 펌프 제원에 따라 51.7 cc/rev 및 1,700rpm를 적용하였다.

d. 유압 모터 제원 및 시뮬레이션 단품 모델

- 본 연구에서 사용된 유압모터는 고정형 모터를 사용하였으며, 유압펌프로부터 전달된 동력을 기계적 동력 방식으로 전환하여 수확기 궤도에 동력을 전달하도록 설계하였으며 시뮬레이션 해석을 위해 수확기 하중과 크기를 고려하여 모터 양 끝단에 1,500Nm 토크를 입력하였다.

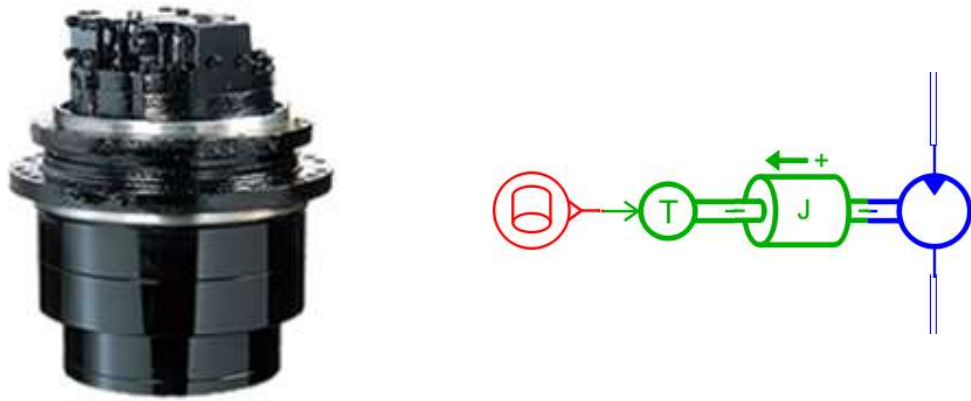


그림53. <J. I. Hydraulic 社の JT03VJ 유압모터 모델 및 유압모터 단품 모델>

표35. <J. I. Hydraulic 社の JT03VJ 유압모터 제원표>

항목	값
Model	JT03VJ
Motor Displacement	21.4 cc/rev
Motor speed	1631.5 rpm
Maximun Pressure	24.5 MPa
Motor Shaft	49 Nm

e. 유압밸브 제원 및 시뮬레이션 단품 모델

- 본 연구에서는 시스템 내의 유압의 안정화를 위해 비례제어 밸브 및 릴리프 밸브를 구성하여 유압의 유량 및 방향제어와 회로의 전체적인 압력을 유지하도록 구현하였다.
- 유압의 유량 및 방향 제어를 구현하기 위해 Danfoss 社の PVG 32 proportional valve를 사용하여 단품 모델을 구성하였으며, 비례제어밸브는 좌·우측 HST에 각각 설치되어 있다.

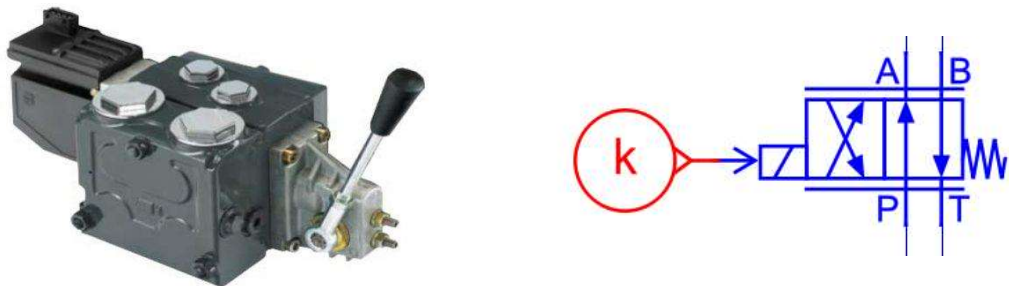


그림54. <Danfoss 社の PVG 32 비례제어 밸브 모델 및 비례제어 밸브 단품 모델>

- 4방향제어 밸브 모델을 구성하여 유압의 유량 및 방향을 제어하며, 입력된 신호값이 -1 ~ 1 에 따라 설정된 방향으로 유량을 제어하게 설계하였다.
- 회로의 전체적인 압력을 제어하기 위해 릴리프 밸브를 각각 양쪽에 구성하였으며, 릴리프 밸브의 허용압력은 모두 220 bar를 적용하였으며, 시스템 내 압력이 220 bar 이상 발생 시, 시스템 내 압력을 안정화하기 위해 유량은 릴리프 밸브를 통해 유압 탱크로 이송된다.

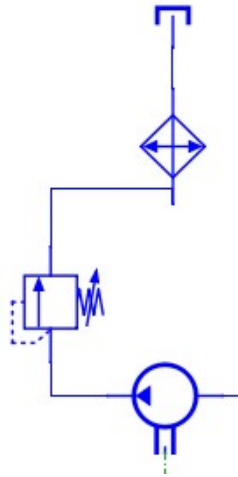


그림55. 릴리프 밸브 단품모델

f. 동력전달부 시뮬레이션 수행을 통한 구동부 동력 성능 분석

- 두줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델의 동력 성능을 분석하기 위해 단품 모델 제원을 기반으로 시뮬레이션을 진행하였으며, 엔진, 유압모터, 유압펌프의 결과값을 통해 출력 및 효율을 계산하였다.
- 시뮬레이션 결과에 따른 엔진 및 유압 펌프, 유압 모터의 토크 및 회전속도 데이터를 이용하여 출력값을 계산하였다.

$$P_{axle} = \frac{2\pi \times T \times N}{60,000}$$

여기서,  $P_{axle}$  : 구동 축의 출력 [kW]  
 $T$  : 토크 [Nm]  
 $N$  : 회전속도 [rpm]

- 동력전달시스템 시뮬레이션 해석 결과 엔진 출력은 엔진 구동 후 급격히 상승하여 약 20초까지 29.3kW의 출력을 보였으며, 이후 감소하여 28kW의 출력을 유지하는 것으로 나타났다.
- 엔진 출력이 상승하는 구간에서는 정지 상태에서 구동된 후 플라이휠을 구동하고 이후 변속기 수확기 구동모터에 동력을 전달해 주기 위해 출력이 상승하는 것으로 판단되며, 그 이후 변속기 및 구동부에 충분한 회전속도를 전달하면, 엔진 회전속도가 안정화되어 엔진 출력이 일정하게 나타나는 것으로 분석되었다.

16) 엔진-유압-전기 구동부의 동력전달 시뮬레이션

가. 엔진 및 유압 동력 전달부/전기 구동부 제원 선정을 위한 시스템 구성

a. 인발부 전기 모터 선정을 위한 엔진, 유압 시스템 출력 분석

① 유압 시스템 출력 분석

두줄 무 수확기의 인발부 전기 모터 선정을 위해 엔진 및 유압 시스템의 엔진 출력을 분석하였으며, 본 연구에서 개발된 두줄 무 플랫폼의 엔진 사양은 44kW, 정격 회전속도 2,600rpm 이다.

② 주요 제원에 따른 엔진 출력 결과

두줄 무 수확기 동력전달시스템 시뮬레이션 해석 결과 엔진 출력은 엔진 구동 후 약 2초 후 급격히 증가하여 약 27kW의 출력을 보였으며, 이후 약간 감소하여 출력을 유지하는 것으로 나타났다. 엔진 출력이 상승하는 구간에서는 엔진이 구동되기 시작한 후 플라이휠을 구동하고 이후 변속기 수확기 구동모터에 동력을 전달해 주기 위해 출력이 상승하는 것으로 판단된다. 그 이후 변속기 및 구동부에 충분한 회전속도를 전달하면, 엔진 회전속도가 안정화되어 엔진 출력이 일정하게 나타나는 것으로 분석되었다.

엔진 사양 및 시뮬레이션 결과를 고려하였을 때, 단순 주행 결과 엔진 정격출력 대비 동력전달 시스템에서 사용되는 출력은 27kW이며, 이를 고려하였을 때, 인발부에서 사용될 수 있는 출력은 최대 16.7kW로 나타났다. 그러나 실제 시험 및 작업 환경에 따라 주행부에 소요되는 동력은 더 클 것으로 예상되며, 적정 정격 출력의 전기 모터를 선정하고 시뮬레이션을 통해 분석해야 할 것으로 판단된다.

#### 나. 엔진 및 유압 동력 전달부/전기 구동부 시뮬레이션 모델 개발

현재 개발된 모델은 1D 소프트웨어인 AMESim 소프트웨어를 이용하여 유압 시뮬레이션 모델을 개발하였으나, 인발부 전기 모터가 추가됨으로써 기존 소프트웨어에서 SimulationX로 변경하여 모델을 개발할 예정이다. SimulationX는 유압 및 전기 구동부 시뮬레이션 모델 개발 및 주요 제원에 따른 성능 분석이 가능하므로 이를 이용하여 모델을 개발하고 시뮬레이션을 진행할 계획이다.

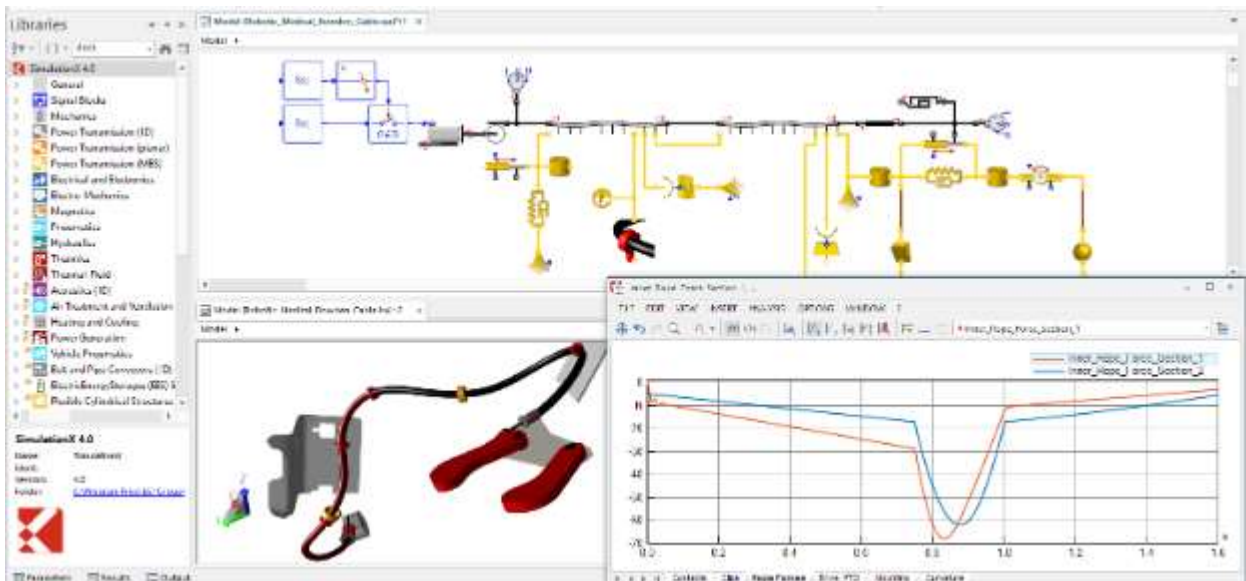


그림56. <SimulationX를 이용한 동력 전달부 시뮬레이션 모델 개발(예시)>

위 주행 출력 및 인발부에서 사용 가능한 출력을 고려하여 16kW 용량의 전기모터를 선정이 가능하나, 주행 외에 윤거 조절 및 작업 단수에 따라 사용 출력의 변동이 있으므로 시뮬레이션 내용에 따라, 차년도 연구 진행 시 전기모터를 선정하여 시뮬레이션을 진행하고 시작품에 적용할 계획이다.

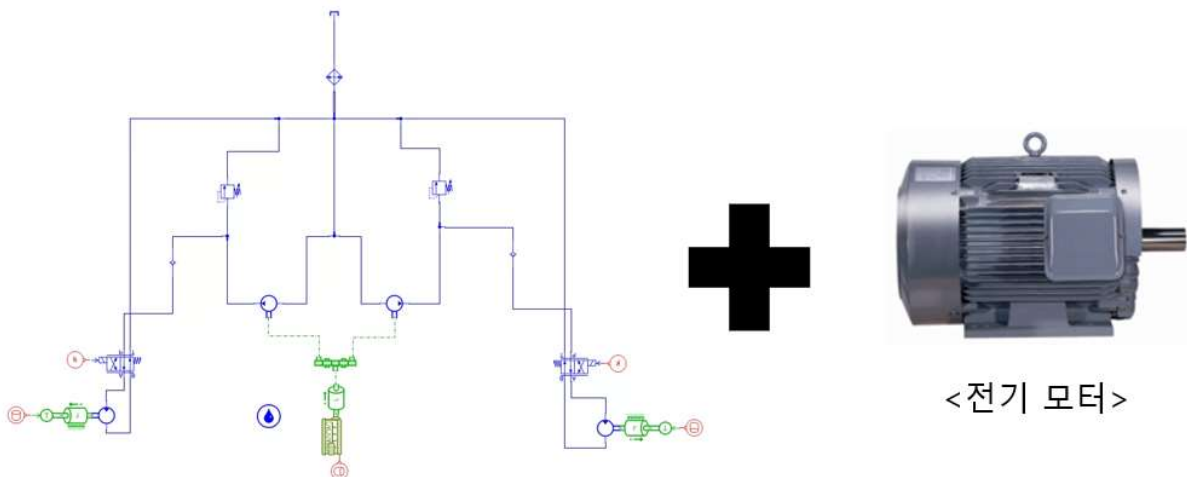


그림57. <SimulationX를 이용한 동력 전달부 시뮬레이션 모델 개발(예시)>

전기 모터 선정 후, 전체 동력 전달시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 주요 제원에 따른 시뮬레이션을 실시하여 적합한 전기 모터 선정을 진행할 예정이다. 또한 동력 계측 시스템을 구성하여 주행, 작업 등 다양한 작업에 따른 실차 데이터를 확보하고 이를 시뮬레이션에 입력값으로 사용할 예정이다.

### 17) 시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가

#### 가. 3차년도 성능평가를 위한 계측시스템 개발

##### a. 동력전달부 성능을 고려한 센서 및 인터페이스 선정

- 두줄 무 수확기 주요 동력원의 유압을 계측하기 위해 유압 센서를 사용하였음. 유압 센서는 Trafag AG 社の DPS 8381 모델을 선정하였으며 세부 제원을 다음 표와 같다.
- 동력 전달 흐름도 기반으로 주요 동력 소요부를 수확부 및 구동부로 설정하였으며, 단순 주행 및 작업 구간에서의 작업 부하를 측정할 계획이다.



그림58. Trafag AG 社の DPS 8381 유압센서

항목	값
Model	DPS 8381
Pressure range (bar)	0 ~ 250
Over load pressure (bar)	750
Accuracy	$\leq \pm 0.5 \% \text{ FS type}$
Weight (g)	~ 189

표36. DPS 8381 유압센서의 상세 사양

##### b. 센서 부착 및 소프트웨어 선정을 통한 데이터 수집장치 개발

- 주요 동력원의 부하를 계측하기 위해 유압 센서를 설치하여 데이터 수집장치인 DAQ를 통해 데이터를 수집하도록 부하 계측 시스템을 구성하였다.
- 계측 시험 간 측정되는 엔진 및 유압 데이터는 데이터 수집장치인 DAQ(Data acquisition)를 사용하였으며, DAQ는 전압, 전류, 온도, 압력, 또는 소음 등의 전기 또는 물리적인 현상을 센서와 컴퓨터를 이용하여 측정하는 과정을 의미한다. 이때 DAQ는 HBM社の QuantumX 840B를 이용하였으며 세부 제원은 아래 표와 같다.



그림59. HBM 社의 QuantumX 840B 데이터 수집장치

Item	Specifications
Model (Company)	QuantumX 840B (HBM)
Dimension (mm)	52.5 × 200 × 121
Weight (g)	980
Accuracy class (%)	0.05
Operating temperature (°C)	-20 to 65
Number of channel	8
Sample rate per channel (kS/s)	40

표37. 데이터 수집장치의 상세 사양

- 주행부의 부하를 측정하기 위해 유압펌프에 센서를 구성하였으며 작업 간 수확부 부하를 측정하기 위해 수확부를 구동시키는 유압모터에 센서를 구성하였다.
- 설치된 센서를 통해 계측된 데이터는 데이터 수집장치인 DAQ로 수집이 가능하며, 연결된 PC를 통하여 실시간으로 분석이 가능하다.

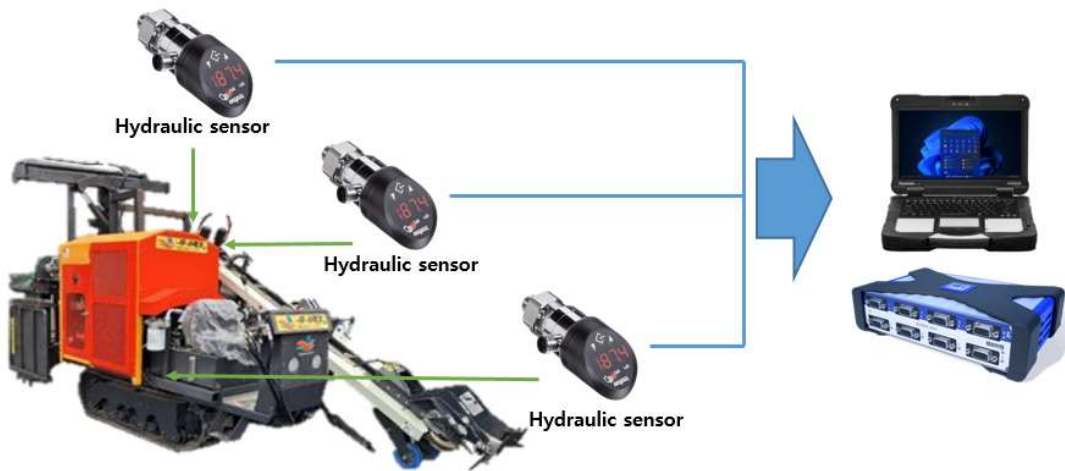


그림60. 센서를 활용한 데이터 수집장치 구성

- 데이터 분석을 위한 소프트웨어는 HBM 社의 catman 소프트웨어를 활용하였으며, 해당 소프트웨어는 수신하는 데이터의 실시간 처리와 사후처리 분석에 용이하고 직관적인 처리로 빠른 해석이 가능한 장점이 있다.



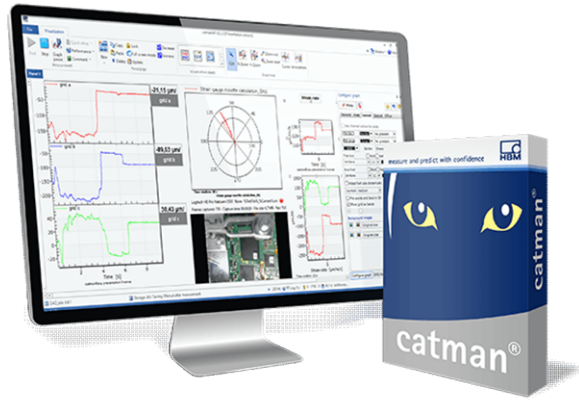


그림61. 데이터 해석 소프트웨어 catman

### 18) 농작업에 따른 시뮬레이션 검증 및 동력전달부 최적화

#### 가. 계측 데이터 분석 및 시뮬레이션 입력 데이터 선정

- Amesim Simulation model에 대한 시뮬레이션 입력 데이터 선정을 위해 주행 및 인발부 파트에서의 작업 부하를 측정하고 수집된 데이터를 분석하였다.
- 개발된 부하 계측 시스템 기반으로 주요 동력원인 수확부(인발부) 유압 모터와 주행부 유압펌프에 각각 Trafag AG 社의 DPS 83781 압력센서를 설치하였다.

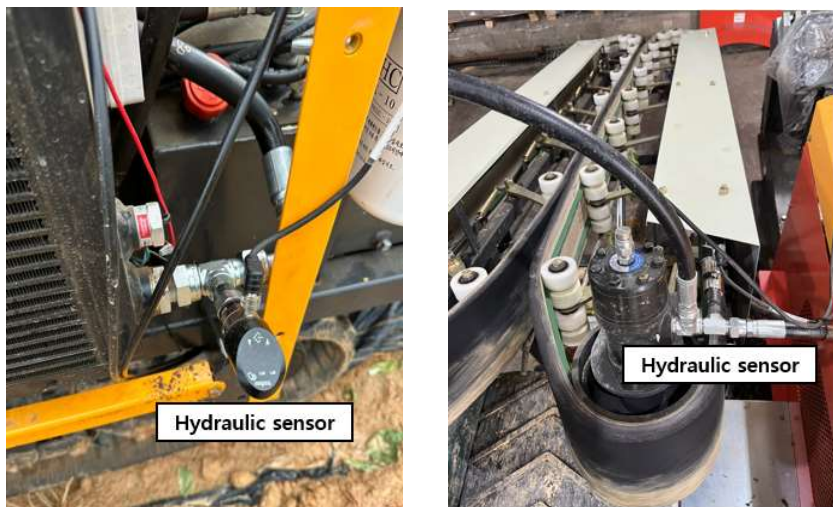


그림62. 각 작동부의 유압센서 설치

- 실제 작업기의 부하 계측은 전남 나주시의 테스트베드에서 수행하였다. 부하 계측 작업조건은 인발부 위치 변경 및 주행 중 작업, 인발부, 주행부 유압 부하 계측을 수행하였다.
- 무 수확 작업은 작업의 안전성을 위해 주관 연구 개발자가 수행하였으며, 일정하게 심어진 무 기준으로 수확 작업을 진행하였다.



그림 63. 테스트베드\_전남 나주시 소재

- 본 연구에서 사용된 플랫폼은 재배지의 고랑 간격에 따라 유압실린더의 힘으로 윤거 조절이 가능하며, 작업자가 주행 및 인발부 구동을 통해 배추를 수확하고 후방 톤백에 적재하여 이동하는 방식으로 진행하였다.
- 부하 계측 및 필드 테스트 간 사용된 두줄 무 수확기 플랫폼은 아래와 같다.



그림 64. 개발된 두줄 무 수확기 시작품

- 두줄 무 수확기의 단순 주행 시 주행부 유압 펌프의 소요 동력을 계측한 결과, 작업 간 평균적으로 유압 펌프에 19.4kW의 출력이 나타났으며 주행 간 노면 조건에 따라 편차가 발생하였다. 유압 펌프의 소요 동력의 최소, 평균, 최대, 표준편차는 7.6, 19.4, 25.8, 2.9kW의 출력이 나타났으며, 그래프 개형은 아래와 같다.

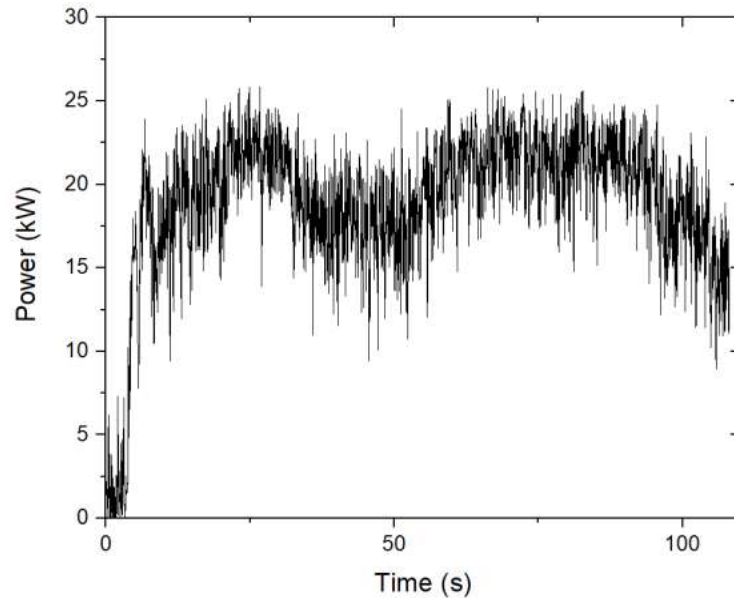


그림65. 두줄 무 작업기 단순 주행 간 유압 펌프 소요 동력

- 본 연구에서는 필드 테스트 단순 주행 시 노지에서 측정하였으며 이랑 및 고랑에 의해 값이 변화하는 것이 나타났다.
- 수확 작업 간 수확부의 부하를 계측하기 위해 유압모터의 입력 유압과 출력 유압의 부하를 분석하였다.
- 작업 간 평균적으로 유압모터의 입력 유압 부하는 84.9 bar의 일정한 부하가 나타났으며, 초반 인발부의 승/하강 제어 시 순간적으로 부하가 120.9 bar까지 상승했으나, 작업 시작 이후 일정하게 유지되었다. 유압의 최소, 평균, 최대, 표준편차는 각각 24.2, 84.9, 120.9, 16bar로 나타났다.
- 작업 간 평균적으로 유압모터의 입력 유압 부하는 67.9bar의 일정한 부하가 나타났으며 초반 인발부의 승/하강 제어 시 순간적으로 부하가 107.6 bar까지 상승했으나, 작업 시작 이후 일정하게 유지되었다. 유압의 최소, 평균, 최대, 표준편차는 각각 19.6, 67.9, 107.6, 12.4bar로 나타났으며, 그래프 개형은 아래와 같다.

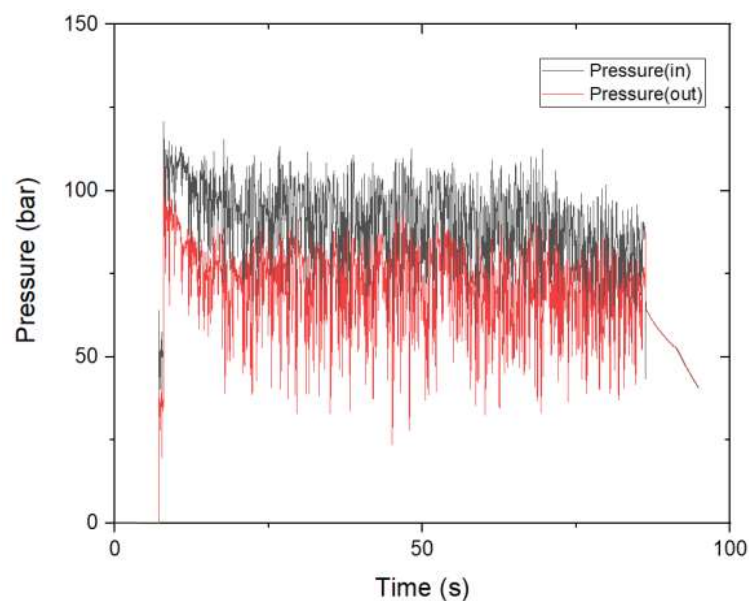


그림67. 유압 모터 input / output 시 부하 계측

- 두 유압의 차압을 통해 유압 모터의 소요 동력을 계산하였으며, 유압 펌프는 엔진과 직결되어 있고, 유압 펌프와 유압 모터는 유압 호스 및 릴리프 밸브를 통해 연결되어 있다. 엔진 정격 회전속도를 기준으로 소요 동력을 계산하였다.
- 작업 간 수확부 유압 모터의 소요 동력은 평균적으로 3.16kW의 동력이 소요되었고, 인발부 승/하강 제어 시 9.6kW까지 상승하였으나, 이후 일정하게 유지되었다. 유압 모터 소요 동력의 최소, 평균, 최대, 표준편차는 각각 0.32, 3.16, 9.78, 1.5kW로 나타났으며, 개형은 아래와 같다.

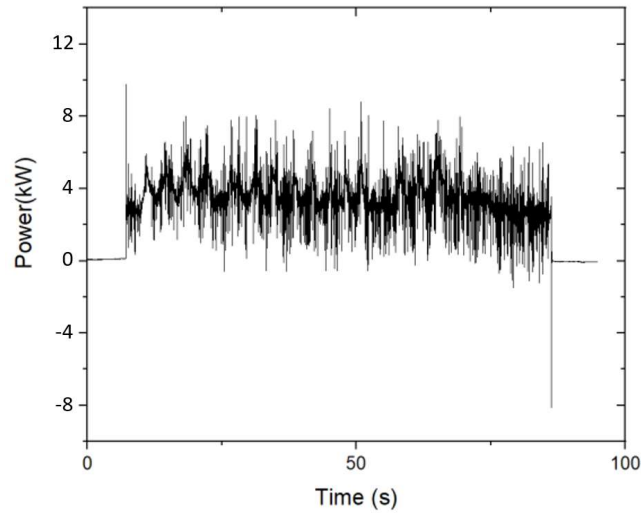


그림68. 작업 간 유압 모터 소요 동력

- 수확 작업 간 주행부의 유압펌프의 부하를 계측하여 소요동력을 계산하였음. 주행부 유압펌프는 엔진과 직결되어 있어 소요동력 계산 시 엔진 정격 rpm을 기준으로 분석하였다.
- 작업 간 주행부 유압펌프의 소요 동력은 평균적으로 14.5kW의 동력을 나타냈으며, 시동을 걸 때 순간적으로 값이 상승하였으나 이후 일정한 소요동력을 보였다.
- 유압펌프의 소요동력의 최소, 평균, 최대, 표준편차는 각각 3.39, 14.5, 57.1, 9.5kW로 나타났으며, 그래프 개형은 아래와 같다.

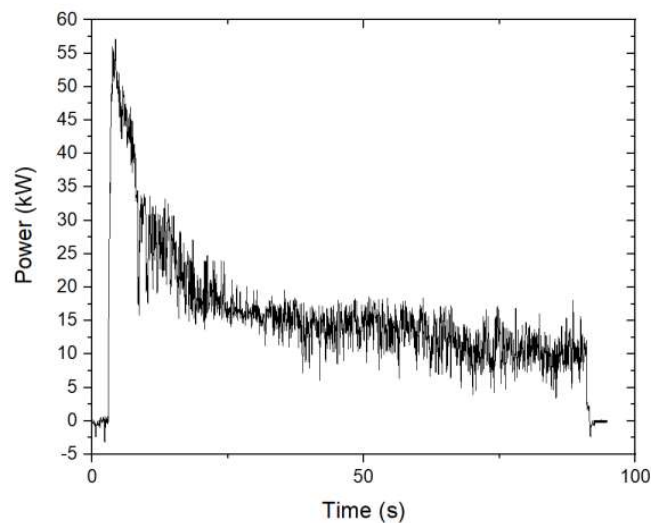


그림69. 작업 간 유압 펌프 소요 동력

- 부하 계측 및 필드 테스트 간 계측 된 데이터는 Amesim Simulation model의 시뮬레이션 입력 데이터 선정 및 모델 보완을 위해 사용되었다.
- 시뮬레이션 입력 데이터 선정을 위해서는 각 작업조건에서의 유압 압력, 주행 중 유압 펌프의 소요 동력 최소, 평균, 최대, 표준편차가 필요하며, 이를 통해 Simulation의 파라미터값을 입력해 그래프 도출 및 결과를 알아낼 수 있었다.
- 유압 회로도 및 동력전달 시뮬레이션 모델에서의 부품 순서는 엔진, 유압펌프, 각 부의 밸브 등 유압모터 및 수확기의 주요 부품을 고려해서 모델에 적용했다.
- 또한, 2차년도에서는 3차년도의 인발부 전기모터 적용 계획을 기준으로 동력전달 모델을 개발했으나, 실제 성능 시험을 진행하지 못했다. 주관기관에서의 실제 성능시험 결과 전동 구동식은 구현은 가능하나, 엔진 형식의 플랫폼에 적용하기 위해서는 소비 전력을 대응할 수 있는 배터리를 장착해야 한다. 하지만, 공간 및 판매가를 고려했을 때, 어려움이 있다고 판단하여, 기존 유압 모터 형식의 수확기 연구개발을 진행하기로 하였다.



그림70. 전동모터 및 감속기 DC24V 200W, 50:1



그림71. 인발부 유압모터 400cc

- 이에 따른 Amesim Simulation 동력전달 모델의 구성도 및 회로도가 전동 모터 방식과 다르게 구성되어야 하므로 새로운 모델을 개발하였다.
- 시작품에서는 유압 펌프가 P1, P2, P3, P4, P5가 적용되었지만, 모델 제작 시에는 부하 계측 및 필드 테스트의 작업조건에 맞게 유압 펌프를 P1, P2, P4, P5로 총 4개만 적용했다.

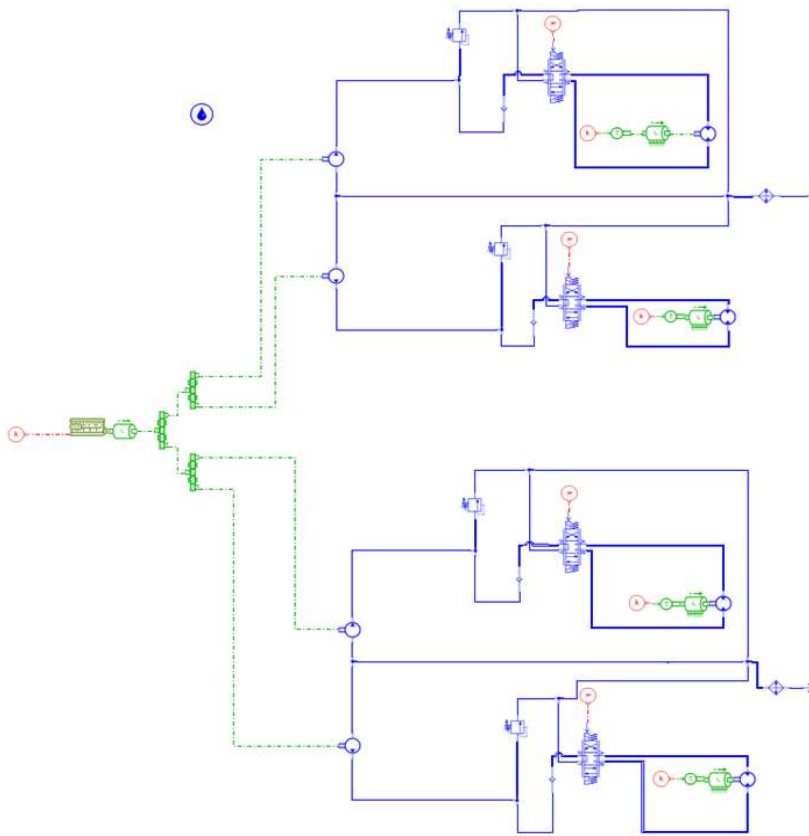


그림 72. 3차년도 Amesim 동력전달 시뮬레이션 모델

- P1 및 P2 유압 펌프는 1차년도와 동일하게 좌·우 HST의 유압 모터로 동력을 전달하며, P4, P5 유압 펌프를 추가하여 주행부 및 인발부에 동시에 동력이 전달될 수 있게 개발하였다.
- 주행 모드의 경우 P1, P2의 유압 펌프만 구동하도록 구성하였으며, 작업 모드의 경우 모든 유압 펌프를 구동하도록 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.
- 인발부의 경우, 주행부와 동일하게 엔진 동력에 의해 구동되는 유압 펌프에서 동력을 받아 작동되기 때문에 주행부 모델과 유사하게 개발하였으며, 2개의 모터에 부하 신호 모델을 이용하여 부하를 입력하였다.

나. 결과값 분석 및 시뮬레이션 모델 보완

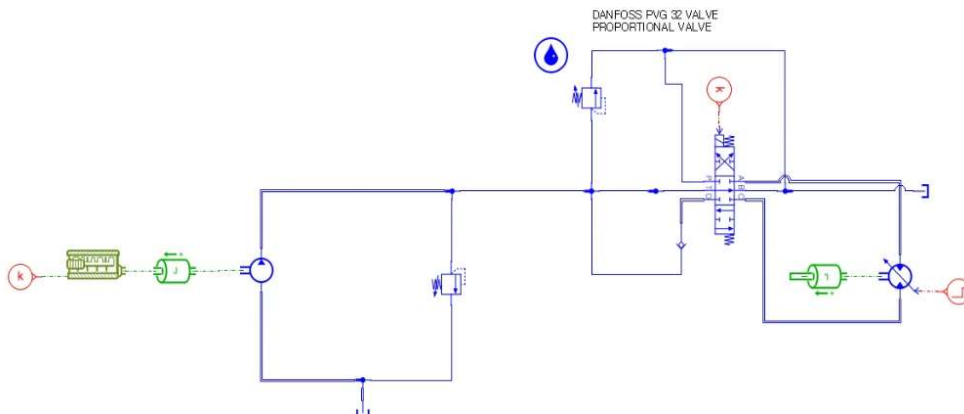


그림 73. 두 줄 무 수확기 동력전달 Amesim simulation model

- Amesim을 활용한 두줄 무 수확기 시뮬레이션 모델은 엔진, 유압펌프, 밸브, 모터로 구성했으며, 엔진의 동력이 유압 펌프로 전달되고 전달된 유량은 HST의 유압 모터로 전달되도록 설계하였다.
- 두줄 무 수확기의 유압펌프는 P1/P2/P3/P4/P5의 5개의 유압 펌프로 P1/P2 유압 펌프는 주행작업, P3는 보조 유압 펌프, P4/P5 유압 펌프는 인발부에서의 수확 작업에 구동된다.
- P1, P2, P3, P4, P5의 유압 펌프를 회로도에 삽입하여 모델 시뮬레이션을 작동 결과 오류가 빈번히 발생하고 그래프에서는 유량이 역류하는 현상을 보여 이를 해결하고자 단일모델로 제작하였다.

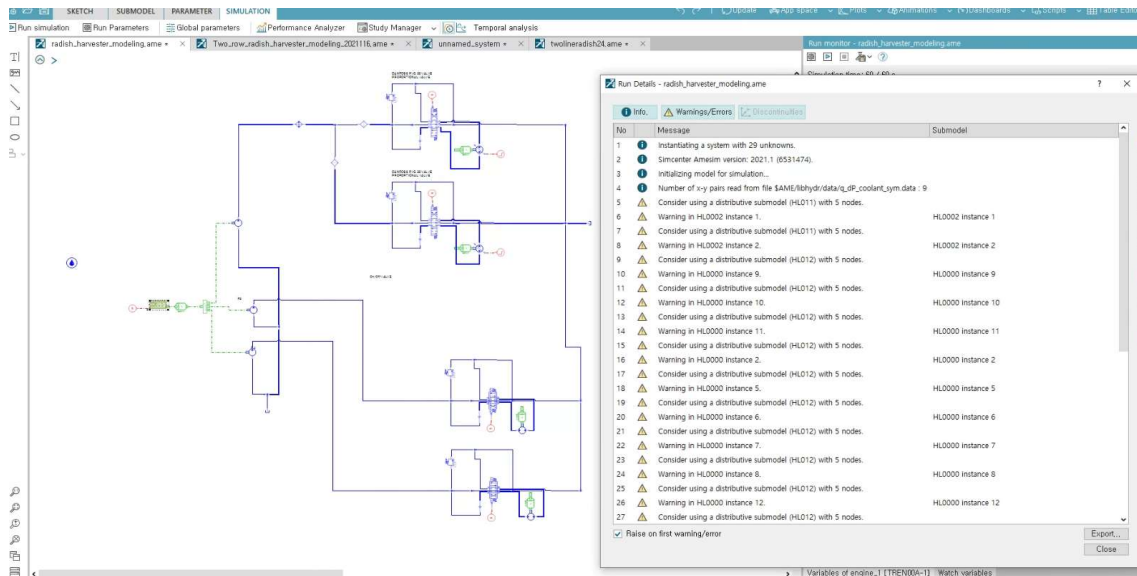


그림74. 각 유압펌프의 unit을 삽입한 Amesim model

- Amesim 단일모델의 시뮬레이션 결과에서는 오작동 및 유압 역류 현상이 나타나지 않았으며, 파라미터 입력에 따른 다양한 결과에서도 이상적인 수치를 보였다.
- 시뮬레이션 구현은 엔진 및 유압모터, 유압 펌프의 실제 값을 입력하여 수행하였다.

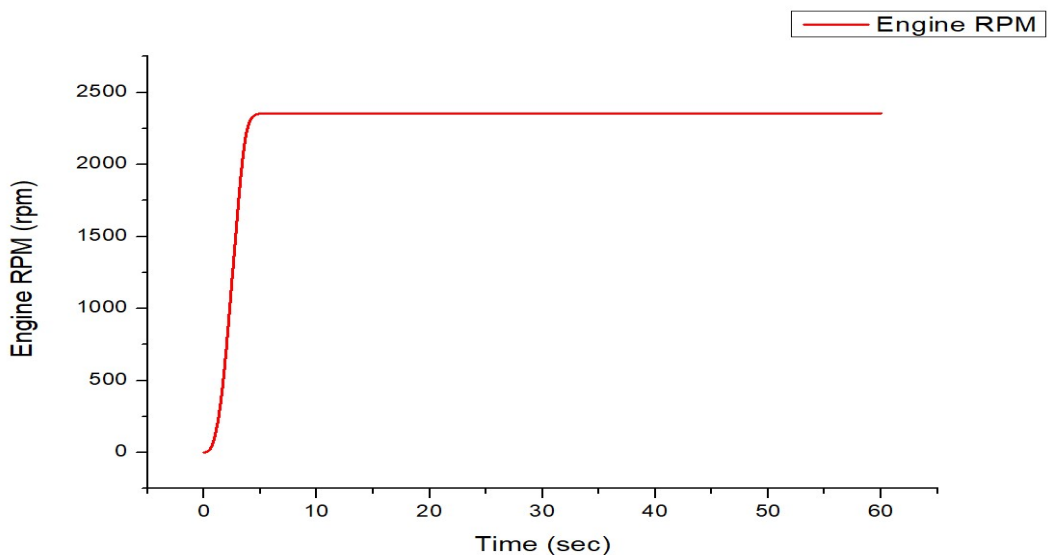


그림75. 두줄 무 수확기 엔진회전속도

- Amesim 두줄 무 수확기 모델 시뮬레이션의 파라미터 입력은 엔진 모델 4B243TLWS의 세부 제원을 참고하여 입력하였다.
- 시뮬레이션은 총 60초 동안 진행했으며, 시뮬레이션 엔진 파라미터 설정값은 2,500rpm, 161.6 Nm으로 입력하였다.
- 시뮬레이션 결과 엔진 회전속도는 엔진 시동 이후 약 2초까지 상승하다가 이후 최대 2,355rpm까지 도달하였다.
- 작업시간이 약 3분일 때, 약 100초까지 2,355rpm 정격으로 유지되다가 이후 회전속도는 하강할 것이라는 결과가 나왔다.
- 엔진 평균 회전속도는 1,779rpm으로 나타나 실제 엔진 제원과 비교하였을 때, 시뮬레이션의 결과도 유사한 범위로 나타나 시뮬레이션이 정상적으로 구동된 것으로 판단되었다.

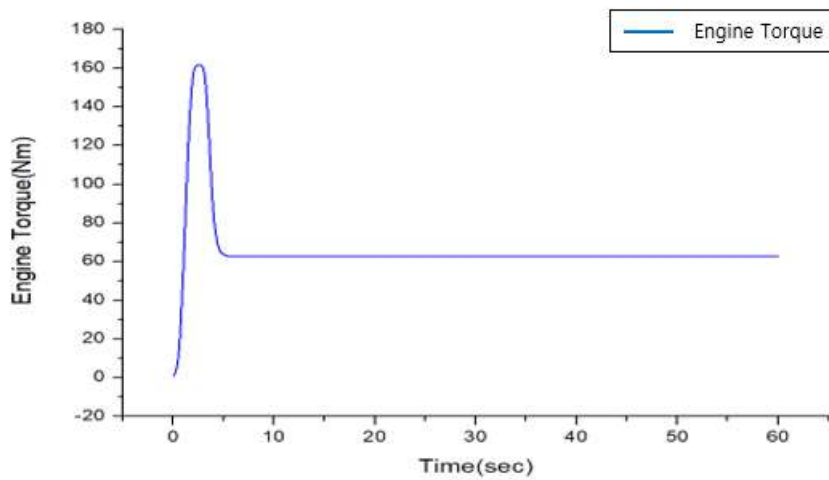


그림76. 두줄 무 수확기 엔진 토크

- 시뮬레이션은 총 60초 동안 진행하였으며, 최대토크는 약 2초에서 약 161.6N·m이며, 평균토크는 65.7N·m이었다.
- 엔진 시동 이후 수확기 구동부에 부하가 걸리는 시점에서 약 161.6N·m까지 상승하였으며, 시동 후 약 5초에 약 65N·m까지 하강하여 유지되는 개형이 나타났다.

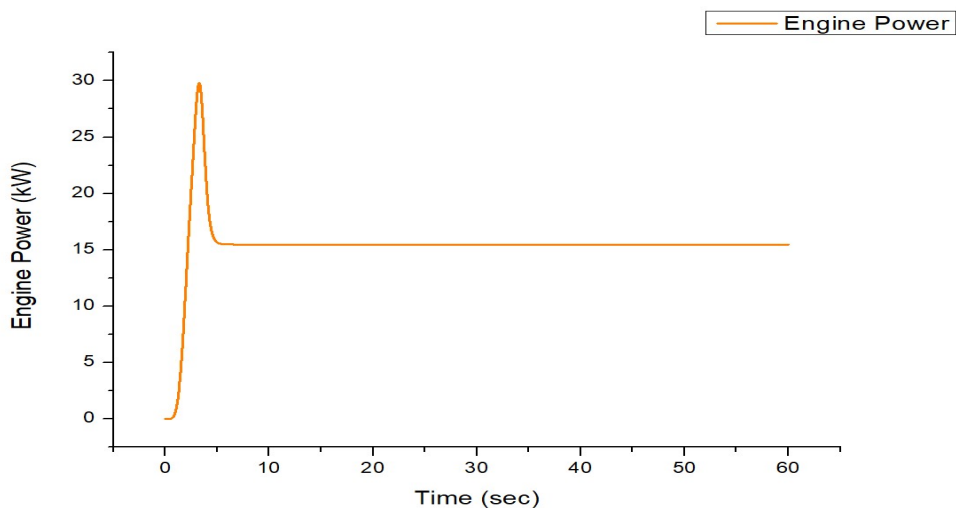


그림77. 두줄 무 수확기 엔진 출력



- 두줄 무 수확기의 엔진출력 시뮬레이션 결과는 구동 후 약 2초까지 30kW로 증가하다가 이후 감소하여 15kW로 나타났다.
- 약 2초 구간에서 출력이 급상승하는 이유는 엔진의 동력이 구동부 및 작업부 모터 및 변속기에 동력을 공급하기 위해 출력이 급상승한 것이라 판단되었다.

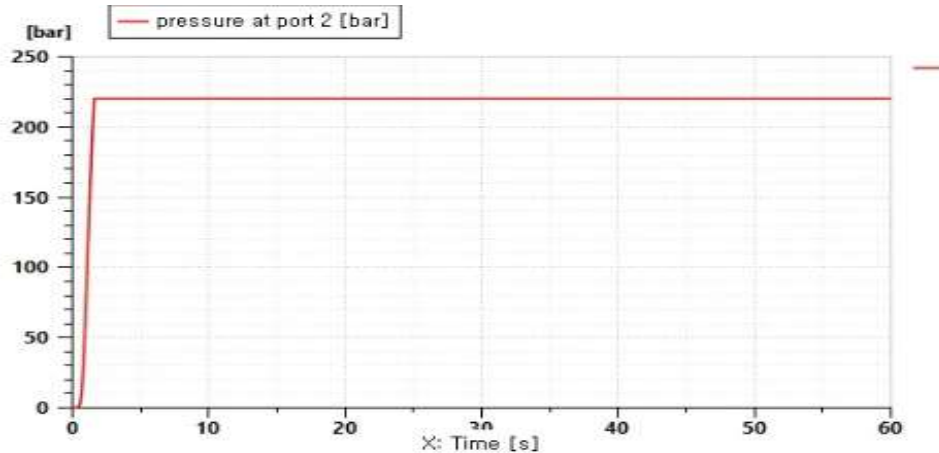


그림 78. 유압펌프 압력

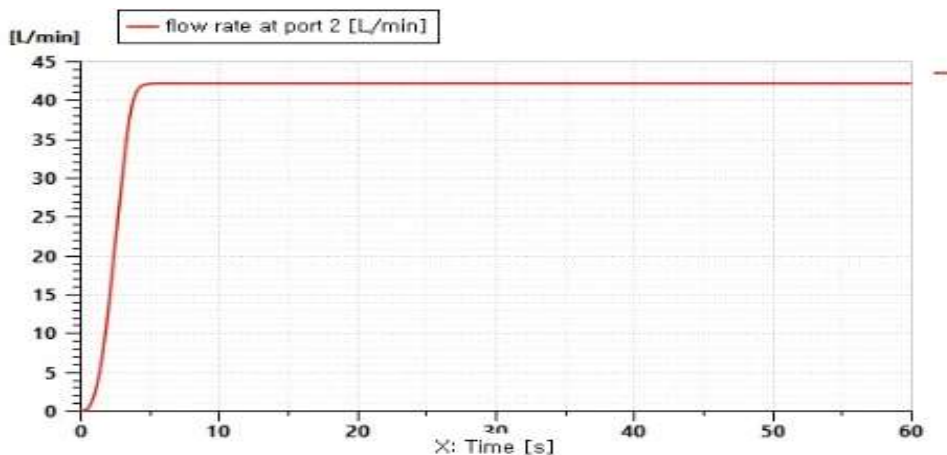


그림 79. 유압펌프 유량

- Amesim 모델에서의 유압 펌프 압력은 2초까지 220.017bar로 상승 후 유지되는 모습을 보인다.
- 파라미터값은 펌프 속도 1,700rpm, 펌프용적은 17.93cc를 적용했으며, 이는 인발작업에서 적용되는 유압펌프의 파라미터 값이다.
- 펌프에서의 유량은 2초까지 상승하여 약 42.23l/min까지 도달 후 유지되는 모습이 나타났다.
- 즉 엔진에서 동력을 받아 유압펌프의 작동이 정상적으로 되며, 시뮬레이션 결과에서 노이즈가 없는 것으로 보아 다른 작업부 및 P1, P2, P3의 펌프 용적을 적용시켜도 유량이 HST 유압모터까지 안정적으로 흐르며, 압력도 정상적으로 작동되는 것으로 판단되었다.

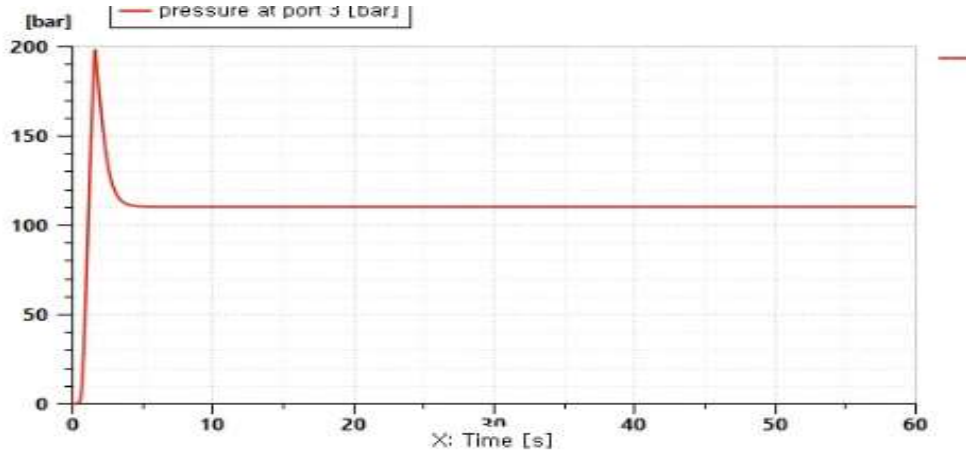


그림80. 유압모터의 압력 결과

- 유압모터의 압력은 엔진 가동 후 2초까지는 부하받는 부분이라 220bar까지 급상승하였지만, 주행 시작 후 안정화되면서 압력이 110bar로 감소하여 유지되는 모습을 보였다.
- 유압모터의 파라미터 값은 모터속도 1,700rpm, 모터용적 21.4cc로 입력하였다.
- 시뮬레이션은 실제 모터 파라미터값을 기초로 수행되었으며, 결과 모두 안정적으로 나타났다.
- 다만, 시뮬레이션 상에서는 실작업 환경인 토양 조건 및 작업기 구동 시 발생하는 다양한 변수(습도·조밀도와 같은 노면 상태, 노면의 굴곡짐, 크롤러 장력 상태, 슬립, 유압효율,)를 구현하기 어려워 목표인 90%의 정확도를 만족하지는 못했다.
- 시뮬레이션 모델 결과값은 작업기 개발을 위해 엔진에서부터 각 구동부까지 전달되는 유체 흐름 및 유압시스템 안정화를 확인 및 보완하기 위한 것이므로 현재 모델의 결과는 양호한 것으로 파악된다.

## 19) 두줄 무 수확 기계화 표준재배양식(안) 제시

### 가. 국내 무 재배양식 분석과 표준재배양식(안) 구명

#### a. 무 재배양식 및 표준양식 현황 조사

##### (가) 국내 재배 현황

- 무는 재배 기술 및 품종 개량의 발달로 연중 생산이 가능하여 1년 내내 파종·수확하고 있음. 노지에서 주로 재배되어 기상에 따른 영향을 많이 받고 작형마다 생산량의 변동이 큰 특징을 가지고 있음
- 무는 지역 및 계절별 재배 작형에 따라 크게 하우스, 터널, 노지 봄무, 여름무, 가을무, 월동무로 구분됨. 김장의 영향으로 가을무 재배가 주를 이루고 있으며, 봄무 재배는 조기 출하를 위해 하우스 형태로 재배됨. 또한, 여름무는 고랭지에서 재배되며, 월동무는 따뜻한 제주 지역에서 주로 이루어짐
- 아래 그림은 무 재배의 주종인 가을무의 재배면적 및 생산량 변화를 나타냄. 가을무의 재배면적 및 생산량은 각 해의 장마, 태풍, 일조량 등 기상 여건에 따라 증가 및 감소하는 경향을 나타내고 있음
- 무의 재배 면적 및 생산량은 가격 등락에 따라 증감을 반복하는 가운데 2010년을 정점으로 계속하여 감소하는 추세임
- `20년 가을무 생산량은 39만 6,605톤으로 전년(40만 4,804톤)보다 2.0% 감소한 것으로 나타났음
- 재배면적은 5,147ha로 전년(5,344ha)보다 3.7% 감소하였으며, 이는 가을무 파종기(8~9월)에 긴 장마 및 태풍 등의 영향인 것으로 판단됨
- 10a당 생산량이 7,705 kg으로 전년(7,575 kg)보다 1.7% 증가하였으며, 이는 생육기(9~10월)에 일조량 등 양호한 기상여건의 효과로 판단됨

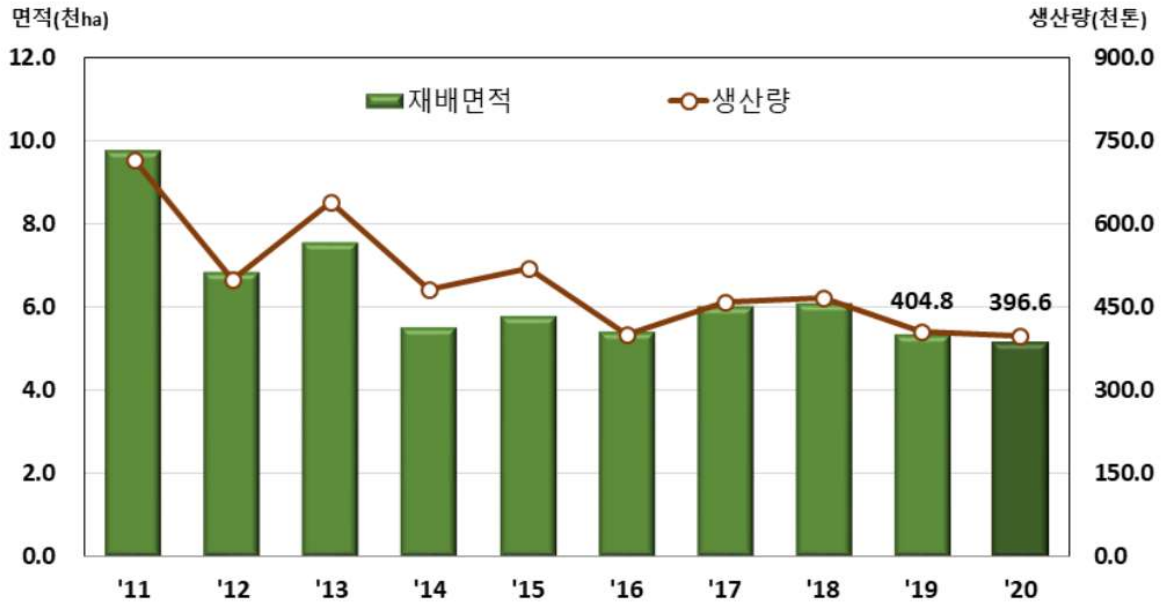


그림81. 가을무 재배면적 및 생산량 변화

연도	가을무		
	재배면적 ha	10a당 생산량 kg	생산량 ton
'06	9,758	6,838	667,218
'07	7,162	6,409	459,048
'08	8,948	7,544	675,013
'09	7,771	8,034	624,297
'10	7,473	6,333	473,230
'11	9,748	7,354	716,854
'12	6,826	7,324	499,956
'13	7,532	8,483	638,902
'14	5,498	8,771	482,238
'15	5,769	8,999	519,178
'16	5,414	7,401	400,686
'17	6,003	7,626	457,752
'18	6,095	7,663	467,104
'19	5,344	7,575	404,804
'20	5,147	7,705	396,605

표38. 가을무 재배면적 및 생산량

- 아래 그림 및 표는 시도별 가을무 생산량을 나타냄. 가을무 생산량은 전북이 11만 2,630톤으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 전남, 경기, 충남, 강원, 경북, 경남, 충북 순으로 나타남
- 작형에 따른 지역별 생산 동향과 관련하여, 봄무는 3~5월에 경남·전남·전북 지방에서 하우스 재배 무가 출하되기 시작함
- 5월 초에서 6월 중순에는 충청·경기 지역의 하우스 재배 무가 출하되고, 호남 지역에서는 터널 재배한 무가 출하되고 있음

- 6월 중순부터 7월 초까지는 경기도 일원에서 노지 재배 형태로 출하되고 있으며, 여름무는 기온이 높은 하절기(7~9월)에 출하되는 무로, 고랭지무 라고도 함. 주산지는 태백·정선·평창·홍천·인제 등의 강원도 지역이며, 장수·남원·무주 등 산간 지역에서도 일부 재배되고 있음
- 가을무는 11월에서 12월에 출하되는 대표적인 무의 작형으로, 주산지는 경기·충청·호남 지역임. 김장용으로 가장 많이 이용되어 일명 김장무 라고도 하는데, 일부는 저장되어 다음 해 4월까지 출하함
- 무의 지역별 재배 면적의 변동은 생산량은 줄고 있으나 총 재배 면적에 큰 변동이 없음. 무의 재배 형태의 다른 분류에 관련해서, 노지 재배는 전체 재배 면적의 약 95%를 차지하고 있으며, 시설재배 면적은 전체 무 재배 면적의 5%를 차지하고 있음

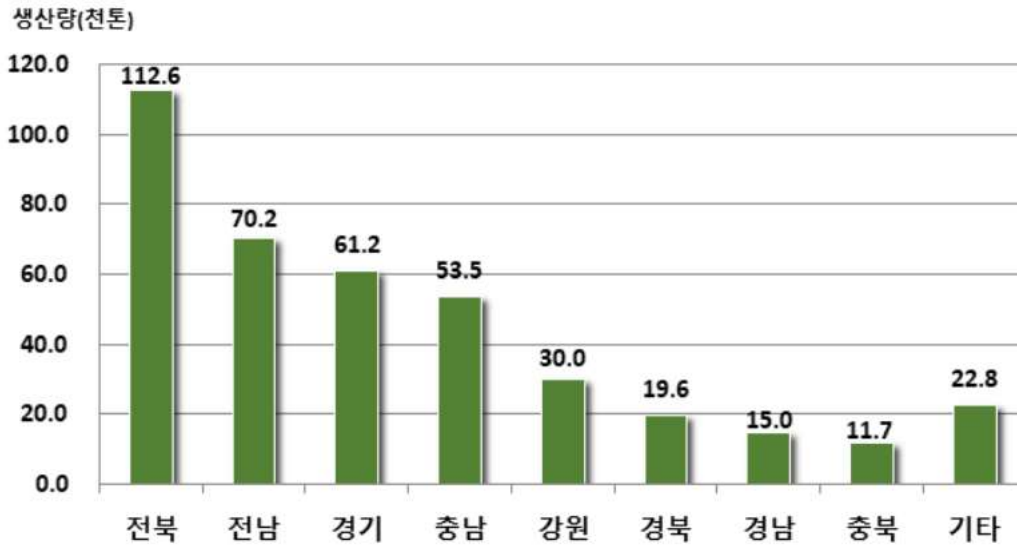


그림82. 가을무 시도별 생산량

	재배면적 ha			10a당 생산량 kg			생산량 ton		
	'19	'20	증감률%	'19	'20	증감률%	'19	'20	증감률%
경기	1,224	886	-27.6	7,566	6,915	-8.6	92,621	61,246	-33.9
강원	463	537	16.0	6,495	5,589	-13.9	30,052	29,990	-0.2
충북	220	190	-14.0	6,107	6,193	1.4	13,461	11,741	-12.8
충남	806	717	-11.1	7,610	7,465	-1.9	61,367	53,507	-12.8
전북	1,006	1,236	22.8	7,914	9,114	15.2	79,648	112,630	41.4
전남	796	838	5.3	7,918	8,376	5.8	63,053	70,206	11.3
경북	223	316	41.8	6,166	6,189	0.4	13,752	19,577	42.4
경남	298	173	-42.0	8,141	8,655	6.3	24,262	14,955	-38.4
전국	5,344	5,147	-3.7	7,575	7,705	1.7	404,804	396,605	-2.0

표39. 가을무 시도별 생산량

- 아래 표는 채소 재배 및 생산량 대비 무 비율을 나타냄. '00년 이후 채소 전체 재배 면적은 감소하는 것으로 나타났으며, 이에 따라 무의 재배 면적도 감소하였음
- 채소 전체의 생산액은 지속적으로 증가하고 있으나, 무의 생산액은 감소하는 것으로 나타남. 이는 무 재배 시 임금과 땅값 상승 등이 원인으로 파악되며, 무 생산비는 상승하고 판매 가격은 보험 추세로 수익성이 상대적으로 저하되었기 때문인 것으로 판단됨

구분	재배 면적 (천ha)					생산액 (10억원)				
	2000	2008	2009	2010	2011	2000	2008	2009	2010	2011
채소 전체	375	276	262	259	281	6,738	7,213	7,554	8,353	8,533
무	35	24	22	23	20	384	338	306	470	109

표40. 채소 재배 및 생산량 대비 무 비율

(나) 해외 재배현황

- 중국의 경우 최근 채소 소비가 증가하고 있으나 채소의 생산량이 더 많아 공급과잉과 산지 간 경쟁이 심화되고 있음. 이에 대한 해결책으로 수출을 증시하고 있음
- 중국은 채소 재배 지역이 대도시 근교에서 농촌으로 확산되고, 소규모 농가별 생산에서 집약·규모화되는 경향을 보이고 있음. 중국에서도 무는 전체 채소 재배의 약 8%를 점유해 비교적 많이 재배되고 있는 작물임. 무는 주로 생식용으로 이용되고 있으므로 유통기간이 짧아 상대적으로 수입량이 적지만, 지역적으로 거리가 가깝고 생산기반에서 우위를 가진 중국이 무역흑자를 늘리고자 농산물 교역을 확대시키고 있음
- 우리나라에서 무는 주로 가공하지 않은 상태에서 요리로 이용하지만, 서양에서는 사료로 이용되고 있으며 그 외에 샐러드 재료로도 이용됨. 반면, 일본에서는 생식 또는 단무지 생산용으로 이용됨

b. 국내 무 재배 양식 조사

(가) 무 작물 특성

◦ 온도

- 무는 일반적으로 추위와 더위를 피하고 서늘한 기후에서 재배됨. 생육온도는 15~20℃ 정도이고, 비교적 낮은 온도에서는 견디지만, 다 자란 무는 0℃ 정도에서 동해를 입음
- 생육 단계별 온도
  - 발아 단계 : 무가 싹 트는 온도 범위는 15~30℃ 정도이며 40℃ 정도에서는 싹이 트지 못함
  - 재배단계 : 낮온 17~23℃, 밤온 15~20℃, 지온은 21~23℃ 정도가 적절함
  - 화아분화 : 7~13℃ 이하에서 10~14일 경과 후 앞의 원기형성을 중지하고 발육하여 꽃으로 됨. 떡잎이 전개될 때 5~7℃의 낮은 온도에서 가장 감응이 잘 됨
  - 추대 : 화아분화 후 고온 장일조건에서 꽃대가 올라옴

◦ 일조

- 일조량이 많으면 지상부 잎이 잘 자라고, 충분한 광합성을 통해 뿌리가 굵어짐. 일조가 적으면 양분의 공급이 적어져 뿌리의 발달을 저해하고 수량이 감소함
- 무 재배 적정 햇빛 요구도로는 광포화점과 광합성량이 있음. 광포화점은 5만lux로 다른 작물에 비해 강광이 필요하고 광합성량은 오전 중 70~80%, 오후 중 20~30% 정도임

◦ 수분

- 건조와 과습에 취약하며 용수량 60~80% 정도의 토양수분이 적당함. 건조에 의해 뿌리가 손상되기 쉬운 시기는 싹튼 후 20~25일 후와 뿌리가 비대해져 발육하는 시기임. 토양의 건조가 지속되면 생육이 나빠져 무의 쓴맛과 매운맛이 증가함

◦ 관수량

- 한 줄 심기 : 3일에 30mm (30 l / m<sup>2</sup>)
- 두 줄 심기 : 3일에 15mm (30 l / m<sup>2</sup>)

◦ 토양

- 무는 토양 속에서 자라기 때문에 토양이 깊고 보수력과 물 빠짐이 좋은 가벼운 흙에서 품질이 향상됨. 지나치게 단단한 토양에서는 육질이 딱딱해지고 광택이 불량해짐
- 토심이 얇은 곳에서는 뿌리가 짧은 품종이나 뿌리가 지표 위로 자라는 품종이 적당하며, 끈끈하고 차진 토양에서는 가랑이가 지고 구부러지기 쉬우며 수확 바로 전에 터지거나 뿌리가 썩는 등 생리 장애가 발생하기 쉬움

- 차진 토양에서 재배된 무가 다른 토양에 비해 좋은 경향이 나타나며, 무는 뿌리 부위를 재배 및 이용하기 때문에 뿌리에 산소가 잘 공급되고, ph 5.5~6.8의 중성 내지 약한 산성의 토양에 적합함
- 개화 습성
  - 무 종자는 싹이 터서 낮은 온도를 만나면 꽃눈이 생김. 이후 온도가 높아지고 낮의 길이가 길어지면 무가 추대됨
  - 꽃눈이 생기는 온도는 12~13℃ 이하인데, 떡잎이 벌어질 무렵 5~7℃의 낮은 온도에 처할 때 가장 감응하기 쉬움. 무의 꽃눈분화와 꽃대가 올라오기 위해서는 낮은 온도와 낮 길이(일장)가 필수적인 조건임. 이 두 가지 요인이 동시에 작용할 때는 낮 길이보다 낮은 온도가 꽃눈이 생기는 데 더 큰 영향을 미침
  - 6~7월에 파종한 무가 불시에 추대되는 경우가 있는데, 이는 품종에 따라서 온도 외에 긴 낮 길이(빛이 강한 조건)에 영향을 받기 때문임
  - 작형에 따라 추대되는 조건이 다른데, 봄무는 주로 낮은 온도에 의해서 꽃눈이 형성되고 이후 높은 온도와 낮의 길이가 길어짐에 따라 추대됨. 그리고 여름과 가을 재배에서는 강한 빛의 조건에 의해 불시 추대가 될 수도 있음
  - 이른 봄에 하우스에서 파종한 무는 추대가 잘 일어나지 않지만, 같은 품종을 더 늦은 시기에 노지에 씨를 뿌리면 추대되는 경우가 종종 있음. 이는 하우스 내에서 밤에 낮은 온도를 받더라도 낮에 하우스 안의 높은 온도(30~40℃)로 인해 발생된 꽃눈이 없어지기(이춘화 현상) 때문이며 하우스 내의 다소 약한 빛도 이와 어느 정도 관련이 있음
  - 따라서 시설 재배나 봄철에 재배할 경우에는 품종 선택에 유의하여 저온 감응이 둔한 품종을 선택하는 것이 중요함

#### (나) 재배 기술

- 핵심재배기술
  - 포장 준비
    - 파종 10~15일 전에 990㎡당 소석회 75kg, 용성인비 30kg을 밭 전면에 고루 살포한 다음 초벌 갈이를 깊게 함. 파종 1주일 전에 완숙 퇴비 1,000kg이나 완숙 계분 100~200kg을 살포하고 재벌 갈이를 함. 파종 2일 전에 요소, 염화加里, 붕사 및 토양 살충제를 살포하고 트랙터 등으로 흙덩이를 부드럽게 쇠토한 다음 120cm 너비나 60cm 너비의 이랑을 만듦
  - 파종
    - 재배 및 관리를 양호하게 하기 위하여 1열 재배 재식거리는 60×25cm 정도로 점파를 하며, 발아를 균일하게 하고 결주를 방지하기 위해 1개 파구에 2~3립씩 파종함. 토양이 건조할 때는 복토를 다소 두텁게 하고 가볍게 두들겨 줌. 복토를 너무 두텁게 해 주면 발아하는 데 오랜 시간이 필요하며 생육도 불균일해짐. 파종량은 10a당 8,000~9,000주를 목표로 1파종구당 1~2립씩 파종함.
    - 봄 노지 직파의 경우 파종 날짜는 파종 후 1개월간의 평균 기온이 10℃가 넘는 날로부터 파종하는 것이 화아분화를 피할 수 있음
  - 시비
    - 10a당 표준 시비량은 표와 같고 토양조건에 따라 비료량을 가감한다. 인산은 전량 밀거름으로 주며 질소와 칼리는 밀거름 위주로 하고 생육 상태를 보아가면서 1~2회 정도 웃거름을 줌. 웃거름의 위치는 파종 후 20~25일 무렵으로 이랑 사이에 하고 흙을 덮어 비료분이 공기중으로 날아가는 것을 막아야 함. 2차 웃거름을 할 때 파종 40~45일 무렵에 함. 멀칭 재배하여 웃거름하기가 곤란할 때는 밀거름 위주로 재배하고 생육 상태를 보아가면서 액비를 살포함

비료명	총량	밑거름	웃거름		성분량
			1회	2회	
요소	35	13	12	8	N : 16
용성인비	60	60			P : 12
엽화칼륨	25	9	8	8	K : 16
소석회	75	75			
붕사	2	2			
퇴비 (계분)	1,000 (200)	1,000 (200)			
웃거름 시기			파종 후 20~25일	파종 후 40~45일	

표41. 무의 표준 시비량 (kg/10a)

◦ 품종 선택 요령

- 하우스 재배시 품종선택

- 저온 약광 하에서 생육이 잘되며 뿌리의 비대가 우수할 것
- 추대가 안정된 만추대성 품종
- 초형은 입성이며, 엽장이 짧고 엽수가 적어서 수광율이 높을 것
- 근피가 깨끗하고 기근, 열근 발생이 적을 것
- 육질이 치밀해서 수송성이 강하고 수송과정에서 신선도를 유지할 것
- 하우스 내부가 고온이 되더라도 견디는 힘이 강하여 뿌리비대가 잘되며 육질이 깨끗할 것
- 바람들이가 안정되어 수확기간의 폭이 넓을 것
- 무의 균일도가 높으며 시장 기호성이 높을 것
- 내병성이 강한 품종

- 터널, 봄 노지 재배

- 만추대성으로 불시추대현상이 나타나지 않는 품종
- 봄 노지 재배시 추대에 의한 상품 가치가 떨어지므로 추대에 강한 만추대성 품종을 선택해서 재배해야 함(좌 : 만추대성 품종, 우 : 추대에 약한 품종)
- 근피가 곱고 매끈하며, 기근, 열근이 적을 것
- 생육 후기 즉 뿌리 비대기에 강우 또는 관수로 과다한 수분이 공급되었을 때 열근 발생이 적을 것
- 육질이 치밀하고 맛이 좋으며 바람들이가 안정된 것
- 수확기의 폭이 넓어서 시장 가격 변동에 여유가 있어 다소 적응할 수 있는 품종
- 내병성이 강한 품종

- 고랭지 여름 재배

- 추대가 늦고 내서성, 내습성이 강한 품종
- 여름 해안재배용 무도 연부병과 적심, 흑심증상이 강하고 고온장일에서도 불시 추대가 되지 않는 품종
- 고랭지에서 6~7월에 파종하는 경우에는 일장에 둔한 품종
- 고랭지 여름무 재배시 장일조건과 강광에 의해서 추대하는 경우가 많으므로 추대에 둔감한 품종을 선택하여 재배
- 육질이 치밀하고 맛이 좋으며 바람들이가 늦은 품종
- 열근 및 기근발생이 적어서 시장성이 높을 것

- 가을 재배
  - 재배목적과 지역특성에 적합한 품종
  - 저장용-가을 적기에 파종하였다가 이듬해 2~4월 사이에 출하하는 무로서 육질이 치밀하고 바람들이가 늦은 품종
  - 가을용-8월에 파종하여 가을에 수확하여 연내에 사용하거나 김치용으로 이용하는 무도 육질이 딱딱한 것보다는 맛이 있고 매운맛이 적은 품종
- 월동 재배
  - 저온 단일 하에서는 비대가 빠르고 내한성이 강하며 수확기가 지나더라도 바람들이 및 추대가 늦은 품종

(다) 작형 및 지역별 재배 양식

- 무는 서늘한 기후를 좋아하므로 생육 중기에서 후기 사이인 가을 재배가 기본적인 작형임. 이보다 이른 여름 재배는 고온 문제가 있어 고랭지에서 이루어지고 있으며 늦은 월동 작형은 수확기에 저온으로 인한 냉해 등의 문제로 제주도 및 남해안 지역에서 주로 이루어지고 있음. 이 외 봄 재배 작형은 품종의 개발로 하우스나 터널 등을 이용하여 재배할 수 있게 됨
- 아래 표는 작형 및 지역별 재배 양식을 나타내며, 하우스, 터널, 노지 봄무, 여름무, 가을무, 월동무에 따라 지역, 파종기, 수확기, 재식거리가 다양하게 나타남
- 하우스 및 터널 재배는 주로 경남, 전남 등 따뜻한 곳에서 재배되며 그 외 충남 부여, 경기도 김포 등의 도시 근교에서도 재배됨. 품종은 만추대성, 저온비대성, 내한성 등의 특성을 갖추어야 함
- 여름무 재배는 고랭지 및 해안 지역에서 주로 재배되는 작형이며 온도가 높고 일사량이 많아 다른 작형에 비해 생육 기간이 짧음
- 월동무 재배는 주로 제주도에 재배하고 있는 작형으로 저온, 단일, 일조 부족 등 생육 조건이 좋지 않으므로 내한성이며 저온에서 뿌리가 잘 자라고 바람들이와 추대가 늦은 품종을 선정해야함

작형	지역	파종기	수확기	재식거리 (cm)
하우스	남부	11월 하~12월	3월 하~4월	55 × 21
	중부	1월 중~2월	4월~ 5월 상	
터널	남부	2월 중~2월 하	5월	60 × 25
	중부	2월 하~3월 중	5월 하~6월 상	
노지 봄무	남부	3월 중~3월 하	5월 중~5월 중	60 × 25
	중부	4월 상~4월 중	6월	
	북부	4월 중~4월 하	6월 하~7월 상	
여름무	고랭지	4월 하~5월	7월~8월 상	60 × 25
	고랭지	6월~7월	8월~9월	
	남부해안	6월~7월	8월~9월	
가을무	북부	7월 중~8월 상	9월 상~10월	60 × 25
	중부	7월 하~8월 중	9월 하~11월 상	60 × 27 이상
	남부	8월 상~9월 상	11월~12월	60 × 24
월동무	제주도	9월	12월~3월	60 × 25

표42. 지역 및 계절에 따른 무의 재배 양식 현황



## 나. 생육량 측정 영상 처리 기술 개발

- 무 생육량 측정을 위한 영상 처리 기술 개발을 수행하였음. 영상 처리기술은 영상 인식부터 후처리 작업까지를 포함하고 있음
- 영상인식 알고리즘 개발은 위치 결정 알고리즘을 기반으로 높이 계산을 수행하기 위해 구성하였음

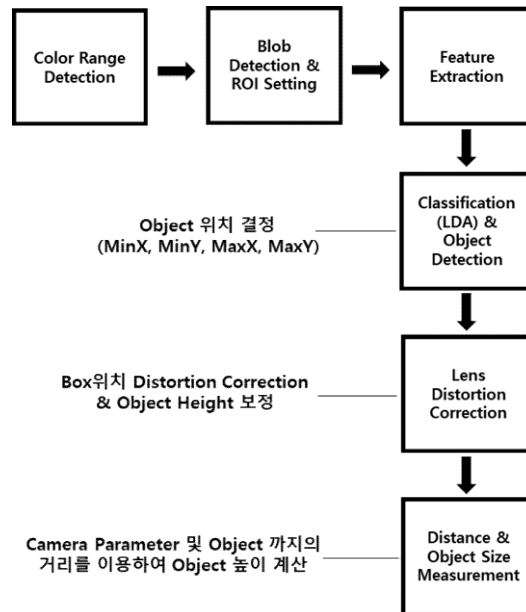


그림83. 영상 처리의 흐름 및 개요

- 카메라를 통해 수집된 영상에서 작물의 색상 및 바탕 및 주변색을 검출하여 관심영역을 설정하게 구성되었음. 영상은 좌표계로 전환되며, 카메라 및 영상 파라미터들을 이용하여 작물까지의 거리들을 수집.
- 전체적인 영상 처리 흐름은 아래와 같이 수행되게 알고리즘을 개발하였음
- 색상 정보를 활용하기 위해 작물의 색상 분포 분석을 수행하여야 함. 분석을 수행하면 무채색의 배경 색을 제외하고는 모두 작물이 위치한 곳에 작물이 위치하는 것을 확인할 수 있음

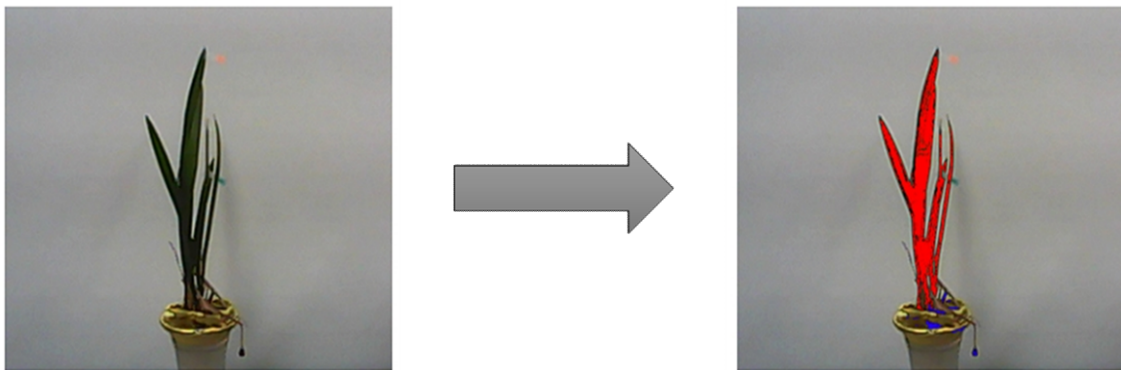


그림84. Color range detection 과정

- blob detection 주변 환경과의 비교 및 분석을 통해 색상을 유추하는 과정임. heuristic 기반의 방법으로 라벨링을 수행하며, 동일 이미지 내 개체 수 파악을 수행함.

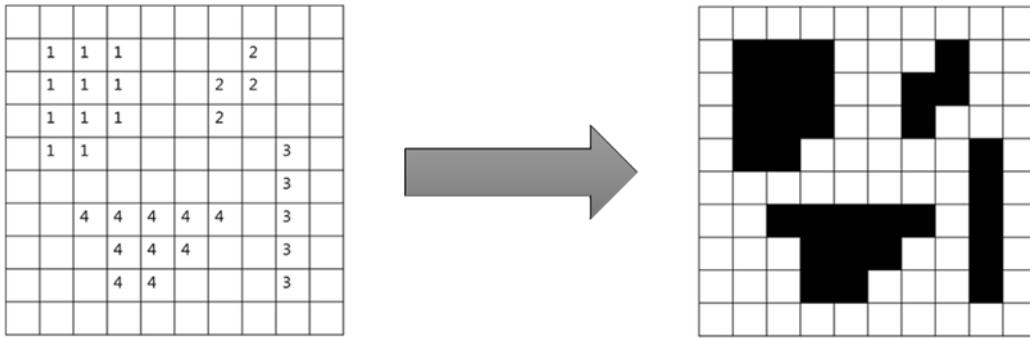


그림85. blob detection의 예시

- 관심영역은 영상처리에 필요한 부분을 선정하는 방법임. 제한된 제어 시스템에서 필요 영상 처리를 도출하여 영상 처리 시간을 감축시키며, 이를 통해 효율적인 시스템 운용을 수행할 수 있음
- 곡면 파라미터들은 한 평면에 놓이지 않으며, 이에 따라 변환의 과정이 필요함. 변환의 결과를 먼저 임의의 한 단위 법선벡터 방향에 대한 평면들에 나타낸 특징을 종합하고 난 다음, 순차적으로 모든 단위 법선벡터 방향에 대해서도 같은 처리를 수행함
- 선형판별분석(LDA)은 표본의 작물과 아닌 집단을 분리시켜 주도록 함. 작물과 비작물체의 분산과 집단 내의 분산을 최대화할 수 있도록 함

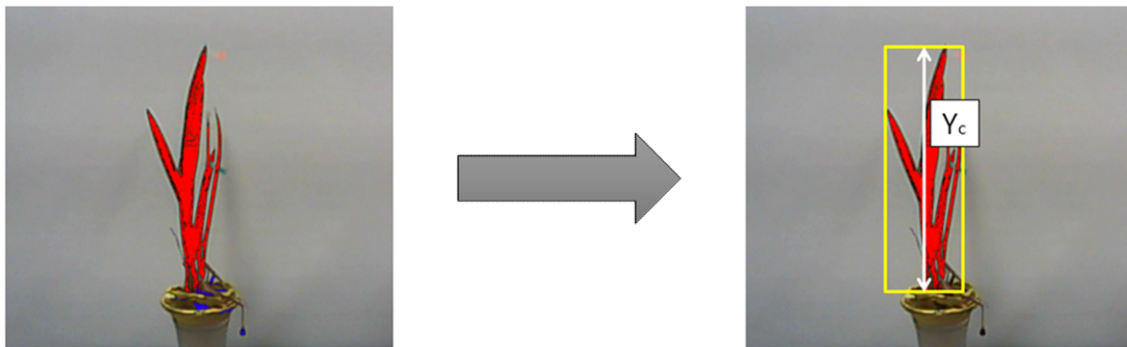


그림86. blob & object detection

- 렌즈에서는 영상에 대한 왜곡이 이루어짐. 영상에 대한 왜곡이 되면 피사체와 상과의 기하학적 상사 관계 때문에 정확도가 낮아질 수 있음. 이를 위해 왜곡에 따른 데이터 들을 파악함

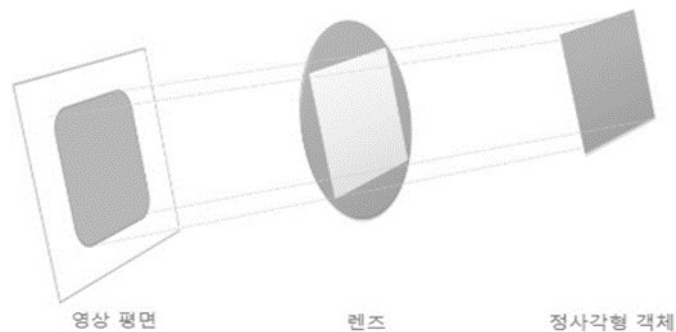


그림87. lens distortion 기술 개요

- 물체의 크기  $Z_C$ 는 아래의 그림 및 수식과 같이 렌즈와 초점사이의 거리  $f$ , 물체의 크기  $Y_C$ , 렌즈에서 측정한 픽셀 수  $Y_{PX}$ 를 이용하여 계산되어짐

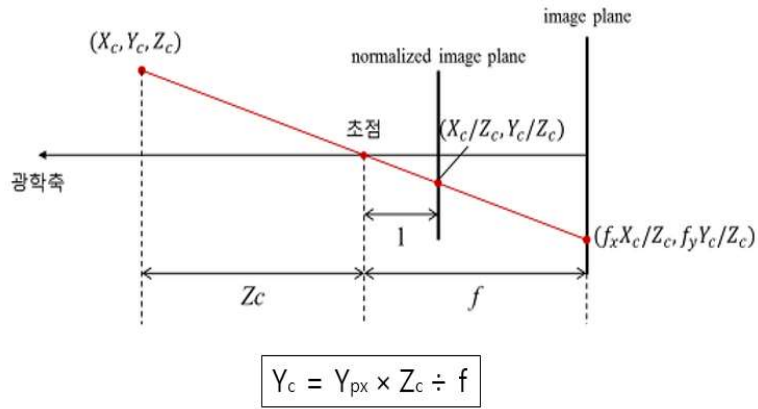


그림88. distance & object size measurement method

- 개발된 알고리즘을 이용하여 작물 높이 측정 시험 수행하였음. 시험 대상은 길이 55cm의 난을 대상으로 하며, CCD 카메라 (크기 : 29×29×3mm, 해상도 : 4096×2160)를 이용하여 수행하였음
- 생육 난을 백색 배경인 곳에 위치시켰으며, 150 mm 거리에서 영상 수집을 수행하였음. 개발된 알고리즘을 이용하여 난의 높이를 측정하였으며, 실제 높이를 측정하여 정확도 계산을 수행하였음
- $Y_{PX}$ 가 216 px 으로 나타났으며,  $Y_{PY}$ 가 216 px,  $f$ 가 60px,  $Z_c$ 일 때,  $Y_c$ (작물의 크기)가 540mm 로 나타났음. 이는 실제 크기인 550 mm 와 약 2% 오차를 보이는 것으로 나타남

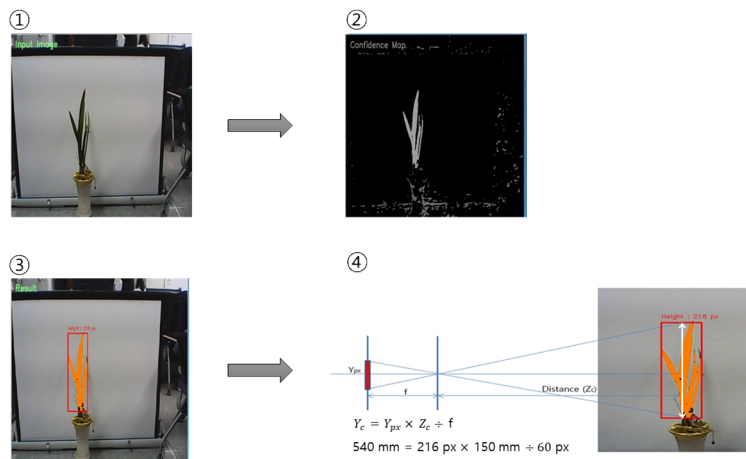


그림89. 높이 측정 수행을 위한 데이터 처리 과정

#### 다. 수작업 및 기계화 비교 분석

우리나라의 무 재배는 수확과정에서 12.8%의 기계화율을 보이고 있으며, 주로 트랙터 부착형으로 무를 지면에서 분리시켜 놓는 과정에 불과하다. 따라서 이후 이송 및 무청 절단 작업은 수작업으로 이뤄지고 있으며, 수확기를 사용한 후에도 많은 인력을 필수적으로 투입해야 한다.

작물별	종류별	2019					
		경운_정지	파종_정식	비닐피복	방제	수확	평균
무	계	100.0	10.5	99.3	99.8	<b>12.8</b>	64.5
	보행	0.2	7.1	80.5	82.1	<b>0.9</b>	34.2
	승용	99.8	3.4	18.8	17.1	<b>11.9</b>	30.3

표43. <주산지 발작물 기계화율(주산지), 2021, KOSIS >

하루 평균 수작업 무 수확량은 약 1ha (10,000m<sup>2</sup>)이며, 약 100포대 정도를 수확한다. 숙련된 사람이 한 포대를 채우는데 약 1시간이 소요되며, 10a 기준 무를 수작업으로 수확했을 때, 가을 무 수확에는 13.8 시간이 소요된다. 농업진흥청의 농축산물소득자료(2021)를 참고하였으며, 대표적인 무 작업형인 가을무 수확 시간을 기준으로 하였다.

- 자주식 무 수확기를 사용하여 수확 시 10a 기준 약 2.5 시간이 소요된다. 가을 무 기준 수작업 대비 약 11시간가량 감소시킬 수 있으며, 추가적인 인력 또한 크지 않다.

수작업 및 수확기 사용 시 무 수확 소요 시간	
수작업 (10a)	자주식 무 수확기 (10a)
o 가을 무 수확 - 13.8 시간	o 자주식 기계화 투입 - 2.5 시간

표44. 수작업 및 수확기의 수확 소요 시간

동부 농업 기술센터(제주)의 무 수확 기계화 시범사업 자료(2016)를 참고하면, 보통 무 수확 시 1일 남자 4명, 여자 24명 총 28명이 0.5ha 내외 수확 작업을 하며, 1ha 수확 시 총 56명의 인부가 필요한 것으로 조사되었다. 하지만 무 수확기를 이용할 경우 1일 남자 4명, 여자 8명 등 12명의 인력으로 0.4ha 수확이 가능하며, 1ha 수확하는데 30명의 인부가 소요되어 수작업 수확에 비해 26명의 인건비를 감소할 수 있는 것으로 조사되었다. 2016년 관행 인건비 75,000원을 기준으로 26명의 인력이 줄어 1ha 당 195만원 절감 효과를 낼 수 있는 것으로 계산되었다.



그림90. <무 수확 기계화 시범사업, 2016, 제주 동부농업기술센터>

관행 인건비(1ha 기준)	기계화 인건비(1ha)
남자 8명, 여자 48명	남자10명, 여자20명
56명	30명
26 × 75,000원 = 195만원	

표45. 관행 및 기계화 인건비 비교, 2016

수작업 재배 시 하루에 7~8명이 1조로 구성되며, 가득 찬 톤백 운반용 굴삭기와 트럭 인건비를 부담해야 한다. 2022년 기준 농촌의 인건비는 약 14만원이며, 통계청에서 발표한 농가구입가격지수 중 노무비를 참고하였다. 하루에 수작업 인부의 인건비만 약 120만원이 소요되며, 작업차 대여비를 포함하면 하루 수확에 200만원 가량을 부담해야 한다.

표준 재배 양식에 의하면 무 재배 방법은 무 수확 -> 잎(무청) 제거 -> 포장작업 -> 운송 및 상차 작업 순으로 진행되며, 다발무 수확 작업인 경우 수확과 동시에 시장 출하를 목적으로, 수확한 무를 5~7개씩 비닐봉지에 담은 후 작업끈으로 묶는다. 저장무 작업의 경우 저장 후 출하하기 위해서 수확한 무 잎을 제거하고 밭에 고랑에 무를 여러개 포개고 흙으로 덮어 간이 저장 후 1~2월에 출고 한다.

두줄 무 작업 방법	
다발무	저장무
무 수확 - 잎 제거- 포장작업 - 운송 및 상차	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시장 출하 목적</li> <li>○ 5~7개씩 묶고 작업끈으로 묶음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저장 후 출하 목적</li> <li>○ 무 잎 제거 및 간이 저장</li> <li>○ 간이 저장 후 1~2월 출고</li> </ul>

표46. 두줄 무 작업 방법

상차 작업은 7~8명이 1조로 편성되며, 남자 2명, 여자 6명으로 구성된다. 5톤 트럭 1대 기준 다발무 작업 시에는 35~40만원 정도 소요되며, 톤백 작업 시에는 20~25만원 정도 소요된다. 작업 면적 및 적재량은 지역마다 다르며, 평균 작업면적은 400~500평으로 나타나고 다발무 생산량은 1,100~1,400단, 외대무는 3,600개, 마대무는 450마대로 나타난다.

#### 라. 수작업 대비 두줄 무 수확기 경제성 분석

두줄 무 수확기를 이용하여 수확 진행 시 노동 강도 및 인건비 절감이 가능하다. 다발무 작업 기준으로 최대 약 65만원의 절감 효과가 있으며, 한줄 재배에 비해 작업능률이 증가하므로 절감 효과는 더 클 것으로 판단된다.

수확기 사용에 따른 인건비용 절감 효과 (다발무 기준)	
수작업	두줄 무 수확기
○ 인건비(7~8명) = 980,000원~1,120,000원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 작업자 1명 = 196,000원</li> <li>○ 보조자 1~2명 = 140,000원~280,000원</li> <li>합계 : 336,000원~ 476,000원</li> </ul>

표47. 수확기 사용에 따른 인건비 절감 효과

무 수확의 기계화에 따른 인력 대비 경제성 분석을 위하여 비용 지출을 고정비와 변동비로 나누어 분석하였으며, 농업기계 이용실태 및 이용체계 연구(2021, 국립농업과학원)를 참고하였다. 연간 사용시간은 발작물 중 무 수확에 대한 기계화율은 11.3% 수준으로 조사되고 있으나 트랙터, 굴삭기 등을 이용한 운송·상차 수준인 이유로, 수확 작업이 유사한 ‘양파 수확’의 조사 자료를 참고했다. 양파의 전국 재배면적은 21,777ha이며, 수확 작업의 기계화율은 24.6% 수준이다.

양파 수확 작업은 트랙터 부착형 땅속작물 수확기를 이용하고 있으며, 수확 시 사용되는 트랙터 사용시간은 약 2.5% 수준으로 유추할 수 있다. 양파 수확 작업에 소요되는 트랙터용 땅속작물수확기의 사용시간은 약 365.14h/21,777ha이며, 무의 재배면적은 18,918ha이다. 이 지표를 토대로

무 수확기(1조식)의 연간 사용시간은 317.2시간, 두줄 무 수확기(2조식)는 1조식에 비해 60% 수준인 190.32시간으로 산출된다.

	항 목	내 용	참 고
고정비	연간 사용시간	190.32시간/년	농업기계 이용실태 및 이용체계 연구(2021, 국립농업과학원)
	감가상각비	내구연수 10년(콤바인)	
		기계 구입가격/내구연수	
	이 자	기계 구입가격의 2.5%	-
	수리비	기계 구입가격의 6%	-
변동비	연료비(경유)	1166.8(원/ℓ)	오피넷( <a href="http://www.opinet.co.kr">www.opinet.co.kr</a> ) ; 자동차경유, 세전가, 2024년 5월 2주
	연료소비율(ℓ/h)	6.59 ℓ/h = 0.214 ℓ/kWh × 30.8kW(최고출력 44kW×70%)	탑재엔진(4B243TLWS, (주)대동) 사양 기준
	인건비 남자	119,550원/일	농업과학기술 경제성분석 기준자료집(2021), 2020년 농업노임
	인건비 여자	85,300원/일	
	운전자 인건비	167,370원/일	트랙터 운전자, 남자 인건비 × 1.4
	수리비 계수	6%	-
	윤활유비	연료비의 30%	-

표48. 고정비 및 변동비 산출 근거

구분	자주식 두줄 무 수확기	관행(인력)	
구입가격(원)	60,000,000	-	
내구연수(년)	10	-	
①연간 사용시간(시간/년)	190.32	-	
②연간고정비 (원/년)	감가상각비(10%)	6,000,000	
	유지관리비(6%)	3,600,000	
	이 자(2.5%)	1,500,000	
	<b>소 계</b>	<b>11,100,000</b>	
③시간당 고정비(원/시간) =② ÷ ①	58,323	-	
④시간당 변동비 (원/시간)	연료비 <sup>1)</sup>	7,690	
	인건비	50,808 <sup>2)</sup>	93,863 <sup>3)</sup>
	<b>소 계</b>	<b>58,498</b>	<b>93,863</b>
⑤시간당 비용(원/시간) =③+④	116,821	93,863	
⑥작업성능(시간/10a)	1.2	1.6(0.5ha/일)	
소요경비(원/10a) =⑤ × ⑥	140,185	150,181	
<b>지수(%)</b>	<b>93.34</b>	<b>100</b>	

표49. 자주식 두줄 무 수확기의 인력 대비 경제성 분석

\* 연료비<sup>1)</sup> : (연료소비율 6.59 ℓ/h) × (자동차용 경유 세전가 1,166.8원/ℓ, 오피넷([www.opinet.co.kr](http://www.opinet.co.kr), 2024.05월 2주))

- \* 수확기 인건비<sup>2)</sup> : 남자 119,550원/일×2인, 운전자 167,370원/일×1인 = 남자 인건비×1.4 (2020년 농업노임, 농업과학기술 경제성분석 기준자료집, 2021, 국립농업과학원)
- \* 관행(인력) 인건비<sup>3)</sup> : 남자 119,550원/일, 여자 85,300원을 2:6의 비율로 산출

## 21) 두줄 무 재배양식의 경제성 분석

### 가. 두줄 무 재배 양식 비교 및 분석

가을 무 두 줄 재배 시 적정 재식거리는 최소 열간거리 25cm, 주간거리 19cm 이상 설정하는 것이 가을무 재배에 유리할 것으로 판단된다.(발체-가을무 두줄 재배를 위한 적정 재식거리, 2015, 농진청, 한국환경농학회지)

위 기준으로 수익률을 비교 한 결과, 다음 표와 같다.

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
<ul style="list-style-type: none"> <li>o 증가되는 비용</li> <li>- 35×28cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 12,000립 40,000원</li> <li>- 35×22cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 15,000립 50,000원</li> <li>- 계(A) : 10,000원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 증가되는 이익</li> <li>- 35×28cm 재식밀도: 파종 주수 5,960주 × 635원 = 3,784,600</li> <li>- 35×22cm 재식밀도: 파종 주수 7,200주 × 635원 = 4,572,000</li> <li>- 계(B) : 787,400원</li> </ul>
o 추정수익액(B-A) = (787,400원 - 10,000원) × 0.8(상품수량) = 621,920원/10a	

표50. 재식거리에 따른 수익률 비교

손실적 요소에서 증가되는 비용은 기존 재식 밀도에서 35\*22cm로 변경됨에 따라 10a 당 종자가격의 3,000립, 10,000원 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 증가되는 이익은 35\*22cm 재식밀도 사용 시 787,400원의 이익이 발생하는 것으로 산출된다. 이를 추정수익액에 따라 상품수량을 고려하였을 때 10a 당 621,920원의 이익이 발생한다. 여기서 산출된 추정수익액의 경우 사람의 수작업을 기준으로 산출된 금액이며, 본 연구에서는 두줄 무 수확기를 사용하므로 수확기 구동에 쓰이는 연료, 작업자의 인건비, 수확기의 감가상각비를 고려한 이익 산출이 필요하다.

### 나. 두줄 무 수확기 경제성 평가

두줄 무 수확기의 경제성을 평가하기 위해 성능 시험 기준을 정립하였다. 본 연구에서 개발된 두줄 무 수확기는 1조 승용자주식 수확기로 엔진은 (주)대동의 4B243TLWS 모델(4행정 수냉식 디젤 엔진)을 탑재하였으며, 기체의 주요 제원은 아래 표와 같다.

	항목	사양
규격	전장×전폭×전고	2,300 × 1,710 × 1,430 mm
엔진	형식명	4B243TLWS
	형식	4행정 수냉식 디젤엔진
	출력	44kW(59HP) / 2,600rpm
주행부	속도	5km/h
	바퀴	궤도폭 300mm
	주변속	무단(HST)
	부변속	2단(저속/고속)
	윤거 조절 기능	400mm (최소 1,400 ~ 최대 1,800mm)

표51. 자주식 두줄무 수확기 시작품 주요 제원

두줄 무 수확기 성능시험의 포장 및 운전 조건은 아래와 같이 나타났다.

조건		값
포장 조건	포장작업면적	10a (50 m × 20 m)
	품종	청두(김장 무)
	재배방식	줄 파종
	조건 × 주간	30 × 30 cm
운전 조건	두둑높이	15 cm
	인발높이	10~15 cm
	작업방법	회행법

표52. 포장 조건 및 운전조건

두줄 무 수확기의 작업성능은 아래 식과 같이 농업과학기술 연구조사 분석기준의 농작업기계 포장 성능 산출식을 이용하여 분석하였다.

$$\text{포장작업 능률 } (h/10a) = \left(\frac{50}{v} + t\right) \times \left(\frac{20}{3600 \times b}\right) \dots\dots\dots\text{식 (18)}$$

여기서,  $v$  : 평균 작업속도 (m/s)  
 $t$  : 평균 회행시간 (sec)  
 $b$  : 평균 작업폭 (m)

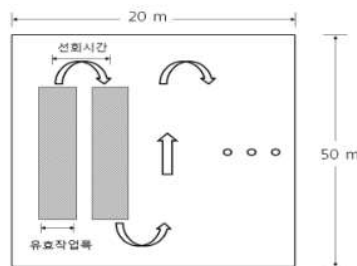


그림91. 포장 작업 방법

무 수확기의 포장작업 능률은 1.2h/10a로 나타났으며, 이때 평균 작업속도는 0.19 m/s로 나타났다.

작물	작업속도(m/s)	작업폭(m)	회행시간(sec)	작업성능(시간/10a)
무	0.19	0.5	81.68	1.20

표53. 무 수확기의 성능치

1조식 무 수확기 대비 두줄 무 수확기 운용에 따른 경제성 분석을 위하여 비용 지출을 고정비와 변동비로 나누어 분석하였다.

- 고정비 : 연간사용시간, 감가상각비, 이자, 수리비
- 변동비 : 연료비, 인건비, 수리비 계수, 운할유비



	항 목	내 용	참 고
고정비	연간 사용시간	317.2시간/년	농업기계 이용실태 및 이용체계 연구(2021, 국립농업과학원)
	감가상각비	내구연수 10년(콤바인)	
		기계 구입가격/내구연수	
	이 자	기계 구입가격의 2.5%	
수리비	기계 구입가 6%	-	
변동비	연료비(경유)	1166.8원/ℓ	오피넷( <a href="http://www.opinet.co.kr">www.opinet.co.kr</a> ), 자동차경유, 세전가, 2024.05월 2주
	인건비 남자	119,550원/일	농업과학기술 경제성분석 기준자료집(2021), 2020년 농업노임
	인건비 여자	85,300원/일	
	운전자 인건비	167,370원/일	트랙터 운전자, 남자 인건비의 1.4배
	수리비 계수	6%	-
	유탄유비	연료비의 30%	-

표54. 고정비 및 변동비 산출 근거

구분	1조식 무 수확기	2조식 두줄 무 수확기
구입가격(원)	45,000,000	60,000,000
내구연수(년)	10	10
①연간 사용시간(시간/년)	317.2	190.32 <sup>1)</sup>
②연간고정비 (원/년)	감가상각비 10%	4,500,000
	수리비 6%	2,700,000
	이 자 2.5%	1,125,000
	소 계	8,325,000
③시간당 고정비(원/시간) = ② ÷ ①	26,245	58,323
④시간당 변동비 (원/시간)	연료비 <sup>2)</sup>	7,690
	인건비 <sup>3)</sup>	50,808
	소 계	58,498
⑤시간당 비용(원/시간) = ③ + ④	84,743	116,821
⑥작업 성능(시간/10a) 소요경비(원/10a) = ⑤ × ⑥	2.0 169,486	1.2 140,185
지수(%)	100	82.71

표55. 자주식 두줄 무 수확기의 경제성 분석

\* 무 수확기의 작업면적 및 이용시간 등을 기반으로 아래와 같이 산출함

1): 두줄 무 수확기 연간 사용시간 = (1조식 연간 사용시간 × (2조식 작업성능 / 1조식 작업성능))

2): 연료비 = (연료소비율 6.59 ℓ/h) × (자동차용 경유 세전가 1,166.8원/ℓ, 오피넷 [www.opinet.co.kr](http://www.opinet.co.kr), 2024년 5월 2주)

3): 인건비(원/시간) = ((남자 119,550원/일 × 2인) + (운전자 167,370원/일 × 1인 = 남자인건비 × 1.4)) / 8시간(2020년 농업노임, 농업과학기술 경제성분석 기준자료집, 2021, 국립농업과학원)

- 경제성 분석 결과 두줄 무 수확기의 소요경비는 140,185원/10a로 무 수확기 비용인 169,486원/10a 대비 약 17.3% 비용을 절감하는 것으로 나타났다.
- 지속적인 무 재배면적 및 생산량의 증가와 국내 발작물 기계화 등을 고려할 때, 향후 자주식 무 수확기의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상되며 이에 따라 한줄 무 수확기 대비 소요 경비 감소 비율은 더 증가할 것으로 예상된다.

## 22) 표준재배양식(안) 실증시험

### 가. 실증시험으로 두 줄 표준재배양식 제시

#### a. 국내 사례 조사 및 분석

- 무는 재배 기술의 발달로 연중 생산이 가능하여 1년 내내 파종·수확하고 있으나, 노지에서 주로 재배되어 기상애 따른 영향을 많이 받고 작형마다 생산량의 변동이 크게 나타남.
- 작형 별 재배 면적을 살펴보면 평년 평균은 봄무가 6,879ha(34.2%), 고랭지무는 1,981ha(9.9%), 가을무는 5,769ha(28.7%), 월동무는 5,477ha(27.2%)를 차지하고 있음.
- 재배 형태별 무 재배 면적은 노지 재배가 20,398ha, 시설 재배가 1,016ha로 약 95%의 무가 노지에서 생산되고 있는 추세임.



노지 여름무 재배



월동무 재배



하우스 재배



터널 재배

- 작형에 따른 지역별 생산 동향을 살펴보면, 봄무는 3~5월에 경남, 전남·북 지방에서 하우스 재배 무가 출하되기 시작하여, 5월 초에서 6월 중순에는 충청, 경기 지역의 하우스 재배 무가 출하되고, 호남지역에서는 터널에서 재배한 무가 출하되고 있음.
- 6월 중순부터 7월 초까지는 경기도 일원에서 노지 재배 형태로 출하되고 있으며, 여름무는 기온이 높은 하절기(7~9월)에 출하되는 무로 고랭지무 라고 하는데, 주산지는 태백, 정선, 평창, 홍천, 인제 등의 강원도 지역이며, 장수, 남원, 무주 등 산간지역에서도 일부 재배되고 있음.
- 가을무는 11월에서 12월에 출하되는 대표적인 무의 작형으로 주산지는 경기, 충청, 호남지역이며, 김장용으로 가장 많이 이용되어, 일명 김장무라고 함.
- 지역별 재배양식을 파악하기 위해 '2021 지역별 농산물 소득자료, 농촌진흥청'을 참고하여 본 연구에서는 국내에서 대표적으로 생산하는 봄무, 가을무, 월동무, 고랭지무의 10a 기준 지역별 생산량을 분석하였다. 분석한 지역별 무 수확량은 아래와 같음.

품목 순위	봄무(kg)	가을무(kg)	월동무(kg)	고랭지무(kg)
1	9,239(전북)	7,427(경북)	7,270(제주)	8,941(경북)
2	5,662(충남)	7,388(전남)	-	7,339(강원)
3	-	5,509(충남)	-	-
4	-	3,942(경기)	-	-
5	-	2,676(강원)	-	-

표56. 지역별 무 수확량, 2021, 지역별 농산물 소득자료, 농촌진흥청

- 현재 국내 생산되는 무의 종류는 봄무, 가을무, 월동무, 고랭지무로 구분하며, 표준 재배양식을 구명하였음.
- 봄 무는 전북의 수확량이 9,239kg으로 충남 5,662kg에 비해 매우 많은 수확량을 보였으며, 가을 무는 경북과 전남의 수확량이 각각 7,427kg, 7,388kg으로 나타났음.
- 제주 is 유일한 월동무 생산지로 7,270kg의 수확량을 보였으며, 고랭지무는 경북이 8,941kg을 생산하여 강원 7,339kg 보다 약 1,600kg 더 많이 생산함. 전반적인 생산량은 경북과 전북 순으로 나타났으며, 표준 재배양식 구명 시 우선으로 고려하였음.
- 전국 지역별 무 재배양식 중 정식, 정식 방법, 이랑너비(cm) 및 재식거리를 조사하였으며, 궤도의 폭을 설정하기 위해서 두둑과 고랑의 폭을 우선적으로 고려함. 조사한 결과에 따르면 전국 주산지 무 재배양식은 아래와 같음.

지역	정식		정식 방법			이랑너비(cm)		재식거리(cm)
	정식 방법	정식인원 (명/10a)	재식 방법	두둑 형태	두둑높이 (cm)	두둑	고랑	
경기도	인력	1.5~2	2열	평 두 둑	20~30	70~200	30~45	28~35*25~35
강원도	인력	2	1열	등근 두 둑	20~30	40~65	20~60	20*25
충청남도	인력	2	2열	평 두 둑	20~30	60	25~30	22~35*22~35
전라북도	인력	2	4열	평 두 둑	15~20	60~150	30~45	35
전라남도	인력	1	1열	등근 두 둑	20~25, 28~30	35~50	20~35	70*25~30, 70*25
경상남도	기계,인력	2~3	1열	등근 두 둑 평 두 둑	25~40	30~100	30	25~30*30~40
제주도	기계,인력	2	1열	등근 두 둑	20	60	-	60*20

표57. 전국 주산지의 무 재배양식

- 무 재배양식 중 두둑 폭과 고랑 폭은 다양하게 나타났으며, 최소값은 각각 30cm, 20cm으로 나타남. 주로 1열, 2열 재식 방법을 사용하며 전라북도에서만 4열 재식을 하는 것으로 조사되었음.
- 봄무 최대 주산지인 전라북도에서는 4열 재식 방법을 사용하며, 평두둑 형태임. 4열로 재식하므로 두둑의 폭이 다른 지역에 비해 넓은 것을 확인할 수 있었음.
- 가을무 최대 주산지인 전라남도에서는 1열 재식 방법을 사용하며, 등근 두둑 형태임. 두둑 폭과 고랑 폭이 다른 지역에 비해 좁은 것이 특징임.
- 고랭지무의 최대 주산지인 강원도에서는 1열 재식 방법을 사용하며, 등근 두둑 형태임. 두둑 폭과 고랑 폭이 다양한 것을 알 수 있음.
- 가을무 재배의 경우, 강원도를 제외한 전국 대부분의 농가가 두 줄 재배를 실시하고 있으며, 두

줄 재배는 외줄 재배에 비해 대체로 단위 면적당 수량이 많고 관리가 편리하다는 장점이 있음.

· 무 100개 수확 기준 한줄 재배 시간은 두줄 재배 시간에 비해 2배 소요되며, 관행 대비 ha 당 195만원의 인건비 절약, 50%의 이상에 노동력 절감 효과가 있으며, 작업시간도 대폭 절감되는 것으로 나타남. ‘가을 무 두줄 재배를 위한 적정 재식거리(2015, 강은선 외, 한국환경농학회지)’ 자료를 참고하였으며, 두줄 무 재배 양식의 이랑 간격은 120cm (두둑 폭 70cm, 고랑 폭 50cm)이며, 파종 거리는 열간 35cm, 주간거리는 22cm임. 위 기준으로 수익률을 비교 한 결과는 아래 표와 같음.

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
o 증가되는 비용 - 35×28cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 12,000립 40,000원 - 35×22cm 재식밀도: 10a 당 종자가격 15,000립 50,000원 - 계(A) : 10,000원	o 증가되는 이익 - 35×28cm 재식밀도: 파종 주수 5,960주 × 635원 = 3,784,600 - 35×22cm 재식밀도: 파종 주수 7,200주 × 635원 = 4,572,000 - 계(B) : 787,400원
o 추정수익액(B-A) = (787,400원 - 10,000원) × 0.8(상품수량) = 621,920원/10a	

표58. 재식거리에 따른 수익률 비교

- 손실적 요소에서 증가되는 비용은 기존 재식 밀도에서 35×22cm로 변경됨에 따라 10a 당 종자 가격의 3,000립, 10,000원 정도 증가하는 것으로 나타났으며, 증가되는 이익은 35×22cm 재식밀도 사용시 787,400원의 이익이 발생하는 것으로 산출되었음.
- 이를 추정수익액에 따라 상품수량을 고려하였을 때 10a 당 621,920원의 이익이 발생함. 여기서 산출된 추정수익액의 경우 사람의 수작업을 기준으로 산출된 금액이며, 본 연구에서는 두줄무 수확기를 사용하므로 수확기 구동에 쓰이는 연료, 작업자의 인건비, 수확기의 감가상각비를 고려한 이익 산출이 필요함.

기존 수작업에서 수확기 이용 시 발생하는 비용	
수작업	수확기
o 인건비 (7~8명)	o 수확기 구입비 o 인건비 (운전1명, 보조1명) o 연료 (디젤) o 수확기 감가상각비

표59. 수확기 이용 시 발생하는 비용

- 표준 재배 양식에 의하면 무 재배 방법은 무 수확 - 앞제거 - 포장작업 - 운송 및 상차작업 순으로 진행되며, 다발무의 작업인 경우 수확과 동시에 시장출하를 목적으로 수확한 무를 5~7개씩 비닐봉지에 담은 후 작업끈으로 묶음. 저장무 작업의 경우 저장 후 출하하기 위해서 수확한 무 앞을 제거하고 밭에 고랑에 무를 여러개 포개고 흙으로 덮어 간이 저장 후 1~2월에 출고함.

무 작업 방법	
다발무	저장무
무 수확 - 앞제거- 포장작업 - 운송 및 상차	
o 시장 출하 목적 o 5~7개씩 묶고 작업끈으로 묶음	o 저장 후 출하 목적 o 무 앞 제거 및 간이 저장 o 간이 저장 후 1~2월 출고

표60. 다발무 및 저장무의 작업 방법

- 상차 작업은 7~8명이 1조로 편성되며, 남자 2명, 여자 6명으로 구성된다. 5톤 트럭 1대기준 다발무 작업시에는 35~40만원 정도 소요되며 톤백 작업시는 20~25만원 정도 소요됨. 작업 면적 및 적재량은 지역마다 다르며, 평균 작업면적은 400 ~ 500평으로 나타나고 다발무 생산량은 1,100~1,400단, 외대무는 3,600개, 마대무는 450마대로 나타남.
- 두줄 무 플랫폼을 이용하여 두줄무 수확 진행 시 기존 7~8명에서 작업자 1명으로 대체 가능하며, 노동력 및 인건비 절감이 가능함. 다발무 작업 기준으로 6명의 인건비인 최대 1일 기준 240만원 절감 효과가 있으며, 한줄 재배에 비해 작업량은 2배, 작업시간은 50% 감소하므로 절감 효과는 더 클 것으로 판단됨. 톤백 작업시에는 최대 1일 기준 175만원의 인건비 절감 효과를 나타냄.

수확기 사용에 따른 인건비용 절감 효과 (다발무 기준)	
수작업	두줄무 수확기
o 인건비 (7~8명) = 240만원 (1일기준)	o 작업자 1명 (40만원)

표61. 수확기 사용에 따른 인건비 절감 효과

### 23) 3차년도 실증시험을 통한 두 줄 재배양식 분석 및 표준안 구명

- 3차년도 두줄무 수확기 시제품을 완성하고, 성능 시험을 아래와 같이 수행하였음.

시 험 일 자	2023년 11월 24일
시 험 장 소	테스트베드(전남 나주시 다시면 가운리 168-5)
시 험 항 목	기초 제원 및 손상률, 손실률, 작업능률 등
시 험 기 준	농기계 검정 방법 및 기준(땅속작물수확기)에 의함
시 험 기 관	한국농업기술진흥원
기 종 명	동력 수확기
형 식 명	HMR2-59
형 식	승용자주형 수집식
규 격	2조

표62. 성능시험, 2023.11.24

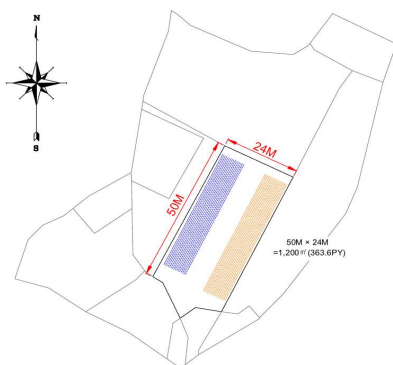


그림92. 성능시험 위치도 및 시험 장면

- 11월 가을무로 성능시험을 진행하기 위해, 경지 정리(8월)와 파종(9월, 품종:청두 무)을 사전에

준비하였으며, 둥근두둑, 두둑높이 30cm, 두둑폭 50cm으로 하였음.

· 성능시험은 농업기계화 촉진법 시행규칙의 제 4조 관련 별표\_농업기계 검정 방법 및 기준에 의해 한국농업기술진흥원의 농기계검정 검사자 입회하에 전남 나주 테스트베드에서 진행하였으며, 전도시험 등은 전북 익산 소재의 한국농업기술진흥원 농기계 검정동에 입고하여 진행하였다.

성능 시험	시험 조건	포장조건	종류	밭	목표	
			두둑형상	둥근두둑		
			두둑높이	15cm		
			두둑폭	50cm		
			조간X주간	(25 X 27)cm, 2조		
		공시작물	품종	청두 무		
			평균중량	1.6kg		
	작업자수			3명(운전1, 선별2)		
	시험 성적	작업정도 시험	평균작업속도	0.21m/s	0.1~0.3m/s 이하	
			손상률	0.3%	5% 미만	
			손실률	2.9%	3% 미만	
		작업능력 시험	평균작업속도	0.19m/s	0.1~0.3m/s	
			포장작업능력	1.2h/10a	2h/10a	
		주행단수(주/부)			무단/2단	무단/2단
		주행속도			1.17m/s	2.0~2.3m/s
		궤도 폭			300mm	300mm
		궤도 조절폭(최대)			400mm	400±10mm
		수평제어 작동 각도			8.7~9.3°	10°
		적재용량			1,000kg	1,000kg

표63. 성능시험 조건 및 성능시험 성적

- 성능시험 결과로, 작업속도는 작업정도 시험평균 0.21m/s, 작업능력 시험 평균 0.19m/s로 측정되었으며, 손상률(0.3%), 손실률(2.9%), 포장작업능력(1.2h/10a), 수평제어 작동 각도(8.7~9.3°) 등 목표치를 달성했으나, 주행속도는 1.17m/s로 목표치인 2.0~2.3m/s를 달성하지 못했다.
- 개발된 수확기는 다단 유압펌프를 통한 유압 동력식으로, 주행속도와 작업속도의 관련성이 크다. 주행속도를 목표치로 만족시키는 설정에서는 손상률과 손실률이 더 커질 것으로 판단하여, 목표치 달성을 위한 개선을 진행하지 못하였다.
- 궤도폭, 궤도 조절폭, 수평제어 작동 각도, 적재용량 시험은 한국농업기술진흥원 농기계 검정동(전북 익산 소재)에 장비 입고 및 검사자 입회 하에 측정을 진행하였다. 그 중, 수평제어 작동 각도는 전도시험실에서 진행하였으며, 적재용량 시험은 적재부에 1ton의 무게를 올려 전도 위험 및 이상여부를 시험하였다.



그림93. 수평제어(전도) 시험(좌) 및 적재용량 시험(우)

24) 개발품의 최종 제원

자주식 두줄 무 수확기 제원		
엔진	형식 및 출력	디젤 59HP (4B243TLWS)
유압구동펌프	P1~P4 (단위: cc)	57.8 / 57.8 / 34 / 21.1
전기구동모터	인발 구동	4EA (24V, 200W, 감속비 50:1)
전장 × 전폭 × 전고 mm		3,250 × 1,710 × 1,403
주행부	주변속	HST+HST / 무단
	부변속	무단변속(RPM제어) / 2단
	궤도 규격(폭)	300mm
	윤거(최소~최대)/윤거조절폭	1,400~1,800mm / 400mm
탑승자	운전자	1명
	보조 작업자	2명
보조장치		인발/이송 크레인/리프트
포장작업능력		1.2h/10a
손실율		2.9%
손상율		0.3%
작업속도		0.19m/s
주행속도		1.17m/s

표64. 개발품의 최종 제원



그림94. 개발품의 실제 사진

## 25) 사업화 계획

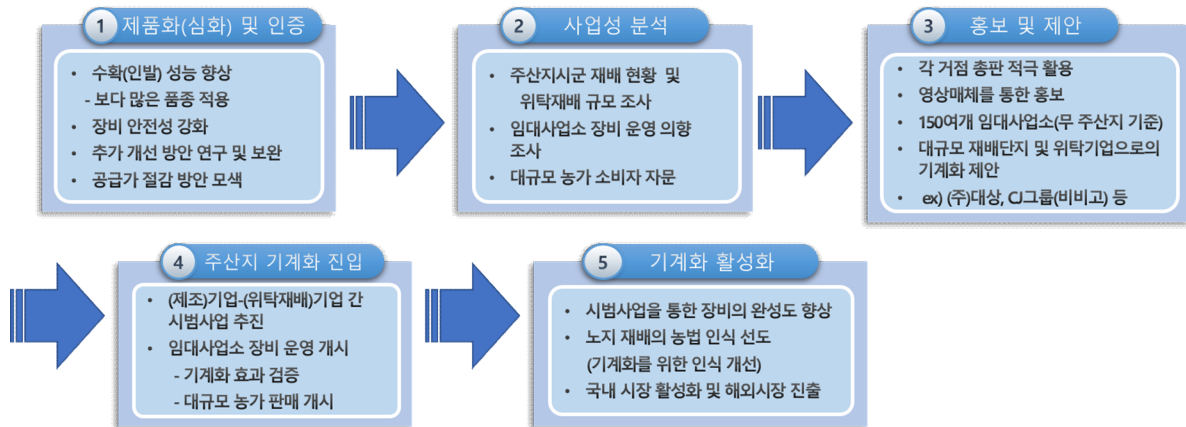


그림95. 사업화 계획

### 가. 기존 기술의 한계 분석 및 기술 개선

종래 다수 개발된 무 수확기 기술이 실용화 되지 못한 원인을 분석한 결과로는 수작업 인건비 대비 장비의 높은 가격, 다양한 품종에 대한 수확 성능 불만족, 장비를 사용함에도 수작업이 필수로 포함 되는 조건에 대한 낮은 장비 신뢰도 등으로 파악된다. 본 연구를 통해 최신화한 경제성 분석 자료를 토대로 살펴보면, 인건비 상승이 높아질수록 기계화의 경제성이 높아진다. 기계화를 위한 제한적 품종(줄기의 질긴 정도가 무의 인발력보다 높은 품종) 제시와 함께, 보다 다양한 품종에 적용 가능한 향상된 수확 성능 연구가 지속적으로 필요하다고 판단하여, 연구과제 종료 이후, 지속적인 자체 연구와 실제 수확기에 수확 성능 테스트, 농가 의견 수렴 등을 계획하고 있다. 또한 기계화 농법으로의 인식 개선·교육을 통해 낮은 장비 신뢰도 문제를 해결하고자 한다.



#### 나. 제품의 성능 및 안전성 · 기술 검증

개발된 장비의 객관적인 성능과 안전성을 검증하기 위해, 2024년 가을 무 수확시기에 맞추어 농기계검정(종합검정, 한국농업기술진흥원(KOAT))을 계획하고 있다. 농기계검정은 조작성의 편이성, 안전성, 제품 목적에 적합한 성능 기준 등을 시험한다.

농기계검정 성적서 획득에 이어, 기술 검증과 판매 촉진 · 홍보를 위한 전략으로 한국산업기술진흥협회(koita)의 신기술인증(NET) 획득을 준비하고 있다.

#### 다. 목표 시장 선정

본 연구과제로 개발된 자주식 두 줄 무 수확기의 목표 시장은 우리나라의 무 재배 주산지인 충남 당진, 전북 고창, 전남 영암, 전북 부안, 전남 나주의 농가 및 농업기술센터 임대사업소이다. 추가로 구매력이 큰 1ha 이상의 대규모 재배지를 운영하고 있는 위탁기업 및 개인농가 역시 목표 시장으로 선정하였다.

#### 라. 시장 진출 및 홍보 전략

각 거점 총판과 퇴비살포기 등 주력 제품으로 다져진 전국 360여개의 농업기술센터 임대사업소로의 높은 인지도를 적극 활용하여, 농업기계 공동활용 정책에 부합하는 농업기술센터 임대사업소로의 수확기 판매를 통해 시장을 확장해 나갈 것이다.

유튜브 등 영상매체를 통한 홍보로 구매 문의 등을 유도하고 있으며, 실제로 제품에 대한 문의가 이어지고 있다. 위탁 재배 업체의 문의로 2023년 6월, 11월경 수확기 시연을 진행했으며, 매년 수확시기에 적절한 재배지를 섭외하여 실증 테스트를 진행함과 동시에 홍보를 진행하고 있다.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

---

###### (1) 기술적 측면

- ⊙ 발작물 수확 분야의 낮은 기계화율 향상과 국내 기술력 확보
- ⊙ 지속적인 개선을 통한 발작물 수확기 분야의 기술력 향상
- ⊙ 수입장비의 국내 잠식 대응
- ⊙ 농업인의 작업 환경 개선을 통한 농업 종사자의 증가에 기대

###### (2) 경제적·산업적 측면

- ⊙ 노동력(인건비) 절감 및 가격 경쟁력 확보로 농가 소득 향상에 기여
- ⊙ 발작물 수확 시기의 인력난 해소
- ⊙ 임대사업소 등 농업기계 공동활용 정책에 부합하는 수확기 보급으로 농가활용성 극대화
- ⊙ 위탁재배 추세인 무·배추 분야의 기계화 선두
- ⊙ 국내 재배규모의 감소율 저하 효과 및 수입 무의 비중 억제

###### (3) 사회·문화적 측면

- ⊙ 현대에는 직접 김장의 규모가 점점 감소되고 있으며, 판매 김치의 품질이 나쁘지 않은 인식으로 판매 김치의 소비량이 증가되는 추세이다. 김치 생산·판매 업체의 경우는 농가의 경우 보다 수확기의 사용 가능성이 클 것으로 기대되며, 생산·판매 시장이 활성화될수록 무 수확의 기계화율은 더욱 증가할 것으로 보인다.
-

(2) 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 백만원)

성과지표명		연도	1단계 (2021)	1단계 (2022)	2단계 (2023)	총료 1~5차년	계	가중치 (%)
연구개발과제 특성 반영 지표 <sup>2)</sup>	특허출원	목표(단계별)	1	1	-	-	2	10
		실적(누적)	1	1	-	-	2	10
	특허등록	목표(단계별)	-	1	1	-	2	10
		실적(누적)	-	1	1	-	2	10
	기술이전	목표(단계별)	-	-	1	-	1	10
		실적(누적)	-	1	-	-	1	10
	기술료	목표(단계별)	-	-	12.558	-	12.558	10
		실적(누적)	-	-	12.558	-	12.558	10
	제품화	목표(단계별)	-	-	1	-	1	10
		실적(누적)	-	-	-	-	-	-
	매출액	목표(단계별)	-	-	-	4,020	4,020	10
		실적(누적)	-	-	-	-	-	-
	고용창출	목표(단계별)	1	-	-	2	3	10
		실적(누적)	1	1	1	-	3	10
	논문SCI	목표(단계별)	-	-	1	-	1	-
		실적(누적)	-	-	1	-	1	-
	논문비SCI	목표(단계별)	-	-	1	-	1	-
		실적(누적)	-	-	2	-	2	-
	학술발표	목표(단계별)	1	1	1	-	3	10
		실적(누적)	1	1	1	-	3	10
교육지도	목표(단계별)	-	1	1	-	2	10	
	실적(누적)	-	1	1	-	2	10	
홍보전시	목표(단계별)	-	-	1	-	1	10	
	실적(누적)	-	-	1	-	1	10	
계	목표(단계별)	3	4	8	2	17	100	
	실적(누적)	3	6	8	-	18	80	

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준 (보유국/보유기관)	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치 (3차년도)	달성치	성능평가 기준
포장작업능력	hr/10a	20	2~4 (일본/Yanmar)	2~4	2 이하	1.2	땅속작물수확기 검정기준
수확 손실율	%	20	3 일본/ Yanmar	3	3 이하	2.9	땅속작물수확기 검정기준
손상률	%	20	3(일본/Yanmar)	5	5 이하	0.3	땅속작물수확기 검정기준
윤거조절폭 (최대)	mm	5	400mm±10mm	310m	400mm±10mm	400	-
궤도 폭	mm	5	500	차륜식	300	300	-
주행속도	m/s	5	2.7	2.3	2.0~2.3	1.17	-
주행단수	단	5	주변속 無 부변속 3	주변속 無 부변속 2	주변속 無 부변속 2	주변속 無 부변속 2	-
작업속도	m/s	5	0.1~0.3 (일본/Yanmar)	0.1~0.3	0.1~0.3	0.21	땅속작물수확기 검정기준
적재용량	kg	5	800	1,000	1,000	1,000	-
수평제어 작동각도	°	5	15 이하	-	10 이하	8.7~9.3	-
동력전달시물 레이션 정확도	%	5	90	70	90	79.0	-

### (3) 세부 정량적 연구개발성과

#### [과학적 성과]

##### 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	농업용트랙터 ROPS 시험의 신뢰성 향상을 위한 측정불확도 추정	Journal of Drive and Control	임류갑	20(1)	대한민국	유공압건설기계학회	비SCIE	2023.03	2671-7972	100
2	무-배추 수확 작업을 위한 다목적 주행플랫폼 개발	Journal of Drive and Control	이해나	20(3)	대한민국	유공압건설기계학회	비SCIE	2023.08	2671-7972	100
3	Performance Evaluation of a Virtual Test Model of the Frame-Type ROPS for Agricultural Tractors Using FEA	agriculture	임류갑	13(10)	스위스	MDPI	SCIE	2023.10	2077-0472	100

##### 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년 추계공동학술대회 (자주식 두 줄 무 수확기 동력전달부 시뮬레이션 모델 개발에 관한 연구)	강영선	2021-10-29	소노벨 제주	대한민국
2	드라이브.컨트롤 2022 춘계학술대회 (67kW급 콤바인의 수확작업시 배출량 산출에 관한 연구)	이준호	2022-06-30	전남대학교 여주캠퍼스 산학연구원 부산항	대한민국
3	Performance Evaluation of APS Controller for Reducing Fuel Consumption during Rotary Tillage	Md. Abu Ayub Siddique	2023-10-20	국제전시컨벤션센터 (BPEX)	대한민국

##### 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

##### 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

##### 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

#### [기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	윤거조절장치를 구비한 두 줄 무 수확기	대한민국	주식회사 에이치엠씨	2021-12-22	10-2021-0185384		주식회사 에이치엠씨	2022-08-29	10-2439036		
2	무 수확기의 리프팅 장치	대한민국	주식회사 에이치엠씨	2022.07.04	10-2022-0081678		주식회사 에이치엠씨	2023-01-12	10-2489321		

##### ○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 <sup>1)</sup>	인증여부 <sup>2)</sup>	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 <sup>3)</sup>	제안/인증일자

- \* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 <sup>1)</sup>	표준명	표준기구명 <sup>2)</sup>	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 <sup>3)</sup>	제안자	표준화 번호	제안일자

- \* 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- \* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 <sup>1)</sup>	사업화 형태 <sup>2)</sup>	지역 <sup>3)</sup>	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- \* 1) 기술이전 또는 자기실시
- \* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- \* 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		자주식 두줄 무 수확기 개발			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1			
	소요예산(천원)	-			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		-	720,000	108,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내	25%	36%
국외			-	-	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출	-	162,600(달러)	162,600(달러)	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2023년	2023년	
1	두줄무수확기	(주)에이치엠씨	1	2	1	4
합계			1	2	1	4

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	5
		생산인력	23
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	27

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	두 줄 무 수확기 플랫폼 관련 현장 지도	2022.11.01	(주)에이치엠씨 충남대학교	(주)에이치엠씨 광주공장	3
2	두 줄 무 수확기 플랫폼 시연 및 필드 테스트	2023.10.24	(주)에이치엠씨 충남대학교	(주)에이치엠씨 광주공장/ 시험지	3

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황													
			학위별				성별		지역별							
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타			

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	현장 교육	-	발작물 수확기계화 현장실무(두줄무)	23.11.15

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

\* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

---



---

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

---




---



# 농업기계 성능시험 성적서

<div style="text-align: center;">  <p><b>농업기계 성능시험 성적서</b></p> </div> <p>1. 신청인 가. 신청 : 이리온 나. 사람과 동력원(농인동력원) : 412-91-40179(08551-0030198) 다. 주소 : 전라남도 나주시 다지면 문당길 59 라. 상호 : 무지화사 에이지엔씨</p> <p>2. 시험용도의 배합 가. 기종명 : 동력수확기 나. 형식명 : R22-50 다. 형식 및 규격 : 농용기구용 수확기, 50</p> <p>3. 시험번호 : 22-00179-415</p> <p>4. 시험장적 : 불발</p> <p style="font-size: small;">*합동농업기술진흥원 공식시험장 및 제1규격, 제2, 제3규격에 따라 시험 신청한 기계에 대한 성능시험 성적서입니다.</p> <p style="text-align: right;">2023년 12월 11일</p> <p style="text-align: center;">한국농업기술진흥원의 </p>	<div style="text-align: center;">  <p><b>시험 성적</b></p> </div> <p>1. 기종명 : 동력수확기 2. 시험번호 : 22-00179-415 3. 형식명 : R22-50 4. 형식 : 농용기구용 수확기 5. 규격 : 50 6. 시험장적</p> <p>6.1. 성능시험 6.1.1. 작업용도시험 시험조건 - 표토조건 - 경운 - 토목 - 토목이 - 토목이 - 표토+무인 - 동시작업 - 경운 - 경운+양 - 작업자 수 시험장적 - 평면작업속도 - 작업률 - 유출량 6.1.2. 작업농도시험 시험조건 - 표토조건 시험장적 - 평면작업속도 - 표토작업농도 - 표토작업농도</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">2-1</p>	<div style="text-align: center;">  <p><b>시험결과</b></p> </div> <p>6.1.3. 최고주행속도시험 시험조건 - 시험장적 - 시험의 종류 - 주행단수 시험장적 - 최고주행속도</p> <p>7. 시험결과 개요 본 기종은 무인 또는 유인이 아닌 자동 운전용 동력수확기로, 운전농은 0.2톤, 유출량은 0.2톤, 표토작업농도는 1.2톤/10a, 최고주행속도는 1.17 m/s로 나타났다.</p> <p>8. 시험결과 본 시험장적은 「농기(별첨) 및 유인(별첨), 제2, 제3규격에 따라 시험 신청한 기계에 대한 성능시험 성적서임을 증명합니다.</p> <p style="text-align: center;">2-2</p>
--	--	--

## 포장작업능력/손실을/손상을/주행속도/주행단수/작업속도

 <p><b>궤도폭/윤거조절폭</b></p>	 <p><b>적재용량</b></p>	 <p><b>수평제어각도</b></p>
--	---	---



**Performance Evaluation of a Virtual Test Model of the Frame-Type ROPS for Agricultural Tractors Using EDA**

Byung-Guk Kim<sup>1)</sup>, Seung-Hwan Kim<sup>2)</sup>, Sang-Pil Cho<sup>3)</sup>, and Ahn-Kook Yeh<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>3)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>4)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea

**Keywords:** Agricultural tractor, ROPS, virtual test model, EDA

**Abstract:** This study conducted a virtual test model of a frame-type ROPS (Roll-Over Protective Structure) for agricultural tractors using EDA (Evolutionary Design Automation) software. The ROPS structure was modeled and analyzed using finite element analysis (FEA) to evaluate its structural performance under various loading conditions. The results showed that the ROPS structure could withstand the required load capacity and maintain its structural integrity during a rollover event. The virtual test model was validated by comparing the results with those of a physical test model. The study concludes that the virtual test model is an effective tool for evaluating the structural performance of ROPS structures and can be used to optimize the design of ROPS structures for agricultural tractors.

**Measurement Uncertainty Calculation for Improving Test Reliability of Agricultural Tractor ROPS Test**

Byung-Guk Kim<sup>1)</sup>, Sang-Pil Cho<sup>2)</sup>, and Ahn-Kook Yeh<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>3)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea

**Keywords:** Agricultural tractor, ROPS test, measurement uncertainty, test reliability

**Abstract:** This study conducted a measurement uncertainty analysis for the ROPS test of agricultural tractors. The uncertainty analysis was performed using the Monte Carlo method to evaluate the impact of various input variables on the output of the ROPS test. The results showed that the measurement uncertainty was significantly reduced by improving the test reliability of the input variables. The study concludes that the measurement uncertainty analysis is an effective tool for improving the test reliability of the ROPS test and can be used to optimize the test procedure for agricultural tractors.

**Development of a Multi-Purpose Driving Platform for Radish and Chinese Cabbage Harvester**

Byung-Guk Kim<sup>1)</sup>, Sang-Pil Cho<sup>2)</sup>, and Ahn-Kook Yeh<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>2)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea  
<sup>3)</sup> Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, P.O. Box 700, Daegu 702-701, Korea

**Keywords:** Multi-purpose driving platform, Radish harvester, Chinese cabbage harvester

**Abstract:** This study developed a multi-purpose driving platform for radish and Chinese cabbage harvesters. The platform was designed to be compact, maneuverable, and easy to operate. It was tested in the field to evaluate its performance and usability. The results showed that the platform could be used for both radish and Chinese cabbage harvesting and was well-received by the operators. The study concludes that the multi-purpose driving platform is a promising tool for improving the efficiency and productivity of radish and Chinese cabbage harvesting.

**SCI 논문 1건 (23)**

**비SCI 논문 2건 (23)**

**비SCI 논문 2건 (23)**

**교육지도 1건 (23)**

**교육지도**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

**교육지도 2건 (23)**

**교육지도**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

**교육지도 2건 (23)**

**교육지도**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

**교육지도 2건 (22, 23)**

**교육지도**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

**학술대회 3건 (21, 22, 23)**

**학술대회**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

**학술대회 3건 (21, 22, 23)**

**학술대회**

1. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

2. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

3. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

4. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

5. 양분 및 수분 관리 (2022년 11월 14일)

## 2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계	○발작물 수확기 전용 주행 플랫폼 설계	100
○실증시험을 위한 테스트베드 준비	○실증시험을 위한 테스트베드 준비	100
○두줄 무 수확시스템 개발	○두줄 무 수확시스템 개발	100
○동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 및 분석	○동력전달부 시뮬레이션 모델 개발 및 분석	100
○무 재배의 표준양식 현황 분석	○무 재배의 표준양식 현황 분석	100
○주행 플랫폼 제작 및 구동성능 확인	○주행 플랫폼 제작 및 구동성능 확인	100
○동력부 및 인발부, 이송부 제작&구동성능 확인	○동력부 및 인발부, 이송부 제작&구동성능 확인	100
○인발부, 이송부의 전동모터 구동 방식 검토	○인발부, 이송부의 전동모터 구동 방식 검토	100
○테스트베드를 활용한 품종별 특성 연구	○테스트베드를 활용한 품종별 특성 연구	100
○최적화된 구굴부 설계 및 개발	○최적화된 구굴부 설계 및 개발	100
○시뮬레이션 모델을 통한 동력전달부 분석	○시뮬레이션 모델을 통한 동력전달부 분석	100
○실증시험 데이터 확보를 위한 계측 시스템 개발	○실증시험 데이터 확보를 위한 계측 시스템 개발	100
○무 수확의 현황 및 기계화 경제성 분석	○무 수확의 현황 및 기계화 경제성 분석	100
○두줄 무 재배 양식의 경제성 조사	○두줄 무 재배 양식의 경제성 조사	100
○성능시험을 통한 개선 설계 및 보완	○성능시험을 통한 개선 설계 및 보완	100
○인발 성능 최적화	○인발 성능 최적화	100
○현장 실증 시험 및 성능평가	○현장 실증 시험 및 성능평가	100
○시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가	○시뮬레이션 모델 검증 및 성능평가	100
○기계화에 따른 경제성 분석	○기계화에 따른 경제성 분석	100
○실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명	○실증시험을 통한 두줄 무 재배양식 표준안 규명	100

## 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

제품화 실적 미달의 원인으로 ①관행농법으로 경작·파종된 재배지, ②농가별로 다양한 품종의 무 재배 등으로 파악했다. ①의 경우 고랑의 폭이 상이한 경우에는 운거조절 기능으로 대응이 가능하나, 재배지의 변두리(기계화 최초 진입 구간)의 사전 수작업이 필요한 불편함 등이 이유가 되며, ②의 경우에는 줄기의 질긴 정도가 인발력을 앞서지 못한 경우에는 수확 성능이 현저히 떨어짐을 확인했다.

이에 수확 작업에 기계화를 적용하더라도, 일부 수작업이 필요함을 수요자에게 인식시킬 필요가 있으며, 보다 다양한 품종에 대응하고자 수확 성능 향상을 위한 개선을 마친 후 제품화를 하고자 한다.

### 2) 자체 보완활동

보다 높은 수준의 제품을 출시하고 싶은 목표로, 2024년 가을 수확시기에 맞추어 농기계 검정 및 신기술인증(NET) 획득을 계획하고 지속적인 연구·개선을 진행하고 있음.

### 3) 연구개발 과정의 성실성

-

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

### (1) 기술적 측면

- ⊙ 발작물 수확 분야의 낮은 기계화율 향상과 국내 기술력 확보
- ⊙ 지속적인 개선을 통한 발작물 수확기 분야의 기술력 향상
- ⊙ 수입장비의 국내 잠식 대응
- ⊙ 농업인의 작업 환경 개선을 통한 농업 종사자의 증가에 기대

### (2) 경제적·산업적 측면

- ⊙ 노동력(인건비) 절감 및 가격 경쟁력 확보로 농가 소득 향상에 기여
- ⊙ 발작물 수확 시기의 인력난 해소
- ⊙ 임대사업소 등 농업기계 공동활용 정책에 부합하는 수확기 보급으로 농가활용성 극대화
- ⊙ 위탁재배 추세인 무·배추 분야의 기계화 선두
- ⊙ 국내 재배규모의 감소율 저하 효과 및 수입 무의 비중 억제

### (3) 사회·문화적 측면

- ⊙ 현대에는 직접 김장의 규모가 점점 감소되고 있으며, 판매 김치의 품질이 나쁘지 않은 인식으로 판매 김치의 소비량이 증가되는 추세이다. 김치 생산·판매 업체의 경우는 농가의 경우보다 수확기의 사용 가능성이 클 것으로 기대되며, 생산·판매 시장이 활성화될수록 무 수확의 기계화율은 더욱 증가할 것으로 보인다.

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	-	
	비SCIE	-	
	계	-	
국내논문	SCIE	-	
	비SCIE	-	
	계	-	
특허출원	국내	-	
	국외	-	
	계	-	
특허등록	국내	-	
	국외	-	
	계	-	
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. 공통 요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 연구부정행위 예방 확인서

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호		821053-03	
사업구분	기술사업화지원사업				
연구분야	농업 생산 기계			과제구분	단위
사업명	민간중심 R&D 사업화사업				주관
총괄과제	-			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	자주식 두 줄 무수확기의 개발			과제유형	(기초,응용, <b>개발</b> )
연구개발기관	㈜에이치엠씨			연구책임자	이리중
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	9개월	219,000	37,230	256,230
	2차년도	12개월	292,000	49,640	341,640
	3차년도	12개월	292,000	49,640	341,640
	계	2년9개월	803,000	136,510	939,510
참여기업	전남대학교 산학협력단, 충남대학교 산학협력단, 사단법인한국농업기계화정책연구원				
상대국	-		상대국연구개발기관	-	

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 24.02.29

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
㈜에이치엠씨	대표이사	이리중

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 이리중

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

확약	이리중(인)
----	--------

## 자체평가의견서

### 1. 과제현황

		과제번호		821053-03	
사업구분	기술사업화지원사업				
연구분야	농업 생산 기계			과제구분	단위
사업명	민간중심 R&D 사업화사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	자주식 두 줄 무수확기의 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구개발기관	(주)에이치엠씨			연구책임자	이리중
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	9개월	219,000	37,230	256,230
	2차년도	12개월	292,000	49,640	341,640
	3차년도	12개월	292,000	49,640	341,640
	계	2년9개월	803,000	136,510	939,510
참여기업	전남대학교산학협력단, 충남대학교산학협력단, 한국농업기계화정책연구원				
상대국	-	상대국연구개발기관		-	

\* 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 24.02.29

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)에이치엠씨	대표이사	이리중

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 이리중

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

확약	이리중 
----	---



[별첨 2]

## 연구성과 활용계획서

### 1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	농업기계
연구과제명	자주식 두줄무 수확기의 개발			
주관연구개발기관	(주)에이치엠씨		주관연구책임자	이리중
연구개발비 (천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	803,000	136,510	-	939,510
연구개발기간	2021.04.01. ~ 2023.12.31			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(사업화)			

### 2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
자주식 두 줄 무 수확기의 개발	수확기 플랫폼,인발 구성품 완료로 최종 두줄무 수확기 개발 완료
두줄무 주행플랫폼 설계&개발	주행플랫폼 설계안 도출완료, 플랫폼 시제품 개발 완료
두줄무 인발부 설계&개발	인발 수확부,이송컨베이어,크레인 적용 설계 및 개발 완료
동력 시뮬레이션 해석&시스템 설계	동력 시뮬레이션을 통한 엔진 선정 및 주요 부품 도출적용 완료
수확 시스템 최적화 및 설계변경	수확 인발부 설계 및 최적화를 위한 구조 변경 도면 설계 및 개발 완료
현장 실증을 통한 성능평가	현장 실증을 통한 포장작업능률외 정량적 목표항목에 대한 테스트 및 시험성적서 발급 완료

### 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 (타연구 활용등)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문	S C I			비 S C I	논 문 평 균 I F		학 술 발 표
											건				건	건			건	
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10	10	-	-	10	10	10	10	-	10	-	-	-	10	10	-	-	10	-	
최종 목표	2	2	-	-	1	12,558	1	4,020	-	3	-	-	1	1	-	3	2	-	1	-
당해 년도 실적	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	1	-
달성률 (%)	100	100	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-	100	100	-	100	100	-	100	-

[별첨 2]

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	두줄 무 수확기 주행 플랫폼 개발
②	두줄무 수확기 인발부 개발

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술복제	외국기술소화·흡수	외국기술개선·개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장으로해결	정책자료	기타
두줄 무 수확기 주행플랫폼 개발					√	√				
두줄 무 인발부 설계&개발					√	√				

\* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제품의 고품질화를 위한 자체적 연구개발 지속 계획</li> <li>· 자주식 무 수확기 개발을 통해 발작물 수확 분야의 기계화를 상승</li> </ul>
②의 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 투입 노동력 절감, 농업인의 노동강도 완화, 농가소득향상 기대</li> <li>· 연구과제 수행 중 획득한 기술력을 기초로 다양한 발작물 수확 분야에 적용</li> </ul>

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용액)(이)
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	SCI	비SCI	논문평판I-F			학술발표	정책활용	
단위	건	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	10	10	-	-	10	10	10	10	-	10	-	-	-	10	10	-	-	10	-	
최종목표	2	2	-	-	1	12,558	1	4,020	-	3	-	-	1	2	-	3	2	-	1	-
연구기간내 달성실적	2	2	-	-	1	-	-	-	-	3	-	-	1	2	-	3	2	-	1	-
연구종료후 성과창출 계획	-	-	-	-	-	12,558	1	4,020	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

210mm×297mm[(백상지(80g/m<sup>2</sup>) 또는 중질지(80g/m<sup>2</sup>)]



## 연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	√	
	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	√	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	√	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	√	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	√	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	√	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	√	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	√	
부당한 중복 계재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	√	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	√	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : (주)에이치엠씨

점검자 : 이 리 중 (서명)

농림식품기술기획평가원장 귀하

210mm×297mm[(백상지(80g/m<sup>2</sup>) 또는 중질지(80g/m<sup>2</sup>)]

## 연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	√	
변조	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	√	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	√	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	√	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	√	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	√	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	√	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	√	
부당한 중복 게재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	√	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	√	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : (주)에이치엠씨

점검자 : 이 리 중



농림식품기술기획평가원장 귀하

210mm×297mm[(백삼지(80g/m<sup>2</sup>) 또는 중질지(80g/m<sup>2</sup>)]

### 주 의

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