

(옆면)

(앞면)

3210
64-2

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
첨단농기계산업화기술개발사업 2022년도 최종보고서 (건고딕 13p)

발간등록번호

11-1543000-004321-01

(건고딕31p)

45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발

45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발

(건고딕 14p)

2022
(건고딕13p)

2022.12.31

(건고딕15p)

주관연구기관 / (주)불스

협동연구기관 / 국립농업과학원

협동연구기관 / 경북대학교 산학협력단

(건고딕 15.5p)

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

(건고딕 17p)

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발”(개발기간 : 2021. 04. 01 - 2022. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 12. 31.

주관연구기관명 : (주)블스 (대표자) 남 영 조 (인)
협동연구기관명 : 농촌진흥청 국립농업과학원 (대표자) 이 승 돈 (인)
협동연구기관명 : 경북대학교 산학협력단 (대표자) 공 성 호 (인)



주관연구책임자 : 권 승 귀
협동연구책임자 : 문 석 표
협동연구책임자 : 하 유 신

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	5
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	7
2-1. 연구개발의 최종목표	7
2-2. 연차별 개발목표	7
2-3. 연구개발과제 수행 내용	8
1) 자주형 수집기 Concept design	8
2) 자주형 마늘 수집기 개념 설계 및 핵심 요소 기술 개발	8
3) 벤치마킹 기대 구입 및 시스템 분석	9
4) 마늘에 대한 물성 조사, 기술자료 및 문헌 조사 분석	13
5) 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 평가(OWAS, REBA, RULA)	16
6) 주산지의 토양 물성(토성, 함수율, Cone Index 등) 측정 및 분석	17
7) 선행 연구 개발의 문제점 분석	18
8) 마늘 주산지 수확 방법 및 재배양식 조사	18
9) 주행부 및 수집부 Layout 상세 설계	19
10) 전자 유압미션 제어 알고리즘 개발	20
11) 차체 전후좌우 수평제어 알고리즘 개발	22
12) Proto 부품 개발 및 조립	23
13) 차체 동력전달시스템 구성	24
14) 유압장치 메커니즘 및 회로분석	25
15) 동력전달부 소요동력 분석	26
16) 수집 선별 장치 개념 설계에 대한 입자 거동 해석 및 분석(Rocky-DEM)	27
17) 마늘 수집기 테스트베드 구축	29
18) 소프트웨어를 이용한 동역학해석(RecurDyn)	32
19) 수집, 선별, 이송 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시	30
20) 최적 설계 결과를 반영한 자주식 마늘 수집기 개선품 제작	31
21) 시험 및 평가	32
22) 마늘수집기 수집부 요인시험	33
23) 마늘 수집기 테스트베드 구축 및 포장성능 평가	33
24) 승용 자주식 마늘 수집기 포장성능평가	35
25) Sample기의 수집, 이송, 선별에 대한 필드 시험 및 분석	37
26) 수집 및 이송, 선별부 해석 모델 개발 및 계측 데이터 비교 분석	39
27) 시험 평가 문제점을 개선한 자주형 수집기 Pilot 설계	39
28) 자주식 마늘 수집기 안정성 평가	40
29) 자주식 마늘 수집기 최종사양 실증 시험 및 검인증	41
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	43
1) 연구수행 결과	43
1) 마늘에 대한 물성조사, 기술자료 및 문헌 조사 분석	43
2) 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 평가 (OWAS, REBA, RULA)	46
3) 주산지의 토양 물성(토성, 함수율, Cone Index 등) 측정 및 분석	53
4) 선행 연구 개발의 문제점 분석	56
5) 수집부 Layout 및 주행부 Matching 설계	58
6) 전자유압미션제어 알고리즘 개발	59
7) 차체 전후좌우 수평제어 알고리즘 개발	60
8) Proto 부품 개발 및 조립	61
9) 수집 선별 장치 개념 설계에 대한 입자 거동 해석 및 분석(Rocky-DEM)	62

10) 소프트웨어를 이용한 동역학해석(RecurDyn).....	68
11) 수집, 선별 이송 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시.....	72
12) 최적설계 결과를 반영한 자주식 마늘 수집기 제작 및 사업화 준비.....	73
13) Proto 부품 개발 및 조립.....	86
14) 시험 및 평가.....	87
15) 마늘수집기 수집부 요인시험.....	90
16) 마늘 수집기 테스트베드 구축 및 포장성능 평가.....	91
17) 승용 자주식 마늘 수집기 포장성능평가.....	92
18) Sample기의 수집, 이송 선별에 대한 필드 시험 및 분석.....	93
19) 수집, 이송 선별부 해석 모델 개발 및 계측 데이터 비교 분석.....	95
20) 시험 평가 문제점을 개선한 자주형 수집기 Pilot 설계.....	97
21) 자주식 마늘 수집기 안정성 평가.....	102
22) 자주식 마늘 수집기 최종사양 실증 시험 및 검인증.....	103
23) 사업화 준비.....	109
(1) 정성적 연구개발성과.....	110
(2) 정량적 연구개발성과.....	111
1) 정량적 연구개발성과표.....	111
가) 성과지표.....	111
2) 특허출원 (3건).....	112
가) 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치.....	112
나) 뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치.....	113
다) 차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기.....	114
3) 학술 발표 (6건).....	115
가) 2021 한국농기계학회 추계공동학술대회.....	115
나) 2021 한국농기계학회 춘계공동학술대회.....	116
다) 2022 한국농기계학회 춘계공동학술대회.....	117
라) 2022 한국농기계학회 추계공동학술대회.....	118
마) 2022 한국농기계학회 추계공동학술대회.....	119
바) The XX CIGR World Congress 2022.....	120
4) 게재 논문 (4건).....	121
가) Precision Agriculture Science and Technology.....	121
나) Journal of the Ergonomics Society of Korea.....	122
다) Precision Agriculture Science and Technology.....	123
라) Journal of the Korea Academia-Industrial.....	124
(3) 세부 정량적 연구개발성과.....	125
[과학적 성과].....	125
[기술적 성과].....	127
[경제적 성과].....	130
[사회적 성과].....	132
[인프라 성과].....	135
2) 목표 달성 수준.....	136
4. 목표 미달시 원인분석.....	136
1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용.....	136
2) 자체 보완활동.....	136
3) 연구개발 과정의 성실성.....	138
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도.....	138
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획.....	138
별첨 자료.....	140

1. 연구개발과제의 개요

- 1) 쌀값 수급 안정 기조에 따른 수도작 재배면적 감소와 밭작물 자급률 향상을 위한 논 타 작물 전환 지원 사업이 추진됨에 따라 양파·마늘·고추 등 양념채소 등의 재배 면적은 증가되고 있으나 관련 재배 기계화율과 수확 작업 기계화율은 미흡한 실정이다(2018년 마늘 재배 기계화율 58.6%, 수확 작업 기계화율 36.7%).
- 2) 국내 마늘 재배 면적이 전년도보다 감소되었고(2020년: 25,376ha, 2019년: 27,689ha), 마늘 생산량 또한 1990년 417천 톤, 2015년 266천 톤으로 37%가 감소하였다.

표. 연도별 마늘 재배 면적

[단위:ha]

연도	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
재배 면적	25,062	20,638	20,758	24,864	28,351	27,689	25,376



그림. 연도별 마늘 재배면적 및 가격 추이

(출처: 통계청 보도자료)

표. 마늘 생산량

구분		2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
비중(%)	난지형	78.5	77	77.8	78.9	78.9	76.9
	한지형	21.5	23	22.2	21.1	21.1	23.1
단수 (kg/10a)	난지형	1,314	1,358	1,306	1,518	1,539	1,408
	한지형	838	790	825	981	936	896
	계	1,212	1,227	1,199	1,405	1,412	1,290
생산량(천 톤)		272	295	339	412	354	266

출처 : 농촌경제연구원(<http://www.krei.re.kr>), 「농업전망 2016」

- 3) 국내 마늘 대비 가격이 싼 외국 수입 마늘이 전체 생산량의 22.6%에 해당되어 이에 대한 대책이 요구된다(국가별 마늘 수입량: 중국이 99.9%를 점유하고 있고, 일부 태국, 미국, 인도 등에서 미미한 양이 수입되고 있음.).

표. 2015년 국가별 수입 실적

국가	순위	수입량(톤)	수입액(\$)	수입 비중(%)
중국	1	60,092	68,269,843	99.9
태국	2	29	35,649	
미국	3	7.6	135,657	
인도	4	0.5	1,025	
기타	5	0.4	1,709	
합계		60,129	68,443,883	100

출처 : 농수산물유통공사 농수산물수출지원정보(<http://www.kati.net>)

4) 2017년 마늘 실질 생산비는 10a(300평당) 300만 8,000원으로 전년과 비슷했고, 10a당 소득도 실질생산비와 비슷한 수준을 보이고 있다. 10a당 종묘비는 71만 9,000원, 노동비는 157만 9,000원으로 52.5%를 차지한다(출처 : 서귀포신문(<http://www.seogwipo.co.kr>)).

5) 농가 및 농가 인구는 고령에 따른 농업 포기, 전업 등으로 인해 지속적으로 감소하고 있다.

가) 농가인구(천명) : (' 00) 4,031명(8.6%) → (' 10) 3,063(6.3%) → (' 19) 2,245(4.3%)

나) 65세 이상 농가 비율(%) : (' 98) 19.6 → (' 18) 42.9 → (' 19) 43.3 → (' 28) 52.3추정

(출처 : 농기계연감, 2019)

6) 마늘은 수확 15 ~ 20일 전에 줄기 절단 작업을 하고, 이후 트랙터 부착형 땅속 작물 수확기로 굴취 후 노지에서 건조과정을 지내며, 또한 노지에서 건조된 마늘은 대부분 인력에 의한 수집 과정을 거치게 되는데, 이 수집 과정에서 지나친 노동력이 투입되어 생산성 저하 원인이 된다고 볼 수 있다(마늘 생산·수확 과정: 파종-줄기 절단-굴취 및 수확-노지 건조-수집-건조-선별 및 포장-저장).



그림 2. 트랙터 부착 마늘 굴취 및 인력 수확 장면

7) 근래 마늘, 양파 재배 주산지를 중심으로 트랙터 부착형 및 자주형 일관 작업기로 수확·수집을 동시에 하는 범용형 수확기가 선보이기도 하였으나, 수집 후 별도의 건조 작업을 해야 하거나, 선별이 제대로 되지 않는 문제점 등이 발생되었다. 또한 고령·여성이 운전 조작을 하기는 매우 불편하여 작업 피로도 증가로 안전사고에 노출되어 있다.

8) 앞으로 계속 상승하는 인건비(인력 확보가 어려움)와 외국의 값싼 마늘 유입에 대응하기 위해서는 수집 전용기 도입에 의한 생산비를 절감하는 것이 요구된다.

9) 편안하고 안정적인 작업을 할 수 있는 기체 수평제어 장치, 승용차 감각으로 핸들을 돌린 만큼 부드러운 선회에서 신속한 선회까지 가능한 시스템 등이 접목되어 재배환경 및 포장상황에 따라 줄기 처리 후 수확 작업이 가능한 마늘 수집기 개발이 필요하다.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1. 연구개발의 최종목표

본 연구의 최종목표는 굴취된 마늘을 수집 및 이송, 선별, 수납 작업 등 일관 작업이 가능하고 차체 수평제어와 Handle형 주행 제어가 가능한 Crawler type 마늘 수집기 개발로 설정하였다. 목표를 달성하기 위하여 주산지별 두둑 및 재배양식을 조사하여 마늘 수집기 설계에 활용하였다. 개발된 1차 시작기의 필드 실증을 통하여 발견한 문제점을 보완하여 2차 시작기를 거쳐 최종 모델을 개발하였다. 또한 언론 및 홍보전시 기반 사업화를 통하여 마늘 수집기 보급을 원활히 하여 마늘 산업 경쟁력 확보를 이루고자 한다.

2-2. 연차별 개발목표

연차별 연구개발 목표는 아래 표와 같이 진행하였다.

연차	목 표
1차년도 (2020)	1) 자주형 수집기 Concept design
	2) 자주형 마늘 수집기 개념 설계 및 핵심 요소 기술 개발
	3) 벤치마킹 기대 구입 및 시스템 분석
	4) 마늘에 대한 물성조사, 기술자료 및 문헌 조사 분석
	5) 주산지 토양 물성 (토성, 함수율, Cone Index 등) 측정 및 분석
	6) 선행 연구 개발의 문제점 분석
	7) 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 평가(OWAS, REBA, RULA)
	8) 마늘 주산지 수확 방법 및 재배양식 조사
	9) 주행부 및 수집부 Layout 상세 설계
	10) 전자 유압미션 제어 알고리즘 개발
	11) 차체 전후좌우 수평제어 알고리즘 개발
	12) Proto 부품 개발 및 조립
	13) Proto 주요부품 시험 평가 및 보고서 작성
	14) 차체 동력전달시스템 구설
	15) 유압장치 메커니즘 및 유압회로와 동력전달부 소요동력 분석
	16) 수집 선별 장치 개념 설계에 대한 입자 거동 해석 및 분석 (Rocky-Dem)
2차년도 (2021)	1) 마늘 수집기 테스트베드 구축 및 요인시험별 시험포 설계
	2) 소프트웨어를 이용한 동역학 해석(RecurDyn)
	3) 수집·선별 이송 시스템 요인시험 (이송 체인 각도에 따른 체인 속도 연관성 분석 등)
	4) 최적 설계 결과를 반영한 자주식 마늘 수집기 개선품 제작
	5) 시험 및 평가
	6) Sample기의 수집·이송 선별에 대한 필드 시험 및 분석
	7) 수집 및 이송 선별부 해석 모델 개발 및 계측 데이터 비교 분석
	8) 시험 평가 문제점을 개선한 자주형 수집기 Pilot 설계 및 조립
	9) 자주식 마늘 수집기 안정성 평가
	10) 자주식 마늘 수집기 최종 사양 실증 시험 및 검인증
	11) 사업화 준비
최 종	굴취된 마늘 수집, 선별, 이송, 수납 등 일관 작업 가능한 차체 수평제어 및 Handle형 주행 제어 Crawler type 마늘 수집기 개발 제품개발 및 사업화를 통한 MS 50% 달성

2-3. 연구개발과제 수행 내용

1) 자주형 수집기 Concept design

가) 시장 및 기술동향 조사

- 국내 주요 땅속작물수확기 취급 회사인 하다와 구보다는 땅속에 있는 마늘을 굴취하여 토양 표면으로 유도하는 기계를 보급하고 있다.



그림. 타사 땅속작물(마늘) 수확기 (하다, 구보다)

나) 특허전략수립 및 출원

- 기존에 등록된 특허의 경우, 굴취와 동시에 마늘을 수집하는 단계로써, 기계 손상을 통한 자가치유(큐어링)를 고려하지 않은 수집 방식이기에 굴취가 진행된 후 충분한 건조 및 자가치유된 마늘을 수집하는 전략으로 진행할 것이다. 또한, 자주식 마늘 수확기의 경우 전방에 운전석이 탑재되어 있다. 해당 연구의 마늘 수집기 운전석은 넓은 시야 확보를 통한 원활한 두둑 진입을 위하여 측면에 탑재될 것이다.

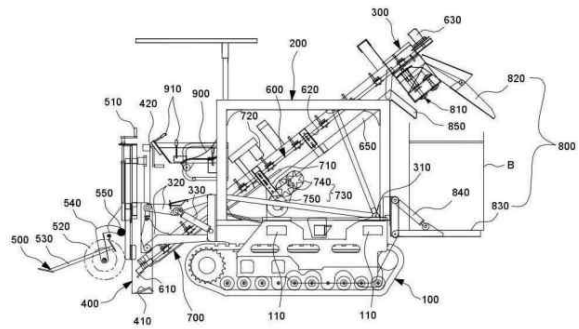
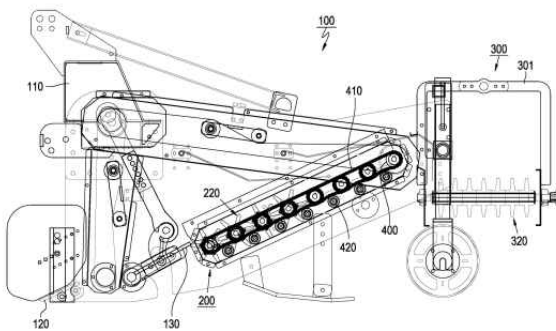


그림. 마늘 수확 관련 특허 동향 (원 : 땅속작물 수확기, 오 : 자주식 인발형 마늘 수확기)

2) 자주형 마늘 수집기 개념 설계 및 핵심 요소 기술 개발

가) 예상 목표사양 설정

- 엔진 출력 45kW 이하로 탑재하되 10a 농가 적용을 위하여 선회반경을 최소로 설계될 예정이다. 선회반경은 1.5m 이하로 설계될 예정이다. 전방 수집부는 마늘의 크기를 고려하여 최대 5cm 이하 마늘 수집이 가능한 체인 롤러 컨베이어 간격이 설계될 것이다.

3) 벤치마킹 기대 구입 및 시스템 분석

가) 벤치마킹 기대 제원

Maker		YANMAR	KUBOTA	비고
형식명		HP101T	KOP-1000	
사진				
용도		수집기	수집기	
전장(mm)	작업시	2,335	2,670	
전폭(mm)	이동시	2,330	3,160	
전고(mm)	작업시	1,625	1,690	
중량(kg)		467	563	
엔진출력(ps/rpm)		3.1/1,800	가솔린 4.2/2,000	
주행속도(m/s)			1 저속 : 0.15, 고 : 0.32 2 저속 : 0.31, 고 : 0.71	
크롤러	폭x접지장(mm)	110x1,046	150x963	
	트레이드(mm)	1,270	1,350	
	접지압(kPA)(kgf/cm ²)	19.9	19.7(0.2)	
주요사항		YANMAR	KUBOTA	
최저지상고(mm)			285	
변속방식		기어 미션식	유단 기어 변속식	
변속단수		전진 2단, 후진 1단	전진 4단, 후진 2단	
선회방식		사이드클러치식	사이드클러치	
주차브레이크			有(주행클러치 연동)	
수집부	선단 측면부(mm)		1,030	
	컨베이어 방식	체인컨베이어 방식	체인 바 컨베이어 방식	
	컨베이어 폭(mm)		920	
	수집폭 (mm)	790	840	
	수집방식	평행링크회전식	직선궤적타원운동	
흙 파쇄·수납	흙 파쇄 방식		요동·진동봉 방식	
	경x깊이x취부피치(mm)		≦ 18x300x60	
	회전수(rpm)		380	
	컨테이너 공급방식		연속투입·반자동배출방식	
	대기컨테이너 수(개)		상시 3	
	공 컨테이너 적재량(개)	45	30	
작업능력(분/10a)		120~150	90~180(90분은 0.3m/s 저속시)	

나) 기대 조사
 - 각부 회전수 조사

부위	스프릿 잇수 (PCD)	저속		고속		비고
		회전수(rpm)	선속도(m/s)	회전수(rpm)	선속도(m/s)	
Main	?	30.8		60.3		
롤	31T	15.3		29.2		
수집컨베이어	굴취부 10T	30.5		60.3		
이송컨베이어	?	85.1		171.4		

- 벤치마킹 기대 조사 사진



이송 러그 횡 방향 피치



이송 러그 길이



수집부 체인핀 사양



이송 러그 종 방향 피치

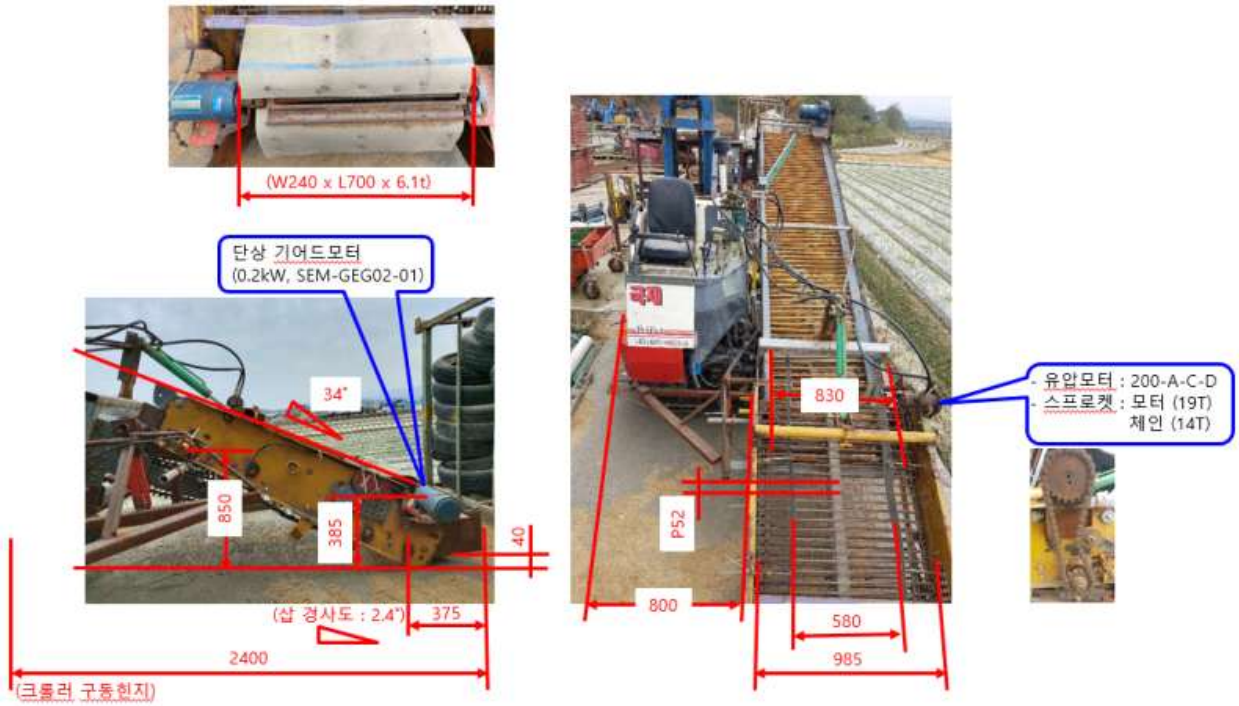


수집~이송부 합류 가이드

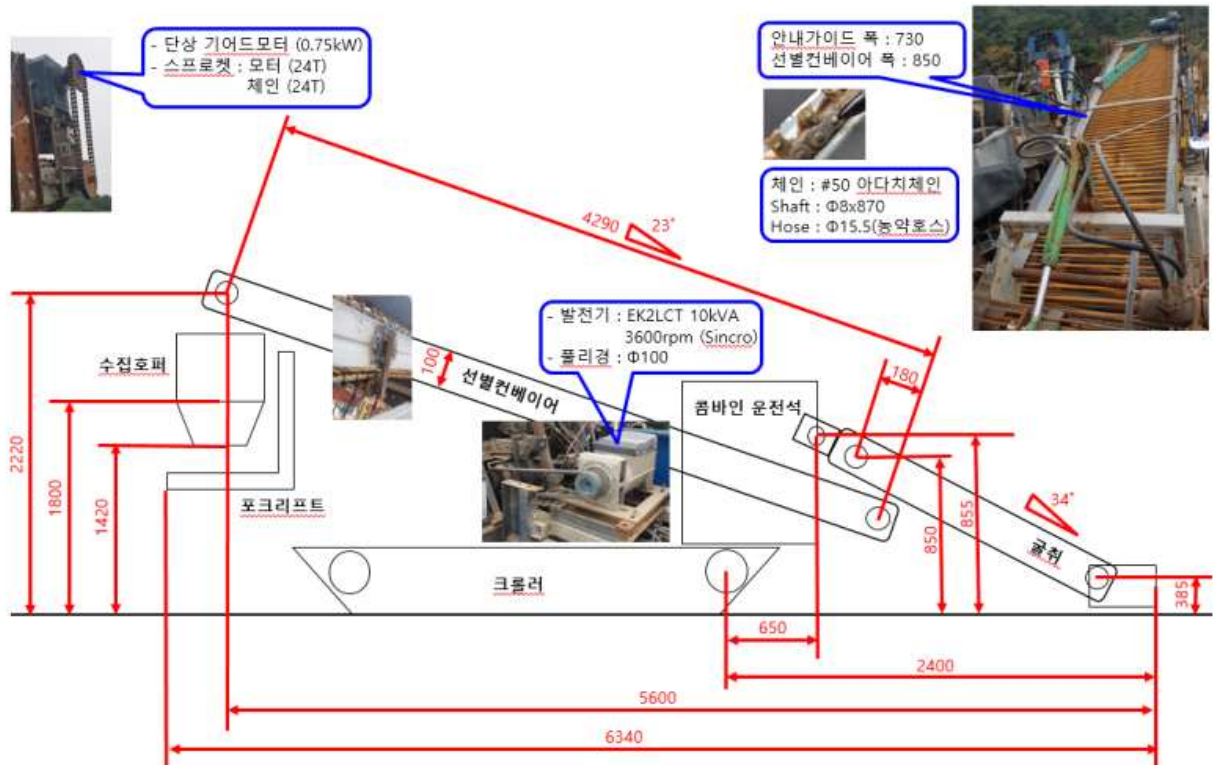


양파 수집 작업

- 유사기계 조사



각부 제원 조사



각부 제원 조사

- 유사기계 조사 및 미팅 내용

No	미팅 내용		비고
2	양파 수집기	<p>국제 KC575P를 활용한 수집기 (sample 초도품)</p> <p>1. 가장 큰 문제점 발생 1) 굴취부가 땅에 박혀 있을 때 선회를 하려고 해도 선회가 되지 않는다. → 현 구조로 선회만 되면 좋겠다 → 스틱 레버대신 Handle로 미세 제어 되면 좋겠다</p> <p>2. 동력 전달계통 구조 1) 엔진은 주행 동력만 사용하고 있음 2) 동력 전달계통 - 엔진은 주행부 및 10kW 발전기 구동 - 작업부 구동 : 10kW 발전기 → DC모터 → 각부 회전 구동 → DC모터 → 기어박스 구동 → 유압장치 구동</p> <p>3) 수집부는 지게차 구조를 모방 함(톤백 상하차 용도) → 수집은 톤백 추세임</p> <p>5) 끝단부는 진동 흔들체 방식 도입</p>	<p>1. 굴취부가 미션을 중심으로 전방으로 돌출되는 양이 많음</p> <p>2. 굴취 각도가 완만함</p> <p>3. 굴취 실린더가 상부에 있어 작동시 불리</p> <p>4. 대안 1) 굴취날 또는 Pick up부를 미션에 가깝게 Lay-out 설계 2) 굴취 실린더 고정은 하단으로 3) 굴취부에 깊이 조절 보조품 장착 검토</p>



4) 마늘에 대한 물성 조사, 기술자료 및 문헌 조사 분석

가) 마늘 수확 및 건조

- 마늘의 초기 무게를 측정하여 기록한 후 초기 무게를 측정한 마늘을 농산물 열풍 건조기 (SN-110, 신농, Korea)에 건조한다. 건조가 완료된 마늘의 무게를 전자저울(PAG4102, Ohaus, USA)로 측정하여 초기 무게 대비 나중 무게에 대하여 함수율을 식(1)에 적용하여 구한다.

$$Mw = \frac{W_w}{W_w + W_d} \dots\dots\dots (1)$$

where, Mw = Wet-basis moisture content

W_w = The weight of water among the ingredients

W_d = The weight of dry ingredients

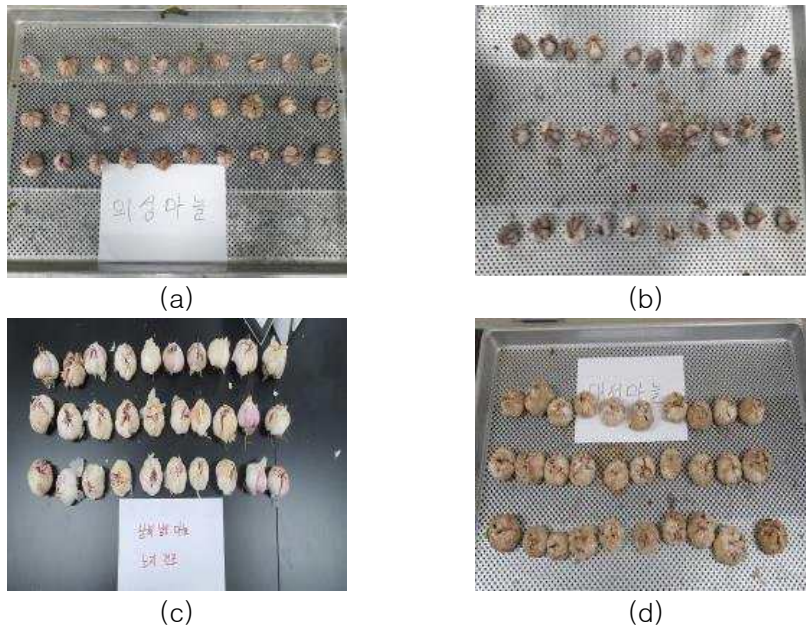


그림. 품종별 마늘 건조: (a) 의성, (b) 단양, (c) 남도, and (d) 대서

나) 마늘 크기별 기준

- 수집 직전 품종별 마늘의 크기를 줄자 및 버니어 캘리퍼스를 사용하여 직접 측정하여 사이즈를 기록하였으며, 크기를 기준으로 수집 직전 품종별 마늘 30구의 크기를 호칭하였다. 마늘의 크기는 국립농산물품질관리원의 구분 방법에 의거하여 측정한다.

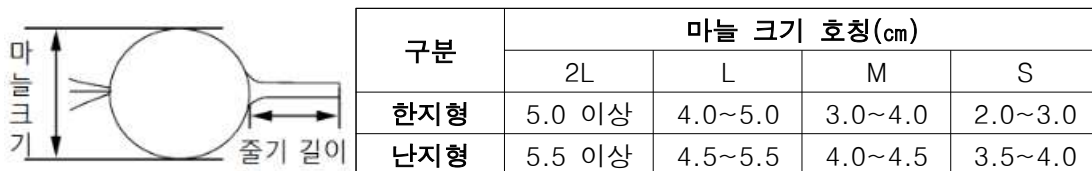


그림. 마늘 크기별 구분

다) 주요 마늘 품종 특성

- 물성 조사 마늘의 생태형을 한지형, 난지형으로 선택하였다. 한지형 마늘은 의성 지역 의성 품종, 단양 지역 단양 품종을 선택하였으며, 난지형 마늘은 남해 지역 남도 품종, 창녕 지역 대서 품종을 선택하였다. 품종별 마늘의 물성은 기하학적 특성과 기계적 특성, 생물학적 특성으로 구분하여 측정하였다. 기하학적 특성으로 무게, 길이, 폭, 낱알의 수, 기계적 특성으로 포아송비, 탄성계수, 응력, 정마찰계수, 생물학적 특성으로 함수율을 측정하였다.



그림. 마늘 무게, 길이, 폭, 부피, 밀도 측정

- 압축인장기 (LTCM-100-EU, Chatillon, USA)을 이용하여 시험판에 올려져 있는 마늘에 대하여 100N의 압축력을 가해준 후 마늘의 압축 전·후 이미지를 촬영한다. 촬영한 이미지는 ImageJ 프로그램 (Image 1.80_172, National Institutes of Health and The Laboratory for Optical and Computational Instrumentation, USA)을 활용하여 이미지 스케일링 작업을 통하여 변형률을 측정하였다.

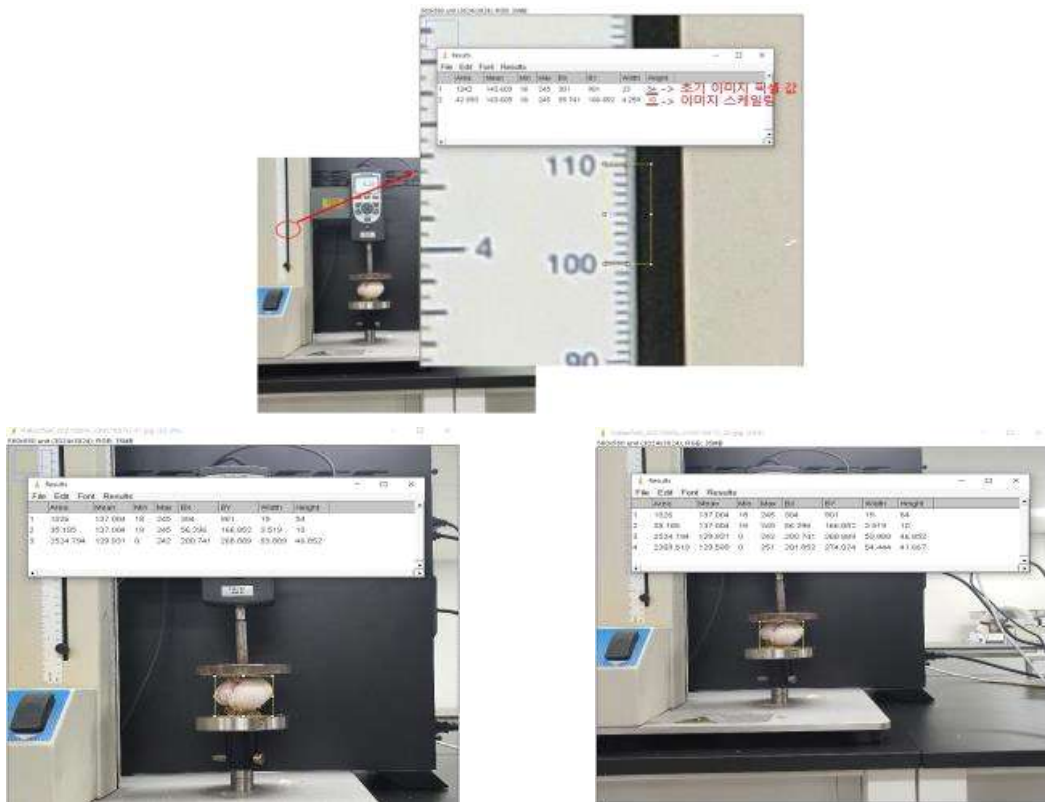


그림. 이미지 스케일링 프로그램을 활용한 압축 전·후 마늘 크기 변화 측정

- 이미지 스케일링을 이용한 마늘의 변형률은 포아송비 공식에 적용하여 품종별 마늘의 포아송비를 측정하였다. 포아송비 공식 식 (2)과 같다. 마늘의 변형량과 압축력을 헤르츠의 접촉이론 공식에 적용하여 품종별 마늘의 탄성계수를 측정하였다. 헤르츠 접촉이론 공식은 식 (3)와 같으며 농산물 물성인 식 (4)과 종합하여 유도식 (5)를 도출하였다.

$$\mu = \frac{\epsilon'}{\epsilon} \dots\dots (2)$$

where, μ = Poisson's ratio
 ϵ = Longitudinal Strain of garlic
 ϵ' = Transverse Strain of garlic

$$\alpha = 0.8255K_1^{2/3}\left(\frac{F^2}{R_1}\right) \dots\dots (3)$$

$$K_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1} \dots\dots (4)$$

where, α = Strain of garlic [mm]
 K_1 = Physical properties of garlic [m^2/N]
 F = Force on garlic [N]
 R_1 = Radius of garlic (= ial radius the creasing direction)

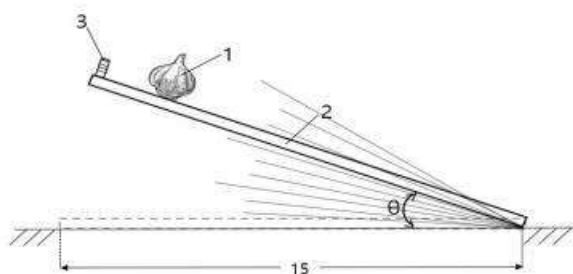
$$E = \frac{0.8255^{3/2} F(1-\mu^2)}{\alpha^{3/2} * R^{1/2}} \dots\dots (5)$$

where, E = Modulus of elasticity of garlic

- 마늘의 정마찰계수는 시험판 재료별로 정지한 마늘이 시험판 한쪽을 일정한 속도로 상승시켜 최초로 운동을 시작한 각도를 활용하여 정마찰계수를 측정하였다. 재료는 농업기계 재료로 가장 많이 사용되는 재료인 플라스틱, 알루미늄 철, 스테인리스를 선택하였다. 정마찰계수 공식은 식 (6)와 같고 그 방법은 그림과 같다.

$$\mu_s = \tan\theta \dots\dots (6)$$

where, μ_s = Static friction coefficient of garlic
 $\tan\theta$ = Tangent value using the \angle at which the garlic first moved



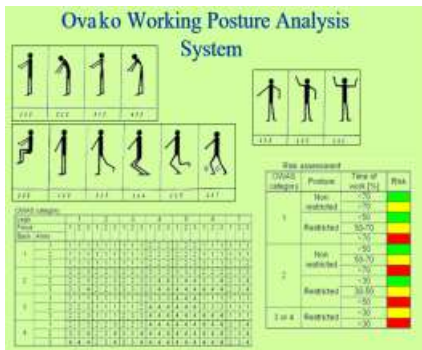
1. Garlic sample
 2. Friction materials
 3. Upward guidance stick
- θ = The angle at which the garlic first moved

그림. 품종별 정마찰계수 측정법

5) 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 평가 (OWAS, REBA, RULA)

가) 작업분석 평가도구를 통한 건조된 마늘 수집 시 작업자 신체에 작업 부담을 평가

- 작업분석 평가도구를 통한 수확 작업을 진행하는 작업자 신체에 작업 부담을 평가하였다. 평가 기준에 의거 마늘 수확 작업에 대하여 줄기절단, 인발, 수집, 운반으로 분류하였다. 분류된 작업 단계별로 주산지 농가를 대상으로 방문하여 조사하였다.



작업 자세 수준	평가 내용
AC 1	근골격계에 해를 끼치지 않음 작업 자세에 조치 필요하지 않음
AC 2	근골격계에 약간의 해를 끼침 작업 자세의 교정이 필요함
AC 3	근골격계에 직접적인 해를 끼침 이른 시일 내에 작업 자세 교정일 요구
AC 4	근골격계에 매우 심각한 해를 끼침 적극적인 작업 자세의 교정 요구

그림. OWAS 평가도구를 통한 작업부담 평가



조치 단계	REBA 점수	위험 단계	조치 (추가정보조사포함)
0	1	문제 없음	필요 없음
1	2~3	낮음	요구 시 필요
2	4~7	보통	필요함
3	8~10	높음	곧 필요함
4	11~15	매우 높음	즉시 필요함

그림. REBA 평가도구를 통한 작업부담 평가



Final Score	수준	설명
1	1	작업이 오랫동안 지속적, 반복적으로 행해지지 않는다면 작업 자세에 문제없음
2		
3		
4	2	작업 자세에 대한 추가적인 조사 필요 작업 자세의 변경이 요구됨
5		
6	3	조사 및 작업 자세 변경이 이른 시일 내에 필요
7		
7	4	조사와 작업 자세 변경이 즉시 필요

그림. RULA 평가도구를 통한 작업부담 평가

6) 주산지의 토양 물성(토성, 함수율, Cone Index 등) 측정 및 분석

- 마늘수집기 개발을 위하여 마늘수집기가 이동 시 토양에 의한 이동부 부하 해석이 필요하다. 뿐만 아니라 수집 작업 시 마늘과 함께 부착되어 올라오는 토양 이물질 분석이 요구된다. 이에 주산지별 토양을 직접 측정 및 공인인증 업체에 입도, 용적밀도, 토성의 항목을 의뢰하여 성분분석 성적서를 발행하였으며 이를 통하여 토양 물성을 분석한다.



그림. 주산지별 재배 토양 Cone Index 측정



그림. 주산지별 재배 토양 함수율 측정

7) 선행 연구 개발의 문제점 분석

- 마늘 수집에 있어 기존에 활용되는 땅속 작물 수확기 및 트랙터 부착형 수확기 양파, 감자 일관 작업이 가능한 자주식 수확기 수집형 마늘 수확기를 대상으로 한 선행연구를 실시하였다.

8) 마늘 주산지 수확 방법 및 재배양식 조사

가) 마늘 주산지 중심 재배양식, 경사도, 토양조건 및 수확 실태 조사

- 관행 재배양식은 난지형, 한지형 마늘 재배 주산지인 무안, 의성 등 6개 지역 농가 포장의 두둑 폭, 조간 및 주간거리 등을 조사하였다.

표. 주산지별 마늘 관행 재배양식

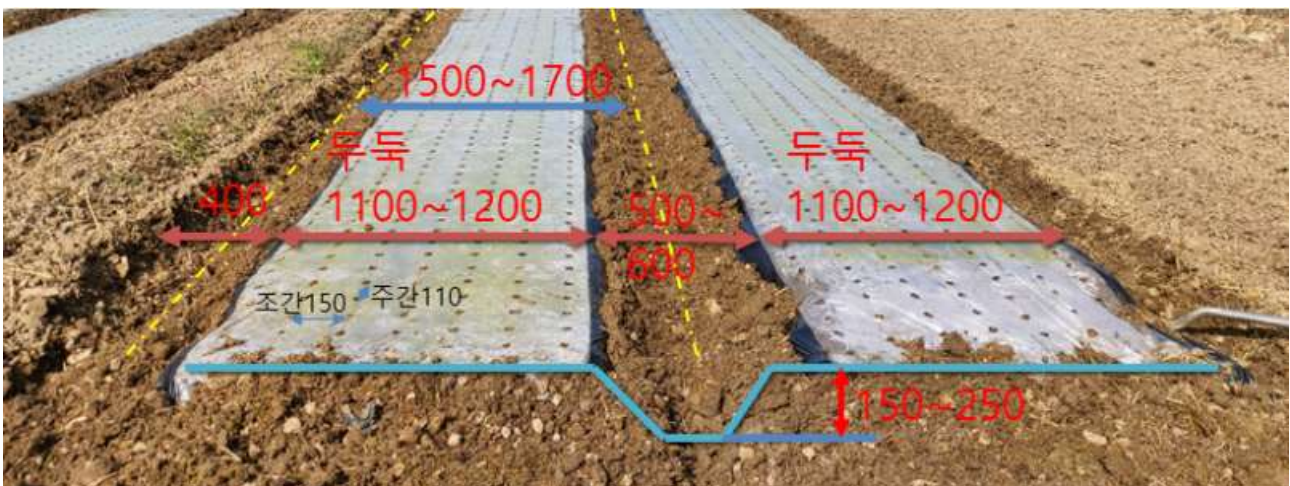
주산지	두둑폭(cm)	고랑폭(cm)	조간(cm)	주간(cm)	비고
무안	120	40	12	15	난지형
남해	150	40	10	20	난지형
고흥	150	40	20	10	난지형
의성	300	30	14~20	9~13	한지형
서산	150	30	20~25	5~8	한지형
단양	100~180	20~40	10~20	5~10	한지형

* 참고 : 농촌진흥청 보고서, 농사로

나) 양파/마늘 땅속 작물 수확 작업

- 수확 작업 시 두둑이 이랑 편측 기준으로 250~300mm 무너져 1,700~1,800mm로 변경된다.
- 양파/마늘 수집 작업 시 수집기 폭이 1,000~1,200mm일 때 추가로 두둑을 무너트려 두둑 폭이 1,700~1,800mm이상 추정된다.

다) 창녕군 마늘 비닐 피복 사양 조사



- 마늘 두둑 성형 조사(2021.10.15.)

* 장소 : 창녕군 이방리 장기 사거리.

* 비닐 규격(mm) : 7공(150x110), 1공~7공 거리 : 900, 폭 : 1,500.

* 두둑 폭(mm) : 1,100~1,200.

* 이랑 폭 x 높이(mm) : 500(거친 흙) ~ 600(고운 흙) x (150고운 흙) ~ 250(거친 흙)
(고운 흙 : 이랑 흙이 무너져 폭이 넓어지고, 두둑 높이가 낮아짐).

라) 난지형, 한지형 마늘 대상 재배양식 조사를 통한 시작기 설계기준 도출

- 마늘수집기의 차폭을 결정하기 위하여 마늘 재배농가 두둑 규격을 조사한 결과 비닐 폭은 1,500mm, 두둑 폭은 1,100~1,200mm, 이랑 폭은 500~600mm, 이랑 높이는 150~250mm로 조사되었다. 수확 작업 시 두둑이 이랑 편측 기준으로 250~300mm 무너져 1,700~1,800mm로 변경되는 점을 감안하여 마늘 수집 작업 시 수집기 폭이 1,000~1,200mm으로 설정하고 추가로 변형폭을 반영하여 두둑 폭 1,700~1,800mm이상의 규격으로 재배양식을 설정해야 되는 것으로 판단되었다.

마) 마늘 수집기 선행연구 조사

- 마늘 수집기 이송부 속도 및 롤러의 회전속도에 따라 마늘 충격량이 달라질 수 있어 수확품질을 개선하기 위한 적정 작업조건 구명이 선행되어야함이 연구사례로 분석된 바 있으며(Lee et al., 2017, Kim et al., 2018, Choi et al., 2019), 이에 따라 포장에서의 마늘 품종, 주행속도, 이송 속도 등에 따른 필드 요인시험을 통한 성능 분석이 요구된다.

9) 주행부 및 수집부 Layout 상세 설계

가) 국내 및 선진 메이커 시스템 비교 분석

주요 항목		사양				볼스(안)
엔진	Maker	국제종합기계㈜ 국제디젤엔진 LINE-UP				국제
	출력(ps/rpm) Emission : - Tier3 : 가격이 저렴하나 구입이 난이 할 수 있음 - Tier4 : 가격이 고가					A2300시리즈 60ps급 선정
미션	유압모터식 	작업속도 : 1속 0~0.55m/s 2속 0~1.1m/s	선회 Mode - 소프트턴 - 브레이크턴 - 스피턴	운전 조작 : - 스틱 레버 - 핸들	- 유압모터 구입 제약이 없음 - 조작 및 제어 : 1안) 기계식(저가) 2안) 전자식(고가)	X
	HST 기계식 	저속 0~0.9m/s 표준 0~1.6m/s 주행 0~2.5m/s	- 소프트턴 - 브레이크턴	- 스틱 레버	- 조작 및 제어가 간단 - 가격이 전자 유압식보다 저렴	△
	HST 전자 유압식 	저속 0~0.9m/s 표준 0~1.6m/s 주행 0~2.5m/s	- 소프트턴 - 브레이크턴 - 스피턴	- 스틱 레버 - 핸들	- 조작 및 제어 : 전자 유압 제어 - 가격이 고가 - 엔진 60ps급	O (과제 연동)

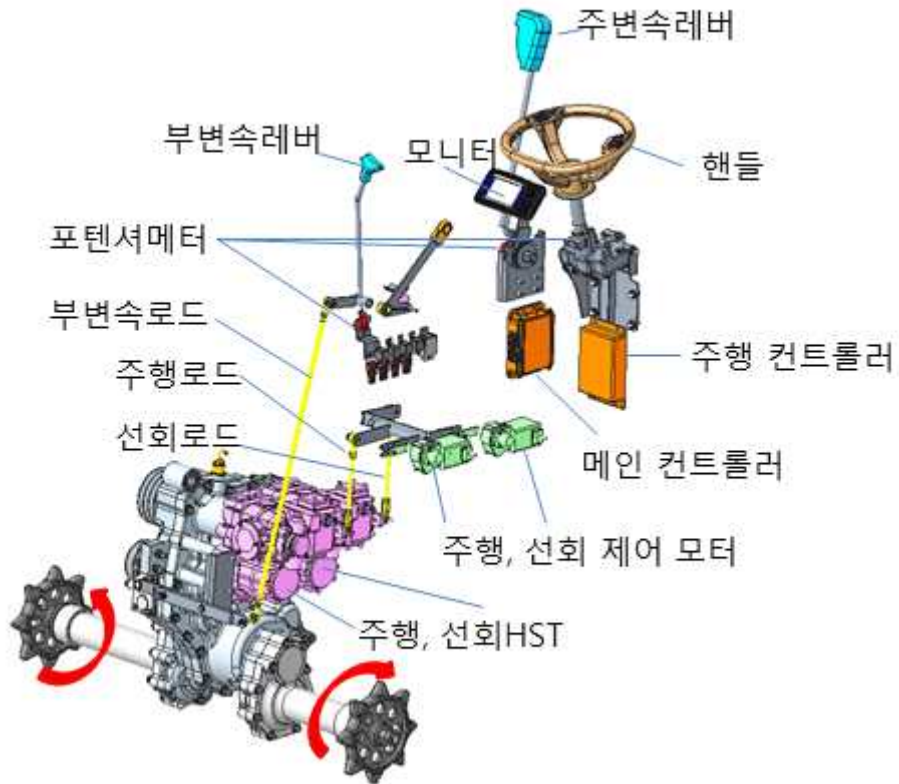
나) 수집, 이송, 선별부 회전수 선정

10) 전자 유압미션 제어 알고리즘 개발

가) 유압미션 assy 구성 및 제어 센서류, H/W, S/W 개발

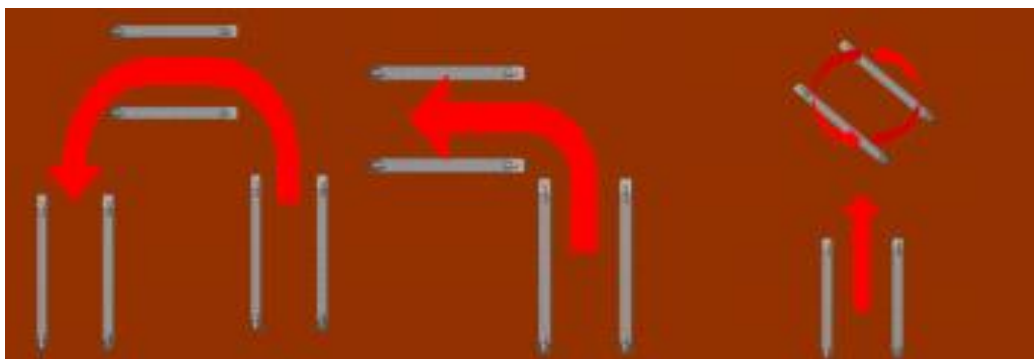
- 기본 동작.
- 주행 모터 : 주행 레버의 위치값에 따라 주행 모터를 구동한다.
- 조향 모터 : 조향 레버의 위치값에 따라 조향 모터를 구동한다.
- 기본 기능.
- 모터 위치 초기화 기능 : 주행 레버와 조향 레버의 위치에 상관없이 주행 모터와 조향 모터가 중립 위치로 강제적으로 이동시키는 기능이다.
- 브레이크 기능 : 브레이크 신호 입력이 ON일 때, [모터 위치 초기화 기능] 수행한다.
- 스펀턴 기능 : HST 미션은 기계적으로 조향 각도가 일정 각도 이상이 되면 좌우 캐터필러가 각각 반대로 움직이면서 회전하는 동작을 하는데, 스펀턴 스위치 입력 신호에 따라 조향 각도를 제한하는 기능이다.
- 부변속 레버 모드 인식 기능 : 부변속 레버의 ADC값을 읽어서 부변속 각 모드 설정값에 따라 저속, 표준, 주행 모드를 인식하는 기능이다.
- 주행 레버 위치(차속)에 따른 조향각도 제한 기능 : HST 미션의 특성에 따라 스펀턴 스위치 신호가 OFF일 때는 스펀턴이 동작하지 않도록 조향 각도를 제한 각도까지만 동작하도록 하는 기능이다.
- 조향 정지 기능 : 차속이 0 (주행 레버가 중립)이면 조향 레버를 조작해도 조향 모터가 움직이지 않게 하는 기능이다.
- 조향 조작 가능 기능 : 차속이 0이더라도, 스펀턴 신호가 ON이면 조향 조작이 가능하다.
- * 조향 미세조정 기능 : 조향 레버로 조향 제어를 하는 것 보다 조향 모터가 회전하는 속도는 느리지만, 비교적 세밀하게 제어하기 위해서 사용하는 기능이다.
- 조향 시 주행 감속 기능 : 주행 중 조향 조작시에 주행 레버 위치에 따라 <주행 속도 퍼센트> 설정값을 곱한 만큼 주행 속도를 감속시키는 기능이다.
- 수평 제어 출력신호 제어 기능 : 조향 동작을 하거나 미세조정을 할 때, 수평제어 출력신호를 ON 시켜주는 기능이다.
- 과부하 시 모터 정지 기능 : 모터에 흐르는 전류를 측정하여 모터 구속이나 HST가 배압이 찼을 때, 그 위치에 모터를 정지시켜 모터를 보호하는 기능이다.

나) 전자 유압미션 제어



다) 선회 모드 구현

- Crawler type의 회전 반경



(a) Soft turn

(b) Brake turn

(c) Spin turn

그림. 회전반경 분석

11) 차체 전후좌우 수평제어 알고리즘 개발

- 가) 전장 개발 협업
 - 전장 하네스 설계
 - 컨트롤러 설계



그림. Pin Map 및 IO구성



그림. 회로도 구성

나) 수평제어 동작 사양 개발

- 수평제어 구성품 및 기능

구성품	기능
전후 수평 자동 스위치	전후 수평제어 장치 작동을 入·切 한다
좌우 수평 자동 스위치	좌우 수평제어 장치 작동을 入·切 한다.
수집 레버 스위치	레버의 入·切 을 지시하여 작동을 가능케 한다.
좌, 우, 후 스트로크 센서	좌, 우, 후 측의 차고를 검출한다.(롤링 좌우 실린더 길이 검출)
좌우 경사조절 다이얼	좌우 수평 자동 기울기를 설정한다.
경사센서	기체의 좌, 우, 전, 후의 경사를 검출한다.
수평 좌, 우, 후 밸브	롤링, 피칭 실린더를 움직인다.
차속 센서	브레이크축에 부착되어 펄스 신호를 변환하여 기대의 주행속도를 검출한다.

- 제어 개념

- * 작업 중 기체 자세를 수평으로 유지한다(좌우 경사는 경사 다이얼에서 설정한 기울기를 유지).
- * 좌우 수평 스위치 ON 하면 기체를 좌우 수평화.
- * 전후 수평 스위치 ON 하면 기체를 전후 수평화.
- * 차속이 일정 속도 이상에서 수집 클러치 스위치를 ON하면 기체를 전, 후, 좌, 우 수평화.
- * 고속 주행 시 기체를 최저 차고화.

- 제어 조건

- * 좌우 수평화 제어.
- * 좌우 수평 스위치 ON, 수집 클러치 레버 스위치 ON의 경우 작동 가능.
- * 전후 수평화 제어.
- * 전후 수평 스위치 ON, 수집 클러치 레버 위치 ON의 경우 작동 가능.

- 제어 동작

- * 좌우 수평화 제어.
 - 경사 센서 좌, 우의 신호를 이용하여 기체를 경사 설정 다이얼의 설정 기울기를 유지.
 - 최대 설정 경사각 : 좌 우 5°.
 - 수평화 정도 : ± 0.6°.
- 차고 스위치로 설정한 높이를 기준으로 제어한다.
- 좌우 수평 제어
 - * 좌우 수평 스위치를 ON할 경우 또는 차속 0.2m/s 이상에서 수집 클러치 스위치를 ON한 경우 차체 스트로크 센서 좌, 우의 값이 같아지도록 제어한다.
- 전후 수평 제어
 - * 경사센서 전, 후의 신호를 이용하여 기체를 수평으로 유지한다.
 - * 수평화 정도 : ± 0.6°.
 - * 전후 수평스위치를 ON일 경우 또는 차속 0.2m/s 이상에서 수집 클러치 스위치를 ON한 경우 차체 스트로크 센서 후의 값이 같아지도록 제어한다.

12) Proto 부품 개발 및 조립

가) 주행, 수집부 주요 부품 개발

- 마늘 수집에 적합한 설계를 위하여 주산지 조사를 기반으로 부품 개발이 진행되었다.
 - * 장소 : 창녕군 이방리 장기 사거리
 - * 비닐 규격(cm) : 7공(15x11), 1공~7공 거리 : 90, 폭 : 150
 - * 두둑 폭(cm) : 110~120
 - * 이랑 폭 x 높이(cm) : 50(거친 흙) ~ 60(고운 흙) x (15고운 흙) ~ 25(거친 흙), (고운 흙 : 이랑 흙이 무너져 폭이 넓어지고, 두둑 높이가 낮아짐)
 - * 이랑과 이랑 사이 거리는 150 ~ 180 cm
- 마늘 주산지에서 트랙터 부착형으로 굴취 작업을 하였을 때 수확된 마늘이 지면에 흩어져 있는 폭은 두둑 중앙부에서 37 ~ 47 cm로 분포되어 있음을 확인하였다.

13) 차체 동력전달시스템 구성

가) 차체 동력전달시스템 구성 및 분석

- 마늘 수집기의 동력전달시스템 구성은 다음 동력전달 계통도와 같다. 수집기 주행을 위한 동력은 주행용 정유압 변속기(Hydraulic Static Transmission, HST)로부터 발생하고 모터에 연결된 축과 기어쌍을 통해 변속부로 전달된다. 수집기의 변속부는 3단(저속, 중속, 고속)으로 구성되며, 변속부 이후 차축으로 동력전달을 수행한다. 이후 동력은 양쪽 유성 기어쌍, 최종 감속 기어쌍을 거쳐 궤도 구동축으로 전달되며 선회용 정유압 변속기의 모터는 선회방향에 따라 필요한 동력을 발생시키며, 이때 선회용 정유압 변속기 모터의 동력은 연결된 2쌍의 기어쌍을 통해 1:0.35로 감속되고 양쪽 유성 기어쌍 중 링기어의 제어에 관여해 마늘 수집기의 선회를 수행한다.

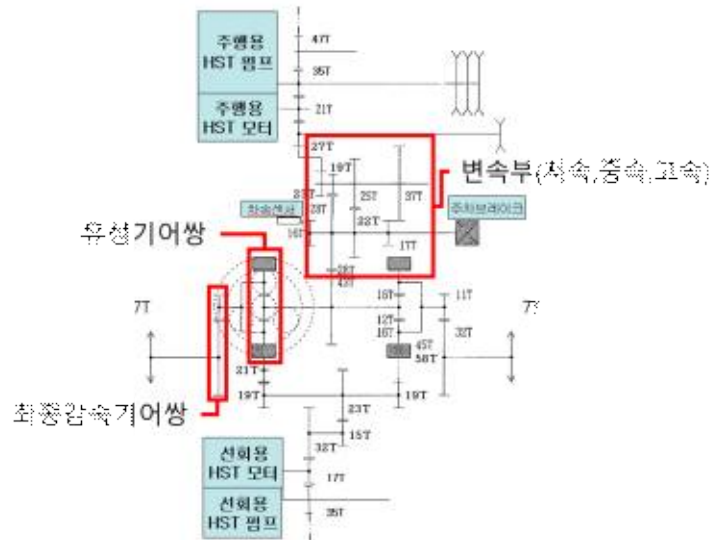


그림. 자주식 마늘수집기 동력 전달도

14) 유압장치 메커니즘 및 회로분석

가) 유압제어시스템 구성 및 분석

- 마늘 수집기의 유압 제어 시스템은 크게 주 유압 밸브와 보조 유압 밸브 두 부분으로 나누어 전자제어를 통해 실시한다. 주 유압 밸브는 5개의 3포트 솔레노이드 밸브와 연결됨으로써, 기어펌프로부터 전달받은 유압을 통해 이송, 수집, 수평, 피칭 총 5개의 실린더를 제어·작동하며, 보조 유압 밸브는 3개의 3포트 솔레노이드 밸브와 연결됨으로써, 기어펌프로부터 전달받은 유압을 통해 수집부, 이송/선별부 구동 유압 모터, 수납 실린더를 제어·작동한다.

나) 유압장치 메커니즘 및 유압회로 분석

- 유압 시스템은 다음 유압 회로도 및 같이 주행용 정유압 변속기, 선회용 정유압 변속기, 유압 탱크, 오일 쿨러 및 수집부, 이송/선별부 구동 유압 모터 및 실린더, 기어펌프, 주 유압 밸브 및 보조 유압 밸브로 구성된다. 기어펌프는 유압 탱크의 오일을 주 유압 밸브와 보조 유압 밸브로 공급하는 역할로, 용량은 7.2 cc/rev로써 최대 분당 약 23,040 cc의 오일 공급을 수행하며, 주행용 정유압 변속기는 차체의 주행 속도에 따라 펌프 유량을 조절, 모터의 속도·자주식 마늘 수집기 차체의 주행 속도를 제어한다.
- 선회용 정유압변속기는 모터와 기어쌍의 조합을 통해 좌·우 궤도 회전 속도의 차이를 발생시켜 자주식 마늘 수집기 차체의 선회를 수행하며, 주 유압 밸브와 솔레노이드 밸브의 조합을 통해 이송, 수집, 수평, 피칭 작업을 수행한다. 보조유압 배밸브와 솔레노이드 밸브의 조합을 통해 수집부, 이송/선별부 구동에 필요한 모터를 구동, 수집 실린더 작업을 수행한다.

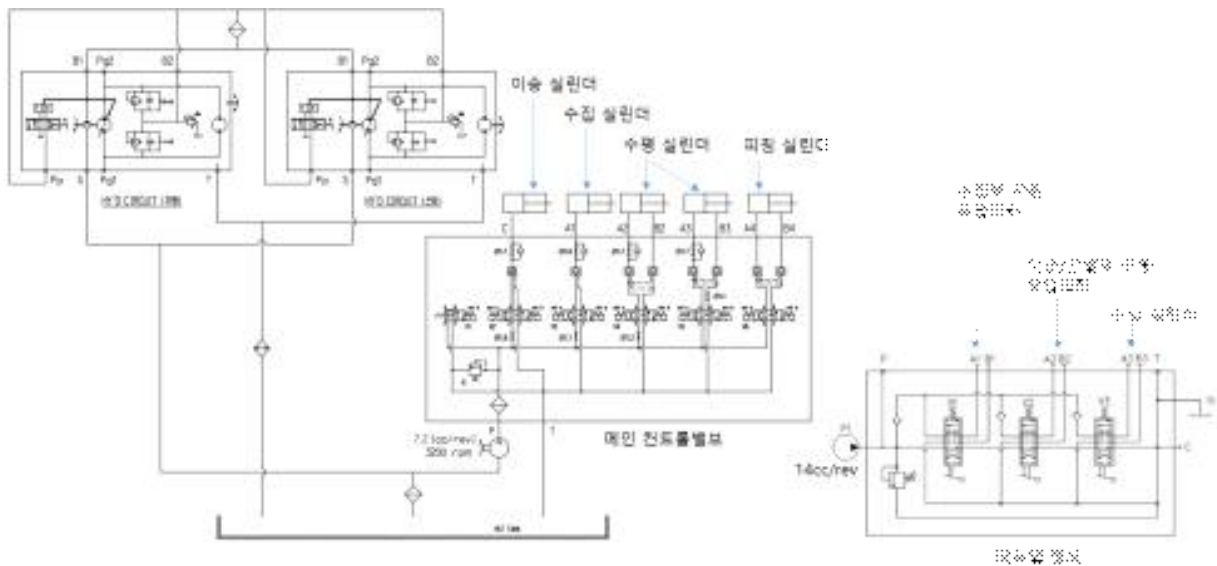


그림. 자주식 마늘수집기 유압 회로도

15) 동력전달부 소요동력 분석

가) 주행부 작업시 부하계측을 통한 소요동력 비교분석 및 적용

- 규격 : 최대출력 44.1kW(2,600 r/min)
- 평균작업속도 : 0.31 m/s
- 작업능률 : 58.5 min/10a

* 한국농업기술진흥원 농업기계 성능시험 성적

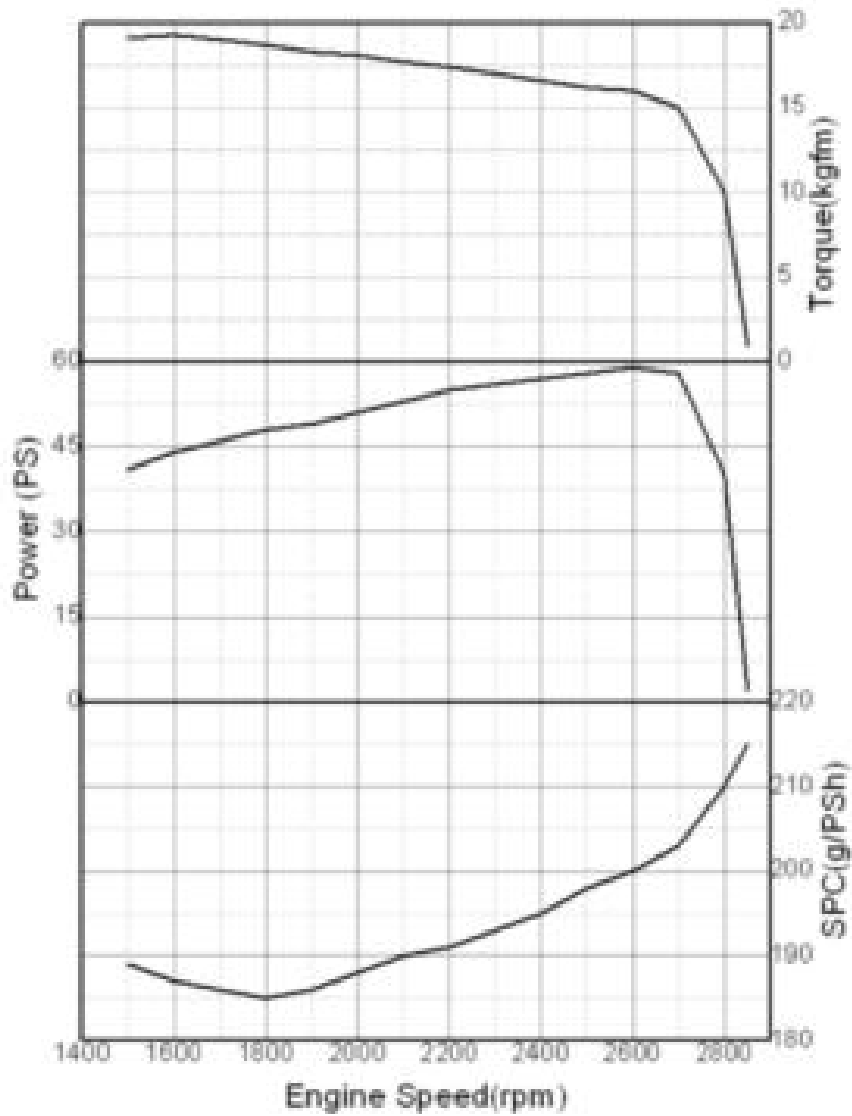


그림. 자주식 마늘수집기 엔진 성능곡선

16) 수집 선별 장치 개념 설계에 대한 입자 거동 해석 및 분석(Rocky-DEM)

가) 마늘의 표면 손상을 최소화하기 위한 이송부 요인 시험

- 표면 손상은 마늘을 인발하여 수집할 시 기계적인 충격에 의해 발생한다. 이에 선행하여 조사하였던 마늘의 크기를 바탕으로 가장 큰 경우와 작은 경우 두 가지 요인으로 SM45C의 물성치를 가지는 마늘수집기 이송부에서 마늘이 수집될 시 튀어오르는 높이를 도출하였다. 실제 작업 시 발생하는 상황을 구현하기 위하여 측정된 품종별 마늘의 물리적 특성인 무게, 길이, 폭, 부피, 밀도, 마찰계수, 탄성계수, 포아송비를 적용해주었으며, 품종별 마늘들의 실제 형상을 3D 프린팅을 활용하여 품종별 3D 마늘 모델을 설계하였다.

나) 이송부 부품의 최적 설계 변수 도출

- Taguchi의 실험 설계 방법(DOE)을 적용하여 많은 수의 설계변수를 적은 수의 실험을 수행하여 설계요인을 최적화하였다. 실험계획법의 방법론 중 하나인 다구찌 기법은 제어 가능한 요인으로 제어가 불가능한 잡음요인을 실험에 반영하여 다양한 환경에서도 일정한 성능을 유지하기 위한 강건한 설계를 수행하는 기법이다.



그림. 본 연구에 적용된 다구찌 기법을 활용한 실험설계

- 마늘 수집에 있어 제어 가능한 마늘 수집기 작업속도와 이송부 각도를 3수준으로 제어함으로써 마늘의 크기에 따른 제어 불가능한 요인을 고려하지 않고 마늘 수집시 최적의 설계요인을 분석하는 실험을 설계하였다.

표. 마늘수집기 요인별 수준 정의

Factors	Level 1	Level 2	Level 3
수집 속도 (m/s)	0.1	0.2	0.3
이송부 각도 (°)	14	17	20

다) 선별 컨베이어에 작용하는 저항력 분석 및 설계변수 최적화

- 다구찌 방법으로 실험설계된 방법에 따라 주산지에서 수집하여 조사된 마늘의 크기를 가장 큰 것과 작은 것으로 구분하여 입자 거동 해석(Rocky-DEM, Rocky INC, USA)을 실시하였으며 마늘수

집기의 이송속도와 각도의 최적조건을 도출하였다. 하지만 이는 1차년도 시작기에 적용되는 형식이며 추후 이송부위의 설계 변형시 동일한 시뮬레이션의 조건으로 다시 해석하여 지금의 결과와 비교 분석하여야 할 것으로 판단된다.

17) 마늘 수집기 테스트베드 구축

가) 주산지 중심 마늘 기계수확 시험포 확보 및 요인시험별 시험포 설계

- 마늘 수집기 필드 실증이 진행될 필드는 창녕 효정리 농가로써 성능 평가가 진행되는 구간은 3m로 설정하였다.

표. 창녕 포장 재배양식

시험포장	두둑폭 (cm)	고랑폭 (cm)	두둑높이 (cm)
	100	20.8	15
	주간 (cm)	조간 (cm)	조 수
	20.8	11.6	8

18) 소프트웨어를 이용한 동역학해석(RecurDyn)

가) 수집부 구조해석 모델 개발

- 마늘 수집기 전반부 중 피로에 가장 취약한 부위를 분석하기 위하여 RecurDyn/RFlex를 활용하여 RFlex body Vibration mode shapes의 선형 조합을 표현하였다. 이를 통하여 마늘 수집기를 활용한 수집 작업시 가장 취약부를 도출하고, 피로에 노출될 때 진동을 나타냈다.

나) 선별 주요 시스템 요인시험

- 선별 주요 시스템은 각도로써, 재료 간 마늘의 최소 각도를 기준으로 속도 요인이 결정된다. 이에 따라 1차년도에 실시한 재료 간 마늘의 정마찰계수를 적용하여 최적 각도 17°를 도출하였다. 이후 재설계된 2차년도 마늘수집기의 제원에 따른 속도 요인을 계산 및 도출하여 시뮬레이션, 필드 실증을 진행하였다.

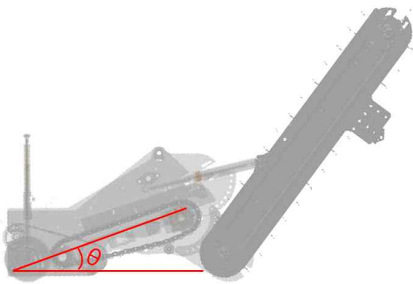


그림. 마늘수집기 최적 수집 각도 설정 자료

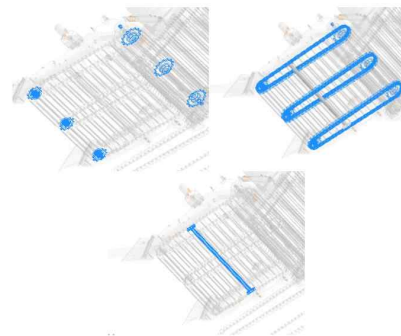


그림. 2차년도 마늘수집기 수집부 속도 요인이 결정되는 작업부(체인, 컨베이어)

다) 작업 적응성 시뮬레이션

- 마늘수집기 2차년도 시작기를 통하여 품종별 마늘의 물성 및 토양 상태를 고려한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 시 2차년도 마늘수집기 모델링과 품종별 마늘 3D 모델링을 활용하였다.

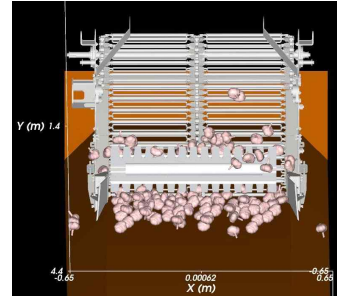
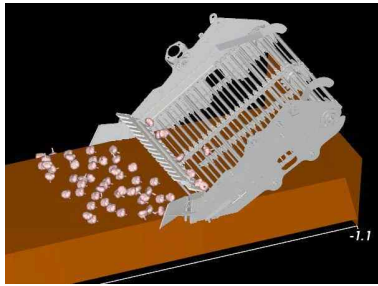


그림. 2차년도 마늘수집기 수집 시뮬레이션 좌측면도 그림. 2차년도 마늘수집기 수집 시뮬레이션 전면도

- 개발된 2차 시작기의 차폭과 크롤러 간격의 선회반경을 분석하기 위하여 마늘 수집기를 활용한 수집 작업시 발생하는 turn인 Soft turn, Breack turn, Spin turn을 분석하였다.
- 마늘 수집기를 활용한 수집 작업시 노출되는 안전성을 분석하기 위하여 두둑의 최대 경사 및 등판 각도에 따른 주행 적응성 시뮬레이션을 실시하였다.

19) 수집, 선별, 이송 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시

가) 입자 해석을 통한 시뮬레이션 시 발견된 수집부 문제점 분석

- 1차년도 시작기를 활용하여 필드 실증 테스트 시 발견된 수집, 이송, 선별 문제점을 분석하여 해결 방안을 제시하였다. 마늘은 품종별 재배 양식이 다양하고 마늘의 분포 정도의 기준을 구명하기 어렵다. 마늘이 토양에 분포되어 있는 범위를 구명하기 위하여 마늘의 재배 양식별 용적밀도를 도출하여 해당 용적밀도를 수용할 수 있는 작업 성능을 기준으로 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

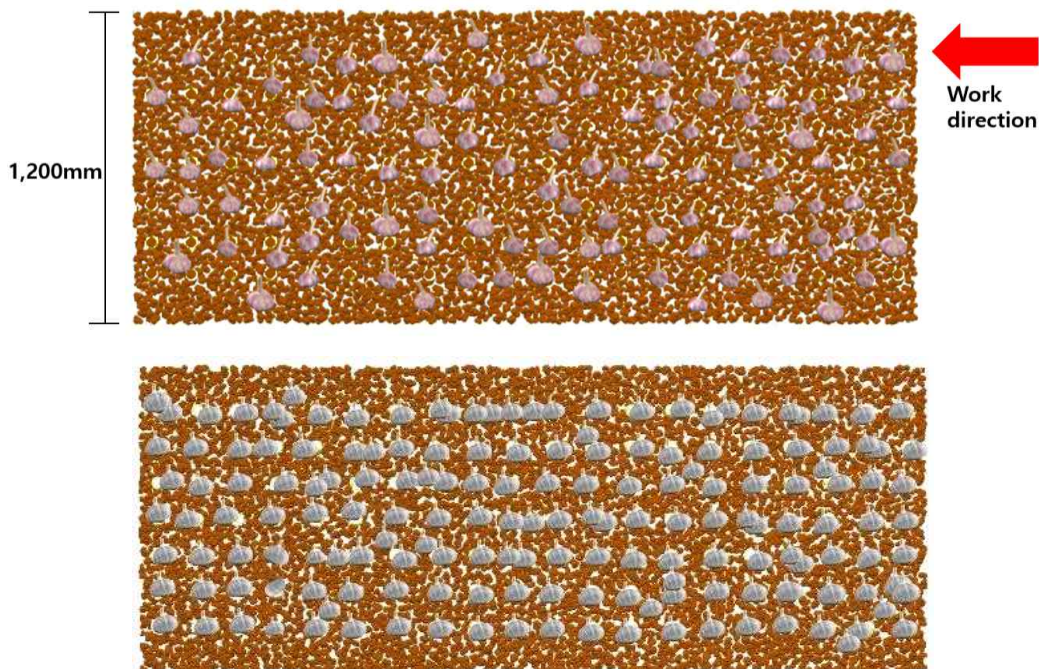


그림. 주산지별 마늘 재배 양식과 굴취된 마늘(위 : 대서, 아래 : 남도)

- 링크의 회전력으로 수집이 원활하지 않으며, 마늘과 재료 간 최대 마찰력 적용에도 수집이 원활하지 않으며, 이를 해결하기 위한 마늘을 수집할 수 있는 전방 보조 장치가 요구된다.



그림. 1차년도 마늘수집기 필드 실증

20) 최적 설계 결과를 반영한 자주식 마늘 수집기 개선품 제작

가) 최적 설계 변수를 감안한 수집 및 이송 선별부 Matching 설계기준 도출

- 마늘의 손상, 손실을 최소화하고, 수집부의 기본 메커니즘 설계를 위한 마늘 크기별 조사를 실시하였다.

나) 연속 작업이 가능한 Ton bag(500kg) 수납 시스템 개발

- 1차 설계는 톤백 및 하역작업을 실린더 2개로 수납부 상하, 하역작업을 할 수 있도록 설계하였으나, 2차 시작기에서는 메쉬파레트 수납 방식을 추가하고 실린더 1개로 수납부 상하, 하역작업이 가능하도록 개선 설계를 실시하였다.

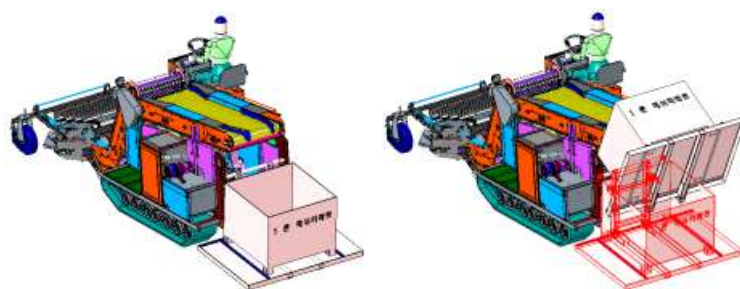


그림. 수납 톤팅 시스템 설계

다) 제어 신뢰성 확보를 위한 실차 튜닝 기술 개발

- 발작물 작업 특성상 경사지 작업, 상하차 및 눈독 진입용이, 포장지면 요철에 대한 적응성을 향상하기 위하여 기체 좌우 수평 제어, 전후 수평 제어 시스템을 적용하였다. 좌우 수평 제어 및 전후 수평 제어는 작업자가 수동 또는 자동으로 제어 가능하도록 하였다.

- 유압펌프에서 컨트롤밸브의 내부 필터를 거쳐 밸브 내부로 오일이 유입되면 각 밸브로 오일이 공급된다. 컨트롤밸브의 모든 밸브는 병렬구조로 되어 있어 각 밸브를 동시에 또는 별도로 작동할 수 있으며 모두 전기 솔레노이드 스펴로 작동된다.

- 제어 동작은 경사 센서 좌, 우의 신호를 이용하여 기체를 경사 설정 다이얼 설정 기울기를 유지 최대 설정 경사각은 좌우 5도, 수평화 정도는 ± 0.6 도로 하여 차고 스위치로 설정한 높이를 기준으로 제어하였다.

- 수집기 유압미션 제어는 주행레버 위치에 따라 포텐서미터 값을 컨트롤러가 연산을 하여 주행 모터를 제어하고, 주행 모터는 주행 HST의 트러니언 샤프트를 동작하여 전진 및 후진을 하도록 구성하였다.
- 라) 핸들 각도에 따른 선회 방식 구현
 - 기존의 조향 시스템은 대부분 스틱 레버를 상하좌우로 작동을 하면서 기체를 선회하거나, 작업부 승하강 작업을 진행 하였으나 개발된 수집기는 핸들형 조향 시스템을 적용하여 운전자가 조작을 편리하게 할 수 있도록 하였다.

21) 시험 및 평가

가) 작업별 요인시험 및 필드 실증시험

- 포장 상태에 따른 전자 유압미션 제어 시험 평가 (핸들 각도 0~135도에서 소프트턴, 브레이크턴, 스피턴 구현 시험)



그림. 핸들 각도에 따른 선회 구현 및 평가

나) 실차 튜닝 기술 개발 및 각부 측정

- 전자유압미션 직진성, 선회성 실차 프로그램 튜닝
- * 핸들을 좌우 작동하고 있을 때 주행 레버 전진이나 후진 후 중립으로 복귀한 다음 다시 전, 후진 작동 시 선회 모터의 떨림과 한 쪽 방향으로 회전 발생, 주행 레버 중립 시 선회 모터 중립 복귀 기능으로 에러 발생함.

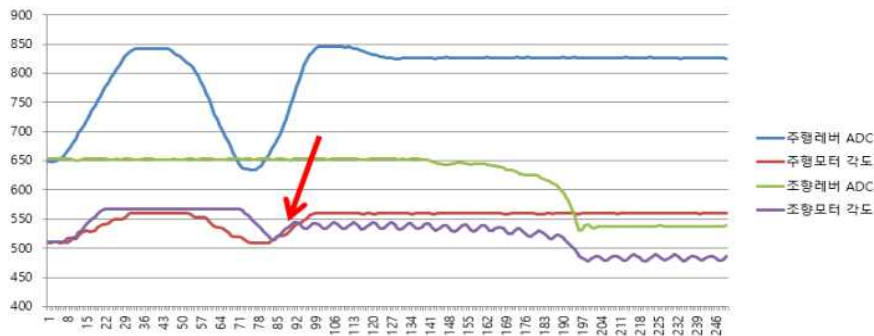


그림. 주행컨트롤러 실차 문제점 분석

- * 선회 모터 중립 복귀 시 핸들 우선 동작하도록 개선

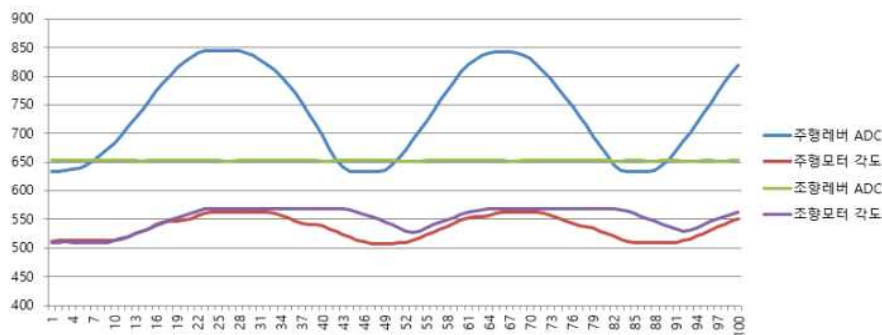


그림. 주행컨트롤러 실차 문제점 개선 튜닝작업

22) 마늘수집기 수집부 요인시험

가) 승용 자주식 마늘 수집기 수집부 요인시험 방법

- 마늘 수집기 수집부 요인시험은 창녕군 효정리 소재 농가 포장에서 진행하였으며 수집부 상단부 각도를 55°로 고정하고 이송속도는 35, 40, 55rpm으로 변화를 주어 작동하였음
- 마늘 수집부 하단부 이송속도는 50rpm으로 고정하고 각도는 14°, 17°, 20°로 변화를 주었다. 각 요인별 30개의 마늘을 투입하여 손실 개수와 낙하개수를 조사하였으며, 물성 상태를 확인하여 손상률을 분석하였음



현지 농가



마늘 수집기 요인시험장치



요인시험장치 이송부



하단부 각도 고정



이송부 하단부



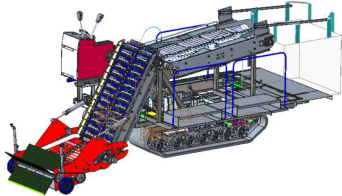
요인시험

23) 마늘 수집기 테스트베드 구축 및 포장성능 평가

가) 마늘 수집기 시작기 수집·이송부 요인시험

- 승용 자주식 마늘 수집기 포장성능 시험은 국내 마늘 생산량의 75%이상을 차지하는 난지형 마늘을 대상으로 수행하였으며, 본 과제에서 개발중인 마늘 수집기를 투입하였다. 개발된 마늘 수집기를 이용한 수집 작업 시 최적 수집속도와 각도를 제시하고자 주요 작업부인 수집부와 이송부의 요인시험을 수행하였다.

표 0 마늘 수집기 주요 작업부 요인시험 투입 기준

투입 기준	사진	제원
마늘 수집기 (1차 시작기)		<ul style="list-style-type: none"> - 형식 : 승용 자주식 • 크기(mm) : 5,095(L)×2,280(W)×2,260(H) • 무게(kg) : 3,100 • 작업폭(mm) : 1,100

- 마늘 수집기 요인시험은 경상남도 창원군 효정리 소재 농가 포장에서 대서 품종을 대상으로 실시하였으며, 수확시기 공시작물의 물성은 아래 표와 같다. 요인시험은 45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 시작기를 이용하여 수집속도와 각도를 요인으로 낙하률, 손실률 등의 수집성과 찌힘, 멍 등의 기계적 손상을 분석하였다. 수집속도 50 rpm일 때 각도 3요인(14°, 17°, 20°), 이송각도 55°일 때 수집 속도 3요인(35, 40, 50 rpm)별로 30개의 마늘을 투입하여 마늘 낙하 개수와 손실 개수를 조사하였으며, 디지털 전자 각도기(DL134, YATO, China)와 접촉식 회전계(DT-207LR, SHIMPO, Taiwan)를 사용하여 수집부 회전속도와 각도를 측정하였다.

표. 창녕 포장시험 공시작물 물성 (품종 : 대서)

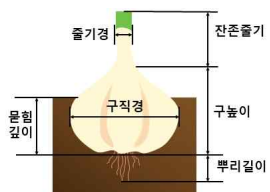
측정 위치		구높이 (mm)	37.08±2.31
		구직경 (mm)	63.63±3.21
		잔존 줄기 (mm)	28.71±12.74

표. 수집부 회전속도 및 각도 측정 장치 제원

구 분	항목	사양
 DL134	Measuring range	4×90°
	Measure unit	°, %, mm, m, IN, FT
	Accuracy	±0.1°
	Dimension(L×W×H)	58×32×58
	Weight	71g
	Usable temperature	0~40℃
	Storage temperature	-10~50℃
 DT-207LR	Measuring range	6~99,999rpm
	Accuracy	±1rpm
	Digital display	LED
	Memory time	4min
	Measure unit	rpm(m/min)
	Dimension(L×W×H)	167×63×50
	Weight	445g
	Usable temperature	0~45℃

24) 승용 자주식 마늘 수집기 포장성능평가

가) 승용 자주식 마늘 수집기 1차 포장성능시험

- 마늘 수집기의 주행 및 이송속도에 따른 손실률, 손상률, 이물질 혼입률 등 주요 작업부의 작업성능 및 적정 작업속도를 선정하기 위하여 마늘(품종 : 대서)을 대상으로 포장 성능시험을 수행하였다. 본 연구에서 개발 중인 ‘승용 자주식 마늘 수집기(시작기)’를 투입하였으며, 경상남도 창원군 효정리 소재 농가 포장에 시험포장을 조성하였다. 주행속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s), 수집속도 3수준(60, 70, 80 rpm)으로 시험 요인을 선정하고, 각 요인별 시험구간은 3 m로 3반복 실시하였다[9]. 마늘 수집 및 이송속도는 PTO 구동 박스의 출력 회전속도를 통해 변화시켰으며, 접촉식 회전계(DT-207LR, SHIMPO, Taiwan)를 이용하여 이송부와 주행부 회전속도를 측정하였다.

표. 마늘 수집기 포장성능시험 투입 기종


투입 기종	사진	제원
마늘 수집기 (2차 시작기)		<ul style="list-style-type: none"> - 형식 : 승용 자주식 • 크기(mm) : 5,580(L)×2,205(W)×2,100(H) • 무게(kg) : 3,170 • 작업폭(mm) : 1,240

표. 창녕 포장시험 공시작물 물성 (품종 : 대서)

측정위치	구높이 (mm)	구직경 (mm)	줄기경 (mm)
	33.8±3.5	60.1±4.2	11.1±2.8
	잔존줄기 (mm)	뿌리길이 (mm)	함수율 (% w.b.)
	27.2±11.9	25.4±10.8	71.5±7.9

- 승용 자주식 마늘 수집기의 성능분석은 아래 식 Eq. (1), (2), (3)과 같이 계산하였다. 수집부와 이송 및 선별부를 거쳐 수납부에 담기는 마늘과 수집되지 못하거나 이송과정 중 손실되는 마늘의 개수를 조사하여 손실률을 조사하였다. 손실된 마늘 중 구 직경이 35 mm 미만인 마늘은 상품성이 없으므로 제외하였다. 포장성능시험에서 수납부에 수집된 마늘과 흙, 줄기 등의 무게를 조사하여 이물질 혼입률을 조사하였다. 수집된 마늘은 요인별로 찌힘과 쪼개짐을 조사하였으며, 30개씩 무작위로 선별하여 마늘의 껍질을 제거하여 멍을 조사하여 기계적 손상률을 분석하였다.

$$P_l = \frac{N_l}{N_c + N_l} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, P_l : 손실률(%)

N_l : 손실 마늘 개수(개)

N_c : 수집 마늘 개수(개)

$$P_m = \frac{W_d}{W_g + W_d} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, P_m : 이물질 혼입률(%)

W_d : 이물질 무게(kg)

W_g : 수집 마늘 무게(kg)

$$P_d = \frac{N_d}{N_r} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, P_d : 손상률(%)
 N_d : 손상 마늘 개수(개)
 N_r : 무작위 선별 마늘 개수(개)



<작업광경>



<미수집 조사>



<혼입률 조사>



<손상률 조사>

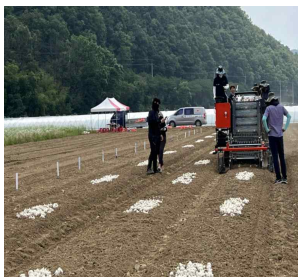
그림. 승용 자주식 마늘 수집기 수집성능 2차 분석

나) 승용 자주식 마늘 수집기 2차 포장성능시험

- 2차 포장성능시험은 마늘 남도 품종을 이용하여 마늘 수집기 주행 및 수집속도에 따른 작업성능 및 적정 작업속도를 분석하였다. 본 연구에서 개발 중인 ‘승용 자주식 마늘 수집기(시작기)’를 투입하였으며, 경상북도 성주군 용암면 소재 농가 포장에서 수행하였다. 3 m구간에 마늘 130개를 각 요인별로 작업하여 시험구간을 조성하였으며, 시험 요인 및 분석방법은 1차 포장성능시험과 동일하게 주행속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s), 수집속도 3수준(60, 70, 80 rpm)을 요인으로 손실률, 손상률, 이물질 혼입률을 분석하였다.

표. 성주 포장시험 공시작물 물성 (품종 : 남도)

측정위치	구높이 (mm)	구직경 (mm)	잔존줄기 (mm)
	32.6±4.4	52.0±2.9	12.4±3.5
뿌리경 (mm)		뿌리길이 (mm)	함수율 (% w.b.)
15.3±3.1		53.5±20.3	55.7±2.4



<시험포장>



<작업광경>



<미수집 조사>



<손상률 조사>

그림. 승용 자주식 마늘 수집기 수집성능 2차 분석

25) Sample기의 수집, 이송, 선별에 대한 필드 시험 및 분석

가) 두둑 폭, 수확시기, 토양조건에 따른 설계 인자 도출

- 품종별 재배 양식을 적용하여 마늘 수집기 진입 가이드 라인 도출.
- 수확 시기 : 6월 중 ~ 7월 초
- 토양 조건 : 굴취가 진행된 토양(난지형, 사질토). 한지형은 논마늘로써 평두둑. 최대 96.67 psi 초과 출력 요구 됨.
- 마늘수집기 수집부 재배 양식별 진입을 위하여 조사 데이터에 따른 설계 : 폭 > 130cm, 지상고 >15cm

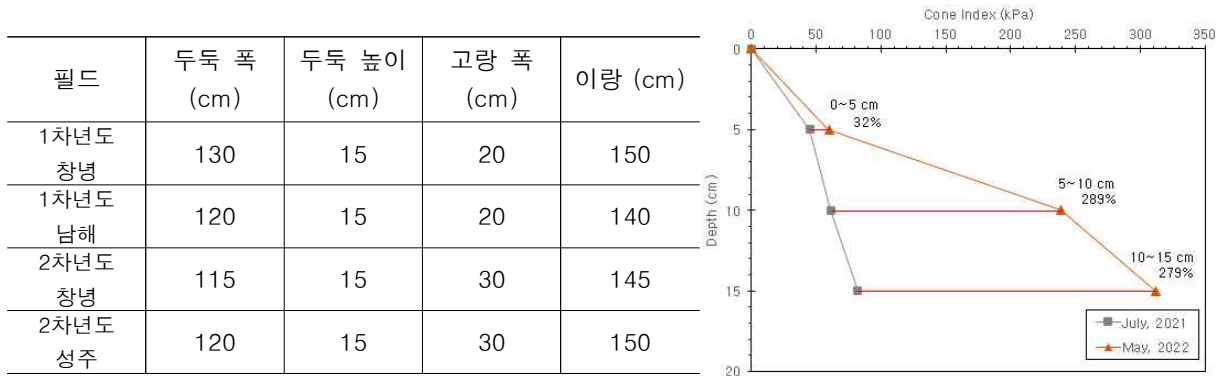


그림. 주산지별 마늘 필드 양식 및 창녕 필드 수집 시기별 Cone Index비교 그래프

나) 시험 Data 정립 및 분석 방법 체계화

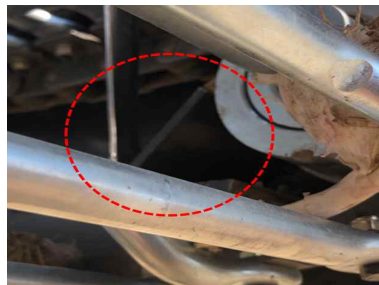
- 수집과 : 선별부를 거쳐 수거된 마늘의 무게(kg)
- 미수집과 : 재배 토양에 잔여한 마늘의 무게(kg)
- 이물질 무게 : 선별부를 거쳐 수거된 마늘과 마늘의 담은 Box 무게를 제외한 나머지 무게(kg)
- 손상과 : 기계적 손상에 의한 찌킴, 찌개짐, 멍 확인 후 큐어링 과정을 거친 마늘 부패 관찰하여 최종 분류 => (최종 손상과 개수(EA)/요인별 수거된 마늘의 개수(EA))*100(%)
- 수집률 : {수집과 무게(kg)/수집과 무게(kg) + 미수집과 무게(kg)}*100(%)
- 이물질 혼합률 : (이물질 무게(kg)/{(수집과 무게(kg) + 이물질 무게(kg))} * 100(%)
- 반복횟수 : 수집부 회전속도 3 level, 수집기 이동속도 3 level, 3반복 = 27회

다) 수집기 현장 적응성, 작업 성능, 문제점 등 분석 및 보완 방향 제시

- 수집부 문제점 및 보완 사항.
- 배지 진입을 방해하는 유도 바퀴.
- 수집부 링크 간 이물질 끼임으로 동작 멈춤 현상.
- 수집 유도 고무의 성능 미흡.



(a)



(b)



(c)

그림. 마늘수집기 수집부 문제점 현황: (a) 진입 방해 요소 유도 바퀴, (b) 링크 사이에 이물질 끼임, and (c) 유도 작업이 원활하지 않은 유도 고무

- 이송부 문제점 및 보완 사항.
- 마늘 이송 중 링크 사이에 마늘 및 이물질 끼임 현상으로 작업 중단 및 지연(로터리 작업 및 이물질 제거 기능 부족).



그림. 마늘수집기 이송부 마늘 및 이물질 끼임 현상

- 선별부 문제점 및 보완 사항.
- chain 처짐 현상으로 sprocket과 chain 맞물림 현상 발생.
- 선별부 링크 간격이 커서 이물질이 끼거나 마늘이 빠짐.



그림. 마늘수집기 선별부 마늘 및 이물질 끼임 현상

26) 수집 및 이송, 선별부 해석 모델 개발 및 계측 데이터 비교 분석

- 가) 실차 시험을 통한 시뮬레이션 모델 비교 검증, 수집기 시스템의 최적 설계 방안 제시
 - 시뮬레이션 최대 성능 설정 요인과 실차(필드실증) 데이터 비교 분석.
 - 마늘 허용 충격력 범위 내 마늘 수집 성능 비교 검증. => Simulation Data(by factors, cultivars) collecting ratio, impact force.

27) 시험 평가 문제점을 개선한 자주형 수집기 Pilot 설계

- 수집 작업 진행 중 마늘, 흙, 돌 등이 동시에 올라오기 때문에 링크 바 및 디바이더 부에서 돌 끼임으로 작업이 중단되는 문제 등이 발생하였다. 돌 끼임 문제를 해결하기 위하여 디바이더 형상 및 링크 바와 디바이더 틈새 등을 개선하여 돌 끼임 현상을 현저하게 줄이는 설계를 진행하였다. 1차 시작기 시험 평가 시 마늘이 굴러 내려오는 문제를 해결하기 위하여 링크 바 형상 개선 및 링크 바 조립 배열을 변경 조립하여 굴러 내려오는 문제를 개선하였고, 수집 릴 개선을 통해서 수집된 마늘을 원활하게 인계가 가능하도록 하였고, 작업 마무리가 종료된 포장지 끝부분에서 잔여 마늘이 없어 다음 행정으로의 작업이 원활하게 하였다. 수집 작업 시 작업자의 피로도를 줄일 수 있도록 게이지 휠을 적용하여 수집부 깊이를 쉽게 조절할 수 있도록 하였고 수집부는 마늘 재배 주산지 환경 및 재배 농법에 맞도록 수집기 내폭이 1000 mm가 되도록 설계를 하였다.

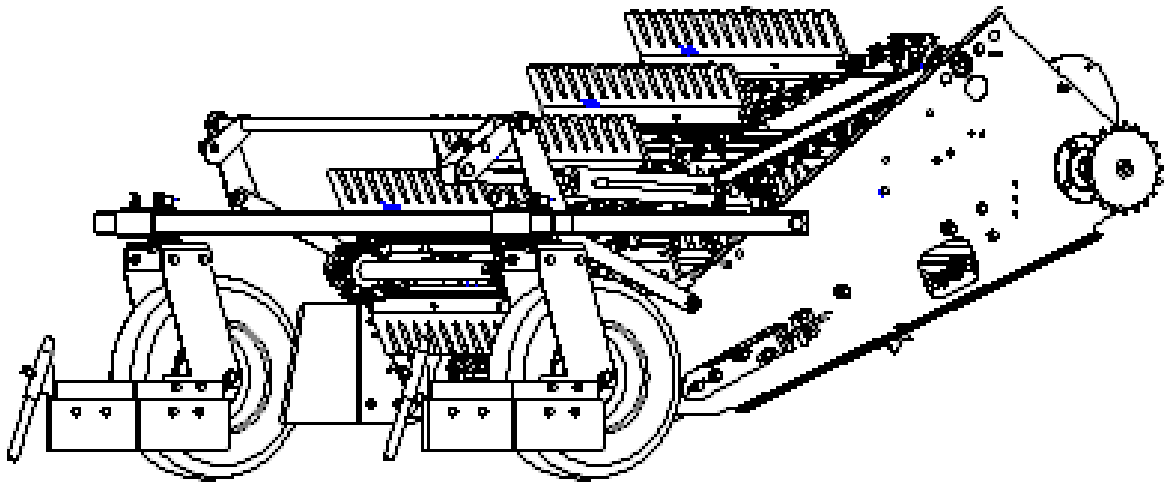


그림. 설계된 수집부 Assy

- 이송부를 통해 올라온 마늘은 선별 체인을 통과하면서 보조 작업자가 돌, 굵은 흙, 잡초 등을 제거 작업을 실시하여 선별된 마늘이 툰백에 수납이 되도록 하였다.
- 마늘 수집기는 차체 좌우 수평제어 및 전후 수평제어가 가능하도록 설계 진행하였다.
- 일반적인 뿌리작물 수확기는 차체의 전방에서 굴취 체인을 구동하는 수집부와, 수집된 작물을 이송하도록 다수의 이송 러그를 구동하는 이송부와 작물로부터 이물질(돌, 흙)을 선별하도록 다수의 선별 바를 구동하는 선별부 등을 탑재하여 뿌리 작물을 툰백에 수납하여 배출하도록 하는 일련의 구조로 이루어진다. 특히, 차체에 엔진을 탑재하는 자주식 뿌리작물 수확기는 엔진의 동력을 기어박스를 매개체로 단순 속비를 감가속하여 수집부 내지 선별부를 구동하도록 구성하나, 이와 같은 구동 방식은 작업 포장지 또는 작물의 상태에 따라서 수시로 가변하는 차량의 속도에 상응하여 수집부 내지 선별부의 작업 진행 속도를 조절하는 것이 어려운 문제를 해결하기 위하여 마늘수집기 작업 요인이 토양 상태, 작물의 재배 주간, 조간 등의 변수를 적용할 수 있도록 설계를 진행하였다.

28) 자주식 마늘 수집기 안정성 평가

가) 승용 자주식 마늘 수집기 횡전도 안정성 분석

- 시작기의 횡전도 안정성 평가 시험을 위해 농업기술실용화재단의 전도각 측정장비를 이용하여 횡전도각을 분석하였다.

구분	횡전도각(°)	
	좌	우



그림. 승용 자주식 마늘수집기 횡전도각 분석: (좌 : 분석 결과표 예시, 우 : 횡전도 분석 화면 예시)

나) 하중분포 및 차축 부담하중 분석

- 승용 자주식 마늘 수집기의 좌측과 우측의 하중분포를 측정하였다. 농업기계 검정 기준에 의거하여 적재물이 없는 공차상태의 하중분포를 측정하였다.



그림. 시작기 하중분포 측정의 예시

29) 자주식 마늘 수집기 최종사양 실증 시험 및 검인증

가) 핵심부품(모터, 컨트롤러, ESD) 평가를 위한 마늘수집기 사양(SPEC)

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집 체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이다.

표. 마늘수집기 제원

길이	5 580 mm
폭	2 205 mm
높이	2 100 mm
중량	3 170 kg
최저 지상고	250 mm
클러치 형식	벨트장력식
주변속 변속방식	전자유압식 (HST)
부변속단수	무단
부변속방식	기계식 (선택물림식)
부변속단수	3 단(저속,표준,주행)
이송부 동력전달	차속동조
조향방식	핸들식
차륜의 종류	무한궤도
무한궤도의 규격(폭X피치,링크수)	(450x90) mm, 53 개
무한궤도 접지길이	1 580 mm

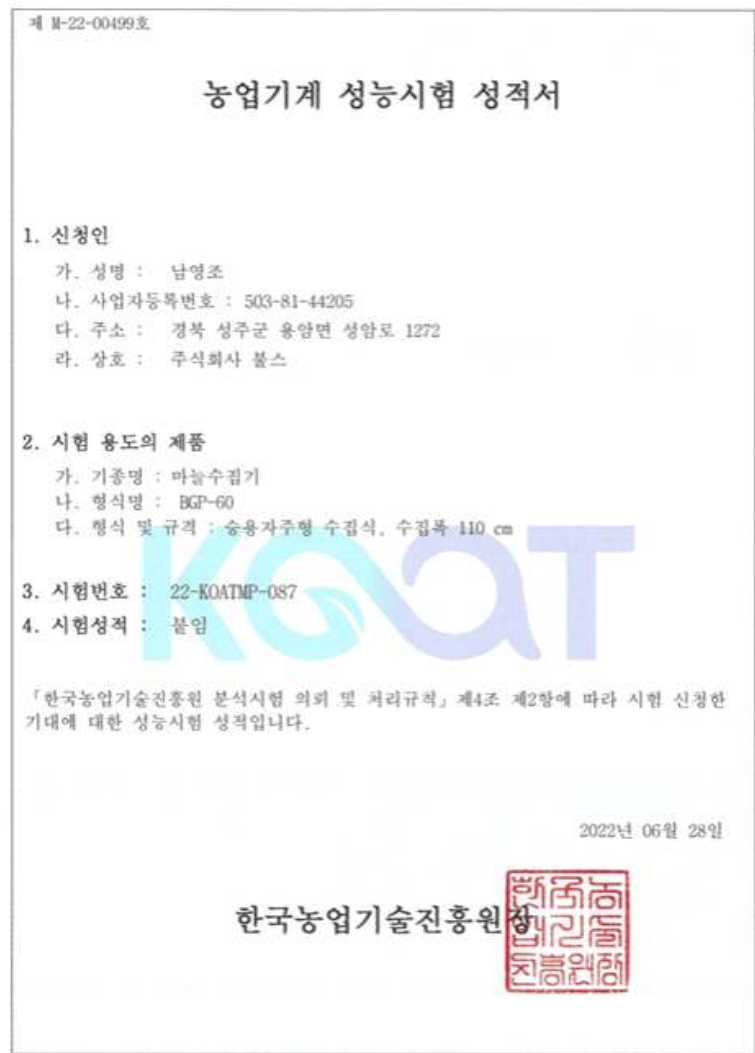


그림. 마늘수집기 농업기계 성능시험 성적서

나) 핵심부품인 주행 모터, 주행 컨트롤러 내구성 및 정전기(ESD) 내환경성 시험 평가를 실시한 제품을 사용하여 신뢰성을 높인 수집기를 개발하였다.

- 시험 개요

- * (주)네스트아이앤씨에서 시험 의뢰한 콤바인(수집기)주행컨트롤러+모터에 대한 시험 성적서임.
- * 시료 수: 1 개
- * 제품명: 콤바인(수집기)주행컨트롤러+모터
- * 전원: DC 12 V



그림. 마늘수집기 핵심부품 모터, 컨트롤러, ESD 시료

순	시험 항목	시험 조건	비 고
1	전압변동 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 최소전압: 6 V • 최대전압: 8 V • 반복 주파수 (1 ~ 5) Hz • 시험 시간: 1 시간 • 인가 파형: 방현파, 방현파 	시험 중,후에 파손되지 않을 것
2	버스트 노이즈 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 인가 전압: ± 2 kV ~ ± 4 kV • 시험 시간: 1 시간 • 버스트 주기: 5 kHz • 버스트 길이: 300 ms 	시험 중,후에 파손되지 않을 것
3	정전기 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 방전 Point: ① CASE 표시등 ② 스위치 ③ LCD 결합부 사이 • 기준방전/ 접촉방전: ± 8 kV • 각 Point 5회 인가 	시험 중,후에 파손되지 않을 것

그림. 마늘수집기 핵심부품 모터, 컨트롤러, ESD 신뢰성 평가 시험 항목

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 마늘에 대한 물성조사, 기술자료 및 문헌 조사 분석

가) 마늘 수확 및 건조

- 수집 시기 마늘의 함수율은 의성, 단양, 남도, 대서 순서로 각각 61.26%, 60.01%, 58.67%, 65.04%으로 나타났으며 55%~65%의 함수율이 분포되는 것으로 분석된다.

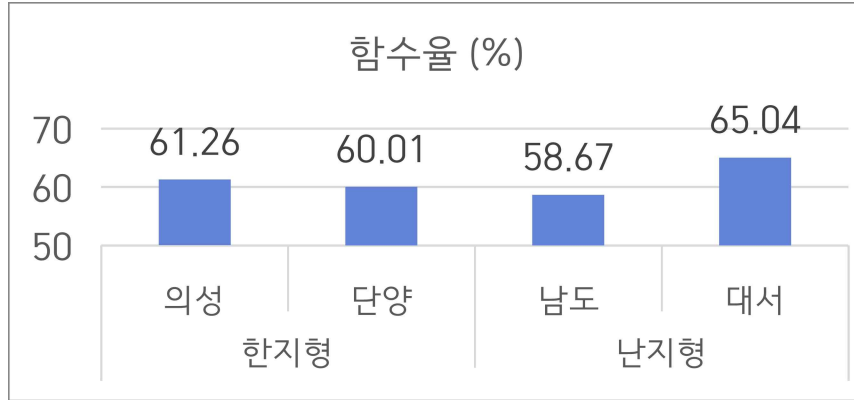


그림. 수집 직전 품종별 마늘의 평균 함수율

가) 마늘 크기별 기준

- 수집 직전 의성 품종 마늘의 호칭은 30구 중 14구가 L이었으며, 16구가 2L이었다. 단양 품종의 경우, M 호칭 4구, L 호칭 26구였다. 남도, 대서 품종의 경우, 각각 L 호칭 1구를 제외한 29구의 호칭은 2L로 굵은 것으로 분석되었으나 마늘 이송장치를 설계 시 작은 크기의 마늘도 고려되어야 할 것으로 판단된다.



그림. 품종별 마늘의 크기 (상측 순서로 남도, 의성, 대서, 단양 품종)

다) 주요 마늘 품종 특성

- 마늘의 외관 규격은 난지형 마늘이 한지형 마늘에 비해 비교적 컸으며, 이에 따라 무게, 길이, 폭 등이 크게 측정되었다. 마늘의 형상적 굴곡은 품종별로 비슷하였지만, 껍질 박피 후 관찰하였을 때, 난지형 마늘에서 불균일 마늘쪽인 쪽정이가 발견되었다. 이로 인하여 난지형 마늘의 낱알의 수가 더욱 많았으며, 그 편차 또한 크게 나타났다. 부피 및 밀도 또한 난지형 마늘에서 더 큰 값이 나타났다.



그림. 품종별 마늘의 크기 (상측 순서로 남도, 의성, 대서, 단양 품종)

표. 국내 마늘 특성 분류

구분	생태형	추대	한 구당 무게(g)	인편수 (마늘쪽 수)	파종기	수확기	원산지
서산종	한지형	완전추대	35~35	6~7	10월 중·하순	6월 하순	재래종
의성종	한지형	완전추대	35~35	6~7	10월 중·하순	6월 하순	재래종
단양종	한지형	완전추대	25~30	6~7	10월 중·하순	6월 하순	재래종
제주종	난지형	완전추대	35~40	9~10	8월 하순	6월 상순	재래종
해남종	난지형	완전추대	35~40	9~10	8월 하순	6월 상순	재래종
남도마늘	난지형	완전추대	40~45	9~11	9월 하순	6월 상·중순	중국
자봉마늘	극난지형	불완전추대	20~25	10~11	8월 하순	4월 중순	인도
대서마늘	극난지형	불완전추대	50~60	12~13	9월 중순	5월 중·하순	스페인

표. 수집 직전 품종별 마늘의 외관 규격 평균 물성 측정값

생태형	품종	무게(g)	길이(mm)	폭(mm)	날알의 수	
한지형	의성	Mean	49.24	42.09	48.09	6.67
		Std	7.52	3.08	2.91	0.65
		Max	68.14	49.43	53.33	8.00
		Min	37.57	37.19	42.28	5.00
	단양	Mean	40.62	36.49	44.16	7.23
		Std	6.07	2.43	3.11	0.80
		Max	53.03	40.19	49.71	10.00
		Min	31.32	31.40	37.54	6.00
난지형	남도	Mean	72.91	47.45	63.67	9.60
		Std	9.98	3.72	4.12	0.61
		Max	98.71	55.94	72.29	11.00
		Min	46.69	41.59	53.26	9.00
	대서	Mean	83.01	38.87	62.20	10.47
		Std	15.62	3.00	5.10	0.85
		Max	124.73	44.90	74.00	12.00
		Min	52.26	32.40	53.60	9.00

표. 수집 직전 품종별 마늘의 평균 부피 측정값

생태형	품종	부피(μm^3)	밀도(kg/m^3)	
한지형	의성	Mean	61.01	745.10
		Std	13.82	18.58
		Max	80.29	767.97
		Min	48.57	722.46
	단양	Mean	58.88	779.24
		Std	12.03	22.13
		Max	71.83	809.8
		Min	42.85	758.11
난지형	남도	Mean	87.72	860.41
		Std	8.96	90.88
		Max	100	987.00
		Min	78.88	777.92
	대서	Mean	90.5	933.97
		Std	15.45	161.474
		Max	112.33	1124.55
		Min	78.88	729.73

- 포아송비는 품종별 큰 차이를 보이지 않았으며, 의성, 단양, 남도, 대서 품종 순서로 각각 0.14, 0.16, 0.15, 0.16으로 나타났다. 탄성계수 최대값은 난지형 마늘 대서 품종이 37.87 MPa으로 가장 높았으며, 난지형 마늘 남도 품종이 7.53 MPa으로 품종별 탄성계수 중 최소값으로 나타났다. 평균 탄성계수는 의성, 단양, 남도, 대서 순서로 각각 15.63 MPa, 18.56 MPa, 15.52 MPa, 25.55 MPa으로 나타났다.

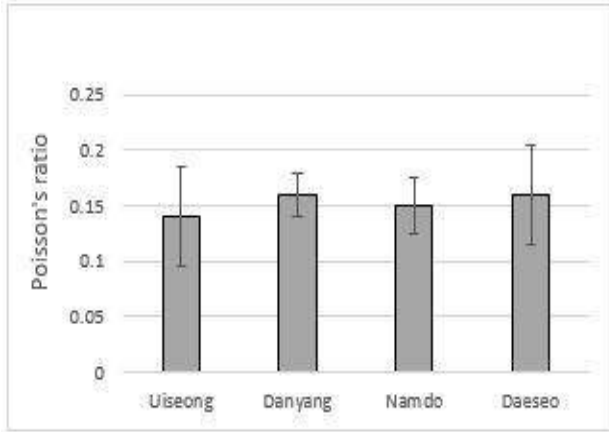


그림. 수집 직전 품종별 마늘의 평균 포아송비와 표준편차

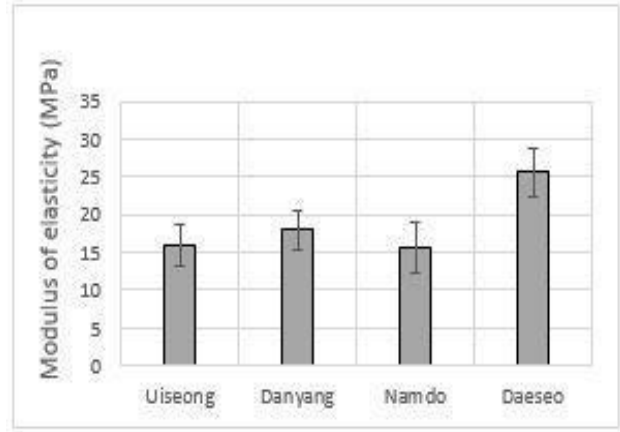


그림. 수집 직전 품종별 마늘의 평균 탄성계수와 표준편차

- 모든 품종의 정마찰계수가 플라스틱 재질에서 공통으로 가장 낮게 측정되었으며, 알루미늄 재질에서 가장 높은 정마찰계수가 공통으로 측정되었다.

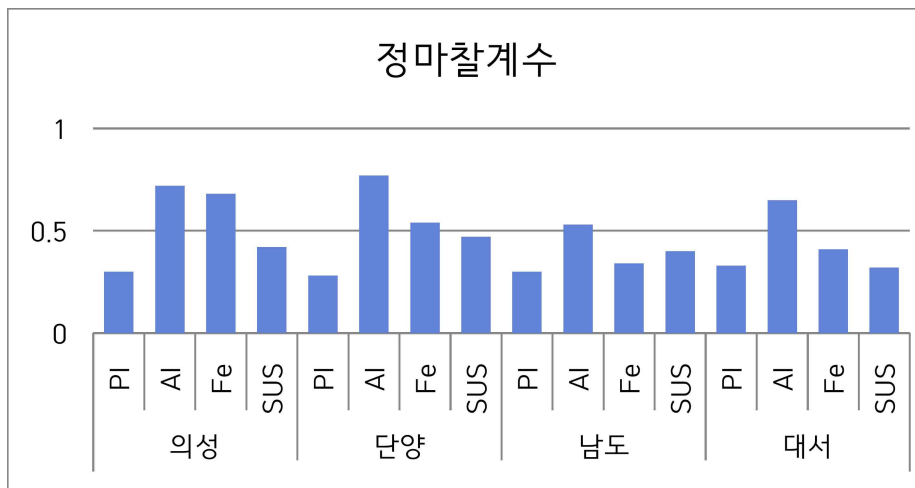


그림. 재료별 수집 직전 품종별 마늘의 평균 정마찰계수

(2) 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 평가 (OWAS, REBA, RULA)

가) 작업분석 평가도구를 통한 건조된 마늘 수집 시 작업자 신체에 작업 부담을 평가

- 근골격계 평가는 작업 자세별 각도, 짐 하중 등을 고려하므로, 작업자의 팔의 각도, 허리 굽힘 정도와 이송하는 짐의 무게를 포함하여 평가한다. 평가를 고려하였을 때, REBA 점수는 4 ~ 7점은 '조치 필요함', 8 ~ 10점은 '빠른 조치 필요함', 11 ~ 15점은 '즉각 조치'이고, RULA 점수는 5 ~ 6점은 '개선 필요', 7점 이상은 '즉각 개선 필요'로 평가된다. 줄기 절단 작업의 근골격계 위험부담 평가시 주된 위험 요소는 허리 굽힘이다. 작업 위험부담 평가 기준 신체부위 사용 유무 및 각도, 부하 하중 등에 의하여 평가된 줄기 절단 작업의 평가 단계는 '조치가 필요함'으로 나타났다. 줄기 절단 작업의 신체 부위 사용 유무는 전신이며, 허리가 20° 이상 구부러져 있으며, 마늘의 무게는 10kg 이하이다.

표. 의성지역 좌식 마늘 수집 및 줄기 절단 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 6 조치단계 보통	RULA 점수 5 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 의성지역 좌식 마늘 수집 및 줄기 절단 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20° 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	앞음	1	
중량물	<10kg	1	

표. 의성지역 좌식 마늘 수집 및 줄기 절단 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	-20° ~ +20°	2	윗팔	20°~45°	2
목	20° 구부림	2	아래팔	~60°	1
다리	앞았을시	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	이상적이 아 님	1
점수 A		3	점수 B		2
점수 C		행동점수		REBA 점수	
5		1		6	

표. 의성지역 좌식 마늘 수집 및 줄기 절단 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	20°~45°	2	목	20° 이상 숙임	3
아래팔	0~60°	2	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	±15° 벗어남, 작업 중 최대치 절반이내	1	점수 B		4
점수 A		3	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이하	0	근육사용점 수	분당 4회 이상	1
근육사용점 수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		4			
점수 C		점수 D		RULA 점수	
4		5		5	

- 땅속 마늘 인발 및 좌식 마늘 수집 작업은 앉은 자세에서 수작업으로 이루어졌으며, 땅속 마늘 인발 작업의 주 신체 부위 사용 유무는 허리이다. 장시간 앉은 채 이동하며 2kg 이하의 힘 부하 작업을 진행하는 인발 작업의 근골격계 작업 부담 평가는 위험수준 평가 기준 의거, '조치 필요' 단계로 평가되었다.

표. 남해 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 6 조치단계 보통	RULA 점수 5 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 남해 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20도 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	앉아 있음	1	
중량물	<10kg	1	

표. 남해 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	-20° ~ +20°	2	윗팔	20°~45°	2
목	20° 구부림	2	아래팔	~60°	1
다리	앉았을시	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	이상적이 아 님	1
점수 A		3	점수 B		2
점수 C		5	행동점수		1
			REBA 점수		6

표. 남해 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	20°~45°	2	목	20° 이상 숙 임	3
아래팔	0~60°	2	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	±15° 벗어 남, 최대치 절반 이내	1	점수 B		4
점수 A		3	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이 하	0	근육사용점 수	분당 4회 이 상	1
근육사용점 수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		4			
점수 C		4	점수 D		5
			RULA 점수		5

표. 남해 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 6 조치단계 보통	RULA 점수 5 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 의성 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20° 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	앉음	1	
중량물	<10kg	1	

표. 의성 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	-20° ~ +20°	2	윗팔	20°~45°	2
목	20° 구부림	2	아래팔	~60°	1
다리	앉아있을 시	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	이상적이 아 님	1
점수 A		3	점수 B		2
점수 C		5	행동점수		1
			REBA 점수		6

표. 의성 지역 땅 속 마늘 인발 작업 및 좌식 마늘 수집 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	20°~45°	2	목	20° 이상 숙 임	3
아래팔	0~60°	2	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	±15° 벗어 남, 최대치 절반이내	1	점수 B		4
점수 A		3	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이 하	0	근육사용점 수	분당 4회 이 상	1
근육사용점 수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		4			
점수 C		4	점수 D		5
			RULA 점수		5

- 마늘 수집 작업은 조사한 모든 농가에서 수작업으로 작업이 이루어지고 있었다. 수집 작업은 서서 이동하면서 수집하는 작업 형태와 노지 전용 쿠션을 이동시키면서 앉은 채 수집 작업을 하는 형태로 분류되었다. 또한 마늘 운반 작업도 유해요인 평가를 실시하였다. 마늘 수집 작업 도중 근골격계 질환 위험 부담 중 가장 높은 부담은 이송 작업으로 나타났다. 근골격계 위험 부담 평가 기준, REBA, RULA 점수는 '조치 필요함' 단계로 나타났으며, 줄기 절단, 땅속 마늘 인발 작업에 비해 높은 평가 점수가 나타나 빠른 개선이 필요한 것으로 분석된다. 전반적인 수집 작업의 근골격계 위험 부담 평가는 조치가 필요한 것으로 나타났으며, 마늘수집기 개발을 통한 마늘 농업 종사자의 근골격계질환 예방 조치가 필요한 것으로 분석된다.

표. 남해 지역 입식 마늘 수집 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 6 조치단계 보통	RULA 점수 5 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 남해 지역 입식 마늘 수집 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20° 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	앉음	1	
중량물	<10kg	1	

표. 남해 지역 입식 마늘 수집 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	-20° ~ +20°	2	윗팔	20°~45°	2
목	20° 구부림	2	아래팔	~60°	1
다리	앉아있을 시	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	이상적이 아 님	1
점수 A		3	점수 B		2
점수 C		5	행동점수		1
			REBA 점수		6

표. 남해 지역 입식 마늘 수집 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	20°~45°	2	목	20° 이상 숙임	3
아래팔	0~60°	2	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	±15° 벗어 남, 최대치 절반이내	1	점수 B		4
점수 A		3	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이하	0	근육사용점 수	분당 4회 이 상	1
근육사용점 수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		4			
점수 C		4	점수 D		5
			RULA 점수		5

표. 남해 지역 작식 마늘 수집 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 6 조치단계 보통	RULA 점수 6 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 남해 지역 작식 마늘 수집 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20° 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	앉음	1	
중량물	<10kg	1	

표. 남해 지역 작식 마늘 수집 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	-20° ~ +20°	2	윗팔	20°~45°	2
목	20° 구부림	2	아래팔	~60°	1
다리	앉아있을 시	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	이상적이 아 님	1
점수 A		3	점수 B		2
점수 C		행동점수		REBA 점수	
5		1		6	

표. 남해 지역 작식 마늘 수집 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	20°~45°	2	목	10°~20°이상 숙임	2
아래팔	100° 이상	2	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	중양선 기준 최대치까지 비틀림	2	점수 B		4
점수 A		4	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이 하	0	근육사용점 수	분당 4회 이 상	1
근육사용점 수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		5			
점수 C		점수 D		RULA 점수	
5		5		6	

표. 남해 지역 운반 작업


	OWAS 활동점수 2	REBA 점수 7 조치단계 보통	RULA 점수 6 Action Level 3
---	-------------	----------------------	-----------------------------

표. 남해 지역 운반 작업 OWAS 분석

신체부위	자세설명	코드	OWAS 활동점수
허리	20° 이상 구부림	2	2
상지	양팔 어깨 아래	1	
하지	양 발 똑바로	2	
중량물	<10kg	1	

표. 남해 지역 운반 작업 REBA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
몸통	20° ~ 60°	3	윗팔	45°~90°	3
목	0~10° 구부림	1	아래팔	100° 이상 들림	2
다리	양발 똑바로	1	손목	비틀림	1
무게/힘	F<5kg	0	손잡이	정상	0
점수 A		2	점수 B		4
점수 C		6	행동점수		1
			REBA 점수		7

표. 남해 지역 운반 작업 RULA 분석

신체부위	자세	점수	신체부위	자세	점수
윗팔	90° 이상	4	목	10°~20°이상 숙임	2
아래팔	60°~100°	1	몸통	20°~60°	3
손목	-15°~15°	2	다리	균형 잡힘	1
손목비틀기	중양선 기준 비틀림	1	점수 B		4
점수 A		4	힘/무게점수	간헐적 무게 2kg 밑	0
힘/무게점수	무게 2kg 이하	0	근육사용점수	분당 4회 이상	1
근육사용점수	고정된 자세 유지	1	점수 D		5
점수 C		5			
점수 C		5	점수 D		5
			RULA 점수		6

(3) 주산지의 토양 물성(토성, 함수율, Cone Index 등) 측정 및 분석

- Cone Index 측정 결과, 4가지 측정 대상 주산지 모두 측정 깊이에 따라서 비례적으로 Cone Index 높아지는 것으로 나타났으며 3반복 실험을 한 평균값을 기준으로 남해 남도 품종이 5cm 깊이에서 26.63 N으로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 의성 의성 품종이 15 cm 깊이에서 89.07 N으로 가장 높게 나타났다. 또한 토양 함수율에 있어 남해 남도 품종과 의성 의성 품종 창녕 대서 품종의 토양에서는 17 % ~ 19 % 사이의 값으로 균일하게 분포되었으나 단양 단양 품종의 토양에서는 12.44 %로 함수율이 낮게 측정되었으며, 흙 먼지 및 분진이 날리는 것으로 조사되었다. 가수를 통하여 함수율을 높인 후 수확 작업을 실시해야 될 것으로 판단된다.

표. 남해 남도 품종 토양 Cone Index

남해 남도 품종 마늘 Cone Index [N]												
구분	5cm 깊이 Cone Index				10cm 깊이 Cone Index				15cm 깊이 Cone Index			
	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	20	22	26	22.67	30	30	36	32.00	46	42	64	50.67
2m 구간	26	29	24	26.33	26	42	42	36.67	50	48	34	44.00
4m 구간	32	36	40	36.00	40	40	50	43.33	52	44	48	48.00
6m 구간	30	30	30	30.00	32	40	36	36.00	34	40	46	40.00
8m 구간	24	30	34	29.33	34	38	40	37.33	40	40	44	41.33
10m 구간	22	24	24	23.33	38	34	30	34.00	46	42	48	45.33
12m 구간	32	26	26	28.00	26	30	40	32.00	34	38	44	38.67
14m 구간	18	22	26	22.00	30	30	30	30.00	34	30	48	37.33
16m 구간	24	26	26	25.33	32	36	38	35.33	52	50	70	57.33
18m 구간	20	26	24	23.33	36	36	36	36.00	64	50	50	54.67
전체 평균	24.8	27.1	28.0	26.63	32.4	35.6	37.8	35.27	45.2	42.4	49.6	45.73

표. 의성 의성 품종 토양 Cone Index

의성 의성품종 마늘 Cone Index [N]												
구분	5cm 깊이 Cone Index				10cm 깊이 Cone Index				15cm 깊이 Cone Index			
	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	68	68	58	64.67	70	68	66	68.00	92	90	94	92.00
2m 구간	54	48	48	50.00	68	66	68	67.33	86	88	92	88.67
4m 구간	50	68	60	59.33	76	76	70	74.00	96	94	94	94.67
6m 구간	54	44	56	51.33	68	70	62	66.67	90	90	82	87.33
8m 구간	58	66	64	62.67	74	80	78	77.33	80	86	84	83.33
10m 구간	62	64	62	62.67	64	66	70	66.67	98	86	88	90.67
12m 구간	54	58	66	59.33	66	72	64	67.33	88	92	92	90.67
14m 구간	54	54	70	59.33	60	62	62	61.33	90	82	90	87.33
16m 구간	52	42	46	46.67	66	66	68	66.67	92	88	86	88.67
18m 구간	54	44	52	50.00	60	60	60	60.00	84	92	86	87.33
전체 평균	56.0	55.6	58.2	56.60	67.2	68.6	66.8	67.53	89.6	88.8	88.8	89.07

표. 단양 단양 품종 토양 Cone Index

단양 단양 품종 마늘 Cone Index [N]												
구분	5cm 깊이 Cone Index				10cm 깊이 Cone Index				15cm 깊이 Cone Index			
	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	30	40	26	32.00	38	40	40	39.33	64	56	58	59.33
2m 구간	40	30	22	30.67	30	30	32	30.67	66	56	66	62.67
4m 구간	34	38	28	33.33	56	42	44	47.33	56	54	56	55.33
6m 구간	36	30	32	32.67	40	58	56	51.33	58	72	101	77.00
8m 구간	30	28	36	31.33	32	40	52	41.33	74	68	38	60.00
10m 구간	38	32	38	36.00	32	32	30	31.33	54	60	52	55.33
12m 구간	28	30	24	27.33	28	32	30	30.00	42	52	48	47.33
14m 구간	28	28	30	28.67	38	48	46	44.00	76	66	80	74.00
16m 구간	42	38	48	42.67	66	44	56	55.33	58	56	34	49.33
18m 구간	22	28	28	26.00	42	32	40	38.00	86	64	68	72.67
전체 평균	32.8	32.2	31.2	32.07	40.2	39.8	42.6	40.87	63.4	60.4	60.1	61.30

표. 창녕 대서 품종 토양 Cone Index

창녕 대서 품종 마늘 Cone Index [N]												
구분	5cm 깊이 Cone Index				10cm 깊이 Cone Index				15cm 깊이 Cone Index			
	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	78	78	66	74.00	78	74	72	74.67	112	116	92	106.67
2m 구간	12	20	54	28.67	58	58	64	60.00	78	104	78	86.67
4m 구간	42	38	46	42.00	62	56	54	57.33	80	94	74	82.67
6m 구간	38	36	36	36.67	58	54	56	56.00	68	64	80	70.67
8m 구간	36	36	32	34.67	46	58	52	52.00	70	120	62	84.00
10m 구간	50	36	34	40.00	60	58	52	56.67	72	84	68	74.67
12m 구간	46	48	44	46.00	56	68	58	60.67	96	90	102	96.00
14m 구간	38	40	42	40.00	58	62	54	58.00	76	68	64	69.33
16m 구간	52	50	64	55.33	64	72	64	66.67	64	70	76	70.00
18m 구간	48	58	58	54.67	72	72	72	72.00	82	90	74	82.00
전체 평균	44.0	44.0	47.6	45.20	61.2	63.2	59.8	61.40	79.8	90.0	77.0	82.27

표. 주산지별 토양 함수율

남해 남도품종 토양 함수율 [%]				
구분	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	16.95	17.91	17.39	17.42
5m 구간	18.44	17.68	19.17	18.43
10m 구간	22.44	21.19	21.5	21.71
15m 구간	21.27	23.31	22.14	22.24
전체 평균	19.78	20.02	20.05	19.95

의성 의성품종 토양 함수율 [%]				
구분	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	17.19%	17.62%	17.63%	17.48%
5m 구간	20.35%	19.70%	20.05%	20.03%
10m 구간	17.87%	17.66%	18.07%	17.87%
15m 구간	19.46%	19.19%	18.61%	19.09%
전체 평균	18.72%	18.54%	18.59%	18.62%

단양 단양품종 토양 함수율 [%]				
구분	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	12.53%	12.21%	12.81%	12.52%
5m 구간	13.51%	13.28%	13.11%	13.30%
10m 구간	12.42%	11.83%	11.36%	11.87%
15m 구간	12.19%	11.83%	12.22%	12.08%
전체 평균	12.66%	12.29%	12.38%	12.44%

창녕 대서품종 토양 함수율 [%]				
구분	1차 측정	2차 측정	3차 측정	평균
0m 구간	15.75	17.44	17	16.73
5m 구간	16.78	17.77	16.48	17.01
10m 구간	17.03	16.36	16.69	16.69
15m 구간	18.44	18.78	18.56	18.59
전체 평균	17.00	17.59	17.18	17.26

- 공인인증 업체를 통하여 수집 직전 품종별 마늘 재배 토양을 분석 결과 남도 품종, 의성 품종, 대서, 품종의 재배토양의 토성은 입자지름이 2mm 이하의 가늘고 고운 흙중에 점토가 25~37.5% 함유된 양토로 구분되었다. 반면 토양의 함수율이 낮았던 단양 품종의 재배 토양의 경우는 점토를 37.5%~50% 포함하고 있는 식양토로 구분되었으며 이에 따라 농업용 기계개발 시 파종, 재배 및 수확에 각기 다른 기준이 필요할 것으로 판단되며 마늘수집기 개발을 위한 본 연구에서 설계 기준을 정립함에 있어 단양 품종의 토양 특성을 충분히 고려해야 될 것으로 판단된다.

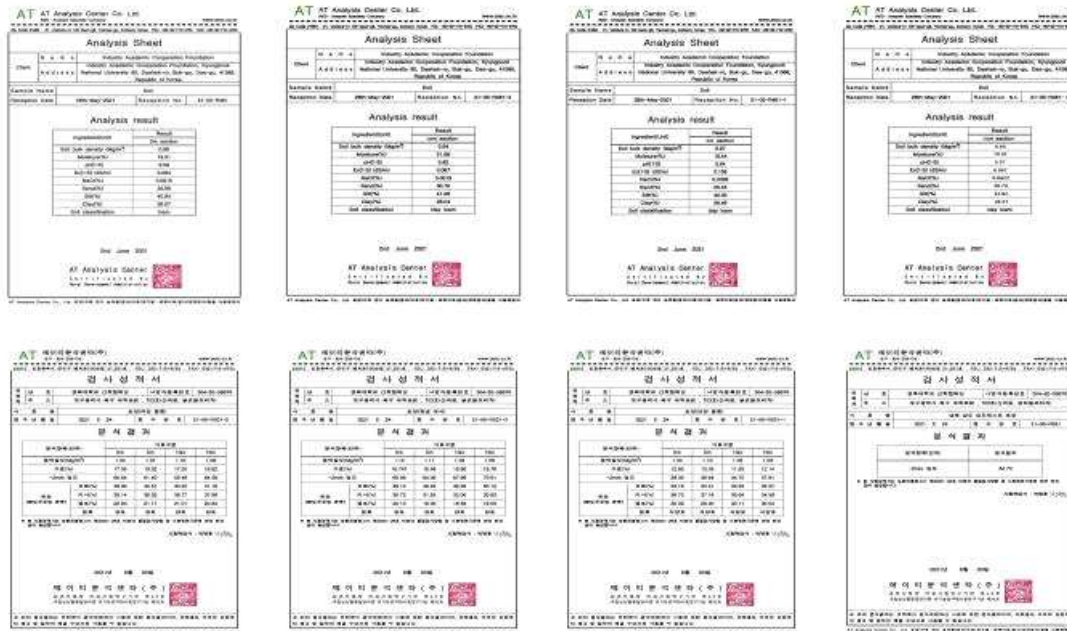


그림. 토양 물성 분석 성적서

(4) 선행 연구 개발의 문제점 분석

가) 부착형 수확기 문제점 - 굴취 폭에 따른 타이어 교체 문제

- 수확기에 따라 부착하는 트랙터가 달라, 트랙터의 차폭이 좁은 트랙터를 사용할 경우, 기존의 휠타이어는 폭이 넓어 작물을 밟거나 스치는 것을 최소화하기 위해 협폭타이어를 별도로 구매 후 장착하여야 한다.



그림. 부착형 트랙터 수확기 타이어 교체 문제 장면

나) 선별부 탑승자들의 안전 취약

- 이송부 탑승자들이 이물질 선별하는 경우, 별도의 안전장치가 존재하지 않아 위험 요소가 크다. 한정된 선별부 작업대의 높이에 의해 키가 작은 작업자의 경우, 보조 발판을 밟고 작업을 진행해야 하므로 진동에 의한 전도 위험이 있고, 키가 큰 작업자의 경우 허리 부담이 크다.



그림. 선별부 높이에 따른 선별 작업자 위험 노출 장면

다) 자주식 수확기의 문제점 - 농가의 장비 숙지 미달

- 기존에 쓰던 장비에 탈부착 형식이 아닌 새로운 형식의 장비이기 때문에 고령화 농업 사회에 반복적인 교육이 없는 이상, 조작미숙으로 인한 사고 발생 우려 및 위험이 높다.



그림. 새로운 자주식 수확기 농가 작동 교육 장면

라) 자주식 수확기 작동속도와 작업자의 작업속도 차이

- 부착형 수확기에 비해 작업속도가 빠른 자주식 수확기는 선별 작업시 작업자의 손이 컨베이어와 직접적 노출이 발생하므로, 협착사고의 위험이 크다.



그림. 자주식 수확기 선별부 컨베이어에 작업자 손이 직접적 노출 장면

마) 자주식 수확기 작업자 안전장치 결여

- 선별 작업자의 작업 시 안전벨트 없이 서서 작업하며, 농업 장비 특성상 엔진 및 노지 환경으로 인한 진동 발생은 낙하위험을 초래한다. 자주식 수확기 자체에서 발생하는 소음으로 인한 운전자와 작업자간 원활하지 못한 소통으로 인한 즉각적인 사고 대처 미흡하다.

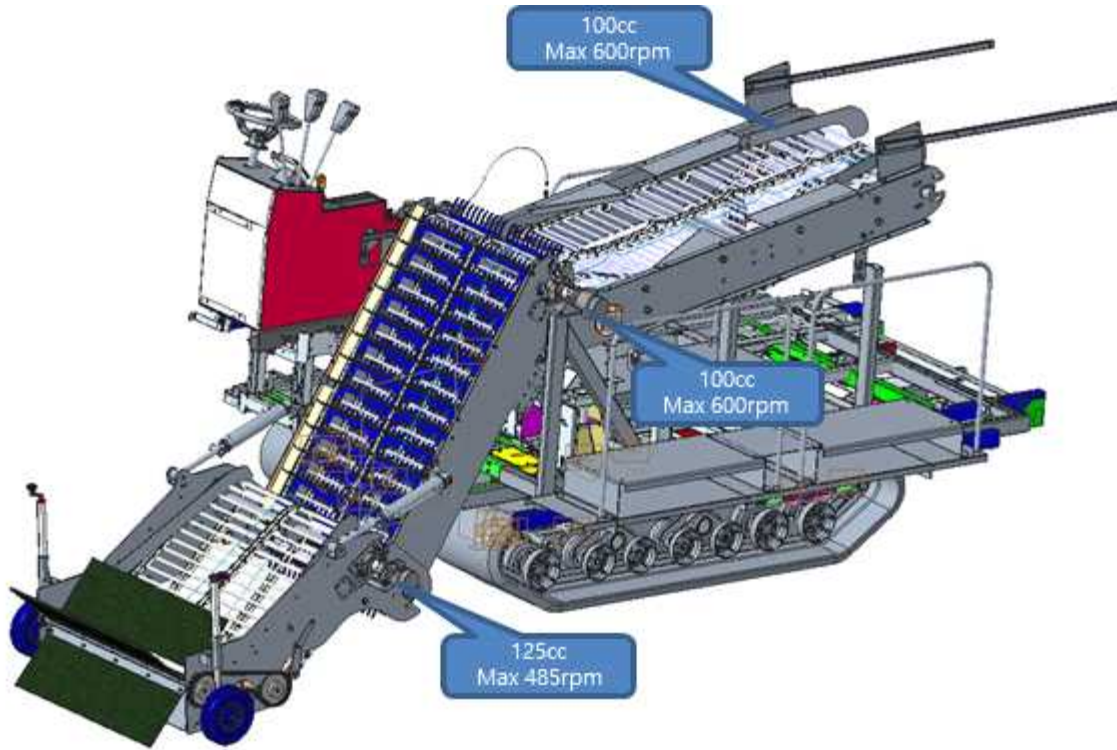


그림. 자주식 수확기 작업 시 낙하위험에 노출된 선별부 작업자 작업 장면

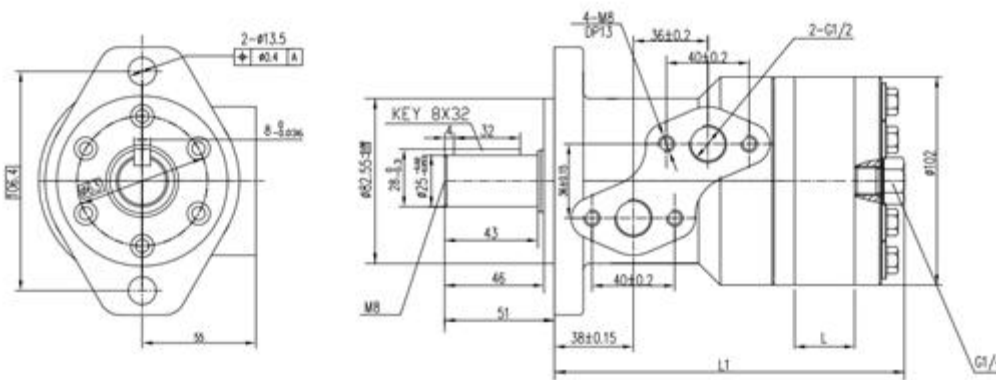
(5) 수집부 Layout 및 주행부 Matching 설계

가) 수집, 이송, 선별부 회전수 선정

- 45kW급 자주식 마늘 수집기 각부 회전수 Matching



- 엔진 정격 회전수(rpm) : 2600
- 각부 구동을 위한 유압모터 선정
- 유압모터 사양



TABLE

排油量(cc/rev)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
L	9	11.5	14.5	17.8	23	29	37	46	57	72	96
L1	146	148.5	151.5	155	160	166	174	183	194	209	227

- 유압모터 회전수 계산

* 기어펌프 유량 계산 : $2600 \times 13 = 33.8L$.

여기서, 엔진 회전수(rpm) : 2800, 기어펌프 용량(cc) : 13.

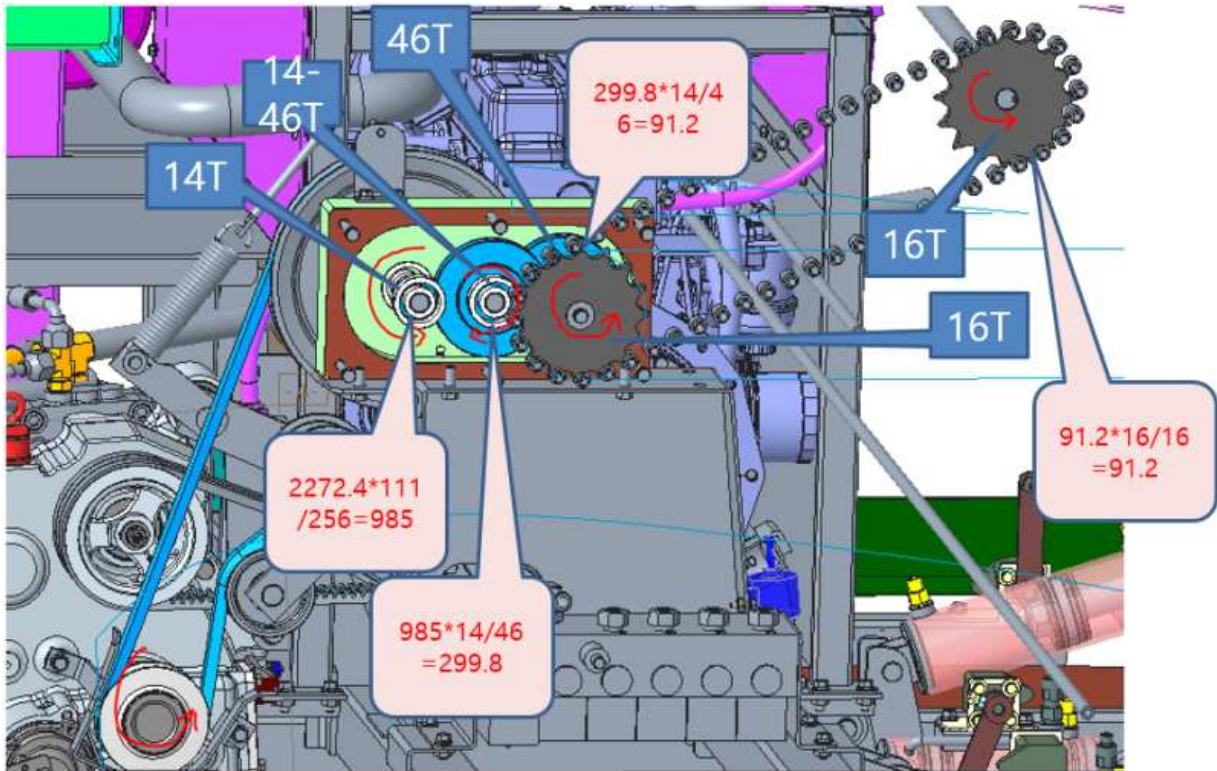
* 유압모터 1개당 필요 유량 : $33.8/3 = 11.3L$.

- PTO 구동 BOX 구동 관계

* PTO BOX 감속비 : $2272.4 \times 111 / 256 \times 14 / 46 \times 14 / 46 = 91.2rpm$.

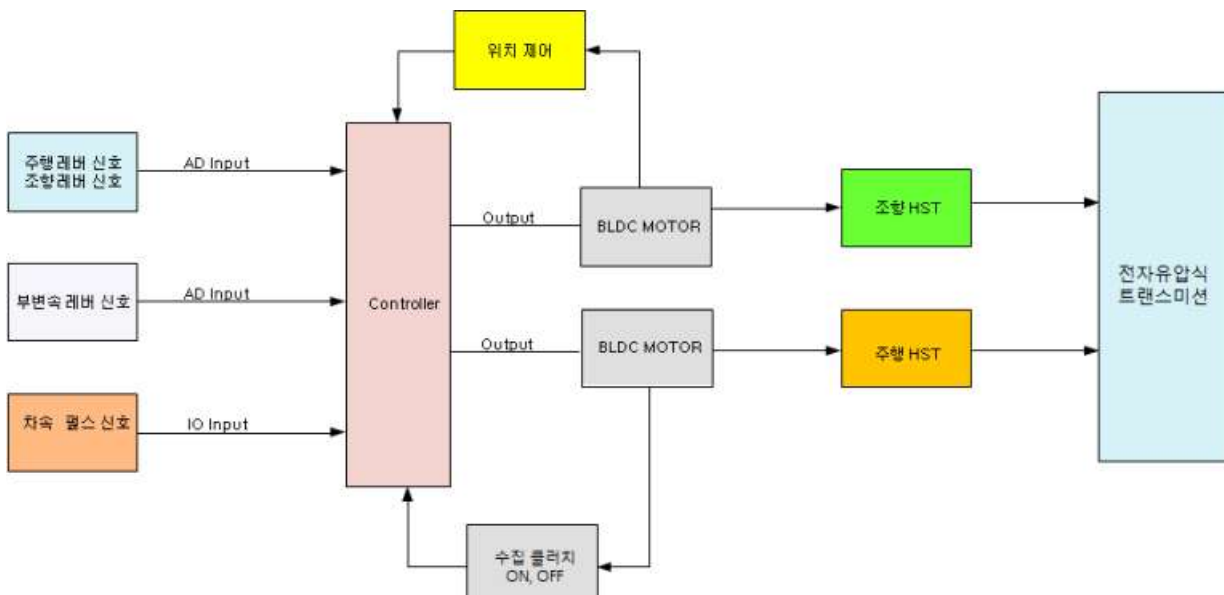
여기서, 엔진 정격 회전수(rpm) : 2600, 수집 PTO 출력 회전수(rpm) : 2272.4.

PTO 입력 풀리 PCD : 111, PTO 구동 출력 PCD : 256.



(6) 전자유압미션제어 알고리즘 개발

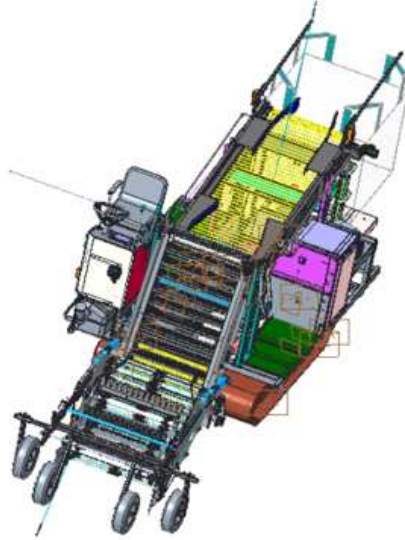
가) 전자유압미션 제어 블록도



(7) 차체 전후좌우 수평제어 알고리즘 개발

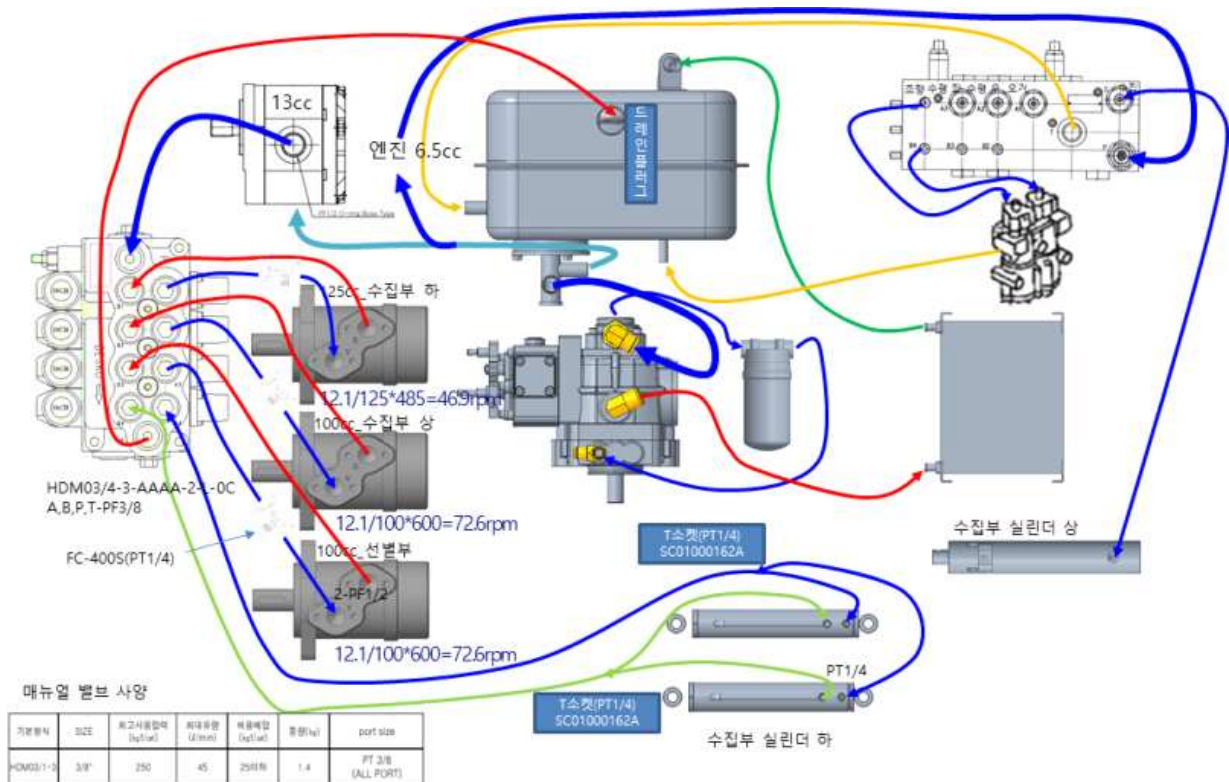
가) 전장품 구성도

1. 핸들 조합
2. 계기판
3. 주행 컨트롤러
4. 메인 컨트롤러
5. 보조 컨트롤러
6. 키스위치
7. 크로스레버스위치 전(리프트, 틸팅)
8. 토글스위치(전후피칭)
9. 토글스위치(선별모터)
10. 토글스위치(릴, 예비)
11. 주변속 포텐서메터
12. 부변속 포텐서메터
13. 경보혼
14. 안전스위치(시동)
15. 콤비네이션스위치
16. 안전스위치(수집클러치레버)
17. 램프스위치(작업등)
18. 램프스위치(TBS자동)
19. 램프스위치(스핀자동)
20. 방향지시등(전 우)
21. 방향지시등(전 좌)
22. 작업등(전 우)
23. 작업등(전 좌)
24. 볼륨1K(경사각 조절)
25. 볼륨1K(수집높이조절)
26. 배터리(12V100AH)
27. 연료센서
28. 경사센서(롤링)
29. 경사센서(피칭)
30. 각도센서(피칭)
31. 각도센서(롤링 우)
32. 각도센서(롤링 좌)
33. 엔진(스타터모터)
34. 엔진(수운센서)
35. 엔진(발전기)
36. 엔진(오일압력스위치)
37. 엔진(연료정지 Sol)
38. 엔진(타코메터 센서)



39. 연료 피드펌프
40. 주행모터
41. 선회모터
42. 정지방향지시등(우)
43. 정지방향지시등(좌)
44. 긴급연진정지 스위치(우)
45. 긴급연진정지 스위치(좌)
46. 크로스레버스위치 후(리프트, 틸팅)
47. 백버저
48. 작업등(후 우)
49. 작업등(후 좌)
50. 콘트롤밸브(메인)
51. 콘트롤밸브(서브)
52. 자동화 : 리모콘 or 크로스레버스위치(수집부) 안전스위치(틸팅)
53. 차속센서
54. 수집높이조절(리프트 센서;포텐서메터)
55. 기타
 1. 릴레이
 - 1) 전원 릴레이
 - 2) 작업등 릴레이
 - 3) 정지, 부저 릴레이
 - 4) 글로유 릴레이
 - 5) 스타터 릴레이
 2. 타이머
 3. 서지흡수버
 4. 퓨즈블 퓨즈
 5. 진단컨넥터
57. 전장 하니스
 1. 메인 하니스
 2. 엔진 하니스
 3. 주행/밸브 하니스
 4. 램프 하니스
 5. 자동화(수집부 상하 좌우, 엔진 정지) 하니스
 6. 유압 하니스
 7. -배터리 케이블

나) 유압라인 구성도



(8) Proto 부품 개발 및 조립
 가) Proto 주요 부품 제작 과정



그림. 콤바인 차대 수정 작업



그림. 수집 프레임 조립



그림. 수집컨베이어 완성 및
 마늘 빠짐 검토



그림. 수집부 Assy



그림. 이송러그 부품



그림. 이송부 Assy



그림. 선별부 Assy



그림. Proto기 조립(전면)



그림. Proto기 조립(후면)

(9) 수집 선별 장치 개념 설계에 대한 입자 거동 해석 및 분석(Rocky-DEM)

가) 마늘의 표면 손상을 최소화하기 위한 이송부의 요인시험

- 해석 진행 시 활용된 마늘의 모델은 3D 프린트를 활용하여 설계되었다. 해석 시 측정된 물리적 특성을 품종별로 기입해주었다.



(a)



(b)



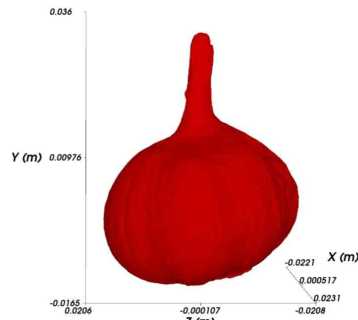
(c)



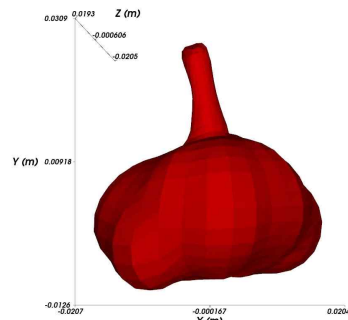
(d)

그림. 품종별 자연 건조 후 수집 직전 마늘:

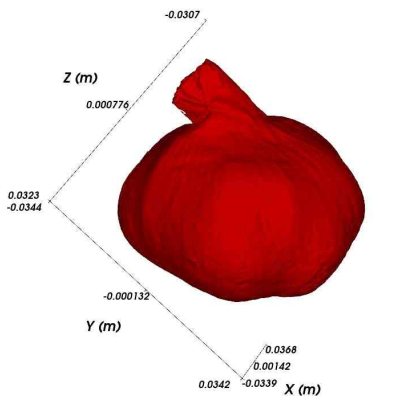
(a) 의성품종, (b) 단양품종, (c) Namdo, and (d) Daeseo



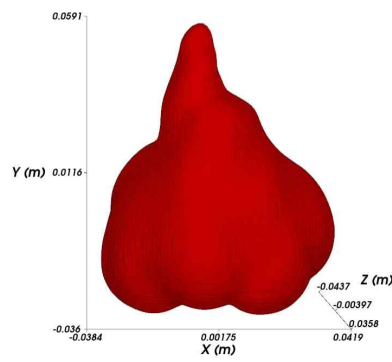
(a)



(b)



(c)



(d)

그림. 물리적 특성이 적용된 품종별 마늘의 3D 모델링:

(a) 의성품종, (b) 단양품종, (c) Namdo, and (d) Daeseo

- 마늘의 크기는 선행되어 조사된 주산지별 자료에 의거하여 가장 큰 것(2L=5cm)과 가장 작은 것(M=3cm)으로 구분하였으며 이송부의 속도는 시제품의 기본적인 회전속도인 하단부 스프로킷의 회전속도를 50 rpm으로 설정하여 기어비에 의해서 0.1 m/s가 될수 있도록 하였으며 각도는 14°로 설정하였다. 이상의 조건들로 입자거동해석(Rocky-DEM, Rocky INC, USA)을 수행하여 마늘이 튀어오르는 (y 방향의 높이값) 높이와 마늘의 수집량을 분석하였으며 그 결과 M(3cm) 크기에서 수집량은 19 ea였으며 튀어오르는 높이는 4.6 ~ 7.3 cm로 분석되었고 2L(5cm)의 크기에서 수집량 20ea 튀어오르는 높이는 5.9 ~ 7.3 cm로 분석되어 주산지에서 수집된 마늘을 대상으로 하였을 때 그 크기에 따른 튀어오르는 값의 유의미한 차이는 나타나지 않았으며 1차년도 개발품을 적용하여 마늘을 이송 시 7.4 cm 높이로 튀어 올라 철판으로 자유낙하 시 사이즈에 따른 무게 차이를 고려하여도 표면 손상은 나타나지 않는 것으로 분석된다.

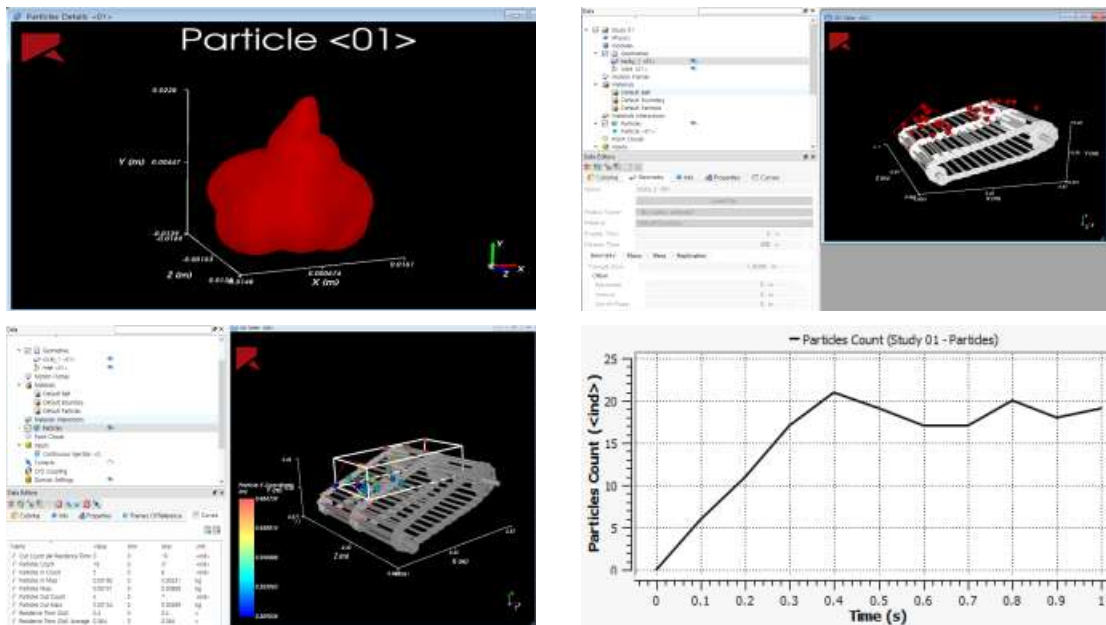


그림. 마늘 크기 M(3cm)에서의 입자거동해석

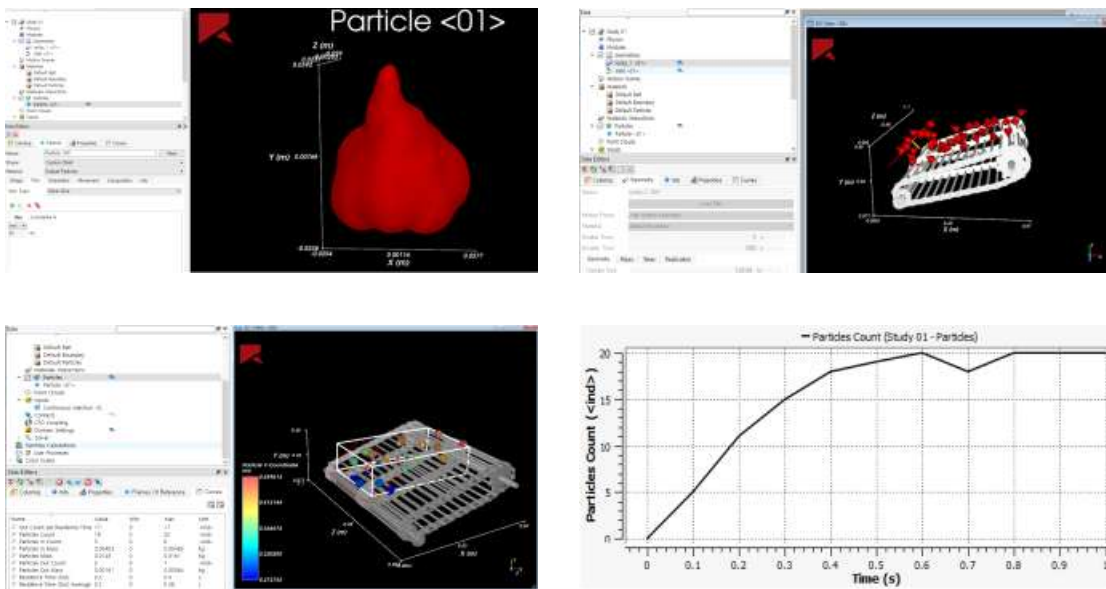


그림. 마늘 크기 2L(5cm)에서의 입자거동해석

나) 이송부 부품의 최적 설계 변수 도출

- 파라미터는 제어인자의 개수와 수준을 고려하여 2개의 제어인자를 3수준으로 분석하는 L9(3²)형 직교배열표로 배치하였다. 이는 제어인자의 변화가 마늘 이송 과정에서 평면에 대한 수직방향(높이)으로 벗어나는 정도를 분석하기 위한 실험배치로서 인자 간의 교호작용을 고려한 최적의 설계조건을 구명하고자 한다.

표. 다구찌 기법을 활용한 직교배열 실험설계

Test no.	Combinations of factors	
	수집 속도 (m/s)	이송부 각도 (°)
1	0.1	14
2	0.1	17
3	0.1	20
4	0.2	14
5	0.2	17
6	0.2	20
7	0.3	14
8	0.3	17
9	0.3	20

다) 선별 컨베이어에 작용하는 저항력 분석 및 설계변수 최적화

- 다구찌 기법으로 설계된 실험방법에 의거하여 마늘의 크기별로 (2L,M) 9번씩 품 18번의 의 해석을 수행하여 그 결과를 분석하였다.

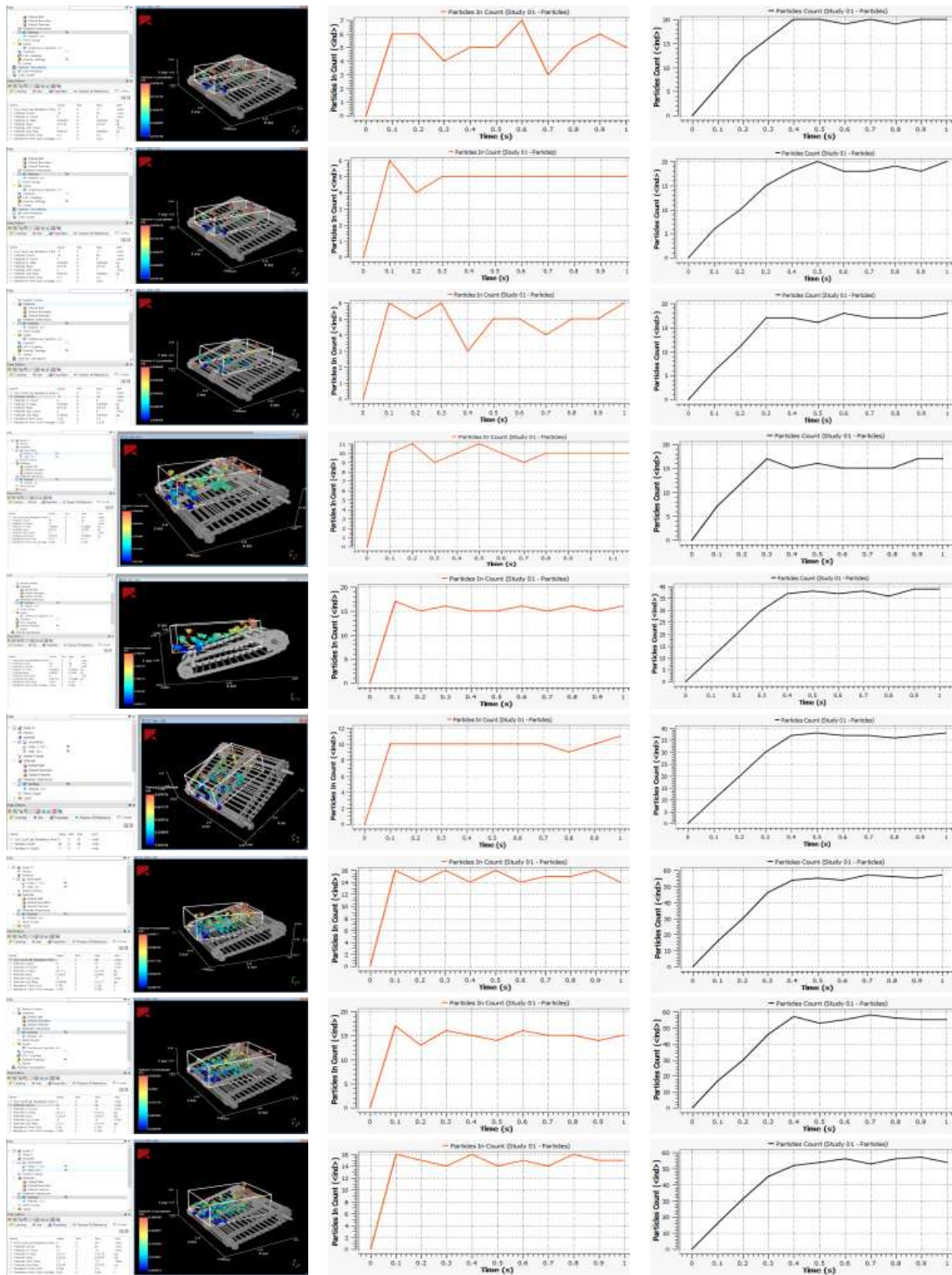


그림. 마늘 크기 2L(5cm)에서의 변수별 인자거동해석

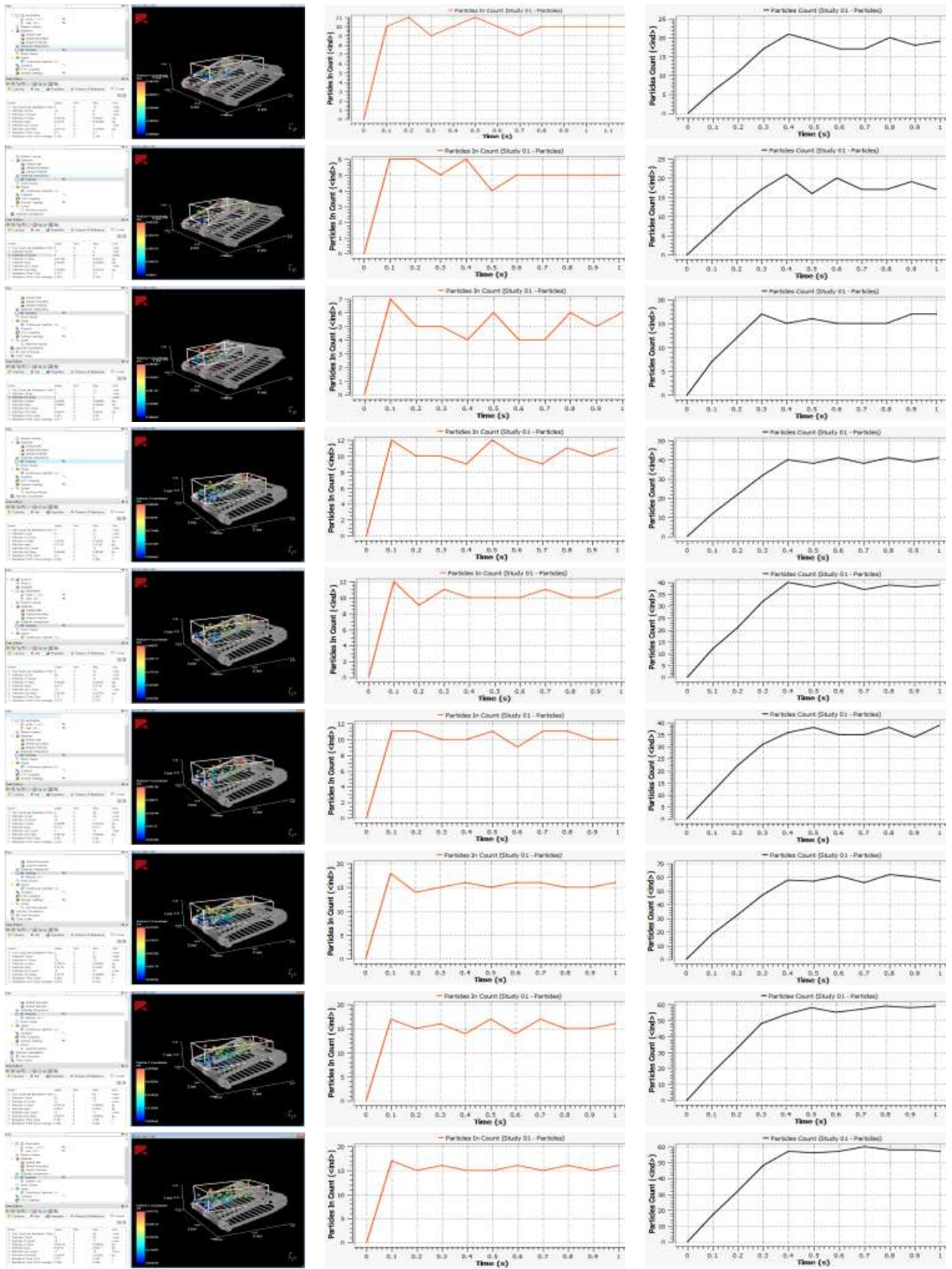


그림. 마늘 크기 M(3cm)에서의 변수별 인자거동해석

- 제어인자와 수준(변수)별 입자거동해석 결과 마늘 크기 2L(5 cm)의 경우 7번째 실험조건인 수집 속도 0.3 m/s 이송부 각도 14°에서 가장 안정적인 값인 최고 높이 6.0 cm 최저높이 2.3 cm 수집량 57ea로 분석되었고, 마늘크기 M(3 cm)의 경우 8번째 실험조건인 수집 속도 0.3 m/s 이송부 각도 17°에서 가장 안정적인 값인 최고 높이 5.8 cm 최저 높이 3.0 cm 수집량 59ea로 분석되었다.

표. 요인별 마늘의 거동 및 수집량

Test no.	Factor		2L (5cm)			M (3cm)		
	수집 속도 (m/s)	이송부 각도 (°)	max (cm)	min (cm)	수집량 (ea)	max (cm)	min (cm)	수집량 (ea)
R1	0.1	14	7.3	5.9	20	7.3	4.6	19
R2	0.1	17	7.4	5.9	20	7.4	4.7	17
R3	0.1	20	8.0	5.8	20	7.7	4.7	17
R4	0.2	14	6.0	4.2	40	5.8	4.5	41
R5	0.2	17	5.8	4.4	39	6.1	4.7	39
R6	0.2	20	5.4	4.7	38	6.5	4.6	39
R7	0.3	14	6.0	2.3	57	4.4	3.9	57
R8	0.3	17	5.8	3.0	55	4.5	4.4	59
R9	0.3	20	5.8	2.9	54	4.7	5.0	57

(10) 소프트웨어를 이용한 동역학해석(RecurDyn)

가) 수집부 구조해석 모델 개발

- RFlex 해석을 통하여 마늘 수집기를 활용한 수집 작업시 피로에 의한 가장 취약부는 마늘과 최초로 컨택이 발생하는 수집부 체인 롤러 컨베이어이다. 체인 롤러 컨베이어는 메인 엔진 출력에 의하여 동력이 전달되어 rpm 수준이 설정된다. 이때 마늘 밑 지면과의 접촉, 출력에 의한 진동으로 인하여 피로가 발생한다. 해석에 의하여 피로가 발생하는 체인 롤러 컨베이어의 진동 Frequency는 3185 Hz로 나타났다. 이에 따라 3185 Hz 이하 진동 노출이 마늘 수집기 피로 수명에 영향을 미치지 않는 것으로 분석된다.

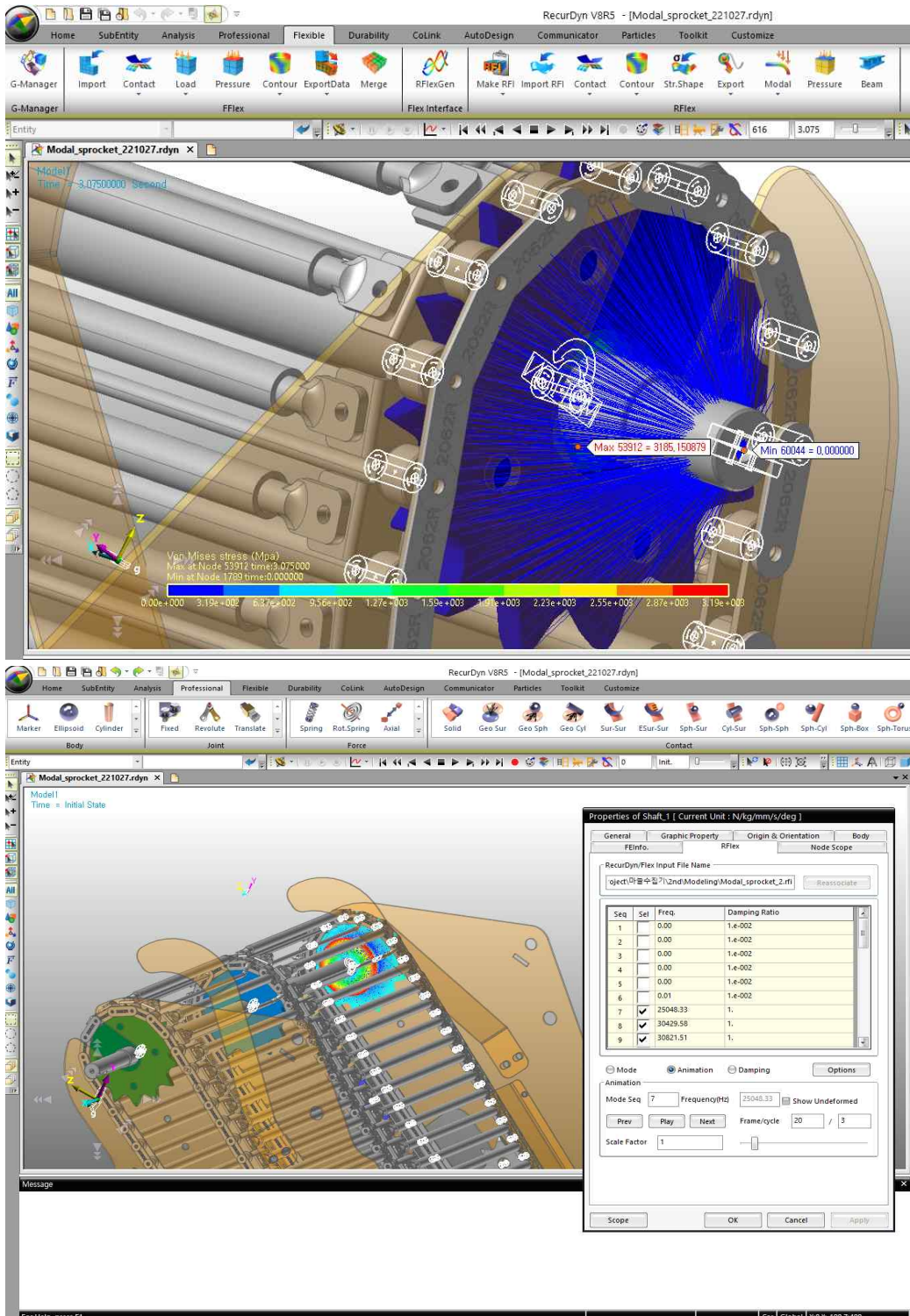


그림. RFlex 해석을 활용한 피로 노출 Frequency 분석

나) 선별 주요 시스템 요인시험(변경된 제원에 따른 수집 각도, 체인 속도 요인 분석)

- 수집부 주요 작업부의 재료는 S45C 기계 구조용 탄소강으로 선정하였다. 재료와 마늘 간 정마찰계수인 17 °기준, 농업기계 검정 기준에 의거하여 마늘수집기의 작업속도, 체인 롤러 컨베이어의 회전속도를 설정하였다. 이에 따라 선별 주요 시스템의 요인 시험을 시뮬레이션을 통하여 실시하였다. 시뮬레이션 결과를 기반으로 설정된 속도요인과 마늘수집기 성능 간의 연관성을 분석한 결과, 작업속도는 느릴수록, 회전속도는 빠를수록 성능이 우수하게 나타났다. 0.27 m/s는 최소 수집률 75.3 %, 최대 수집률 98.4 %로 수집률의 편차가 가장 컸으며, 회전속도 35 rpm에서 품종별 평균 총격력이 최대로 나타났다. 또한 작업속도 0.22 m/s에서 전체 품종 평균 수집률은 91.75 %로써 0.27 m/s 다음으로 높았으며, 편차가 크지 않았다. 요인시험 도중 마늘에 가해지는 총격력이 가장 낮게 나타난 회전속도는 50 rpm이었다. 이에 따라 선별 주요 시스템의 요인시험을 통한 적정 작업 조건의 작업속도는 수집률이 고르며, 편차가 작은 0.22 m/s, 회전속도 50 rpm으로 판단된다.

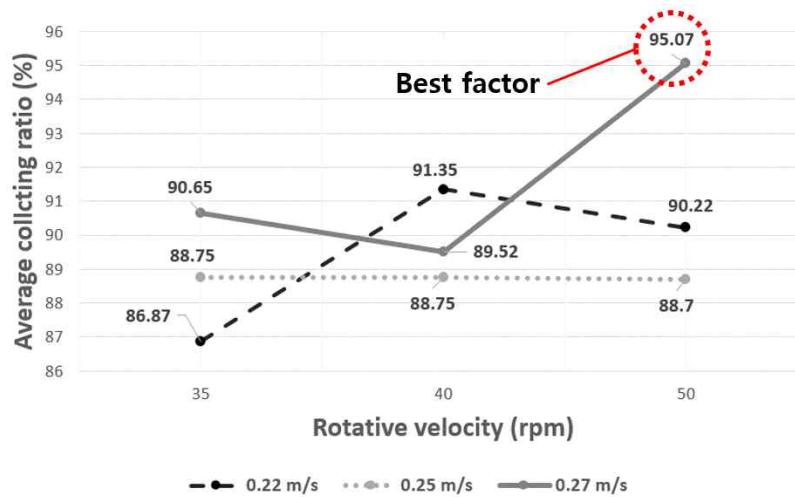


표. 최적 각도 시 마늘수집기 이동속도와 수집부 회전속도에 따른 수집률 영향력 분석

다) 작업 적응성 시뮬레이션(2차년도 시작기 적용 및 실증 데이터 비교분석)

- 제원이 변경되어 재설계된 2차년도 마늘수집기를 활용하여 수집 시뮬레이션을 진행하였다. 수집부에서 유도 고무가 추가되었으며, 토양 바닥에 있는 마늘을 수집부 위로 끌어 담아 올리는 역할을 수행한다. 변경된 제원으로 인하여 현장에서 설정된 마늘수집기의 속도 파라미터는 아래 표와 같다. 성능이 가장 우수하게 나타난 속도 파라미터는 5번으로써, 작업속도 0.3 m/s, 체인 롤러 컨베이어 회전속도 70 rpm에서 최고 성능이 나타났다.

표. 마늘수집기 필드 실증시험 속도 요인별 실험 파라미터 및 평균 결과 데이터

Test no.	Rotative velocity (RPM)	Working velocity (m/s)	Collecting ratio (%)	Loss ratio (%)
1	60	0.2	82.14	5.37
2		0.3	90.71	2.78
3		0.5	84.31	11.11
4	70	0.2	73.86	4.07
5		0.3	94.02	23.33
6		0.5	76.48	10.0
7	80	0.2	76.25	2.22
8		0.3	84.50	10.37
9		0.5	74.97	7.78

- 설정된 마늘수집기의 속도요인과 수집 성능 간 상대적 영향력을 알아보기 위하여 상관관계 분석을 실시하였다. 상관관계 분석 결과, 평균 충격력만이 마늘수집기와의 정적 상관관계가 나타났다. 마늘수집기 수집 시뮬레이션 시 수집 유도 고무에서 수집이 이루어질 때 수집기와 충격이 발생하는 지점에서 마늘에 가해지는 충격력이 최대로 나타났다.

표. 2차년도 마늘수집기의 속도요인과 수집 성능 간 상관관계 분석 결과

Factors	Velocity (m/s)	Rotative (RPM)	Collecting ratio (%)	Loss ratio (%)	Avg impact (N)	Max impact (N)
1	0.20	60.00	0.87	0.21	41.10	281.60
2	0.20	70.00	0.71	0.12	14.66	123.07
3	0.20	80.00	0.88	0.17	26.75	502.15
4	0.30	60.00	0.81	0.13	76.56	545.26
5	0.30	70.00	0.93	0.17	49.02	406.84
6	0.30	80.00	0.86	0.22	54.91	524.51
7	0.50	60.00	0.82	0.21	97.11	608.59
8	0.50	70.00	0.89	0.12	81.57	388.36
9	0.50	80.00	0.86	0.18	41.43	205.90

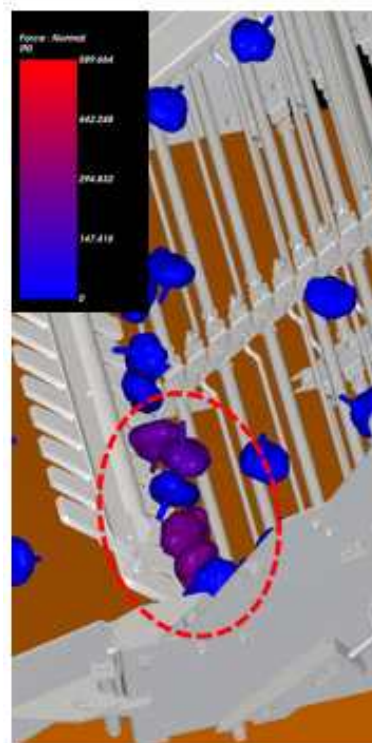


그림. 2차년도 마늘수집기 수집 시뮬레이션 시 최대 충격력 발생 지점

- 마늘 수집기 2차 시작기의 차폭은 1,100 mm, 크롤러 폭은 400 mm로써 최대 2,000 mm 차간으로 선회 시 Soft turn 3,500 mm, Break turn 1,500 mm, Spin turn 1,200 mm로 분석된다.

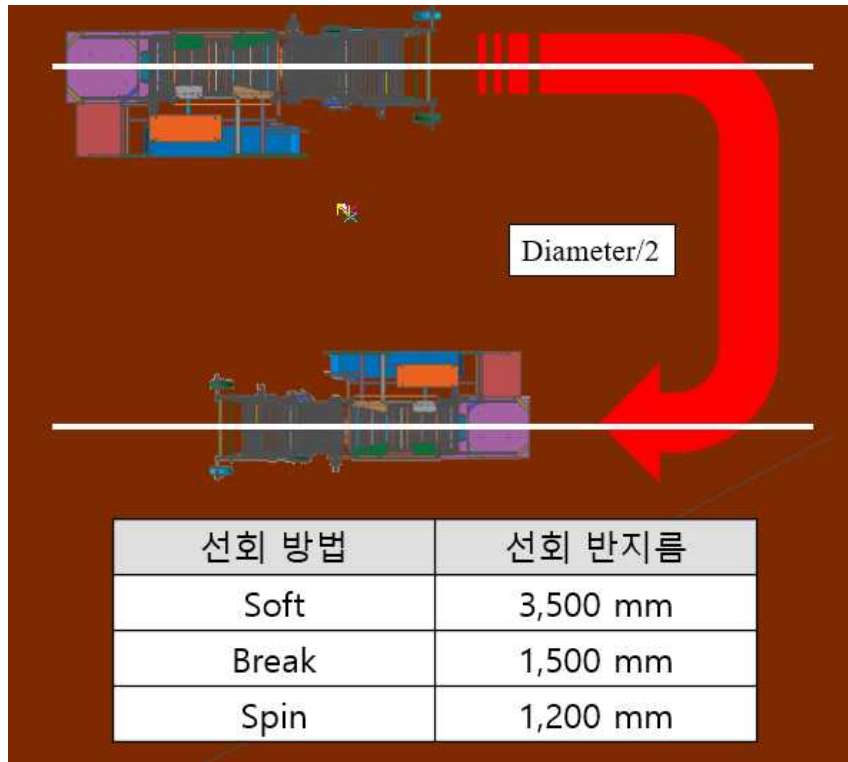


표. 시뮬레이션을 통하여 분석된 마늘 수집기 Turn 종류별 선회반경

- 마늘 수집 작업 시 노출되는 불안정한 환경 속 마늘 수집기의 위험도 분석 시 전·후방에 비하여 좌·우 밸런스의 위험도가 비교적 높았다. 차체 무게중심을 기점으로 좌·우 최소 전도각도는 31°로 분석된다.

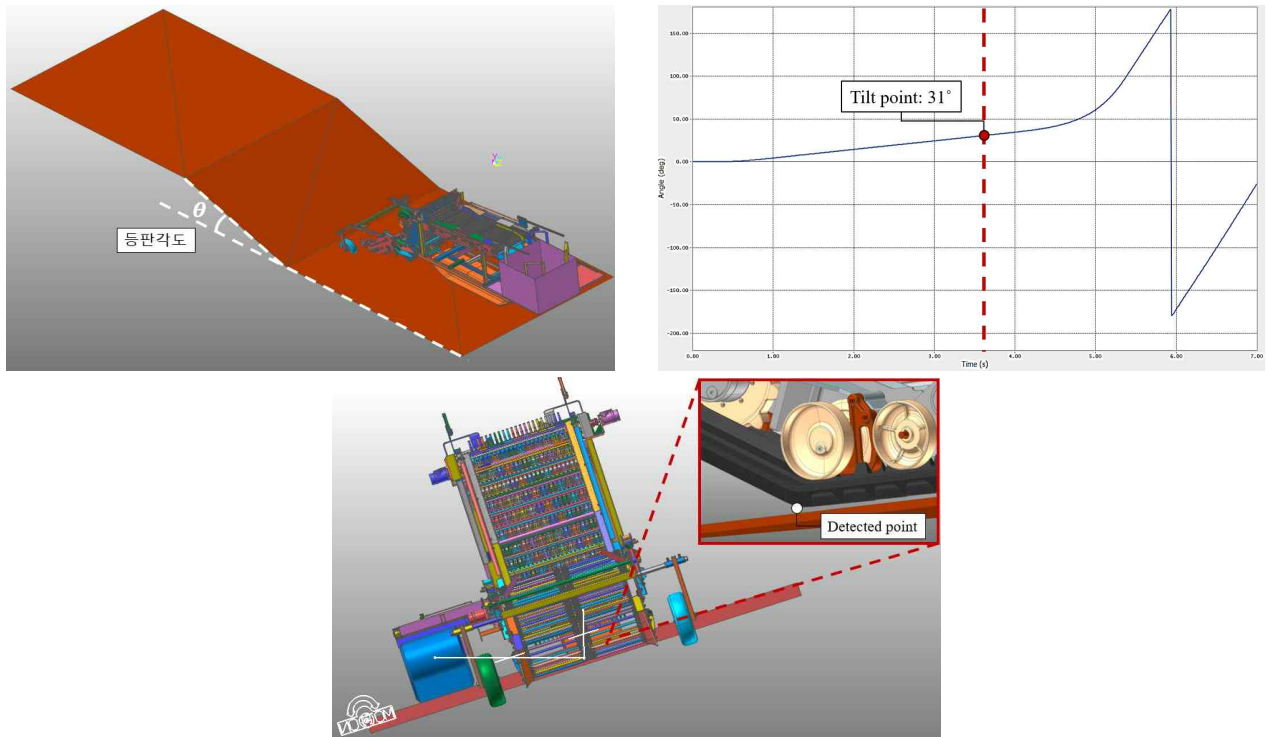


표. 시뮬레이션을 통하여 분석된 마늘 수집기 Turn 종류별 선회반경

(11) 수집, 선별 이송 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시

가) 수집부 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시

- 품종별 마늘의 크기가 다양하고, 최대·최소 범위를 구명하기 어렵다. 1차년도 시작기 모델을 통하여 시뮬레이션 가동 시 크기가 작은 마늘의 낙하가 발생한다. 낙하가 발생하는 마늘의 경우, 농촌진흥청 마늘 출하 기준인 4 cm보다 작은 마늘이지만 해당 마늘의 상품 활용방안이 다양하기 때문에 마늘 농가의 이윤을 증대시키기 위한 보완점이 요구된다. 해당 문제점을 보완하기 위하여 체인 롤러 컨베이어 사이 간격을 줄이고 마찰을 증가시키는 재료로 변경 및 마감처리가 요구되는 것으로 판단된다.

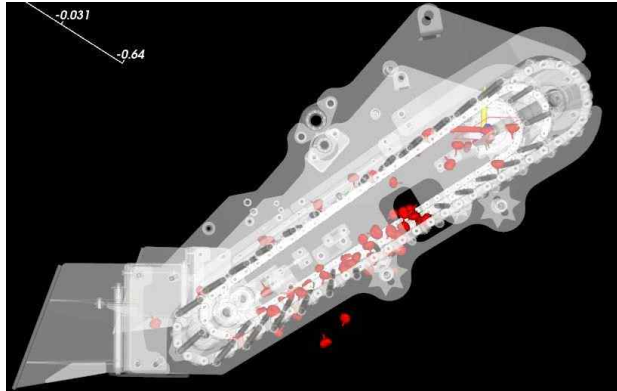


그림. 수집 작업 도중 낙하가 발생하는 출하 기준 미만 마늘

표. 품종별 마늘의 크기 (n = 30)

품종	평균±표준편차(cm)	
	길이	폭
의성	42.09±3.08	48.09±2.91
단양	36.49±2.43	44.16±3.11
남도	47.45±3.72	63.67±4.12
대서	38.87±3.00	62.20±5.10

나) 수집부 시스템 문제점 분석 및 보완 방향 제시

- 마늘은 품종별 재배 양식이 다양하여 마늘의 분포 정도의 기준을 구명하기 어렵다. 또한 미굴취된 마늘의 경우, 지면 접촉식 작업 시 손상이 우려됨. 마늘이 토양에 분포되어 있는 범위를 구명하기 위하여 마늘의 재배 양식별 용적밀도를 도출하여 해당 용적밀도를 수용할 수 있는 작업 성능을 기준으로 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시 마늘의 손상을 최소화하기 위하여 작업기가 토양 속으로 굴취된 상태에서 작업이 진행되는 것으로 마늘 손상 발생 최소화에 유리해보인다.

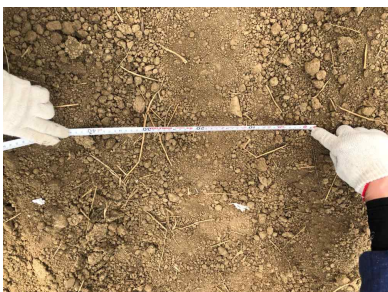


그림. 주산지별 마늘 토양 재배 양식 측정



그림. 주산지별 토양 진입이 가능하게 재설계된 마늘수집기

(12) 최적설계 결과를 반영한 자주식 마늘 수집기 제작 및 사업화 준비

가) 최적 설계 변수를 감안한 수집 및 이송 선별부 Matching 설계기준 도출

- 한지형 마늘 크기는 작은 것은 2cm에서 큰 것은 5cm 이상으로 나타났고 난지형의 경우 작은 것은 3.5cm에서 큰 것은 5.5cm 이상으로 분류 되어 본 연구에서는 최소 3cm이상인 마늘을 수집하는 것으로 목표를 설정하였다.

나) 마늘 수집에 적합한 수집부 설계기준 도출

- 수집기 크롤러 축간거리 115cm, 크롤러 폭 40cm로 설계하여 이랑과 이랑 사이 거리 등을 만족하도록 설계하였다.
- 1차 제작된 디바이더는 진입각이 없는 사양으로 시험 평가를 실시하였다. 진입각이 없는 관계로 마늘 및 흙이 원활하게 진입하지 않는 문제가 발생 되었고, 수집부 굴취 칼날 폭이 넓어 날 상단에 흙이 쌓여 밀고 가는 현상이 발생 되었다.

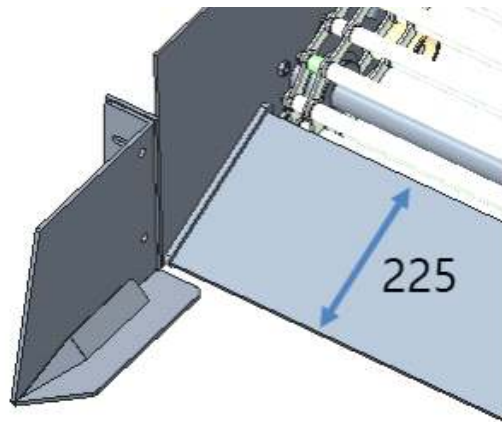


그림. 1차 시작기 수집부 디바이더 및 칼날

- 2차 제작된 디바이더는 진입각을 0~28도까지 가변이 되도록 설계를 진행하였다. 이는 수집부로 유입되는 마늘과 흙 등이 일시에 다량으로 들어올 때 정체되지 않고 원활하게 작업이 가능한 것을 확인하였으나, 1차 시작기에서 A부에서 젖은 흙이 있을 경우 흙을 밀고 가는 현상이 일부 확인이 되었고, 디바이더와 수집 체인 링크 바 사이에서 돌 끼임 현상으로 수집 작업이 지연되는 사례가 발생 되었다.

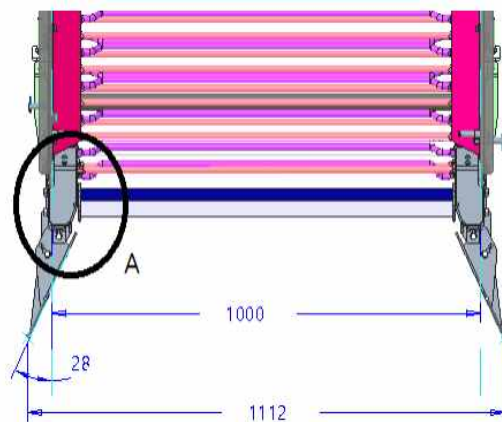


그림. 2차 시작기 수집부 디바이더

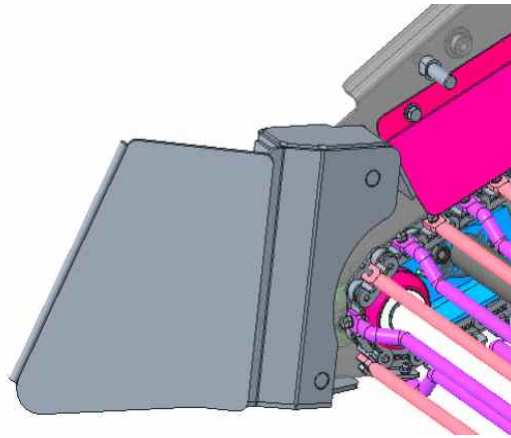


그림. 2차 디바이더와 링크 바 설계 사양

- 3차 시작기에서는 A부에서 젖은 흠이 흠을 밀고 가는 현상을 개선하기 위하여 수집부 내측으로 안내되는 가이드 폭을 좁게 설계를 진행하여 시험 평가를 실시하였다. 시험 결과 유입 되는 흠 밀림 현상이 해소되고 안정적인 수집 작업이 가능하였다. 작업 지연 없이 연속 작업이 가능 하도록 하기 위해 링크 바와 디바이더 공간을 좁히거나 넓히는 작업을 반복적으로 하여 돌 끼임 현상을 최소화 할 수 있도록 구조 개선을 실시하였다.

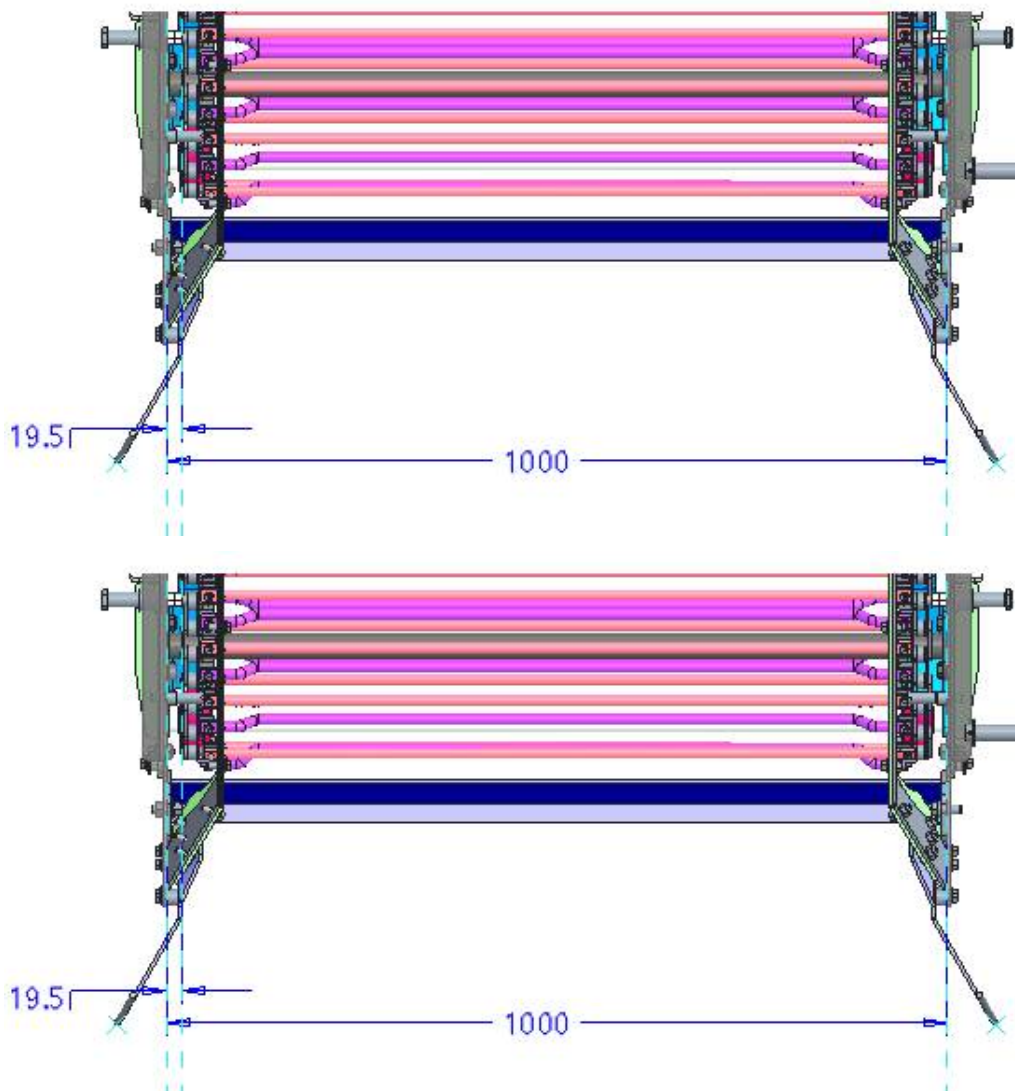


그림. 3차 시작기 수집부 디바이더 개선 설계

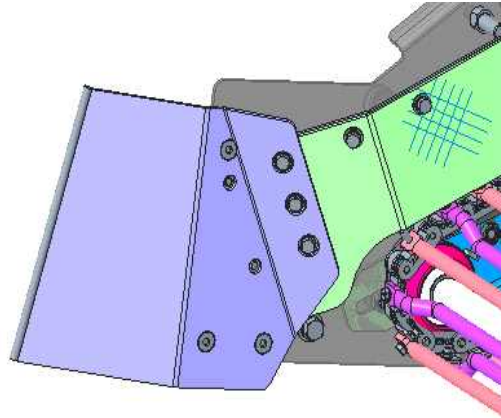


그림. 3차 다바이더와 링크 바 관계 개선 설계

- 수집부 칼날은 지면의 토양을 절단하여 마늘을 수집부 링크 바로 인계를 하는 중간 역할을 하는 장치이고 1차 제작 평가와 같은 문제점을 개선하기 위하여 칼날 폭을 현저하게 줄이고, 작업 조건에 따라 깊이를 조절 할 수 있도록 개선 설계를 진행하고 평가를 실시하였다. 평가 결과 링크 바로 마늘 및 흙 이 원활하게 유입되었다.

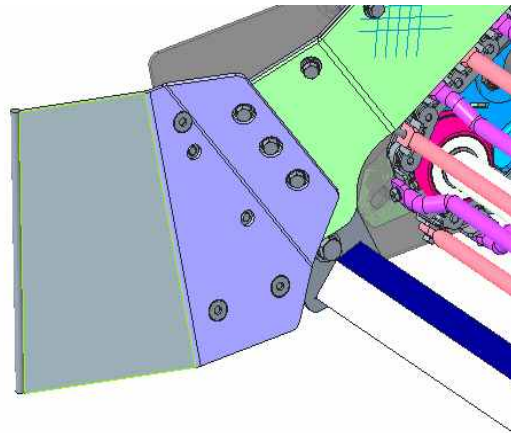


그림. 개선된 수집부 칼날

- 마늘을 수집하고 이송부로 이송을 하는데 중요한 것은 수집된 마늘이 손상이 없고, 손실이 없이 이송부로 잘 인계가 되는 것이다. 1차 시작기 제작 및 시험 평가 시 마늘이 수집부 링크 바(Link bar)에서 굴러 내려오는 현상으로 손상 및 손실이 많이 발생했다. 마늘이 굴러 내려오는 문제는 링크 바가 -자형으로 되어 있어 마늘 구 크기가 약 5 cm 정도 일 때 가장 많이 굴러 내려오는 현상이 발생 되었다. 또한 마늘 크기가 3.5 cm 이하인 경우 링크 바에서 빠짐 현상이 발생 되었다.



그림. 1차 -자형 링크 바 사양

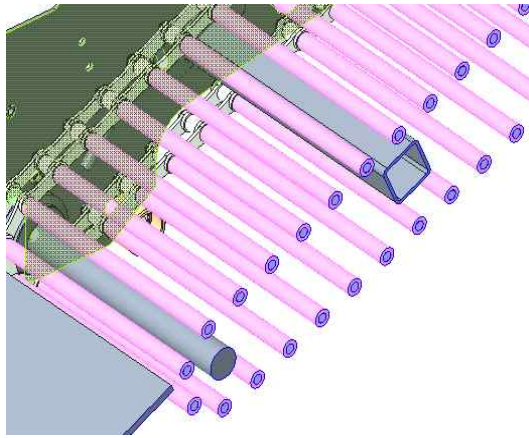


그림. 1차 수집부 링크 바 -자형 조립 상태

- 2, 3차 수집부 링크 바는 절곡을 추가하고 절곡된 링크 바와 -자인 링크 바를 교차 조립하여 링크 바와 링크 바 사이에 공간을 확보하여 마늘이 굴러 내려오는 현상을 개선하였고, 시험 평가 결과 마늘 구 크기가 3cm정도인 마늘이 빠지지 않음을 확인하였다. 또한 5 cm 이상인 마늘도 링크 바에서 굴러 내려오는 현상이 현저하게 줄어들어 수집부에서 손상율은 0.6 %, 수집율은 95.7 %를 달성하였다.



그림. 2, 3차 수집부 링크 바 사양

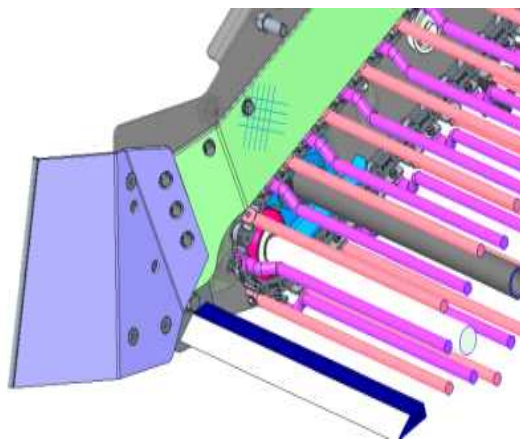


그림. 2, 3차 수집부 링크 바 절곡 사양 조립 상태

- 수집부에서 마늘을 안정적으로 이송부로 인계를 하거나 포장지에서 마늘을 확실하게 끌어올릴 수 있는 릴 장치를 개발하였다. 1차 시작기 개발 시 수집부 선단만 가이드가 가능한 상태로 시험을 진행하였다. 시험 결과 포장지의 마늘을 확실하게 인계하지 못하는 결과가 나왔으나 이는 한 가지 요소만으로 단정하기 보다 링크 바 형상 및 조립 배열, 디바이더의 형상 및 틈새 등이 복합적으로 나타난 문제라고 판단되었다.

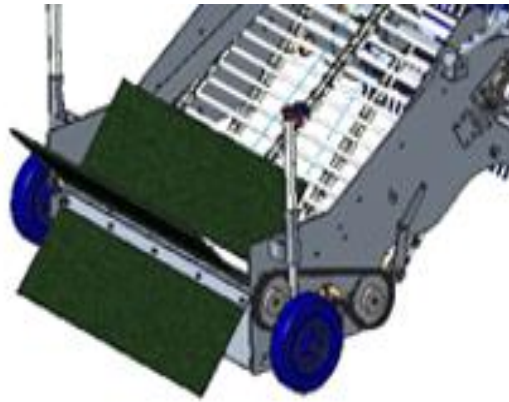


그림. 1차 시작기 릴 사양

- 2, 3차 시작기는 릴 사양을 개선하여 수집부 선단에서만 회전이 되는 구조가 아닌 수집부 링크 바 상단에서 회전을 하는 시스템으로 설계 및 시험 평가를 하였다. 이송되는 마늘의 손상을 최소화하기 위하여 릴 재질은 고무를 사용하였으며, 작동속도는 수집 링크 바 속도보다는 느리게 설계를 진행하였다. 이는 링크 바 상단의 이송 되는 마늘이 흘러내리지 못하게 차단하는 역할을 하였고, 수집되는 마늘을 포장지에서 부드럽게 인계할 때 손상을 최소화 할 수 있도록 하였고, 향후 수집부 폭 증대, 수집부 지면 자동 제어 시스템 개발 및 실증을 통해 마늘 손상을 최소화할 수 있도록 할 예정이다.

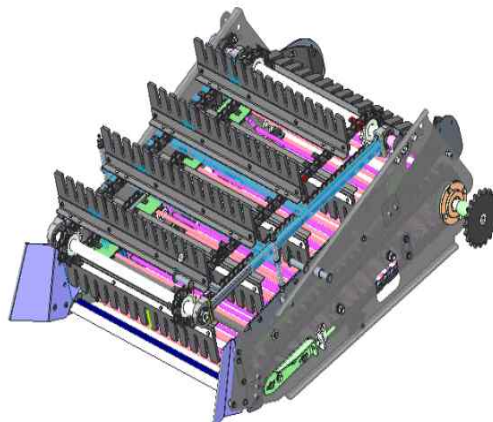


그림. 2차 마늘수집기 시작기 수집부

- 작동 되는 릴의 위치를 선정하기 위하여 릴의 작동 행정 및 과적을 평가하였다. 단순히 릴이 링크 바 상부에서 굴러 내려오는 마늘을 방지 하는 역할도 있지만 마늘 수집 작업 시 포장지에서 마늘을 안전하게 끌어 올리는 역할도 병행하고 있는데 릴 위치에 따라 마늘이 밀리는 현상이 확인 되었다. 수집부 선단에서 마늘이 바로 올라오지 못하고 밀림 현상이 발생이 되면 포장지 끝단에서 수집 작업이 완료 되었을 때 잔량이 발생 되고, 미 수집된 마늘은 수집기 크롤러에 밟히는 경우가 있어 손상으로 인한 상품성 저하 원인이 되었다. 이를 해결하기 위하여 릴의 간격 및 배치 위치를 반복적으로 변경 평가 한 결과 릴 작동 위치를 수집부 절단 날 보다 전방에 배치하여 수집 작업이 마무리가 되는 종료 시점에도 포장지에 잔여 마늘이 없이 전량 끌어올림이 가능하도록 하였다.

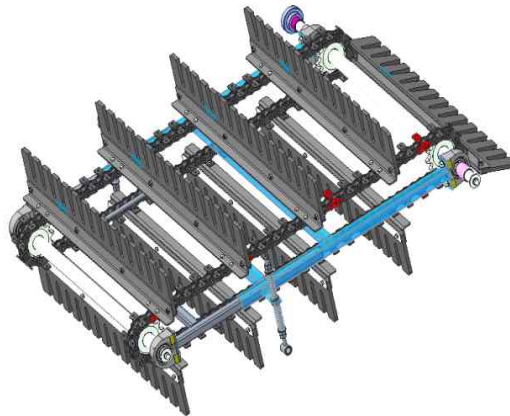


그림. 2차 마늘수집기 시작기 수집부 릴 사양

- 포장지에서 마늘을 수집할 때 수집부 깊이에 따라 안정적인 작업이 가능하기도 하고 마늘 손상이 발생하기도 한다. 작업자가 수집부 깊이를 알게 할 경우, 미수집되는 마늘이 많아지고, 링크 바 회전에 따른 간섭으로 마늘이 찢개지는 현상이 발생 된다. 수집부 깊이를 깊게 할 경우, 마늘 손상률은 줄어드는 대신 수집부 동력 손실이 과다해서 수집부 회전속도가 늦어지는 경우가 발생 되어 작업 능률이 현저하게 저하가 되었다. 작업자가 수집 깊이를 안정적으로 작업 할 수 있도록 수집부 높이를 일정하게 고정 할 수 있는 휠을 개발하였다. 휠은 수집부 높이를 일정하게 유지 하고 수집기의 직진성을 확보할 수 있도록 하였다. 휠 게이지 상하 조정은 유압 실린더를 이용하여 작업자가 수동으로 세팅하도록 설계가 되어 있다. 작업자가 편안하게 작업이 가능하도록 향후 고도화 기술 개발이 필요한 사항이다.

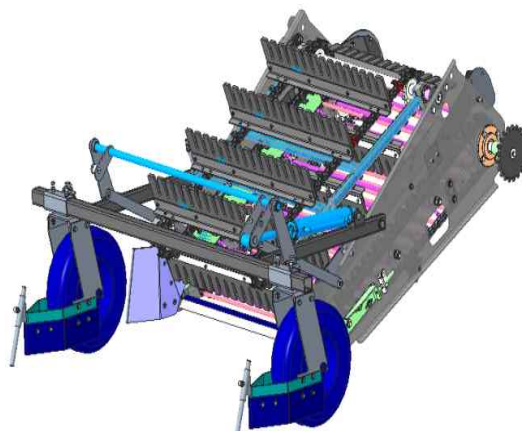


그림. 수집부 휠 게이지 장착 사양

- 수집 작업 시 마늘 이송에 적절한 수집 각은 약 32 도로 설계하여 마늘 이송 시 굴러 내리는 현상을 방지하였고, 수집 작업이 원활하게 작업이 되는 수집부 적정 깊이는 약 50 ~ 54 mm로 설계하였다. 수집부 조건을 확정고 이송부는 마늘이 떨어지지 않고 원활하게 이송이 되도록 이송 각을 65 도로 설계하였다.

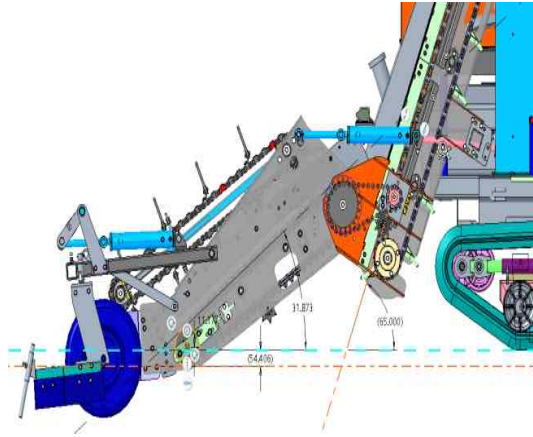


그림. 수집-이송부 Matching 설계 사양

- 이송 선별부 : 마늘에 묻은 흙을 털어내기 위한 기존 작동 메커니즘을 구성하는 주요 부품의 설계
- 수집되어 올라온 마늘을 손상이 없도록 선별부로 이송 인계가 되고 이송과정에서 묻은 흙, 잔돌 등은 수집부 아래로 떨어내어 깨끗한 상태로 이송부로 인계를 하고 인계된 마늘은 이송러그에 의해 상처 없고 빠짐이 없이 선별부로 인계가 될 수 있도록 하였다. 마늘의 묻은 흙은 제거하기 위해 수집 체인 체인 롤러 하단부 베어링에 접촉하여 지속적으로 진동을 하여 마늘에 묻은 흙 분리, 수집 시 올라 온 흙, 잔돌 등 이물질 제거할 수 있도록 설계하였다. 수집되어 올라온 마늘을 손상이 없도록 고무 러그로 설계하고 러그와 러그 사이 52 mm 피치로 이송 시 마늘 빠짐 방지 및 이송러그에 떨어짐 방지 안전각 적용 설계하였다.

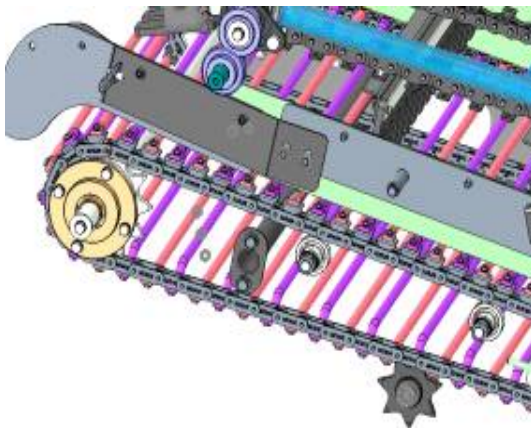


그림. 수집부 진동장치

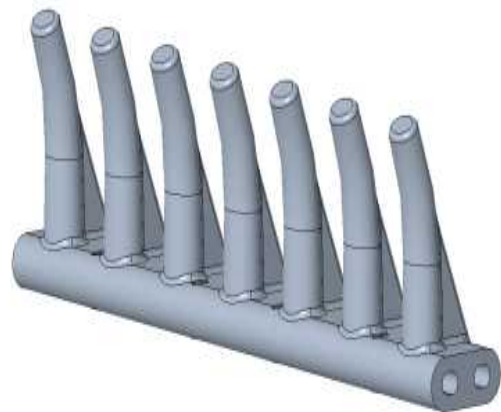


그림. 이송 러그

- 수집 및 이송 과정을 거친 마늘을 수납부로 이송하기 위한 선별 시스템을 설계하였다. 수집된 마늘에는 미처 떨어지지 않은 흙이 묻어 있어 선별부 Ass'y에 일정 경사각을 줘 마늘이 구르면서 이물질 선별이 되도록 약 80~86도 경사도 지게 가변 조절될 수 있도록 설계하였다.

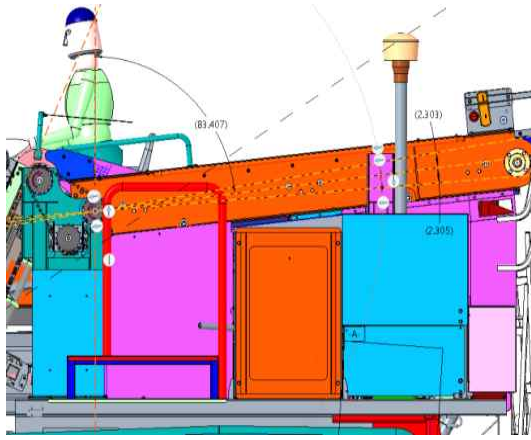


그림. 선별부 이송 시스템 설계

다) 연속 작업이 가능한 Ton bag(500kg) 수납 시스템 개발

- 수납부 상승 시 톤백 및 메쉬파레트를 경사지게 할 수 있어 낙차에 의한 마늘 손상을 최소화할 수 있도록 하였으며 만충된 후에는 톤백 및 메쉬파레트를 쉽게 하역하기 위해 틸팅이 되도록 시스템 설계하였다.



그림. 수납 시스템 제작 및 시험

라) 제어 신뢰성 확보를 위한 실차 튜닝 기술 개발

- 차체 프레임에 조립된 경사 센서에 의해 실시간 수평이 유지되고, 전후 경사제어 전후 3° 이내, 좌우 경사제어 5° 이내 제어되도록 설계하였다.

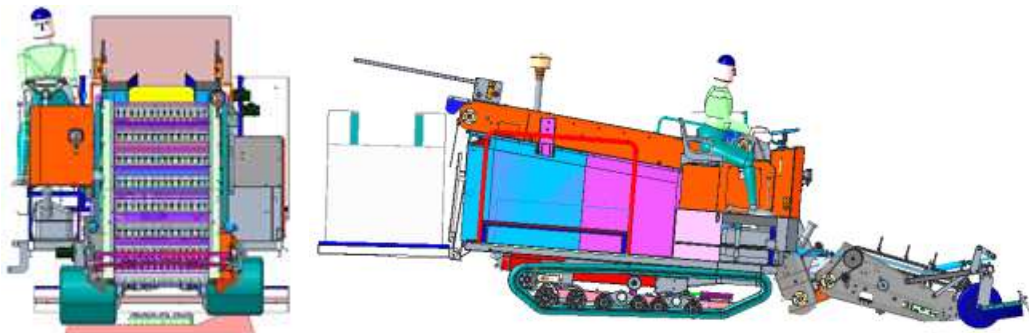


그림. 기체 좌우 수평 제어 및 전후 수평 제어

- * 언로딩 솔레노이드 밸브 (V1) : 아무 밸브도 사용하지 않을 경우, 언로딩 솔레노이드 밸브가 열려 공급된 유압을 드레인 시키고 어느 한 밸브라도 사용되면 폐쇄된다.
- * 수평 제어 솔레노이드 밸브 (V4, V5) : 수평 제어 실린더는 한 실린더에 2개의 유압라인으로 구성하였고 스톱 작동에 따라 상승 하강 작업이 이뤄지도록 하였다.
- * 피칭 솔레노이드 밸브 (V6) 좌, 우로 이동하면 펌프에서 공급되는 유압이 실린더로 유입되고 동시에 드레인 라인의 체크밸브를 개방하여 리턴 유량이 배출될 수 있게 하였다.

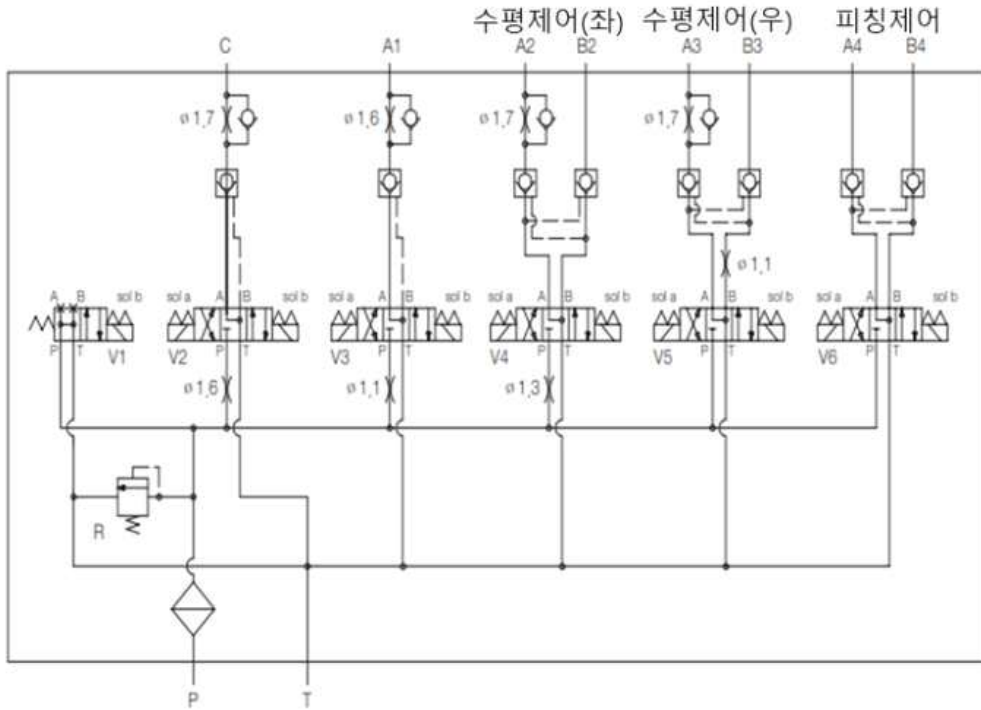


그림. 수평 제어 유압회로도

- 좌우 수평 스위치를 ON할 경우 또는 차속 0.2 m/s 이상에서 수집 클러치 스위치를 ON한 경우, 차체 스트로크 센서 좌우의 값이 같아지도록 제어, 경사 센서 전후의 신호를 이용하여 기체를 수평으로 유지 수평화 정도는 ± 0.6 도로 하여 전후 수평 스위치를 ON일 경우 또는 차속 0.2 m/s 이상에서 수집 클러치 스위치를 ON한 경우 차체 스트로크 센서 후의 값이 같아지도록 개발하였다.
- 개발된 기체 수평 제어 컨트롤러는 수집기에 장착하여 좌우 수평 제어, 전후 수평 제어를 실시하고, 튜닝 과정을 거쳐 컨트롤러 개발을 완료하였고, 차고 센서 동작은 링크구조로 되어 있어 전후좌우 위치를 항상 컨트롤러로 위치를 전송하도록 하였다. 또한 수평 제어는 수집 클러치레버가 “입” 수평제어 자동 스위치 “입”일 때 자동 모드로 전환하고, 자동모드에서 수동스위치가 작동되면 수동으로 작동되고 [OFF]하면 자동으로 수평볼륨위치로 복귀한다. 차고제어는 볼륨의 위치에 따라 높이를 제어하고 수동으로 원하는 방향으로 작동을 하면 기대는 원하는 방향으로 작동한다.



그림. 수평 제어 컨트롤러유압회로도

- * 과부하 시 모터 정지 기능 : 모터에 흐르는 전류를 측정하여 모터 구속이나 HST가 배압이 찼을 때, 그 위치에 모터를 정지시켜 모터를 보호하는 기능.

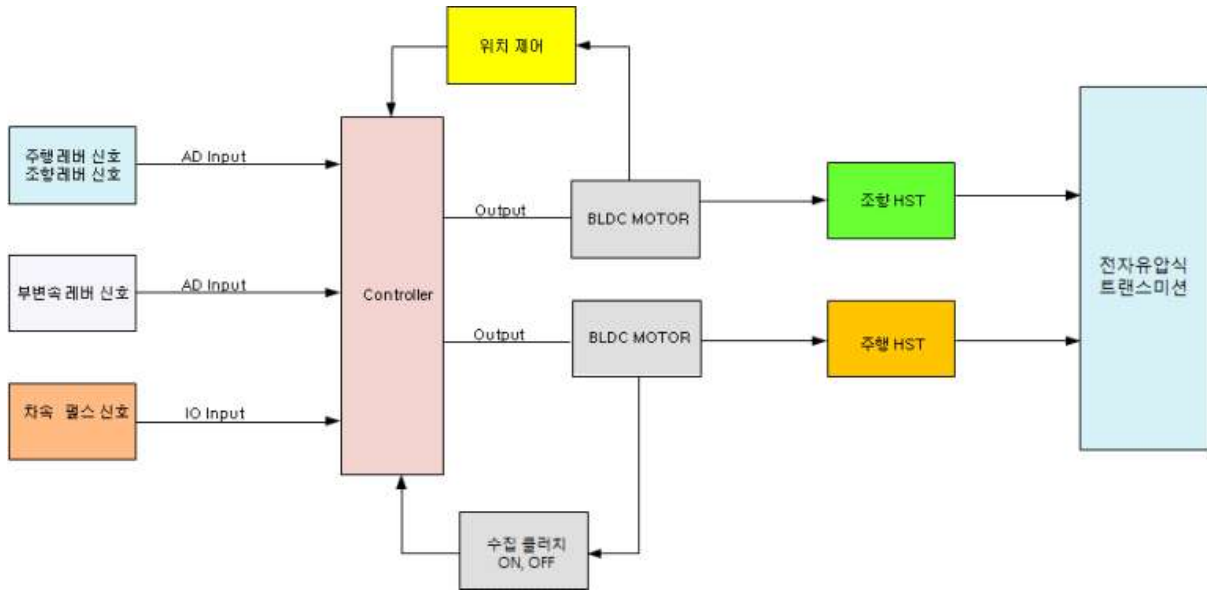


그림. 마늘수집기 주행 및 선회 제어 블록도

- 수집기는 계기판의 설정 모드를 통해서 [조향 모터 정지 기능]의 사용 유무와 주행 레버, 조향 레버, 부변속 레버의 ADC값을 설정할 수 있게 하는 기능을 구현하도록 개발하였다.
 - * [HST 레버 설정]은 반드시 KEY가 ON이고, 시동이 걸리지 않은 상태에서 해야 한다.
 - * [HST 레버 설정] 모드에 들어가면 주행모터, 조향모터는 동작하지 않아야 한다.
 - * 레버값 설정 범위는 저장된 설정값에서 -100~+100 사이의 값일 때 저장되고, 범위값을 벗어나면 기존 저장된 값이 변하지 않도록 통합제어기 Simulator 및 진단 Software 개발하였다.
 - * 주행 ERROR CODE 개발 :
 - 0 : 정상
 - 1 : 주행모터 과전류 에러
 - 2 : 조향모터 과전류 에러
 - 4 : 주행모터 구속 에러
 - 8 : 주행모터 구속 에러



그림. 개발된 주행 제어 통합제어기 Simulator 및 진단 Software



그림. 개발된 주행 제어 통합제어기 Simulator 및 진단 Software

- 수집기의 상태를 한눈에 확인 가능하도록 계기판을 중앙 집중식 배치를 하였으며 계기판은 작업 초기 상태 연료량, 엔진 유압, 엔진의 회전수 등을 표시, 주행 제어 세팅 및 모니터링 기능을 통해 수집기를 안전하게 사용할 수 있도록 하였다.

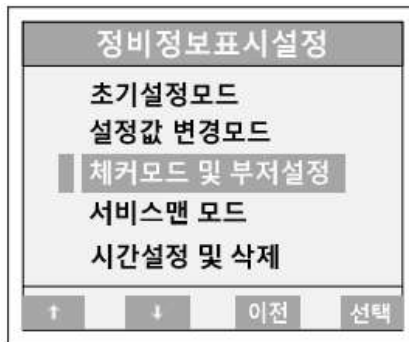


그림. 주행 컨트롤러 모니터링 기능 개발

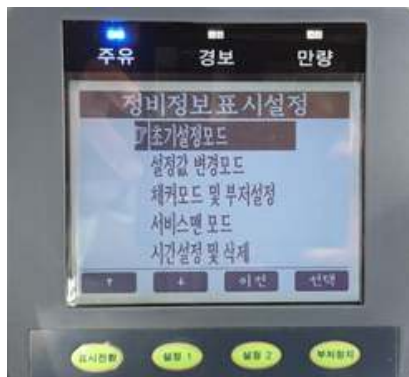


그림. 중앙 집중식 계기판

마) 핸들 각도에 따른 선회 방식 구현

- 수집기의 핸들형 조향 시스템을 적용하여 조작을 편리하게 하기 위하여 소프트턴 기능은 수집 작업 중 기체가 미세하게 선회시킴으로서 선회 시 수집부를 부드럽게 제어할 수 있어 포장지의 마늘을 밀어 제치는 현상이 거의 없도록 하였다. 핸들 조작 각도에 따라 내측 크롤러를 제어하여 소프트턴, 브레이크턴, 스피턴 작업이 가능하도록 제어 로직을 개발하였다.

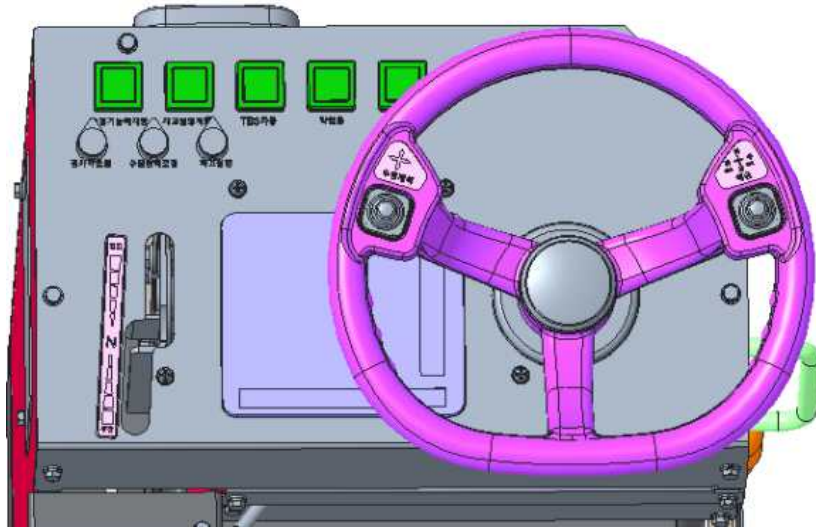


그림. 핸들형 조향 시스템 개발

- 소프트턴은 주행 중 미세 선회 및 수집 작업 중 미세 줄맞춤이 용이한 기능으로 핸들을 0 ~ 45도로 돌렸을 때 부드럽게 선회가 되는 기능이고, 전자 유압미션 제어가 되는 수집기에서는 별도로 핸들을 조작하지 않고도 토글 스위치를 적용하여 미세 선회할 수 있는 기능을 개발하였다.
- 브레이크턴은 주로 이동 중에 많이 사용하는 기능으로 핸들을 45 ~ 90 도 구간에서 내측 크롤러가 서서히 감속이 되고 90 도 지점에 도달했을 때 선 기어로부터 들어가는 직진용 HST의 회전과 인터널 기어로부터 들어가는 선회용 HST 회전이 맞으면 한쪽 크롤러는 정지되고, 브레이크턴 상태가 되도록 개발하였다.
- 스피턴 선회의 경우 핸들의 각이 90 ~ 135도가 되면 좌우 크롤러가 각각 반대로 작동 되어 작동 하도록 하였으며, 브레이크턴 상태에서 핸들을 더 돌리면 좌우 크롤러가 역전하는 스피턴 상태로 들어간다. 개발된 수집기에서는 핸들 조작각에 따라 차속을 최대 1/4까지 감속하여 스피턴 작동이 용이하도록 하였다. 수집기의 속도가 1.0 m/s 이상에서 스피턴을 실시할 경우 운전자 및 주변 사람에게 상해를 끼칠 수 있어 안전 사양으로 차량의 속도를 1.0m/s 이하로 감속 시킨 후 스피턴 작동이 구현되도록 제어 로직을 개발하였다.

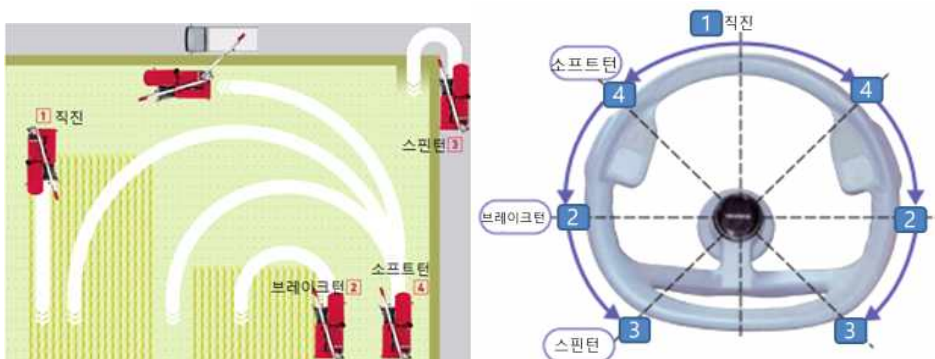


그림. 핸들 각도 제어에 따른 선회 모드

(13) Proto 부품 개발 및 조립

- Pilot 시작기 부품개발 및 기대 조립 : 1차 시작기 성능 평가 시 발생한 문제점을 개선 설계하고 부품개발, 조립을 실시하였다.
- 부품개발 및 준비



그림. 이송 러그 개발

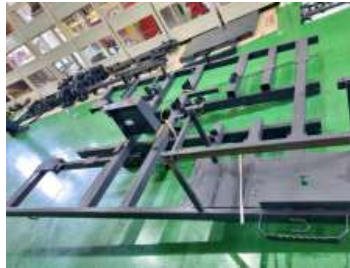


그림. 차체프레임 개발



그림. 트랙 및 선별지지 프레임 개발



그림. 유압부품 개발



그림. 기어박스 개발



그림. 핸들 개발

- 2차 시작기 조립



그림. 수집부 프레임 조립



그림. 수집 릴 조립



그림. 이송부 Assy 조립



그림. 선별프레임 조립



그림. 트랙 및 수평 제어 조립



그림. 주행부 및 유압제품 조립



그림. 이송 Assy 조립



그림. 수집부 Assy 조립



그림. 수집기 완성 조립

- 조립 시 문제점

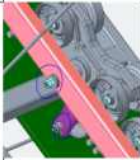
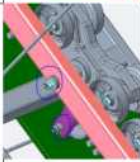
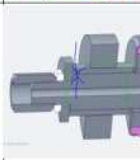
마늘 수집기 조립 문제점		2022.04.07		
NO	항목	점검 항목	해결 방안	비고
1	이퀄라이저 축 조립 너트 1개만 조립 (# 1호기 도번 CVF700000189)	1. ASSY 재 확인 요	이퀄라이저 축 증대 적용 GP00003225B 발주 할 것	
2	캐리어idler 조립 볼트 길이 짧음	1. M10x25->M10x35로 조립	SW*26156-100352 (세목 볼트로 조립)	
3	아이들러 조립시 아이들러 축 헐거움	1. 실측 DATA 1) 보스 실측 < 32.1(SPEC : 4.3) ==> 부품 문제 2) 아이들축 < 29.8	부품 불량, 수정 조립	

그림. 마늘수집기 조립 문제점 및 해결방안

(14) 시험 및 평가

가) 작업별 요인시험 및 필드 실증시험

- 포장 상태에 따른 전자 유압미션 제어 시험 평가 (핸들 각도 0~135도에서 소프트턴, 브레이크턴, 스피턴 구현 시험)



그림. 핸들 각도에 따른 선회 구현 및 평가

- 엔진 Heat balance test

- * 공시기대 : 마늘수집기 Proto 1호기
- * 일시 : 2022.05.24.
- * 시험 장소 : 창녕군 대지면 대대효정길 283
- * 작업 조건 : 엔진 정격 회전수 2800rpm에서 연속 운전 실시
- * 엔진 최대 출력점에서 냉각수 출구 온도를 측정하여 ACT 결정 $ACT(\text{최대출력점}) = 110\text{ }^{\circ}\text{C} - T(\text{w/o}) + T(\text{외기}) \geq 46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 만족해야 수집기가 문제없이 작업이 가능한 것으로 판단하는데 측정 결과 ACT 80~87 $^{\circ}\text{C}$ 로 만족하였다.

항목 시간	외기온도	냉각수 출구 온도	라디에이터 표면 온도	엔진 오일 온도	배기 온도	HST 오일 탱크 온도	ACT
13:00	37.6	61.2	53.5	66.5	87.1	46.8	86.4
13:40	38.7	63.3	51.8			53.3	85.4
14:05	37.5	66.8	47.7			48.6	80.7
14:35	39.4	63.2	45.2			53.0	86.2
14:55	40.0	62.5	59.5			57.9	87.5
15:30	39.7	62.8	63.6			59.4	86.9

그림. 엔진 Heat balance test 결과표

나) 실차 튜닝 기술 개발 및 각부 측정

- 전자유압미션 직진성, 선회성 실차 프로그램 튜닝

- * 핸들을 좌우 작동하고 있을 때 주행 레버 전진이나 후진 후 중립으로 복귀한 다음 다시 전, 후진 작동 시 선회 모터의 떨림과 한 쪽 방향으로 회전 발생, 주행 레버 중립 시 선회 모터 중립 복귀 기능으로 에러 발생함.

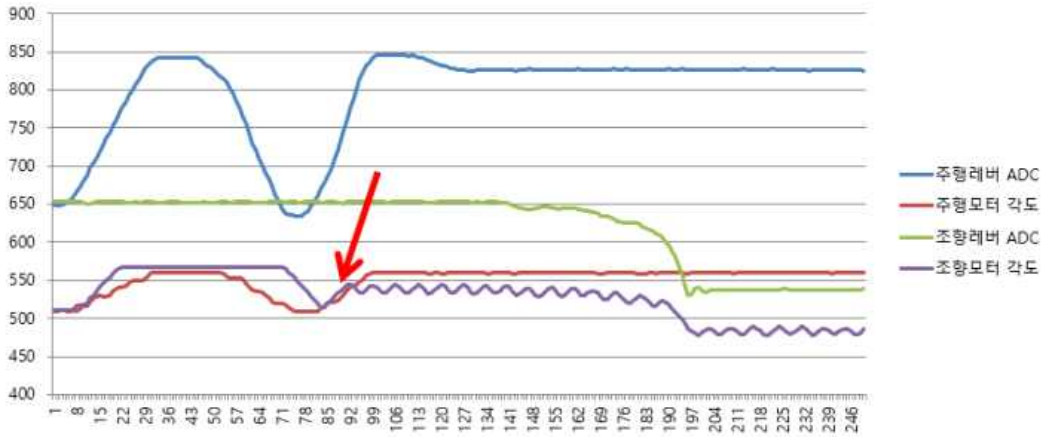


그림. 주행컨트롤러 실차 문제점 분석

- * 선회 모터 중립 복귀 시 핸들 우선 동작하도록 개선

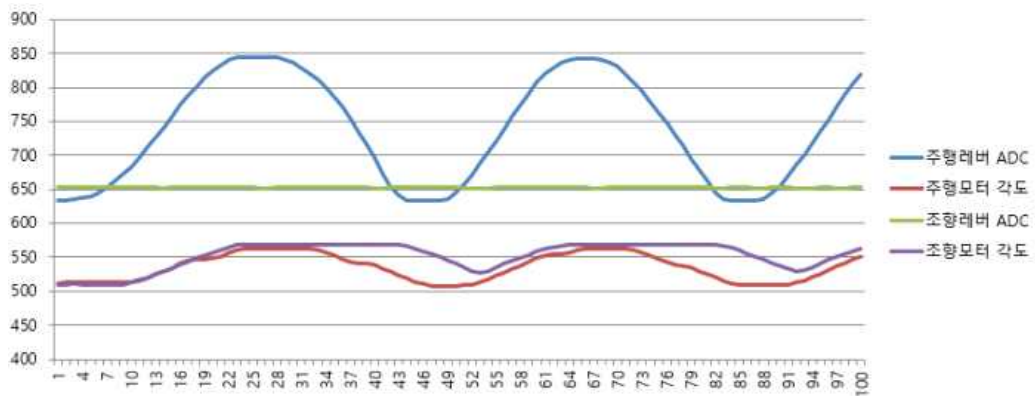


그림. 주행컨트롤러 실차 문제점 개선 튜닝작업

- 수평제어 실차 작동시간 튜닝 작업



그림. 수평 제어 실차 튜닝 작업

- 작업조건에 맞는 수집부, 이송부, 선별부 및 각부 회전수 측정

- * 1차 시작기 동력 전달 계통도 : 수집기에 탑재된 엔진은 45kW급 디젤엔진을 선정했고, 엔진의 기어 펌프는 메인 컨트롤밸브 및 매뉴얼 컨트롤밸브에 유량을 공급되고, 메인 컨트롤밸브는 기체 수평, 수집부, 이송부 승하강 제어를 하고, 매뉴얼 컨트롤밸브는 수납부 승하강 제어를 할 수 있도록 구성하였다. 또한 엔지폴리는 유압미션을 벨트 구동으로 동력을 전달하여 주행 및 선회 작업을 할 수 있고, 유압미션에서 취출된 PTO 구동폴리를 이용하여 수집/이송/선별부를 차속동조가 되도록 구성하였다.

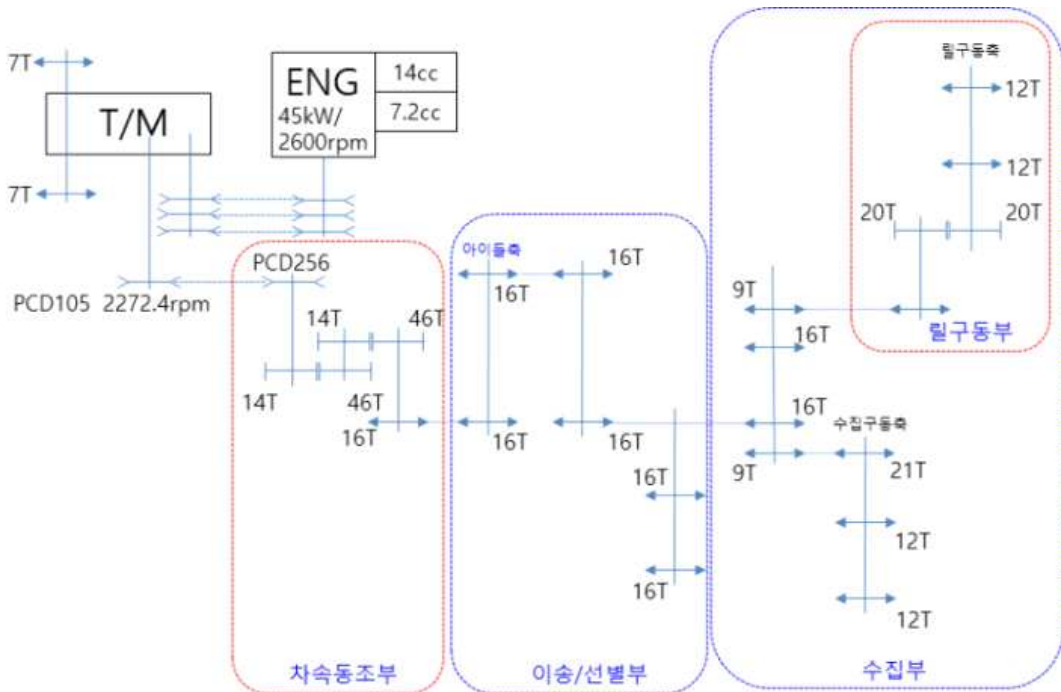


그림. 마늘수집기 엔진 및 출력 시스템

- * 수집기 최종 동력전달 계통도 : 수집기에 탑재된 엔진은 45kW급 디젤엔진을 선정했고, 엔진의 기어 펌프는 메인 컨트롤밸브 및 매뉴얼 컨트롤밸브에 유량을 공급되고, 메인 컨트롤밸브는 기체 수평, 수집부, 이송부, 수납부 제어를 하고, 매뉴얼 컨트롤밸브는 수집부 구동, 이송/선별부를 구동하도록 동력전달 계통도를 구성하였다. 또한 엔지폴리는 유압미션을 벨트 구동으로 동력을 전달하여 주행 및 선회작업을 할 수 있도록 시스템을 변경하였다.

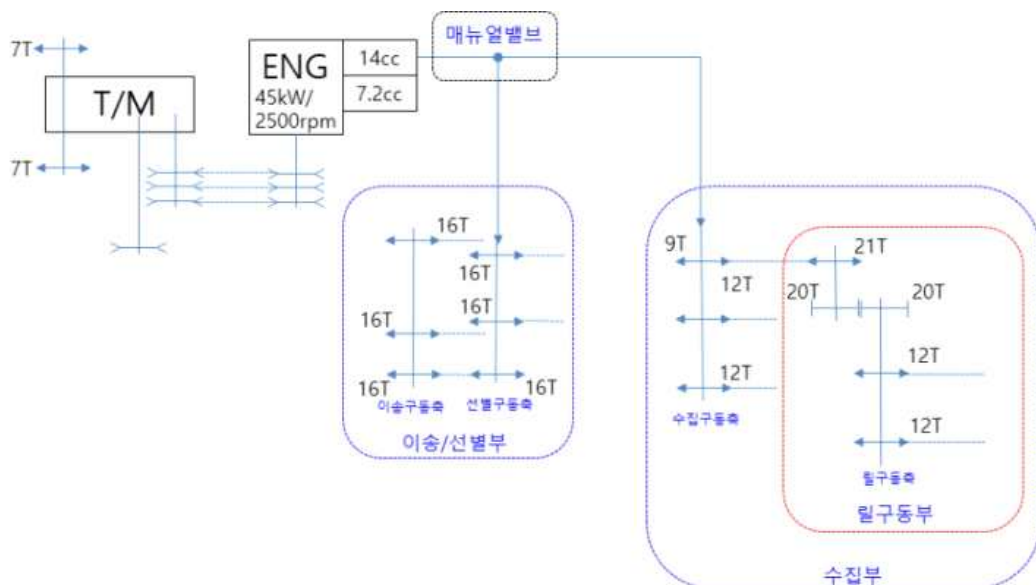


그림. 마늘수집기 작업 부위 별 엔진 및 출력 시스템

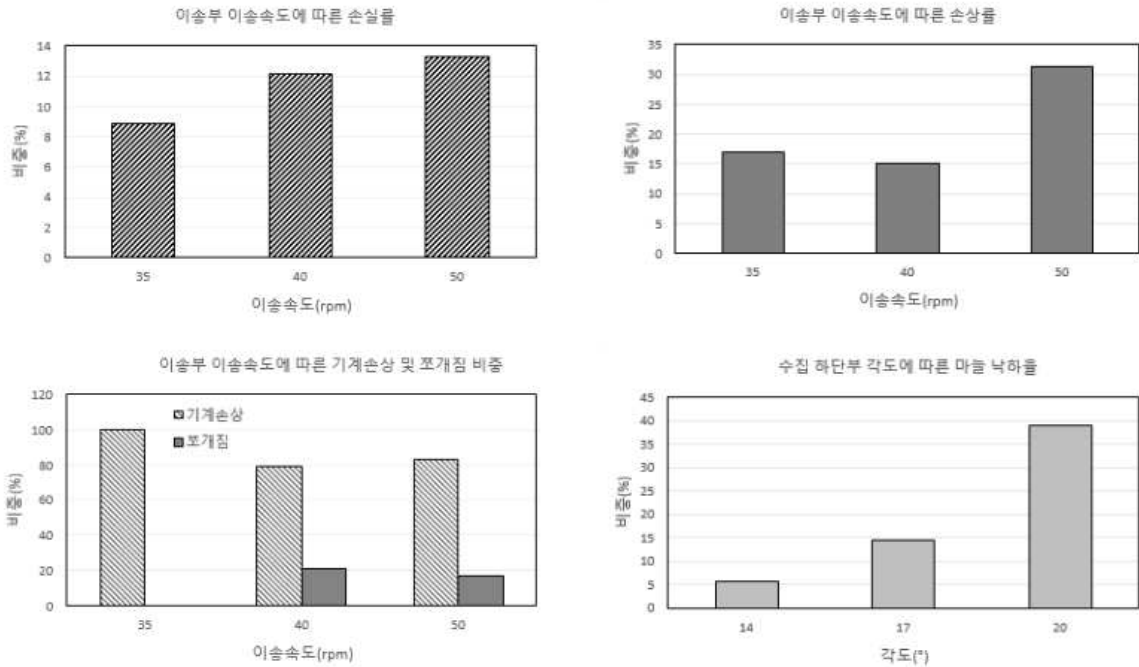
(15) 마늘수집기 수집부 요인시험

가) 승용 자주식 마늘 수집기 수집부 요인시험

- 승용 자주식 마늘 수집기 수집부 요인시험 결과

- * 마늘 수집기 상단부 이송속도에 따른 손실률과 손상률은 다음과 같다. 손실률은 이송속도 35 rpm일 때 6.67 ~ 10.0 % 범위로 나타났으며, 40 rpm일 때 10.0 ~ 13.3 % 범위였으며, 50 rpm일 때에는, 10.0 ~ 20.0 % 범위로 나타났다.
- * 손상률은 이송속도 35 rpm일 때 11.1 ~ 17.9 % 범위로 나타났으며, 40 rpm일 때 11.1 ~ 19.2 % 범위였으며, 50 rpm일 때에는, 22.2 ~ 45.8 % 범위로 나타났다.
- * 손상 중 기계적 외부 손상은 35 rpm일 때 모든 마늘이 쪼개짐 없이 기계적 외부 손상으로 나타났으며, 40 rpm일 때 75.0 ~ 83.3 % 범위였으며, 50 rpm일 때에는, 77.8 ~ 85.7 % 범위로 나타났다.
- * 손상 중 쪼개짐은 40 rpm일 때 16.7 ~ 25.0 % 범위였으며, 50 rpm일 때에는, 14.3 ~ 22.2 % 범위로 나타났으며 30 rpm 이하에서는 쪼개짐이 유발되지 않는 것으로 판단되었다.
- * 마늘 수집기 수집 하단부 각도에 따라 마늘 낙하가 발생하여 각도 요인시험을 수행하였으며, 각도 14° 일 때에는 0 ~ 13.3 % 범위로 나타났으며, 17°일 때에는 10 ~ 16.7 %, 20°일 때에는 30.0 ~ 43.3 % 범위로 나타났다.
- * 마늘의 기계적 손상과 쪼개짐을 고려할 때 이송속도를 35 rpm 이하로 작동하는 것이 고려되므로 이송속도에 따른 수집 하단부 각도 요인별 낙하 마늘 분석이 필요할 것으로 판단된다.

나) 이송부 및 하단부 기초 성능



(16) 마늘 수집기 테스트베드 구축 및 포장성능 평가

가) 마늘 수집기 시작기 수집·이송부 요인시험

- 아래표는 수집부 각도와 이송부 속도에 따른 낙하율, 손실률을 나타낸 것이다. 수집속도별 수집성능 분석결과 저속에서 손실률과 손상률은 감소하였고, 이송속도가 35 rpm 일 때 손실률이 8.89%로 가장 적은 값으로 나타났다. 또한, 수집각도별 수집성능 분석결과 각도가 감소할수록 낙하율이 감소하였으며 수집부의 각도가 14°일 때 낙하율이 5.55%로 가장 적은 값으로 나타났다.

표. 수집속도에 따른 손실률 및 손상률

수집속도 (rpm)	이송각도 (°)	투입 마늘 개수 : 30구			손실률 (%)	손상률 (%)
		손실	손상	쪼개짐		
50	55	3	6	1	10.00	22.22
		3	7	2	10.00	25.93
		6	11	2	20.00	45.83
40		4	4	1	13.33	15.38
		3	3	1	10.00	11.11
		4	5	1	13.33	19.23
35		2	5	0	6.67	17.86
		3	6	0	10.00	22.22
		3	3	0	10.00	11.11

표. 수집 각도에 따른 낙하율

수집속도 (rpm)	수집각도 (°)	투입 마늘 개수 : 30구	낙하율 (%)
		낙하 마늘 개수	
50	20	9	30.00
		13	43.33
		13	43.33
	17	5	16.67
		5	16.67
		3	10.00
	14	4	13.33
		0	0.00
		1	3.33

(17) 승용 자주식 마늘 수집기 포장성능평가

가) 승용 자주식 마늘 수집기 1차 포장성능시험

- 아래 표는 마늘 수집기 포장성능시험 결과 주행 및 수집 속도에 따른 손실률(loss ratio), 이물질 혼입률(debris mixing ratio), 손상률(damage ratio)을 나타낸 것이다. 수집부 속도 요인별 수집성능 분석결과 주행속도 0.3 m/s, 수집속도 70 rpm일 때 손실률 5.98%로 가장 양호하였으며, 손상률을 분석한 결과 수집부 회전속도가 70 rpm일 때 기계적 손상으로 인한 찌힘이 가장 적게 발생하였다. 이물질 혼입률을 분석한 결과 모든 작업 조건에서 2% 미만으로 나타났으며, 주행속도 0.2 m/s, 0.4 m/s에서 수집속도 70 rpm일 때 손상률이 1.11%로 가장 양호하였다.

표. 마늘 수집기 주행속도 및 수집속도에 따른 1차 포장성능시험 결과

주행속도 (m/s)	수집속도 (rpm)	손실률 (%)	이물질 혼입률 (%)	손상률 (%)	
				찌힘	멍
0.2	60	32.10	0.53	0.52	0.00
	70	10.01	0.79	0.00	1.11
	80	8.05	0.76	0.49	1.11
0.3	60	8.81	0.98	1.99	0.00
	70	5.98	0.6	1.53	2.22
	80	6.68	0.63	0.78	0.00
0.4	60	23.75	0.92	1.60	0.00
	70	12.24	1.71	0.00	1.11
	80	25.87	0.51	0.80	1.11

나) 승용 자주식 마늘 수집기 2차 포장성능시험

- 아래 표는 마늘 수집기 포장성능시험 결과 주행 및 수집 속도에 따른 손실률(loss ratio), 이물질 혼입률(debris mixing ratio), 손상률(damage ratio)을 나타낸 것이다. 수집부 속도 요인별 수집성능 분석결과 손실률은 주행속도 0.2 m/s, 수집속도 70 rpm일 때 1.54%로 가장 양호하였으며, 손상률은 0.4 m/s, 수집속도 60 rpm에서 0.35%로 가장 양호하였다. 이물질 혼입률을 분석한 결과 이송부 및 선별부에서 이물질 분리 및 선별을 통해 모든 작업 조건에서 0%로 나타났다. 손실률 및 손상을 등 작업성능을 고려하였을 때 주행속도 0.2 m/s, 수집속도 70 rpm이 가장 적합할 것으로 판단된다.

표. 마늘 수집기 주행속도 및 수집속도에 따른 2차 포장성능시험 결과

주행속도 (m/s)	수집속도 (rpm)	손실률 (%)	이물질 혼입률 (%)	손상률 (%)	
				찌힘+쪼개짐	멍
0.2	60	3.59	0.00	3.62	2.22
	70	1.54	0.00	1.09	0.00
	80	5.13	0.00	4.43	1.11
0.3	60	6.67	0.00	2.53	1.11
	70	3.85	0.00	3.52	0.00
	80	7.44	0.00	3.66	1.11
0.4	60	10.51	0.00	0.35	0.00
	70	3.85	0.00	3.88	0.00
	80	5.90	0.00	3.24	0.00

(18) Sample기의 수집, 이송 선별에 대한 필드 시험 및 분석

가) 수집기 현장 적응성, 작업 성능, 문제점 등 분석 및 보완 방향 제시

- 마늘 배지에 수집 진입 및 작업에 무관하여 하단 바퀴를 제거하였다. 또한 수집부 링크 간 마늘 및 이물질 끼임 현상으로 인한 마늘수집기 동작 멈춤을 방지하기 위하여 링크 간 보조 링크를 추가하여 끼임으로 인한 동작 멈춤 현상을 방지하였다. 토양 겉에 있는 마늘을 수집부 쓸어담는 유도 고무의 역할이 원활하지 않아 고무의 두께 제원을 6T에서 9T로 변경하여 비교적 견고하게 재설계하였다. 이로 인하여 유도 고무가 마늘을 쓸어 담을 때 휘어지지 않고 형상을 유지하며 수집이 이루어진다.



(a)

(b)

(c)

그림. 마늘수집기 수집부 문제점 보완 현황: (a) 유도 바퀴가 제거된 수집부, (b) 보조 링크가 추가 설계된 수집부, (c) 제원이 변경된 수집 유도 고무

- 수집부와 동일하게 이송부에서도 마늘 및 이물질 끼임 현상이 발생한다. 동작이 멈추진 않지만 기기 파손 우려가 있고, 마늘 손실률이 발생하기 때문에 해당 문제를 해결하기 위하여 이송부 간격을 축소하였다. 또한 마늘 및 이물질이 이탈되도록 이송부의 속도를 향상하였다. 향상된 속도로 인하여 마늘이 이송부 밖으로 이탈하게 된다. 마늘 이탈을 방지하기 위하여 이송부 전면에 보조판을 설치하여 문제를 해결하였다.



(a)

(c)

그림. 마늘수집기 이송부 마늘 및 이물질 끼임 현상 문제 보완 현황: (a) 보완 전과 보완 후, and (b) 이송부 이탈방지판 설치

- 선별부 또한 마늘 및 이물질 끼임 현상이 발생한다. 수집부 링크 간 보조 링크를 추가하여 재설계한 것과 동일하게 선별부에도 보조 링크를 추가하여 끼임 현상을 방지하였다. 또한 선별부 chain 처짐 현상으로 인하여 chain과 sprocket 맞물림 현상이 발생하였다. 해당 문제는 chain tension을 상승시켜 처짐 및 맞물림 현상을 방지하였다.



(a)



(b)

그림. 마늘수집기 선별부 문제점 분석 및 보완 전과 후: (a) 보완 전 이물질 끼임 및 마늘 손실과 발생, and (b) 문제점 분석에 따른 보완이 완료된 선별부

나) 최적 설계 결과를 반영한 수집기 현장 적응성, 작업 성능, 문제점 분석

- 최적 설계 및 문제점 보완으로 인한 최종 개발품의 성능에 대한 문제점은 추가로 발견되지 않았다. 하지만 후방 선별부 작업자의 노동 강도 측면을 고려하였을 때, 엔진부에서 방출되는 열로 인한 노동 강도가 상승할 것으로 고려되어 열 방출을 고려한 팬 추가 설치가 요구되는 것으로 판단된다.



그림. 열 방출이 우려되는 마늘수집기 선별부 작업대

(19) 수집, 이송 선별부 해석 모델 개발 및 계측 데이터 비교 분석

가) 실차 시험을 통한 시뮬레이션 모델 비교 검증, 수집기 시스템의 최적 설계 방안 제시

- 최적 설계된 마늘수집기 모델링을 통하여 최종 시뮬레이션 평가를 진행하였다. 2차년도 최적 설계를 통한 요인별 마늘수집기 모델링 시뮬레이션 평가 결과, 마늘수집기가 작업 방향으로 전진하는 작업 속도의 경우 느릴수록 성능이 증가하며, 유도 고무롤을 통하여 마늘을 쓸어 담은 후 수집이 이루어지는 수집부의 체인 롤러 컨베이어의 회전속도가 빠를수록 성능이 증가하는 것으로 나타났다. 이때 마늘수집기의 성능은 마늘 수집률, 이탈률, 수집 시 마늘에 가해지는 충격력으로 보았으며, 설정된 요인 중 작업속도 0.22 m/s, 체인 롤러 컨베이어 회전속도 50 rpm에서 성능이 가장 우수하게 나타났다. 이때 최대 수집률 96.4 %, 최소 이탈률 0 %, 마늘에 가해진 최대 충격력 78.174 N으로 나타났다.

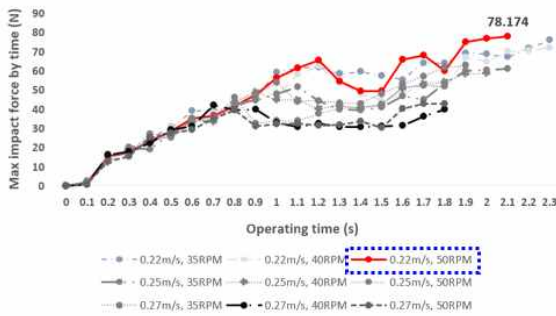


그림. 마늘수집기 최종 시뮬레이션 시 요인별 마늘에 가해진 충격력 그래프

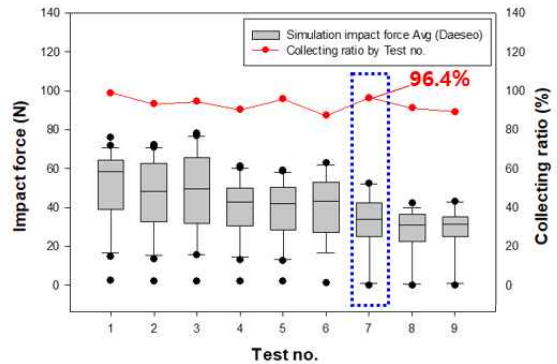


그림. 마늘수집기 최종 시뮬레이션 시 요인별 성능 평가 결과 그래프

- 최적 설계를 통한 2차년도 필드 실증 Data를 통계적 분석을 실시하였다. ‘품종은 수집기 수집률과 손상률 성능에 영향을 미칠 것이다.’를 가설로 설정하였다. 이후 질적 척도와 양적 척도 간 통계분석을 더미 변수로 변환하여 회귀분석(대서 X = 0, 남도 X = 1)을 실시하였다. 품종에 따른 수집률 회귀식 : $-9.293X + 85.24$ → 수집률 - 대서 : 85.24 %, 남도 : 75.95 %으로 나타났다. 품종에 따른 손상률 회귀식 : $9.205X + 2.906$ → 손상률 - 대서 : 2.90 %, 남도 : 12.11 %로 나타났다. 품종과 수집률, 손상률 회귀분석 결과, 유의 확률은 각각 < 0.002 , 0.000 으로 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시, 품종은 수집률과 손상률에 영향을 미치는 것으로 분석된다. 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시, 대서 품종이 남도 품종에 비하여 수집률이 높고, 손상률은 낮게 나타났다. 대서 품종보다 마늘수집기 기계 재료 간 마찰계수가 작은 남도 품종은 수집 유도 시 수집 작업이 원활히 진행되지 않는 것이 확인된다. 해당 문제로 인하여 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시, 남도 품종이 수집률에 대한 영향력이 낮은 것으로 분석된다. 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시, 대서 품종이 남도 품종에 비하여 손상률이 낮게 나타났다. 남도 품종은 대서 품종보다 물성이 약하고 쪼개짐이 잘 발생하는 것으로 확인된다. 해당 문제로 인하여 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 시, 남도 품종이 손상률에 대한 영향력이 높은 것으로 분석된다.

표. 품종이 마늘수집기 수집률 성능에 미치는 영향

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t(p)	F(p)	R ²
	B	SE	β			
(상수) 독립변수	85.24 -9.293	1.948 2.954	-0.359	43.758 -3.146	0.002**	0.027

표. 품종이 마늘수집기 수집률 성능에 미치는 영향

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t(p)	F(p)	R ²
	B	SE	β			
(상수) 독립변수	2.906 9.205	1.009 1.530	0.592	2.881 6.017	0.000***	0.592

** $p < .01$, *** $p < .001$

- 또한 품종이 아닌 요인이 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 회귀분석을 실시하였다. ‘속도 요인은 수집기 수집률과 손상률 성능에 영향을 미칠 것이다.’의 가설을 설정하였다. 속도 요인에 따른 마늘수집기과 수집률, 손상률 간 회귀분석 결과, 유의하지 않게 나타났다. 따라서 마늘수집기 성능은 품종의 영향을 받지만 설정된 속도 요인은 무관한 것으로 판단된다.

표. 마늘수집기 속도 요인별 실험 파라미터

Test no.	Rotative velocity (RPM)	Working velocity (m/s)	Collecting ratio (%)	Loss ratio (%)
1		0.2	82.14	5.37
2	60	0.3	90.71	2.78
3		0.4	84.31	11.11
4		0.2	73.86	4.07
5	70	0.3	94.02	23.33
6		0.4	76.48	10.0
7		0.2	76.25	2.22
8	80	0.3	84.50	10.37
9		0.4	74.97	7.78

표. 마늘수집기 속도 요인이 수집률에 미치는 영향

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t(p)	TOL	VIF
	B	SE	β			
(상수)	74.971	5.050		14.846***		
속도요인_1	7.167	5.831	.245	1.229	0.338	2.957
속도요인_2	15.736	7.142	.345	2.203**	0.548	1.826
속도요인_3	9.337	7.142	.205	1.307	0.548	1.826
속도요인_4	-1.112	6.519	-.029	-.171	0.460	2.174
속도요인_5	19.048	8.747	.302	2.178**	0.697	1.435
속도요인_6	1.506	6.519	.039	.231	0.460	2.174
속도요인_7	1.275	8.747	.020	.146	0.697	1.435
속도요인_8	9.531	6.519	.250	1.462	0.460	2.174
F(p)				1.797		
p				0.095		
adj.R ²				0.086		
Durbin-Watson				1.253		

** $p < .01$, *** $p < .001$

Reference group : 속도요인*parameter 9(0.4 m/s * 80 RPM)

표. 마늘수집기 속도 요인이 손상률에 미치는 영향

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t(p)	TOL	VIF
	B	SE	β			
(상수)	7.778	3.121		2.492**		
속도요인_1	-2.407	3.604	-.137	-.668	0.338	2.957
속도요인_2	-5.000	4.413	-.183	-1.133	0.548	1.826
속도요인_3	3.333	4.413	.122	.755	0.548	1.826
속도요인_4	-3.704	4.029	-.162	-.919	0.460	2.174
속도요인_5	-2.517	5.405	.000	.000	0.697	1.435
속도요인_6	2.222	4.029	.097	.552	0.460	2.174
속도요인_7	-5.556	5.405	-.147	-1.028	0.697	1.435
속도요인_8	2.593	4.029	.113	.643	0.460	2.174
$F(p)$				1.262		
p				0.281		
adj. R^2				0.03		
Durbin-Watson				0.993		

(20) 시험 평가 문제점을 개선한 자주형 수집기 Pilot 설계

- 1차 시작기 시험 평가 시 마늘이 굴러 내려오는 문제를 해결하기 위하여 링크 바 형상 개선 및 링크 바 조립 배열을 변경 조립하여 굴러 내려오는 문제를 개선하였고, 수집 릴 개선을 통해서 수집된 마늘을 원활하게 인계가 가능하도록 하였고, 작업 마무리가 종료된 포장지 끝부분에서 잔여 마늘이 없어 다음 행정으로의 작업이 원활하게 하였다. 수집 작업 시 작업자의 피로도를 줄일 수 있도록 게이 지 휠을 적용하여 수집부 깊이를 쉽게 조절할 수 있도록 하였고 수집부는 마늘 재배 주산지 환경 및 재배 농법에 맞도록 수집기 내폭이 1000 mm가 되도록 설계하였다.

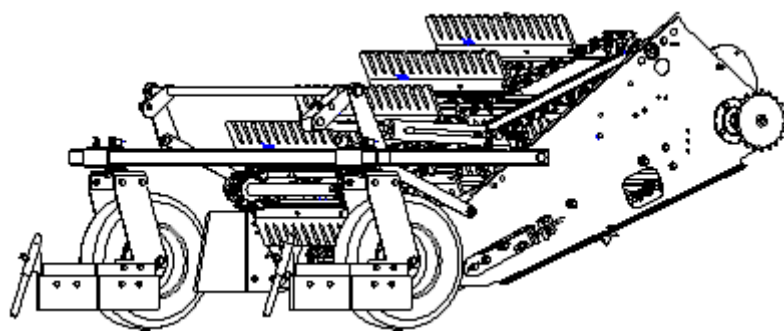


그림. 설계된 수집부 Assy

- 수집부에서 올라온 마늘은 이송부를 통해 선별부로 인계 작업을 실시한다. 1차 시작기 시험 평가 시 인계부에서 마늘이 빠져 깨지는 문제가 발생 되었으나 인계 가이드 개선으로 빠짐에 의한 손실을 0.6 % 이내로 감소하였다. 이송 러그는 마늘을 선별부로 끌어 올리는 역할을 하는데 3 cm 마늘이 러그와 러그 사이도 빠지는 문제가 발생 되어 러그와 러그 사이들 좁혀 빠지는 문제를 해결하였다.

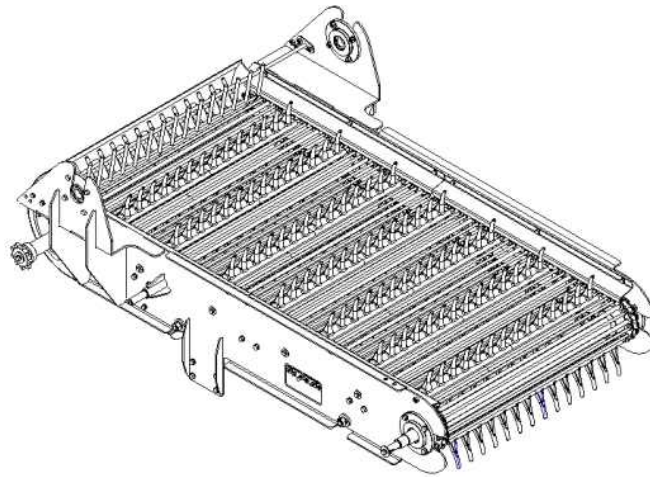


그림. 설계된 이송부 Assy

- 선별핀과 선별핀 사이로 빠진 먼지, 흙 등은 선별체인 하단부 가이드를 통해서 수집부 전방까지 이송이 되어 포장지로 낙하 되도록 설계하였다. 이송부 후단과 선별부 사이에서 마늘 끼임이 발생되어 인계 가이드를 개선하여 문제점을 개선하였다.

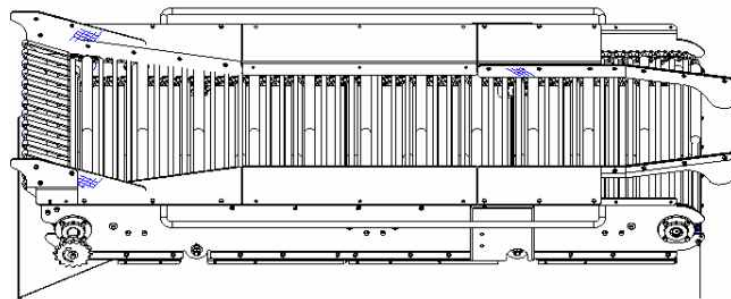


그림. 설계된 선별부 Assy

- 수집된 마늘은 선별과정을 거쳐 톤백 또는 메쉬파레트에 적재가 되도록 설계하였다. 1차 시작기는 톤백 수납대를 상하강 작동을 하는 실린더와 틸팅 작동을 하는 실린더를 각각 설계를 하였으나, 작업 효율적인 측면 원가 절감 측면에서 실린더 1개로 승하강 및 틸팅 작업이 가능하도록 구조 변경 설계를 실시하였다. 또한 톤백을 상단에 거치를 할 수 있도록 가이드를 설치했으며 메쉬파레트는 하역 작업이 쉽게 될 수 있도록 수납대 하단부에 가이드를 추가하여 쉽게 하역이 되도록 하였다.

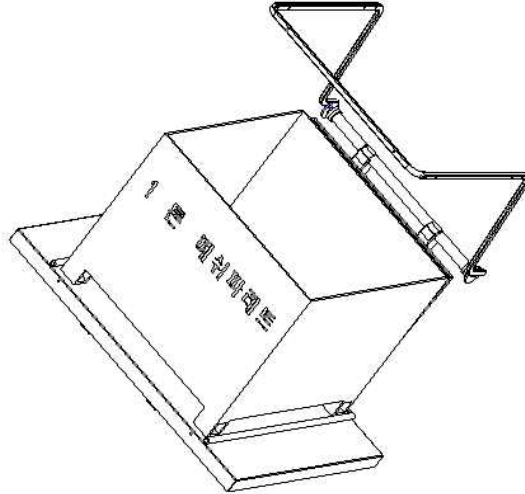


그림. 설계된 톤백 틸팅 Assy

- 탑재엔진은 마늘 수집기 주행 및 선회작업을 원활하게 하고 수집부 및 선별부를 구동하기에 충분한 45 kW급 디젤엔진을 선정하여 Matching 설계를 하였다. 수집기의 엔진 탑재 성능을 향상시키기 위하여 라디에이터는 방열량이 41,000 kcal/h 사양을 선정, 라디에이터 코어와 냉각팬 간격은 25 mm 로 최적의 냉각 성능을 발휘할 수 있도록 하였다. 탑재 엔진 마늘 수집 작업 시 Heat balance 측정 결과 ACT 80 ℃ 이상으로 기준온도 46 ℃ 보다 34 ℃ 정도 여유가 있음을 확인하였다.

표 . A2400T 엔진 사양표

엔진형식명	단위	사양 / Spec
형식		직립 수냉식 4사이클 디젤엔진
배기량	cc	2392
연소실 형식		직접분사식
흡기 방식		터보 차저
출력 / 2600	kW (HP)	45.0 (60)
냉각방식		가압 라디에이터식
엔진크기 (길이 x 폭 x 높이)	mm	745 x 545 x 973
건조 중량	kg	310

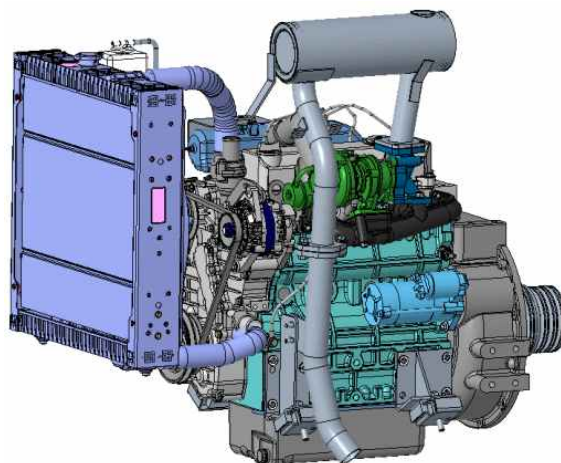


그림. 수집기에 탑재된 45 kW급 엔진 및 Matching 설계

- 마늘 주산지 재배 양식에 적합하도록 Trade는 1,115 mm를 적용, 크롤러 폭은 400 mm, 접지 길이는 1,580 mm으로 설계하여 수집 작업에 적합하도록 하였고 트랙부는 포장지면 요철 형상에 따른 안정적인 작업이 가능한 Equalizer system을 적용하였다.

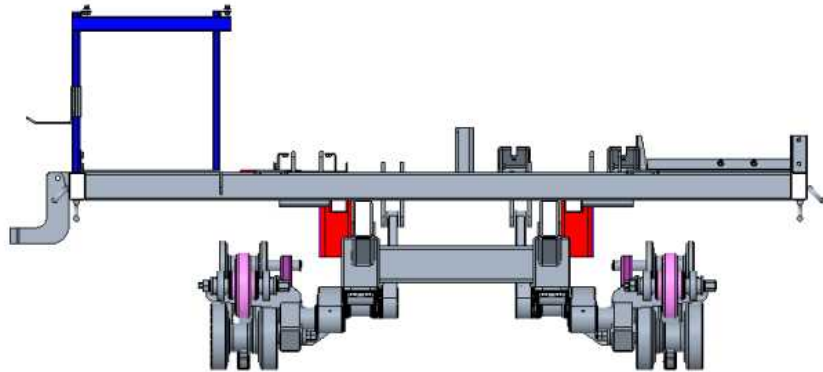


그림. 주행부 설계 전면적

- 종래의 뿌리작물 수확기로 작업시 수확기 차량의 진행 속도와 일련의 수집부 내지 선별부의 작업속도 사이에 밸런스가 무너지고 부하가 발생하게 되어 작업의 연속성이 저해되는 것은 물론, 특히 후방 선별부에서 선별 불량률이 빈번하게 발생하여 작업이 수시로 중단되는 등의 문제를 초래하는 문제를 해결하기 위해 트랜스미션의 동력 PTO를 활용하여 기어펌프를 구동할 수 있도록하여 수집부, 이송부, 선별부를 유압모터로 구동할 수 있도록 하였다. 수집기 차속에 비례하여 수집부, 이송부, 선별부가 동조하여 작업성 및 생산성을 향상할 수 있도록 하였다.



그림. 차속동조 기능을 가진 수집기 시스템

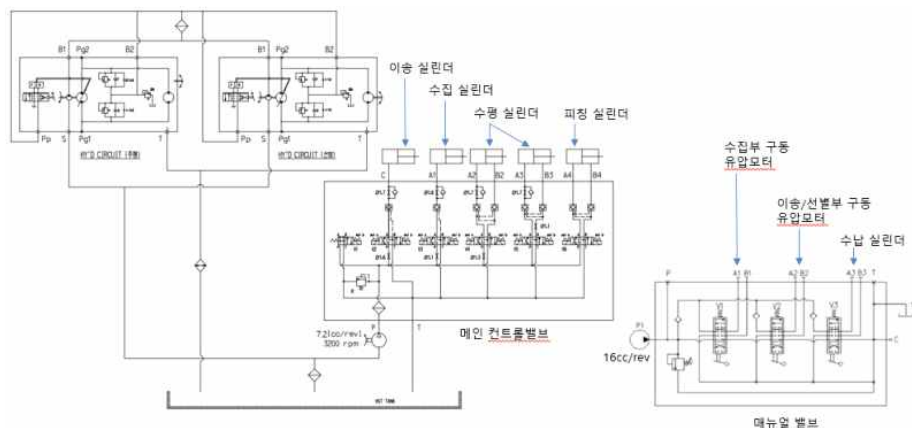


그림. 수집기 유압회로도

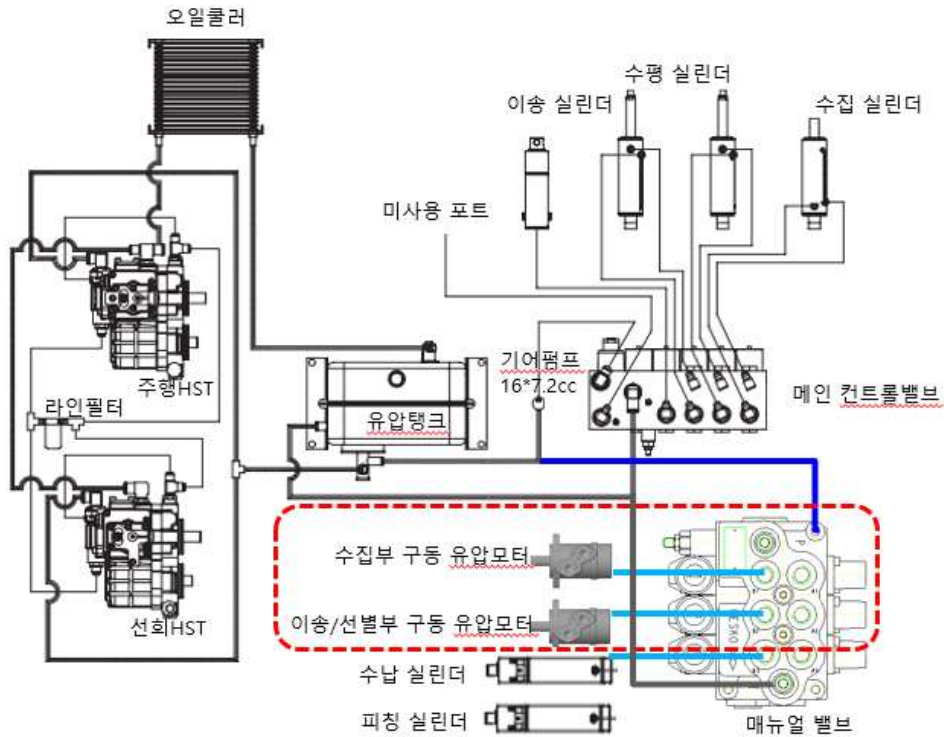


그림. 수집기 유압 부품 배치 관계

- 수집기 차체의 전방에 굴취삽 및 수집 링크 바를 탑재하여 마늘을 수집하는 수집부 승하강, 수집된 마늘을 선별부로 이송을 하도록 한 이송부 승하강, 후방에서 선별된 마늘을 수납하는 수납부 승하강, 긴급 상황이 발생 되었을 때 엔진 긴급정지 기능, 작업자가 탑승하여 수확기 전반을 운전 및 조작하는 운전조작부를 포함하는 제어장치에 있어서, 차체 전후좌우 수평을 제어, 주행 및 선회 제어 등을 할 수 있도록 전장 하네스를 개발하였다.



그림. 마늘수집기 회로도 구성 회의

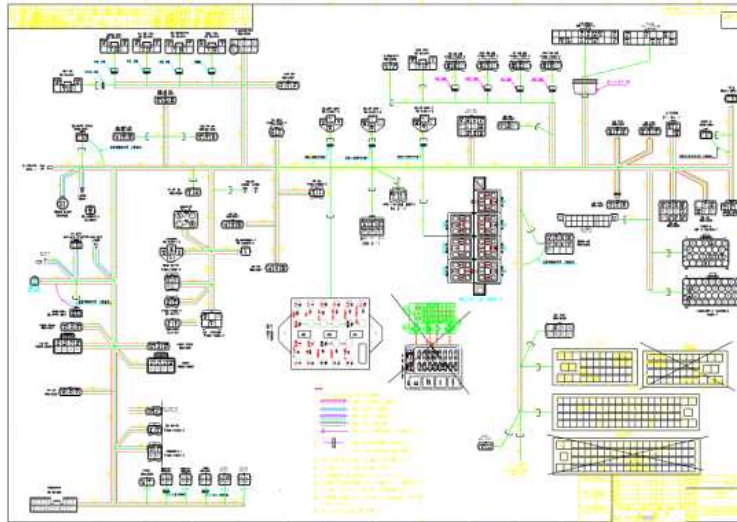


그림. 수집기 배선도

(21) 자주식 마늘 수집기 안정성 평가

가) 승용 자주식 마늘 수집기 횡전도 안정성 분석

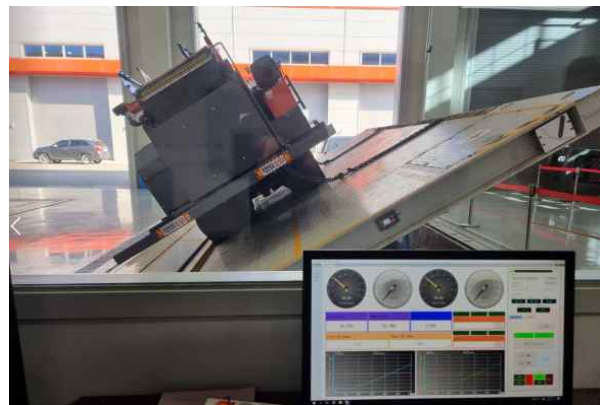
- 시작기의 최저 횡전도각은 30.7°로 농업기술실용화재단의 농기계 검정기준(승용자주형 농업기계 의 횡전도 검정기준 30° 이상)을 만족하는 것으로 분석되었다.

표. 마늘수집기 전도 안정성 평가 결과

구분	횡전도각(°)	
	좌	우
	30.48	30.70



(a) 전방 기준 좌측 상승



(a) 전방 기준 우측 상승

그림. 작업기 횡전도 분석

나) 하중분포 및 차축 부담하중 분석

- 측정 결과 좌측 1,640 kg, 우측 1,490 kg으로 아래 표와 같이 좌측 하중분포비는 52.4 %, 우측 하중분포비는 47.6 %로 나타났다.

표. 하중분포 측정 결과

구분	무게(kg)	비율(%)
좌측	1,640	52.4
우측	1,490	47.6

(22) 자주식 마늘 수집기 최종사양 실증 시험 및 검인증

가) 마늘수확 적응성 시험 및 결과 분석에 따른 개선 설계

- 1차 Proto 평가



<시험기대 제작>

<요인시험>



<합류부 마늘 끼임 발생>

<선별 과정>

<수집된 마늘>

- 2차 Pilot 평가



<시험기대 제작 및 프로그램 튜닝 작업>



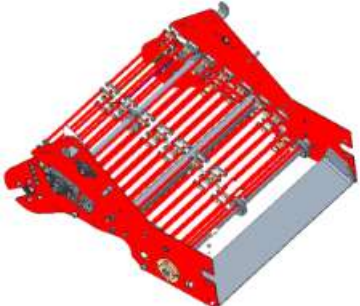
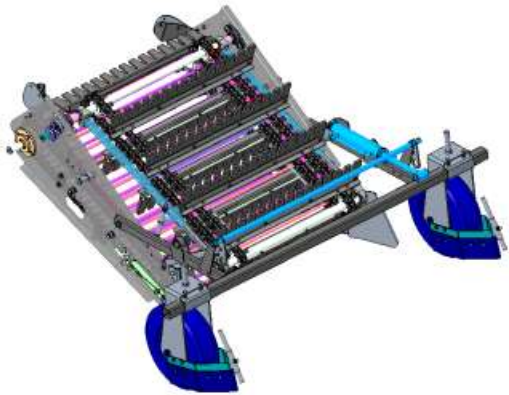

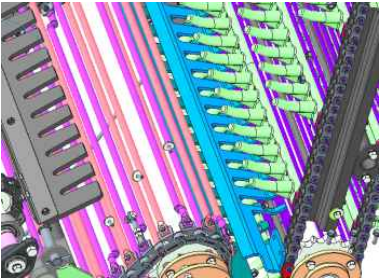
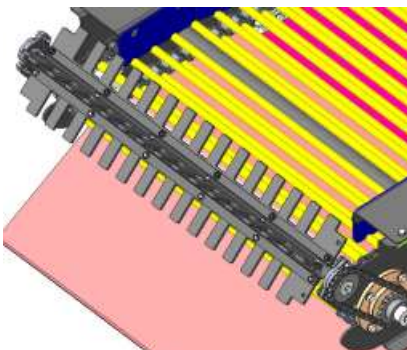
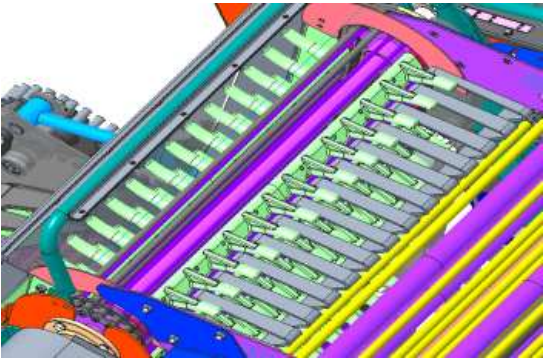
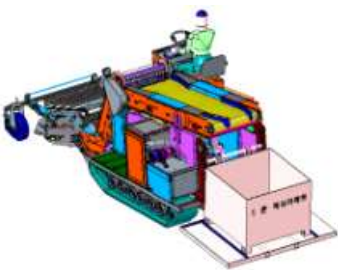
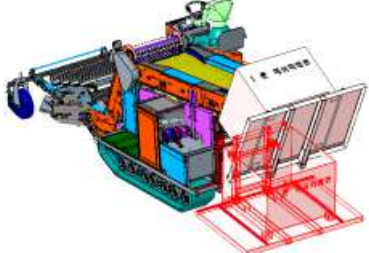
<사내 평가>

<기관합동 평가>

<진흥원 검인증 평가>

<진흥원 형식승인 평가>

표. 1, 2차 시험 결과 분석 및 개선 설계

항목	문제점	개선 설계
수집부 성능 평가	1. 수집 컨베이어에서 수집된 마늘이 굴러 내려가는 현상 2. 수집 선단에서 마늘을 밀고 가는 현상 발생 3. 이송 시 마늘 빠짐 현상 	- 수집이송안내 가이드 위치 및 폭 증대 완료 - 수집 링크 바 벤딩높이 25->20으로 변경 (3cm이상 마늘 수집 가능토록 변경 완료) 
수집~이송부 인계	1. 틈새가 넓어 크기가 작은 마늘 빠짐 발생 	- 이송 리그경도65=>75증대 및 리그 폭 증대 - 수집부~이송부 인계 가이드 설계 
이송~선별부 인계	1. 마늘 이송시 정체 현상 발생 2. 잡초, 이물질 끼임 발생으로 작업 지연 	- 이송 리그 인계 가이드 설계 - 선별부로 인계 시 충격 완화 커버 설계 
수납시 손상	- 톤백 수납시 작물 낙하에 따른 손상 발생  - 실린더 2개로 수납부 승하강 및 하역 작업	- 수납부를 대각으로 경사지게 설계  - 실린더 1개로 수납부 승하강 및 하역작업 가능하도록 설계

나) 형식 승인 검증 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집 체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이고 좌측 우측 최소회전반경은 1,095 mm이다.

시험조건	
· 시험노면	콘크리트
· 차륜종류	무한궤도
시험결과	
· 최소선회반경	(좌) 1.095 m, (우) 1.095 m

그림. 선회반경 시험 조건표

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집 체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이고 마늘손상률 0.6 %이다.

시험조건				
· 포장조건				
종류	밭			
두둑형상	평두둑			
두둑높이	10 cm			
두둑폭	155 cm(골폭 30 cm)			
· 공시작물	마늘			
· 작업단수	주: 무단(1/4), 부: 저속			
· 작업인원	3명(운전 1명, 선별 2명)			
시험성적				
· 평균작업속도	0.31 m/s			
· 손상률	0.6 %			
(50 m 구간)	1회	2회	3회	평균
정상중량(kg)	24.88	24.90	24.76	24.84
손상중량(kg)	0.12	0.10	0.24	0.15

그림. 마늘수집기 작업 손상 성능 평가 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집 체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이고 마늘 수확률 95.7 %이다.

시험조건				
· 포장조건				
종류	밭			
두둑형상	평두둑			
두둑높이	10 cm			
두둑폭	155 cm(골폭 30 cm)			
· 공시작물	마늘			
· 작업단수	주: 무단(1/4), 부: 저속			
· 작업인원	3명(운전 1명, 선별 2명)			
시험성적				
· 평균작업속도	0.31 m/s			
· 수확률	95.7 %			
(50 m 구간)	1회	2회	3회	평균
수확중량(kg)	115.14	114.18	115.04	114.8
미수확중량(kg)	4.86	5.82	4.96	5.2

그림. 마늘수집기 작업 수집 성능 평가 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이고 기체 좌우측 선회시간은 8.6 s이다.

시험조건	
· 시험노면	콘크리트
· 차륜종류	무한궤도
시험성적	
· 기체 좌측 선회시간	8.6 s
· 기체 우측 선회시간	8.6 s

그림. 선회반경 시험 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 툰백에 낙하되는 구조이고 작업능률시험 58.5 min/10 a이다.

시험조건	
· 포장조건	
· 종류	밭
· 두둑형상	평두둑
· 두둑높이	10 cm
· 두둑폭	155 cm(골폭 30 cm)
· 공시작물	마늘
· 작업단수	주: 무단(1/4), 부: 저속
· 작업인원	3명(운전 1명, 선별 2명)
시험성적	
· 평균작업속도	0.31 m/s
· 작업능률시험	58.5 min/10a

그림. 마늘수집기 작업 성능 평가 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 툰백에 낙하되는 구조이고 기체 전방 경사제어각은 2.9 도이고, 기체 후방 경사제어각은 2.5 도 이다.

시험조건	
· 시험노면	콘크리트
· 차륜종류	무한궤도
시험성적	
· 기체 전방 경사제어각	2.9°
· 기체 후방 경사제어각	2.5°

그림. 마늘수집기 전도 시험 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집체인에 의해 수집된 작물은 이송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 툰백에 낙하되는 구조이고 기체 좌측 경사제어각은 4.8 도 이고, 기체 우측 경사제어각은 5.0 도 이다.

시험조건	
· 시험노면	콘크리트
· 차륜종류	무한궤도
시험성적	
· 기체 좌측 경사제어각	4.8°
· 기체 우측 경사제어각	5.0°

그림. 마늘수집기 전도 시험 결과

- 본 기대는 수집폭이 110 cm 인 승용자주형 수집식 마늘수집기로 수집체인에 의해 수집된 작물은 이 송장치를 통해 후방으로 이송되어 낙하되어 톤백에 낙하되는 구조이고 톤백으로 담을 수 있는 중량은 500 kg 이다.

시험조건	
· 포장면적	10 a (50 m × 20 m)
· 공시작물	마늘
· 수집폭	110 cm
시험성적	
· 톤백으로 담을 수 있는 중량	500 kg

그림. 마늘수집기 선별부 수거 조건

다) 핵심부품인 주행 모터, 주행 컨트롤러 내구성 및 정전기(ESD) 내환경성 시험 평가를 실시한 제품을 사용하여 신뢰성을 높인 수집기를 개발하였다.

- 시험 결과 : 상기 항목 시험 결과 기준에 적합

시험성적서



주식회사 큐랩스 <small>경기도 부천시 오정구 석현로 945,309동 907호 (상용동, 부천 테크노파크) 우 : 14501 TEL : 032-326-0219 FAX : 032-326-0214</small>	성적서번호: QR-T-1706022 페이지(1) / (총 12)	
1. 의뢰자 * 기관명 : ㈜네스트아이앤씨 * 주소 : 경기도 성남시 중원구 상대원동 144-3번지 우원라이온스빌리 5차 A동 1305호		
2. 시험대상품목 * 제품명 : 콤바인주행컨트롤러+모터 * 모델명 : - * 제조자명 : ㈜네스트아이앤씨 * 제조번호 : -		
3. 시험기간 : 2017.05.22. - 2017.05.23.		
4. 시험방법 : 업체 제시 조건(페이지 3 참조)		
5. 시험환경 : * 온도 : (22 ± 3) ℃ , 습도 : (39 ± 5) % R.H.		
6. 시험결과 : 페이지 3 참조		
확인 성명: 윤창복	작성자 성명: 윤창복	기술책임자 성명: 황규일
* 이 시험 결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다. * 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송을 목적으로 사용될 수 없습니다.		
발급일자 : 2017년 06월 02일 주식회사 큐랩스 대표이사		
		

그림. 마늘수집기 핵심부품 모터, 컨트롤러, ESD 신뢰성 평가 시험 성적서

(23) 사업화 준비

가) 최적 설계를 반영한 자주식 마늘 수집기 형식승인 인증

- 개발 완료후 생산 판매를 하기 위한 형식승인 인증 완료

- 협동기관 기술이전을 통해 사업화 추진 완료 및 기술료 책정은 점유율 8%, 기본율 3%, 국가지분 50%로 하였다.



KOAT

KOAT

그림. 마늘수집기 국유특허권의 통상실시권 허가 계약서

- 생산설비 및 조립라인은 (주)불스 자체 설비활용으로 산업화 추진



그림. 사업화 체계화를 위한 마늘수집기 생산 공정 라인

- 판로 확보는 주산지에서 마늘 작목반, 농업기술센터 등 합동 시연회를 통한 홍보 및 (주)불스 전국 총판, 대구, 상주, 김제 농업기계 전시회 참여를 통한 제품 홍보 추진



그림. 홍보 전시(좌 : 2022 농촌진흥청 국정감사 시연회, 우 : 2022 KIEMSTA 전시)

(1) 정성적 연구개발성과

(연구적 성과)

1) 굴취 후 건조되어진 마늘을 연속적으로 수집 및 이성, 수납할 수 있는 마늘수집기 개발.

- 가) 마늘 손상률 3 % 미만 달성.
- 나) 수확률 95 % 이상 달성.
- 다) 작업성능 1 h/10 a 이하 달성.

2) Handle형 조작부로 차량의 직진 및 선회, 차체 수평 제어 가능 마늘수집기 개발.

- 가) 유니버설 디자인을 접목한 Handle형 주행 조작부 개발.
- 나) 차체 전후 경사 3 도 이내 달성을 위하여 2.9 도 설정으로 달성.
- 다) 좌우 경사 5 도 이내 제어 달성을 위하여 4.8 도, 우경사 5 도 설정으로 달성.

3) 전자 유압 미션제어가 가능한 Crawler type 승용 자주식 마늘수집기 개발.

- 가) 엔진 출력 44.1 kW 탑재 달성.
- 나) 선회모드 Soft turn, Brake turn, Spin turn 구현.
- 다) 최소 선회반경 1.095 m 달성.

(과학적 성과)

- 가) 경사지 및 요철 대응이 가능한 수집기 차량자세제어장치 기술인 DSC(Dynamic stability control) 개발 및 제어 기술 개발을 통해 수집작업 효율 극대화 가능.
- 나) 전자 유압미션 제어 개발을 통해 자율주행 및 지능형 제어가 가능한 시스템 개발로 스마트 농업 기반 구축 가능.
- 다) 유니버설 디자인을 접목한 Handle형 주행 조작부 개발을 통해 운전자의 편의성을 높이고 자율주행 시스템을 적용하기 용이함.

(기술적 성과)

- 가) 땅속작물의 수집기 개발에 적용 가능한 기술을 확보함으로써 땅속작물 수확기 분야의 기술력 증대 및 승용 자주형 마늘 수집기의 원천기술을 토대로 타 작물 작업기로의 개발 확대 가능.
- 나) 마늘 수집기 이물질 제거장치, 차속동조 시스템, 수집부 제어 장치 등 특허 출원 및 등록을 통하여 경쟁력 확보.
- 다) 밭 작물 수확, 수집기 산업화 기반 구축에 기여.

(경제적 성과)

- 가) 마늘 수집 작업에 소요되는 노동력과 시간을 현재의 90% 이상 절감할 수 있기 때문에 적기 수확이 가능하고 작물 재배 생산비 절감과 상품성을 향상시킬 수 있음.
- 나) 과제 종료 후 마늘 수집기 사업화 추진 예정.

(사회적 성과)

- 가) 수확에 소요되는 시간 단축으로 농가당 재배면적 대형화 및 재배 양식 표준화 가능으로 농가 소득 증대 및 농촌 경제 활성화 기여.
- 나) 농작업 환경에 최적화된 제어 기술을 구현함으로써 운전 중 발생하는 각종 안전사고, 농작물 인력 작업으로 인한 근골격계 질환 등을 근본적으로 방지 가능.



- 다) 부족한 농촌 인력을 대체할 수 있는 고령·여성 친화형 기계 보급으로 노동력 절감 및 생산량 극대화 가능.
- 라) 안정적인 마늘 생산 및 적기 공급으로 우리 먹거리 산업 안보에 기여.

(2) 정량적 연구개발성과

1) 정량적 연구개발성과표

가) 성과지표

- 과제를 수행하며 아래와 같이 성과를 창출하였다.

< 정량적 연구개발성과표(누적) >

(단위 : 건, 천원, \$, 명)

성과지표명	단계/연도		1단계		계
			2021	2022	
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	국내·외 논문게재	건수			
	국내·외 학술대회	건수			
	기술 요약 정보	건수			
	보고서 원문	건수			
	생명자원/화합물	건수			
	지식재산권(출원)	건수	2	1	3
	지식재산권(등록)	건수		3	3
	저작권	건수			
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	사업화실적	실적			
	기술이전	건수		1	1
	투자실적	금액			
	매출실적	금액			
	비용절감	금액			
	수입대체	금액			
	고용창출	명	6	3	9
	홍보실적	건		10	10
포상 및 수상실적	건				

2) 특허출원 (3건)

가) 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치

- 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치에 관한 발명으로, 차체의 전방에 굴취삽 또는 굴취 체인을 탑재하여 뿌리작물을 굴취하도록 구비하는 수집부와, 수집부의 후방에서 굴취된 뿌리작물을 이송하도록 구비하는 이송부와, 이송부의 후방에서 뿌리작물에 혼입된 불순물을 선별하고 수납부로 반송하도록 구비하는 선별부와, 차체의 일측에서 작업자가 탑승하여 수확기 전반을 운전 및 조작하는 운전 조작부를 포함하는 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치에 있어서, 차체 내부에 탑재하여 수집부를 포함한 차체 전반의 전, 후 수평 및 좌, 우 수평을 제어하도록 구비하는 차체자세제어부와, 수집부의 전방에 장착하여 수집부의 좌, 우 수평 및 높이를 제어하도록 구비하는 수집부자세제어부를 포함하여 구성함에 따라 수집부의 좌, 우 수평도 및 높이를 보다 용이하게 제어하는 것이 특징이다.

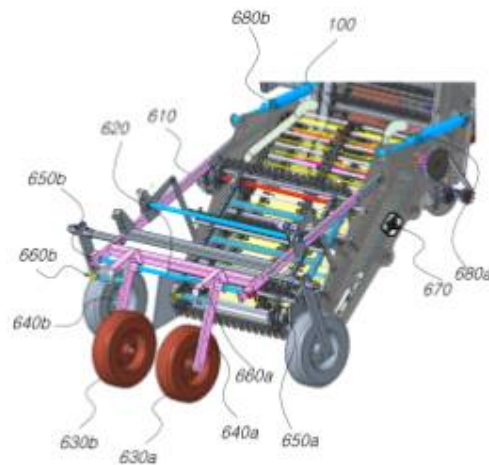


그림. 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치 대표도



그림. 뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치 특허증

나) 뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치

- 뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치에 관한 발명으로, 본체의 전방에 굴취삽을 탑재하여 작물을 굴취하도록 구비하는 수집부와, 수집부의 후방에서 작물을 이송하도록 구비하는 이송부와, 이송부의 후방에서 불순물을 선별하고 수납부로 이송하도록 구비하는 선별부를 포함하는 뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치에 있어서, 선별부는, 다수의 선별바를 수평으로 일정 간격 배치 및 구동하여 수확된 뿌리작물을 수납부로 이송하면서 미세 이물질은 하방 낙하하도록 구비하는 선별작업대와, 선별작업대의 진입 구간 양측을 따라서 선별바의 상측에 장착하여 뿌리작물을 선별작업대의 중앙부로 유도하도록 구비하는 선별유도부와, 선별작업대의 중간 구간 일측에서 작업자가 탑승하도록 작업 공간을 형성하고, 선별유도부를 통과한 뿌리작물로부터 작업자가 선별바의 길이 방향으로 이물질을 쓸어당기거나 밀어내도록 구비하는 선별작업발판부와, 선별작업대의 배출 구간 양측을 따라서 선별바의 상측에 장착하고 선별바 상에서 함께 이송되는 뿌리작물과 이물질의 이송 경로를 분리하여 수확기 외부로 배출되도록 구비하는 선별분리배출부를 포함하여 구성함에 따라 뿌리작물에 혼재된 이물질 선별 작업을 보다 효율화하는 것이 특징이다.

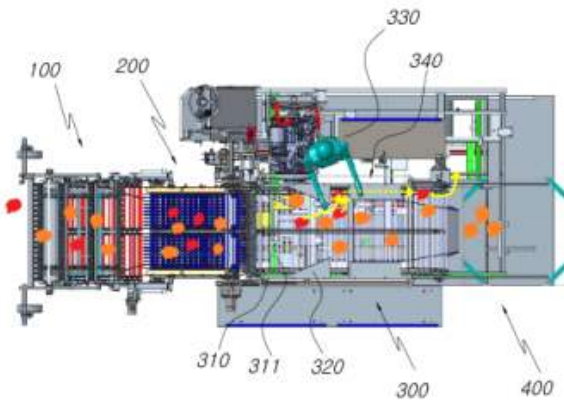


그림. 뿌리작물 수확기용 이물질 배출 장치 대표도



그림. 뿌리작물 수확기용 이물질 배출 장치 특허증

다) 차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기

- 차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기에 관한 발명으로, 차체에 주행부, 수집부, 이송부, 선별부와, 차체 내부에 엔진 및 트랜스미션을 탑재하고 주행부및 수집부 내지 선별부의 구동을 위한 동력을 발생하는 동력발생부와, 동력발생부의 일측에 결합하여 수집부 내지 선별부에 동력을 주행부의 속도와 동조하여 전달하도록 구비하는 차속동조구동부를 포함하고, 차속동조구동부는, 트랜스미션과 연결되어 주행부의 속도에 비례하여 동조구동풀리를 회전하도록 구비하는 동조장치와, 동조구동풀리에 결합하여 일측에 마련된 동조종동풀리를 회전하도록 구비하는 제1연결수단과, 동조종동풀리와 연동하는 감속기어에 결합하고 일측에 마련된 주동축을 회전하여 수집부 내지 선별부에 주행부의 구동 속도에 상응하는 동력을 전달하도록 구비하는 제2연결수단을 포함하여 구성함에 따라 주행부에 의한 차속과 수집부 내지 선별부의 구동 속도를 동조하여 작업성 및 생산성을 향상하는 것이 특징이다.

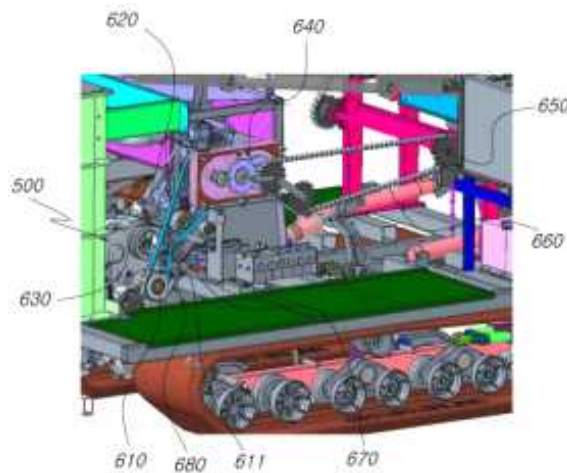


그림. 차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기 대표도



그림. 차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기 특허증

3) 학술 발표 (6건)

가) 2021 한국농기계학회 추계공동학술대회.

- 마늘 수확 형태 중 수집 작업을 대체할 마늘수집기 포장성능을 시험하기 위하여 1차년도 시작기(prototype)를 활용하여 수집부 롤러 회전속도(이송속도) 35, 40, 50 rpm, 수집부 경사각도 14, 17, 20° 조건에서 성능 테스트를 실시하였다. 장소는 창녕군 효정리 소재 농가를 선정하였으며, 시험 대상 마늘 품종은 난지형 대서 품종을 선정하였다. 요인별 총 3회 반복 총 27회 실험을 진행하였으며, 시험 결과, 경사각도 14°, 이송속도 35 rpm에서 가장 우수한 성능이 나타났다. 이때 마늘수집기를 활용한 마늘 수집 작업 도중 발생한 마늘 낙하율은 5.55 %, 손실을 8.89 %로 나타났다.

(사)한국농기계학회/2021년 추계공동학술대회

45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘수집기 개발을 위한 수집부 요인시험 Factorial experiment of collecting part for development of 45kW class electronically controlled riding type self-propelled garlic collector

이예슬 ¹ Yeseul Lee ¹	김영화 ^{1*} Younghwa Kim ^{1*}	강나래 ¹ Narae Kang ¹	이상희 ¹ Sanghee Lee ¹
유승화 ¹ Seunghwa Yu ¹	전현종 ¹ Hyeonjong Jun ¹	강연우 ¹ Younkoo Kang ¹	최민선 ² Minseon Choi ²

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea

²농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부

²Department of Horticultural Crop Research, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju, Korea

초록(Abstract)

국내 마늘 생산량은 2021년 기준 308,532톤으로 전년 대비 54,900톤(15.11%) 감소하였으며(통계청, 2021), 가격이 저렴한 수입 마늘이 전체 생산량의 22.6%를 차지하여 이에 대한 대책이 요구된다. 또한 마늘재배 기계화율은 58.6%이며 전체 작업 중 노동력이 많이 투입되는 수확작업의 기계화는 36.7%로 미흡한 실정이다. 최근 수확·수집 동시 작업형인 수확기의 개발이 진행되고 있으나, 수집 후 벨트의 건조 작업이 요구되는 문제점 등이 발생하였다. 마늘 생산수확 과정에서 줄기절단 후 굴러진 마늘은 노지에서 건조과정을 거치며 대부분 인력에 의존하여 수집하고 있다. 이와 같이 수집과정의 지나친 노동력 투입은 생산성 저하의 원인이 된다. 기계화율을 향상시키고 생산비 절감을 위해 승용 자주식 마늘수집기의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘수집기 개발을 위한 주요부 설계기준 도출을 위해 수집부의 경사각도, 이송속도를 요인으로 하여 시험을 수행하였다. 개발된 승용 자주식 마늘 수집기는 크롤러 타입의 주행부와 수집부, 이송부, 수납부로 구성되어 있으며, 기체의 크기는 4,225×1,840×2,260(L×W×H)mm이다. 창녕군 효정리 소재의 포장에서 요인시험을 진행하였으며, 마늘의 기초물성 조사결과 구폭 63.63±3.21 mm, 구높이 37.08±2.31 mm, 잔존줄기 28.71±12.74 mm로 나타났다. 수집부 하단의 경사각도와 상단의 이송속도를 요인으로 하였으며, 각 요인별로 30개의 마늘을 투입하였다. 수집부 하단의 이송속도가 50 rpm일 때 경사각도를 3요인(14°, 17°, 20°)으로 하여 낙하율을 조사하였으며, 상단의 각도가 55°일 때 이송속도를 3요인(35, 40, 50 rpm)으로 하여 손실률을 조사하였다. 수집부의 경사각도가 14°일 때 낙하율이 5.55%, 이송속도가 35rpm일 때 손실률이 8.89%로 가장 적은 값으로 나타났다. 수집부 상단의 이송 홀더에 마늘이 안착하지 못하여 손실이 발생하므로 목표성능인 수확률 95% 이상을 달성하기 위하여 설계 개선이 요구된다.

키워드(Keywords)

마늘, 수집기, 수집부, 요인시험, 자주식

사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 321064-2)

*교신저자: 김영화(younghwa@korea.kr)

그림. 마늘수집기 개발을 위한 마늘수집기 수집부 요인시험 초록 자료

나) 2021 한국동기계학회 춘계공동학술대회.

- 품종별 마늘의 물리적 특성을 측정하는 방법과 측정된 데이터를 통하여 품종별 차이와 추후 마늘수집기 개발 시 활용될 방향에 대한 기초자료 제시 발표.



품종별 수집 시기 마늘의 물리적 특성 구명

Characteristics of Garlic just before Collection by Cultivars

박형규¹, 김영수¹, 강석호¹, 우승민^{1,2}, 하유신^{1,2}

¹ 경북대학교 생물산업기계공학과
² 경북대학교 발동농기계개발센터

Abstract

마늘 수확 작업 단계는 줄기 절단, 굴취, 수집 단계로 이루어진다. 줄기 절단 및 굴취 작업은 기계화 단계 진행이 다수 이루어진 상태이지만, 온전히 수작업으로 진행되는 수집 작업은 연구를 기반으로 한 개발 진행이 이루어지지 않는 실정이다. 1999년을 시작으로 2000년대 초반을 거쳐 개발된 마늘수확기는 인발, 굴취형 수확기로서 기계개발 기초연구로 수확 시기 마늘의 물리적 특성을 토대로 기계개발이 이루어졌다. 이를 토대로 다중종 적용이 가능한 마늘수집기 개발을 위하여 품종별 수집 직전 마늘의 물리적 특성 구명 연구를 진행하여 마늘수집기 개발 기초자료를 제시하고자 한다.

Introduction

- 마늘 수확 과정 중 수집 작업은 수작업으로 이루어짐.
- 마늘수확기 개발은 비교적 진행된 상태이지만, 인발형, 굴취형으로 나뉘어 있기 때문에 수집 작업을 진행하는 수확기는 없는 실정.
- 마늘수확기 개발시 수확 시기 마늘의 물리적 특성을 구명하여 마늘수확기 개발 기초자료로 사용됨.
- 선행연구를 토대로 마늘수집기 개발을 위하여 품종별 수집 직전 마늘의 물리적 특성을 구명함.
- 기계개발에 더욱 용이하게 하기 위하여 마늘의 물리적 특성을 기하학적 특성, 기계적 특성으로 세분화함.
- 마늘의 물리적 특성을 평균 처리한 후 기계 재료 선정 및 기계 설계에 적용함.

Result & Discussion

□ 기하학적 특성 측정 결과

- 평균 무게, 길이, 폭, 날알의 수는 난지형 품종이 가장 크고, 많았다.
- 부피와 밀도는 난지형 마늘 대서 품종이 가장 컸다.

Table 1. 품종별 마늘의 기하학적 특성 평균값

생태형	품종	무게(g)	길이(mm)	폭(mm)	날알 수	부피(mm ³)	밀도(kg/m ³)
난지형	의성	49.24	42.09	48.09	6.67	61.01	745.10
	단양	40.62	36.49	44.16	7.23	58.88	779.24
난지형	남도	72.91	47.45	63.67	9.60	87.72	860.41
	대서	83.01	38.87	62.20	10.47	90.50	933.97

Method & Material

□ UTM을 활용한 물리적 특성

- 처음을 이용하여 마늘의 무게를 측정, 마늘 껍질 박기 후 날알 수를 측정함.
- UTM을 활용하여 압축 전·후 상태를 촬영하여 ImageJ 프로그램 이미지 스케일링 기술을 이용하여 마늘의 기하학적 특성인 길이, 폭 물리적 특성인 포아송비를 측정함.
- 물이 든 비커에 마늘을 넣어 떠오른 수면의 높이를 활용하여 부피 및 밀도를 측정.
- 측정된 포아송비를 헤르츠의 접촉이론 공식에 적용하여 탄성계수를 구하였고, 후크의 법칙을 이용하여 응력을 구함.
- 플라스틱, 알루미늄, 철, 스테인리스 시험편에 마늘을 올려둔 후 각도를 서서히 올려 마늘이 최초로 운동을 시작한 각도를 이용하여 정마찰계수를 구함.

□ 헤르츠의 접촉이론, 후크의 법칙

$$E_1 = \frac{0.8255^{0.72} \times F(1 - \mu^2)}{d^{0.72} \times R_1^{0.28}} \dots (1)$$

여기서, E_1 = Modulus of elasticity of garlic
 μ = Transverse deformation of garlic
 R_1 = Radius of garlic
 F = Force on garlic
 μ_1 = Poisson's ratio of garlic

$$\sigma = E \epsilon \dots (2)$$

여기서, σ = Compression stress of garlic
 E = Modulus of elasticity of garlic
 ϵ = Longitudinal strain of garlic



Fig. 1 UTM을 활용한 마늘의 물리적 특성 측정



Fig. 2 정마찰계수 측정



Fig. 3 (Top) 품종별 마늘의 평균 포아송비
(Bottom) 품종별 마늘의 평균 탄성계수



Fig. 4 품종별, 재질별 평균 정마찰계수

Conclusion

- 수집 과정에서 다중종 수집이 가능하게 하기 위하여 수집부는 크기가 가장 큰 난지형 마늘 기준 설계 보조 이(sub teeth)를 추가 설계하여 작은 사이즈도 수집 가능하게 설계가 이루어져야 함으로 분석됨.
- 수집 과정 중 마늘의 외관 충격 및 내부 손상을 감소시키기 위하여 탄성계수, 응력이 낮은 품종 기준으로 재료 선정이 이루어져야 할 것으로 분석됨.

Acknowledgement

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화사업의 지원을 받아 연구되었음(321064-2)

그림. 마늘 물리적 특성 측정 방법과 측정 결과 데이터 활용 방향 제시 포스터

- 116 -

다) 2022 한국동기계학회 춘계공동학술대회

- 노지 기계 검증의 한계를 해결하기 위하여 필드 실증 전 시뮬레이션을 통하여 최적 요인을 도출하는 작업을 실시하였다. 입자 해석 시뮬레이션을 통하여 품종별 수집 작업 시뮬레이션을 진행함으로써 필드 실증에 활용될 기초자료를 제시하였다.

입자 거동 해석을 통한 마늘 수집기 이송부의 요인시험 분석
Factorial Experimental Analysis of Garlic Collector with Rocky-DEM

강석호¹ 김영수¹ 박형규¹ 김용직¹ 우승민¹ 하유신^{1,2*}
Seok Ho Kang¹ Yeong Su Kim¹ Hyung Gyu Park¹ Yong Gik Kim¹
Seung Min Woo¹ Yu Shin Ha^{1,2*}

¹경북대학교 생물산업기계공학과

¹Department of Bio Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

²밭농업기계개발연구센터

²Upland Field Machinery Research Center, Republic of Korea

*교신저자: 하유신(yushin72@knu.ac.kr)

초록(Abstract)

마늘은 일반적으로 수확 후 노지에서 건조과정을 통해 인력이 수집하고 있다. 본 연구는 이러한 수집 작업의 기계화 연구의 일환으로 Rocky DEM 입자 시뮬레이션을 통해 마늘 수집기 이송부의 시험 요인별 작업 조건을 분석하고 수집 작업에 적합한 작업 조건을 제시하고자 한다. 입자 거동 해석에 사용된 마늘의 크기는 국립농산물품질관리원의 구분에 따른 두 가지 규격을 사용하였으며 (2L, M), 시험 요인으로는 수집 속도 3 수준과 (0.1, 0.2, 0.3 m/s) 이송부 각도 3수준으로 (14°, 17°, 20°) 선정하였다. 2 가지 요인의 3 수준에 따른 9 가지 (R1 ~ R9) 조건에서 이송부의 입자 거동 해석을 시행하였으며, 그 결과로 시험 요인에 따른 마늘의 수집량과 수집 중 튀는 높이를 분석하였다. 분석 결과, 마늘 규격의 튀어 오른 높이는 R3 (0.1 m/s, 20°)에서 가장 높았으며 (마늘 2L: 8.0 cm; 마늘 M: 7.7 cm), R7 (0.3 m/s, 14°)에서 가장 낮은 것으로 나타났다 (2L: 2.3 cm; M: 3.9 cm). 마늘 수집량은 수집 속도가 빨라질수록 증가하는 것으로 나타났고 (마늘 2L: Min 20 ea, Max 57 ea; 마늘 M: Min 17 ea, Max 59 ea) 마늘 크기 규격에 따른 수집량과 튀는 높이에 차이는 없었다. 본 연구에서 제안한 작업 조건을 사용하여 건조 마늘의 수집 작업 기계화를 통한 마늘 작업 전체 노동시간 단축과 인력 대체에 기초 연구로 활용될 수 있으며 추후 수집된 마늘의 손상 여부를 확인할 추가 연구가 요구된다.

키워드(Keywords): 마늘 수집, 요인시험, 입자 거동 해석, Rocky DEM

사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

그림. 마늘수집기를 활용한 품종별 수집 작업 시뮬레이션 초록 자료

라) 2022 한국동기계학회 추계공동학술대회.

- 마늘 수확 형태 중 수집 작업을 대체할 마늘수집기 포장성능을 시험하기 위하여 주행속도 0.2, 0.3, 0.4 m/s, 수집부 회전속도인 수집속도 60, 70, 80 rpm 조건 하에 1차 성능 테스트를 실시하였다. 장소는 창녕군 효정리 소재 농가를 선정하였으며, 시험 대상 마늘 품종은 난지형 대서 품종을 선정하였다. 요인별 총 3회 반복 총 27회 실험을 진행하였으며, 시험 결과, 주행속도 0.3 m/s, 수집속도 70 rpm에서 수확률 95 % 이상, 손상률 3 % 미만으로 나타나 설정된 요인 중 최적 조건으로 판단된다.

45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘수집기 포장성능시험 (I)
Performance evaluation of 45kW class electronically controlled riding type self-propelled garlic collector (I)

이예슬 ¹ Yesul Lee ¹ 남영조 ² Youngjo Nam ²	김영화 ^{1*} Younghwa Kim ^{1*} 권승귀 ² Seunggi Kwon ²	강나래 ¹ Narae Kang ¹ 하유신 ³ Yushin Ha ³	유승화 ¹ Saunghwa Yu ¹ 박형규 ³ Hyunggyu Park ³
--	--	---	--

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부
²Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea
³주식회사 불스
⁴Bulls Co., Ltd, Seongju, Korea
⁵경북대학교 생물산업기계공학과
⁶Kyungpook National University, Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Daegu, Korea

초록(Abstract)

마늘은 고추, 양파, 파 등 조미채소 중 재배면적의 두 번째를 차지하고 있는 중요 작물이다. 그러나 마늘의 재배면적은 2020년도 25,372 ha에서 2021년도 21,999 ha로 약 13% 감소하였으며, 생산량 또한 2020년도 363,432 톤에서 2021년도 308,532 톤으로 약 15% 감소하였다. 이러한 감소 원인은 인건비 상승, 수입 마늘 증가, 농가의 인구 고령화 등이 있다. 기계화율을 향상시키고 생산비 절감을 위해 승용 자주식 마늘 수집기의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 시작기를 투입하여 주행속도 및 수집속도를 요인으로 포장성능시험을 수행하였다. 경상남도 창녕군 효정리 소재 농가 포장에 시험포장을 조성하였으며, 마늘(품종 : 대서)을 대상으로 하였다. 마늘 수집기의 주행 및 수집속도에 따른 손실률, 손상률, 이물질 혼입률 등 주요 작업부의 작업성능 및 적정 작업속도를 선정하였다. 주행속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s), 수집속도 3수준(60, 70, 80 rpm)으로 시험 요인을 선정하고, 요인별 시험 구간은 3 m로 3반복 실시하였다. 시험 결과 주행속도 0.3 m/s, 수집부 회전속도 70 rpm일 때 수집성능은 손실률 5.98%로 가장 양호하였다. 요인시험에서 수집된 마늘과 흙, 줄기 등의 무게를 조사하여 이물질 혼입률을 분석하였다. 수확한 마늘은 요인별로 껍질과 쪼개짐을 조사하였으며, 30개씩 무작위로 선별하여 마늘의 껍질을 제거하여 땅을 분석하였다. 주행속도별 수집부 회전속도 70 rpm에서 손상률이 1.11%로 가장 양호하였다. 목표성능인 마늘 손상률 3%미만, 수확률 95% 이상을 만족하는 주행속도 0.3 m/s, 수집속도는 70 rpm으로 판단하였다.

키워드(Keywords)

마늘, 수집기, 승용형, 자주식, 포장성능시험

사사(Acknowledgement)

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 321064-2)

*교신저자: 김영화(younghwa@korea.kr)

그림. 마늘수집기를 활용한 요인별 포장성능시험(I) 초록 자료

마) 2022 한국농기계학회 추계공동학술대회.

- 마늘 수확 형태 중 수집 작업을 대체할 마늘수집기 포장성능을 시험하기 위하여 주행속도 0.2, 0.3, 0.4 m/s, 수집부 회전속도인 수집속도 60, 70, 80 rpm 조건 하에 2차 성능 테스트를 실시하였다. 장소는 성주군 소재 농가를 선정하였으며, 시험 대상 마늘 품종은 난지형 남도 품종을 선정하였다. 요인별 총 3회 반복 총 27회 실험을 진행하였으며, 시험 결과, 1차 성능과 유사하게 주행속도 0.3 m/s, 수집속도 70 rpm에서 양호한 성능이 나타났지만, 주행속도 0.2 m/s, 수집속도 70 rpm에서 수확률 98.46 %로써 가장 높은 수확률이 나타났다.

(사)한국농업기계학회/2022년 추계공동학술대회

45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘수집기 포장성능시험 (II)
Performance evaluation of 45kW class electronically controlled riding
type self-propelled garlic collector (II)

강나래 ¹ Narae Kang ¹	김영화 ^{1*} Younghwa Kim ^{1*}	이예슬 ¹ Yesul Kim ¹	유승화 ¹ Seoungwa Yu ¹
남영조 ² Youngjo Nam ²	권승기 ² Seunggi Kwon ²	하유신 ³ Yushin Ha ³	박형규 ³ Hyungyu Park ³

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea

²주식회사 불스

²Bulls Co., Ltd, Seongju, Korea

³경북대학교 생물산업기계공학과

³Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea

초록(Abstract)

마늘재배 기계화율은 평균 59.2%로 마늘재배 전과정 중 파종·정식과 수확작업의 기계화율은 각각 16.1%, 수확 39.2%로 미흡한 실정이다. 수확작업의 경우 수확 15~20일 전 줄기절단작업을 진행하고, 트랙터 부착형 망속 작물 수확기로 마늘을 굴취한다. 굴취한 마늘은 노지에서 건조과정 거친 후 수집작업을 하고 있으며, 수집작업은 대부분 인력에 의존하고 있어 많은 노동력이 소모되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 승용 자주식 마늘수집기 시작기를 이용하여 주행속도 및 이송속도에 따른 포장성능시험을 수행하였다. 포장성능시험에서 사용한 마늘수집기 시작기는 크롤러 타입으로 주행부와 수집부, 이송부, 선별부, 수납부로 구성되어 있으며, 수집부를 통해 수확된 마늘의 뿌리에 부착되어 있는 이물질을 이송부에서 분리하고, 아직 남아 있는 이물질은 선별부에서 보조작업자가 선별하여 수납될 수 있도록 설계·제작하였다. 포장성능시험은 남도마늘을 대상으로 경상북도 성주군 소재 농가포장에서 진행하였으며, 주행속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s)과 이송속도 3수준(60, 70, 80 rpm)을 요인으로 수행하였다. 요인별 시험구간을 3 m로 설정하고, 3반복 진행하였으며, 성능분석은 마늘수집기 시작기로 수집되지 않고, 포장에 남아 있는 마늘을 조사한 손실률, 수집된 마늘의 껍질, 포개짐, 멍 등을 조사한 손상률, 수집부에 담긴 마늘과 이물질 비율을 조사한 이물질 혼입률을 분석하였다. 손상률은 요인별 수집부에 담긴 마늘에서 임의로 30개를 선정하여 껍질을 제거하여 멍을 조사하였다. 성능시험 결과 주행속도 0.2 m/s, 이송속도 70 rpm에서 손실률 1.54%로 가장 양호하였다.

키워드(Keywords)

마늘수집기, 자주식, 승용형, 45kW급, 농업기계

사사(Acknowledgement)


본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농업기계산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호 : 321064-2)

*교신저자: 김영화(younghwa@korea.kr)

그림. 마늘수집기를 활용한 요인별 포장성능시험(II) 초록 자료

바) The XX CIGR World Congress 2022

- 농업기계 검정 기준에서 수확 관련 작업기 평가는 존재하지만 수확에 관련된 검정 기준이 존재하지 않다. 이에 따라 마늘 수확기의 성능 평가를 기준으로 하여 마늘수집기 성능 평가 시뮬레이션을 진행하였다. 마늘수집기 속도요인은 작업 재배면적, 시간당 수집 마늘의 개수를 통하여 설정하였다.




KYUNGPŌOK NATIONAL UNIVERSITY
경북대학교

**Analysis of Working Conditions of
Garlic Collector through Particle Analysis**

Hyunggyu Park¹ · Yeongau Kim^{1,2} · Seokho Kang¹ · Yonggik Kim¹ · Seungmin Woo^{1,2} · Dooyum Daniel Uyeh^{1,2} · Yuhin Ha^{1,2}

¹ Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University
² Upland-Field Machinery Research Center, Kyungpook National University



CIGR
1930

Abstract

In order to analyze the proper working conditions of the garlic collector, simulations were carried out for each factors of the garlic collector operation velocity and chain roller conveyor rotative velocity of collecting section based on the agricultural machinery qualification standards.

Introduction

- Garlic harvesting work, which is collected in the form of bulbs after cutting the stems.
- Although it is still being done manually, the research step is low compared to digging and stem cutting machines.
- Therefore, the performance test of the garlic collector, which is the development step, based on the agricultural implement test criterion, was carried out for the purpose of deriving the optimal working conditions.

Method & Material

- 3D modeling and based on the agricultural implement test criterion.**
- For the simulation, I selected Rocky-DEM, which can realize the shape of garlic as it is.
- For garlies, Useong, Danyang, Namdo, and Daeseo cultivars were sselecte.
- Considering the resource width of 1.2m of the garlic collector according to the agricultural machinery certification standard, the working velocity was set to 0.22 m/s, 0.25 m/s, 0.27 m/s, which enables 10a, 11a, 12a work in 60 minutes.
- The rotative velocity of chain roller conveyor in collecting section was set to 35 RPM, 40 RPM, and 50 RPM, which can collect 100, 120, and 150 garlies in 10 seconds based on 1 stroke of 3580 mm.

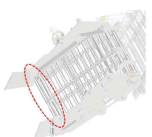
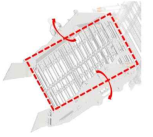



Figure 1. Analysis results setting zone: (a) The point where the collecting count starts, and (b) Setting the direction in which loss occur from the collected zone

$$G_{CR} = \frac{G_C}{G_T} \times 100 \quad (1)$$

Where G_{CR} is garlic collecting ratio, %; G_C is the number of garlies in collecting section, EA; G_T is total garlies primarily contacted with the collecting section, EA.

$$G_{LR} = \frac{G_L}{G_C} \times 100 \quad (2)$$

Where G_{LR} is garlic loss ratio, %; G_L is the number of loss garlies to loss occurrence setting zone, EA.

Result & Discussion

Results of simulation using particle analysis

- Garlic collection simulation results by velocity factors, rotative velocity of 50 RPM and a working velocity of 0.22 m/s, the collecting ratios were 98.4, 85.5, 100, and 96.4 % in the order of Useong, Danyang, Namdo, and Daeseo cultivars (Table 1).
- Also, the loss ratios were 1.5, 16.9, 5.2, and 1.8 % (Table 1).

Table 1. Collecting ratio performance results by the working velocity of the garlic collector and the rotative velocity of the collecting section by cultivars

Test no.	Collecting ratio (%)			
	Useong	Danyang	Namdo	Daeseo
1	89.1	83.9	90.7	96.9
2	85.9	83.9	91.9	93.3
3	85.9	80.6	86.6	94.4
4	93.9	75.3	98.8	90.1
5	93.6	75.3	90.3	95.8
6	96.2	83.3	98.6	87.3
7	98.4	85.5	100	96.4
8	92.2	82.7	88.9	91.0
9	98.4	82.7	90.7	89.1

Table 1. Loss ratio performance results by the working velocity of the garlic collector and the rotative velocity of the collecting section by cultivars

Test no.	Loss ratio (%)			
	Useong	Danyang	Namdo	Daeseo
1	3.3	16.7	10.0	4.3
2	1.2	7.7	3.3	2.4
3	1.2	13.3	1.2	4.4
4	3.9	7.7	2.5	2.7
5	1.3	21.4	1.5	0
6	4.0	16.7	4.2	0
7	1.5	16.9	5.2	1.8
8	1.7	16.4	0	0
9	1.6	17.9	2.0	4.1

Conclusion

- The slower the travelling velocity of the garlic collector, the higher the collection ratio.
- It is analyzed that the higher the rotative velocity of the chain roller conveyor, the higher the collection ratio appears.

Acknowledgement

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry(IPET) through Agriculture, Food and Rural Affairs Convergence Technologies Program for Advanced agricultural machinery industrialization project(321064-2) and Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA) by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry(IPET) through (Open Field Smart Agriculture Technology Short-term Advancement Program), funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (32203803158010).

그림. 마늘 수확기 검정 기준을 의거한 마늘수집기를 성능 평가 포스터

4) 게재 논문 (4건)

가) Precision Agriculture Science and Technology

- 마늘수집기에 요구되는 마늘의 물리적 특성은 무게, 외관규격(길이, 폭 등), 부피, 밀도, 정마찰계수, 탄성계수 등으로써, 마늘 관련 작업기 개발에 마늘의 물리적 특성이 어떻게 활용되었으며, 해당 물리적 특성을 측정하기 위한 방법이 무엇인지 리뷰 논문을 통하여 조사하였다. 리뷰를 통하여 측정 방법에 대한 한계점과 미비한 점을 시사하고 추가 연구를 제시하였다.

REVIEW ARTICLE

Trends in Recent Research on Development of Garlic Farm Working Machinery: A Review

Hyung-Gyu Park¹, Yeong-Su Kim¹, Seok-Ho Kang¹, Seung-Min Woo^{1,2}, Yu-Shin Ha^{1,2*}

¹Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

²Upland Field Machinery Research Center, Kyungpook National University

*Corresponding author: yushin72@knu.ac.kr

Abstract

In this review, we focus on the review of the case study of garlic farm working machine for the development of the garlic industry. Among the working machines used for garlic cultivation, garlic sowing machines and garlic harvesting machines, which have a relatively high stage of research and development, were selected and reviewed. The physical characteristics of garlic and garlic stems were investigated and used as basic data in the development of garlic planters and garlic harvesters. A seeding bucket with a diameter of 29 mm and a depth of 8 mm was designed based on the weight, length, width, and thickness of the garlic scales. 80 ~ 85 degree conditions were suggested. In addition, through a factor-specific test, it was suggested that 13 mm of the diameter of the hopper entrance is an appropriate condition for sowing garlic. However, it suggested that the opening and closing of the hopper inlet was not excellent depending on the soil condition. Among the physical properties of garlic, stress and elastic modulus were used as basic data to reduce the damage and loss rate of garlic at harvest. Through the moisture content and cutting force of the stem, the maximum stem cutting force required when using a 45 degree cutting blade was 71.44 N, the cutting energy per unit diameter of 3.13 N cm/mm, and the maximum pulling force 196 N were reported. Research on the development of a garlic planter and a garlic harvester was reviewed, additional research lacking in the cultivation process was suggested, and a garlic-related working machine that was urgently needed was considered. In addition to additional research to which additional varieties are applied, development research on a garlic stem cutting machine and a garlic collector is presented.

Keywords: Garlic collector, Garlic farm working machine, Garlic harvester, Garlic planter, Garlic stem cutting machine

Acknowledgements

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(211064-2).

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품기술융합장려인재양성사업의 지원을 받아 연구되었습니다(716001-7).



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/pastj.20210019>

Received: November 22, 2021

Revised: December 28, 2021

Accepted: December 28, 2021

Copyright: © 2021 Korean Society of Precision Agriculture

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

나) Journal of the Ergonomics Society of Korea

- 마늘 수집 작업은 온전히 수작업을 통하여 진행된다. 이에 따라 수작업을 대체할 기계 개발이 요구되지만 필요 충분 조건이 만족하는지에 대한 검증이 요구된다. 해당 검증은 마늘 수집 작업에 대한 작업 자세를 인간공학평가를 통하여 근골격계 유해요인을 조사하였다. 또한 작업 동적 시뮬레이션인 SSPP를 활용하여 요추부 L4/L5, L5/S1에 가해지는 압축력을 분석하였다. 인간공학평가와 동적 시뮬레이션 결과, 수작업으로 진행되는 마늘 수집 작업의 노동 강도는 높은 것으로 나타났으며, 요추부에 가해지는 압축력 또한 디스크 우려가 되는 정도로 파악되었다. 이에 따라 수작업을 대체할 기계개발이 시급한 것으로 판단된다.

JESK J Ergon Soc Korea 2022; 41(6): 1-17
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2022.41.6.1
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Factual Survey for Garlic Collecting Task and Musculoskeletal Harmful Factors Analysis of Task Postures

Hyung Gyu Park¹, Seok Ho Kang¹, Yong Gik Kim¹, Young Jo Nam²,
Seung Gwi Kwon², Yeong Su Kim³, Daniel Dooyum Uyeh¹, Seung Min Woo¹, Yu Shin Ha³

¹Kyungpook National University, Department of Bio-industrial Machinery Engineering, Daegu, 41566

²Bulls Inc. Seongju, 40053

³Kyungpook National University, Department of Bio-industrial Machinery Engineering,
Upland field Machinery Research Center, Daegu, 41566

마늘 수집 작업 실태조사 및 작업 자세 근골격계 유해요인 분석

박형규¹, 강석호¹, 김용직¹, 남영조², 권승귀², 김영수³, 우에 다니엘 두움¹, 우승민¹, 하유신³

¹경북대학교 생물산업기계공학과

²주식회사 불스

³경북대학교 생물산업기계공학과, 발농업기계개발연구소

Corresponding Author

Yu Shin Ha
Kyungpook National University,
Department of Bio-industrial Machinery
Engineering, Upland field Machinery
Research Center, Daegu, 41566
Email : yushin72@knu.ac.kr

Received : August 16, 2022

Revised : November 04, 2022

Accepted : November 14, 2022

Copyright©2022 by Ergonomics Society of
Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to analyze the workload and harmful factors of the musculoskeletal system by conducting an ergonomic assessment by investigating the factual survey of the manual garlic collection task.

Background: Task improvement based on ergonomic assessment is the current trend. For this purpose, it is necessary to analyze the level of workload through ergonomic assessment when collecting garlic manually.

Method: For the assessment of musculoskeletal risk factors in the manual garlic collecting task, RULA, REBA tools, and 3D SSPP were used for assessment. For the manual work, people visiting the garlic farmland were photographed, and additional task postures were assessed by filming reenactments through interviews. Correlation analysis and ANOVA analysis were performed to analyze whether the worker's body information and the weight of the handled things during task had a relative influence on the workload (L4/L5, L5/S1 compression force) for each postures.

Results: As a result of RULA and REBA assessment of manual garlic collecting task, the Risk level was found to be 'High' and 'Very high'. During the dynamic simulation using 3D SSPP the workload (L4/L5, L5/S1 compression force) was found to be the highest in the task posture in which the lower back was bent or twisted, and the leg and trunk were the most burdened. In addition, the higher the height and weight among the body information, the greater the work load and there was a statistically positive correlation. The greater the load applied to the hand, the greater the workload, and a statistically positive correlation was found.

Conclusion: The results of statistical analysis based on the ergonomic assessment of musculoskeletal hazard investigation RULA and REBA assessment and dynamic simulation showed that all manual garlic collecting tasks required improvement in

그림. 인간공학평가를 통한 마늘 수집 작업 근골격계 유해요인 평가 논문

다) Precision Agriculture Science and Technology

- 추후 마늘수집기의 추가 보충을 위하여 기계적 관점이 아닌 작물의 관점에서 농작업 및 수확 후 공정에 관련된 기계들이 어떤 방식으로 개발이 진행되고 있는지 알아보기 위하여 마늘의 물성을 활용한 기계 개발 연구 논문을 리뷰하였다.

RESEARCH ARTICLE

Trend in garlic agricultural industry using characteristics of garlic: A Review

Hyung-Gyu Park¹, Seok-Ho Kang¹, Yong-Gik Kim¹, Ye-Seul Lee², Na-Rae Kang³, Yeong-Su Kim^{1,2}, Daniel-Dooyum Uyeh^{1,2}, Seung-Min Woo^{1,2}, Young-Hwa Kim^{3*}, Yu-Shin Ha^{1,2,4*}

¹Department of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

²Upland Field Machinery Research Center, Kyungpook National University

³Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea

*Corresponding authors: yushin72@knu.ac.kr, younghwa@korea.kr

Abstract

This review focused on research about the development of machine and technology application utilizing the characteristics of garlic. In the garlic industry, the properties of garlic are mainly used for geometric properties, mechanical properties, physicochemical properties, and biological properties. When developing a machine, the design is made by determining the machine's specifications through the geometric characteristics of garlic. The mechanical part where the impact is generated by contact with garlic is designed by utilizing the mechanical properties of garlic, and at this time, it is designed so that the impact can occur within the allowable stress range of garlic. Among geometrical properties, density is used as a relative factor in thermal and electrical energy analysis and mass transfer analysis. In particular, it is used for drying characteristics analysis. The physicochemical properties of garlic are important factors that determine the quality, and by controlling them, the competitiveness of the garlic industry can be secured. Physicochemical properties act on the human body to bring biological benefits, and can be classified as medicines beyond food.

Keywords: Biological properties, Characteristics of garlic, Geometrical properties, Mechanical properties, Physicochemical properties.



그림. 마늘의 물성이 활용한 기계 개발 연구 리뷰 논문

- 노동력이 많이 투입되고 기계화율이 낮은 마늘 수확 작업 중 하나인 수집 작업에 대한 기계 보급이 미흡한 문제를 해결하기 위하여 개발된 마늘 수집기의 성능 평가를 진행하였다. 마늘 수집기의 성능은 마늘 수집률, 손상률로 보았으며, 작업 요인은 마늘 수집기가 전진하는 작업 속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s), 마늘 수집기 전방에서 마늘을 쓸어 담아 수집이 이루어지는 수집부의 롤러 컨베이어 수집속도(회전속도 60, 70, 80 rpm)으로 설정하였다. 수집률 관점에서 0.3 m/s, 70 rpm이 가장 우수했으며, 손상률 관점에서 찌힘 정도에 관한 작업 요인은 0.2, 0.3 m/s, 70 rpm, 멩에 관한 작업 요인은 작업속도 3수준 모두와 60 rpm으로 나타났다. 0.3 m/s, 70 rpm에서 멩 발생률은 1%로써 농업기계 검정 기준 5% 이하를 충족하여 연구를 기반으로 마늘 수집기 최적 작업 조건은 작업속도 0.3 m/s, 수집속도 70 rpm으로 판단된다.

승용 자주식 마늘 수집기 성능평가

이예슬¹, 강나래¹, 김영화^{1*}, 유승화¹, 남영조², 권승귀², 하유신³, 박형규³
¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ²주식회사 불스, ³경북대학교 생물산업기계공학과

Performance Evaluation of Riding Type Self-Propelled Garlic Collector

Ye-Seul Lee¹, Na-Rae Kang¹, Young-Hwa Kim^{1*}, Seung-Hwa Yu¹,
Young-Jo Nam², Seung-Gwi Kwon², Yu-Shin Ha³, Hyung-Gyu Park³
¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA
²Bulls Co., Ltd
³Kyungpook National University, Department of Bio-industrial Machinery Engineering

요약 국내 마늘 생산량은 2021년 기준 308,532 톤으로 전년 대비 54,900 톤(15.11%) 감소하였으며, 가격이 저평한 수입 마늘이 전체 생산량의 22.6%를 차지하여 이에 대한 대책이 요구된다. 또한, 노동력이 많이 투입되는 수확 작업의 경우 대부분 인력에 의존하며 기계화율이 36.7%로 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서 승용 자주식 마늘수집기를 개발하고, 최적 작업 조건과 작업성능을 분석하기 위해 요인시험 및 포장성능평가를 수행하였다. 개발한 마늘 수집기는 굴러온 마늘을 끌어올리는 수집부, 이물질들을 분리하는 이송부 및 선풍부, 이송된 마늘을 톤백(ton bag)에 수집하는 수납부로 구성된다. 수집 각도, 수집 속도에 따른 요인시험 결과 수집 각도 14°일 때 낙하율이 5.55%, 수집 속도 35 rpm 일 때 손실률이 8.89%로 가장 양호하였으나, 수집성능이 5% 이하를 만족하지 못하므로 이에 대한 수집부의 형상 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 손실률을 줄이고자 수집부 롤러의 각도를 약 5° 감소시켰으며, 2차 시착기의 작업성능을 분석하기 위해 포장성능시험을 수행하였다. 주행속도 3수준(0.2, 0.3, 0.4 m/s), 수집 속도 3수준(60, 70, 80 rpm)을 요인으로 손실률, 손상률, 이물질 혼입률 등을 분석한 결과 이물질 혼입률은 모든 작업 조건에서 2% 미만으로 농업기계 검정기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 수집성능은 수집 속도 70 rpm일 때 수집률 및 손실률이 가장 양호한 것으로 분석되었다. 따라서, 승용 자주식 마늘 수집기 개발을 통해 농촌 인력 부족 현상 해소 및 노동력 절감 효과로 농가 소득 증대에 기여할 것으로 판단된다.

Abstract Garlic production decreased by 54,900 to 308,532 tons in 2021 tons compared to the previous year, and inexpensive imported garlic comprised 22.6% of total production, so countermeasures are required. Therefore, in this study, a riding-type self-propelled garlic collector was developed, and factor testing and field performance evaluation were conducted. The factor testing according to the collection angle and speed showed that the fall ratio was 5.55% when the collection angle was 14°, and the loss ratio was 8.89% when the collection speed was 35 rpm. On the other hand, the collection performance was not satisfied within 5%. The shape of the collection part needs to be improved. To reduce the loss rate, the angle of the collector roller was reduced by approximately 5°, and the field performance test was performed to analyze the loss rate, damage rate, and debris mixing ratio by the driving and collection speeds. The analysis showed that the foreign substances mixing rate was less than 2% under all working conditions. The collection and the damage rate were the best when the collection speed was 70 rpm. Therefore, developing a garlic collector will help increase farm income by solving the labor force problem.

Keywords : Garlic, Collector, Riding Type, Self-Propelled, Performance Evaluation

본 논문은 농업수산식품부의 재원으로 농업식품기술기획평가원의 첨단농기계산업과기술훈원사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 321064-2).
*Corresponding Author : Young-Hwa Kim(RDA)
email: younghwa@korea.kr
Received October 14, 2022
Accepted December 7, 2022
Revised November 25, 2022
Published December 31, 2022

그림. 인간공학평가를 통한 마늘 수집 작업 근골격계 유해요인 평가 논문

< 정량적 연구개발성과표(예시) >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도		1단계 (2021~2022)	n단계 (2022~1231)	계	가중치 (%)
	특허출원	목표(단계별) 실적(누적)				
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	3		3	10
		실적(누적)	3			10
	특허등록	목표(단계별)	3		3	10
		실적(누적)	3			10
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술이전	목표(단계별)	1		1	10
		실적(누적)	1			10
	논문	목표(단계별)	3		4	
		실적(누적)	4			
	학술발표	목표(단계별)	2		6	10
		실적(누적)	6			10
	인력양성	목표(단계별)	2		3	5
		실적(누적)	2			5
	사업화 (제품화)	목표(단계별)	1		1	25
		실적(누적)	1			25
	고용창출	목표(단계별)	6		9	25
		실적(누적)	6			25
	홍보(전시)	목표(단계별)	1		10	5
		실적(누적)	1			5
계						100

- * 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.
- * 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 실제 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

- * 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.
- * 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

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

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Trends in Recent Research on Development of Garlic Farm Working Machinery : A Review	Journal of Precision Agriculture Science and Technology	박형규	3	마늘 작업 기계 개발 연구의 추세: 리뷰	한국정밀농업학회	비SCIE	2021.12.	2672-0086	
2	Factural survey for garlic collecting task and musculoskeletal harmful factors analysis of task postures	Journal of the Ergonomics Society of Korea	박형규	41	마늘 수집 작업 실태조사 및 작업 자세 근골격계 유해요인 분석	대한 인간공학회	비SCIE	2022.12.	2093-8462	
3	Trend in garlic agricultural industry using characteristics of garlic_A Review	Journal of Precision Agriculture Science and Technology	박형규	4	마늘 특성을 활용한 마늘 산업 추세: 리뷰	한국정밀농업학회	비SCIE	2022.12.	2093-8462	
4	Performance Evaluation of Riding-Type Self-Propelled Garlic Collector	Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society	이예슬	23	승용 자주식 마늘 수집기 성능 평가	한국산학기술학회	비SCIE	2022.12.	1975-4701	

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년 한국농기계학회 추계공동학술대회	박형규	2021.10.27.(수)	제주 소노벨호텔	대한민국
2	2021년 한국농업기계학회 추계공동학술대회	이예슬	2021.10.29.(금)	제주 소노벨호텔	대한민국
3	2022년 한국농기계학회 추계공동학술대회	강석호	2022.04.29.(금)	Zoom 발표	대한민국
4	2022년 한국농기계학회 추계 공동학술대회	이예슬	2022.11.2.~4.	EXCO 대구	대한민국
5	2022년 한국농기계학회 추계 공동학술대회	강나래	2022.11.2.~4.	EXCO 대구	대한민국
6	The XX CIGR World Congress 2022	박형규	2022.12.07.(수)	Kyoto International Conference Center Japan	일본

□ 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, 신품종, 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	뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치	KR	농촌진흥 청장 (주)불스	2021.11 .25.	1020210 163958		김영화 권승귀 외 10명	2022.06. 30.	1024172 600000	50:50	기술이 전
2	뿌리작물 수확기용 수집부 제어장치	KR	(주)불스	2021.09 .28.	1020210 127905		권승귀 외 12명	2022.06. 30.	1024172 470000	100	
3	차속동조 기능을 가지는 뿌리작물 수확기	KR	(주)불스	2021.09 .28.	1020210 127919		권승귀 남영조 남상호	2022.06. 30.	1024172 560000	100	

○ 지식재산권 활용 유형

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

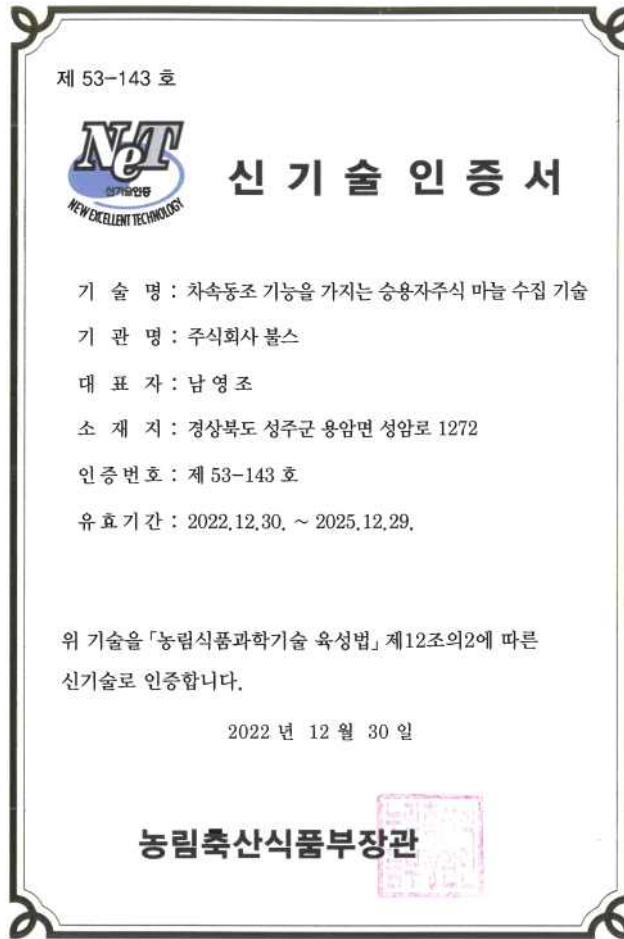
번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	✓									
2	✓									
3	✓			✓						

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호
1	차속동조 기능을 가지는 승용자주식 마늘 수집 기술	2022.08.23.	2022.12.30.	2022.12.30.~2025.12.29.	제53-143호



□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	땅속작물수확기	한국농업기술진흥원	종합검정	22-MG-198	2022.12.12.	대한민국
2	마늘수집기	한국농업기술진흥원	구조조사	22-KOATMP-087	2022.06.28.	대한민국
3	마늘수집기	한국농업기술진흥원	최소선회시험	22-KOATMP-088	2022.06.28.	대한민국
4	마늘수집기	한국농업기술진흥원	톤백중량시험	22-KOATMP-089	2022.06.28.	대한민국
5	마늘수집기	한국농업기술진흥원	좌우경사각시험	22-KOATMP-090	2022.06.28.	대한민국
6	마늘수집기	한국농업기술진흥원	전후경사각시험	22-KOATMP-091	2022.06.28.	대한민국
7	마늘수집기	한국농업기술진흥원	신속선회모드	22-KOATMP-092	2022.06.28.	대한민국
8	마늘수집기	한국농업기술진흥원	손상률시험	22-KOATMP-093	2022.06.28.	대한민국
9	마늘수집기	한국농업기술진흥원	수확률시험	22-KOATMP-094	2022.06.28.	대한민국
10	마늘수집기	한국농업기술진흥원	작업능률	22-KOATMP-095	2022.06.28.	대한민국



□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	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 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	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)
1	마늘 수집기	2022/2022.06.	(주)볼스	대구EXCO	전시 홍보	2021.04.~2022.06.		



□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	특허	국유특허권	한국농업기술진흥원	2022.11.14.	-	-

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

국유특허권의 통상실시권 실시계약서

한국농업기술진흥원 (이하 '농진원'이라 한다)과 (주)볼스(대표이사(자) : 남영조, 이하 '실시권자'라 한다)은 아래와 같은 조건으로 국유특허권의 통상실시권 허락(이하 '실시'라 한다)에 관한 계약을 체결한다.

제1조(실시권의 허락) 농진원은 다음의 국유특허권(이하 '계약특허'라 한다)에 대한 통상실시권의 실시를 실시권자에게 허락한다.

- 특허번호(출원번호) : 특허등록 제10-2417260호 (제10-2021-0163958)
- 발명의 명칭 : 뿌리작물 수확기용 이물질 배출장치

제2조(실시권의 범위 등) 이 계약에 있어서 실시권의 범위는 다음과 같다.

1. 실시기간 : 2022-10-21 - 2023-10-20 (1년간)
2. 예정실시료 : 1,620,000원(금일백육십이만원)
 - 총판매예정수량 : 15대
 - 제품판매단가 : 90,000,000원/대
 - 점유율 : 8%, 기본율 : 3%, 국가지원율 : 50%
3. 실시지역 : 대한민국 전역
 - 실시내용 : 특허법 제2조 제3호에 규정된 실시 행위
4. 실시제품명 : 마늘 수집기

제3조(제3자에 대한 허락) 농진원은 본 계약의 체결 후 실시권자에게 허락한 실시권의 사용을 실시권자 이외의 자에게도 허락할 수 있다. 다만 실시권자가 계약특허의 공동관리자로서 "공동출원 및 실시에 관한 계약"에 따라 통상실시권의 실시계약을 체결하는 경우, 실시권자의 동의 없이는 실시권의 사용을 실시권자 이외의 자에게 허락할 수 없다.

제4조(실시권의 설정등록) 실시권자는 본 계약의 체결 후 실시권자의 비용으로 통상실시권의 설정등록 절차를 밟을 수 있으며, 농진원은 실시권자의 요구에 따라 필요한 협력을 하여야 한다.

제5조(실시료의 납부) ① 실시권자는 계약기간 만료 후 [별지 1]에 따라 매출실적 사본, 부가가치세 과세표준증명원 등의 실시실적 증명서류 사본 등을 첨부한 통상

농진원과 실시권자는 상기 계약내용을 증명하기 위하여 계약서를 2부 작성하여 농진원과 실시권자가 각각 1부씩 보관한다.

2022년 11월 14일

농진원 : 한국농업기술진흥원 원장 (인)

실시권자 : 경상북도 성주군 용암면 성암로 1272 (주)볼스

【법인등록번호 : 170111-0167157】

(주)볼스 대표이사 남영조 (인)



KOAT

KOAT

□ 사업화 투자실적

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

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	마늘 수집기 개발	자주형 마늘 수집기 사업화 준비 중	(주)불스			2023년 매출 발생 예정	10~15년

- * 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		마늘 수집기 사업화 준비		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2021.04.~2022.12.(21개월)		
	소요예산(천원)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		0	2,500,000	5,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후
국내		0	50	80
국외				
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		감자, 양파 등 땅속 작물 수확 수집기 응용 개발		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
	수출			

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020~2021년	2022년	
1	첨단 농기계 산업화 기술 개발 사업	(주)볼스	2020년 2명 2021년 4명	3	9
합계			6	3	9

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력		
		생산인력		
	개발 후	연구인력	마늘 수집기 개발 연구개발(3명)	
		생산인력	마늘 수집기 시제품 개발 및 조립(6명)	

□ 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

□ 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
1	제안	자주식 마늘 수확기 농기계 보급 정책에 활용	농림축산식품부 농기자재정책팀	2022	

□ 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
1	연구 인력	2022	2				2				2		

□ 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	전시	키엠스타	마늘 수집기	2022.11.2.~5
2	중앙TV방송	YTN	파종에서 수확까지 “척척” 밭작물 기계화를 높여라	2022.12.17
3	중앙TV방송	연합뉴스TV	농촌일손 걱정 뚫. 밭작물 전용 농기계 속속 개발	2022.12.18
4	지방전문지	내일 신문	마늘 농사 농기계가 알아서 척척	2022.12.18
5	중앙전문지	농민 신문	농진원, 밭작물 기계화 스마트농업 현장 확산에 ‘속도’	2022.12.21
6	중앙전문지	한국농어민 신문	농촌 일손 걱정 뚫. 밭작물 전용 농기계 속속 개발	2022.12.22
7	Internet/PC통신	농기평	농촌일손 덜어줄 자주식 마늘 수집기 개발	2022.12.23
8	중앙일간지	국제신문	농촌일손 덜어줄 자주식 마늘 수집기 개발	2022.12.24
9	중앙TV방송	포인트데일리	농기평-(주)불스, 자주식 마늘 수집기 개발	2022.12.24



전국 [新농비] 파종에서 수확까지 '척척'...밭작물 기계화를 높여라
2022년 12월 17일 07시 32분 댓글



Google에 의해 종료된 광고입니다.

뉴스홈 정치 지방자치 경제 외교/국방/통일 사회 문화 기자별 기사 보기

경제 | 연세 금융 산업 재경 글로벌경제 피플

글자크기 + -

지역
농촌 일손 걱정 뚫...밭작물 전용 농기계 속속 개발

©,DAVID 2022-12-18 15:38:39



농촌 일손 걱정 뚫...밭작물 전용 농기계 속속 개발

[한국농업기술진흥원 | 기술농업으로 미래 먹거리시장 연다] "마늘 농사 농기계가 알아서 척척"

양속작물농업 기계화 성공
작업기 등 20여종 개발

2022-12-22 10:39:28 게재

인구 감소, 급속한 고령화로 인력난 문제가 심화하는 가운데 농촌 일손부족을 해결하고 농가 경영비를 줄일 수 있는 밭 농업 전용 농기계가 개발돼 주목받고 있다.



남영조 볼스 대표

한국농업기술진흥원은 양속작물 농기계 개발 회사 볼스에게 사업자금과 기술이전을 지원해 마늘의 모 큰 재배과정을 기계화하는데 성공했다고 22일 밝혔다. 2000년 경북 상주에서 창업한 볼스는 마늘 양파 감자 등 양속작물의 파종에서 수확까지 도맡아 할 수 있는 농기계와 무척형 작업기 등 20여종을 개발했다. 농봉사 기계화율이 99%까지 올랐지만 아직 밭농사 기계화율은 저조한 상황에서 볼스의 농기계 개발은 농업계에서 큰 관심을 불러왔다.

남영조 볼스 대표는 "앞으로 농작업의 자동화·무인화는 밭작물 분야에서도 화두가 될 것"이라며 "4차산업혁명시대 맞춤형 노지 스마트팜 확산을 위한 농기계 개발과 연구에 집중할 계획"이라고 밝혔다.

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(22쪽 중 11쪽)]

[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)

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

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

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

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등
품목허가	미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서
임상시험실시	임상시험계획(IND) 승인서

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다]
기탁	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

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

(22쪽 중 12쪽)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 굴취 후 건조되어진 마늘을 연속적으로 수집 및 이송, 수납할 수 있는 마늘 수집기 개발 ○ Handle형 조작부로 차량의 직진 및 선회, 차체 수평제어 가능 마늘 수집기 개발 ○ 전자 유압미션제어가 가능한 Crawler type 승용 자주식 마늘 수집기 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 굴취 후 건조되어진 마늘을 연속적으로 수집 및 이송, 수납할 수 있는 마늘 수집기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 마늘 손상률 0.6% 달성 - 수확률 95.7% 달성 - 작업능력 58.5/10a 달성 - 수납 하역장치 500kg 달성 ○ Handle형 조작부로 차량의 직진 및 선회, 차체 수평제어 가능 마늘 수집기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 유니버설 디자인을 접목한 Handle형 주행 조작부 개발 - 기체 전방 2.9도 달성, 기체 후방 2.5도 달성 - 차체 좌 경사 4.8도, 우경사 5도 달성 ○ 전자 유압미션제어가 가능한 Crawler type 승용 자주식 마늘 수집기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 엔진 출력 44.1kW 탑재 달성 - 선회모드 Soft turn, Brake turn, Spin turn 구현 달성 - 스피턴 최소 선회반경 1.095m 달성 - 0.35m/s로 10M 직진 주행 시 주행 편심 거리는 75mm 달성 - 0.35m/s로 10M 소프트턴 주행 시 편심 거리는 1,305mm 달성 - 브레이크턴 작동 시 회전 반경은 1,995mm 달성 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 없음

2) 자체 보완활동

- 엔진 및 주행구동 스프로킷 사양 변경

- 마늘 수집 작업 능률은 60min/10a(작업속도는 0.2~0.5m/s)로 수집기 동력 효율을 극대화 하기 위하여 40kW급 엔진, 45kW급 엔진을 각각 탑재하여 평가 실시하여 40kW급 엔진을 탑재해도 작업에 무리가 없음을 확인함

- 마늘 수집기 주행 선회 능력을 증대하기 위하여 구동 스프로킷 사양을 8T에서 7T로 변경하여 평가 실시 및 Matching 완료함

- 수납 하역장치 변경

- 톤백 500kg 탑재 사양으로 설계 및 제작, 시운전 평가 실시함. 시운전시 주산지 고객으로부터 메쉬파레트 적용 요청이 있어 메쉬파레트 작업이 가능하도록 수납 시스템 설계 및 Sample 제작 완료함

- 각부 동력 전달 방식 변경

- 마늘 크기 3cm 이상 수집을 할 경우 포장 조건에 따라 수집부 체인에 돌 끼임으로 작업 지연 사례 발생. 차속동조 및 기계식 구동 방식의 경우 체인 파손 발생으로 유압모터 구동 방식으로 변경 실시함, 돌 끼임 발생시 유압모터 역회전 기능을 활용하여 쉽게 문제를 해결 가능토록 시스템 구성함

3) 연구개발 과정의 성실성

- 공동 연구기관과 지속적인 협업 및 개선 활동으로 마늘 수집기 정량적, 정성적 목표 달성하였음
- 개발된 수집기는 기관합동 평가, 농진청 국감 시연회, 키엠스타 전시 등으로 통해 적극적으로 홍보를 실시하였음
- 마늘 수집기 공인평가 및 형식승인 추진, 신기술인증 등을 추진하고 있고, 과제 종료후 산업화 추진 준비중임

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 인력에 의한 마늘 수확, 수집 방법을 마늘 수집기를 개발함으로써 인력 대비 90%이상 노동력을 저감 가능
- 향후 타작물 수확, 수집기술 응용으로 농가 소득 증대 및 농촌 경제 활성화에 기여 가능

연구개발성과의 관련 분야에 대한 경제적·사회적 파급효과뿐만 아니라 **연구개발성과에 대한 기술 기여도 및 산정근거***를 포함하여 작성

* 기술기여도 산정 가이드라인 참고

- 혁신법 시행('21.1.) 이후 협약과제 또는 혁신법 시행 이전 협약과제 중 경상기술료 납부 희망 과제 단, 혁신법 시행('21.1.) 이전 협약과제 중 정액기술료 납부를 희망하는 경우 기술기여도 작성 불필요

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발	45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발	(주)볼스	중소기업 (영리)	925	720	77.837	신규 기술개발	Ⅱ-①	77.83
계				925	720	-	-	-	-

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 개발된 기술을 활용한 사업화 방안
 - 원천 기술 및 특허 기술을 활용하여 마늘 수집기 산업화 실시
 - 타 작물 작업기로의 확대를 통해 기계 사용 효율을 극대화 할 예정
- 신기술 및 형식 승인 인증
 - 신기술 인증 및 형식 승인을 통해 2023년부터 산업화 실시 예정
- 생산 및 판로 확보
 - (주)볼스 생산 인프라, 인적 인프라를 활용하여 산업화 예정
 - 자체 150여개 대리점망, 키엠스타 전시회 출품, 주산지 작목판 시연회 등을 통해 제품의 우수성을 홍보
 - 사용자의 편의성, 고객 요청 사항, Test 평가 문제점을 보완 할 예정

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내					
	국외					
특허등록	국내					
	국외					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
사업화	시제품개발					
	상품출시	1				
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000	1,350,000
기술료(단위 : 천원)	52,535	52,535	52,535	52,535	52,535	
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보		1	1			
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용						

* 기술료 총액은 정부납부기술료 한도(중소기업의 경우 해당기관이 받은 정부출연금의 10%)를 고려하여 볼스의 한도는 총 72,000,000원을 목표로 설정함

* 기술료 산출식 : 당해연도 매출액 x 0.05(중소기업 기술요율 5%) x 77.83%(기술기여도)

- 예상 목표치 설정은 감면을 적용 이전으로 해당연도에 기술료 감면신청서 제출 시 R&D 참여하였을 경우 80% 감면, 당해연도 기술료를 한번에 납부하시는 경우 30% 추가 감면을 적용

- 기술료는 최대 징수 한도인 72,000,000원까지만 납부하며, 매출실적 확정 및 차년도 농기평 보고실적에 따라 기술료 산정금액은 달라질 수 있음

< 별첨 자료 >

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

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

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업 “45kW급 전자 제어형 승용 자주식 마늘 수집기 개발” 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림축산식품기술기획평가원)에서 시행한 첨단농기계산업화기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.