

발간등록번호

11-1543000-001958-01

센서 융합기술을 이용한 콩 재배지
비닐포장 자동천공시스템 개발

최종보고서

2017. 12. 20.

주관연구기관/ 성균관대학교 산학협력단
협동연구기관/ 충북대학교 산학협력단

농림축산식품부

2. 제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “센서 융합기술을 이용한 콩 재배지 비닐포장 자동천공시스템의 개발” (개발기간 : 2014.09.25.~2017.09.24) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 12. 20.

주관연구기관명 : 성균관대학교 산학협력단 (대표자) 유지범 (인)

협동연구기관명 : 충북대학교 산학협력단 (대표자) 우수동 (인)

주관연구책임자 : 이 규 승

위탁연구책임자 : 이 동 훈

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라
보고서 열람에 동의합니다.

4. 국문 요약문

< 국문 요약문 >

		코드번호	D-01																													
연구의 목적 및 내용	<p>콩의 잡초방제 및 생육 촉진을 위해 적용되는 검정비닐포장 환경에서 재배의 최대 애로사항인 조류피해 경감 및 기계화를 통한 생산비 절감을 위해 센서융합기술을 이용하여 검정비닐포장 하부의 콩 초엽을 인식하고 천공하는 자동천공시스템 개발을 목표로 함</p> <p>◎ 연구개발의 최종 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 검정비닐포장 조건에서 초엽 손상이 없는 관리기 부착형 비닐자동천공장치의 개발 ■ 센서융합으로 검정비닐포장 하부의 콩 초엽 인식 및 시스템 제어기술의 개발 <p>(1) 1차년 연구개발의 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> - 콩 재배 환경/작업 체계 분석을 분석을 통한 자동천공장치 설계 - 비닐포장 하부 초엽기/새싹기/자엽기 작물인식 기술 개발 <p>(2) 2차년 연구개발의 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자동천공기계 요인실험, 제작 및 성능평가 - 비닐포장 천공 위치 인식 및 제어기술 개발 <p>(3) 3차년 연구개발의 목표</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자동천공기계 실증/보완 후 실용화 추진 - 센서융합 작물 인식/제어요소의 시스템모듈화를 통한 작업기 장착기술 개발 																															
	연구개발성과	<p>◎ 연구개발의 목표 및 개발성과</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 검정비닐포장 초엽을 인식하는 관리기 및 경운기 부착형 비닐자동천공장치를 시스템 제어기술을 포함하여 모듈화 장착하고 개발을 완료하였음. ■ 연구개발에서는 목표 대비하여 장치부 및 제어부 모두 만족할 만한 개발성과를 도출하였는데 다음과 같음. <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>초기 목표</th> <th>개발 성과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">장 치 부</td> <td>적용규격</td> <td>5 hp 이상 관리기 부착형</td> <td>정격출력, 4.8 hp 관리기 및 10 hp 경운기에 적용</td> </tr> <tr> <td>천공능력</td> <td>10 a/3시간</td> <td>29.3 a/3시간</td> </tr> <tr> <td>천공능력</td> <td>10,000 주/3시간</td> <td>12,800 주/3시간</td> </tr> <tr> <td>천공효율</td> <td>콩 초엽 95% 이상</td> <td>콩 초엽 99% 이상 (초기 모터의 제어 소요시간 이전 3-4주를 제외하고 초엽 인식 및 천공)</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">제 어 부</td> <td>계측대상</td> <td>검정비닐 하부 콩 초엽</td> <td>인식 및 천공</td> </tr> <tr> <td>주행·위치제어</td> <td>검색위치 ±15 mm</td> <td>검색위치 ±5 mm</td> </tr> <tr> <td>형상제어</td> <td>형상표준 ±25 mm²</td> <td>형상표준 ±25 mm² 이내</td> </tr> <tr> <td>제어형식</td> <td>센서모듈 통합, 본체 장착</td> <td>센서모듈 통합, 본체 장착</td> </tr> </tbody> </table>	구분	초기 목표	개발 성과	장 치 부	적용규격	5 hp 이상 관리기 부착형	정격출력, 4.8 hp 관리기 및 10 hp 경운기에 적용	천공능력	10 a/3시간	29.3 a/3시간	천공능력	10,000 주/3시간	12,800 주/3시간	천공효율	콩 초엽 95% 이상	콩 초엽 99% 이상 (초기 모터의 제어 소요시간 이전 3-4주를 제외하고 초엽 인식 및 천공)	제 어 부	계측대상	검정비닐 하부 콩 초엽	인식 및 천공	주행·위치제어	검색위치 ±15 mm	검색위치 ±5 mm	형상제어	형상표준 ±25 mm ²	형상표준 ±25 mm ² 이내	제어형식	센서모듈 통합, 본체 장착	센서모듈 통합, 본체 장착	
구분	초기 목표	개발 성과																														
장 치 부	적용규격	5 hp 이상 관리기 부착형	정격출력, 4.8 hp 관리기 및 10 hp 경운기에 적용																													
	천공능력	10 a/3시간	29.3 a/3시간																													
	천공능력	10,000 주/3시간	12,800 주/3시간																													
	천공효율	콩 초엽 95% 이상	콩 초엽 99% 이상 (초기 모터의 제어 소요시간 이전 3-4주를 제외하고 초엽 인식 및 천공)																													
제 어 부	계측대상	검정비닐 하부 콩 초엽	인식 및 천공																													
	주행·위치제어	검색위치 ±15 mm	검색위치 ±5 mm																													
	형상제어	형상표준 ±25 mm ²	형상표준 ±25 mm ² 이내																													
	제어형식	센서모듈 통합, 본체 장착	센서모듈 통합, 본체 장착																													

<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>1) 기술적 측면 ○ 기계화 미진행 상태인 자동천공시스템 기술을 국내·외 최초로 개발 ○ 탈부착형 개발로 타동력관리기 접목 가능토록 하여 보급 파급력의 증대</p> <p>2) 경제·산업적 측면 ○ 기계화를 통한 조류피해 경감 및 노동력 절감으로 농가소득 향상에 기여 ○ 새로운 작업체계(과중→비닐포장→천공) 도입으로 비닐포장 확대 및 생산성 향상을 유도 ○ 비닐 수축포장하는 타농산물의 품질측정 등에 접목이 가능</p> <p>3) 사회적 측면 ○ 농민의 인력천공 및 조류피해 재과중에 따른 근골격계질환 발생예방 및 편익의 제공 ○ 시스템 개발로 열악한 농촌 작업환경 이미지를 개선</p>				
<p>중심어 (5개 이내)</p>	<p>비닐멀칭</p>	<p>센서</p>	<p>자동천공기</p>	<p>콩</p>	<p>초엽</p>

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		Code No.	D-02	
Purpose & Contents	<p>This research aims to develop an automatic punching system that can recognize and punch the legume coleoptiles growing under the black plastic mulch using sensor integration technology, thus reducing production cost through mechanization and inhibiting damage by birds, the biggest difficulty in a black plastic mulch cultivation environment, applied in order to prevent weeds and foster growth.</p> <p>◎ Final Goal of the R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Develop a cultivator-attachable automatic plastic punching machine with no coleoptile damage in a black plastic mulch environment ■ Develop technology for recognizing legume coleoptiles under black plastic mulch and controlling the system using integrated sensors <p>(1) Milestones for the 1st Year of R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Design an automatic punching machine after analyzing legume cultivation environment/work system - Develop a technology for recognizing the stage (coleoptile/sprout/cotyledon) of crop under plastic mulch <p>(2) Milestones for the 2nd Year of R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Factor experiment, fabrication and performance evaluation of automatic punching machine - Develop technology for recognizing and controlling plastic mulch punching position <p>(3) Milestones for the 3rd Year of R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> - Commercialize an automatic punching machine after demonstration/improvement 			
	Results	<p>◎ Goals and Accomplishments of the R&D</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Development and modularization of a cultivator-attachable automatic plastic punching machine recognizing coleoptiles under black plastic mulch have been completed, along with the system control technology. ■ As explained in the next section, there were satisfactory accomplishments for both the machine and its controllers, compared to the milestones set. 		
		Initial goal	Development performance	
Device		Applicable standard	attached to working machine with more than 5 hp	attached to 4.8 hp working machine and 10 hp tiller
		Punching efficiency	10 a/3hour	29.3 a/3hour
		Punching capacity	10,000 plant/3hour	12,800 plant/3hour
		Sensing efficiency	95% or more of bean leaves	99% or more of bean leaves
Control part		Measurement target	black bean leaves of black vinyl	black bean leaves of black vinyl
		Driving and position control	position standard ± 15 mm	position standard ± 5 mm
		Shape control	shape standard ± 25 mm ²	shape standard under ± 25 mm ²
		Control type	Sensor module integration, body mounting	Sensor module integration, body mounting

<p style="text-align: center;">Expected Contribution</p>	<p>1) Technological Aspects</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Development of automatic punching system technology, for which mechanization had not been achieved for the first time in and outside Korea ○ Increased impact on popularization, as the detachable nature makes it applicable to other powered cultivators <p>2) Economic and Industrial Aspects</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Mechanization reduces labor input and damage by birds, contributing to increased farm income ○ Novel work sequence (seeding→plastic mulching→punching) leads to proliferation of plastic mulching and increased productivity ○ Applicable to quality inspection of other farm products shrink-wrapped with plastic film <p>3) Social Aspect</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Farmers can avoid musculoskeletal diseases and enjoy convenience as the need to punch manually and reseed due to damage by birds are eliminated ○ The image of poor work environment in rural areas can be improved with this system 				
<p style="text-align: center;">Keywords</p>	<p style="text-align: center;">Vinyl mulching</p>	<p style="text-align: center;">sensor</p>	<p style="text-align: center;">automatic punching machine</p>	<p style="text-align: center;">soybean</p>	<p style="text-align: center;">foliage leaves</p>

6. 영문목차

< **CONTENTS** >

1. Outline of R&D	1
2. R&D in domestic and foreign	4
3. Contents and result of R&D	8
4. Achievement and contribution for related fields	203
5. Product of R&D and application plan	206
6. International technology information gathered from R&D ...	207
7. Security rating of R & D achievement	211
8. Present condition of Research facility and equipment	211
9. Performance of laboratory safety measures	211
10. Representative research achievements	212
11. Etc.	229
12. Reference	230

<Appendix> self-evaluation opinion statement

7. 본문목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의개요	1
2. 국내외 기술개발 현황	4
3. 연구수행 내용 및 결과	8
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	203
5. 연구결과의 활용계획 등	206
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	207
7. 연구개발성과의 보안등급	211
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	211
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	211
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	212
11. 기타사항	229
12. 참고문헌	230

<별첨> 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

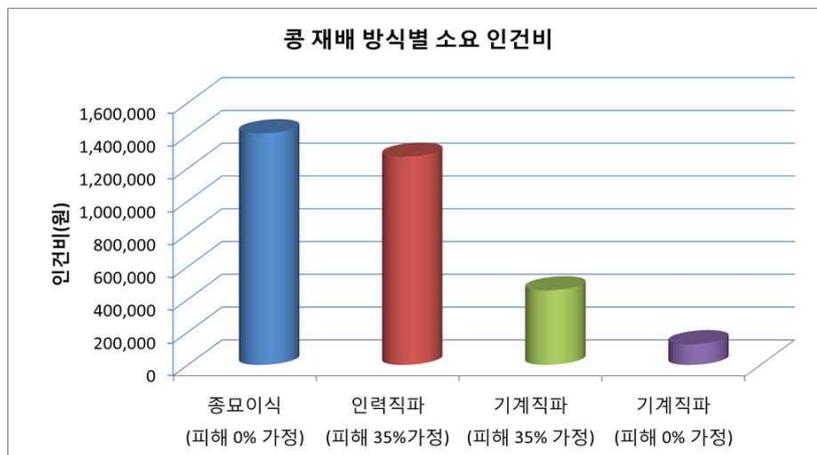
1-1. 연구개발 목적

○ 국내의 주요 식량작물 중의 하나인 콩의 잡초방제 및 생육 촉진을 위해 적용되는 검정비닐포장 환경에서 재배의 최대 애로사항인 조류피해 경감 및 기계화를 통한 생산비 절감을 위해 ICT 융합기술을 이용하여 검정비닐포장 하부의 콩 초엽을 인식하고 천공하는 자동천공시스템의 개발을 목표로 하는데 구체적 연구목표는 다음과 같음.

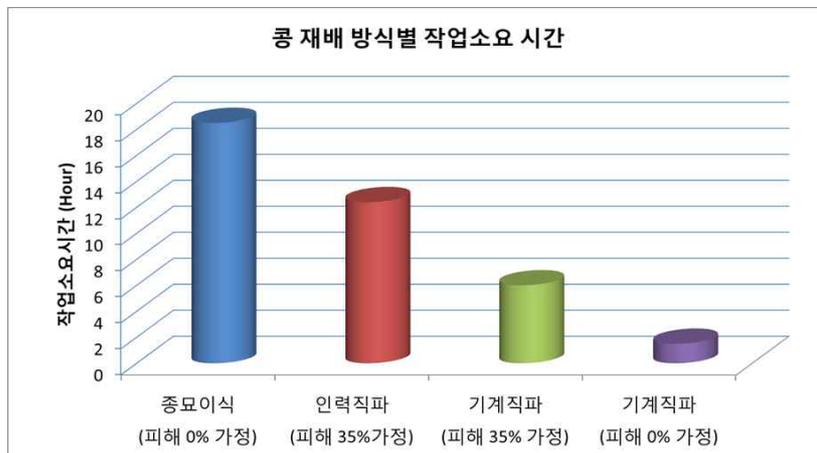
- 검정비닐포장 조건에서 초엽의 손상이 없는 관리기 부착형 비닐 자동천공장치의 개발
- 센서융합으로 검정비닐포장 하부의 콩 초엽 인식 및 시스템 제어기술의 개발

1-2. 연구개발의 필요성

- 콩 재배 농가의 시급한 당면 문제
 - ✓ 비닐포장 재배지에서 파종/이식 작업에 소요되는 과도한 생산비 및 노동부하 부담함.
 - ✓ 기계직파의 경우 비닐포장을 활용한 재배방식과 혼용할 수 없는 문제점이 있을 뿐만 아니라 영세한 두류 농가의 여건 상 비닐포장 활용을 선호함.

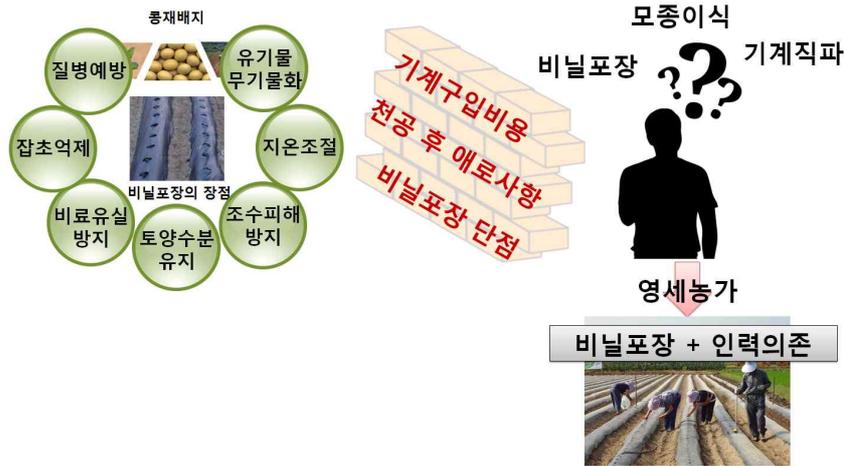


<콩 재배시 작업방식 별 소요인건비, 2012 농림수산식품주요통계>



<콩 재배시 작업방식 별 작업소요시간, 2008, 농촌진흥청>

- 비닐포장 활용 재배 방식의 생력기계화 수준 미흡
 - ✓ 비닐포장 활용 시 전후 작업에 요구되는 농기계 구입비용과 비닐포장 천공 후 수반되는 현장 애로 사항(자엽기 조류피해 등)에 대한 현실적인 대안 부재임.
 - ✓ 원시적인 인력의존 방식을 탈피할 수 없음.



<비닐포장 활용 시 영세 콩 재배 농가의 현실적 선택>

- 비닐포장 재배지에 대응 가능한 저비용/현장애로 대응 기계 개발 절실
 - ✓ 관행 작업 순서인 비닐포장도포→천공→파종 의 작업체계에서 이미 개발된 기계를 도입하지 못하는 작업은 파종작업임.
 - ✓ 파종기를 활용함과 동시에 비닐포장을 활용할 수 있는 새로운 작업방식 필요함.
 - ✓ 파종→비닐포장도포→천공 (천공 후 현장애로 동시 해결).

관행의 방식 (포장→천공→파종)



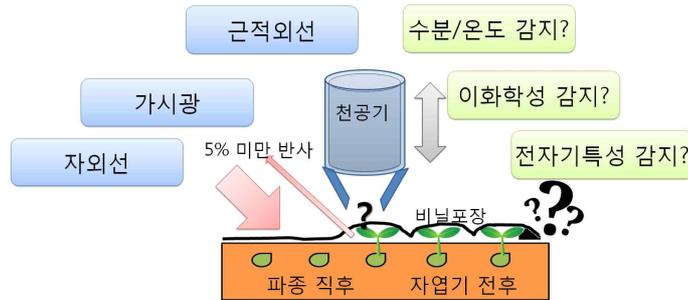
문제해결 방식 (파종→포장→천공)



<비닐포장 활용 효과 극대화를 위한 새로운 작업방식>

- 비닐포장 하부에서 생육중인 작물의 위치 인식 기술의 부재
 - ✓ 비닐포장 도포 후 자엽기를 지난 두류작물의 정상생육을 위하여 정확한 위치에 천공을 수행해야 함.

- ✓ 대표적 비닐포장인 검정색 비닐의 경우 육안, 촉감 등 감각에 의존하여 작물 위치 식별이 매우 난해함.
- ✓ 특히 가시광 영역 주변의 NIR, IR, UV 등 400nm에서 4000nm에 파장대의 에너지 95%를 흡수하므로 광반사특성 정보의 정확성이 떨어짐.
- ✓ 정밀 계측 시스템 활용 시 실험적으로 탐지가 가능하나 영세 농가 활용을 목적으로 하는 연구에 적합하지 않음.



<비닐포장 하부 생육중인 작물 위치 인식 기술의 어려움>

○ 센서융합기술 기반 비닐포장 하부 작물 위치 인식 기술 개발 필요

- ✓ 비닐포장 하부 작물 위치 인식을 위한 다양한 접근 방법에 대하여 센서융합 기술을 적용하여 해결을 도모함.
- ✓ 비닐포장 하부에서 생육중인 작물의 이화화학적 고유특성 및 생육 공간의 고유특성(형상, 부산물 등)에 대응하는 센서를 활용하여 천공기의 선행부에서 작물 위치 탐지 수행함.
- ✓ 선행부에서 탐지한 작물의 존재여부 신호→천공 위치, 깊이 결정→자동 천공 실행을 통해 선-파종 후-천공 기술의 난재 극복함.



<센서융합기술 기반 작물 위치 인식 자동 천공 기법>

2. 연구개발 목표 및 내용

1-3. 연구개발 범위

○1. 제품 개발 사양

장치부	사 양	제어부	사 양
적용규격	5hp 이상 관리기 부착형	계측대상	검정비닐포장 하부 초엽
천공능력	10a/3시간	주행 및 위치제어	검색위치 ± 15mm
천공능력	10,000주/3시간	형상제어	형상표준 ± 25mm ²
천공효율	콩 초엽 95% 이상	제어형식	센서모듈 통합, 본체 장착

2. 제품 개발 범위

- (1) 검정비닐포장 하부 콩 초엽 인식기술 및 비닐포장 천공위치 인식기술, 장치제어기술의 개발.
- (2) 초엽반응특성을 이용한 인식·제어부의 센서 모듈화와 관리기 접목 통합제어기술의 개발.
- (3) 비닐포장 하부 초엽의 손상 없이 비닐포장에 적용하는 관리기 부착형 자동천공장치 개발.
- (4) 탈부착이 가능하고 제어기술이 통합된 관리기 부착형 자동천공시스템 시작기의 개발.

3. 연구개발 방향

- (1) 관리기(기존·신규)에 부착 가능한 자동천공시스템의 개발.
- (2) 고속·정밀작업으로 파종단계의 노동력 및 경비 절감을 통한 농가소득 향상 유도.
- (3) 부락단위 공동사용 및 임대사업이 가능토록 관리기의 탈부착형으로 개발.
- (4) 국내·외 최초의 자동천공장치 및 인식·제어방법 개발을 통한 산업재산권 확보.
- (5) 농가보급이 용이한 저가의 보급형 시스템으로 개발.

2. 국내의 기술개발 현황

코드번호	D-04
------	------

○ 국내 연구 동향

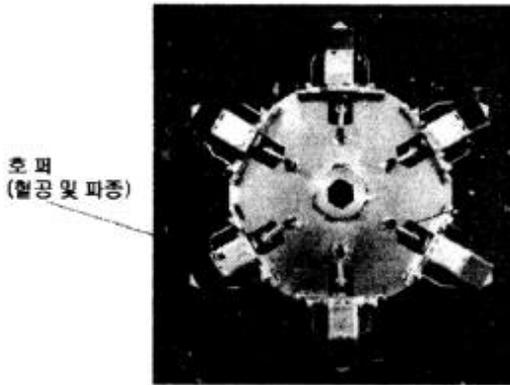
◇ 국내외에서 콩 초엽기의 자동천공기에 대한 관련 연구는 전무한 실정이며 유사 연구는 다음과 같음.



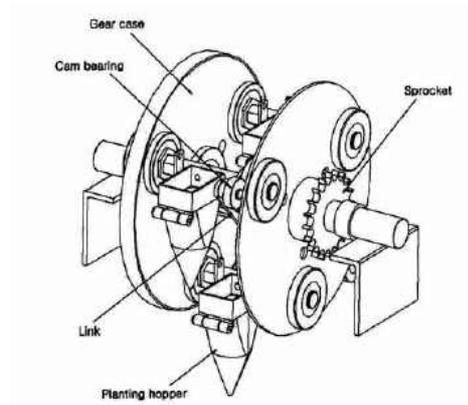
◇ 비닐포장에 적응 가능한 마늘파종기 개발 (최 등, 2008)을 위하여 비닐포장 도포 후에

천공과 파종을 동시에 수행하는 장치 연구 수행함.

- ◇ 경운기에 부착 가능한 점파식 마늘파종기에 대한 연구 (최 등, 2009)가 수행되었으며 피복→천공→파종 형태로 작업 가능함.



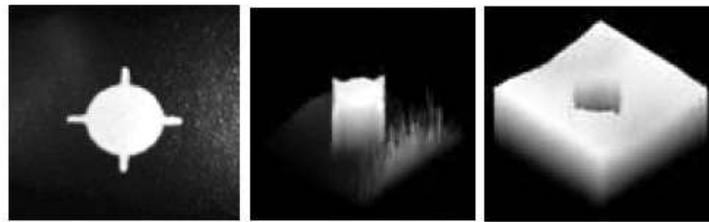
스프링



<천공동시 파종장치 구조>

<점파식 마늘파종기>

- ◇ 컴퓨터 영상 처리를 이용하여 FPC 비닐포장을 자동편칭 할 수 있는 연구(이 등, 2005)에서는 정확한 위치 인식을 위하여 LED 광원을 사용하는 기법 채택함.



(a)

(b)

(c)

<광 투과율이 낮은 FPC 비닐포장의 천공 위치 인식>

- ◇ 콩 재배지 비닐포장 대응 천공, 파종 장치에 대한 다수의 상용화 사례가 있으나, 비닐포장 도포 후 천공→파종을 지원하는 형태만을 지원함.



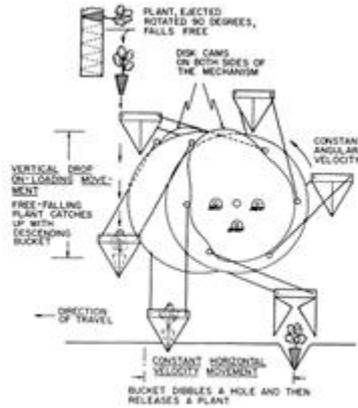
<국내 주요 업체의 비닐포장 대응 천공, 파종 동시 수행 작업기계>

○ 국외 연구 동향

- ◇ 비닐포장 대응 작업기계의 주요 활용 국가는 미국, 네덜란드, 일본이며 특히 미국의 경우

대규모 경작지에 적합한 대형화 및 자동화, 고속화에 대한 연구가 활발하였으나 근래에 들어 급격히 감소함.

◇ Munilla 등(1987)은 비닐포장 천공과 파종작업을 동시 수행하는 작업기계를 개발함.



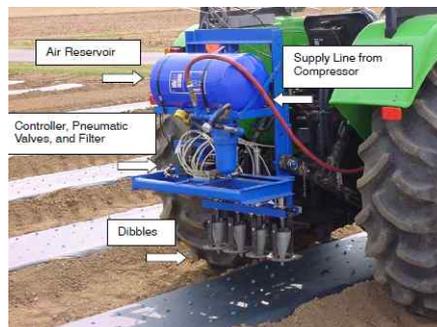
<천공/파종 동시 수행 작업기, Munilla, 1987>

◇ Molin (2002)는 비닐포장의 천공과 이식작업을 동시에 수행하는 작업기계를 개발함.



<천공/이식 동시 수행 기구부, Molin, 2002>

◇ Lawrence 등(2007)은 공압을 이용하여 트랙터 부착형 천공 장치를 개발하였으며, 정확한 천공 위치 제어를 위하여 작업기의 주행부 및 기구부에 센서활용 기술 도입함.



<트랙터 부착형 정밀 천공 장치, Lawrence et al. 2007>

◇ 비닐포장 대응 천공, 파종, 이식 장치에 대한 다수의 상용화 사례가 있으나, 비닐포장 도포

후 천공→파종(또는 이식)을 지원하는 형태만을 지원함.



<국의 주요 업체의 비닐포장 대응 천공, 파종, 이식 동시 수행 작업기계>

○ 콩 재배 기술 대상 국가 R&D 분석

- ◇ 진행중인 연구개발 과제는 EPS (땅콩새싹추출물)을 이용한 항치매 건강기능식품 개발 외 117건 임.
- ◇ 완료된 연구개발 과제 : 기후변화 신시나리오에 따른 콩, 옥수수의 적기, 적작 예측을 위한 평가기술개발 외 203건 임.
- ◇ 두류재배지 기계화를 위한 국가 주도 R&D 수행 현황은 극히 저조한 상태임 콩 관련 322건의 R&D 현황은 다음과 같음.

<콩 재배 기술 대상 국가 주도 R&D 수행 현황, Fris database>

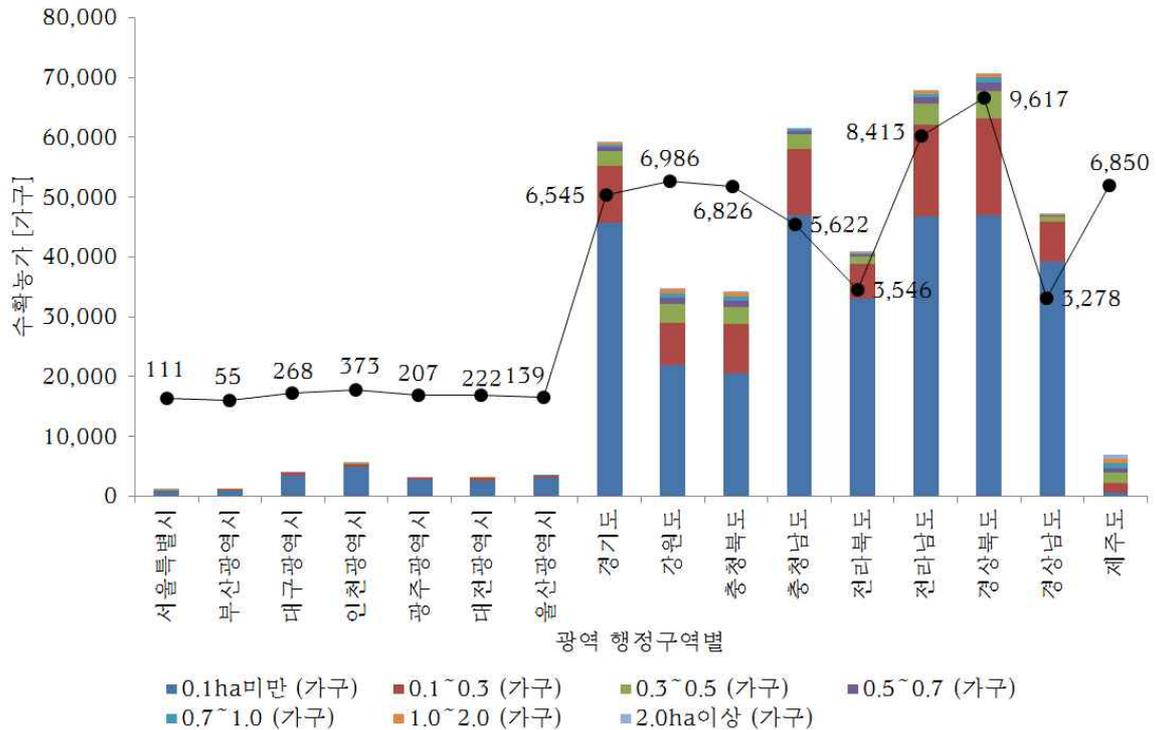
3. 연구수행 내용 및 결과

	코드번호	D-05
1) 연구내용 (서술 목차)		
(서론) 콩 재배 일반현황		pp.09-18
(1) 재배환경별 비닐포장 사용현황조사 (품종, 자재)		pp.19-23
(2) 작업형태별 비닐포장 사용현황조사 (재식밀도 등 공간특성)		pp.23-28
(3) 작업기 형태별 천공기 프레임 설계		pp.28-34
(4) 기존 천공기 활용가능성 분석		pp.34-35
(5) 커팅 메카니즘 기구적 구성 및 검증		pp.36-40
(6) 작업기 (1조, 다조) 천공기 실시설계 (공압식)		pp.40-45
(7) 재배체계 및 작업체계를 반영한 단순화 및 최적화 설계		pp.46-48
(8) 진동을 고려한 천공장치 프레임 설계 및 검증		pp.49-52
(9) 비닐포장 초엽기, 새싹기, 자엽기별 물성분석		pp.53-55
(10) 비닐포장 작물 에너지 반응특성 분석		pp.55-63
(11) 비닐포장 하부 잡초특성분석		pp.64
(12) 비닐포장 에너지 반사 및 투과 특성분석		pp.65-69
(13) 콩 초엽 인식 센서 어레이 설계		pp.69-75
(14) 센서 어레이 작물인식 요인실험		pp.75-77
(15) 천공기 시작기 제작 및 요인실험		pp.77-94
(16) 센서 융합형 자동 천공장치 기본 요인 실험		pp.95-123
(17) 센서 융합형 자동 천공장치 시작기 실내 성능 평가		pp.123-137
(18) 작업기 형태별 자동 천공기계 시작기 설계		pp.137-140
(19) 작업기 형태별 센서융합형 자동 천공기계 시작기 설계		pp.141-144
(20) 콩 재배 재식밀도/형태에 따른 센서어레이 출력신호 보정방법 개발		pp.144-146
(21) 주행방향/직각방향의 기하학적 오차 상응, 검출된 작물위치 보정기술 개발		pp.146-152
(22) 천공위치 보정을 위한 천공 관입부 제어기술		pp.153-154
(23) 동력원별 천공 제어방식 설계 (공압/탄성체/유압/모터)		pp.154-155
(24) 자동제어를 위한 단위응답 제어 시스템 설계 및 주요계수 결정		pp.156
(25) 단식/복식 (모듈형 연동) 운영이 가능한 인식/제어 시스템 설계		pp.157
(26) 비닐포장 하부 콩 인식 기술 정밀도 향상 방안 연구		pp.157-158
(27) 비닐포장 하부 콩 인식 기술 현지 적응성 검토 및 정량화 방안 연구		pp.158-159
(28) 상용 관리기 제품과 통합을 위한 최적화 설계		pp.159-169
(29) 작업기 형태별 통합 시작기 제작		pp.170-174
(30) 현장 검증 및 설계검토 및 실용화를 위한 PRM 단계 상향 방안 수립		pp.176-177
(31) 인식요소 모듈화 : 센서 어레이와 마이컴의 통합		pp.177-179
(32) 제어요소 모듈화 : 구동 액추에이터와 마이컴의 통합		pp.180-183
(33) 인식/제어요소 통합 모듈화 : 전장회로 시스템 모듈화 기술 및 보호회로 채용		pp.183-194
(34) 센서 융합형 자동 천공기계 실외성능 평가 및 개발 사양 (종합)		pp.195-199

(서론) 국내 콩 재배 현황 및 시장분석

- ◇ 국내 콩 재배는 전국적으로 445천 농가에서 59천 ha를 수확하여 가구당 평균 0.13 ha를 재배하는 것으로 파악되는데 이는 주요 발작물인 마늘 0.15 ha, 고추 0.14 ha 등과 비슷하고 고구마 0.08 ha, 감자 0.097 ha 보다 높고 양파 0.32 ha 보다는 낮음 (통계청, 2015).

<< 2010년도 국내 자치단체별 콩 농가분포 및 수확면적 (단위: 가구, ha) >>



- ◇ 콩 재배농가의 분포는 경상북도 70,676가구, 전라남도 67,890가구, 충청남도 61,489가구, 경기도 59,337가구, 경상남도 47,058가구 등 전국적인 재배분포를 보이고 있으며 수확면적은 경상북도가 9,617 ha로 가장 많고 다음으로 전라남도 8,413 ha, 강원도 6,986 ha, 제주도 6,850 ha, 경기도 6,545 ha 순으로 재배되고 있음 (통계청, 2015).

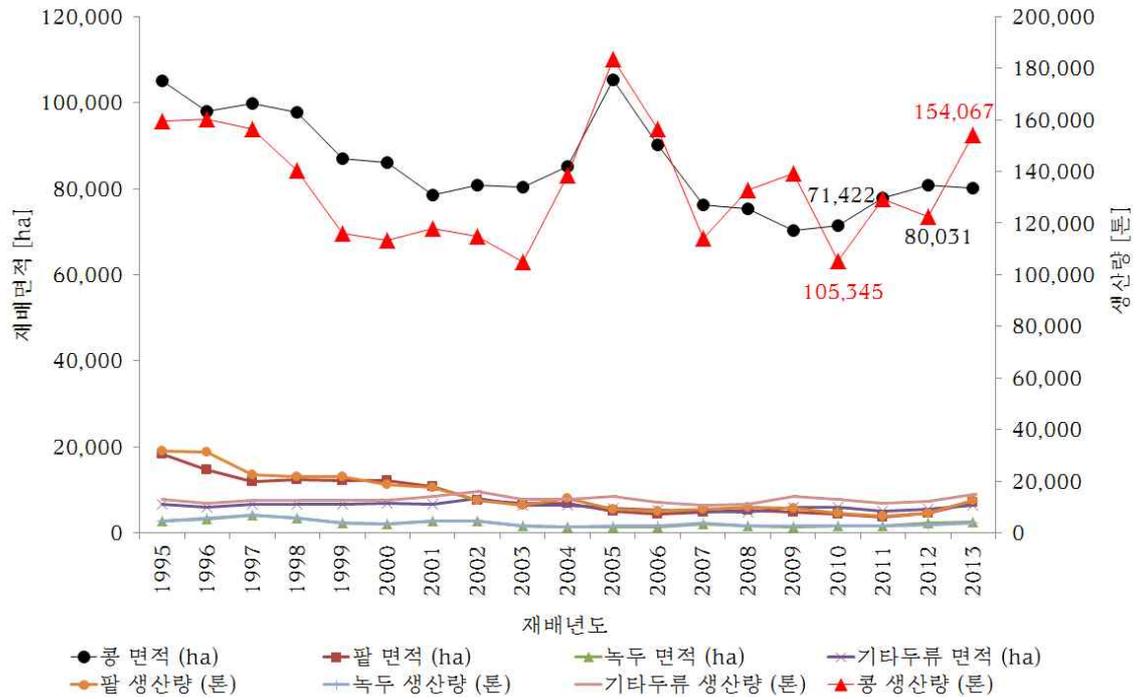
- ◇ 또한 전국 444천 농가의 재배 농가의 구성은 0.1 ha 미만의 소규모 재배농가가 71.9%를 구성하고 있으며 0.5 ha 이상의 농가는 4%를 구성하고 있는데 정책당국의 적극적인 발작물 기계화 지원 및 규모화, 단지화를 위한 지원이 절실하며 연구개발을 통해 개발되는 자동천공기는 농기계 임대사업 등에 반영하여 효과를 극대화할 필요성이 있음.

- ◇ 국내에서 두류작물은 콩, 팥, 녹두, 기타두류로 분류되며 두부 등의 가공품에 첨가되고 있고 최근 에너지 자원, 신소재 및 의약품 소재 등으로의 활용 가능성 등도 연구되고 있음. 두류작물 공식통계 최종년도인 2013년도의 두류작물 재배면적은 96천 ha이고 생산량은 173천 톤 규모로 콩은 재배면적의 83.2%, 생산량의 89.1%를 점유하고 있는데 그림. 2 및 표. 1에서 보듯이 최근 5~6년 이내에는 성장세에 있음 (통계청, 2015).

- ◇ 두류작물의 특징은 수입개방으로 재배면적 및 생산량이 급감한 팥 이외에는 노동집약적인 콩,

녹두, 기타두류의 경우 최근 10년간 큰 변화가 없었고 콩은 2010년 기준으로 재배면적/수확면적이 17% 차이가 발생하여 재배 이외의 요인 (조류피해 등)의 극복이 중요 사항임.

<< 최근 20년간 두류작물 재배면적 및 생산량 변화 추이 >>



<< 최근 20년간 두류작물 재배면적 및 생산량 변화 추이 >>

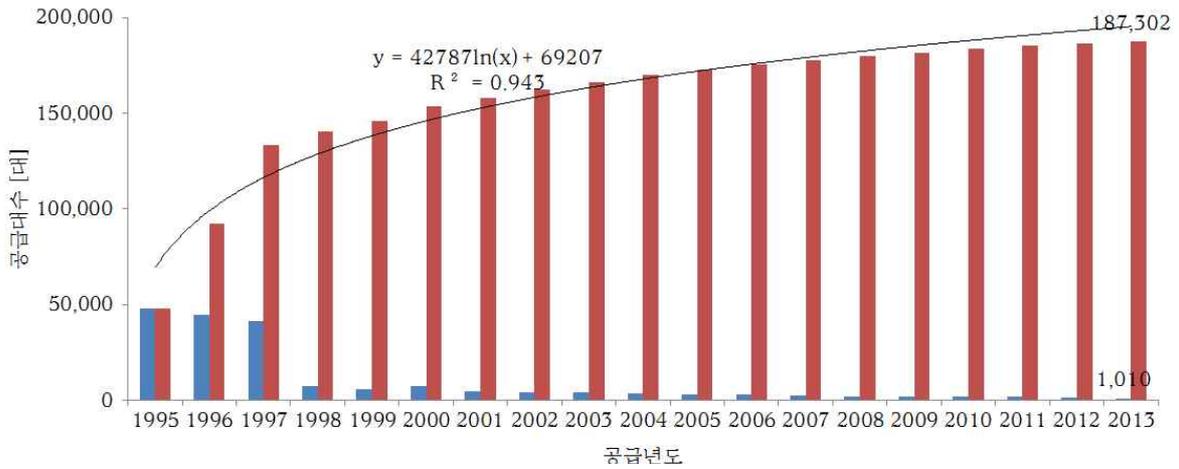
	재배면적 (ha)				생산량 (톤)			
	콩	팥	녹두	기타두류	콩	팥	녹두	기타두류
1995	105,035	18,225	2,675	6,600	159,640	18,973	2,821	7,892
2000	86,176	12,043	2,103	6,828	113,196	11,314	2,089	7,625
2005	105,421	5,077	1,365	5,689	183,338	5,575	1,482	8,357
2010	71,422	4,238	1,514	5,955	105,345	4,561	1,543	7,839
2013	80,031	7,110	2,588	6,415	154,067	7,628	2,345	8,816

◇ 콩 전 재배과정에서 노동력 투여가 가장 많고 노동집약적인 재파종에 대응하는 천공장치를 포함한 파종단계에 대한 기계화는 콩의 규모화, 단지화를 위한 통한 재배농가의 경영개선을 위해 콩 재배지 자동천공기가 절대적으로 필요함. 국내 미개발 농기계인 멀칭환경 하의 자동천공기 개발을 위해 우선 주변·환경적 측면과 노동·환경적 측면, 경영·환경적 측면에서 필요성을 검토하였는데 내용은 다음과 같음.

◇ 국내에서 콩의 재배는 4월 초순부터 7월 초순까지 3개월 정도의 파종시기를 갖는데 5월 하순에서 6월 초순의 파종시기가 가장 수량성이 좋은 것으로 알려져 있음. 파종 깊이는 50mm 내외가 수분흡수 등 발아조건에 유리하고 평균 두둑 높이는 200mm 정도가 일반적이며 재배기간은 110~120일임. 콩은 주로 평균 경사도 6.5~7.7° 내외에서 재배 (이은섭, 2008)되는데 기계화는 15~18° 가 한계 (김경옥, 1987)임. 콩은 평균 수확면적 0.13 ha인 소규모 형태로 재배되고 있

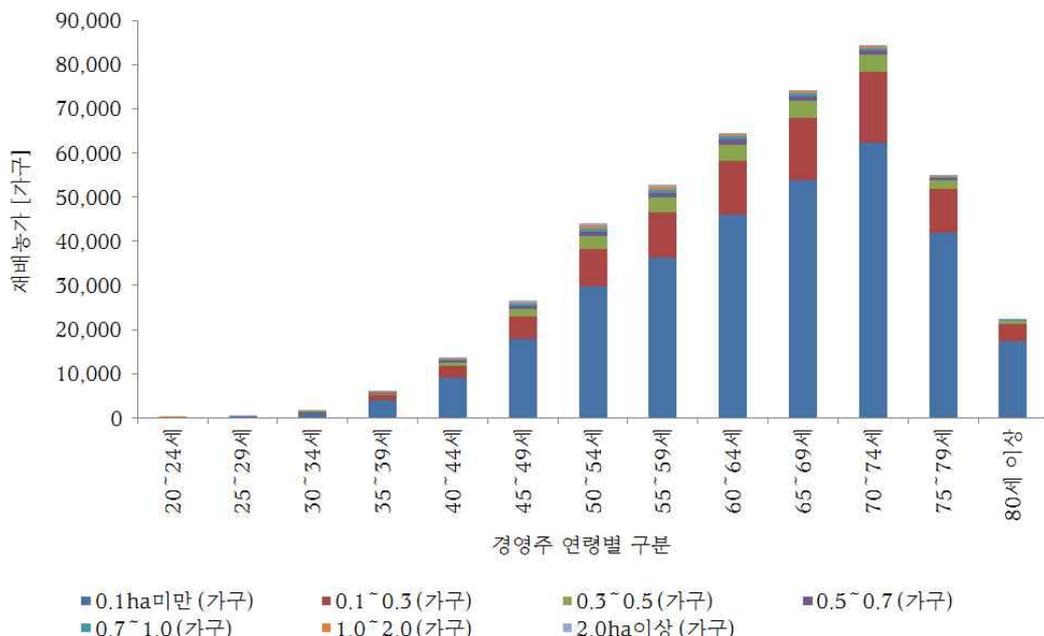
는데 파종단계는 조류피해에 대한 인력 재파종으로 기계화가 진척되지 않고 있으며 규모화, 단
 지하 추진을 위해 주변·환경적 측면에서의 분석이 필요함.

<< 최근 20년간 국내 관리기 공급년도별 공급 및 누적공급대수 >>



- ◇ 개발되는 자동천공기는 범용성을 고려하여 전용기 형식보다 기존 양산되는 관리기에 볼트 체결
 식으로 연결되는 부착형 장치로 구상되고 있는데 국내 보급된 관리기의 보급현황을 살펴보면
 2013년도 기준으로 누적 187천 대이고 최근 5년간에는 1~2천대 수준의 보급대수를 유지하고
 있음 (한국농기계공업협동조합, 2015).
- ◇ 70년대 산업화 과정에서 촉발된 농가인구의 이농에 따른 농가인구의 감소 및 이후 고령화, 여성
 화는 농촌 노동·환경적 측면에서 검토의 핵심사항이다. 경영주 연령별 수확면적을 분석하면 가
 구당 평균수확면적이 0.13 ha인 상황에서 연령이 낮을수록 가구당 경지면적이 증가하였는데 80
 세 이상에서 0.09 ha에서 20~24세에서는 0.27 ha로 증가하는 것을 알 수 있었는데 내용은 표.
 2와 같고 전체적으로 65세 이상의 고령농 증가 추세임 (통계청, 2015).

<< 2010년도 농림어업총조사 콩 재배농가 경영주 연령별 재배가구 >>

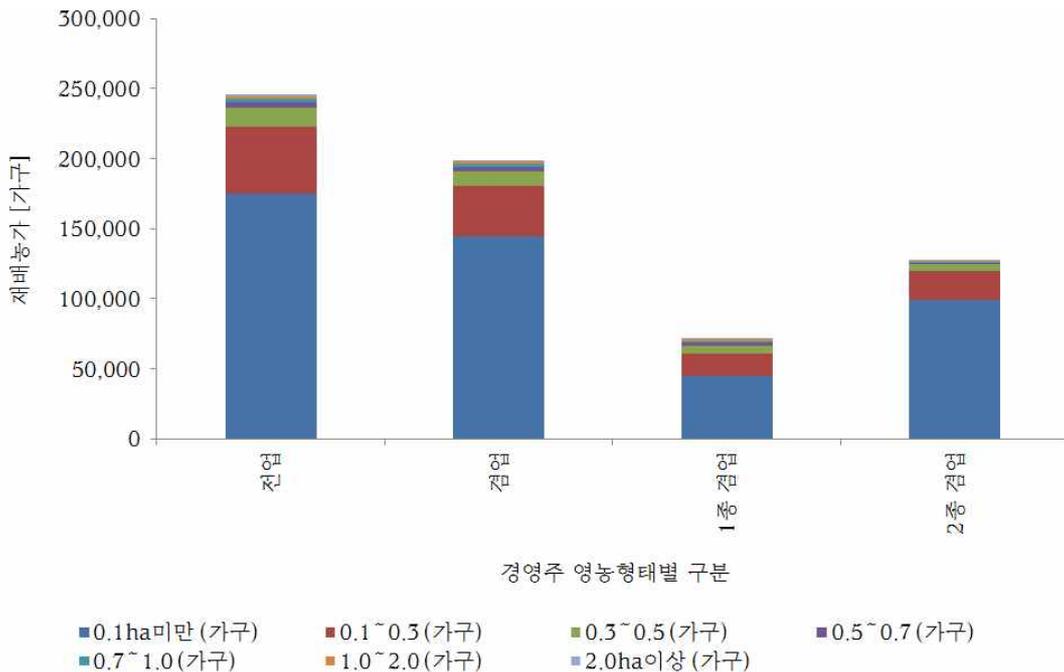


<< 2010년도 농림어업총조사 콩 농가 경영주 연령별 분석 >>

경영주 연령	면적규모별		수확면적		가구당 면적 (ha)
	(가구)	(%)	(ha)	(%)	
20-24세	22	0.0%	6	0.0%	0.27
25-29세	318	0.1%	64	0.1%	0.20
30-34세	1,601	0.4%	283	0.5%	0.18
35-39세	5,896	1.3%	1,083	1.8%	0.18
40-44세	13,556	3.0%	2,814	4.8%	0.21
45-49세	26,492	6.0%	4,996	8.5%	0.19
50-54세	44,124	9.9%	8,143	13.8%	0.18
55-59세	52,726	11.9%	8,316	14.1%	0.16
60-64세	64,594	14.5%	8,676	14.7%	0.13
65-69세	74,154	16.7%	8,887	15.0%	0.12
70-74세	84,254	18.9%	8,900	15.1%	0.11
75-79세	54,725	12.3%	5,038	8.5%	0.09
80세 이상	22,183	5.0%	1,855	3.1%	0.08
계	444,645	100.0	59,060	100.0	0.13

◇ 콩 재배 농업생산력 유지 및 향상을 위한 기계화 추진 및 투자는 장기적인 관점에서 농산물의 안정적인 생산을 통한 품질향상, 물가안정 등 경제적 효과와 기계화로 인한 유희시간을 만들어 서비스업, 제조업 등 타 분야의 겸업을 통한 농외소득 창출로 농가소득을 증대시켜 안정적인 겸업농가를 확보할 수 있는 것에서 경영·환경적 측면의 분석은 중요함. 현재 콩의 전업 : 겸업농가의 수확면적 및 농가수는 55% : 45%로 구성은 그림. 5와 같음.

<< 2010년도 농림어업총조사 콩 재배농가 영농형태별 재배가구 >>

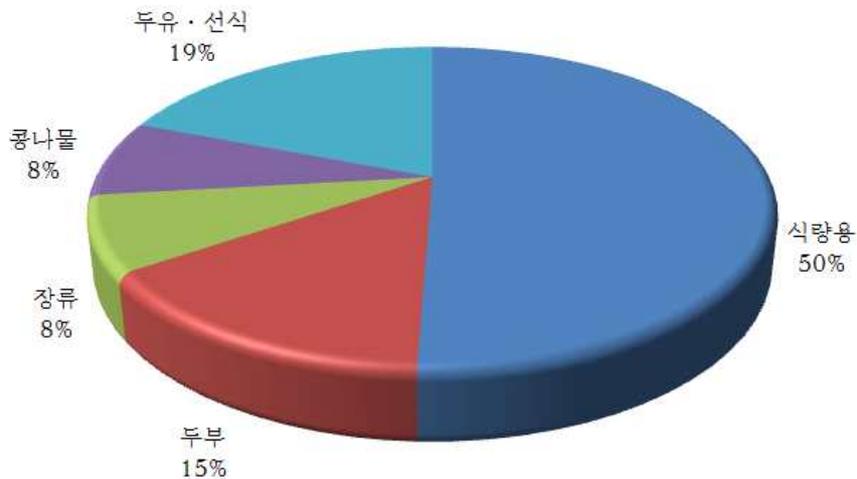


◇ 현재 콩 농가 전·겸업농의 구성은 전업농 55.4%, 175천 농가이며 겸업농 44.6%, 144천 농가로 구성되어 있는데 이 중에서 1종 겸업은 44.9천 농가, 2종 겸업은 99.5천 농가인데 주로 식량

작물, 과수, 축산 등 타 농업부분을 겸업경영하고 있는 형태임. 2013년도의 우리의 1인당 명목 국민총생산 2,844만원 (한국은행, 2014)과 비슷한 시기인 1986년도 일본 (한국농업기계학회, 1997)의 농업소득은 1,012천 엔이었는데 농외소득은 4,502천 엔으로 4.5배 수준으로 기계화 추진과 더불어 핵심 겸업농의 육성도 중요할 것으로 판단됨.

- ◇ 전체적인 환경요인 분석으로 개발되는 자동천공기는 관리기에 부착이 가능하고 고령재배농민의 사용 및 겸업농의 손쉬운 사용을 위해 향후 보급과정에서 공동사용 및 임대사업 기종으로의 활용을 적극 유도하여야 될 것으로 분석됨.
- ◇ 국내에서 콩은 51%가 식량용으로 사용되고 나머지 49%가 두부, 장류, 콩나물, 두유, 선식 등 가공 유통되는 농산물로 생산비용의 절감 및 유통비용 절감을 위한 수확체계의 변화, 규모화, 단지화를 통한 생산량 증대, 가격의 계절진폭에 효율적 대응 등을 위한 자동천공기의 개발은 재배농가에 의해 요구되고 있으며 재배농가의 경영개선을 위해 절실한 상황임.
- ◇ 현재 국내에서 콩은 두류작물의 대표적 농산물로 식량용 및 가공용으로 사용되고 있는데 재배농민->유통 및 판매업자->소비자와 재배농민->가공업체로 이어지는 단순한 체계를 유지하고 있는데 최근 콩가공식품 중소기업적합업종 분류로 농가관로에 어려움이 있음 (농촌경제연구원, 2014).
- ◇ 국내 콩 자급률 제고 노력은 2020년까지 40%를 목표로 하고 있는데 현재 사료용 포함 9% 정도의 자급률을 보이고 있음 (농림축산식품부, 2014). 현재 콩 자급률 정책은 국산 콩의 판매부진, 재고증가, 가격하락 (수입 콩 가격은 국산 콩 가격의 84% 수준)으로 목표달성에 어려움이 많은 실정임.
- ◇ 국산 콩의 용도별 사용처는 식량용 50.8%, 두부 15%, 장류 7.7%, 콩나물 7.7%, 두유·선식 19.2%로 그림과 같으며 전체적인 국산 콩 수요는 13만 톤 수준으로 여기에 수입물량 콩 186천 톤, 총 31만 톤 장도가 시장에 공급되고 있음 (농촌경제연구원, 2014).

<< 국산 콩 용도별 사용처 분류 구성비 >>



- ◇ 2013년도 국산 콩 (백태·중품 5954원/kg)기준으로 9,173억 원에 이르는 국내 콩 생산액 (소비액 기준 8392억 원)은 정책당국의 자급률 재고 정책과 재배면적 및 생산량 추이로 추측하면 향

후 지속적인 성장이 가능할 것으로 판단되는데 기계화 추진을 통한 경제성 분석 등을 위한 생산 비용, 유통비용, 생산량변화, 가격동향분석 등은 다음과 같음.

나. 국내 콩 현황

- ◇ 국내 콩 현황 분석에 있어 우선 생산비용 분석을 통한 수확작업의 기계화 타당성 및 경제성 분석의 근거를 확보하고 유통현황 분석 및 소비패턴분석을 통하여 소비자의 구매패턴을 반영하고, 생산량 변화 추이분석을 통하여 계절간의 소비패턴을 분석하여 반영하고, 월별 가격변화 추이분석을 통하여 재배시기 및 수확적기 분석을 하였음.
- ◇ 2013년도 콩 재배농가의 10a당 조수익은 865천 원인데 생산비가 511천 원, 소득 639천 원으로 부가가치율 89.7%, 소득률 73.9%로 보고되고 있음. 그림은 이 중에서 생산비의 항목별 구성비를 보여주고 있는데 노력비의 비중이 51.5% (자가노력비 44.3%, 고용노력비 7.2%)로 절대적임 (농촌진흥청, 2013).

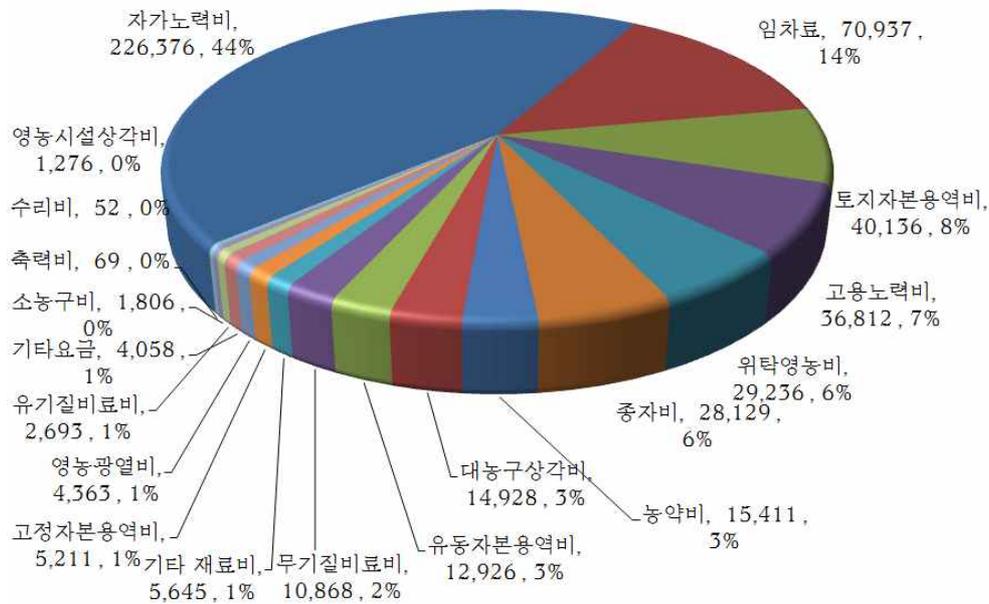
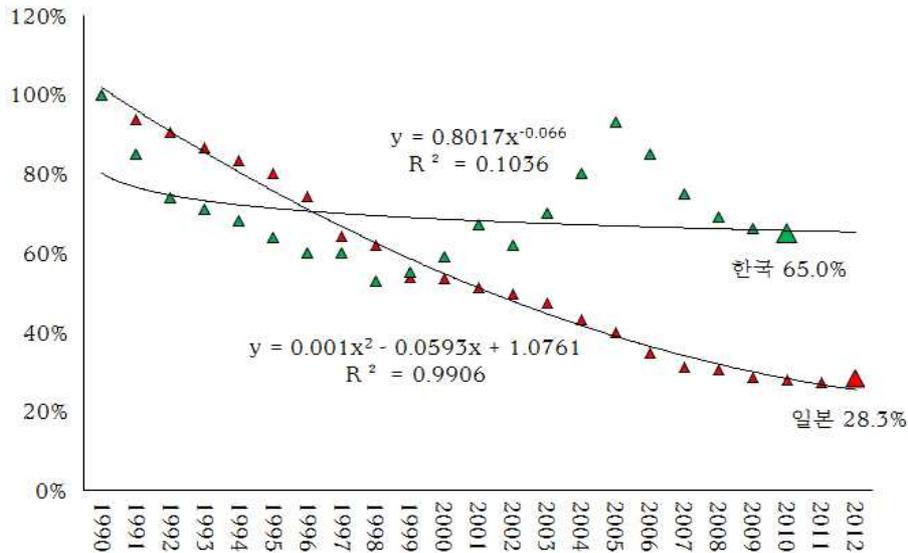


그림. 7 콩의 10a당 생산비 항목별 구성비 (단위: 원, %)

- ◇ 콩의 경영비는 자가노력비, 임차료, 토지자본 용역비, 고용노력비, 위탁 영농비, 종자비, 농약비, 대농구 상각비 순으로 비용지출이 많은 것으로 보고되고 있음. 여기에서 자가노력비는 콩 재배 생산비 전체의 44.3% (226,376원)를 차지하고 있으며 고용노력비 7.2% (36,812원)를 포함하면 생산비의 51.5%에 이르고 있음. 그러나 실재 콩 재배에서 조류피해에 대한 재파종 등을 고려하면 노력비의 비중은 2배 정도로 추정됨.
- ◇ 콩의 소득률 73.9%는 통계 전체 농산물 중에서 가장 높은 수치 (전체 농산물 평균 소득률 48.5%)로 이에 근접하는 작물은 특용작물인 오미자의 72.1%와 노지시금치 70.1% 정도이며 식량작물 평균 52.3%, 노지채소 평균 58.4%, 시설채소 평균 49.6%, 노지과수 평균 63.9%, 시설과수 평균 48.2%, 화훼 평균 33.3%에 비하여 상당히 높은 수준임.
- ◇ 콩 재배에서 노동투하시간의 절감을 통한 경영개선은 기계화의 지표로 활용되는데 현재 콩의 주

요 농작업 기계화율은 53.4%임. 자동천공기가 적용되는 파종이식단계는 평균 4.5% (보행 3.7%, 승용 0.8%)로 재배면적 기준으로 0.1~0.3 ha 농가에서 11.7%로 가장 높고 0.3~0.5 ha에서 7.5%, 0.5~1.0 ha에서 4.1%로 미진한 상태임 (농촌진흥청, 2012).

<< 콩의 10a당 한일간의 노동투하시간의 변화 추이 >>



◇ 최근 20년간 한국의 콩 재배 노동투하시간은 35% 줄어 1990/2010 대비 65%를 보이고 있으며 일본의 경우 71.7% 줄어 1990/2012 대비 28.3%의 현황임 (일본 농림수산성, 2015. 농촌진흥청, 2015). 같은 시기에 일본의 경우 10a 당 생산량이 95.7%로 큰 변화가 없었으며 조수익은 43.5%로 줄었으나 재배면적 확대로 실수익은 300% 향상된 결과를 보임.

<< 최근 20년간 한일간 콩 노동투하시간의 변화 추이 분석 >>

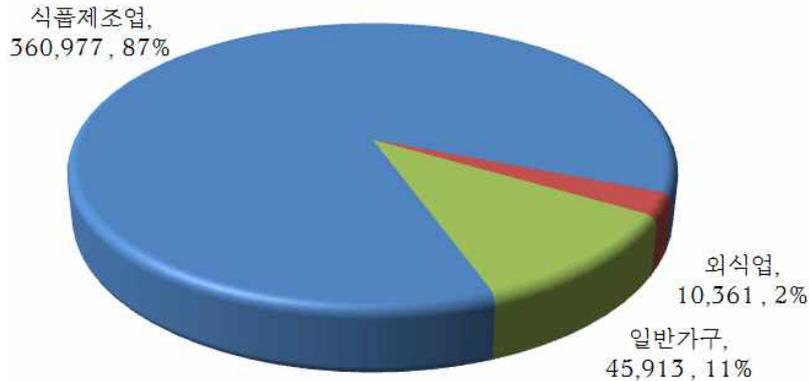
10a당	1990	1995	2000	2005	2010	2012
일본 조수익	100%	128.3%	107.2%	87.9%	44.8%	43.5%
일본 노동투하시간	100%	80.1%	53.4%	39.8%	27.9%	28.3%
한국노동투하시간	100%	64%	59%	93%	65%	
일본 생산량(10 a 당)	100%	117.9%	111.1%	85.5%	87.9%	95.7%
일본 호당재배면적	100%	159.8%	227.2%	288.4%	723.4%	693%

◇ 표에서 일본의 콩 가구당 재배면적은 최근 22년 (1990/2012) 동안 693% 증가한 결과로 기계화 추진을 통한 성력화를 재배면적 확대 (693%) 및 농가소득 증대 (43.5%)와 연계한 결과를 보이고 있음.

◇ 콩 소비 규모 관련 자료는 농수산물유통공사의 식품산업 분야별 원료소비 실태조사보고서 (2011)를 기초하는데 국내 콩 소비는 식품제조업, 외식업, 일반가구로 소비처가 대별됨.

◇ 소비량 측면에서의 분류는 식품제조업이 87% (360,977 톤), 일반가구 11% (45,913 톤), 외식업 2% (10,361 톤)으로 구성되며 소비액 기준으로는 식품제조업이 51%(430,695백만 원), 일반가구 42% (349,090백만 원), 외식업 7% (59,427백만 원)를 구성하고 있음. 또한 소비액 분류에서 톤당 단가는 식품제조업이 1.19백만 원, 외식업이 5.74백만 원, 일반가구가 7.6백만 원 순으로 높은 결과를 보이고 있음.

<< 2011년도 콩 소비량 분야별 소비 규모 (단위: 톤, %) >>



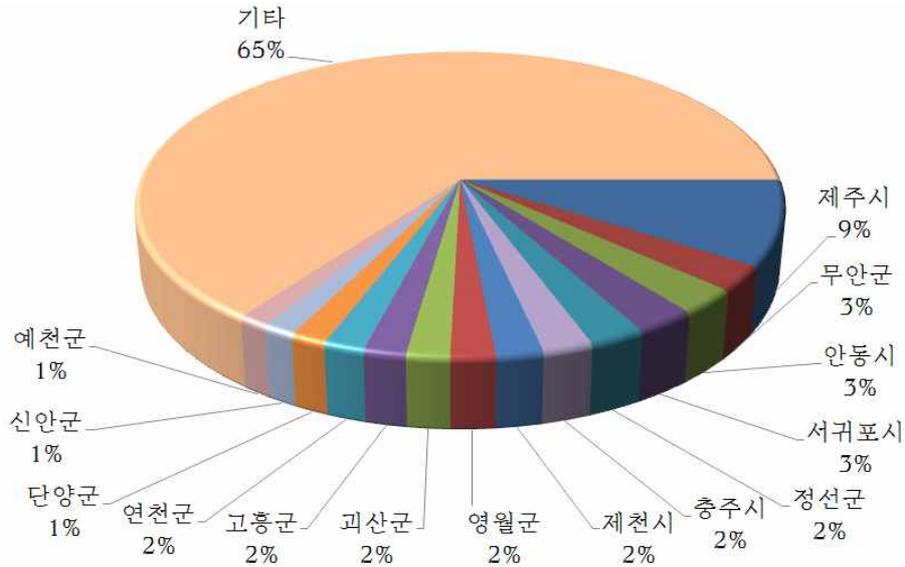
<< 2011년도 콩 소비액 분야별 소비 규모(단위: 백만원, %) >>



◇ 일반 가구의 경우 국내산 이용률이 52.1%이고 연간 평균 4.6회를 구매하는데 평균 1.7kg을 구매하는 것으로 나타났으며 일반적으로 소비자의 농산물 구매에서는 신선도 47.1%, 원산지 20.1%, 가격 16.5%, 안정성 7.5%, 맛 6.7% 순으로 상품선택 시 고려하는 요인인 것으로 보고되고 있음.

◇ 2014년도의 콩 전국 생산량은 139천 톤이고 2002년도 이후 년 평균 130천 톤의 생산량을 보이고 있는데 경상북도 18.6%, 충청북도 16.6%, 전라남도 11.6%, 강원도 11.2%, 경기도 11% 등으로 많은 생산량을 보임. 2010년 농림어업총조사의 시군자치단체별 조사에서는 전국적인 출하량 및 가격을 좌우하는 지역으로 제주시 9%를 구성하는 절대적인 주산지이고 무안군, 안동시, 서귀포시 각 3%, 정선군, 충주시, 제천시, 영월군, 괴산군, 고흥군, 연천군 각 2%, 단양군, 신안군, 예천군이 1%의 재배면적 구성비를 보임 (특허청, 2015).

<< 2010년도 농림어업총조사 750ha 이상 콩 주요 재배 14 행정구역 >>



<< 최근 13년간 행정구역별 콩 생산량 변화 추이 (단위: 톤) >>

구분	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014
서울시	40	43	30	36	13	13	27
부산시	84	42	125	172	34	46	55
대구시	388	509	530	465	322	426	298
인천시	773	609	1,009	536	215	378	1,197
광주시	453	544	551	531	247	216	251
대전시	232	385	371	303	165	187	260
울산시	421	442	412	294	231	214	269
경기도	9,109	10,781	15,031	12,206	8,482	9,536	15,333
강원도	11,107	12,381	15,142	11,380	10,730	11,446	15,534
충청북도	10,967	14,999	16,363	15,876	14,996	19,533	23,143
충청남도	9,114	11,112	12,548	12,531	8,752	11,199	12,373
전라북도	6,975	9,427	9,370	6,878	6,543	9,831	11,962
전라남도	31,023	33,287	35,021	24,812	19,057	16,036	16,146
경상북도	18,268	27,226	29,362	24,294	17,179	29,075	25,972
경상남도	9,606	10,051	12,307	10,819	7,170	7,327	8,062
제주도	6,464	6,732	8,232	11,541	11,210	7,057	8,383
계	115,024	138,570	156,404	132,674	105,346	122,520	139,265

- ◇ 콩은 계절진폭이 1.00으로 년 중 큰 변화가 없는 품목으로 가격동향은 2014년도의 경우 kg 단위당 년 평균 6,603 원으로 표. 6 및 표. 7과 같은 변화 추이를 보이고 있음 (농수산물유통공사, 2015).
- ◇ 콩 가격은 년 중 5,000~7,100 원 사이에서 형성되고 있으며 지역적으로 제주도가 가장 높게 형성되고 있고 다음으로 울산, 창원, 인천, 포항 순으로 높은 가격을 형성하고 있는데 가격의 변동계수는 1.12, 진폭계수는 1.00으로 안정적인 결과를 보임.

<< 2014년도 주요도시 월 평균 콩 (국산/백태/상품/1kg) 가격변화 분석 (단위: 원) >>

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균
서울	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	5,936	5,330	5,330	5,881
부산	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	5,732	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,828
대구	7,000	6,525	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,126
인천	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	7,000	6,779	6,660	6,952
광주	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
대전	7,000	7,000	7,000	7,000	6,763	6,000	6,000	6,000	5,972	5,500	5,600	6,000	6,323
울산	8,000	7,877	7,590	7,590	7,590	7,590	7,590	7,590	7,590	7,590	7,590	7,054	7,601
수원	6,700	6,700	6,700	6,700	6,700	6,628	6,530	6,530	6,530	6,627	6,481	6,200	6,585
춘천	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,700	5,280	5,000	5,605
청주	5,900	5,910	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	5,984
전주	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
포항	-	-	-	-	-	-	6,750	6,750	6,750	6,714	6,500	6,500	6,660
창원	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100	7,100
제주	9,480	9,480	9,480	9,480	9,194	9,293	9,630	9,830	9,830	9,830	9,830	9,830	9,600
평균	6,670	6,628	6,576	6,576	6,539	6,467	6,676	6,686	6,685	6,655	6,561	6,510	6,603

<< 2014년도 주요도시 년 평균 콩 (국산/백태/상품/1kg) 가격변화 분석 (단위: 원) >>

구분		평균	최대	최소	표준편차	변동계수	진폭계수
		6,603	6,603	5,000	74	1.12	1.00
서울	경동	5,881	5,881	5,330	254	4.33	0.13
부산	부전	5,828	5,828	5,700	149	2.55	0.05
대구	동구	6,126	6,126	6,000	330	5.39	0.17
인천	현대	6,952	6,952	6,660	118	1.70	0.05
광주	양동	6,000	6,000	6,000	0	0.00	0.00
대전	역전	6,323	6,323	5,000	592	9.37	0.40
울산	신정	7,601	7,601	6,340	286	3.76	0.26
수원	지동	6,585	6,585	6,200	151	2.29	0.08
춘천	중앙	5,605	5,605	5,000	240	4.29	0.14
청주	육거리	5,984	5,984	5,900	36	0.61	0.02
전주	남부	6,000	6,000	6,000	0	0.00	0.00
포항	죽도	6,660	6,660	6,500	121	1.81	0.04
창원	상남	7,100	7,100	7,100	0	0.00	0.00
제주	동문	9,600	9,600	9,160	231	2.41	0.07

(1) 재배환경별 비닐포장 사용현황조사 (품종, 자재)

- ◇ 콩은 전국적으로 44천 농가에서 재배하는 대표적인 발작물로 80천 ha에서 재배되어 139천 톤의 생산량을 보이며 노지에서 재배되는 농작물 중에서 소득률이 73.9%로 최고 수준을 보임.
- ◇ 본 연구는 콩 재배지 조류피해의 대책의 일환으로 기획되었는데 콩 생산비 중에서 노력비의 비중이 51.5%로 성력기계화 추진의 필요성이 절대적인 상황임.
- ◇ 본 장에서는 연구 추진의 전제조건으로 재배환경별 비닐포장 사용현황조사를 수행하였는데 기본적으로 대표적인 재배품종 분석 및 지역별 재배시기 분석, 파종기 전국적인 온도분포와 분석 및 파종을 위한 토양환경 조사, 비닐멀칭에 따른 효과분석, 멀칭비닐의 물성 등을 조사하여 재배현장에 맞는 자동천공기의 설계 및 제작과 동시에 천공기에 설치되는 멀칭환경 하의 콩 초엽의 작물인식 실험을 위한 기초자료로 활용하고자 함.
- ◇ 또한, 지금까지 콩 재배는 표준적인 방법에 의한 것보다는 농가의 경험에 따른 자의적인 재배가 대부분이어서 너무 많고 다양한 재배형태를 보이고 있어 기계화 추진과 더불어 재배방법의 통일과 다수확 품종의 보급 등이 중요한 사항으로 파악되었음.

가) 대표적인 재배 품종 분석

- ◇ 콩은 농촌진흥청을 중심으로 한 품종 개발과 국립종자원을 중심으로 한 보급중 공급을 하고 있으나 소농 중심의 소규모 경작으로 용도에 따른 지역별 우량품종의 파종보다는 농민의 자가 채종종자나 개인적 성향, 경험 등 관행적인 요소가 많이 반영되고 있음 (Fig. 1).

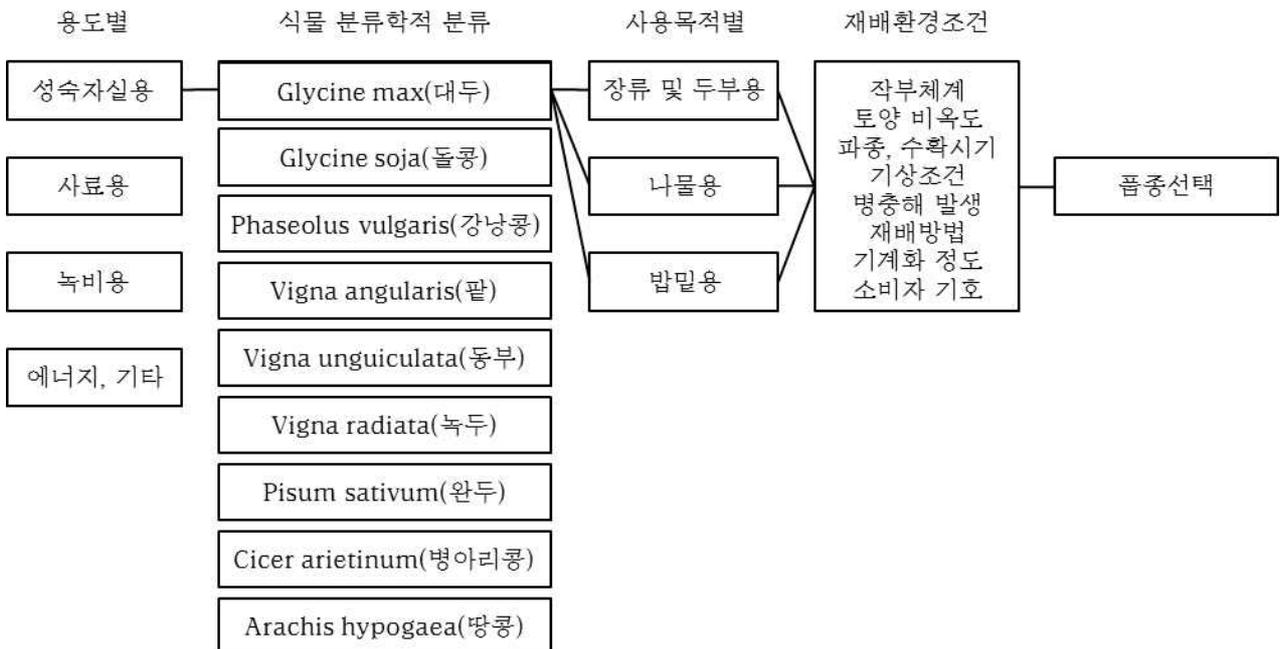


Fig. 1. 콩 품종선택을 위한 분류

◇ 국내 콩 (대두) 유통은 식품제조업체가 87%, 일반가구 11%, 외식업 2%의 구성비로 소비되고 있는데 이는 장류 및 두부용이 대다수를 차지하고 있는 것을 알 수 있으며 농촌진흥청에서 분류한 사용목적별 주요 재배 품종 및 육성품종은 다음의 표. 1과 같은데 태광 (보급종의 50%) 및 대원 품종이 콩알이 굵고 단백질 함량이 높아 가장 많이 재배되는 주요 품종임 (Table 1).

Table 1. 주요 재배품종 및 최근 육성품종 (농촌진흥청, 행정간행물: 11-1390000-002933-01)

사용목적별	주요재배품종(육성년도)	최근 주요육성품종(육성년도)
장류 및 두부용	태광(1993), 대원(1997), 대풍(2003)	우람(2010), 새단백(2010), 천상(2008), 선유(2004)
나물용	풍산나물(1997)	풍원(2006), 신화(2007)
밥밀용	일품검정(1997), 청자(2000)	청자3(2004), 대흑(2007)
올콩	큰올(1991), 새올(1998)	황금올(2010), 한올(2009)

나) 지역별 재배시기 분석

◇ 콩은 생육일수가 90~150일로 다양해 품종선택의 범위가 넓어 재배환경에 맞춰 선택할 수 있는데 주요 재배품종 성숙기는 9월 14일~10월 12일, 수량성 204~327 kg 10a⁻¹로 재배되는데 토양환경, 기상조건, 작부체계, 재배방법에 따라 변동되어 정확하게 특정할 수 없음 (Fig. 1).

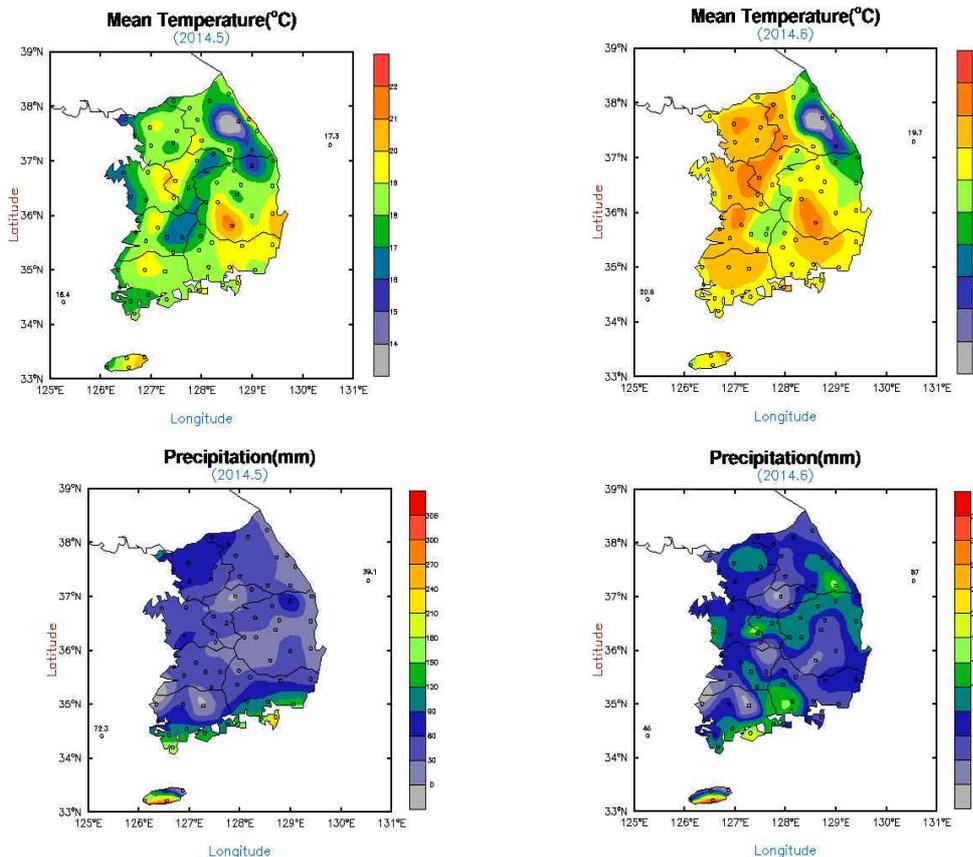


Fig. 2. 콩 파종기 2014년 전국 월평균온도도 및 강수량 분포도(기상청, 2015)

◇ 콩의 파종은 토양온도가 15℃ 이상이면 발아가 되어 4월 중순~7월 중순에 노지파종이 가능한데 파종은 대부분을 5월~6월에 파종되며 이기간의 전국 월평균온도, 강수량은 다음의 그림. 27과 같은데 5월 평균온도 기준으로 산간, 도시를 제외하고 전국적으로 파종이 가능함 (Fig. 3).

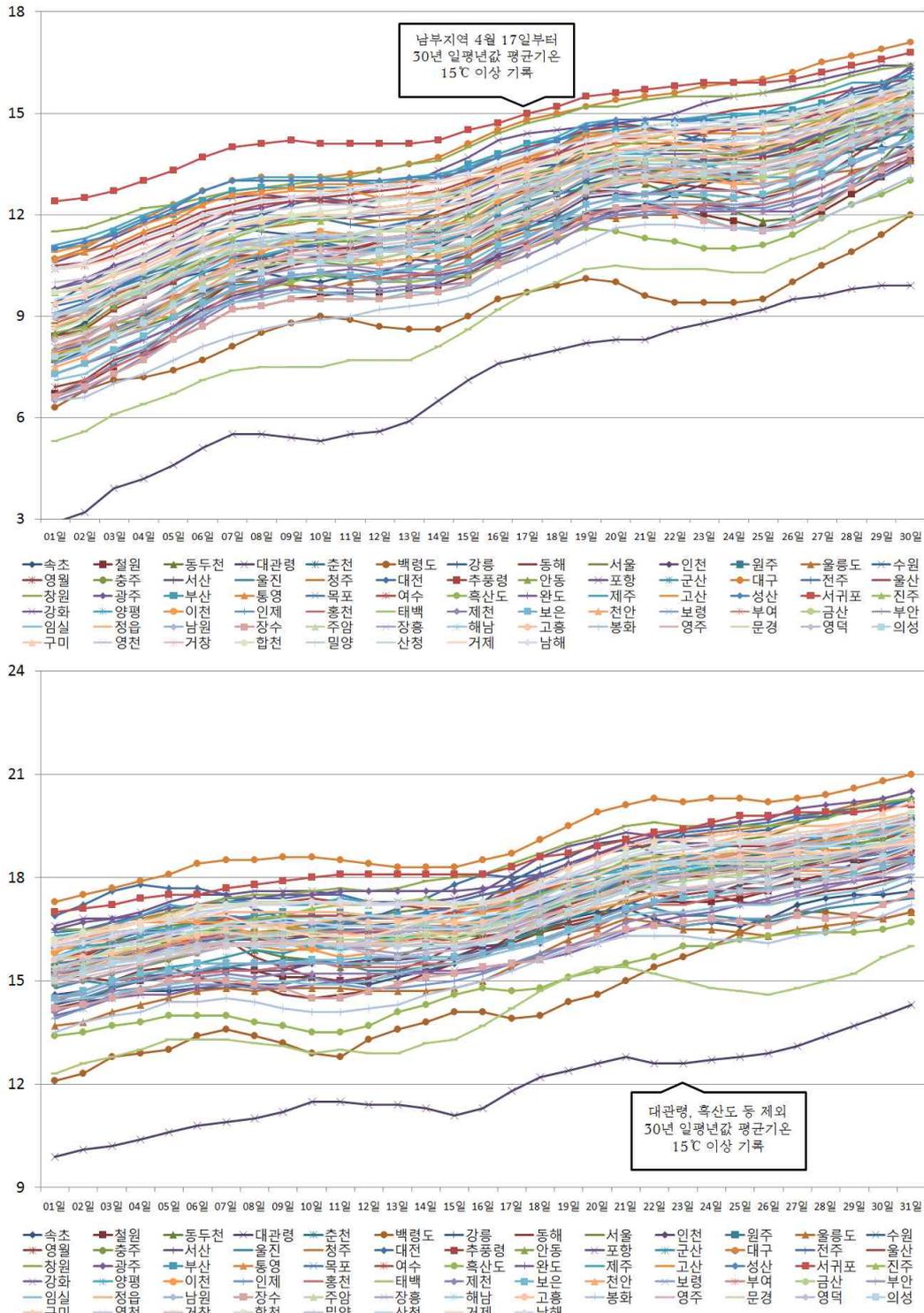


Fig. 3. 전국 4월 (상부), 5월 (하부) 일평년값 (1981~2010) 평균기온 일별 변화추이 (기상청, 2015)

다) 콩 파종시기와 출아일수 상관관계

◇ 콩의 생산성은 품종의 생애 (조생종, 중생종, 만생종), 재배방법, 작부체계에 따라 다르기 때문에 특정할 수 없는데 다수확은 적산온도 2,500~3,000℃를 기준으로 최적 파종시기 선택이 중요하며 파종기의 평균기온-발아일자의 상관관계 (異儀田, 1983)는 다음과 같음 (Table 2).

Table 2. 평균기온과 출아일수

평균기온 [°C]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	21
출아일수 [day]	39	25	17	15	13	11	10	9	8	7	6	5

라) 콩 재배지 토양환경 특성

◇ 콩은 다양한 토양조건에서 비교적 잘 재배되는 작물로 알려져 있으며 파종시기가 3개월 정도로 기간이 넓어 작부체계 도입에 유리한데 다수확을 위해서는 중요요인으로 토양조건이 좌우하는데 일반적인 재배적지 선택 기준은 다음과 같음.

- ✓ 토양산도 (pH) 6.5 내외의 토양
- ✓ 부식, 석회, 칼리의 함량이 높은 토양
- ✓ 사양토나 식양토의 토성을 갖는 토양
- ✓ 표면 토양층이 깊고 토심이 100 cm 이하의 토양
- ✓ 토양수분 보유력 (70~90%)이 높은 토양
- ✓ 평탄지 및 경사지 (경사도 15% 이하)에서 물 빠짐이 좋은 토양

마) 비닐멀칭의 효과

◇ 콩 재배에서 비닐멀칭은 주로 흑색 및 배색을 사용하며 잡초방제를 목적으로 실시되는데 손제초에 대한 무방제의 대비는 32~77% 수량 감소 (Puver, 1994) 보고가 있고 19.2% 증수된 선행연구자 (김태석, 콩 다수확재배 실증실험, 1983)의 생육 및 수량조사는 다음과 같음 (Table 3).

Table 3. 콩 재배 생육 및 수량조사 (잡초, 도복, 병충해 없고 재식밀도 (60*15 cm) 실험조건)

구분	출현기	개화기	성숙기	경장	분지수	천립중	수량 (10a)
단작 무피복	5.25	7.22	9.28	88 cm	4.6	15.8 g	328 kg
단작 비닐피복	5.23	7.20	9.26	93 cm	3.7	16.3 g	391 kg

(6) 멀칭비닐의 물성 및 동향

◇ 콩의 비닐멀칭 재배는 성숙기간이 길어지고 낱알이 커지며 수량이 증가하는 증수효과와 더불어 잡초억제를 목적으로 하는데 주로 LDPE film, HDPE film을 사용하고 있으며 근래에는 가격은 3~4배 높으나 생분해성 Bio film의 사용 (Degradable polymer 구성변화로 분해시간 조절)이 증가하는 추세인데 주로 사용되는 LDPE 멀칭비닐의 사양은 다음과 같음 (Table 4).

Table 4. 상용화 LDPE 멀칭비닐의 사양 범위

	검정	배색	투명	●검정●유공●
두께(mm)	0.012~0.03	0.01~0.02	0.01~0.02	0.012~0.02
폭(cm)	90~180	90~120	90~180	90~180
길이(m)	200~1000	200~1000	200~1000	200~400

- ◇ 콩 재배지에 주로 사용되는 멀칭비닐의 두께는 0.015~0.02 mm 정도이고 사용환경에 따라 검정(잡초억제), 배색 (잡초억제, 생육촉진), 투명 (생육촉진), 검정유공 (묘목재배) 등이고 비닐의 인장강도는 횡방향 248 kgf cm⁻², 종방향 276 kgf cm⁻², 인열강도 횡방향 172 kgf cm, 종방향 157 kgf cm, 신장을 횡방향 758%, 종방향 613%의 기본물성을 지니며 관리기 비닐피복기용으로 1롤 단위에 길이 1,000 m에 폭 100 cm의 제품이 많음.
- ◇ 또한, 선행연구자 (Lament WJ, 1993)는 검정비닐의 사용은 토양 5 cm 깊이에서 2.8℃ 온도상승 효과가 있고 투명비닐은 85~95% 빛을 투과시켜 토양 5 cm 깊이에서 4.4~7.8℃ 온도상승 효과가 있는 것으로 보고함.

(2) 작업형태별 비닐포장 사용현황조사 (재식밀도 등 공간특성)

- ◇ 콩의 재배는 토양, 품종, 재배 방식(작부형태), 재식밀도 (주간, 주간) 등 다양한 원인으로 인해 재배양식의 차이가 있는데 본 장에서는 비닐포장의 사용현황을 조사하여 천공기 설계의 기초자료로 사용할 목적으로 실시함.
- ◇ 천공기의 규격은 두둑의 형상 (두둑의 폭, 높이, 형태, 헛골형상, 폭)과 재식밀도 (주간, 조간, 입모 개체수)에 따라 지배적으로 결정된다. 따라서 자동천공기의 주요 요소를 설계하기 위하여 콩의 물리적 특성과 더불어 비닐포장 사용현황을 조사할 필요가 있음.

가) 콩 재배 농작업 형태

- ◇ 콩 재배의 농작업은 크게 파종단계, 관리단계, 수확단계로 구분하는데 다음과 같음 (Fig. 4).

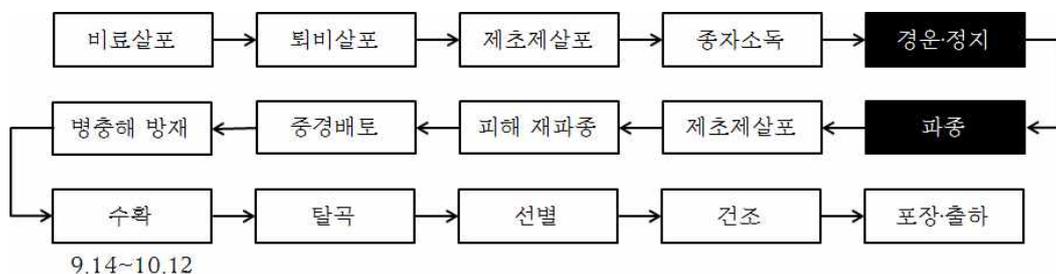


Fig. 4. 콩 재배 작업체계의 분류

- ◇ 파종단계는 5월 상중순에 시작되는 비료살포로부터 시작되어 피해 재파종까지 2개월 정도 진행되며 관리단계는 중경배토에서 병충해 방제까지 2~3개월 정도 소요됨. 그러나 농작업이 표준형

태보다는 관행형태가 많은 재배특징으로 시기 및 작업방법을 단정할 수 없음.

나) 콩 재배의 공간특성 분석

1) 재식밀도

◇ 농촌진흥청은 우리의 적정 재식밀도로 주간 70 cm, 조간 15 cm를 제시하여 10 a (302.5평, 1 000 m²)에 1주 2본을 파종하여 19,047본을 기본으로 하였으나 현실적으로 농작업 대부분을 농민이 경험에 의존한 자의적인 방법으로 진행하고 있고 특히, 파종 기계화율이 4.5%에 지나지 않아 특정한 두둑거리 및 재식거리를 기준함은 의미가 없으나 자동천공기 장치의 가변범위 설계를 위한 기초자료로 활용하기 위해 조사된 사항은 다음과 같음 (Table 5).

Table 5. 재식밀도 현황조사

순번	주간	조간	용도	지역	개체수	출처
1	70	15	장류	전국	2	농촌진흥청. 2011. 적정 재식밀도로 제시
2	60	10	나물	남부	2	
3	70~60	15~20			2	농촌진흥청. 2011. (3)5월 중하순 및 (4)6월 중하순 재식밀도로 제시 (재배환경에 따라 변경토록 제시)
4	70~60	10~15			2	
5	70	20		전국	2	농촌진흥청. 2011. 논에 콩 파종기준으로 제시
6	60	15	장류		2	작물시험장. 2002. 논에서 장류(태광) 기준으로 제시. 장류 70*15, 나물 60*15를 제시
7	70	15	장류		2	
8	60	20	장류		2	
9	70	20	장류		2	
10	60	25~30	밥밀용	안동	2	안동농협. 2015. 밥밀용(청자) 기준으로 제시
11		20~25			1	네이버 블로그 텃밭의 커피향. 2015. 이식(백태, 서리태)의 기준으로 제시
12	60	20~25		익산	2	익산농업기술센터. 2015. 육묘이식 2모작 기준으로 제시
13	60	15		전국	2	전국농업기술센터. 2015. 적기파종 표준재식밀도로 제시
14	60	30		전국	2	전국농업기술센터. 2015. 관행파종 표준재식밀도로 제시
15	60	10		전국	2	전국농업기술센터. 2015. 2모작 파종 표준재식밀도로 제시
16	60	20~30		전국	2	전국농업기술센터. 2015. 2모작 관행파종 표준재식밀도로 제시
17	50~60	20	장류			다음 블로그 알콩달콩 귀농생활. 2015. 장류(선유) 파종경험
18	70~80	20	장류			
19	60	15~20			2	작물시험장. 1모작 표준 재식밀도로 제시
20	60	10			2	작물시험장. 2모작 표준 재식밀도로 제시
21	70~75	20			2	다음카페 농사를 사랑하는 모임. 2015. 70~75*20 경장이큰 품종(대원, 태광, 황금), 60~65*20 경장이 짧은 품종(대풍, 새울), 75~80*30 옷자람 심하고 생육기가 긴 품종(서리태, 쥐눈이) 기준으로 제시
22	60~65	20			2	

23	75~80	30	2	
24	80	20	2	자연과 콩. 2015. 태광, 황금, 청자 재식밀도로 제시
25	65~70	20	2	자연과 콩. 2015. 대풍 재식밀도로 제시
26	60	20	2	자연과 콩. 2015. 풍산나물 재식밀도로 제시
27	80~90	30	2	자연과 콩. 2015. 서리태, 쥐눈이 재식밀도로 제시
28	80~90	20	2	다음 블로그 감주공와송. 2015. 표준 재식밀도로 제시
29	75~80	20	2	도토리묵밥. 2015. 태광, 대원, 황금 재식밀도로 제시
30	80	30	2	도토리묵밥. 2015. 서리태 재식밀도로 제시
31	60	20	2	도토리묵밥. 2015. 대풍, 세울 재식밀도로 제시
32	70	20	2	작물과학원. 2007. 청자 안동지역 실험에서 수량성 높음 제시
33	70	30	2	작물과학원. 2007. 서리태 안동지역실험에서 수량성 높음 제시
34	70	30	2	작물과학원. 2007. 청자 파주지역 실험에서 수량성 높음 제시
35	75~80	20	2	두리농장. 2015. 서리태 재식밀도로 제시
36	75~80	20	2	콩토피아. 2015. 재식밀도로 제시

※ 조사된 재식밀도의 범위는 주간 60~90 cm, 조간 10~30 cm의 분포를 보임. 재배현장에서는 농촌진흥청 제시 재식밀도 보다 20% 길게 파종하는 농가가 많은 것으로 파악됨.

2) 두둑환경

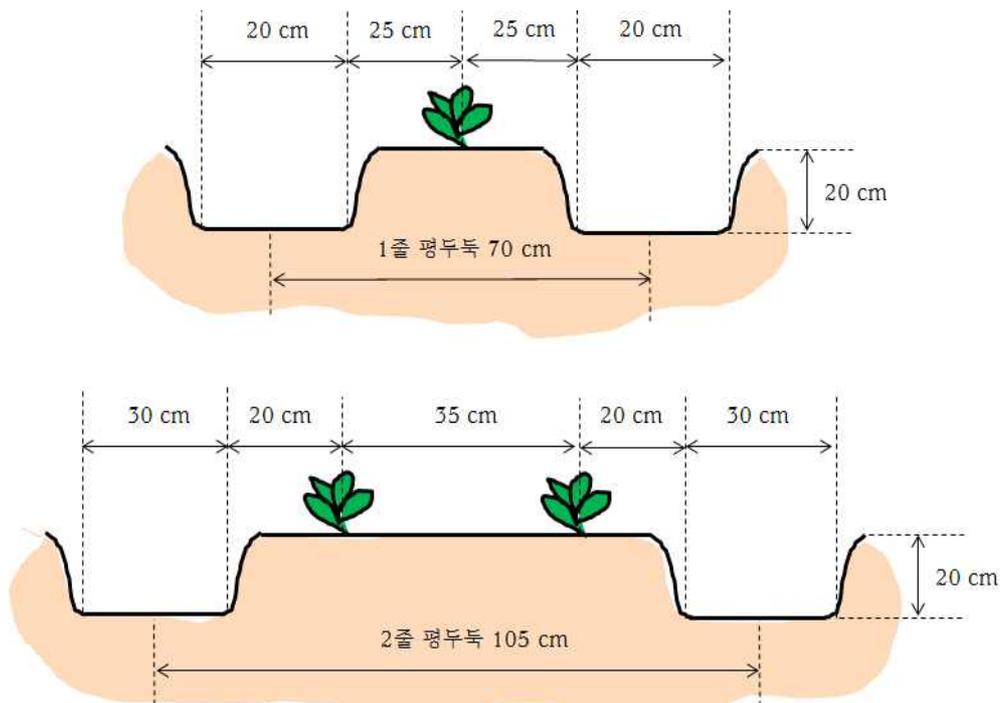


Fig. 5. 천공기 제작의 장치가변에 사용된 콩 재배지 기준 두둑 형상

◇ 두둑환경은 개발되는 자동천공기가 진입하는 전제조건으로 비닐피복 기계화율 62%와 파종 (옥 묘이식 및 수동파종기 포함) 기계화율 4.5%를 종합하여 판단하면 멀칭비닐을 피복한 후 인력으로 막대기 등으로 천공하고 인력 파종하는 것이 95% 이상 대부분이고 나머지가 점파종 형태의 수중 파종기를 사용하는 것으로 유추할 수 있는데 파종방법은 임의적, 자의적임. 다음의 그림. 5은 평균적인 두둑형상으로 70*20 cm의 1줄 파종형태와 105*20 cm의 2줄 파종형태 (안마 수확기 체계)를 가정한 것으로 평균 두둑 높이는 20 cm로 설정하였음 (Fig. 5).

◇ 다음의 Table 6, Table 7, Fig. 6는 상용 휴립 피복기의 작업성능 및 재배농가 두둑형상임.

Table 6. 상용 비닐피복기의 두둑형성 사양 (콩 두둑환경에 진입할 수 있는 모델 조사)

제조사	형식	동근두둑				평두둑			
		폭 (mm)		높이 (mm)		아랫폭 (mm)		높이 (mm)	
		최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
아세아텍	AF-300	400	700	210	300	580	900	150	180
대성농기계	DS-B2	600	850	200	300	-	-	-	-
	DS-B002	-	-	-	-	1350	1600	150	300
블스	BG-800B	-	-	-	-	500	600	250	-

※ 현재 콩 재배지 두둑성형은 4~6.5 hp의 관리기를 이용하여 작업하는 것으로 파악되었고 두둑의 높이는 토양의 자갈함량에 따라 동일 주행속도에서 차이가 발생하고 있음.

Table 7. 재배농가 두둑성형 형태

순번	높이	두둑폭	헛골	재식주	개체수	출처
1	20~30	130	30	2	2~3	삼정태두농장.2014. 논에 콩 콤바인 사용 백태의 적정 두둑 제시
2	10~20	110	30	2	2~3	삼정태두농장.2014. 밭에 콩 콤바인 사용 백태의 적정 두둑 제시
3	30	150	30	2	2~3	삼정태두농장.2014. 논에 콩 콤바인 사용 서리태의 적정 두둑 제시
4	10~20	150	30	2	2~3	삼정태두농장.2014. 밭에 콩 콤바인 사용 서리태의 적정 두둑 제시
5	10~15	-	-	-	2	네이버 블로그 텃밭의 커피향. 2015. 백태, 서리태. 물 빠짐이 나쁜밭
6	20	105	30	2주	2	다음 블로그 알콩달콩 귀농생활. 2015. 2조식 콩 콤바인 기준 제시





Fig. 6. 다양한 형태의 콩 재배지 두둑형상

다) 콩밭 공간특성 해석

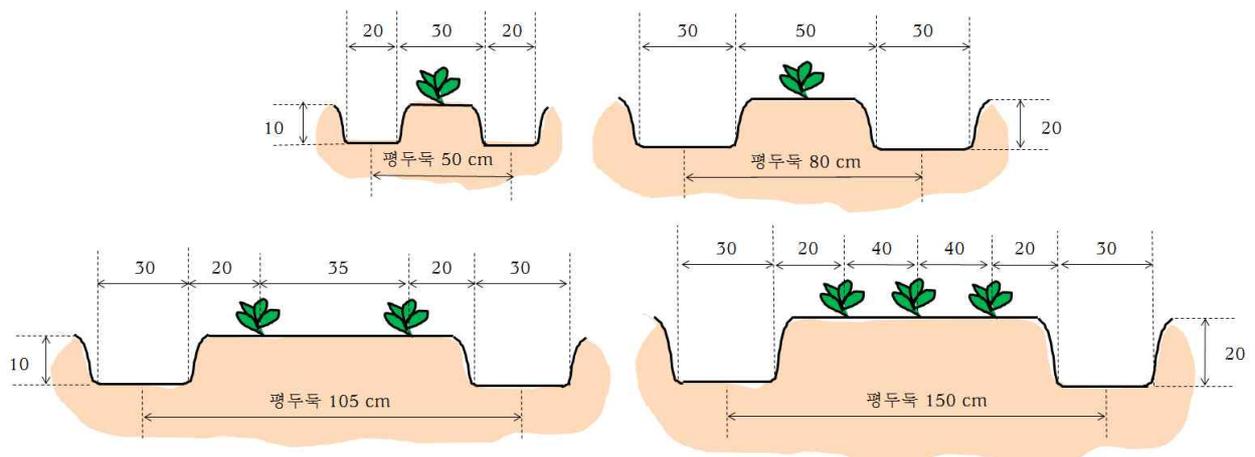


Fig. 7. 콩 재배지 두둑형상의 최소, 최대 규격

◇ 조사된 재식밀도의 범위는 주간 60~90 cm, 조간 10~30 cm 사이에서 분포하고 있고 두둑형상은 높이 10~30 cm, 헛골폭 30 cm 범위였는데 거의 대부분이 1본 2개체를 파종함 (Fig. 7).

◇ 주간, 조간의 경우 서리태, 쥐눈이를 파종한 1곳을 제외하고는 모두 주간 60~80 cm의 범위였

고 조간의 경우 10~30 cm 범위였는데 서리태 1 품종만이 30 cm로 파종한 결과를 보였는데 이는 농촌진흥청에서 표준재식밀도로 제시한 주간 70 cm은 평균치로, 조간 20 cm는 최대치로 산정되는 결과를 보였음. 또한 두둑 높이는 10~30 cm의 범위였는데 30 cm는 논에 콩을 파종하는 경우로 10~20 cm 높이가 보편적인 재배양식으로 조사되었음.

- ◇ 천공기 설계를 위한 조사로 두둑환경의 최소 및 최대치의 기준은 1줄 평두둑 기준으로 최소(주간 50 cm 조간 10 cm, 두둑높이 10 cm)에서 최대(주간 80 cm, 조간 20 cm 두둑높이 20 cm)까지이고 2줄 평두둑 기준으로 최소(주간 105 cm 조간 10 cm, 두둑높이 10 cm)에서 최대(주간 150 cm, 조간 20 cm 두둑높이 20 cm)로 설정하는데 내용은 다음 그림, 7과 같음.
- ◇ 조사된 두둑형상을 기초로 관리기에 부착되는 1조식 천공기는 기본적으로 커팅칼날은 최소 20 cm 이상에 장착되어야 하고 최대 10 cm 이하까지 작동되어야 하며 관리기의 주행동력으로 헛골을 주행하는 천공기의 보조바퀴의 폭은 최소 50 cm에서 최대 80 cm까지 조절할 수 있어야 됨을 확인할 수 있었으며 두둑형상에 있어 등근, 평두둑은 주간거리, 조간거리, 두둑 높이와 무관하므로 고려하지 않았음.

(3) 작업기 형태별 천공기 프레임 설계

- ◇ 천공기 프레임은 상용 관리기에 다음 그림과 같이 핀 연결 방식으로 연결되고 보조바퀴로 지지되면서 부착되어 가동되도록 하는 것은 전제로 하는데 관리기, 비닐피복기 등에 부착이 가능하도록 설계함. 대상 관리기는 전방 혹은 후방에 부착 작업기를 장착할 수 있는 헛치판 조합이 있는 제품을 기본으로 함 (Fig. 8).

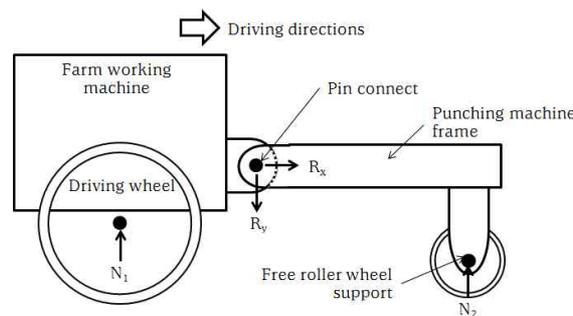


Fig. 8. 관리기와 천공기 프레임 기본 결합 개념도

- ◇ 천공기 프레임은 관리기 본체의 헛치판에 핀 연결 방식으로 체결되고 천공기 전방의 보조바퀴에 의해 지지 될 수 있는 프레임 구조를 갖도록 설계되는데 공압형식 프레임에서는 상부에 콤프레샤 및 밧데리 (기존 관리기 밧데리와 병렬 연결하여 관리기에 장착된 레귤레이터로 충전), 공압 실린더 등 천공장치와 제어판넬이 설치됨. 현재 상용 관리기에 장착되어진 충전식 밧데리는 12V 용 8~10AH 용량으로 0.5kW 내외의 시동모터를 작동시키기 위한 용도로 용량이 부족하여 콤프레샤 가동을 위해 80AH 용량의 밧데리를 장착함.

가) 천공기 장착 대상 주요 상용 관리기 분석 (Table 8)

Table 8. 천공기 장착 대상 주요 상용 관리기의 특징

모델	용도	적용
 AMC-series	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 관리기의 동력을 이용하여 구굴, 로타리, 굴취, 예취, 두둑성형, 배토, 피복, 쟁기작업 등 농작업에 이용됨. ✓ 전기시동식으로 밧데리 (DC 12V용 9AH) 및 레귤레이터가 장착기종임. ✓ 보편적 밧작물 농기계임. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 자동천공기는 관리기의 GL+ 550±10 mm 높이에 설치되어 있는 힛치판 조합에 장착하는 것을 기본으로 함. ✓ 적용되는 휠은 밧 재배지에 주로 사용되는 반경 385 mm 내외의 고무바퀴를 기준함.
 AM 비닐피복기	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 관리기 전방에 장착하여 후방 주행방식으로 두둑형성 및 비닐피복작업에 이용됨. ✓ 비닐피복기는 관리기 본체의 탈부착 가능한 작업기임. ✓ 고추, 마늘, 콩 등 전작물의 해당 농작업에 사용됨. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ AM 기종류의 비닐피복기를 장착할 수 있는 관리기의 L형 취부대 위치(힛치판 조합)에 천공기의 핀 연결부를 결합하여 장착하는 것을 기본으로 함. ✓ 높이는 GL+ 550±10 mm
 TKC-series	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 관리기의 동력을 이용하여 구굴, 로타리, 굴취, 예취, 두둑성형, 배토, 피복, 쟁기작업 등 농작업에 이용됨. ✓ 전기시동식으로 밧데리 (DC 12V용 9AH) 및 레귤레이터가 장착기종임. ✓ 보편적 밧작물 농기계임. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 자동천공기는 관리기의 GL+ 550±10 mm 높이에 설치되어 있는 힛치판 조합에 장착하는 것을 기본으로 함. ✓ 적용되는 휠은 밧 재배지에 주로 사용되는 반경 385 mm 내외의 고무바퀴를 기준함.
 보행형 농기계	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 대표적 관리기 이외에 콩 재배지의 두둑환경에 적용할 수 있는 농업용 관리기 및 차량을 포함한 기종에 적용 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 자동천공기를 포함하여 주행능력을 확보할 수 있는 5 hp 이상의 동력이 필요함. ✓ 자동천공기는 GL+550±10 mm 높이의 힛치판 조합에 장착하는 것을 기본으로 함. ✓ 전원공급이 가능한 전기구동식이어야 함.

나) 관리기 전방 및 후방 힛치판 조합의 분석

◇ 2013년 기준으로 국내에 공급된 농업용 관리기는 187천 대이고 최근 5년간 년 평균 공급대수는 1,539대임. 관리기는 기계의 특성상 전방 혹은 후방에 20~100 kg의 작업기를 장착하고 농작업을 하는 장비로 전방 힛치판 조합과 후방 힛치판 조합을 기본 장착하고 있는데 다음 그림과 같음. 힛치판 조합은 6~10 mm의 프레임에 14~16 mm의 핀 구조와 이를 보조하는 보조 프레임을 체결하는 구조를 지님 (Fig. 9).

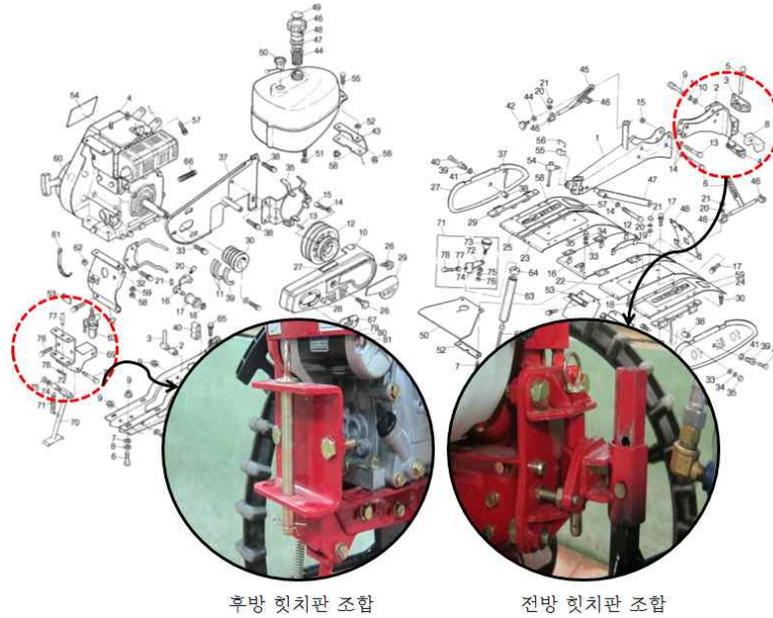


Fig. 9. 아세아텍 800, 880 Series 관리기 전방 및 후방 힛치판 조합

◇ Fig. 9에서 보듯이 전방 힛치판 조합은 10 mm의 메인 프레임에 12 mm의 보조 프레임 (16 mm 핀 고정)과 이에 지지하며 작업기와 체결하는 부분인 육각봉에 관리기의 연결취부를 핀으로 고정하는 방식으로 구굴, 로타리, 쟁기작업 등 많은 부하를 받는 작업기의 부하를 받는 역할을 함. 관리기축 육각봉은 40H, 작업기축 체결용 육각봉은 32H의 규격에 3.2 mm의 두께로 1.6 mm의 유격을 갖는 상태에서 9 mm의 핀으로 결합됨. 후방 힛치판 조합은 6 mm의 「ㄷ」 자 프레임에 16 mm 핀 고정하는 방식으로 전방 힛치판 조합에 비해 비교적 부하가 적고 크기가 작은 농작업 작업기를 장착하는 방식으로 95*130 mm의 판 형태에 핀으로 연결이 가능함.

◇ 일반적으로 사용되는 관리기와 작업기의 조립 예 (태광공업사)는 다음과 같음.



구굴기



비닐 피복기



심경로타리



디스크 모어



제초기



프라우

- ✓ 상용 관리기에 작업기는 관리기 본체 프레임 수평유지 상태에서 결합.
- ✓ 관리기의 국제적으로 1축 트랙터로 분류되는데 사유는 여러 농작업장치의 부착에 있음.

- ✓ 고무차륜 (직경 770 mm) 기준함 (철차륜 860 mm, 고무바퀴 400 mm).
- ✓ 고무차륜 장착 관리기 본체와 토양 사이의 높이는 270 mm로 .두독진입 가능함.
- ✓ 관리기에 부착되는 작업기는 통상 50~100kg 내외의 중량임.

다) 천공기 프레임 장착품 구성

◇ 콤프레샤의 사양은 다음과 같음

- 이동식 본체로 DC 12V용 장치로 구성
- 안정적인 에어 공급을 위해 24L의 에어탱크로 구성
- 작동압력 하한은 $6 \pm 1 \text{ kgf cm}^{-2}$ 에서 작동
- 작동압력 상한은 $10 \pm 1 \text{ kgf cm}^{-2}$ 에서 멈춤
- 작동동력 746W
- 개별중량 17kg

◇ 밧데리의 사양은 다음과 같음

- 이동식 본체로 DC 12V용 장치로 구성
- 안정적인 전원 공급을 위해 Deep cycle (심방전용)로 구성
- 적용성능은 AH (20 hr-70), RC (min-120)로 작동
- 충전지시계 부착으로 장치의 충전상태 가능한 구성
- 노천 노출에 따른 내부식성 기능의 장치로 구성
- 개별중량 20.3kg

◇ 천공장치의 사양은 다음과 같음

- 공압실린더와 커팅칼날, 높이조절 브라켓, 평기어, 렉기어, 롤러베어링으로 구성
- 두독환경에 따라 250 mm 기준으로 상하 각 60 mm 조정
- 작물인식에 따라 장치중양선을 기준으로 좌우 각 100 mm 조정
- 추가 높이조정은 히치판 조합 육각봉 및 보조바퀴 지지대 높이조절 기능을 사용
- 커팅칼날에서 고무차륜 및 보조바퀴 접지점의 수직높이를 250 mm 기준
- 개별중량 4.5kg

◇ 보조 바퀴의 사양은 다음과 같음

- 회전형 바퀴는 알루미늄 코어와 우레탄 재질로 구성
- 전체높이 362 mm, 바퀴 (외경 250 mm, 폭 60 mm, 경도 $95 \pm 2 \text{ Shore A}$)
- 스프링 경도 65° 에서 바퀴는 30 mm의 충격 흡수능력 기준
- 최대 허용주행속도 5.5 m sec^{-1} , 허용하중 $1,350 \text{ kg each}^{-1}$
- 보조바퀴는 □40 mm의 지지대에 의해 천공기 프레임에 고정
- 개별중량 2kg

라) 천공기 프레임 설계

- ◇ 프레임은 히치판에 핀으로 결합되고 관리기와 결합되고 보조바퀴에 의해 지면에 지지되며 상부에 콤프레샤, 밧데리, 천공장치, 제어판넬이 장착되는 구조임. 프레임 상부에는 41.8 kg의 중량 물이 장착되는데 콤프레샤 (17 kg), 밧데리 (20.3 kg), 천공장치 (4.5 kg) 및 프레임 14.74 kg이

관리기 본체와 수평상태로 구성되며 각 허용하중 1,350 kg의 좌우측 보조바퀴 2개로 관리기에
서 전달되는 주행동력까지 지지됨.

- ◇ 1조식 천공기 프레임 조합으로 각 구성장치 및 Open section, 보조바퀴 지지대, 하부 지지구조
대의 구성위치는 다음과 같음 (Fig. 10).

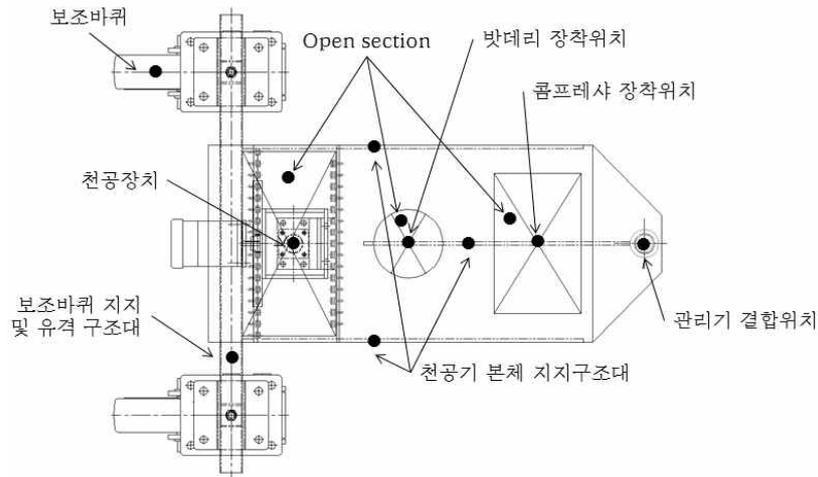


Fig. 10. 1조식 천공기 프레임 조합

- ◇ 천공기 프레임에 지지되는 천공장치의 주행에는 현장효율 70%를 적용한 상태에서 관리기 동력
1 hp 이하가 소요되는데 이의 산정 수식은 다음의 식 (1)~(7)과 같음. 천공기 본체 56.54 kg을
견인할 수 있는 순견인력을 이용한 관리기의 소요동력은 천공기 자중과 천공기의 운동저항을 극
복할 수 있는 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark NT = GT - MR \quad (1)$$

where NT : Drawbar pull (kN)
 GT : gross traction (kN)
 MR : motion resistance (kN)

- ◇ 관리기의 순견인력 식은 천공기 피구동륜 슬립이 없는 상태로 식은 다음과 같음.

$$\checkmark NT = MR_B \quad (2)$$

where MR_B : Motion resistance of punching machine (kN)

- ◇ 운동저항은 Wismer & Luth (1972)의 운동저항 식을 이용하여 천공기의 차륜지수 (C_{nB})를 천공
기의 운동저항 (MR_B)에 대입하여 소요 견인력을 계산함.

$$\checkmark MR_B = (PL_T + W_T) \left(\frac{1.2}{C_{nB}} + 0.04 \right) \quad (3)$$

$$\checkmark C_{nB} = \frac{CI b_B d_b}{(PL_T + W_T)/2} \quad (4)$$

where PL_T : Weight of punching machine (kN)

W_T : Weight of punching machine (kN)

C_{nB} : Wheel numeric of punching machine

b_B, d_B : width and diameter of assistance wheel

◇ 천공기 운용에 따른 관리기 차축소요 동력 식은 다음의 식으로 계산함.

$$\checkmark Power_{axle} (kW) = \frac{\text{required Power of farm machine}}{\eta_{axle}} \quad (5)$$

$$\checkmark Power_{farm\ machine} (hp) = (Power_{axle}) \times 1.341 \quad (6)$$

$$\checkmark Power_{field} = \frac{Power_{farm\ machine}}{\eta_{field}} \quad (7)$$

where η_{axle} : 0.77~0.80(Frank and Grisso, ASAE, 2003)

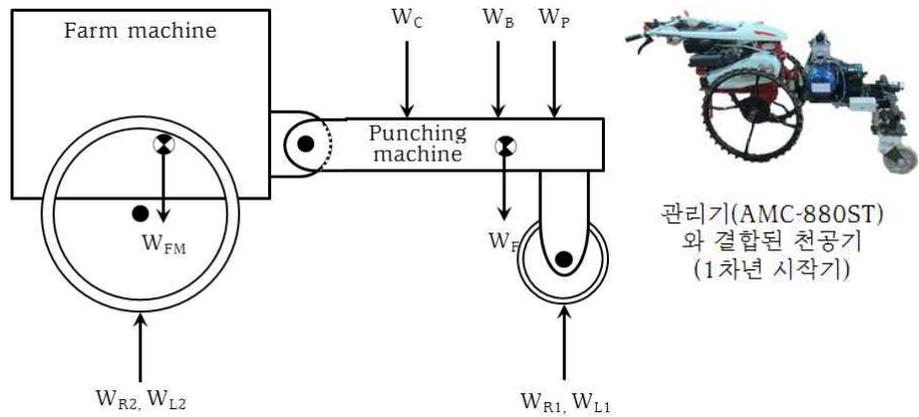
1.341 : 동력변환계수

η_{field} : general field efficiency 0.7 (ASAE, 2004)

◇ 천공기 프레임에 사용된 재질은 SS41로 메인 프레임 6 mm, 관리기 결합부 마름모 형상 9 mm, 본체 중앙 지지대 9 mm로 설계되었고 처짐과 뒤틀림을 막기 위해 본체 측면 지지대 6 mm로 설계되었고 전체적인 차중을 줄이기 위해 전체 후레임 단면적의 18.8%인 3 포인트에 48,12 mm²의 개구부를 적용함.

마) 천공기 프레임 분석

◇ 관리기와 결합된 천공기 시스템은 관리기 (로타리 제외) 자중 W_{FM} 154.5 kg과 천공기 자중 W_F 54.84 kg이 결합되어 전체 차중은 211.04 kg임. 개별 차륜의 무게는 관리기 우측차륜 (W_{R2})에 80.8 kg, 좌측차륜 (W_{L2})에 76.2 kg, 천공기 우측 보조바퀴 (W_{R1})에 24.99 kg, 좌측 보조바퀴 (W_{L1})에 29.85 kg의 무게 분포를 보임. 이는 천공기 차중 3% (1.7 kg)가 관리기로 이동하는 것으로 안정적인 구조임. 천공기 좌측차륜이 우측에 비해 18.2% 많은 것은 설치된 밧데리의 중심이 좌측으로 20 mm 치우쳐 있는 것이 원인으로 분석되었고 관리기는 우측에 5.7% 무게가 치우쳐 있는 것이 우측에 구동 벨트 및 폴리가 설치되어 원인으로 분석됨 (Fig. 11).



관리기(AMC-880ST)와 결합된 천공기 (1차년 시작기)

Fig. 11. 관리기-천공기 (1조식) 시스템 중량 분포

- ◇ 사용된 SS400 구조용강 재질의 프레임은 $400\sim 510\text{ N mm}^2$, 항복강도 215 N mm^2 이상, 연실을 23% 이상의 물성치 (신원스틸, 2015)를 지님으로 설계된 프레임에 걸리는 하중의 크기는 재질의 한계치 이내로 안정적임을 확인함.

(4) 기존 천공기 활용가능성 분석

- ◇ 국내외에 진행과제의 자동천공기류의 기술 및 제품은 없는 것으로 확인되었는데 본 장에서는 유사제품으로 트랙터 및 관리기에 적용되는 파종기 및 작업기를 대상으로 하였는데 수동으로 작동되는 제품은 대상에서 제외하였음.

제품사진	주요 특징	사용 형태	적용 가능성
	[양산모델] KG-TJ6000 [제조사] 강농 [본체기능] 비닐피복파종기 [특징] 파종과 동시에 배토, 로터리, 평탄, 약살포, 비닐피복작업	트랙터 견인형	트랙터나 관리기에서 기존 작업기를 탈착하고
	[양산모델] SP540 4조 [제조사] 라이브맥 [본체기능] 파종기 [특징] 트랙터 삼점링크 부착형, 진공식 파종 기구에 의해 옥수수종자를 1점식 일정간격으로 고속파종	트랙터 견인형	천공기를 부착 가능함
	[양산모델] KDS-10MS [제조사] 지금강 [본체기능] 파종기 [특징] 파종시 점과 주간 조절가능, 트랙터 바퀴자국 매몰용 쿤평작업 스크류 장착	트랙터 견인형	

	<p>[양산모델] NNA300 [제조사] 명성 [본체기능] 파종기 [특징] 씨앗이 많이 절약됨, 쓰러짐이 적고 수확량이 산파에 비하여 많음, 해로우 쟁기 + 파종기의 기능</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] JD-20W [제조사] 장자동화 [본체기능] 파종기 [특징] 큰 종자를 파종하며 관리기/경운기에 연결하여 파종하는 방식의 원판식 파종기</p>	트랙터 견인형 작업기 견인형
	<p>[양산모델] ASK-PJ 1 [제조사] 로델코리아 [본체기능] 비닐피복파종기 [특징] 1회전시 5가지 일가능(비료, 파종, 살충, 두둑형성, 비닐 피복)</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] RFTRPL1200 [제조사] Rain-Flo [본체기능] 파종기 [특징] 비닐 위 기계식 단순 파종 기능</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] MAPOLY 2R 15H [제조사] Ferris [본체기능] 파종기 [특징] 비닐 위 기계식 단순 파종 기능</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] RTME 1100 [제조사] Renaldo [본체기능] 파종기 [특징] 비닐 위 기계식 단순 파종 기능</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] ME-500 [제조사] MT [본체기능] 파종기 [특징] 비닐 위 기계식 단순 파종 기능</p>	트랙터 견인형
	<p>[양산모델] MUL 2550A [제조사] Berry Hill Irrigation [본체기능] 비닐 멀칭기 [특징] 단순 비닐 멀칭 기능</p>	트랙터 견인형



[양산모델] HSPM
 [제조사] Kennco
 [본체기능] 비닐 멀칭기
 [특징] 단순 비닐 멀칭 기능

트랙터 견인형



[양산모델] MARF345FLATLY
 [제조사] Rain-Flo
 [본체기능] 비닐 멀칭기
 [특징] 단순 비닐 멀칭 기능

트랙터 견인형 상동

※ 개발되는 자동천공기를 기존의 파종기나 비닐피복기와 동시에 작업은 가능하나 작업의 편리성 및 유류소비 등 경제성과 작업속도, 선회반경 등 사용 편리성을 고려하여 기존의 작업기를 탈착하고 개발되는 자동천공기를 부착하는 것이 타당할 것으로 판단됨. 상용 트랙터의 최저 주행속도 0.16 km hr^{-1} (4.4 mm sec^{-1})~ 0.8 km hr^{-1} (22 mm sec^{-1})는 자동천공기 가동에 충분한 속도와 충분한 동력을 지니고 있으므로 적용에 타당성을 지니고 있음.

(5) 커팅 메카니즘 기구적 구성 및 검증

◇ 국내의 콩 재배는 일반적으로 노지에서 재배되고 있으며, 늦은 봄부터 초가을까지 재배되고 있음. 재배환경 및 작업형태를 고려한 관리기 주행동력을 이용하는 멀칭비닐 천공 장치는 비닐 천공과 동시에 토양에 물리적 힘을 가하면서 천공작업을 수행함으로 작업기 속도분석 및 멀칭비닐 분석을 기초로 기구적인 커팅 메카니즘을 구성함.

가) 상용 관리기의 작업속도 분석

◇ 작업속도 분석은 상용 관리기 중에서 개발 예정 적용기종인 5.0 hp 전후의 모델을 보유하고 있는 아세아텍, 태광공업사, 성도농업기계를 대상으로 분석하였는데 아세아텍 5기종 (AMC-880, 880ST, 880SM, 900, 900SM), 성도농업기계 1기종 (SP600D), 태광공업사 5기종 (TKC-550, 650, 650E, 750, 750E) 등 11기종을 대상으로 함. 전체적으로 대상기종의 소비자가는 2,120~3,400천 원 범위였음 (Table 8).

Table 8. 상용 관리기 작업속도 (2015. 7.)

구분	정격출력(kW/RPM)	주행변속	최저작업속도
AMC-880	4.8/1800	전진 4단, 후진 4단	0.38 m sec ⁻¹
AMC-880ST	4.8/1800	전진 4단, 후진 4단	0.38 m sec ⁻¹
AMC-880SM	4.0/1700	전진 4단, 후진 4단	0.38 m sec ⁻¹
AMC-900	4.8/1800	전진 4단, 후진 4단	0.38 m sec ⁻¹
AMC-900SM	4.8/1800	전진 4단, 후진 4단	0.38 m sec ⁻¹
SP600D	6.3/1800	전진 2단, 후진 1단	0.44 m sec ⁻¹
TKC-550	5.0/1800	전진 4단, 후진 4단	0.39 m sec ⁻¹
TKC-650	6.5/1800	전진 4단, 후진 4단	0.39 m sec ⁻¹
TKC-650E	6.5/1800	전진 4단, 후진 4단	0.39 m sec ⁻¹
TKC-750	7.0/1800	전진 4단, 후진 4단	0.39 m sec ⁻¹
TKC-750E	7.0/1800	전진 4단, 후진 4단	0.39 m sec ⁻¹

- ※ 상용 관리기의 최저 작업 주행속도는 0.38~0.39 m sec⁻¹이 주종을 이루고 있음.
- ※ 상용 관리기는 전방 및 후방에 힛치판 조합품이 있어 천공기를 결합할 수 있는 구조임.
- ※ 천공기는 오로지 관리기의 주행력과 밧데리의 병렬연결로 동력을 이용하는 구조임.

나) 멀칭 비닐의 분석

◇ 멀칭비닐의 선택은 선행연구자 (Xiangchen Liu et al, Selection of Thickness of High Density Polyethylene Film for Mulching in Paddy Rice. 2013. American Journal of Plant Sciences 4(7))의 HDPE 필름 두께에 따른 효과분석 연구를 참조하여 국내에서 콩 재배지 멀칭비닐로 가장 많이 사용되고 있는 흑색 0.015 mm를 선택. 선행연구자의 두께별 작물 및 토양환경의 분석결과는 다음과 같음.

- ✓ 잡초 발생량 및 질량은 비닐두께(5->20 μ m)가 두꺼워질수록 감소함.
- ✓ 멀칭비닐 아래의 토양 온도 및 함수율은 비닐두께에 큰 차이가 없음.
- ✓ 멀칭비닐이 두꺼워지면 작물의 키에 끼치는 영향은 적음.
- ✓ 멀칭비닐이 두꺼워지면 작물의 천립중 및 생산량에 영향은 적음.

◇ 국내에서 밧작물 재배지의 멀칭비닐은 년 간 4.5만 톤 정도가 사용되고 있는데 잡초억제 및 지온상승, 토양수분 저장, 수확량 증대의 목적으로 적용되고 있는데 주로 흑백, 배색, 흰색, 투명비닐로 유공처리 된 것과 안 된 것이 사용되고 있음. 특히, 콩 재배지에서는 흑색 및 배색비닐이 주로 사용되고 있는 것으로 파악되고 재배지의 설치 예는 다음 그림. 12와 같은데 작물별로 사용비닐이 목적에 따라 특정적임 (Fig. 12).



Fig. 12. 멀칭비닐의 종류

- ◇ 국내의 멀칭비닐의 물성은 다음과 같은데 HDPE의 경우 인장강도 (Tensile strength)는 횡방향의 경우 566 kgf cm^{-2} , 종방향의 경우 864 kgf cm^{-2} 이며 인열강도 (Tear strength)는 횡방향의 경우 263 kgf cm , 종방향의 경우 269 kgf cm 이고 신장율은 횡방향 581%, 종방향 449%로 전체적으로 종방향의 물성이 강한 것을 알 수 있음 (주사용 멀칭비닐은 LDPE) (Table 9).

Table 9. 멀칭비닐의 물리적 성질 (일신화학공업, 2013)

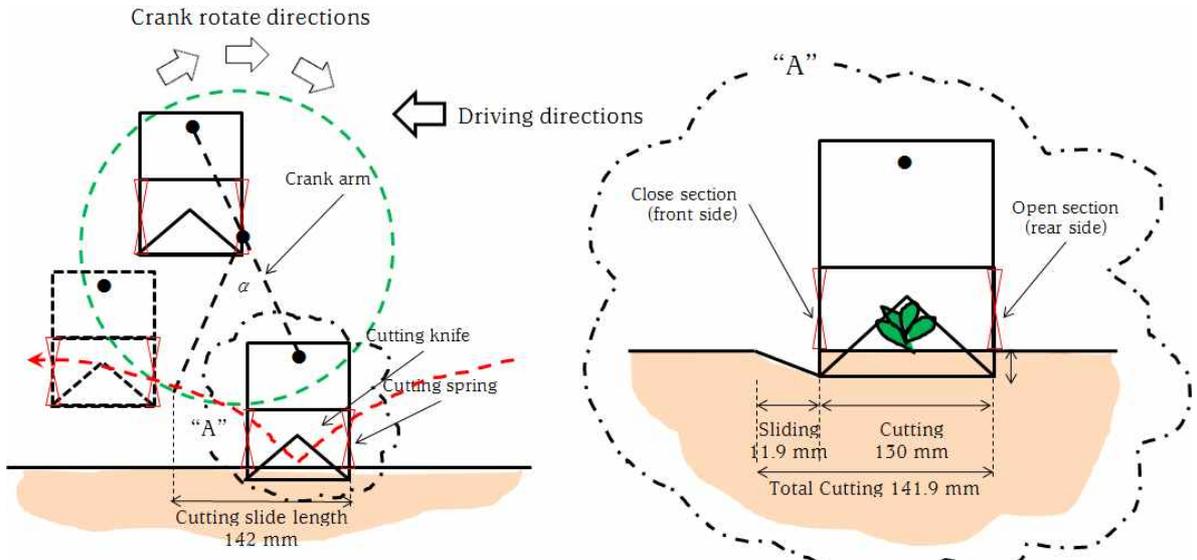
구분	두께 [μm]	인장강도[kgf cm^{-2}]		인열강도[kgf cm]		신장율[%]	
		TD	MD	TD	MD	TD	MD
Bio-film(KR)	15	356	465	192	164	720	228
Bio-film(JP)	15	269	344	195	182	490	313
LDPE	20	248	276	172	157	758	613
HDPE	15	566	864	263	269	581	449

다) 커팅 메카니즘 설계

- ◇ 기본적으로 커팅 메카니즘의 구성은 최대치인 HDPE 기준으로 최대 인장강도인 864 kgf cm^{-2} 이상의 물리적인 힘을 토양환경의 멀칭비닐에 가할 수 있어야 됨을 전제로 함. 그러나 커팅장치에 있어 HDPE 기준으로 최대 인열강도인 269 kgf cm 이상의 물리적인 힘을 토양환경의 멀칭비닐에 가하면 천공이 가능할 것으로 판단됨. 또한 커팅 순간에 커팅장치의 속도를 높여 멀칭비닐에 가하는 순간 충격량을 높이는 것이 중요하므로 비닐접촉 순간의 스트로크 (공압) 적정위치 설정이 중요할 것으로 판단됨.

라) 커팅 메카니즘의 기구학적 설계 (A-크랭크)

- ◇ 크랭크 커팅 메카니즘은 기본적으로 전동모터의 구동력을 이용하는 크랭크의 회전력으로 매 0.5 초 사이클에 커팅칼날이 멀칭비닐을 천공하고 동시에 토양을 천공기 전진방향으로 11.9 mm를 전진방향으로 슬라이딩하면서 총 142 mm를 밀어 올리는 메카니즘으로 설계. 커팅날(사각 큰 톱니형상)은 크랭크 원주 회전속도인 $2,073 \text{ mm sec}^{-1}$ 로 멀칭비닐과 토양에 임팩을 가하면서 천공토록 설계함 (Fig. 13, Fig 14).



- Punching cranks drive speed : 0.19 m sec^{-1} ($1.9 \text{ mm } 0.01 \text{ sec}^{-1}$)
- Crank cycle time (120 cpm) : $0.5 \text{ sec each}^{-1}$
- Crank impact time (slide) : $0.0625 \text{ sec each}^{-1}$

Fig. 13. 크랭크 커팅 메카니즘의 구성 모식도

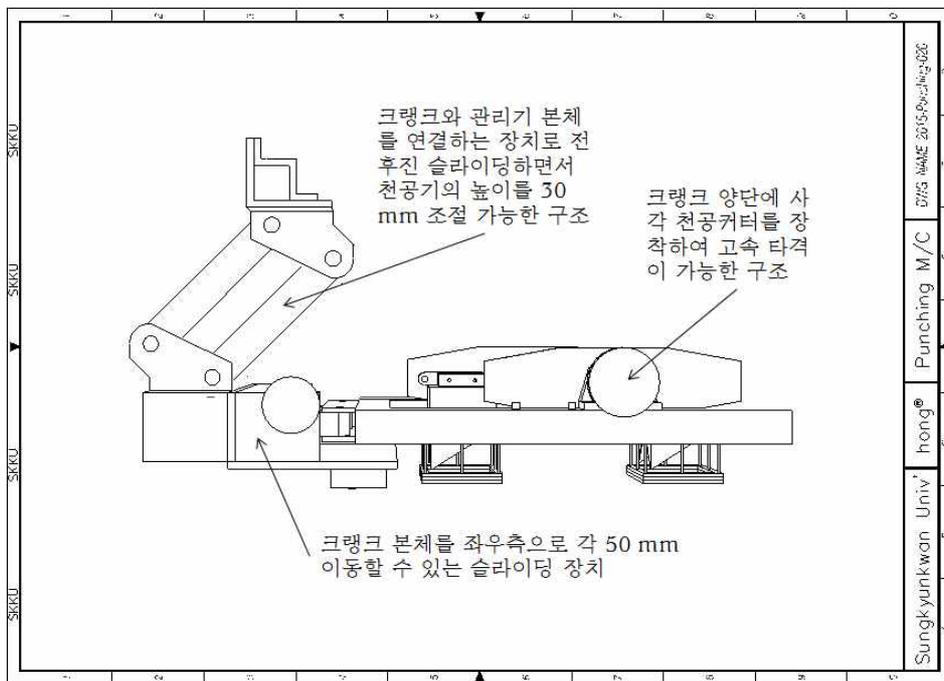


Fig. 14. 크랭크 커팅 메카니즘의 구성도

- ✓ 천공기의 정격 주행속도는 0.19 m sec^{-1} 로 설정 ($10 \text{ are } 3 \text{ hr}^{-1}$).
- ✓ 천공작업 능률은 $120 \text{ times min}^{-1}$ 로 설정.
- ✓ 천공면적 : $16,900 \text{ mm}^2$, 커팅면적 : 390 mm^2 , 토양절단면적 : $38,675 \text{ mm}^3$

◇ 크랭크 커팅 메카니즘의 기구학적 설계에 적용된 수식은 다음과 같음.

✓ 행정거리 : $S = 2r$

(1)

$$\checkmark \text{ 천공커터 속도} : v = \omega r \left(\sin\theta + \frac{\lambda \sin 2\theta}{\sqrt[3]{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}} \right) \quad (2)$$

$$\checkmark \text{ 천공커터 가속도} : \alpha = \omega^2 r \cos\theta + \left(\frac{\lambda \cos 2\theta + \lambda^3 \sin 4\theta}{(1 - \lambda^2 \sin^2 \theta)^3} \right) \quad (3)$$

마) 커팅 메카니즘의 기구학적 설계 (B-공압)

◇ 공압 커팅 메카니즘은 기본적으로 복동형 실린더 피스톤 로드의 속도에 연관되는데 실린더는 9.9 kgf cm⁻²의 사용압력으로 0.1 초에 down 및 up공정 사이클을 수행하는 동안 커팅장치는 멀칭비닐을 천공하고 동시에 토양을 천공기 전진방향으로 9.5 mm를 아랫방향으로 9.5 mm를 윗방향으로 총 19 mm 밀어 올리는 메카니즘으로 설계. 커팅날 (사각, 원형, 육각)은 사용 피스톤 최대속도인 500 mm sec⁻¹에 근접한 속도에서 멀칭비닐과 토양에 임팩을 가하면서 천공토록 설계함 (Fig 15).

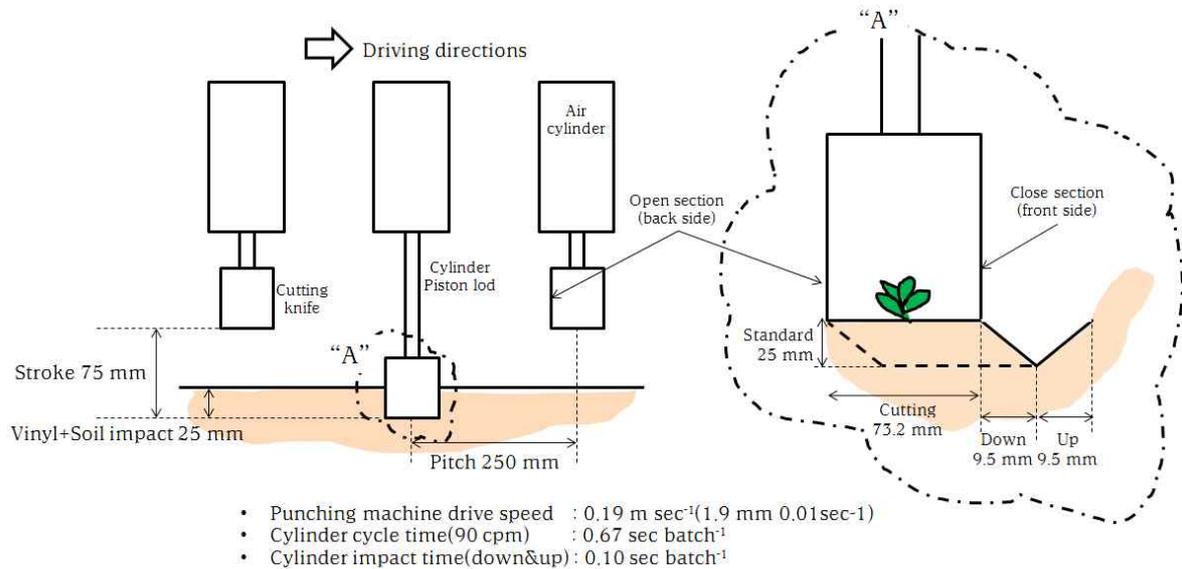


Fig. 15. 공압 커팅 메카니즘의 구성 모식도

- ✓ 천공기의 정격 주행속도는 0.19 m sec⁻¹로 설정 (10 are 3hr⁻¹).
- ✓ 천공작업 능률은 90 times min⁻¹로 설정.
- ✓ 천공면적 (사각 : 5,592 mm², 원형 : 4,167 mm², 육각 : 5,055 mm²)
- ✓ 커팅면적 (사각 : 692 mm², 원형 : 576 mm², 육각 : 636 mm²)
- ✓ 토양절단면적 (사각 : 18,145 mm³, 원형 : 17,813 mm², 육각 : 20,952 mm²)

◇ 실린더의 행정거리 오차 1 mm 이내로 내부에 에어 큐션밸브 내장형으로 천공 (멀칭비닐+토양 충격)에 의한 충격을 흡수하도록 하고 천공기 주행에 따른 힘하중은 절삭된 토양의 체적에서 받는 하중으로 계산함. 천공시 멀칭비닐 하부의 초엽은 절단커터의 중앙부에 위치하도록 하고 칼날의 후방면을 개구부로 하여 토출하는 절삭토양이 초엽에 영향을 주지 않도록 설계함 (Fig 16).

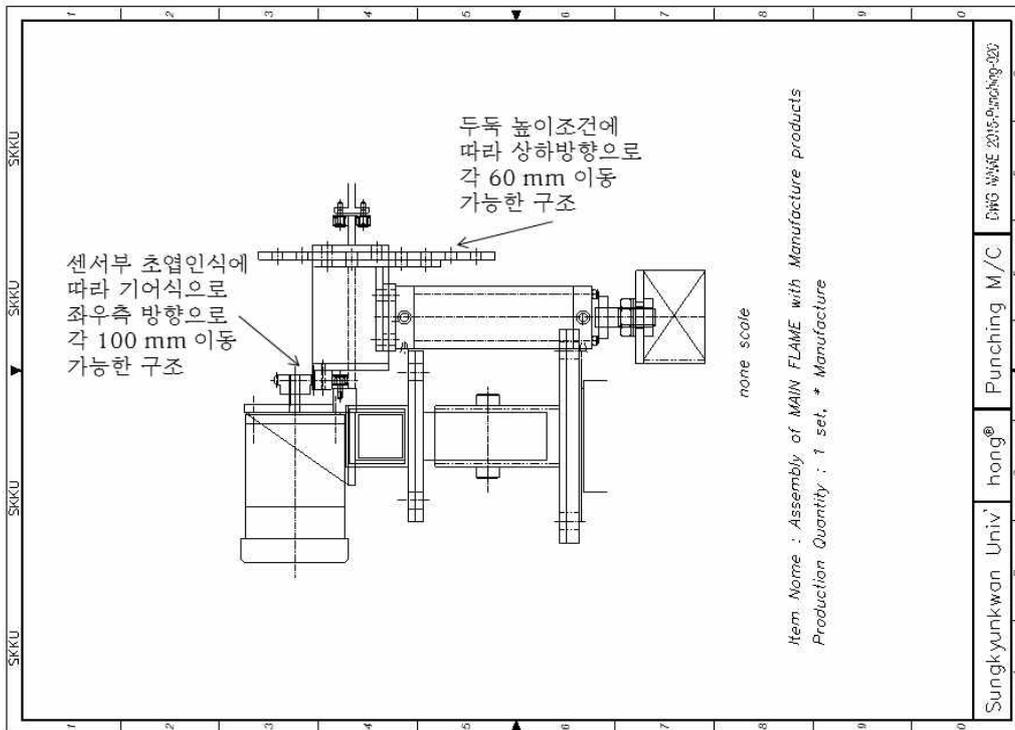


Fig. 16. 공압 커팅 메카니즘의 구성도

(6) 작업기 (1조, 다조) 천공기 실시설계 (공압식)

- ◇ 천공부 요인실험장치에 적용된 구동방식은 공압식으로 1조 및 다조설계를 통하여 토양환경에서 멀칭비닐의 천공특성을 파악하는 것이 주요 목적으로 하여 실시설계에서 주요구성 요소인 콤프레샤 및 실린더, 커팅칼날을 이용하여 관리기 동력인 DC12V로 시스템을 제어하고 펄스 타이머를 이용한 천공작업으로 천공특성을 분석하는 것을 목표로 하였음.

가) 천공장치 공압 설계

- ◇ 장치의 설계에서 작업시의 소음, 유지보수성 등을 고려하여 적정용량 및 적정사양의 콤프레샤를 선정하고 용량산정 계산오차, 사용빈도(부하율), 배관의 압력강하, 배관접속 누설, 콤프레샤의 수명에 따른 보수 유지의 고려 등을 감안하여 설계 계산용량의 1.5~2배로 선정.

- ✓ 에어 실린더의 소요공기압력
- ✓ 필요 공기량 (대기상태 공기량)
- ✓ 공기 사용빈도(부하율%)

- ◇ 공기압축기의 선정에 필요한 공기량 산출은 에어실린더 사용에 따른 소요량을 산출하는 것을 기준하는데 실린더는 압축된 공기가 피스톤에 힘을 가하고 역행정이 이루어 질 때 압축공기가 자유공기로 배출되므로 편도 1행정일 때 실린더제적×압축비 만큼의 공기가 소비되는데 분당 수회 반복되는 복동 실린더의 필요공기량 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark Q = \frac{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \times n \times S \times P \times 2}{1000} \quad (1)$$

where d : 실린더 내경 (mm)
 S : 실린더 스트로크 (mm)
 P : 압축공기 절대압력 ($rpdwldkqfur + 1.03323 \text{ kg cm}^{-2}$)
 n : 1분당 동작횟수

나) 적정 콤프레샤 선택

◇ DC용으로 1 kg cm²의 압력을 낮추면 8%의 동력이 감소하므로 동력 최적화 필요. 작업시 높은 외기온 상태에서 작동함으로 5~10%의 공기량 추가손실이 예상. 무부하 상태에서는 65~70% 전력을 사용함으로 적정용량의 탱크가 필요. 콤프레샤 정지 상태에서도 일정시간 작업가능토록 상대적으로 큰 탱크용량 산정. 에어탱크의 충전, 토출시에 사용된 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark t = \frac{V \times (P_2 - P_1) \times 10^4}{(QN - QU) \times \gamma \times RT} = \frac{V \times (P_2 - P_1)}{(QN - QU) \times 1.18} \quad (2)$$

where V : 에어탱크 용적 (m³)
 QN : 콤프레샤 용량 (Nm³ min⁻¹)
 QU : 공기 소비량 (Nm³ min⁻¹)
 P_1 : 에어탱크 충전 (토출) 전의 압력 (kgf cm⁻²)
 P_2 : 에어탱크 충전 (토출) 후의 압력 (kgf cm⁻²)
 t : 충전 혹은 토출 시간 (min)
 γ : 표준상태 공기비중량 (1.29) (kg m⁻³)
 R : 공기의 기체상수 (29.27) (m ° K)
 T : 공기온도 최대 40°C (313) (° K)

◇ 배관의 길이를 최소화하여 배관내의 압력 강하에 계산에 사용된 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark \Delta P = \frac{0.00237 Q^2 \times L}{d^{5.31} \times (P + 0.1013)} \quad (3)$$

$$\checkmark d = \sqrt[5.31]{\frac{0.00237 Q^2 \times L}{\Delta P \times (P + 0.1013)}} \quad (4)$$

where ΔP : 배관내 압력 손실 (MPa)
 L : 배관의 길이 (m)
 Q : 유량 (L min⁻¹)
 d : 배관의 원지름 (mm)
 P : 압력 (MPa)

◇ 압력 조절밸브로 ㉠작동 초기압력은 6±1 kgf cm²⁻¹에서 작동압력 하한으로 설정. ㉡압력 조절밸브로 작동 정지압력은 10±1 kgf cm²⁻¹에서 작동압력 상한으로 설정. ㉢30분 이상의 연속작업이 가능한 용량, 배관 및 기기의 압력강하 등을 고려하여 20%의 여유를 산정. ㉣에어 탱크는 에어 소모시에도 압력변화를 최소화하고 맥동을 없애도록 24 L 용량 산정. 넓은 표면적으로 압축공기를 냉각시키도록 원형 에어탱크를 적용.

다) 적정 실린더 선택

◇ 적정 실린더 선택을 위한 실린더 이론출력 산출식 및 이론 출력표는 다음을 기준으로 함 (Parke r Hannifin Technical manual, 2015).

$$\checkmark F_1 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times P \quad (5)$$

$$\checkmark F_2 = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times P \quad (6)$$

where F_1 : 전진시 실린더 출력 (N)
 F_2 : 후진시 실린더 출력 (N)
 D : 실린더 튜브 내경 (mm)
 d : 피스톤 로드경 (mm)
 P : 사용압력 (MPa)

◇ 토양 접촉 (최대 25 mm)에 따른 휨하중은 1/20 이하 (JIS 8368, 공기압 실린더 사양, Table 10)로 검토대상에서 제외하였는데 사용된 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark \delta = \frac{MgL^4}{8EI} \quad (7)$$

$$\checkmark F_3 = \frac{1}{L_1 + L} \times \frac{1}{20} \times \frac{\pi}{4} D^2 \times P \quad (8)$$

where δ : 휨량 (kg)
 M : 피스톤 로드 1mm 당 질량 (kg)
 L : 피스톤 돌출길이 (mm)
 E : 총탄성계수 (Mmm⁻²)
 I : 단면 2차 모멘트 (mm⁴)
 g : 중력가속도 (9.8m s⁻²)
 F_1 : 허용휨하중 (N)
 D : 실린더 튜브 내경 (mm)
 P : 최대사용압력 (MPa)

Table 10. 실린더 이론 출력표

튜브내경 (mm)	로드 경 (mm)	작동방향	공급 압력 (MPa)								
			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
φ6	φ3	전진	6	8	11	14	17	20	-	-	-
		후진	4	6	8	11	13	15	-	-	-
φ10	φ4	전진	16	24	31	38	47	55	-	-	-
		후진	13	20	26	33	40	46	-	-	-
φ16	φ5	전진	40	60	80	100	121	141	161	181	201
		후진	36	54	73	91	109	127	145	163	181
φ20	φ8	전진	63	94	126	157	188	220	251	283	314
		후진	53	79	106	132	158	185	211	237	264
φ20	φ10	전진	98	147	196	245	294	343	393	442	491
		후진	82	124	165	206	247	288	330	371	412
φ32	φ12	전진	161	241	322	402	482	563	643	723	804
		후진	138	207	276	345	414	484	553	622	691
φ40	φ16	전진	251	377	502	628	754	879	1,005	1,130	1,256
		후진	211	317	422	528	633	739	844	950	1,005
φ50	φ20	전진	393	589	785	981	1,178	1,374	1,570	1,766	1,963
		후진	330	495	659	824	989	1,154	1,319	1,484	1,649

◇ 실린더는 ㉠가장 견고한 부착방법인 부하가 직선운동을 하는 헤드측 플랜지형 적용. 실린더는 하향방향으로 피스톤 형식의 φ40 mm 로드 가 있는 편로드 실린더 적용. ㉡실린더는 토양부하에 따른 방향 틀어짐이 없도록 실린더 로드 방향 고정형 적용. ㉢실린더의 고속작동이 가능하도록 다음과 같은 양쪽 에어공급이 가능한 복동 실린더 적용. ㉣실린더 로드의 스트로크 75 mm (행

정 50 mm, 비닐 및 토양절삭 25 mm 기준) 적용 (Fig. 17).

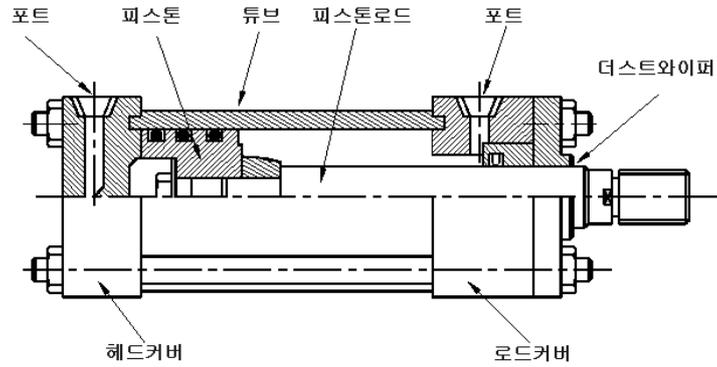


Fig. 17. 에어 실린더의 기본 개념도

라) 커팅 칼날 형상 선택

- ◇ 실린더 끝단에 장착되는 커팅 칼날은 절단면의 형상 및 커팅 날의 각도변화를 통해 최적 커팅상태를 모색하는데 주요설정변수는 다음과 같고 각 커팅날 장치는 초엽의 손상을 방지하기 위해 주행방향 반대방향으로 $90^\circ \pm 3^\circ$ 면적의 개구부를 지님 (Fig 18).

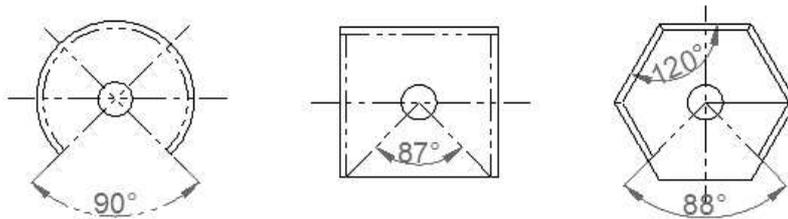


Fig. 18. 설계된 요인실험장치절단커터 형상

✓

- ✓ 칼날형상 변수 3가지 (원형, 사각, 육각)
- ✓ 칼날각도 변수 3가지 (30° , 45° , 60°)

- ◇ 적정 칼날 형상 및 각도는 요인실험을 통해 최적조건을 찾음. 반복실험을 통해 칼날마모정도 분석을 통해 재질선정 기초자료로 활용함. 각 커터의 높이는 50 mm로 설정.

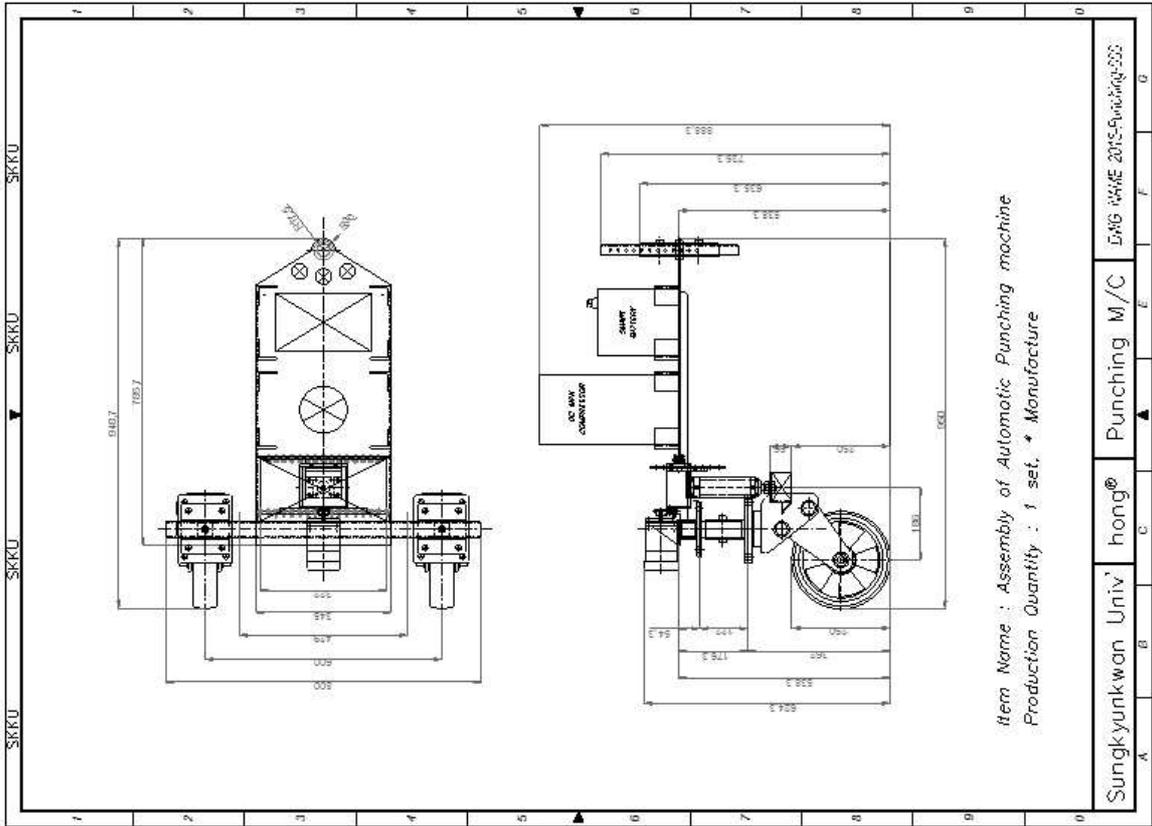


Fig. 19. 1조식 천공기 프레임 조립 어셈블리

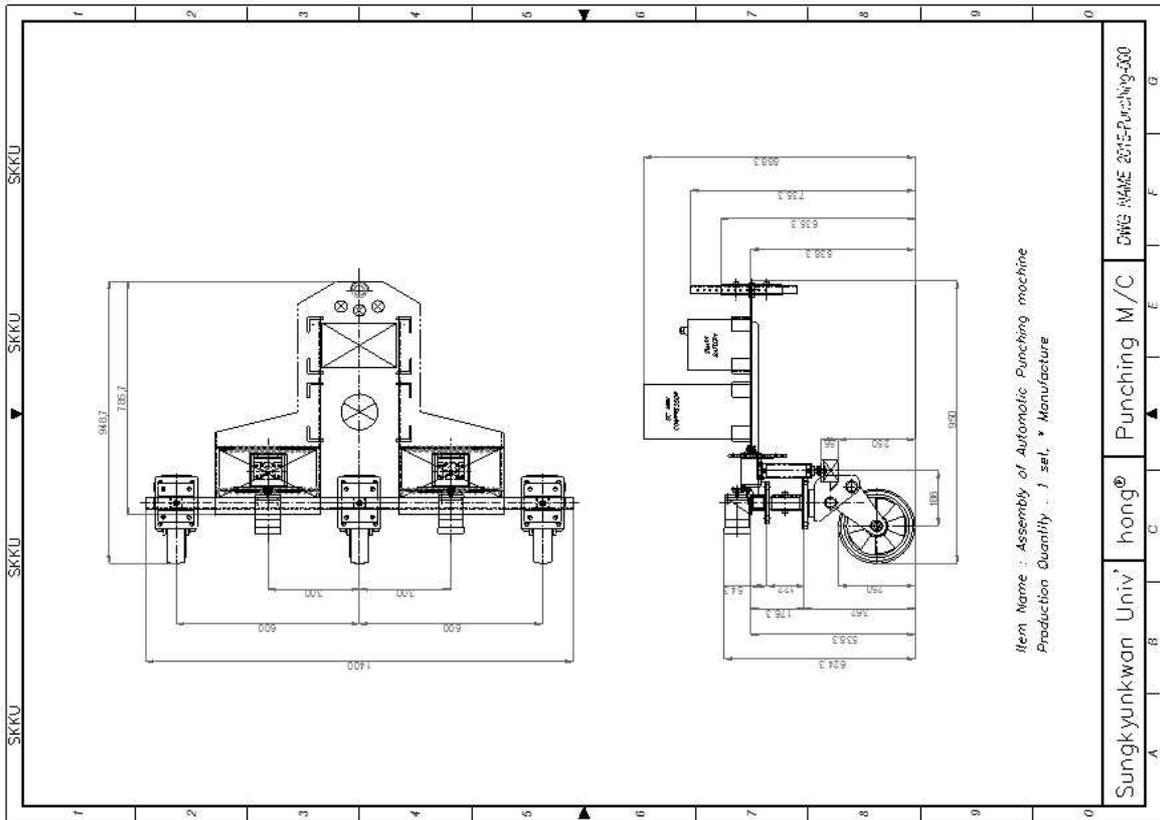


Fig. 20. 2조식 천공기 프레임 조립 어셈블리

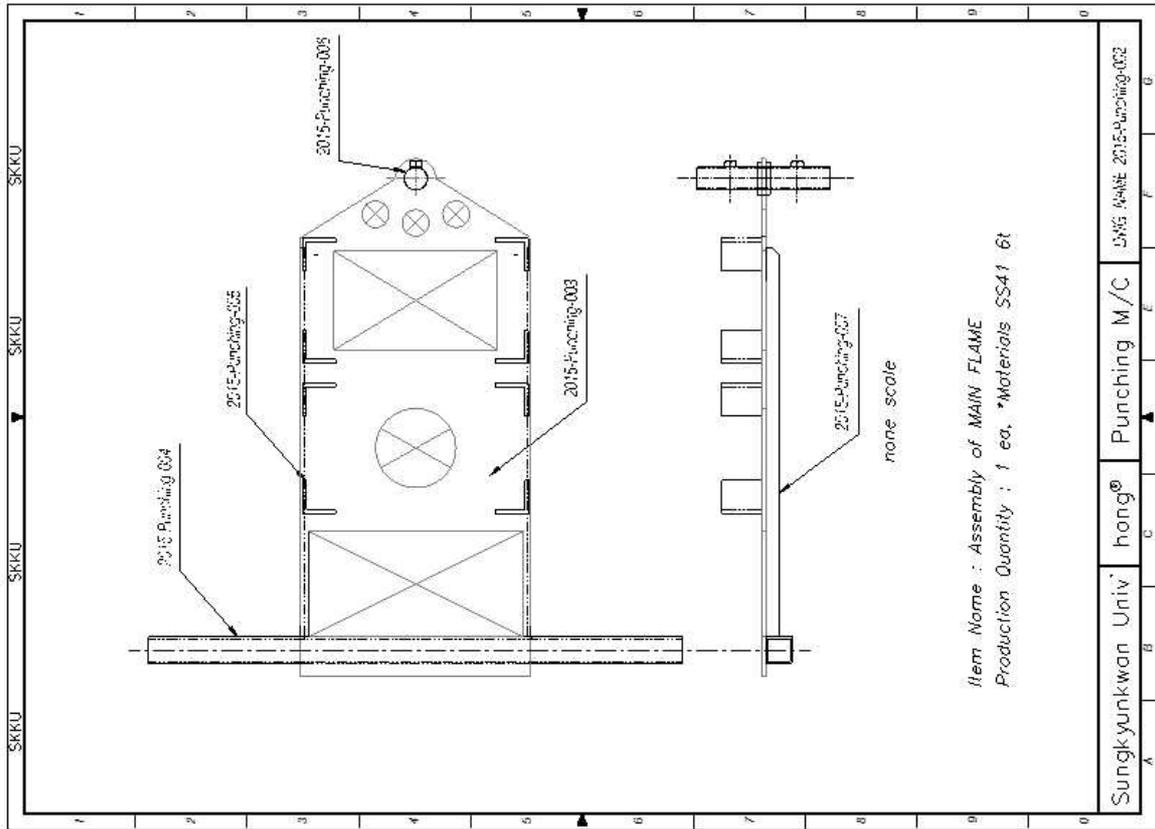


Fig. 21. 1조식 천공기 프레임

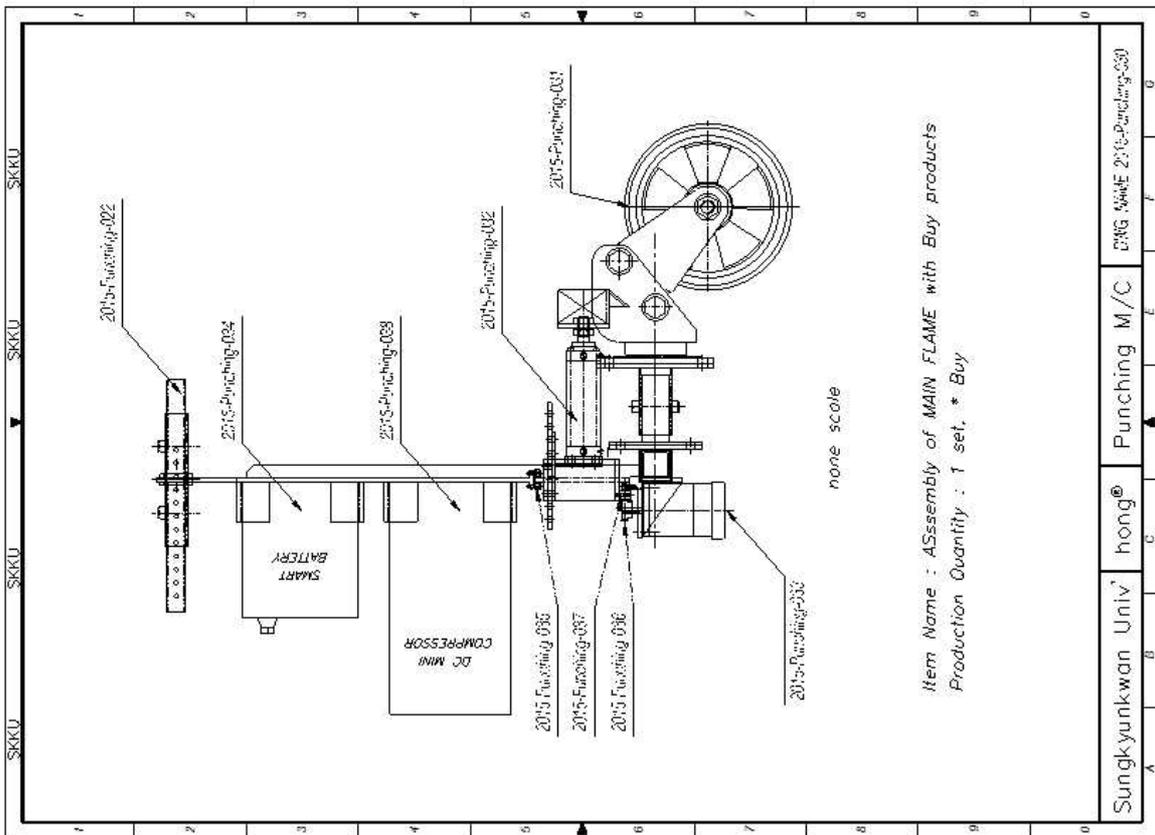


Fig. 22. 1조식 · 다조식 천공기 공압 구성 어셈블리

(7) 재배체계 및 작업체계를 반영한 단순화 및 최적화 설계

- ◇ 노지 재배되는 국내의 콩 재배는 품종별, 파종시기별, 토양환경별, 두둑형상별, 영농경험별 다양한 규격으로 통일화할 수 없으므로 다음을 기준으로 장치를 가변장치로 단순화 설계하고 두둑환경에 따라 사용자가 높이 및 폭 등을 조절할 수 있도록 최적화 설계를 진행함 (Fig 24).

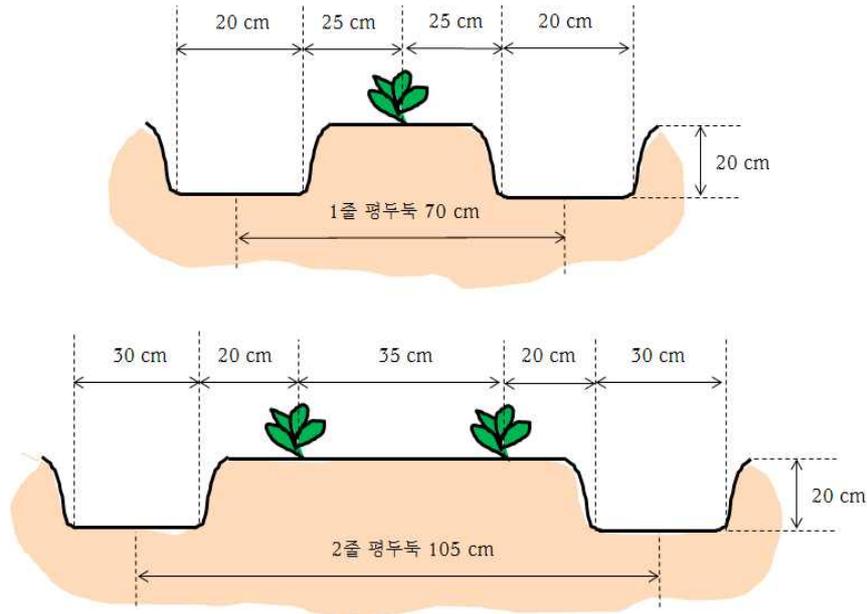


Fig. 24. 외줄, 두줄 두둑 형상

가) 보조바퀴 높이 조절기능

- ◇ 토양 및 작업환경에 따라 두둑 형상의 다양함에 대응. 두둑 높이가 20 cm 이상일 때 2 cm 간격으로 최대 6 cm로 프레임 수평에 대응. 높이 조절은 프레임측 및 보조바퀴측 사각 파이프 홀에 핀으로 조절. 프레임측 및 보조바퀴측 사각 파이프 조절내용은 다음과 같음 (Fig 25).

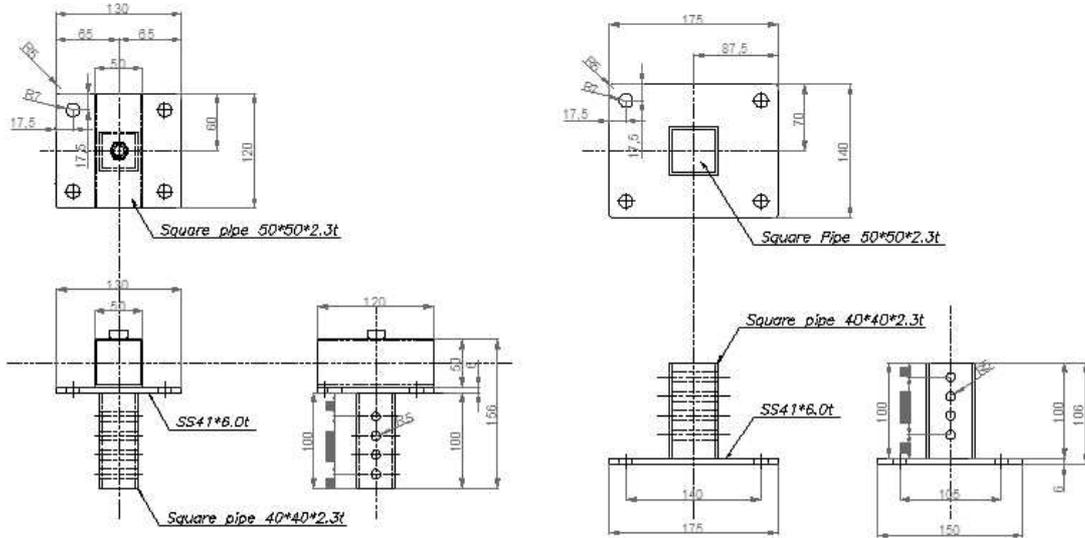


Fig. 25. 프레임측 및 보조바퀴측 높이 조절장치

나) 보조바퀴 폭 조절기능

- ◇ ㉠ 토양 및 작업환경에 따라 60~70 cm 두둑 폭의 다양함에 대응. ㉡ 1줄 조간 60 cm 기준으로 하여 넓은 두둑 폭에 +14 cm로 대응. ㉢ 1줄 조간 60 cm 기준으로 하여 넓은 두둑 폭에 -11.5 cm로 대응. ㉣ 높이를 조절은 프레임측 및 보조바퀴측 사각 파이프에 볼트로 체결. ㉤ 직경 25 cm의 보조바퀴는 회전형으로 방향선회 및 천공기 진행에 대응. ㉥ 보조바퀴는 3 cm의 충격 흡수능력으로 돌부리 등 헛골환경에 대응. ㉦ 프레임측 및 보조바퀴측 폭 조절내용은 다음과 같음 (Fig. 26).

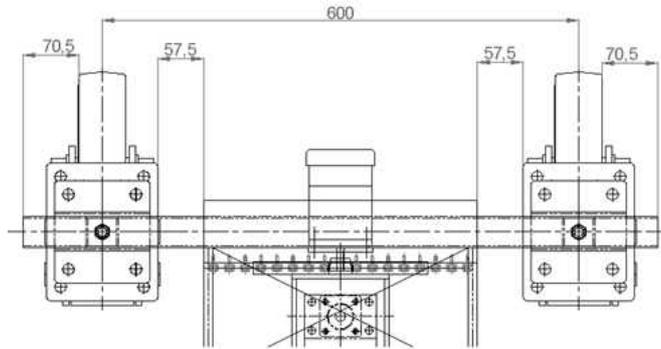


Fig. 26. 보조바퀴측 폭 조절장치

다) 헛치판 높이 조절기능

- ◇ ㉠ 토양 및 작업환경에 따라 15~25 cm 두둑 높이의 다양함에 대응. ㉡ 천공커터 두둑 높이는 재배지 두둑의 평균높이인 20 cm로 설정. ㉢ 천공기 프레임 판하부 기준 492 mm에 대응하도록 기본을 설정. ㉣ 천공기 프레임의 손쉬운 높이조절이 가능토록 핀 결합 구조로 설계. ㉤ 결합을 위한 핀 홀은 직경 11 mm로 관리기 헛치판과 일치되도록 설계. ㉥ 두둑높이 환경에 따라 상부로 4 cm의 높이조정 설정. ㉦ 두둑높이 환경에 따라 하부로 4 cm의 높이조정 설정. 전체적인 천공기 프레임 높이조정기능은 8 cm로 두둑 높이 14~24 cm에 대응. ㉧ 프레임 높이조정기능 부족분은 실린더 높이조정으로 대응. ㉨ 관리기 헛치판 조합과 높이조정 육각봉의 육격은 1 mm(좌우측 각 0.5 mm)로 설정. ㉩ 천공기 프레임 높이 조절내용은 다음과 같음 (Fig. 27).

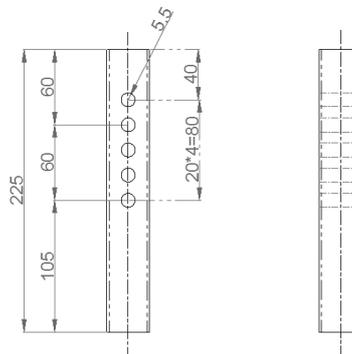


Fig. 27. 천공기 프레임 높이 조절장치

라) 천공커터 작업 높이 조절기능

- ◇ 토양 및 작업환경에 따라 ①15~25 cm 두둑 높이의 다양함에 대응. ②천공커터 두둑높이는 재배지 두둑의 평균높이인 20 cm로 설정. ③재배지 환경에 따라 사용자가 상부로 6 cm (커터날과 지면거리 31 cm) 설정. ④재배지 환경에 따라 사용자가 하부로 6 cm (커터날과 지면거리 19 cm) 설정. ⑤실린더 사용 스트로크는 7.5 cm 설정 (2.5 cm 멀칭비닐과 지면 타격). ⑥사용장비 (관리기)에 따라 두둑높이가 일정 (1회 조정으로 가능)하므로 수동조정 설정. ⑦천공장치 상하부 높이 조절내용은 다음과 같음 (Fig 28).

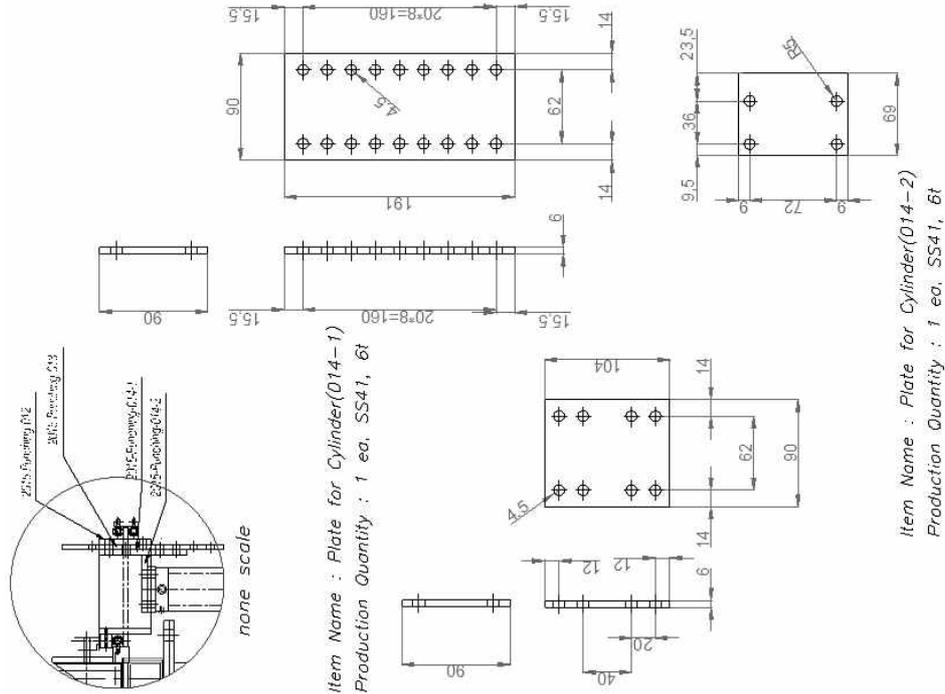


Fig. 28. 천공커터 작업 높이 조절장치

마) 천공커터 작업 폭 조절기능

- ◇ 토양 및 작업환경에 따라 ①30~50 cm 두둑 폭의 다양함에 대응. ②2차년도 시작기 통합 (기구부+인식부)을 위한 기구부 천공커터의 작물인식에 대응 설계. ③천공커터 두둑폭을 적용하여 기본 폭을 진행방향 중심선으로 설정. ④작물인식에 따라 진행방향 기준 우측으로 10 cm (우측 두둑폭 40%)의 이동거리 설정. ⑤작물인식에 따라 진행방향 기준 좌측으로 10 cm (좌측 두둑폭 40%)의 이동거리 설정. ⑥전체적인 천공가능 폭은 32 cm로 두둑폭의 64% (파종 가능 폭 대부분)로 적용. ⑦천공장치의 좌우측 슬라이딩은 DC모터, 랙크기어, 평기어, 롤러베어링 조합으로 구성. ⑧천공장치의 좌우측 슬라이딩 제어는 2차년 인식부 통합으로 진행. 천공장치 좌우측 폭 조절내용은 다음과 같음 (Fig. 29).

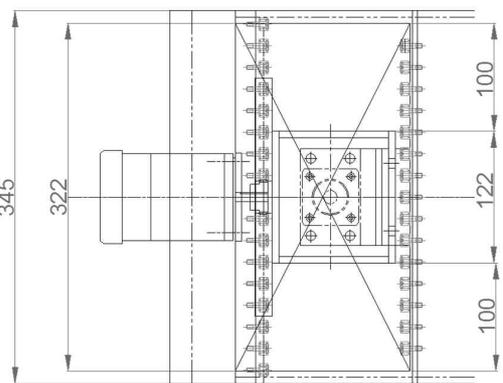


Fig. 29. 천공커터 작업 폭 조절장치

천공장치 좌우측 폭 조절내용은 다음과 같음 (Fig. 29).

(8) 진동을 고려한 천공장치 프레임 설계 및 검증

- ◇ 천공장치 프레임 설계에 있어 진동은 상용관리기-천공기 시스템 체결상태에서의 진동억제 설계를 반영함. 잠재적인 구조물 손상의 지수로 구조물 속도 진폭인데 일반적인 기계류 진동의 주파수 (Hz)와 변위진폭(mm)은 10~100Hz, 10⁻²~1 mm 범위로 알려짐. 관리기-천공기 시스템의 1자유도 모델로 구조물 훼손, 작업 핸들을 통해 작업자에 전달되는 진동을 분석하였음 (Fig. 30).

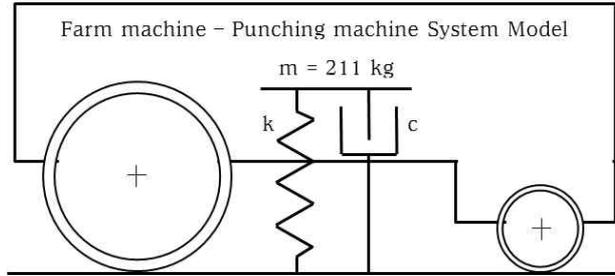


Fig. 30. 관리기-천공기 시스템 1자유도 모델

- ◇ 진동의 허용기준은 진동의 크기가 변위, 속도, 가속도의 RMS 값으로 규정 (ISO 2372)하는데 적용하는 기본적인 수식은 다음과 같음 (Inman DJ. Engineering Vibration, 1994). DC 콤프레샤 및 DC 충전식 배터리, 공압커팅장치 등으로 구성된 공압형식 1조식 프레임 및 조립 설계도면은 다음과 같음 (Fig 31).

$$\checkmark x_{\text{rms}} = \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$\checkmark x(t) = A \sin \omega t \quad (2)$$

$$\checkmark v(t) = \dot{x}(t) = A \omega \cos \omega t \quad (3)$$

$$\checkmark a(t) = \ddot{x}(t) = -A \omega^2 \sin \omega t \quad (4)$$

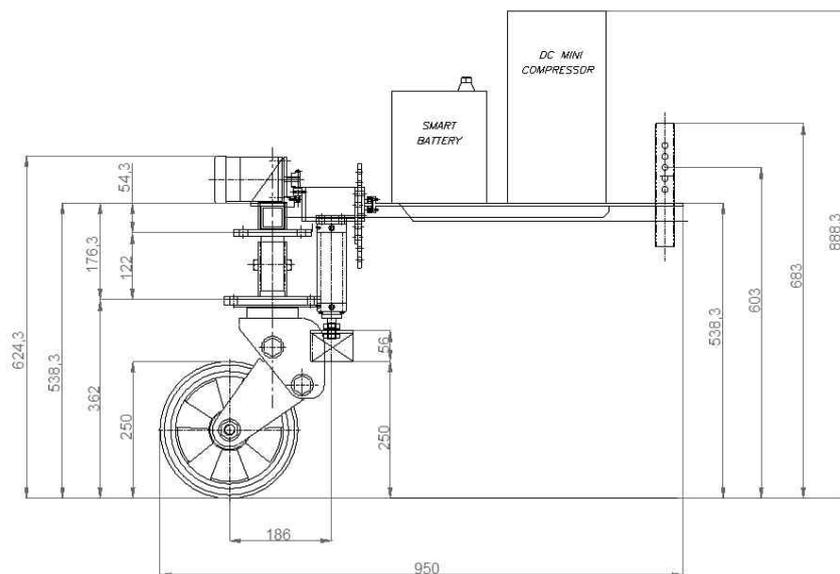


Fig. 31. 자유도 모델에 적용된 천공기 프레임 조립도

◇ 시스템 모델에서 강성계수 $734,096 \text{ N m}^{-1}$, 진동수 $58.98 \text{ rad sec}^{-1}$, 9.39 Hz 인데 이에 이용된 수식은 다음과 같음.

$$\checkmark k = (6\pi)^2 mass = 734,096 \text{ Nm}^{-1} \quad (5)$$

$$\checkmark \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{734,096}{211}} = 58.98 \text{ rad sec}^{-1} \quad (6)$$

$$\checkmark f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{58.98}{2\pi} = 9.39 \text{ Hz} \quad (7)$$

◇ RMS (Root Mean Square) 값은 어떤 양의 제곱에 대한 시간평균의 제곱근으로 식 (5)과 같고, 진폭(A)에 대한 변위의 해는 식 (6)와 같고 속도 (v)는 변위에 대한 식 (2)의 해를 미분하면 ωA 의 진폭을 갖는 것을 의미하고 가속도는 식 (7)의 해를 추가 미분하여 진폭 $A\omega^2$ 을 구하는 과정임. 구조물 훼손과 기계진동에 따른 인체감지에 대한 조화진동 허용한계를 나타내는데 좌측의 구조물 훼손에서 9.39 Hz 를 통과하는 수직선은 0.1 mm ($100 \mu\text{m}$)에 7 mm sec^{-1} 선분을 지나 는 위치로 기준을 만족함. 또한 우측의 기계진동 심각도와의 수평선분 위치는 허용한도 범위 내 에 있는 것으로 판단되며 결과에 대한 대응식은 Severity Chart (Nomograph)의 식 (1)~(4)로 구성되며 여기에서 $x(t) = A\sin\omega t$ 의 제곱평균값은 $A^2/2$ 임으로 식 (8)을 이용하여 대응식으로 $x_{\text{rms}} = A/\sqrt{2}$, $v_{\text{rms}} = A\omega\sqrt{2}$, $a_{\text{rms}} = A\omega^2\sqrt{2}$ 의 결과를 활용하여 질량과 강성의 변화를 주면서 진동수를 줄이면서 작업을 진행할 계획임 (Fig. 32).

$$\checkmark \overline{x^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T A^2 \sin^2 \omega t dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{A^2}{2T\omega} \omega T - \frac{1}{2} \frac{A^2}{T\omega} (\sin \omega T \cos \omega T) \right] = \frac{A^2}{2} \quad (8)$$

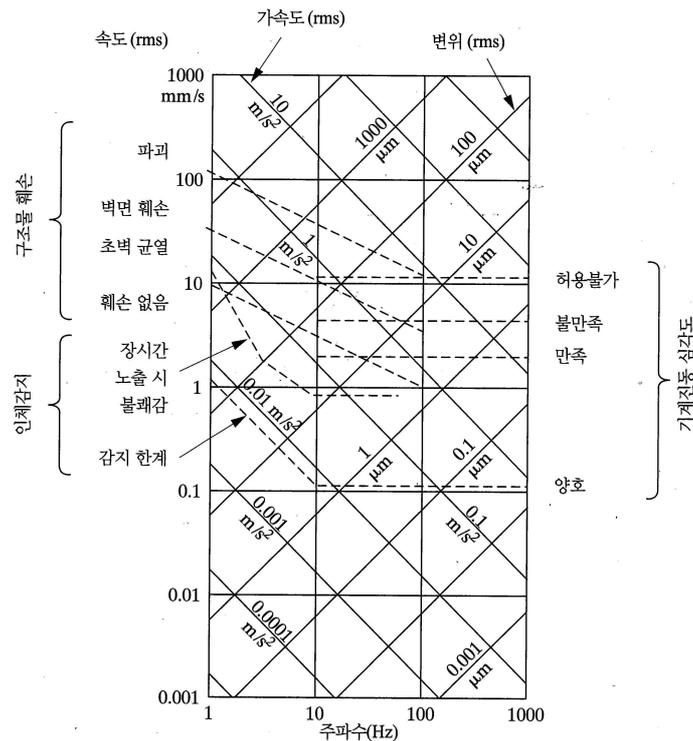


Fig. 32. Severity Chart (Inman DJ. 2008)

◇ 또한, 설계검증으로 관리기-천공기 시스템의 기계진동은 수평의 고정상태에서 실내 검증실험으로 진행되었는데 실험에 사용된 진동센서는 LDT0-028K (MEAS Deutschland GmbH/Germany)와 측정모듈을 제작하고 Labview (National Instruments Corporation, 2014LV)와 노트북을 연결하여 자료의 분석에 사용하였는데 센서의 주파수 측정범위는 100~300 Hz, 민감도 범위는 10~0.01 V g⁻¹임 (Fig. 33).

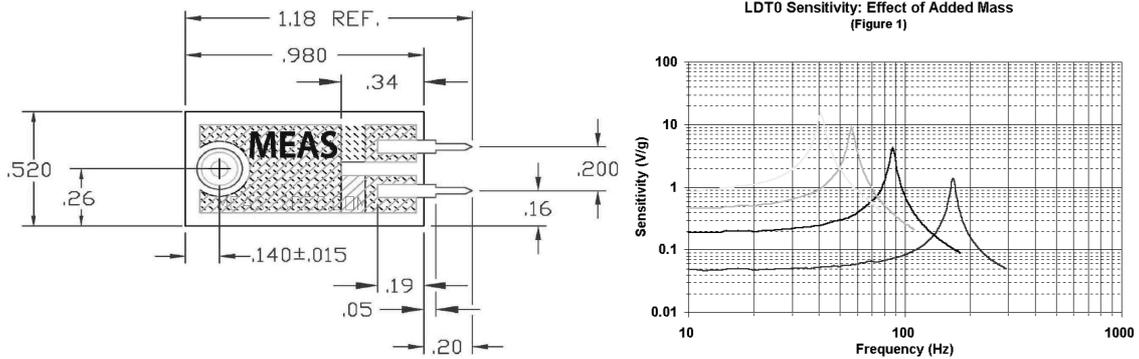
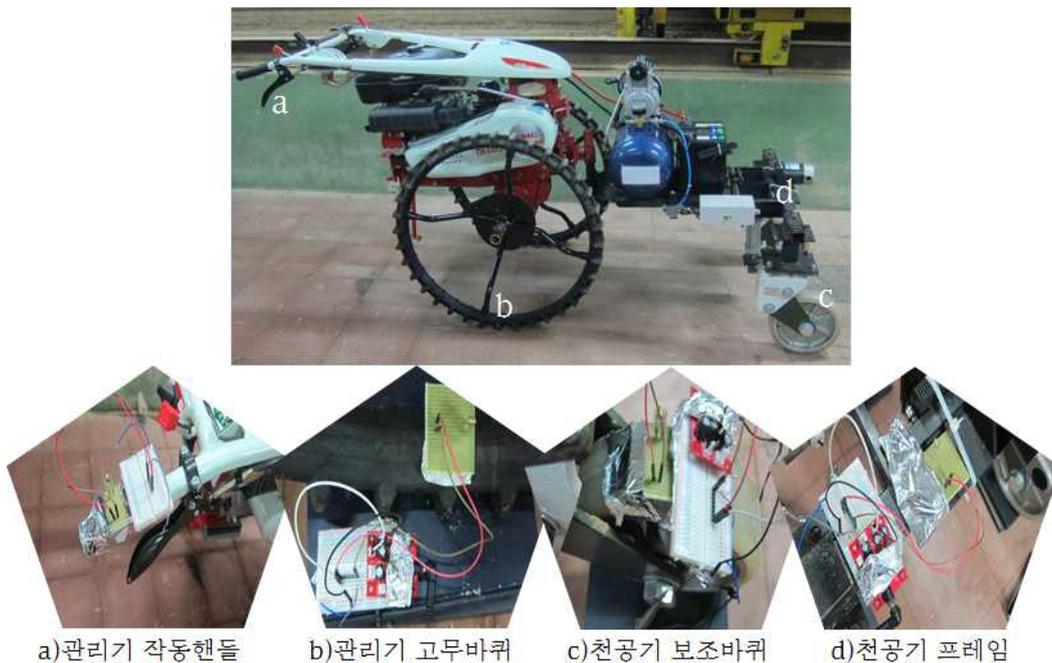


Fig. 33. 진동센서(LDT0-028K)의 규격 및 민감도

◇ 진동측정을 위한 센서의 설치는 4곳 (손잡이, 고무차륜 상단상부, 보조바퀴 상부, 천공기 프레임 중앙선분 근접점)에 설치하여 각 위치별 최대 주파수를 측정하였는데 저속에서 각 25.25 Hz, 43.1 Hz, 24.51 Hz, 22.7 Hz, 평균 28.9 Hz로 안정적인 상태임을 검증함. 이론식으로 계산된 9.39 Hz에 대비해 저속 실측값은 22.7~43.10 Hz로 나타났는데 범위의 분포는 이론식에 비해 실측에서는 (1)관리기의 엔진을 가동하면서 엔진회전수를 엑셀레이터 조정하여 변화를 주고 (2)천공장치 작동을 위해 콤프레샤를 가동하여 변화를 준 때문이며 천공기의 진동 보다는 관리기 고유의 진동으로 상태는 양호한 것으로 판단됨 (Fig. 34).



a)관리기 작동핸들 b)관리기 고무바퀴 c)천공기 보조바퀴 d)천공기 프레임

Fig. 34. 1차년 시작기와 결합된 관리기에 설치된 진동센서의 설치위치

◇ 각 측정부별 측정방법은 관리기 엔진의 저속, 중속, 고속 엑셀레이터를 조정하여 측정부위별로 측정하여 상호 비교 분석하였는데 천공기 작동의 운용은 저속 운전상태를 전제조건으로 설정하는 조건으로 시스템의 각 측정부별 진동 주파수는 다음과 같음 (Table 11).

Table 11. 시스템 측정부별 진동 주파수(Hz)

구분	a)작동핸들	b)고무바퀴	c)보조바퀴	d)프레임
저속(천공기사용조건)	25.25	43.10	24.51	22.70
중속	32.89	49.02	36.76	32.89
고속	62.55	64.10	67.57	64.10

◇ 실험은 각 측정부별 저속, 중속, 고속에서 실시되었는데 엔진 속도 증가에 따라 모든 측정부위에서 주파수 증가 경향이 뚜렷함을 확인할 수 있었고 고속에서는 중속에 비해 2배 정도 증가하였음 (저속·중속·고속의 기준은 관리기 핸들에 장착된 수동 레버작동 조건임) (Fig. 35).

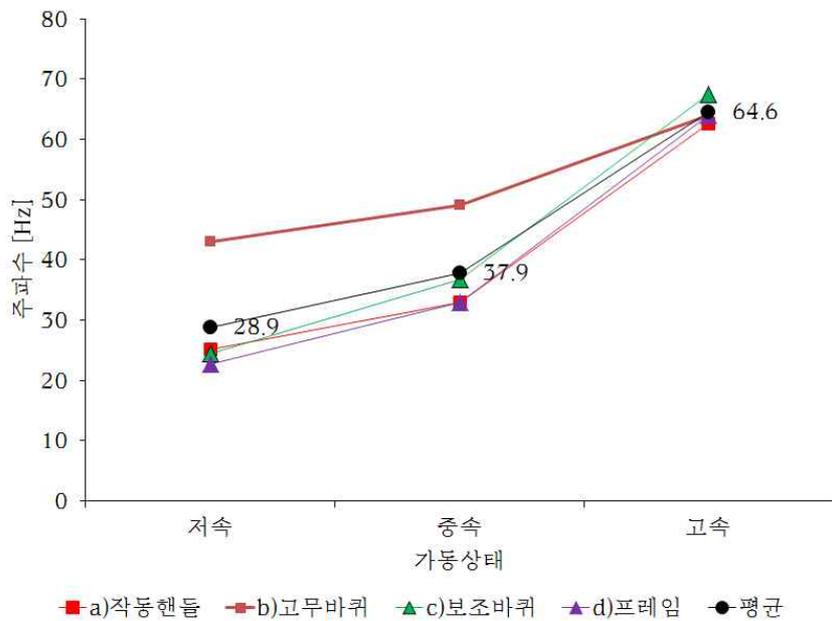


Fig. 35. 측정위치별 진동의 변화

◇ 측정된 관리기-천공기 시스템의 진동측정은 그림. 35과 같이 저속 프레임부에서 최소 주파수인 22.7 Hz, 보조바퀴부 고속에서 최대 67.57 Hz까지로, 측정부위 평균은 저속에서 28.9 Hz, 중속 37.9 Hz, 고속 64.6 Hz로 측정 (천공기 가동조건은 저속임)되었는데 엔진 회전수 증가에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며 콤프레샤 가동은 영향을 주지 않았는데 재배지에서는 토양의 진동흡수로 전체적으로 더욱더 안정적일 것으로 판단됨.

(9) 비닐포장 초엽기, 새싹기, 자엽기별 물성분석

가) 두류 작목 선정 및 재배 방법 조사 (Table 12)

Table 12. 실내 요인실험에 사용된 작목과 주요 재배 방법

작목	주요 재배 방법
강낭콩	<ul style="list-style-type: none"> - 초장은 40~60 cm - 생육적온은 15~25 °C를 유지 - 15 °C이하가 되면 생육이 정지되고 30 °C이상 고온에서는 장해를 받아 꼬투리 맺힘이 불량해짐 - 산성토양에서는 생육이 약하며 적정산도는 5.5~6.8 정도임
쥐눈이콩	<ul style="list-style-type: none"> - 씨앗을 파종한 후 씨앗의 5배 정도를 덮어줌 - 싹이 나서 자람에 따라 2~4 회 김매기와 복주기를 해줌 - 질소질비료를 많이 주면 옷자라 열매가 잘 안 열림
완두콩	<ul style="list-style-type: none"> - 깊이 5 cm, 간격 20 cm로 한 구당에 2개정도 파종함 - 키가 20 cm가 넘으면 넝쿨 식물이기 때문에 넝쿨이 잘 올라탈 수 있도록 지지대와 그물망 등으로 성장에 필요한 적당한 환경을 제공해줌 - 생육적온은 15~20 °C를 유지
서리태	<ul style="list-style-type: none"> - 지온이 15 °C이상 시 파종이 가능하고 적정온도는 20 °C 이상일 때 파종 - 파종의 깊이는 3~5 cm, 콩은 불려서 파종하지 않음
백태	<ul style="list-style-type: none"> - 보통 꽃핀 후 60 알, 콩을 심은지 120 일 전후가 콩의 수확시기

나) 실내 요인 실험의 설계 (Table 13)

Table 13. 실내 요인실험에 사용된 주요 재료

재료	규격 및 용량	용도
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 강낭콩, 쥐눈이콩, 완두콩, 서리태, 백태(메주콩) 각 씨앗-30 g 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 두류 모종
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 유기농 최고급 ✓ 배양토 10L×7 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 실내 요인 실험의 재배 환경 구성을 위한 상토
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 245 cm×110 cm×95 cm 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 실내 요인 실험을 위한 간이 온실
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 2 kW, 220 V 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 미니 비닐하우스의 온도를 적정온도(0~25 °C)로 유지시키기 위함
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 60 cm×22 cm×7 cm 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 강낭콩, 쥐눈이콩, 완두콩, 서리태, 백태 총 5개의 화분 사용 (15 L)

- ◇ 콩의 ㉠높이와 폭을 하루에 한번 재고, 사진을 하루에 1 회 영상을 취득하여 색의 변화 관찰하고, ㉡콩 줄기의 휘어짐 정도를 알기 위해 자 끝을 잎 위에 얹고 손가락으로 자를 받혀가는 길이를 다르게 해 휘어지는 곳에서의 휘어진 정도를 정량 계측하며, ㉢상토의 온도와 주변온도를 계측하고 콩의 온도와 비교하고, ㉣포기사이를 15 cm로 하여 2~3 알씩 심고 3~5 cm의 흙을 덮어주고, 충분한 물을 준 후 검정비닐을 덮음 (Fig. 36).



Fig. 36. 실내 요인 실험을 위한 콩 파종 방법

- ◇ 초생엽기(10~15 일 후)경에 ㉠화분 위를 적외선 센서로 스캐닝 한 후 콩잎의 온도와 화분 흙의 온도를 비교하여 콩의 위치를 파악하고, ㉡발아 소요일수는 기온이 20 ℃에서 2.5 일, 25 ℃에서 1 일 정도가 걸리고, 발아 시에는 어린 식물의 목이 먼저 나오고 4~7 일 후에는 배넛줄기의 생장으로 떡잎이 출현하며, 다시 1~2 일이 지나면 떡잎이 전개하고, 그 후 2~3 일에는 초생엽 발생, ㉢물성을 측정하기 위해 콩을 파종한 시점부터 시기별 줄기의 길이, 자엽의 크기, 온도 특성, 백태의 자엽기 시기의 휘어짐 측정하며, ㉣온도 특성을 측정하기 위하여 열화상 카메라 모델명 TJ-200 사용하여, ㉤콩이 파종된 온실은 콩이 자라는 데 적합한 온도인 25 ℃ 유지함 (Fig 37, Table 14).

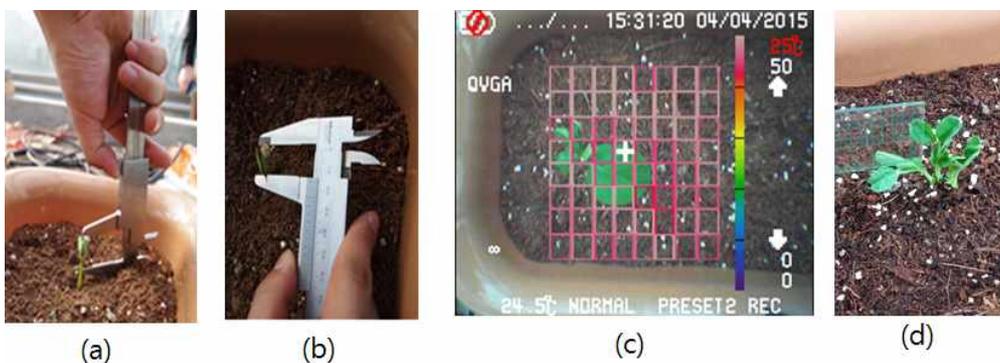


Fig. 37. 콩의 물성 측정 방법; (a) 줄기의 길이, (b) 자엽의 길이, (c) 적외선 영상, (d) 휘어짐 측정

Table 14. Specifications of the TJ-200 (TECH-JAM CO.,LTD, Japan)

항목	세부 사항
측정 온도 범위	-50~1000 °C
측정 포인트	64 점 (수평 8 열 * 수직 8 열)
측정 거리 피치	48 cm * 48 cm / 거리 1 m
측정 파장	8~16 μm
표시 분해 기능	0.1 °C (NORMAL MODE)
측정정도	±2 °C (0~200 °C)
이미지분해능	30 만 화소
화각	50 도(수평방향)
최근접거리	0.5 m
액정 크기	3.8 인치 (320 * 240 화소)

◇ 파종기 이후 출현기 (2015년 3월 29일부터 2015년 4월 1일) 까지 측정하였는데, 파종기 이후 자엽기까지 25°C를 유지하고 평균 120 시간정도의 침지시간이 소요되며, 평균 60% 내외의 발아율을 보임 (Table 15).

- ✓ 출현기 이후 1일차에서는 줄기의 길이가 3.1 cm, 자엽의 크기는 1.6 cm, 백태의 온도는 24.5 °C, 평균 휘어짐은 0.2 cm
- ✓ 2일차에서는 줄기의 길이가 5.0 cm, 자엽의 크기는 1.6 cm, 온도는 24.1 °C, 평균 휘어짐은 0.21 cm
- ✓ 3일차에서는 줄기의 길이가 5.0 cm, 자엽의 크기는 2.4 cm, 온도는 24.1 °C, 평균 휘어짐은 0.23 cm
- ✓ 4일차에서는 줄기의 길이가 7.3 cm, 자엽의 크기는 2.5 cm, 온도는 24.2 °C, 평균 휘어짐은 0.23 cm

Table 15. 백태의 초엽기 주요 물성

날짜 (출현기 이후)	줄기의 길이 (cm)	자엽의 길이 (cm)	온도 (°C)	평균 휘어짐 (cm)
3월 29일 (1일차)	3.1	1.6	24.5	0.20
3월 30일 (2일차)	5.0	2.1	24.1	0.21
3월 31일 (3일차)	6.4	2.4	24.1	0.23
4월 01일 (4일차)	7.3	2.5	24.2	0.23

(10) 비닐포장 작물 에너지 반응특성 분석

◆ 실내 요인 실험 (1차)

- ✓ 실험 기간 : 2015년 2월 6일~2015년 2월 20일
- ✓ 실험 목적 : 자엽기 중 콩의 생육 물성 및 생육 특성 파악
- ✓ 실험 방법 : 미니비닐하우스, 온풍기, 온습도 계측기를 사용하여 콩이 생육 환경을 알아보기 위한 기초실험



Fig. 37. 1차 실내 요인 실험 장치와 온도 계측에 사용된 온도 미터

- ◇ 실험 결과 요약 : 파종 후 10일 내외 경과 후에 4~5일 기간 동안 콩의 초엽기/자엽기, 이후 수행된 실내 요인 실험 시 계측 시점 판단에 활용 (비닐포장이 사용된 경우 콩 생육 상태의 육안 측정이 불가하므로 적정 시기 판단에 필수적인 기초 실험)하고 결과를 바탕으로 비닐포장을 사용한 생육 환경 하에서 콩의 초엽기/자엽기를 추정하여 후속 실내 요인 실험 수행함 (Fig 37).

◆ 실내 요인 실험 (2차)

- ✓ 실험 기간 : 2015년 3월 17일 ~ 2015년 3월 21일
- ✓ 대상 작목 : 강낭콩, 백태, 서리태, 완두콩, 쥐눈이콩
- ✓ 실험 방법 : 실내 간이화분에서 발아 직후 부터 1회/1일 적외선 센서 어레이를 이용한 계측
- ✓ 분석 방법 : 2차원 선형 보간에 의한 온도 분포도 작성 (Fig. 38)



Fig. 38. 발아 직후의 콩 작목별 발아 모습; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

- ◇ 1일 경과 (2015년 3월 17일) : 콩 초엽기의 위치가 파악이 불가능한 상태이며 상토와 화분의 경계 식별이 가능한 온도 분포 형성함 (Fig. 39).

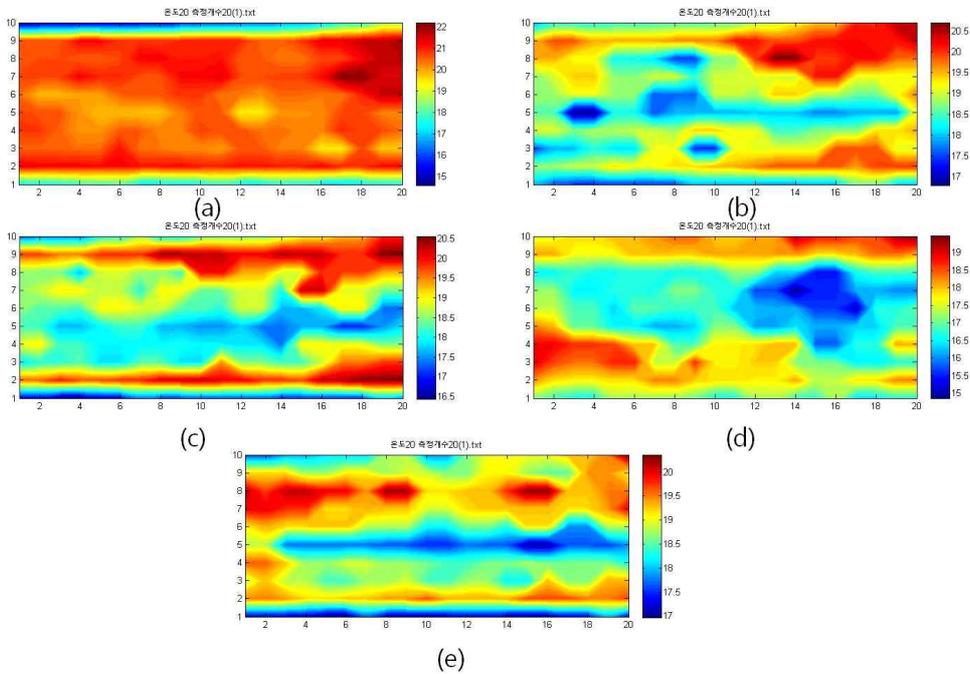


Fig. 39. 1일 경과 후 작목별 온도 분포도; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

◇ 2일 경과 (2015년 3월 18일) : 강낭콩, 백태, 서리태의 경우 생육 위치 추정이 가능한 온도 변화 관찰 가능. 완두콩, 쥐눈이 콩의 경우 생육 위치 식별이 여전히 불가능함 (Fig 40).

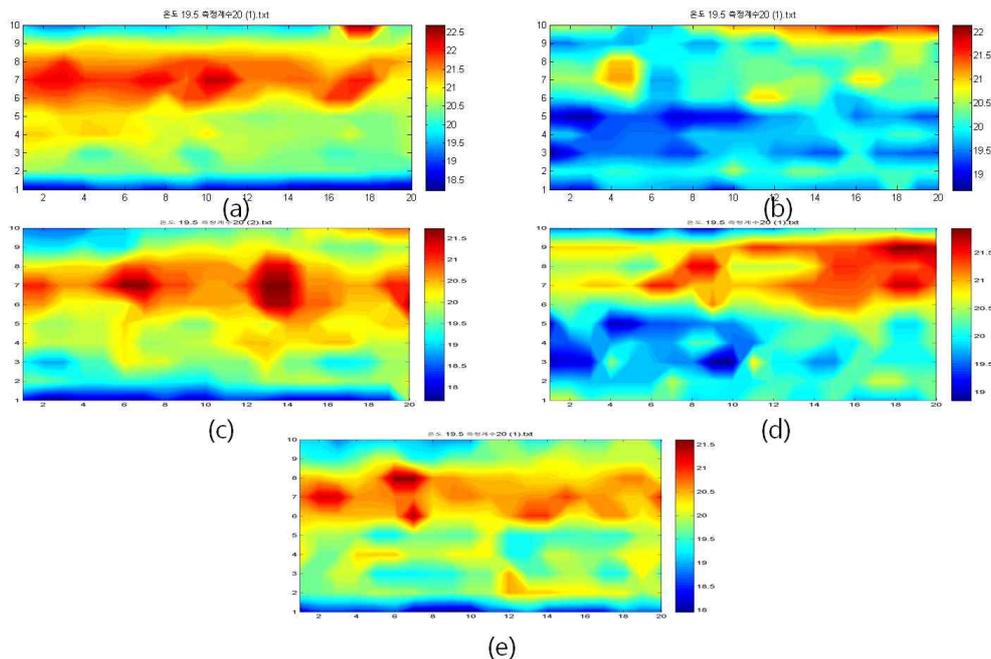


Fig 40. 2일 경과 후 작목별 온도 분포도; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

◇ 3일 경과 (2015년 3월 19일) : 완두콩을 제외한 작목에서 생육 위치 추정이 가능한 온도 변화 관찰 가능하지만 정확한 위치 추정에 한계가 있음 (Fig. 41).

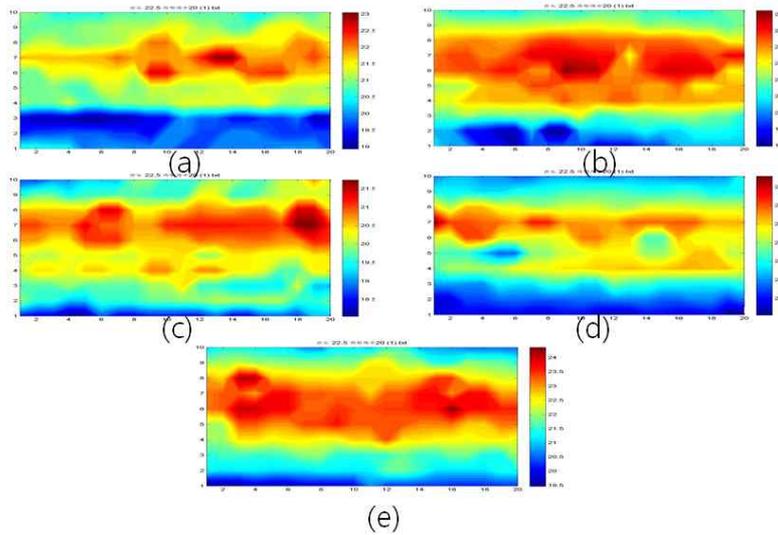


Fig. 41. 3일 경과 후 작목별 온도 분포도; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

◇ 4일 경과 (2015년 3월 20일) : 하루 이전 분포와 달리 작물 주변의 온도 반응이 매우 높아서 작물의 위치 추정이 어려운 상태로 나타남 (Fig. 42).

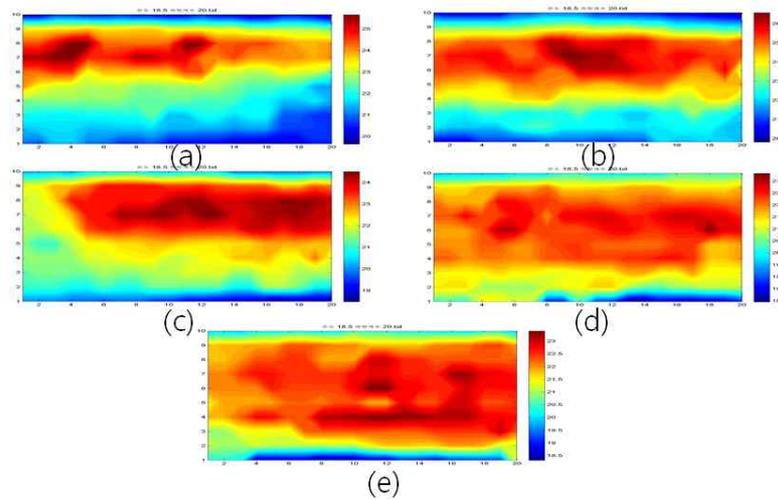


Fig. 42. 4일 경과 후 작목별 온도 분포도; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

◇ 5일 경과 (2015년 3월 21일) : 4일 경과 후와 유사 양상으로 작물의 위치 추정이 어려운 상태로 나타남 (Fig. 43).

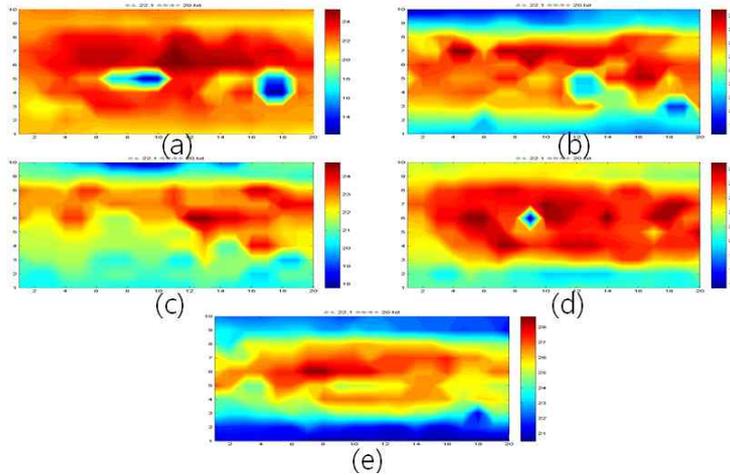


Fig. 43. 5일 경과 후 작목별 온도 분포도; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

- ◇ 2차 실험 결과 요약 : 발아가 시작 되고 2 일에서 3일 경과 후 작물의 생육 위치 추정이 가능한 온도 분포의 변화 관찰이 가능하지만 정확한 위치 인식에 한계가 있음. 스캐닝 기구부의 진동에 기인한 측정 위치 오차에 대한 대안 마련의 필요성 발견 → 스캐닝 중 진동 최소화 및 측정 위치 보정을 위하여 스캐닝 기구부 보완 및 MCU 계측 프로그램 개선
- ◇ 2차 실내 요인 실험 후 스캐닝 기구부의 개선사항으로 ㉠AC모터의 느린 회전속도로 인하여 스캐닝 속도 조절이 불가능한 단점을 보완하여 실험 요인으로 스캐닝 속도 변화 가능토록 수정하고, ㉡ Stepper Motor와 Belt Connector를 이용하여 모터의 느린 회전 보완하였으며, 스캐닝 과정 상 진동을 최소화 하기 위하여 슬라이딩 기계요소를 사용하며, ㉢적외선 센서 어레이 계측 시작 지점과 끝지점을 정확히 파악하기 위해서 시작지점과 종료 지점에 Limit 스위치를 부착하여 MCU에 데이터 전송 시작과 종료를 알리는 회로 추가하였음 (Fig. 44).

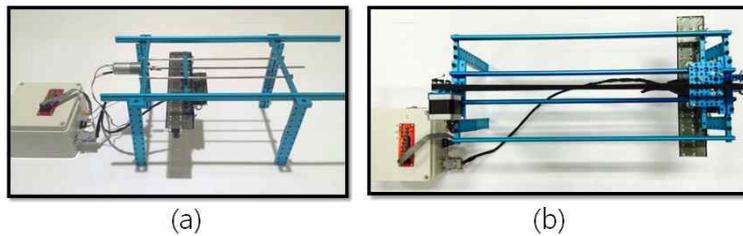


Fig. 44. (a) 개선 전의 스캐닝 기구부, (b) 개선 후의 스캐닝 기구부

- ◆ 실내 요인 실험 (3차)
 - ✓ 실험 기간 : 2015년 3월 25일~2015년 4월 5일
 - ✓ 실험 목적 : 적외선 센서 어레이를 이용한 초엽기 백태의 온도 반응 특성 분석
 - ✓ 실험 방법 : 백태 한 작목 만을 선정하여 실내의 화분에서 파종 후 속도 조절이 가능한 적외선 센서 어레이와 RGB 영상 취득 장치를 이용한 정밀 온도 반응 특성 분석
 - ✓ 실험 요인 : 적외선 센서 어레이의 이동 속도를 4단계로 구분 (2.77 cm/s, 1.40 cm/s, 0.90 cm/s, 0.70 cm/s) 하여 콩의 생육 위치와 온도 분포 간의 관계 분석

◇ 자엽기 1일 경과 (2015년 3월 29일) RGB 영상 취득 후 G 채널 분리를 통해서 생육 위치 파악 가능하였으나 열화상 카메라를 이용한 경우 0.1 내외의 정밀도 범위에서 파악 불가함 (Fig 45).

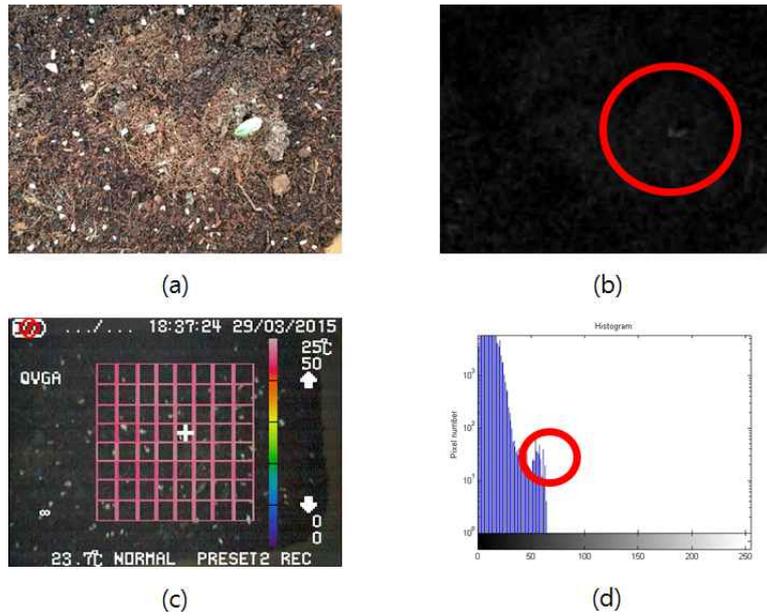


Fig. 45. 자엽기 1일 경과 후 백태의 에너지 반응 특성; (a) 취득 영상, (b) G 채널 - B 채널 분리 영상, (c) 열화상 카메라 취득 영상, (d) G 채널의 히스토그램

◇ 자엽기 1일 경과 적외선 센서 어레이 계측을 통해서 2.77 cm/s 이동시 생육 위치 파악이 가능하였으나 더 느린 계측 속도로 이동 시 파악이 불가함 (Fig. 46).

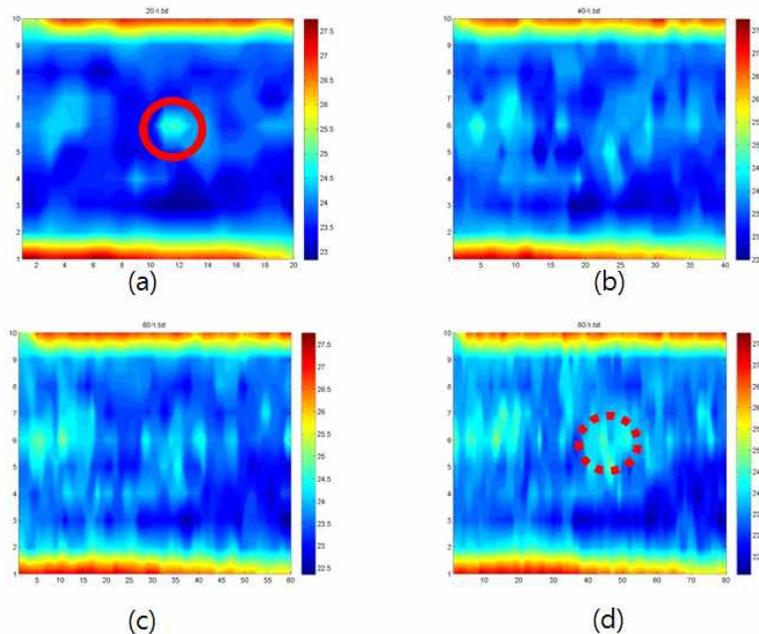


Fig. 46. 자엽기 1일 경과 후 적외선 센서 어레이 계측 속도에 따른 온도 분포; (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

◇ 자엽기 2일 경과 (2015년 3월 30일) RGB 영상 취득 후 G 채널 분리를 통해서 생육 위치 파악

가능하였으나 히스토그램에 의한 분리 (Segmentation)는 명확하지 않음. 열화상 카메라를 이용한 경우 0.1 내외의 정밀도 범위에서 육안으로 판단 가능하나 명확히 구별하기 어려움 (Fig 47).

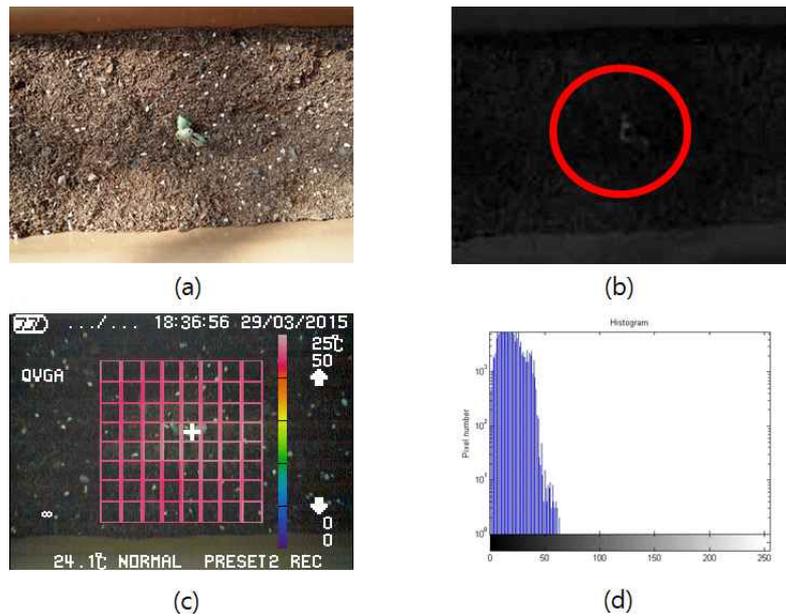


Fig. 47. 자엽기 2일 경과 후 백태의 에너지 반응 특성; (a) 취득 영상, (b) G 채널 - B 채널 분리 영상, (c) 열화상 카메라 취득 영상, (d) G 채널의 히스토그램

◇ 자엽기 2일 경과 적외선 센서 어레이 분석을 통해서 작물의 생육 위치가 2cm 범위 이내로 파악이 가능하였으나 일부 속도 (0.90 cm/s) 에서 상대적으로 낮은 정확성을 보이는 분포도임 (Fig 48).

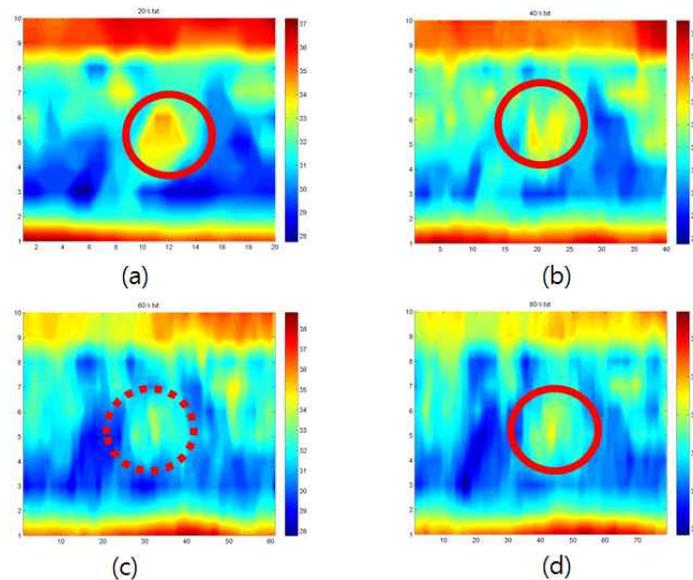


Fig. 48. 자엽기 2일 경과 후 적외선 센서 어레이 계측 속도에 따른 온도 분포; (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

◇ 자엽기 3일 경과 (2015년 3월 31일) RGB 영상 취득 후 G 채널 분리를 통해서 생육 위치 파악이 불가능하였으며 열화상 카메라를 통한 온도 분석 방법을 이용한 경우도 생육 위치 파악 불가한 상

태임 (Fig 49).

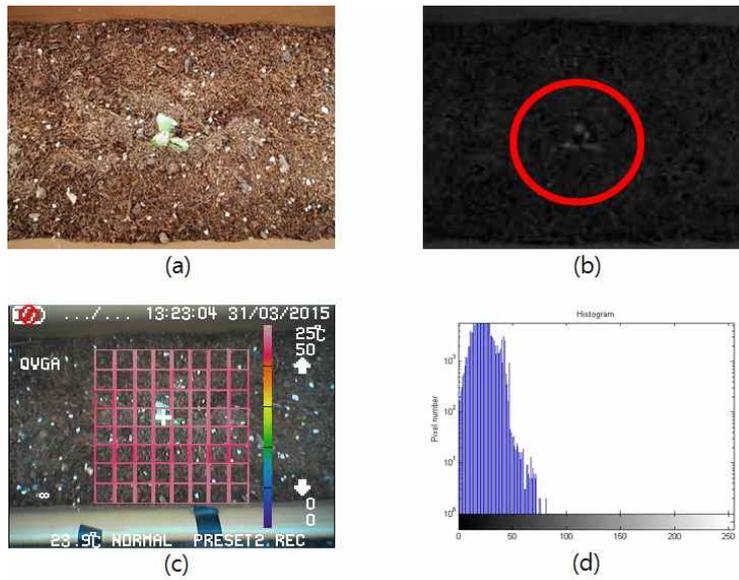


Fig. 49. 자엽기 3일 경과 후 백태의 에너지 반응 특성; (a) 취득 영상, (b) G 채널 - B 채널 분리 영상, (c) 열화상 카메라 취득 영상, (d) G 채널의 히스토그램

◇ 자엽기 3일 경과 적외선 센서 어레이 분석의 경우 정확한 작물의 생육 위치 결정이 어려운 노이즈가 발견됨 (Fig. 50).

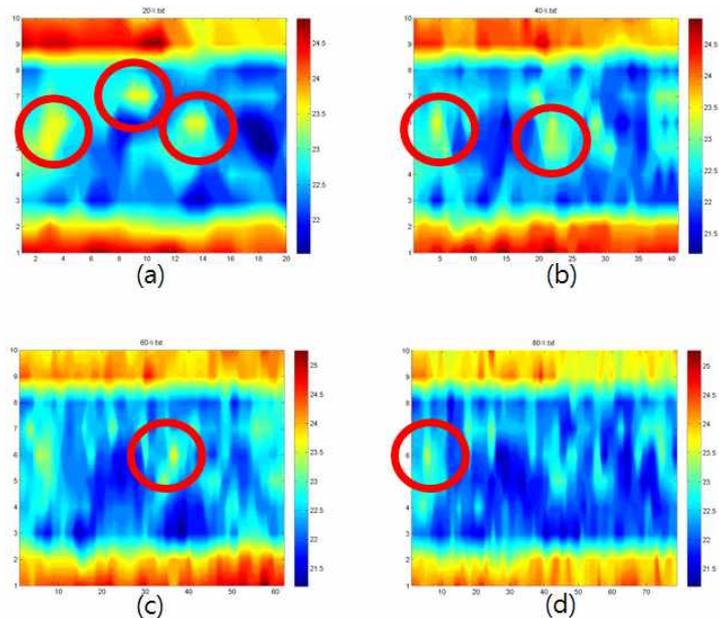


Fig. 50. 자엽기 3일 경과 후 적외선 센서 어레이 계측 속도에 따른 온도 분포; (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

◇ 자엽기 4일 경과 (2015년 4월 1일) RGB 영상 취득 후 G 채널 분리를 통해서 생육 위치 파악이 불가능하였으며 열화상 카메라를 통한 온도 분석 방법을 이용한 경우도 생육 위치 파악 불가함 (Fig 51).

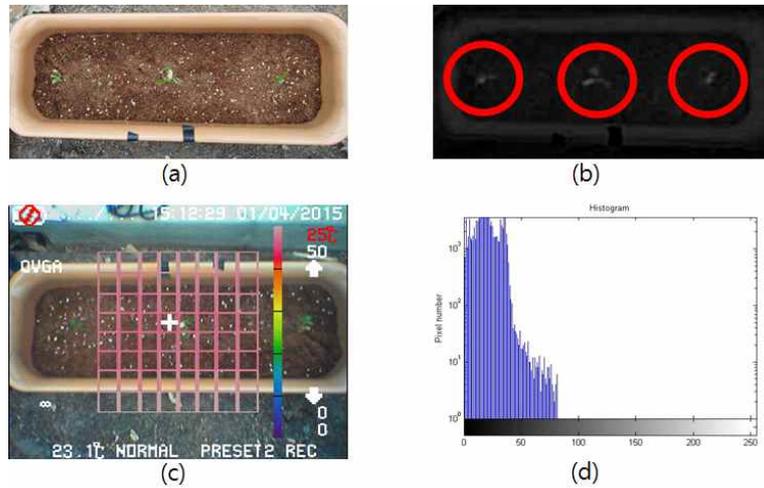


Fig. 51. 자엽기 4일 경과 후 백태의 에너지 반응 특성; (a) 취득 영상, (b) G 채널 - B 채널 분리 영상, (c) 열화상 카메라 취득 영상, (d) G 채널의 히스토그램

◇ 자엽기 4일 경과 적외선 센서 어레이 분석의 경우 측정 속도 1.4 cm/s 인 경우 가장 정확한 분포도를 나타냈으며 다른 측정 속도로 실험한 경우 작물의 생육 위치 판단이 부정확한 결과를 보임 (Fig. 52).

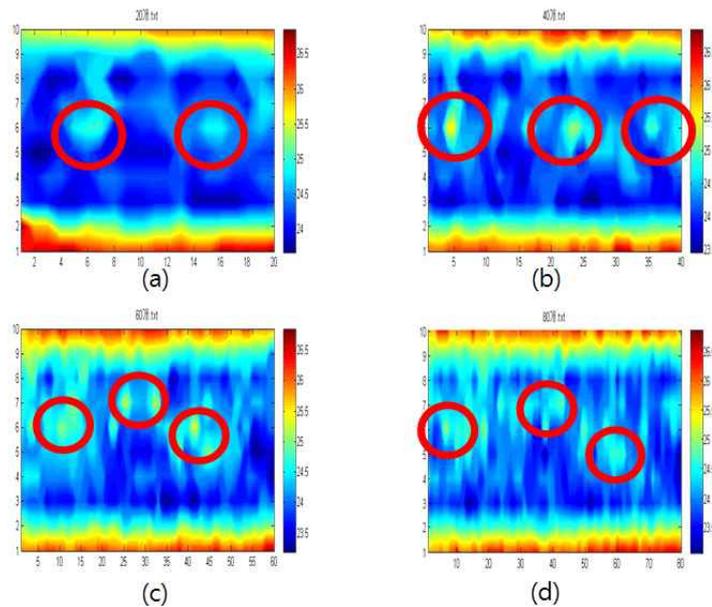


Fig. 52. 자엽기 3일 경과 후 적외선 센서 어레이 계측 속도에 따른 온도 분포; (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

◇ 3차 실험 결과 요약 : 스캐닝 기구부의 진동을 해소 하고 적외선 센서 어레이의 계측 속도를 조절하여 비닐 포장을 이용하기 전의 콩의 생육위치 판단을 수행하였음. 생육 시기 별로, 계측 속도 별로 상이한 온도 분포를 나타내어 정확한 콩의 생육 위치 판단이 정확하지 않음. 일부 실험 요인 (예 : 자엽기 4 일 경과 시 측정 속도 1.4 cm/s 로 계측) 의 경우 정확히 콩의 생육 위치를 판단가능한 분포도를 보임. 적외선 센서 어레이의 이동에 따른 측정의 지연 시간 해소 및 계측 시스템의 노이즈 저감을 통한 계측 데이터의 신뢰성 확보가 필요함

(11) 비닐포장 하부 잡초특성분석

- ◇ 실외 현장 실험 포장 조성은 재배지 잡초 특성을 파악하기 위하여 소규모 실외 현장 실험 포장 조성. 아울러 차년도 실외 요인 실험 및 시작기 현장 성능 평가를 위한 전처리 과정 수행함. 위치는 전북 무주군 안성면 공정리 산 23 (100평)이고, 대상작목 및 포장형태는: 대두, 서리태 및 전답 (유기농 채소 재배 이력) 임 (Fig. 53).



Fig. 53. 실외 현장 실험 포장지 조성 과정; (a) 기비 살포, (b) 두둑 성형, (c) 비닐 멀칭 (d) 생육 현황

- ◇ 비닐 포장 하부 잡초 발생 조사는 비닐 멀칭 수행 (2015년 5월 초순) 후 보고서 작성 시점 (2015년 7월 중순) 까지 무작위로 비닐 멀칭 하부에 잡초 발생 여부 조사함. 2개월 간의 생육 기간 중 비닐 포장 하부에서 잡초 발생 발견 전무함. 비닐 멀칭을 수행 하지 않은 고랑과 비닐 멀칭이 되어 있지 않은 이랑의 경우 1개월도 경과 되지 않아 잡초 발생하였음 (Fig. 54).

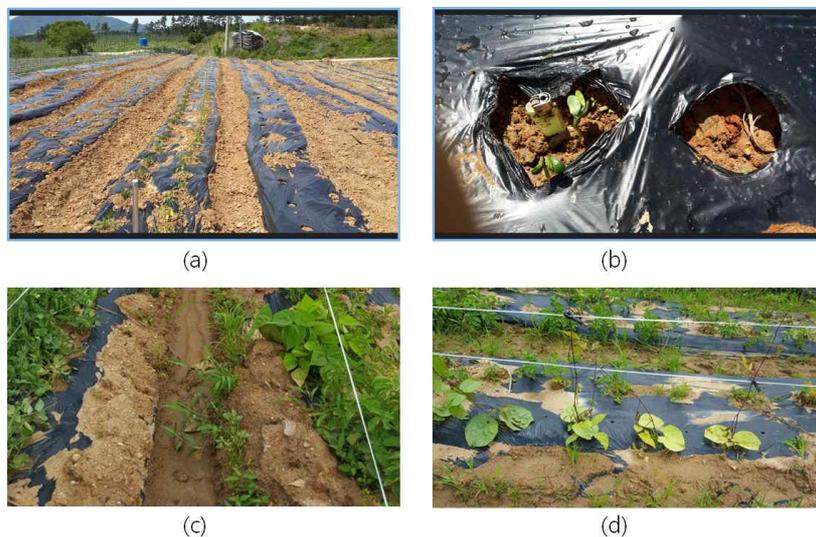


Fig. 54. (a) 멀칭 직후의 재배 환경, (b) 발아 초기의 비닐 멀칭 하부 조사, (c) 이랑에 서식하는 잡초, (d) 비닐 멀칭 주변의 잡초 발생

(12) 비닐포장 에너지 반사 및 투과 특성분석

◆ 1) 실내 요인 실험 (적외선 센서 어레이 보완 이전)

◇ 비닐 포장 하부 두류 작물 에너지 반응 특성 분석 시 사용된 실내 실험 요인 장치를 이용, 비닐 포장을 사용한 경우 작물의 생육 상태를 검안법으로 확인 불가하므로 앞서 수행한 1차 실험 (2015년 2월 6일~2015년 2월 20일) 수행 결과를 근거로 적외선 센서 어레이 사용 시점을 결정하여 실내 요인 실험 수행하였는데 콩 작목별로 실내 요인 실험에 사용된 화분에 파종 후 비닐 포장 멀칭을 수행한 후 열화상 측정 및 적외선 센서 어레이를 이용한 온도 분포도 구성하였음 (Fig. 55).

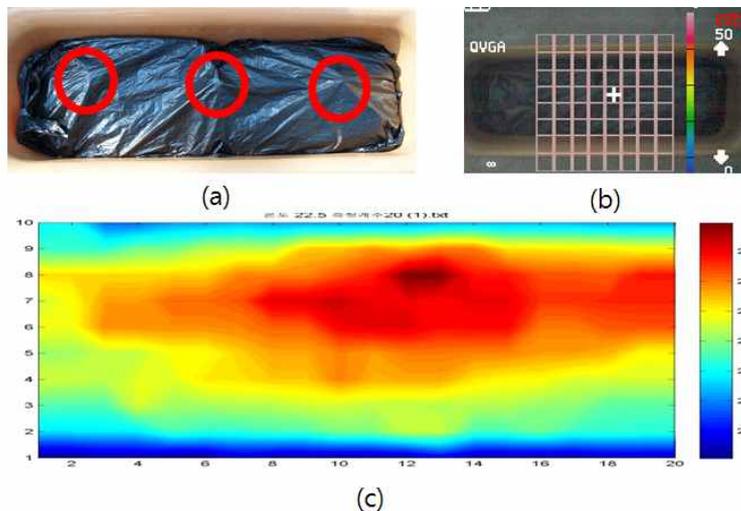


Fig. 55. 비닐 포장의 에너지 반사/투과 특성 분석 실내 요인 실험 방법; (a) 파종된 콩 상부에 도포된 비닐 포장, (b) 열화상 카메라를 이용한 에너지 특성 측정, (c) 적외선 센서 어레이를 이용하여 구성한 2차원 온도 분포도

- ◇ 자엽기 2일 경과 (2015년 3월 18일) : 서리태의 경우 우측 2곳에서 작물의 생육 위치 판단 가능
- ◇ 자엽기 3일 경과 (2015년 3월 19일) : 쥐눈이 콩의 경우 작물의 생육 위치 판단이 가능하며 서리태의 경우 미약하게 생육 위치 추정 가능 (Fig. 57).
- ◇ 자엽기 4일 경과(2015년 3월 20일) : 모든 작목에 대하여 뚜렷한 생육 위치 파악이 불가능하였으며 하루 전과 달리 전반적으로 비닐 포장 전체의 온도변이가 매우 적게 나타남 (Fig. 58).
- ◇ 자엽기 5일 경과 (2015년 3월 21일) : 하루 전의 온도 분포와 동일한 양상을 보임. 결과적으로 모든 작목에 대하여 생육 위치 추정 불가 (Fig 59).

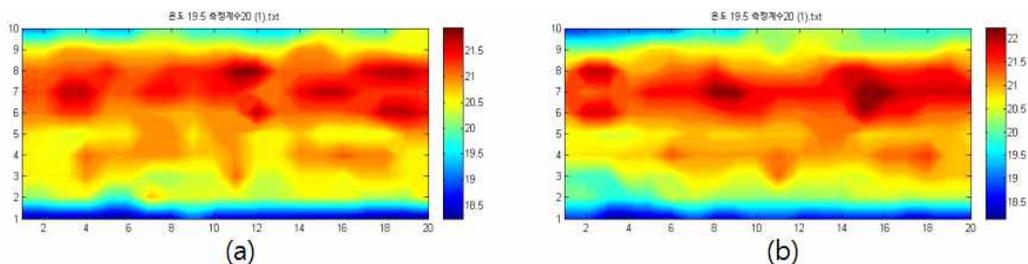


Fig. 56. 자엽기 2일 경과 후 비닐 포장 상부의 온도 분포; (a) 백태, (b) 서리태

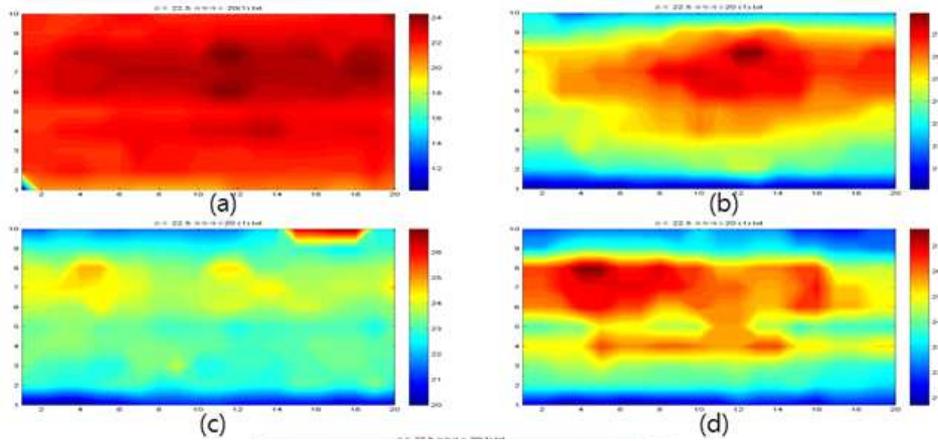


Fig. 57. 자엽기 3일 경과 후 비닐 포장 상부의 온도 분포; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩

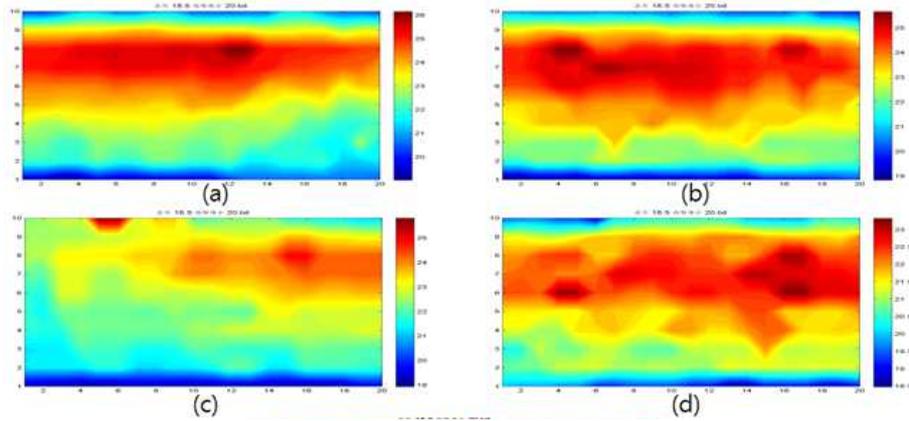


Fig. 58. 자엽기 4일 경과 후 비닐 포장 상부의 온도 분포; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩

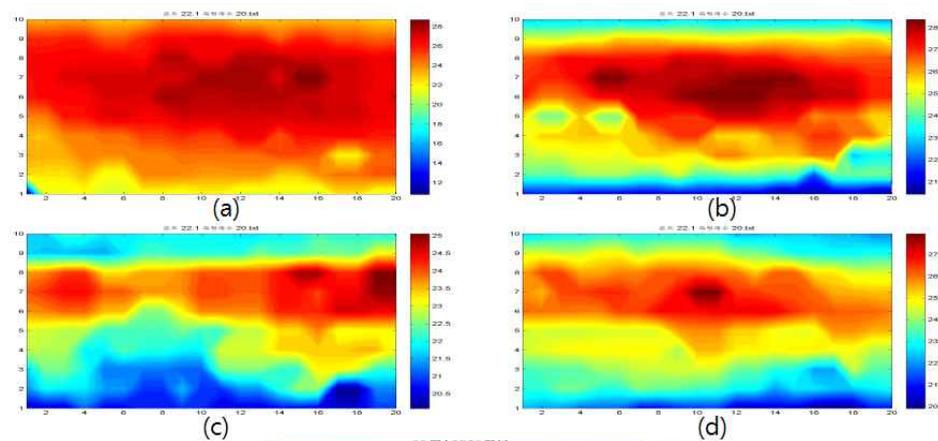


Fig. 59. 자엽기 5일 경과 후 비닐 포장 상부의 온도 분포; (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩

- ◆ 실내 요인 실험 (적외선 센서 어레이 보완 이후)
- ✓ 실험 기간 : 2015년 3월 26일 ~ 2015년 3월 31일

- ✓ 적외선 센서 어레이의 진동 문제를 보완한 후 재 실험.
- ✓ 5 가지 작목 중 백태를 선택하여 정밀 분석 수행.
- ✓ 적외선 센서 어레이의 스캐닝 속도를 4 단계 (2.77 cm/s, 1.40 cm/s, 0.90 cm/s, 0.70 cm/s)로 조절실험 (Fig. 60).

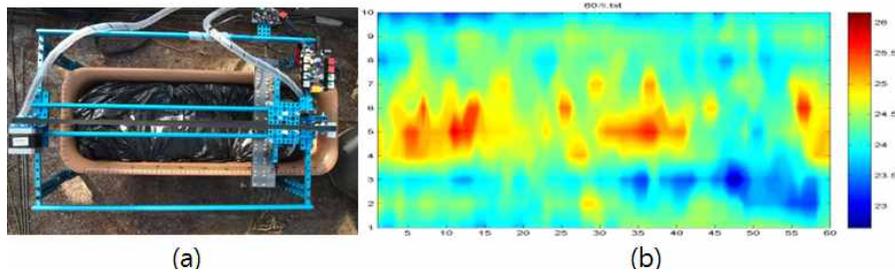


Fig. 60. 비닐 포장의 에너지 반사/투과 특성 분석 실내 요인 방법; (a) 과중된 백태 상부에 도포된 비닐 포장 과 적외선 센서 어레이 기구부, (b) 적외선 센서 어레이를 이용하여 구성한 2차원 온도 분포도

- ◇ 자엽기 1일 경과 (2015/3/26) : 비닐 포장 하부의 작물 생육 위치 파악이 불가 (Fig. 60).
- ◇ 자엽기 2일 경과 (2015/3/27) : 계측 속도가 1.4 cm/s 이하인 경우 콩의 생육 위치에 해당하는 곳의 온도 변화 관찰됨. 그러나 0.7 cm/s에서 우측 종료 부분에 과다한 노이즈 발생 (Fig. 61).
- ◇ 자엽기 3일 경과 (2015/3/28) : 모든 경우 콩의 생육 위치로 추정되는 온도 변화가 정확히 관찰되나 위치가 상이하여 이동 속도에 따른 계측 지점의 보정 기술이 필요 (Fig. 62).
- ◇ 자엽기 4일 경과 (2015/3/29) : 하루 이전에 비하여 온도 변화 관찰의 범위가 상대적으로 넓어졌으며 백태 초엽의 면적 변화에 기인한 것으로 확인됨. 그러나 3 곳에서 발견되어야 할 생육 위치가 2 곳에서 공통적으로 발견되는 점을 고려하여 봤을 때 3곳에서 생육 중인 백태의 생육 특성의 차이가 영향을 끼친 것으로 추정됨 (Fig. 63).
- ◇ 자엽기 5일 경과 (2015/3/30) : 하루 이전에 비하여 온도 변화 관찰의 범위가 상대적으로 넓어짐과 동시에 중앙부에 위치한 콩의 생육 위치에서 온도 변화가 다시 발생하였음. 비닐 포장 하부에 접촉하여 비닐 포장과 접촉한 부위라고 판단됨 (Fig. 64).
- ◇ 자엽기 6일 경과 (2015/3/31) : 2.77 cm/s, 1.40 cm/s 의 속도로 계측한 경우 2 곳, 0.90 cm/s 의 속도로 측정된 경우 3 곳, 가장 저속으로 측정된 경우 다수의 곳에서 온도 변화 관찰 (Fig. 65).

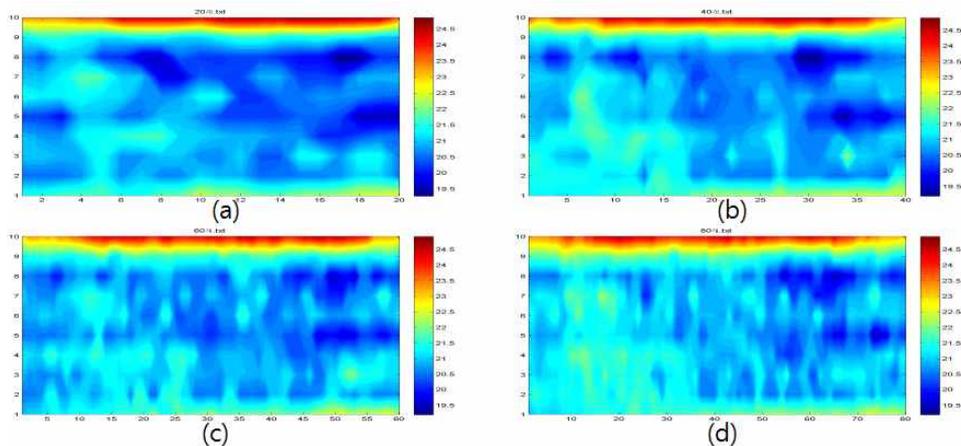


Fig. 61. 자엽기 1 일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

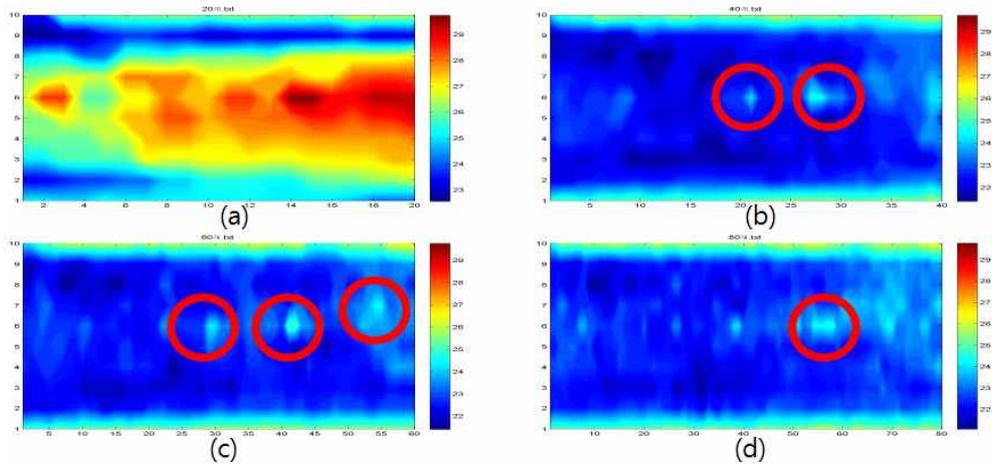


Fig. 62. 자엽기 2일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

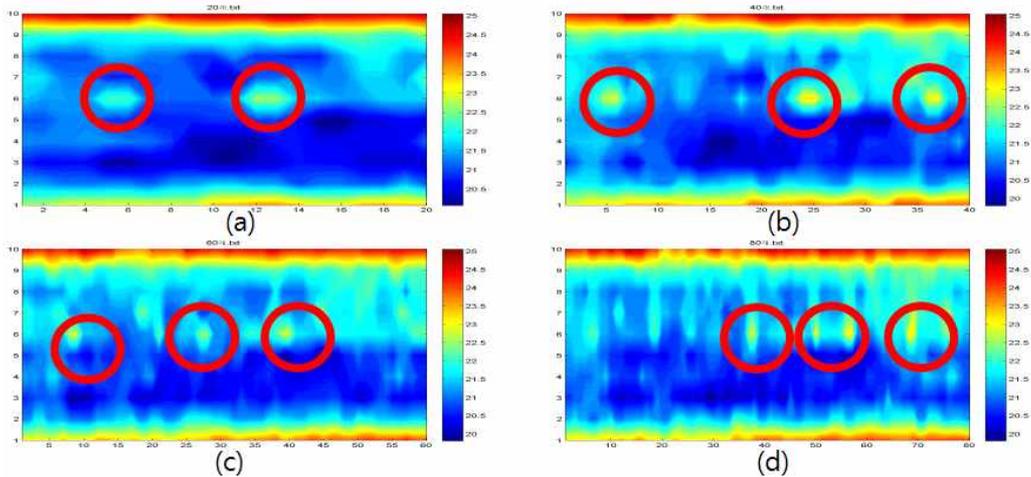


Fig. 63. 자엽기 3일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

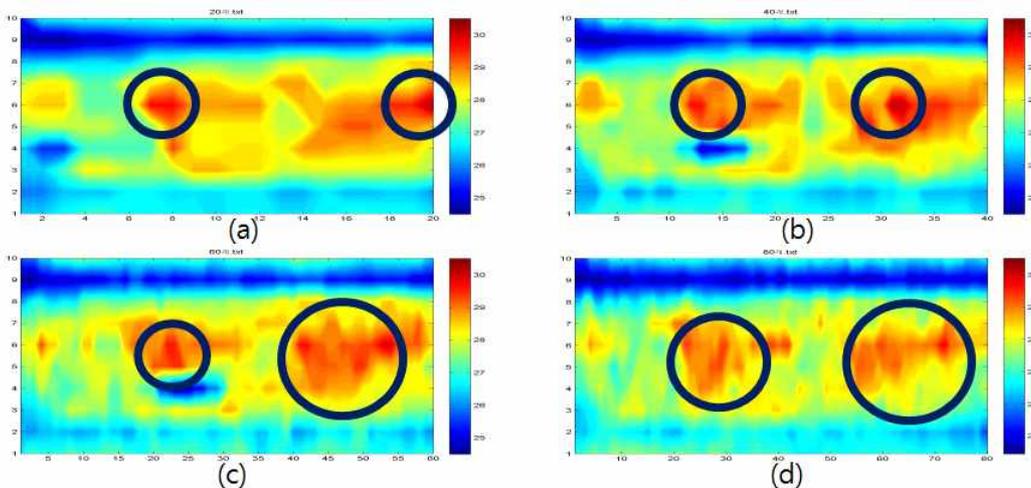


Fig. 64. 자엽기 4일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

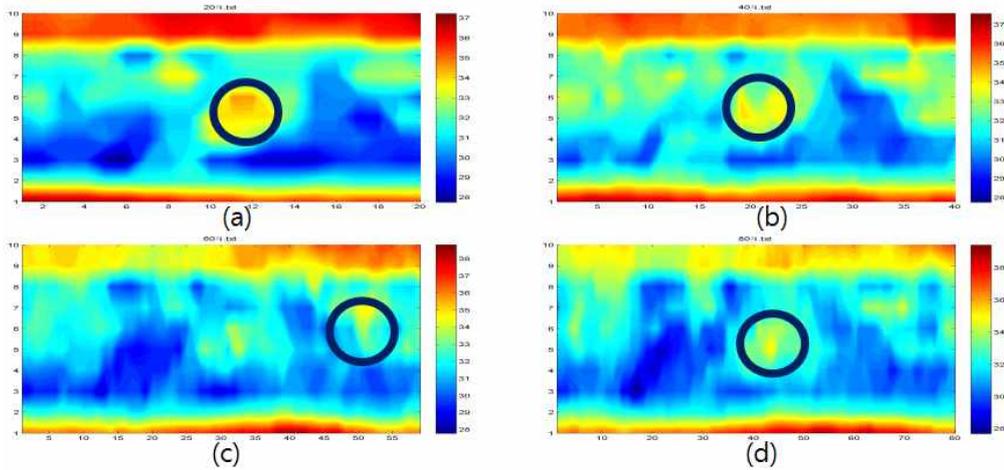


Fig. 65. 자엽기 5 일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

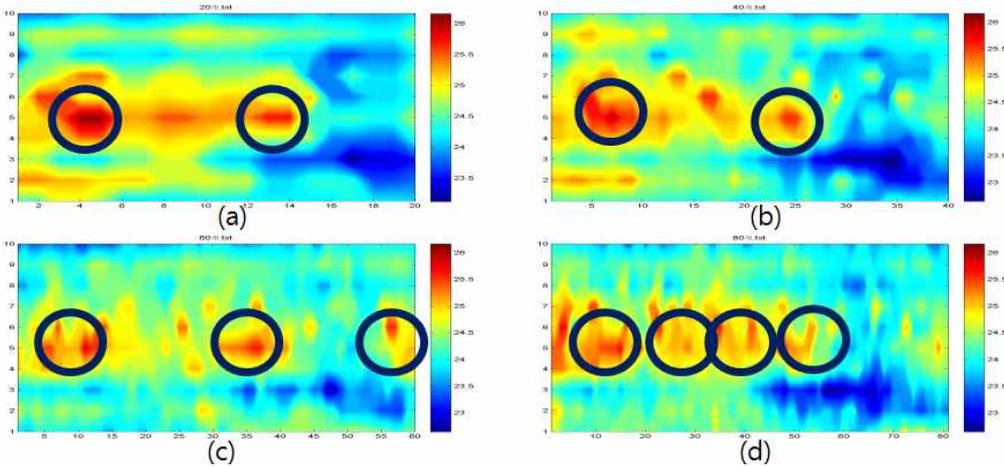


Fig. 66. 자엽기 6 일 경과 후 비닐 포장 상부의 따른 온도 분포; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

◇ 실내 요인 실험 결과를 요약하면 ㉠비닐 멀칭을 수행한 콩에 대하여 작목별, 적외선 센서 어레이의 스캐닝 속도 별 실내 요인 실험 결과 비닐 멀칭을 수행하지 않고 직접 인식을 수행한 경우보다 생육 추정 위치에서의 온도 변화가 상대적으로 선명하게 발견됨. ㉡자엽기 초기 (1~2일)이나 말기 (5~6일)에 비하여 중기 (3~4일)에 적외선 센서 어레이를 이용한 비닐 포장 하부의 작물 인식이 상대적으로 수월하였고, ㉢콩 작목의 형태와 자엽기 생육 시기별 상이한 온도 변이가 발견되었으며, 실험 과정 상 발견한 적외선 센서 어레이 스캐닝 기구부의 진동 및 측정 지연에 의한 오차 해소 방안 마련 필요하였으며, ㉣생육 외기 조건 (기온, 온실내의 일사 조건)에 기인한 작물 온도의 역전현상 대응을 위한 신호처리 알고리즘 보완 필요한 것으로 나타남.

(13) 콩 초엽 인식 센서 어레이 설계

◇ 비닐 포장 하부 두류 작물 인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계 과정은 작물의 상태를 작물 성장에 방해가 되지 않는 비파괴적인 방법으로 열화상을 이용하는 방법을 활용하고, ㉤원격측정한 방법인 열화상과 디지털 영상분석을 통해 관찰 대상 작물을 물리적으로 접촉하지 않고 비파

괴적이며 연속적으로 정보를 얻고 해석 가능하며, ㊸열화상 장치 및 디지털 영상처리 장치를 사용하여 병 피해를 관찰할 경우 주관성으로 인한 오차를 줄이고 객관성 있고 일관성 있게 식물을 관찰하여 작물 피해 분석의 정확성을 높일 수 있음 (채희연, 2000) (Fig. 67).

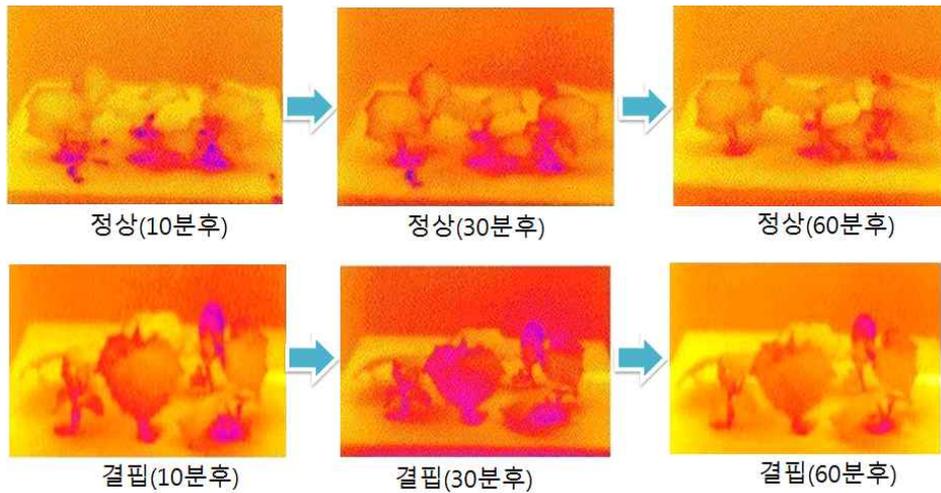


Fig. 67. 질소 스트레스에 의한 오이의 온도 반응 (채희연, 2000)

◇ 적외선 센서 모듈 (DTS-L300-V2)과 측정 밀도 조절이 가능한 휘는 기판을 적용함 (Fig. 68, Table 16).

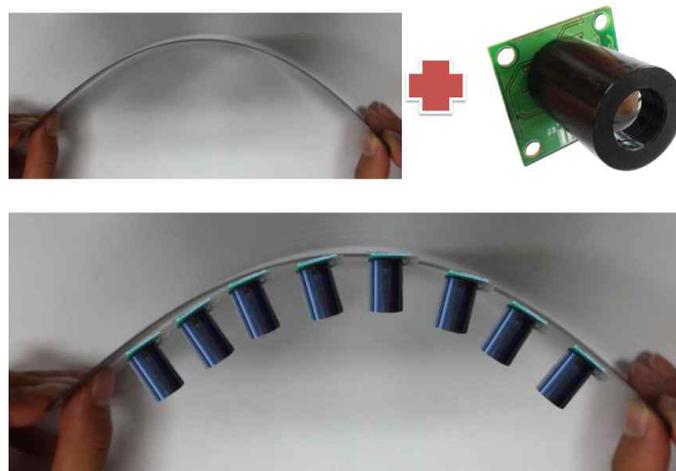


Fig. 68. 휘는 기판에 연결된 적외선 센서

Table 16. Specifications of the DTS-L300-V2 (DiWell Electronics, Korea)

항목	세부 사항
측정 온도 구간	-30 ℃~300 ℃
동작 온도 구간	-20 ℃~70 ℃
분해능	0.01 ℃
DS ratio	15:1
정확도	±2 %
입력 전압	2.4 V~3.6 V
통신 인터페이스	SPI

- ◇ 적외선 센서의 통신 방식은 SPI (Serial peripheral interface) 통신으로 4 가닥의 선을 이용하여 정밀도가 높은 디지털 데이터를 전송할 수 있는 방식을 채택함.
- ◇ SPI 통신을 수행하는 적외선 센서를 다중으로 MCU (Micro controller unit)와 연결하기 위하여 GPIO (Genrel Purpose IO)를 통한 디지털 통신 방식 채택 및 SPI 통신 프로그램 작성함.
- ◇ SPI 통신을 수행하는 센서에서 수신한 디지털 데이터를 분석하기 위한 MCU는 Atmega128™ (Atmel, California, USA) 모델을 사용하며, SPI 통신 프로그램 작성을 위하여 AvrStudio™ (Atmel, California, USA) 개발환경 하에서 C 언어를 이용함.
- ◇ 적외선 센서 모듈의 입력전원과 TTL레벨의 기준 전압이 3.3 V이므로 5.0 V로 작동하는 MCU와 연결하기 위하여 양방향 전압 변환 회로를 추가하여 센서 어레이 인터페이스 수행하며, 실험 현장에서 원활한 데이터 전송을 위하여 무선통신 (Zigbee) 기능을 추가함 (Fig 69).

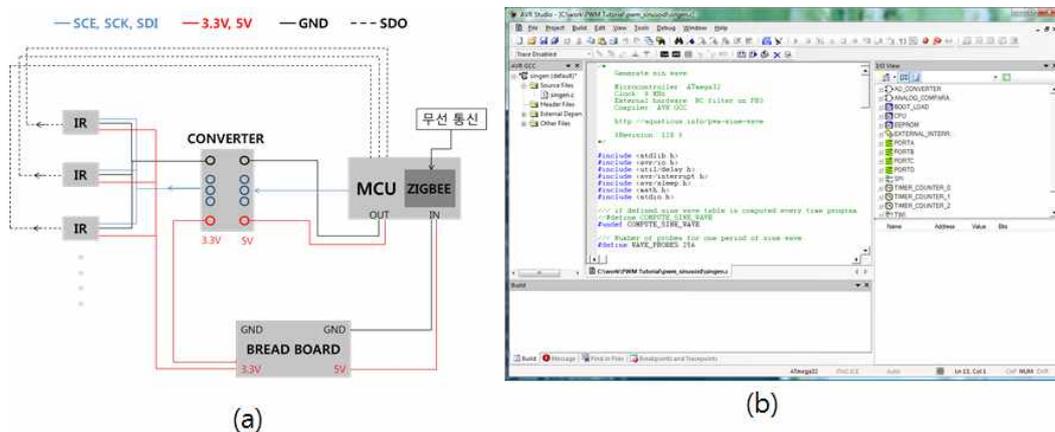


Fig. 69. (a) 적외선 센서 어레이와 MCU 연결도, (b) SPI 통신 프로그래밍 개발 환경

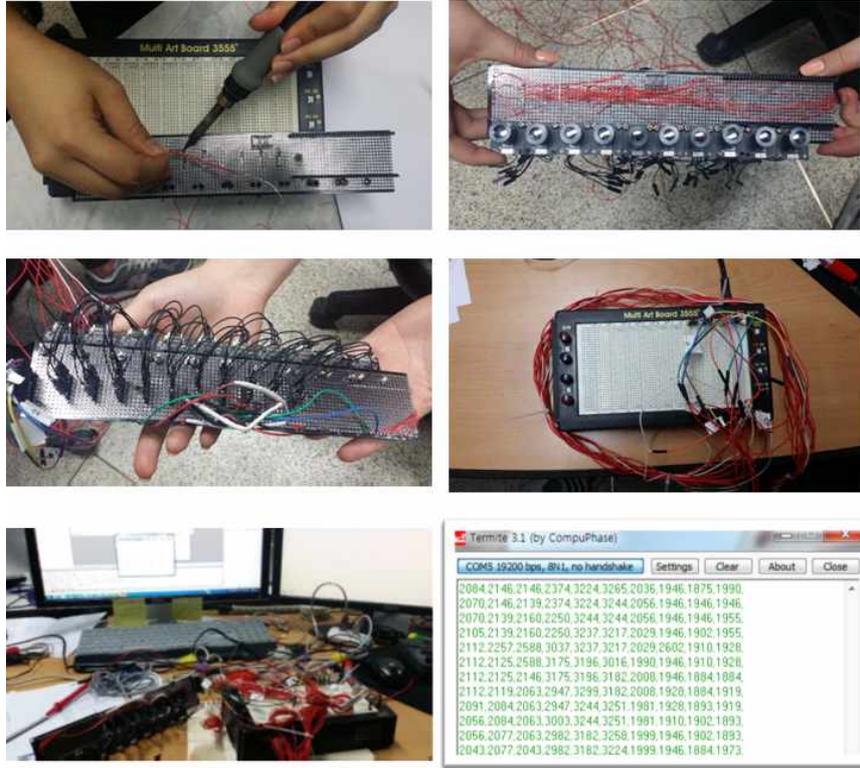


Fig. 70. 적외선 센서 어레이 제작 과정 및 SPI 통신 테스트

◇ 수평방향으로 센서 어레이를 왕복 운동 시키기 위한 기구부 설계는 다음과 같음 (Fig. 71).

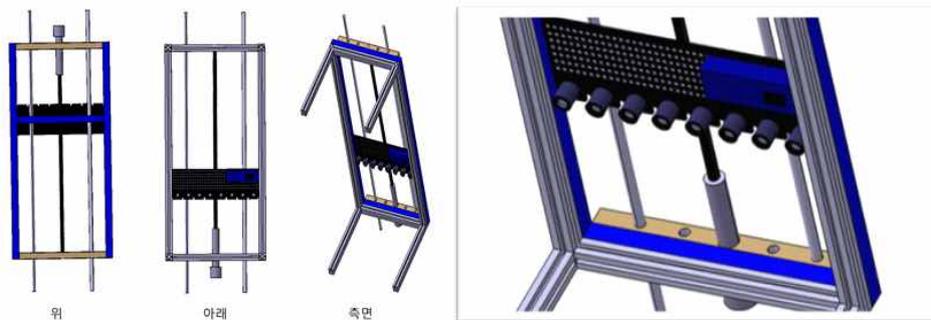


Fig. 71. 적외선 센서 어레이와 수평 왕복 스캐닝 기구부 설계

◇ 스캐닝 기구부, 센서 어레이 및 MCU를 통합한 요인 실험 장치 제작은 다음과 같음 (Fig. 72).

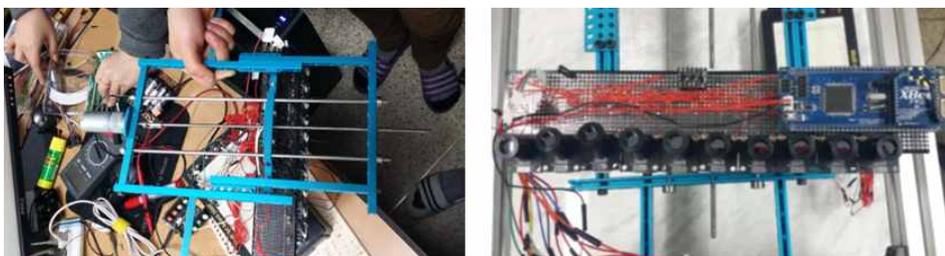


Fig. 72. 스캐닝 기구부의 제작과 센서 어레이 통합

◇ 스캐닝 기구부의 왕복 운동과 적외선 센서 어레이의 온도 측정 기능을 통합하여 실시간으로 측정된 온도 데이터를 이용하여 2차원 평면 온도 분포도 작성하고 스캐닝 기구의 수평 방향 이동에 따라 적외선 센서 어레이에서 측정된 온도 값이 누적되어 1회의 이동을 마치면 2차원 평면 온도 분포도를 완성하는 방식으로 생육 중인 콩과 주변의 온도 분포를 시각화함. 실험 현장에서 원활한 운영을 위한 사용자 버튼 (작동 시작, 중단) 추가 및 배터리를 내장하여 휴대형으로 사용이 가능한 다중 적외선 센서 어레이 요인 실험 장치 완성하고 각 적외선 센서에서 1 Hz의 주기로 측정된 온도 데이터를 무선통신 (Zigbee) 을 통해 PC로 전송함 (Fig. 73, Fig. 74, Fig 75).

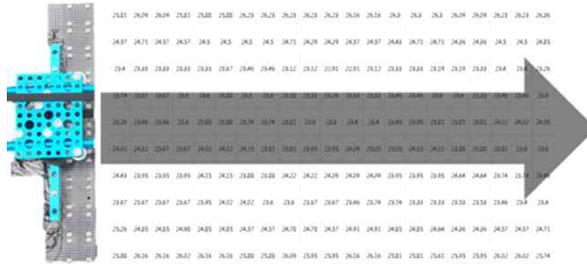


Fig. 73. 적외선 센서 어레이를 이용한 2차원 평면 온도분포 측정 원리

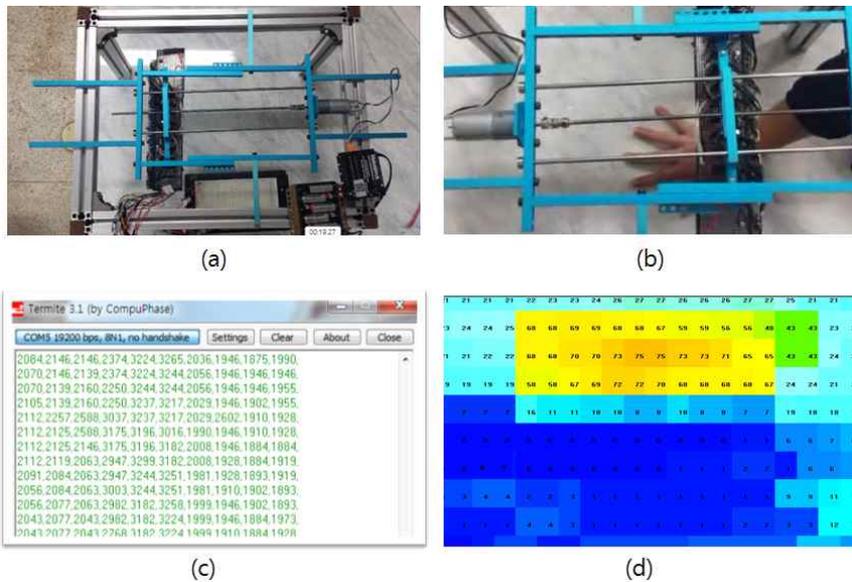


Fig. 74. (a) 스캐닝 기구부의 완성, (b) 스캐닝 기구부의 왕복 테스트, (c) 실시간으로 전송되는 적외선 온도 데이터, (d) 전송된 데이터를 이용하여 화면에 도시한 온도분포도

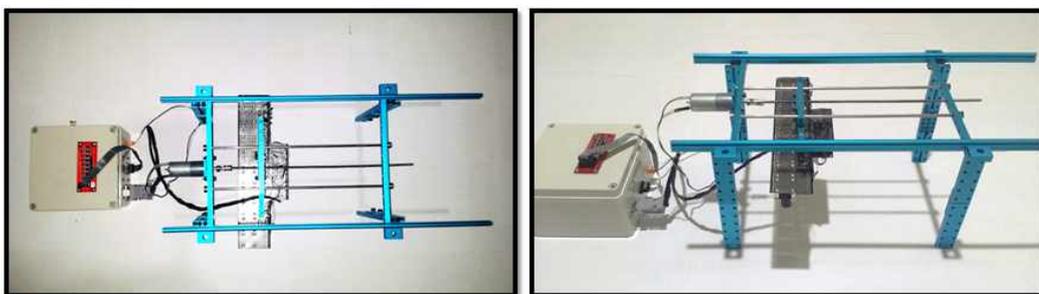


Fig. 75. 스캐닝 기구부 제어버튼과 배터리가 추가된 적외선 센서 어레이

◇ 적외선 센서 어레이 데이터 분석 방법은 ㉠1차원 배열의 적외선 센서 어레이 배치 방향의 직각 방향으로 이동하면서 2차원 분포도 구성 가능케 하고, ㉡진행 거리에 따라 세로축의 샘플링 수는 증가하나 가로축의 샘플링 수는 항상 일정한 수임 (본 실험의 경우 10개의 적외선 센서 어레이를 사용), ㉢공간 통계분석 방법을 이용하여 점 단위로 구성된 온도 분포도를 재구성하는 데이터 처리 방법을 사용하여, ㉣점 단위로 계측된 온도 데이터를 이용하여 보편적 보간법인 2차원 선형 보간법을 우선 이용하여 온도 분포를 재구성, 추후 분석에 활용하며, ㉤온도 분포 재구성을 위하여 Matlab™에서 지원하는 Math script를 이용함 (Fig. 76, Fig. 77, Fig. 78).

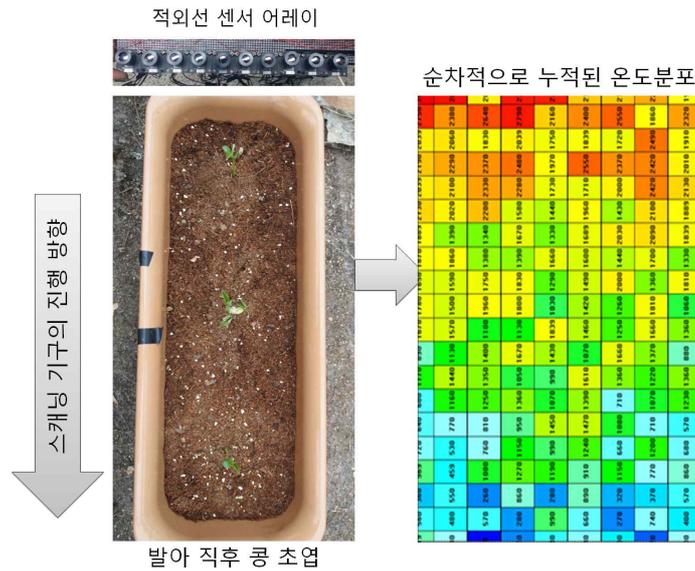


Fig. 76. 적외선 센서 어레이를 이용한 2차원 온도 분포도 작성 과정

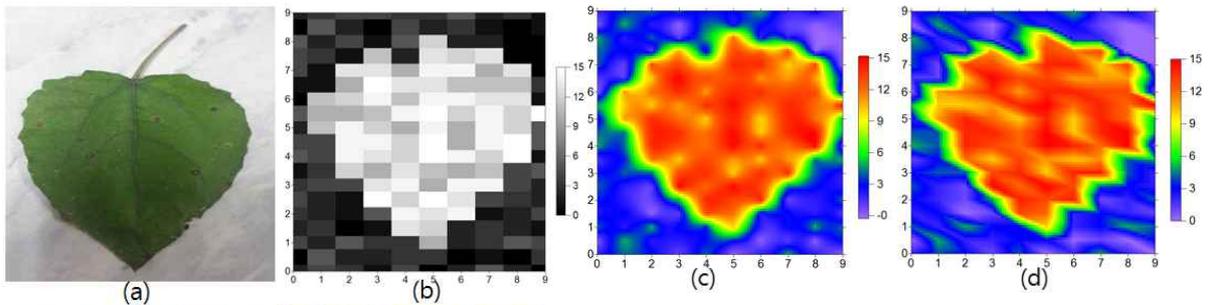


Fig. 77. 공간 통계 분석 방법을 이용한 온도 분포도 재구성; (a) 시료, (b) Quantization, (c) Kriging interpolation, (d) Linear interpolation

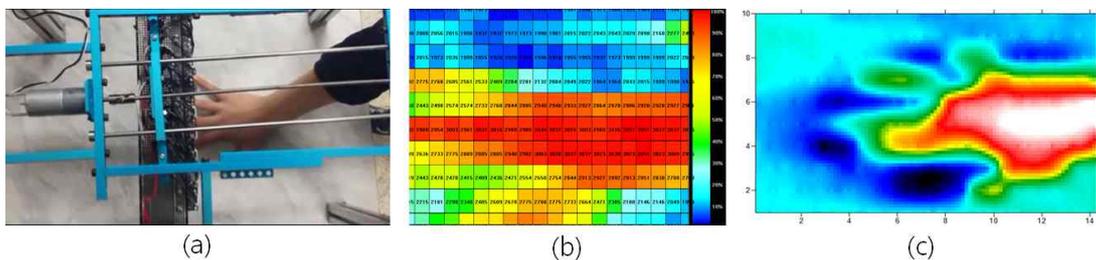


Fig. 78. 2차원 선형 보간법을 이용한 온도 분포도 재구성; (a) 피실험자의 손, (b) 점 단위의 데이터를 이용 온도 분포, (c) 2차원 선형 보간법 이용 재구성 온도 분포

※ 2차원 선형 보간을 위한 Math script

<pre> max = 0; min = 100; for zz = 1 : length(dList); T_data = load(dList(zz).name); T_data = T_data'; T_data = T_data./100; [x, y] = size(T_data); for i = 1 : x for j = 1 : y if T_data(i,j) > max max = T_data(i,j); end if T_data(i,j) < min min = T_data(i,j); end end end end end </pre>	<pre> v = [10 : 0.05 : 30]; figfig = figure(zz); contourf(T_data,v,'LineColor','none'); caxis([min max]); colorbar; title(sprintf('%s',dList(zz).name)); set(figfig, 'Position', [100, 100, 800, 290]); end </pre>
--	--

(14) 센서 어레이 작물인식 요인실험

◇ 센서 어레이 작물 인식 성능 요인 실험은 선행 요인 실험 과정 상 도출된 개선점 반영은 ㉠센서 어레이의 출발 지점과 종료 지점에 설치된 릴레이와 MCU의 연결과, ㉡센서 어레이 평행 이동시 진동 감소를 위한 슬라이딩 기구부 유격 조절하고, ㉢슬라이딩 기구부 소요동력증가 대응을 위한 스텝 모터 용량 증가하였음 (Fig. 79, Fig. 80).

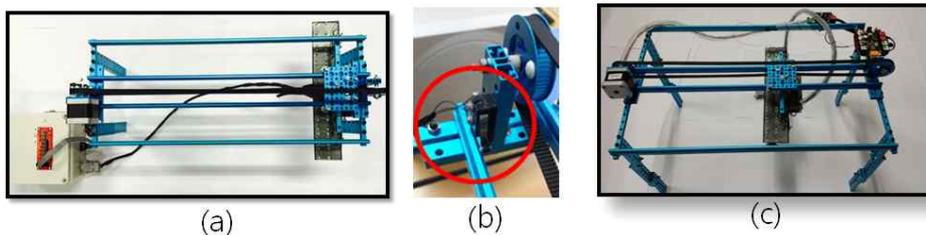


Fig. 79. (a) 개선 전의 슬라이딩 방식 스캐닝 기구부, (b) 슬라이딩 유격 조절 및 종료 지점 인식 릴레이 설치 (c) 개선 후의 슬라이딩 방식 스캐닝 기구부

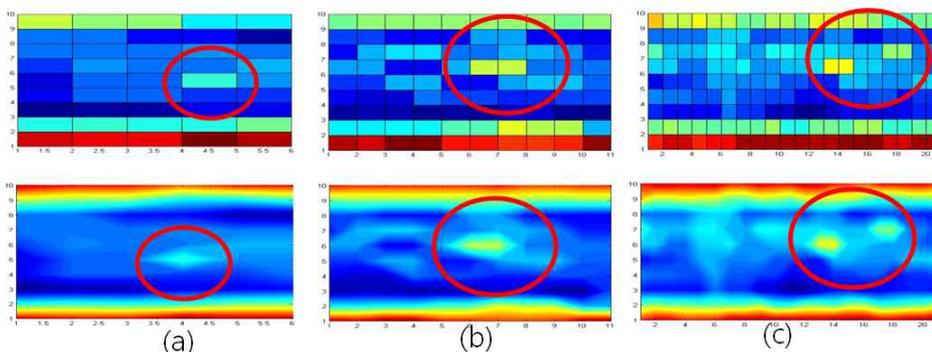


Fig. 80. 슬라이딩 기구부의 계측 속도에 따른 온도 분포 변화; (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.70 cm/s

- ◇ 슬라이딩 기구부 측정 속도에 따른 오차 요인 분석은 ㉠선행 실험 과정에서 자주 발견되었던 측정 지연 오차 분석을 위한 요인 실험을 수행하고, ㉡자엽기 3일 경과된 백태를 대상으로 반복적으로 적외선 센서 어레이를 이용한 온도 분포를 측정함에 있어 측정 속도만 3단계로 조절 (2.77 cm/s, 1.40 cm/s, 0.70 cm/s)하며, ㉢2.77 cm/s의 속도로 이동 시 상대적으로 작은 온도 변화가 관찰되나 주변과 구별이 가능한 수준으로, ㉣1.40 cm/s의 속도로 이동 시 명확하게 온도 변화가 관찰되어 관찰 대상의 위치 판별이 가능 수준이며, ㉤0.70 cm/s 속도로 이동시 중간에 단절이 발생하여 2개의 상이한 대상체로 인식하는 오류가 있음.
- ◇ 작물과 주변의 온도차에 따른 인식 성능 실험은 ㉦기온과 함께 작물의 온도와 작물로 부터 일정 거리 (3 cm, 5 cm) 인접한 지점의 온도를 디지털 온도계로 측정한 후 적외선 센서 어레이를 이용한 온도 분포 측정하고, ㉧작물온도 (18 °C)<주변온도 (19 °C)<기온 (24 °C) 인 경우의 온도 분포 : 주변 보다 온도가 낮은 작물의 경우 인식이 불가하며 기온의 영향을 받은 임의의 주변 지점의 온도 변화가 관찰됨 ⇨ 기온보다 작물의 온도가 낮을 경우 작물의 위치가 아닌 지점을 작물의 위치로 오인할 가능성이 높으며, ㉨작물온도 (33.0 °C)≐주변온도 (33.3 °C)>기온 (27.1 °C) 인 경우의 온도 분포 : 기온보다 작물의 온도가 높은 경우 주변 온도와 비슷한 상황이라도 인식이 가능. 단 계측 속도에 따른 온도 분포의 단절 현상을 해결해야 함 ⇨ 작물 과 비닐 포장의 온도가 주변의 대기 또는 토양의 온도보다 높을 경우 온도 분포 변화에 따른 위치 추정이 가능한 것으로 나타남 (Fig. 81, Fig. 82, Fig. 83).

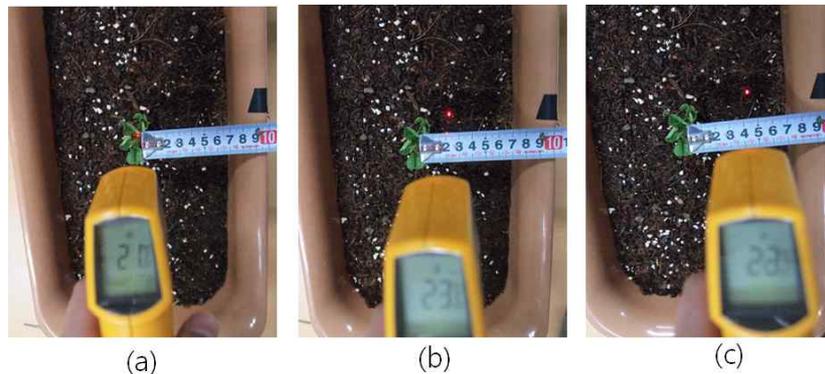


Fig. 81. 작물의 온도의 인접한 주변의 온도 측정; (a) 작물 온도 측정, (b) 3 cm 인접한 곳의 온도 측정, (c) 5 cm 인접한 곳의 온도 측정

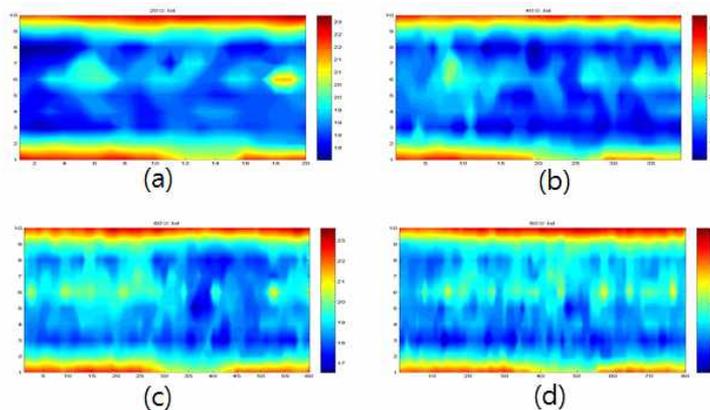


Fig. 82. 작물온도 < 주변온도 < 기온 인 경우의 계측 결과; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

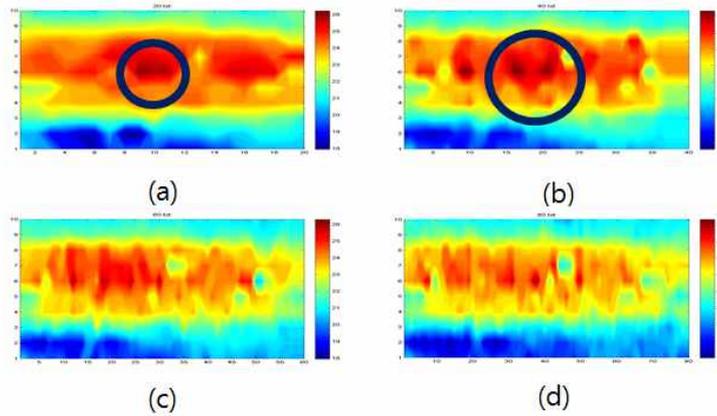


Fig. 83. 작물온도 \approx 주변온도 > 기온 인 경우의 계측 결과; 계측 속도 (a) 2.77 cm/s, (b) 1.40 cm/s, (c) 0.90 cm/s, (d) 0.70 cm/s

- ◇ 센서 어레이 작물 인식 성능 향상 방안 도출은 ㉠계측 속도에 따른 온도 분포 단절 현상을 극복하기 위한 적외선 센서 신호 후처리 기술 보완하고, ㉡작물과 주변의 온도 및 기온을 동시에 계측하여 주변 상황 대응 가능한 강인한 인식 알고리즘 개발하여, ㉢콩 천공기 설치 조건을 고려하여 진동 및 불규칙적인 이동속도에도 외란을 줄일 수 있는 신호 처리방법 개선할 계획임.

(15) 천공기 시작기 제작 및 요인실험

- ◇ 1차년도 요인실험은 천공 커팅 요인실험장치를 통해 적정 천공커터의 실험을 위한 커터설계에 대응하고 제작된 1차년 현장요인실험을 위해 제작된 천공기는 상용 관리기에 부착되어 관리기-천공기 시스템으로 제작되었으며 1차년 제작 및 요인실험은 다음과 같음.

- ◇ 천공장치의 구성은 다음과 같음.

- ✓ 천공기 프레임(상용관리기 적용)
- ✓ DC12V용 에어 콤프레샤(상용관리기 적용)
- ✓ DC12V용 Deep Cycle 밧데리(상용관리기 적용)
- ✓ 관리기 힛치판 결합부(상용관리기 적용)
- ✓ 결합부 높이조절 기능장치(두둑환경 적용)
- ✓ 공압 실린더
- ✓ 천공장치 상하 높이 조절장치(두둑환경 적용)
- ✓ 천공장치 좌우 폭 조절장치(두둑환경 적용)
- ✓ 보조바퀴 높이 조절장치(두둑환경 적용)
- ✓ 보조바퀴(전방 좌우)(두둑환경 적용)
- ✓ 천공커터, 슬레노이드 밸브 및 공압 배관
- ✓ 콘트롤 패널

- ◇ 요인실험장치로 제작된 천공장치 시작기의 구성 및 내용은 다음과 같음 (Fig. 84).



천공기 작동을 위해 설치된 DC 12V용 에어 콤프레샤 (천공기에 장착된 배터리를 이용하여 동작)



천공기 작동을 위해 설치된 DC 12V용 충전식 심방전 배터리(관리기의 제너레이터를 이용 충전)



천공기 연결된 사용된 관리기 전방 히치판 조합 및 천공기의 핀 결합상태



천공기 연결된 사용된 관리기 전방 히치판 조합부



장착된 공압식 천공장치부는 공압실린더와 천공커터가 장치부에 연결되어 상하 좌우 조절이 가능토록 제작



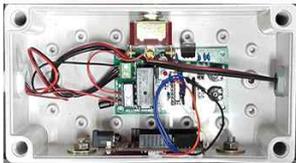
제작된 1차년도 천공기 천공장치 시제작품 (상용 관리기에 결합된 상태) (현장 실증시험에 적용)



천공부의 좌우조절을 위해 제작된 기어 조합부(중앙 사각부분이 천공장치 상부)



천공부의 보조바퀴의 좌우조절을 위해 설치된 보조바퀴 조절부



천공부의 천공제어를 위해 설치된 콘트롤 패널(천공 시간간격과 1회 싸이클 시간을 조절)



천공실험을 위해 제작된 사각, 육각, 원형 커터(각 30,45,60도의 절단면 형상)



천공장치 프레임의 높이조절이 가능하도록 구성된 높이조절장치



천공부를 지지하는 보조바퀴(무동력으로 관리기의 주행동력으로 주행)

Fig. 84. 1차년 요인실험장치의 구성내용 설명도

◇ 1차년의 프레임 설계 및 커팅 메카니즘 설계, 실시설계, 단순화 및 최적화 설계, 진동을 고려한 프레임 설계 및 검증 등을 통해 공압을 이용해 멀칭비닐을 천공하는 기구부 요인시험장치를 시작기 수준으로 제작하였는데 내용은 다음의 측면, 정면, 평면과 같음 (Fig. 85, Fig. 86, Fig 87).

- ✓ 명칭 : 비닐멀칭환경 자동천공기 1차년 시작기
- ✓ 형식 : 상용 관리기 부착형 (공압)
- ✓ 능률 : 90 punching min⁻¹ (3,780 punching hr⁻¹ <--- 70% 현장효율 적용)
- ✓ 동력 : DC12V 배터리 구동형(관리기에 병렬연결 충전)
- ✓ 규격 : W800 * D950 * H888 mm



Fig. 85. 제작된 1차년도 요인시험장치 측면 주요부 구성



Fig. 86. 제작된 1차년도 요인시험장치 정면 주요부 구성

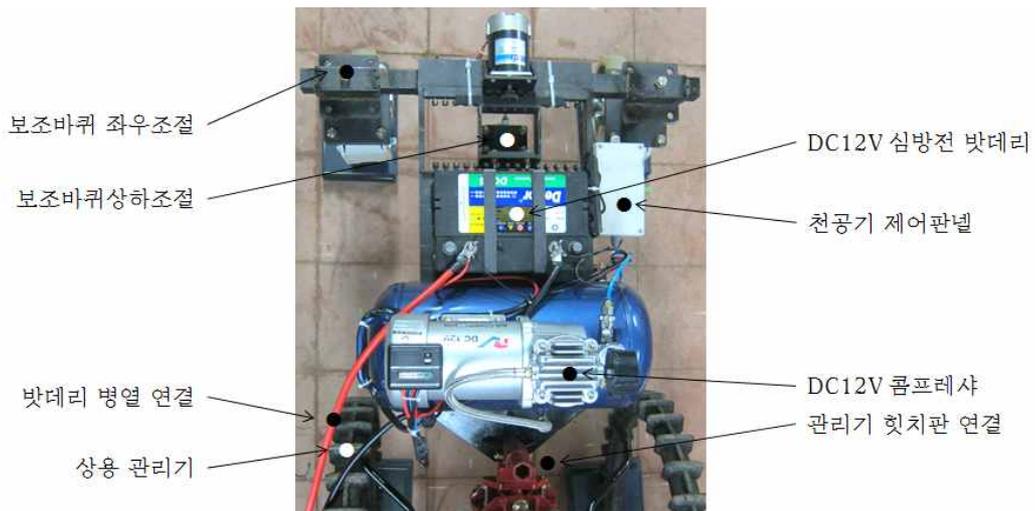


Fig. 87. 제작된 1차년도 요인시험장치 평면 주요부 구성

◇ 요인시험장치의 제작은 (1)비닐멀칭 천공장치 및 방법과 (2)작물의 생육정보 수집장치 및 방법에 대한 2개의 특허를 출원하였으며 기술권리성의 조기 확보와 추가적인 특허출원으로 개발 완성도와 실용화 가능성을 높이는 방향을 설정함.

◇ 1차년의 공압방식 시작기 제작을 위해 크랭크형식의 커팅 접촉면 요인시험장치로 회전수를 조절하면서 커팅칼날 제작을 위한 요인실험을 진행하였는데 내용은 다음과 같음 (Fig. 88).

- ✓ 명칭 : 1차년 시작기 제작을 위한 커팅칼날 요인시험장치
- ✓ 능률 : 120 punching min⁻¹ (5,040 punching hr⁻¹ <--- 70% 현장효율 적용)
- ✓ 규격 : W270 * D1240 * H425 mm

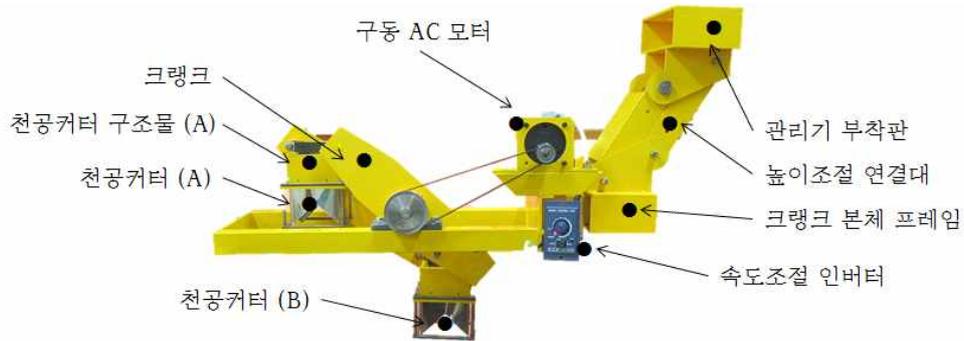


Fig. 88. 제작된 1차년도 커팅칼날 요인시험장치 주요부 구성

◇ 요인시험장치 실험을 위해 다양한 커팅칼날 제작 (3형상 * 3각도 * 2식)되었는데 다음과 같음.

- ✓ 형상 : 사각, 운형, 육각 (Fig. 89)
- ✓ 칼날 : 형상에 대해 각 30°, 45°, 60° (Fig. 90)
- ✓ 실험 : 실내실험 및 현장실험 적용



Fig. 89. 제작된 요인시험장치 커팅칼날 형상

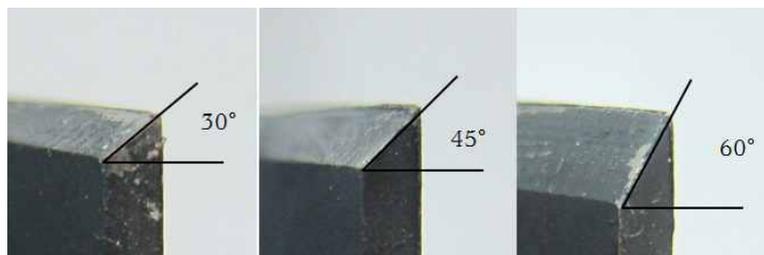


Fig. 90. 제작된 요인시험장치 커팅칼날 각도 형상

- ✓ 커팅칼날은 SS400 재질의 두께 3.2 mm 철판가공으로 제작.
- ✓ 칼날 제작은 초엽인식 후 천공하는 거리(초엽중심~형상별 최소 커팅면)에 기준함.
- ✓ 각 칼날은 3가지 평면형상의 면적을 기준으로 4,167~5,592 mm²의 천공면적을 지님.
- ✓ 커팅칼날에 의한 비닐 커팅단면은 사각 692 mm², 원형 576 mm², 육각 636 mm²임.
- ✓ 각 칼날의 토양절삭면적은 17,813~20,952 mm²의 범위임.
- ✓ 칼날 모서리 각도는 형상에 따라 30° 3.7 mm, 45° 4.5 mm, 60° 6.4 mm임.
- ✓ 2차년도 시작기의 커팅칼날 재질은 내마모성을 고려 STS304로 고려.

(2) 천공장치 실험 콩 재배지 (Fig. 91)



Fig. 91. 1차년 실증실험 콩 재배지 위성사진(<http://map.daum.net>)

◇ 1차년 콩 재배지 실험은 기간 중 (2015.5.05.~7.01.)에 충북/제천시/백운면 소재의 콩 재배지를 임대하여 경운정지, 시비, 두둑형성, 파종, 비닐피복, 실증실험으로 진행되었는데 재배지의 현황은 다음과 같음.

- ✓ 주소 : 제천시 백운면 방학리 95-2 외
- ✓ 면적 : 60 a (1,800평)

◇ 실험 대상지의 토양 및 주변환경은 다음과 같음 (농촌진흥청, 토양환경지도, 2015).

- ✓ 표토토성 : 사양토
- ✓ 경 사 도 : 2~7°
- ✓ 유효토심 : 보통
- ✓ 배수등급 : 양호
- ✓ 토양분류 : Inceptisols, Udepts
- ✓ 분포지형 : 선상지 및 저구릉지
- ✓ 퇴적양식 : 충적층 및 봉적층

◇ 천공장치 요인실험은 실내실험과 현장실험으로 병행하여 진행되었는데 현장실험은 주요 콩 재배지 중의 한 곳인 충북 제천시 백운면 소재의 콩 밭 60 a (1,800 평)를 임대하여 실시되었는데

(1)천공실험, (2)초엽생육실험, (3)열화상 초엽인식실험으로 구성되었고 현장 상주실험으로 진행되었는데 현장은 다음의 전경사진과 같음. 실험지는 사양토로 2~7°의 경사도를 갖는 일반적인 콩 재배지로 천공실험을 수행하기에 최적의 토양환경을 갖고 있으며 조류피해가 심각한 지역 중에 하나임 (Fig. 92).



Fig. 92. 1차년 실증실험 콩 재배지 비닐멀칭 후 전경사진(2015.6.23)

◇ 천공실험은 천공칼날의 형상(사각, 원형, 육각) 및 칼날 각도변화와 실린더 행정거리의 변화를 주면서 진행하는데 이 때 천공 평면 단면적은 4,167~5,592 mm² 범위로 다음과 같음 (Fig. 93).

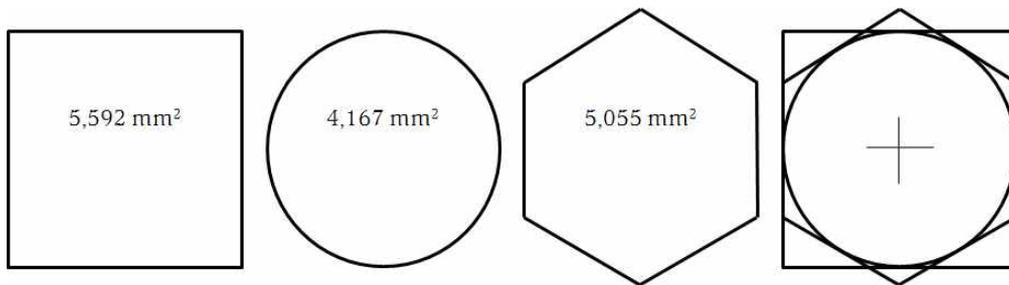


Fig. 93. 천공칼날 형상 및 단면적 변화

◇ 실험은 천공장치의 절단커터의 절단효율 측정과 천공을 측정을 위한 실내실험과 콩 재배지 현장 실험으로 진행되었는데 실험결과는 다음과 같은데 행정거리 (타격거리: 절단커터면~토양의 거리) 30 mm 이하에서 천공이 정확하게 수행되었는데 실내실험에서는 100% 천공을 보였으나 실외 실증실험에서는 토양 표면의 불균일로 인해 원형칼날의 경우 천공율이 저하되는 경향으로 실험결과는 다음과 같음 (Table 17, Table 18).

Table 17. 행정거리별(절단커터~토양거리), 형상별, 천공커터날 각도별 천공커터 실내요인실험

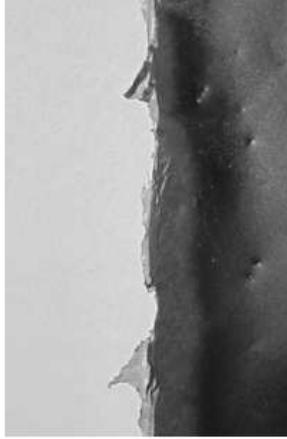
행정거리	각도	사각	원형	육각
50 mm	30°			
	45°			
	60°			
30 mm	30°			
	45°			
	60°			

Table 18. 행정거리별, 형상별, 천공칼날 각도별 천공율(×-실패, △-부분천공, ○-성공)

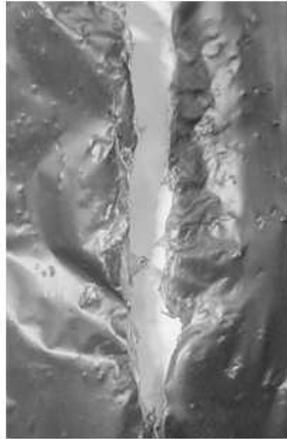
행정거리	각도	사각		원형		육각	
		편칭가부	절단면(%)	편칭가부	절단면(%)	편칭가부	절단면(%)
50 mm	30°	△	33.0	△	16.7	△	54.5
	45°	△	36.5	△	18.5	○	100
	60°	△	42.3	△	25.2	○	100
30 mm	30°	○	100	○	100	○	100
	45°	○	100	○	100	○	100
	60°	○	100	○	100	○	100

- ◇ 실린더 행정거리 50 mm 실험에서는 25 mm 유효행정에서 멀칭비닐 및 토양을 타격하여 천공하는 실험으로 표에서 보듯이 사각칼날은 모두 부분 천공되었는데 33.0~42.3%의 천공율을 보였고, 원형칼날은 모두 부분 천공되었는데 16.7~25.2% 천공되었으며, 육각칼날은 30° 칼날이 54.5% 천공되었고, 45°, 60° 칼날이 100% 천공되었음.
- ◇ 50 mm 실험의 결과는 칼날각도가 커질수록 절단면이 커지는 것을 알 수 있었는데 원형의 경우 가장 천공율이 낮고 육각의 경우 45° 부터 100% 천공됨을 알 수 있었음.
- ◇ 실린더 행정거리 30 mm 실험에서는 45 mm 유효행정에서 멀칭비닐 및 토양을 타격하여 천공하는 실험으로 표에서 보듯이 모든 형상과 각도에서 100% 천공되는 것을 알 수 있었음.
- ◇ 실린더와 천공칼날의 결합 너트 끝단의 거리 47 mm와 유효행정 45 mm의 차이로 부분적으로 멀칭비닐 표면에 너트자국이 남을 것을 확인할 수 있었으며 행정거리 50 mm에서는 유효행정 25 mm로 타격하면 사용된 멀칭비닐인 HDPE 0.015 mm의 신장율 450~580%를 극복하지 못하는 것을 알 수 있었음.
- ◇ 또한 효과적인 실험 진행을 위해 천공칼날의 단면적 범위에서 칼날의 멀칭비닐 접촉면은 ±3 mm로 정리된 상태에서 진행되었음.
- ◇ 다음의 그림에서 보듯이 절단면의 상태는 100% 천공되어 양호한 상태인데 45° 상태가 가장 깨끗한 것을 확인할 수 있었으나 멀칭작업 상태(멀칭비닐이 횡방향, 종방향으로 토양에 고정된 상태의 정도)가 큰 변수일 것으로 판단되었음.
- ◇ 절단과정의 비닐물성으로 찢어지면서 산형태의 스크레파(멀칭축 절단면) “A” 는 높이 1.2 mm, 폭 2.1 mm 정도였는데 실험 전과정에서 유효행정 45 mm에서는 전반적으로 깨끗한 절단면의 형상을 확인할 수 있었음 (Fig. 93).

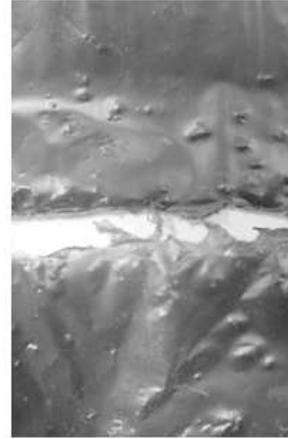
펼침비닐 절단면



진행방향 측면



진행방향 전면



칼날각도 60도
스트로크 75 mm
칼날~지면 30 mm
유효행정 45 mm

칼날각도 45도
스트로크 75 mm
칼날~지면 30 mm
유효행정 45 mm

칼날각도 30도
스트로크 75 mm
칼날~지면 30 mm
유효행정 45 mm

Fig. 93. 사각 천공칼날 각도별 절단상태

◇ 실외 실증실험으로 진행된 천공장치 천공실험은 다음과 같음 (Fig. 94).



두둑에 진입한 천공기



보조바퀴 두둑진행



두둑주행 천공기 프레임



공압실린더 높이조정



천공커터 교체



천공장치부 위치조정



천공실험(1)



천공실험(2)



천공실험(3)



천공커터 타격직전



천공커터 타격 후(1)



천공커터 타격 후(2)



천공커터(사각) 천공



천공커터(육각) 천공



천공커터(원형) 천공



멀칭비닐제거 후 (사각)



멀칭비닐제거 후 (육각)



멀칭비닐제거 후 (원각)

Fig. 94. 천공장치 현장실험 사진

◇ 실증실험 (비닐 수거 후 연구실 촬영)으로 진행된 천공장치 천공실험은 다음과 같음 (Fig. 95).



사각(1)



사각(2)



사각(3)



사각(4)



사각(5)

절단면 및 절단 후 멀칭비닐의 절단면 상태가 멀칭비닐과 토양이 결합상태에 따라 약간씩 비닐이 다르게 수축되는 현상을 발견함



육각(1)



육각(2)



육각(3)



육각(4)



육각(5)

절단면의 상태는 사각과 비슷한 절단 양상을 보이고 비교적 깨끗한 형상을 보임



원형(1)



원형(2)



원형(3)



원형(4)



원형(5)

절단면의 상태는 깨끗하였으나 커터절단면 가공의 어려움의 결과로 실내실험과 달리 부분적으로 완전 절단되지 않는 경향 (3,4)이 발생함

Fig. 95. 천공장치 천공 멀칭비닐 사진 (수거 후 분석을 위해 연구실에서 촬영)

◇ 초엽 생육실험의 진행과정은 다음과 같음 (Fig. 96, Fig. 97).

- ✓ 초엽 생육실험은 파종을 한 후에 콩 초엽의 생육과정을 분석
- ✓ 생육과정의 비교를 위해 종자원 보급종 (대원, 태광) 품종을 조 단위로 파종
- ✓ 각 품종별로 멀칭 및 천공 후 파종, 파종 후 멀칭을 번갈아 대비구로 조성
- ✓ 관찰은 각 품종별로 40 m 구간에서 매일 80~100개 초엽을 기록
- ✓ 관찰은 출현 및 자엽 및 초엽기인 V1~4 단계까지 기록
- ✓ 측정결과는 2차년 연구의 기초자료로 활용 계획



1일차 #6 개체



2일차 #5 개체



3일차 #33 개체



4일차 #27 개체



5일차 #22 개체



6일차 #24 개체



7일차 #25 개체



8일차 #33 개체



9일차 #40 개체



10일차 #59 개체



- ◆ 만생종(개화기 7. 25., 성숙기 10. 10.)
- ◆ 경장 : 78cm, 100립중 : 25.6g
- ◆ 꼬투리는 잘 튀지 않고 종실 모양은 구형
- ◆ 모자이크병에 강하고 괴저병은 중강정도임
- ◆ 중북부지방에서는 5월하순 이전 파종 준수
- ◆ 재배적응지역 : 전국(제주 및 산간 고랭지 제외)

Fig. 96. 대원콩 일자별 대비구 초엽생육 관찰 (관찰 1일차는 파종후 3일차)



1일차 #14 개체



2일차 #19 개체



3일차 #24 개체



4일차 #57 개체



5일차 #31 개체



6일차 #34 개체



7일차 #25 개체



8일차 #48 개체



9일차 #23 개체



10일차 #27 개체



- ❖ 중만생종(개화기 7. 20., 성숙기 10. 5.)
- ❖ 경장 : 75cm, 100립중 : 25.3g
- ❖ 꼬투리는 잘 튀지 않고 종실 모양은 구형이며 광택이 있음
- ❖ 모자이크병에 강하고 괴저병은 중정도임
- ❖ 과도한 밀식재배를 지양하고 노린재류 및 콩나방 방제를 철저히 할 것
- ❖ 재배적응지역 : 전국(제주 제외)

Fig. 97. 태광콩 일자별 대비구 초엽생육 관찰 (관찰 1일차는 파종후 3일차)

◇ 실험지의 온도는 측정기간에서 17.5~23.1℃를 보였고 비가 내린 5일차 17.5℃를 제외하고는 평균 22.3℃ 이었음. 일자별로는 1일차 평균기온 22.3℃ (최고온도 31.3℃), 2일차 22.8 (29.7), 3일차 22.7 (28.9), 4일차 22.4 (28.8), 5일차 (17.5 (20.9), 6일차 21.0 (28.7), 7일차 22.5 (30.6), 8일차 23.1 (31.4), 9일차 22.4 (30.3), 10일차 21.9 (26.6)임. 상대습도는 측정기간에서 54.5~85.8%를 보였고 비가 내린 5일차 85.8%를 제외하고는 평균 65.8% 이었음. 또한, 일조량은 측정기간에서 비가 내린 5일차를 제외하고는 7~12시간 정도의 일조량을 보여고 온도 및 상대습도 모두 콩 파종 후 생육에 좋은 기상조건이었음.

◇ 측정기간 중의 미발아 및 조류피해 주의 재파종은 하지 않았고 대원콩 일자별 초엽생육 관찰기록은 다음과 같음.

◇ 측정기간 중의 대원콩 일자별 초엽생육 기록은 다음과 같음 (Table 19, Table 20), Table 21).

Table 19. 3일차 (6.18) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-
30	○	-	○	-	○	○	-	○	○	○
40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
50	-	○	○	○	○	○	○	○	○	-
60	-	○	-	-	○	-	-	○	-	-
70	○	○	-	-	-	○	○	-	-	-
80	○	-	○	○	○	○	○	○	○	×

Table 20. 6일차 (6.21) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	-	-	-	-	-	-	-	-	V1	V1
10	-	-	○	-	○	-	-	○	○	-
20	○	V1	V2	○	V1	-	V1	-	V1	○
30	○	V1	V2	V1	V1	V2	V2	V2	V1	V2
40	○	V2	V2	V1	V2	V2	V2	V2	V2	V1
50	V1	V2	V2	V2	V2	V1	V1	V2	V2	-
60	-	V1	-	○	V1	-	○	V1	-	V1
70	V1	V1	○	○	-	V2	V1	-	-	-
80	-	-	○	V1	V2	V1	V2	V2	V2	×

Table 21. 10일차 (6.25) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	-	V1	V1	-	V1	-	-	-	V3	V3
10	-	-	○	○	V4	-	-	V4	○	-
20	V3	V3	V3	○	V3	-	V3	-	V3	-
30	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V3	V4
40	V4	-	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V3
50	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V3	V3	V4
60	-	-	V3	-	-	V3	-	○	V4	V4
70	V3	○	V3	-	V4	-	V3	V3	-	-
80	-	-	○	○	V3	V3	V4	V4	V4	×

◇ 측정기간 중의 태광콩 일자별 초엽생육 기록은 다음과 같음 (Table 22, Table 23, Table 24).

Table 22. 3일차 (6.18) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-
10	-	-	○	-	○	-	○	-	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○
30	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○
50	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○
60	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
70	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○
80	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○
90	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×

Table 23. 6일차 (6.21) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-
10	○	-	V1	-	V1	V1	○	-	V2	-
20	V1	V2	V2	V1	V1	V1	V2	V2	-	V1
30	V1	V1	V2	V1	V1	V2	V1	○	V2	○
40	V1	V2	V2	V2	-	-	V1	V2	V2	V1
50	V2	V1	V1	○	V1	V2	V1	V1	V2	○
60	V1	V1	V1	○	V2	V1	V1	V1	V1	V1
70	V2	V1	-	V1	V1	○	V1	V1	V1	V1
80	V1	V1	V1	V1	V1	V1	V2	○	V1	V2
90	V2	○	V2	V2	V1	V1	V1	V1	×	×

Table 24. 10일차 (6.25) : ○-출현, V1, V2, V3, V4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
00	V1	V2	V3	V1	V1	-	V1	V1	-	V2
10	V3	V3	-	V3	V3	○	-	V4	○	V3
20	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V4	-	V4	V4
30	V3	V4	V3	V4	V4	V3	V1	V3	○	V3
40	V3	V4	V4	-	-	V3	V3	V3	V3	V4
50	V3	V3	○	V3	V3	○	V3	V3	○	V3
60	V4	V3	-	V3	○	V3	V3	V3	V3	V4
70	V3	○	V3	V4	V1	V3	V3	V3	V3	V3
80	V3	-	V3	V4	V3	V3	○	V3	V3	V3
90	V2	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V1	×	×

◇ 초엽생육실험은 천공실험과 별도로 2차년 적정 천공시기를 모색하기 위해 수행되었는데 관찰 10일차의 결과는 대원콩의 경우 89 개체 중에서 V3 단계가 42.7% (미발아를 제외하고 59.4%)이었고 태광콩의 경우 98 개체 중에서 V3 단계가 54.1%(미발아를 제외하고 59.6%)로 지배적이었음 (Fig. 98, Fig. 99, Fig. 100).



Fig. 98. 초엽생육 및 관찰실험(관찰구와 대비구) 현장 사진

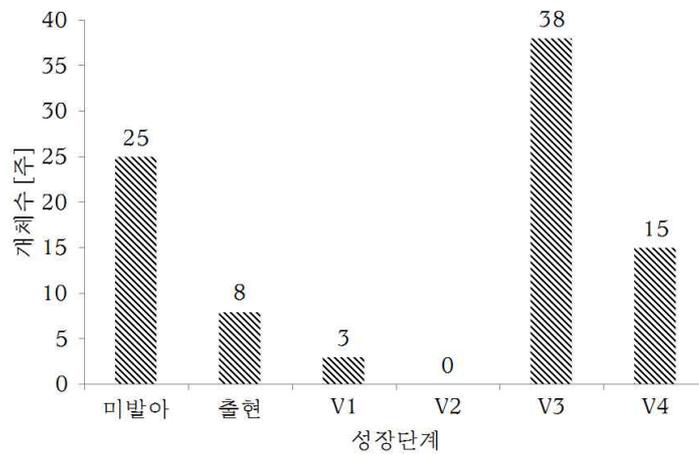


Fig. 99. 대원콩 관찰 10일차 성장단계별 분류

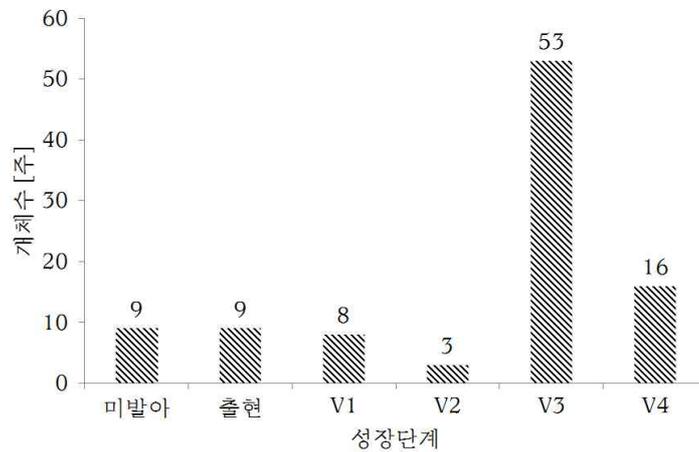


Fig. 100. 태광콩 관찰 10일차 성장단계별 분류

◇ 열화상 초엽인식실험은 멀칭비닐 아래 콩 초엽의 수분에 따른 온도차를 접촉하는 멀칭비닐의 표면에서 인식에 이용하는 것으로 실험과정 및 관측결과 내용은 다음과 같음 (Fig 101).

- ✓ 열화상 초엽 모델링을 위한 실험으로 진행
- ✓ 실험에 사용된 열화상 카메라는 FLIR C2 (80*60 pixel)를 적용
- ✓ 초엽생육실험 조건 다음 두둑의 대비구 개체 측정으로 실험을 진행
- ✓ 관찰은 각 품종별로 40 m 구간에서 매일 80~100개 개체를 관찰
- ✓ 측정결과는 2차년 연구의 기초자료로 활용 계획

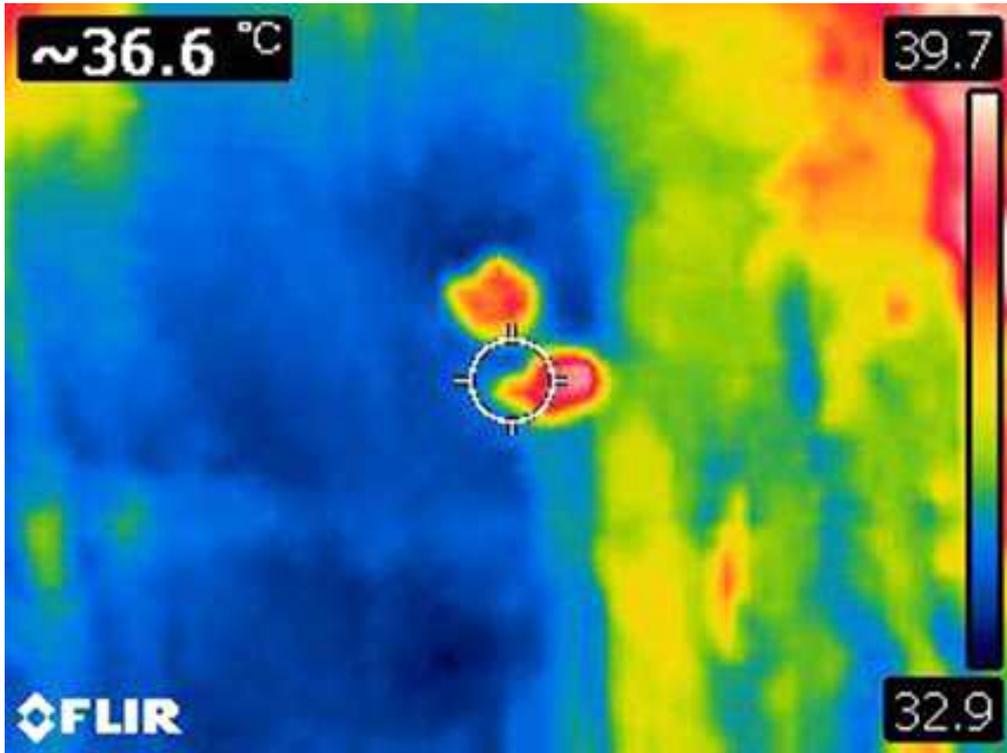
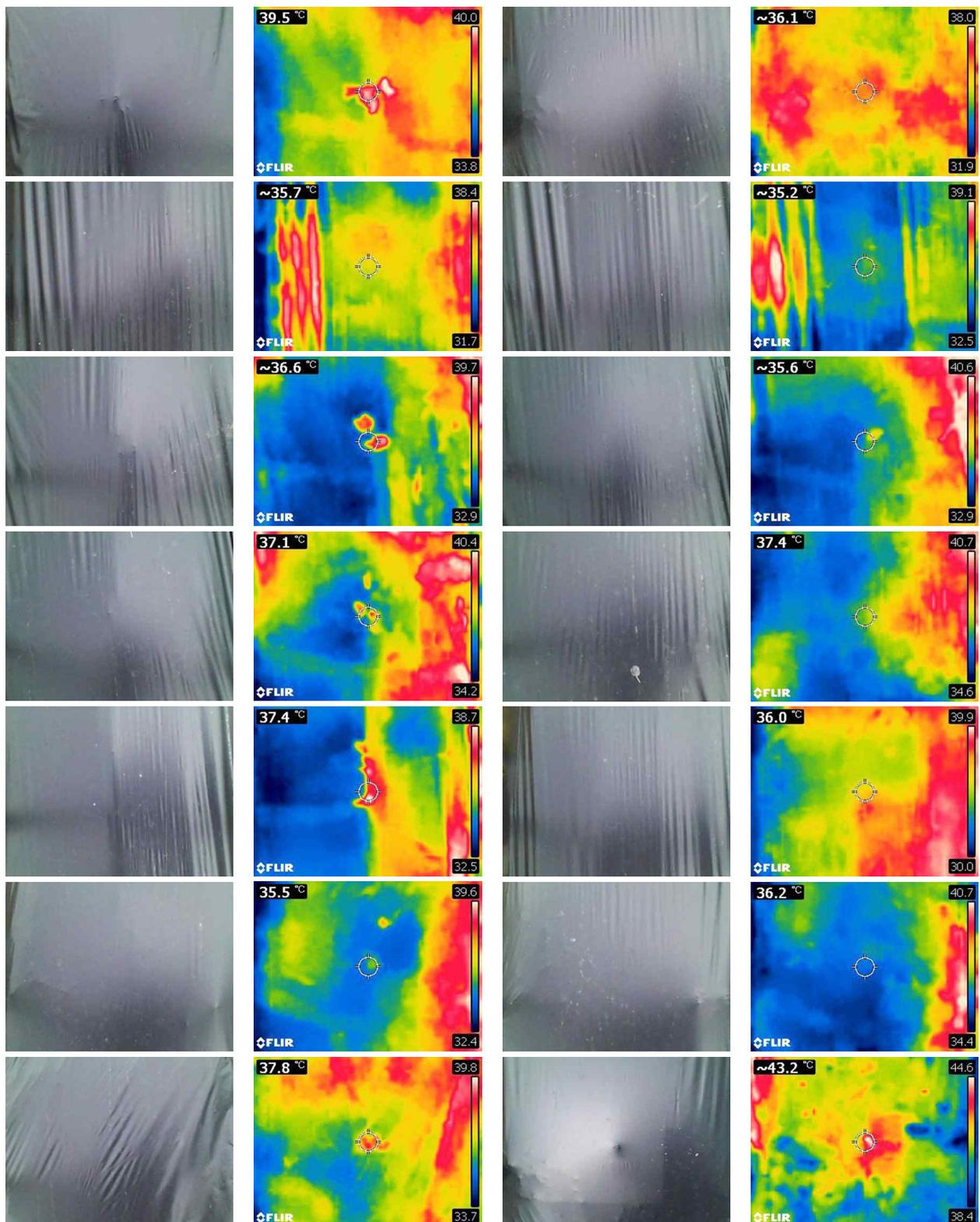


Fig. 101. 대원콩 관찰 10일차 멀칭비닐 아래의 열화상관찰구 38번 개체 사진

- ◇ 상기 그림은 멀칭비닐 하부의 콩 초엽이 멀칭비닐에 접촉하면서 온도변화를 보이기 시작하는 것으로 V2단계에서 V3가 나타나는 단계로 주변온도와 확연히 구별되고 있으며 V2의 가장자리는 35°C 내외이고 앞은 37°C 정도로 판단됨.
- ◇ 센서 에레이로 측정된 형상의 모델링 작업 후에 열화상 형상을 이용한 보정작업이 진행되면 결과의 신뢰성이 향상될 것으로 판단됨.
- ◇ 또한, 주변온도가 역으로 높으면 멀칭비닐 하부의 초엽은 푸른색으로 구분되어 역으로 영상처리하는 방법으로 데이터를 처리할 계획임.
- ◇ 다음은 초엽인식실험 10일차에 측정된 대원콩 조에서 샘플링한 14 개체의 동일위치에서의 디지털 및 열화상 이미지임 (Table 25).

Table 25. 10일차 (6.25)



※ 열화상 초엽인식실험은 에너지 반응 특성실험과 별도로 이를 보정하기 위한 실험으로 인시부의 정밀도 향상 및 인식 후 천공장치의 위치오차 보정을 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었는데 지속적인 연구개발로 개발의 완성도를 높일 계획임.

(16) 센서 융합형 자동 천공장치 기본 요인 실험

가) 비닐멀칭 자동천공기의 개념

- ◇ 비닐 자동천공기는 조류피해와 인력소비를 줄이기 위해 기존의 관행 콩 재배 방식인 비닐 포장 후 인력 천공하여 파종하는 방식에서 파종 후에 비닐을 천공하는 방식으로 작업 시스템을 바꾸기 위한 장치임.
- ◇ 비닐멀칭 자동천공기의 작동 개념은 센서를 이용하여 멀칭비닐 아래에 있는 작물의 위치를 추적하고 작물에 손상을 주지 않으면서 작물위치 상부의 비닐을 천공하는 장치로써 크게 센서부, 제어부, 기구부로 구성되며 장치의 작동 및 제어의 흐름도는 다음과 같음 (Fig. 102).
- ◇ 작동 메커니즘은 천공기가 재배지에 들어가게 되면 센서부에서 센서를 통해 지면을 인식하고 센서를 통해 얻은 이미지를 영상 처리하여 판별 이미지를 생성함.

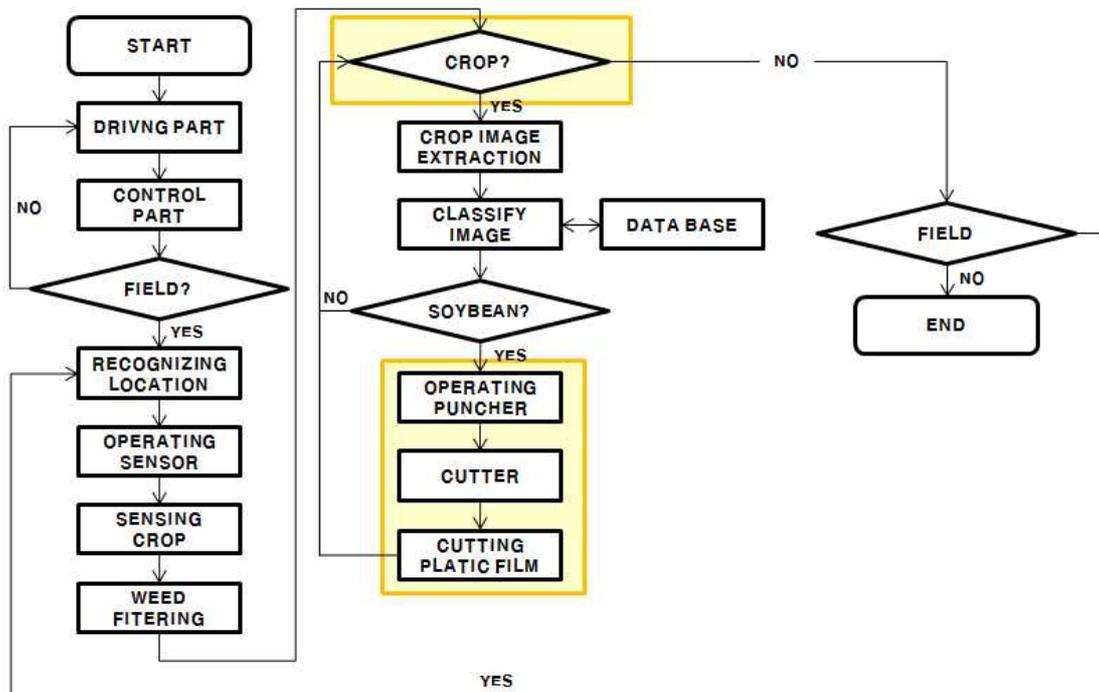


Fig. 102. Operation Algorithm of automatic puncher for plastic mulch cultivation

- ◇ 생성된 이미지는 데이터화되어있는 비닐하부의 콩 초엽의 이미지와 비교하여 식별하는 콩잎판별 알고리즘을 통해 판별함. 인식한 경우 제어부에서 기구부에 천공 명령을 하면 위치를 추적하여 정확한 위치에서 멀칭비닐을 천공하는 것을 작동 메커니즘으로 함. 기구부의 천공작업 시에는 비닐하부의 작물 피해가 없어야하며 비닐의 밀림에 의한 농 작업지의 손상을 최소화함.
- ◇ 비닐하부 작물의 감지 가능성을 제시하고 천공을 위한 기구부의 설계에 대하여 다룸. 가시 이미지로 식별이 불가능한 검정 비닐 아래의 작물을 감지하기 위해 열화상 이미지를 이용하여 감지 가능 여부를 제시하였으며 기구부는 여러 가지 천공 메커니즘을 분석하여 비닐 천공에 가장 적합한 천공 메커니즘을 규명함.

나) 비닐멀칭 자동천공기의 구성

- ◇ 비닐멀칭 자동천공기는 크게 작물을 인식하여 판단하는 센서부, 인식결과에 따라 기구부에 명령을 내리는 제어부, 비닐을 천공하고 기구의 위치를 조절하는 기구부로 나뉨. Wang 등 (2003)은 잎을 윤곽선으로 영상처리 한 후 데이터베이스화하여 잎을 분류하는 시스템을 개발함. 140종의 식물을 각각 10개씩 잎의 윤곽선을 골격화하여 데이터베이스화함. Lee 등 (2006)은 잎의 면적을 수평방향과 수직방향으로 데이터베이스화하여 잎을 분류하는 시스템을 개발함.
- ◇ 기존 형상을 이용한 방법에 비해 분류 소요시간을 단축시켰으며 정확도는 82.33 % 였음. 이외에 여러 선행 연구자들이 잎을 데이터베이스화하여 분류하는 방법의 연구를 진행하였으며 이를 토대로 센서부는 작물을 인식할 수 있는 인식부와 데이터베이스의 작물과 비교하여 인식한 작물이 콩의 초엽인지를 판별할 수 있는 판단부로 나뉨 (Fig 103).

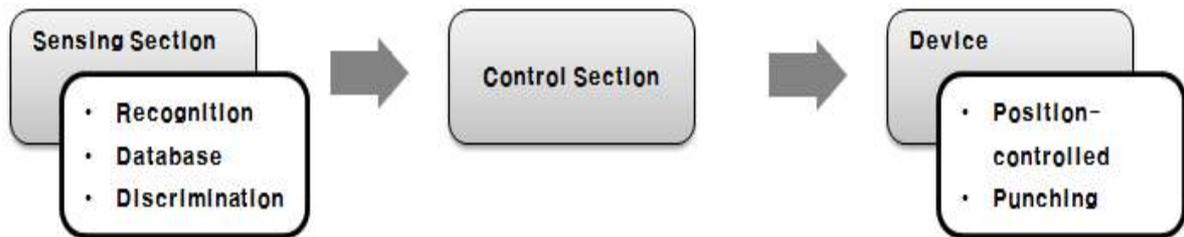


Fig. 103. Basic concept of automatic puncher for plastic mulch cultivation

- ◇ 기구부 역시 작물의 위치 혹은 지형에 따라 장치의 위치를 조절할 수 있는 위치 조절부와 콩 초엽의 손상 없이 비닐을 찢을 수 있는 천공부로 나누어 구상함. 비닐멀칭 자동천공기의 완전한 설계에 앞서 센서부의 비닐 하부에 있는 콩잎의 인식가능성을 파악하고 콩의 생육을 관찰하는 등 콩 재배환경실험을 진행함. 또한, 작물의 손상 및 비닐의 밀림을 최소화하면서 천공을 수행할 수 있도록 최적 기구부를 설계하고 제작하여 실험을 진행함.

다) 콩 재배환경

- ◇ 콩은 대부분 경운기나 관리기 등을 이용하여 고랑과 두둑을 만들어 파종하는 방법인 고풀 재배를 실시하며, 이는 우리나라 기후 특성상 대체로 파종시기인 6월에 가뭄이 오는데, 생성된 두둑 안에 수분이 보존되어 있어 발아가 잘된다는 장점이 있음 (Table 26).

Table 26. Planting density of soybean in Korea

No.	Seeding spacing (cm)		Source
	Raised-bed width	In-row spacing	
1	70	15	RDA, 2011
2	70	20	RDA, 2011
3	80	20	Nature and Soybean in Korea
4	75 - 80	20	Soytopia in Soy-World Science Park

- ◇ 재식밀도는 주간 70 cm, 조간 15 cm를 제시하여 10 a에 1주 1본을 파종하여 19,047본을 기

본으로 하였으나 표준적인 방법에 의한 것보다는 농가의 경험에 따른 자의적인 재배가 대부분 임. 비닐멀칭 자동천공기의 가변범위 설계를 위한 재식거리의 기준을 정하기 위해 아래 표 1과 같이 재식밀도 현황조사를 실시함 (농촌진흥청, 2011).

라) 실험 포장 환경

- ◇ 최적 설계를 위한 추가적인 조사를 위해 충청북도 제천시 백운면 상촌길 60~105에서 콩 밭아 실험을 진행함. 실험 지역은 그림 3과 같으며 면적은 60 a (1,800 평) 이었고 토성은 미국 농무성법 (USDA)에 따라 분류된 sand 53.5%, silt 37.1% 및 clay 9.4%로 이루어진 사질양토 (ASA E Standards, S269.5, 2012a)이며 경사는 2~7%로 콩 생산 재배적지에 알맞음. 보다 자세한 관찰을 위해 농촌진흥청 자료를 바탕으로 국내 일반적인 재식밀도인 주간은 70 cm보다 약 30 cm 긴 100 cm로, 조간은 약 10 cm 길도록 20~30 cm로 파종함 (Fig. 104).



Fig. 104. View of field for basic experiment of automatic puncher

- ◇ 품종은 소비되는 콩의 대다수인 장류 및 두부용에서 선정하였으며 품종 개발과 국립종자원 보급 중인 태광콩과 대원콩을 선택함. 농촌진흥청 행정 간행물 품목별 농업소득 향상 운영 매뉴얼 (2011)에 의하면 태광 및 대원콩은 보급종의 50% 이상을 차지하며 콩알이 굵고 단백질 함량이 높아 가장 많이 재배되는 주요품종임 (표 2).
- ◇ 콩 재배에서 비닐멀칭은 주로 흑색 및 배색을 사용하며 비닐멀칭은 잡초 방제, 수분 보습, 온도 유지 등의 효과가 있음. Shin 등 (2012)은 비닐피복에 따른 콩 생육특성 및 수량성 차이에 관한 연구에서 비닐피복이 수량성을 증가시킨다고 보고함. 재배지에 주로 사용되는 멀칭비닐의 두께는 0.015-0.02 mm 정도이고 사용 환경에 따라 검정, 흰색, 투명색, 배색 등으로 나뉨. 검정색비닐은 잡초를 억제하고 투명색은 생육을 촉진하며 배색은 특수 작물에 주로 사용하며 해당 파장의 빛을 필터링하거나 검정비닐의 잡초억제 기능과 투명비닐의 생육촉진 기능을 결합시켜 놓은 기능 등을 함.
- ◇ Lament (1993)에 의하면 검정비닐의 사용은 잡초억제 기능 및 토양 5 cm 깊이에서 2.8°C의 온도상승의 효과가 있고 투명비닐은 85-95% 빛을 투과시켜 토양 5 cm 깊이에서 4.4 - 7.8°C의 온도상승효과가 있음. 또한 흰색비닐의 경우 무더운 여름철에 사용하여 앞의 두 비닐에 비해 온도 상승을 억제한다고 보고함. 본 실험에 사용한 비닐은 한국 콩 재배농가에서 가장 많이 사용하는 두께 0.015 mm의 검정비닐이며 인장강도는 횡방향 248 kgf/cm², 종방향 276 kgf/cm² 임 (Table 27).

Table 27. Characteristics of soybean used in the study

Species	Breeding year	Maturity date	100-grain weight (g)	Seed coat color	Major characteristics	Note
Tae-kwang	1993	10. 5	24.0	Yellow	Adaptive in wide area	Government dissemination species
Daewon	1997	10. 1	25.0	Yellow	Superior appearance characteristics	

마) 작업기 제원

◇ 경작을 위한 재배지의 로터리작업, 두둑형성 작업, 비닐 피복작업 등은 모두 아세아텍 관리기 A MC-880SM을 이용하였으며 제원은 아래와 같음 (Table 28, Table 29, Table 30).

Table 28. Specifications of farm master used in the study

Item	Specifications	
Size	Length (mm)	1670-1880
	Width (mm)	680-850
	Height (mm)	820-1195
	Weight (kg)	165
Engine	Model	G811L-E
	Operation method	Air cooling, 4 cycle single cylinder gasoline engine
	Displacement (cc)	291
	Rated output (kw/rpm)	4.0/1700
	Maximum output (kw/rpm)	5.4/1700
	Dry Weight (kg)	26
	Fuel tank capacity (ℓ)	7.5
	Fuel for use	Gasoline
	Starting system	Recoil starting and electric starting
	Oil for use	SAE10W-30 or 20W-40
Ignition system	Electric ignition	
Operation width (mm)	220 - 1600	
Number of stage of speed changer	Forward movement : 4 satge Backward movement : 4 stage	
P.T.O rev count (rpm)	Low speed : 714, high speed : 1350	
Rotary numbers of speed-changing step	Normal : 8 stage, counter : 4 stage	

Table 29. Specifications of plastic mulcher (AM-180) used in the study

Item		Specifications		
Length (mm)		1245		
Height (mm)		670		
Width (mm)		minimum 1130 maximum 2320		
Weight (kg)		65		
Operation speed (km/Hr)	Back movement 1 stage	3.9		
	Back movement 2 stage	7.6		
Operation method		Back movement condition		
Operation efficiency		minimum 14.9 a/hour maximum/hour		
Shape ridge	Round ridge (mm)	Width	min	400
			max	700
		Height	min	210
			max	300
	Width of vinyl		750-1200	
	Square ridge (mm)	Top width	min	360
			max	700
		bottom width	min	580
			max	900
		Height	150,180	
	width	750-1200		
	Flat ridge (mm)	wedi	min	500
max			1800	
Width of vinyl for use		700-2000		

Table 30. Specifications of ridge making machine (AF-300) used in the study

Item		Specifications		
Rotary attached dimension	Length (mm)	820		
	Height (mm)	1000		
	Width (mm)	700		
	Weight (kg)	65		
Operation stage (Drive)		Backward movement 1 or 2 stage		
Operation method		Backward movement condition		
Operation efficiency	Round ridge	8.3a/hour, 83 a/day		
	Square ridge	9.9a/hour, 99 a/day		
Type of ridge	Round ridge (mm)	Width	min	400
			max	700
		Height	min	210
			max	300
	Width of vinyl for use		750-1200	
	Square ridge (mm)	Top width	min	360
			max	700
		Bottom width	min	580
			max	900
		Height	150,180	
Width of vinyl for use		750-1200		

◇ 국내 환경에 적합하며 재배농가에서 두루 사용하는 고품 재배 양식에 맞게 실험환경을 조성하였

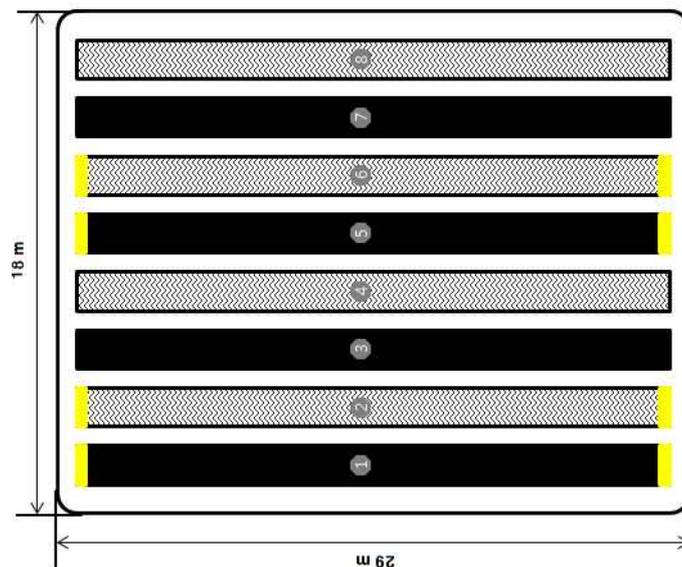
으며 두둑형성기는 아세아텍의 AF-300, 비닐피복기는 AM-180을 사용하였음. 각각의 제원은 다음과 같음 (표 4, 표 5). 두둑 성형 결과 실험지의 경사 및 토양 환경 등에 의해 두둑의 높이는 최소 150 mm, 최대 240 mm였고 평균적으로 200 mm로 형성하였음.

- ◇ 시험환경으로 재배지 로터리작업을 위한 돌 줍기 및 기존 비닐제거 작업이 1일간 이루어진 후에 로터리 작업을 실시함. 오랫동안 비가 오지 않은 점을 고려하여 작업 후에 스프링클러를 이용하여 보습작업을 2 일간 실시함 (Fig. 105).



Fig. 105. Field preparation for basic experiment

- ◇ 실험지에 두둑은 총 18개를 형성하였으며 그 중 8개의 두둑에서 콩의 생육 실험 및 열화상 인식실험을 실시하였음. 경사가 있는 실험지에서 두둑높이 및 크기의 불균형을 제거하기위해 경사지 위에서 아래 방향으로만 두둑 형성 작업을 실시하였음 (Fig. 106).



- ①, ③, ⑤, ⑦ : plastic mulching after seeding, ②, ④, ⑥, ⑧ : seeding after plastic mulching,
 ①, ②, ⑤, ⑥ : Tae-kwang, ③, ④, ⑦, ⑧ : Dae-won

Fig. 106. Arrangement of plot for experiment

◇ 실험구는 29×18 m² 안의 실험지 내에 8구를 배치하였다. 홀수번인 1, 3, 5, 7번 구는 열화상 인식실험을 위해 콩 파종 후에 비닐 멀칭하였으며 짝수번인 2, 4, 6, 8번 구는 콩의 생육실험을 위해 관행방식대로 비닐멀칭 후에 파종하였음. 1, 2, 5, 6번 구는 태광콩을 파종하였으며 나머지 구에는 대원콩을 파종하였고 태광콩의 경우 구간 끝부분에 노란색 라커로 표시하였음. 생육 실험구를 조간 30 cm 간격으로 파종하였으며 그 후에 열화상 인식 실험구와 같은 위치에 동일한 간격으로 콩을 파종한 후 피닐 피복하였음.

바) 생육 실험

◇ 콩의 생육 실험은 비닐피복 후 천공하여 종자를 점파하고 일자별로 관찰하는 방식으로 진행되었으며 국내품종의 V1 (초엽기)단계의 성장정도를 파악하여 기구부 설계 시 적용하기 위해서 수행되었음. 정확한 위치에 천공이 이루어지더라도 칼날의 크기가 초엽기 콩의 크기와 맞지 않으면 손상될 가능성이 크다. (* Naeve (2011)은 콩의 성장단계를 영양성장기에서 나누어 관찰하였음. 영양성장기는 VE, VC, V1, Vn 단계로 구성되어있으며 VE는 출현기, VC는 자엽기, V1은 초엽기로 소요되는 기간은 15일이라고 보고하였음.)

◇ 조류피해가 급감하는 단계인 V1 (초엽기)가 발생하기까지 진행하였음. 생육과정의 비교를 위해 종자원 보급종 (태광, 대원) 품종을 조 단위로 파종하였으며 각 품종별로 29 m 구간에서 매일 80-100개의 초엽을 관찰 및 기록하였다. 실험지의 온도는 측정기간에서 17.5-23.1℃이었으며 비가 내린 2일을 제외하고 상대습도는 평균 65.8 %이었음. 같은 시각인 9:00-13:00 사이에 관측하였으며 미발아 및 조류피해 주의 재 파종은 실시하지 않았음. 디지털카메라를 이용하여 파종 실시한 모든 구간을 촬영하여 기록하였으며, 일자별로 성장단계를 기록하고 성장정도를 측정하였음 (Fig. 107).



Fig. 107. Growth experiment of soybean

사) 열화상 인식 실험

◇ 열화상 인식 실험은 VE단계가 발생하는 파종 2일 후인 6월 15일부터 27일까지 13일간 실시하였음. 대조군인 생육 실험구와 같은 위치에 콩을 파종한 후 피복하여 관찰이 용이하도록 하였으며 마찬가지로 각 품종별로 29 m 구간에서 매일 80-100개의 개체를 관찰하였다. 열화상카메라는 80×60 pixel인 FLIR C2를 사용하였으며, 열화상 카메라의 제원은 다음과 같음. 카메라의 높이는 두둑으로부터 25 cm가 되도록 하였음 (Table 31).

Table 31. Specifications of thermo-graphic camera

Model	Pixel	Temperature sensitivity (°C)	Measurable range (°C)	Minimum focal length (m)	Wavelength range (μm)
FLIR C2	80×60	<0.10	-10-150	0.15	7.5-14

아) 천공장치의 기구부 설계

- ◇ 천공 장치는 칼날과 칼날을 달고 운동하는 부분으로 나뉜. 천공 장치는 비닐하부의 콩 잎의 손상 없이 천공을 수행하여야 하며 이를 위해서는 천공 시 비닐의 손상 및 토양의 밀림 또한 최소화함. 이를 위해 천공 방식에 따른 칼날의 궤적분석을 하여 최적의 천공 시스템을 선정 후 설계 하였으며 실증시험을 통해 이를 증명함.
- ◇ 비닐멀칭 자동천공기의 천공부는 심어진 콩 위의 비닐을 찢어 자엽기 이상의 콩이 계속 성장할 수 있도록 하는 장치임. 정확한 위치의 천공을 위해서는 천공기가 비닐을 뚫고 들어가 땅속에 관입되고 토출될 때 천공부와 토양의 상대적 밀림을 최소화하도록 설계함. 유사한 장치로 채소 정식기의 식부장치는 휠 방식, 로터리 방식, 크랭크-로커 방식, 체인 트로코이드 방식 등이 있음. 천공부의 설계는 정식기, 이앙기 등의 식부개공기를 참고하여 하였으며 천공장치와 토양의 상대적 밀림을 이론적으로 분석하기 위해서는 천공부의 운동 궤적을 분석함.
- ◇ 천공부의 궤적은 정지상태와 주행상태에서 계산하였고 도식화를 위한 방법은 수학적 모델링 후 MATLAB을 이용하여 궤적을 도출함. 최적 천공부 설계를 위해 원형 궤적 방식, 타원형 궤적 방식, 커플러곡선 궤적 방식, 직선 궤적 방식의 식부궤적을 도출하여 비교 및 분석함.

1) 원형 궤적 방식 분석

- ◇ Kim 등 (2004)은 채소정식기의 휠 방식 식부장치의 운동을 분석하였음. 설계·제작한 휠 방식의 식부장치의 궤적 및 변위 속도 등을 동역학 해석프로그램을 이용하여 분석하였으며 고속영상 분석 시스템으로 분석결과를 검증하였음. 식부궤적은 동역학해석결과와 실험결과가 동일하다고 보고하였다. Ji 등 (2013)은 비닐위에서 작업하는 휠 방식의 이식기의 궤적을 운동학적으로 분석하여 이식거리와 주행속도사이의 최적 비율을 규명하였음.
- ◇ 선행연구자들의 연구를 바탕으로 휠 방식처럼 원형 궤적을 그리는 천공장치를 구상하였으며 휠 방식의 천공장치의 구상도임. 천공암에 칼날이 장착되어있는 단순한 구조로 원형 궤적을 그리며 휠에 천공장치를 다수 장착 가능하며 천공속도는 주행속도와 비례함. 주행속도의 변화에 영향을 받지 않고 일정하게 천공가능하며 장치구성이 간단하다. 상하 행정이 330 mm가 되도록 구성하였음 (Fig. 108).
- ◇ 천공 장치는 연결된 관리기가 앞으로 주행하는 동시에 천공부가 회전암에 의해 회전하면서 비닐을 찢는 형태로 작동함. 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행된다. 회전 암의 회전 중심을 좌표의 원점으로 설정하고 칼날 끝부분의 위치방정식을 수학적으로 모델링을 하였음.

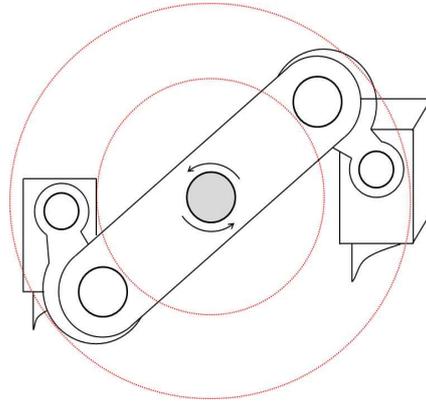


Fig. 108. Diagram of circular-path type puncher

- ◇ 시간에 따른 천공부의 수평·수직방향의 위치는 각각 식 (1), 식 (2)와 같음. R 은 천공장치 궤적의 반지름이고 ω 는 천공부 칼날의 각속도임.

✓

$$✓ \quad x = R\cos(\omega t) + Vt \quad (1)$$

$$✓ \quad y = -R\sin(\omega t) \quad (2)$$

where, R = swing radius of knife, ω = angular velocity of knife, V = forward velocity of whole machine, t = working time

- ◇ 식 (1)과 식 (2)를 미분하여 칼날의 속도의 x 성분과 y 성분의 식 (3), 식 (4)를 구할 수 있는데 다음과 같음.

$$✓ \quad v_x = V - R\omega\sin(\omega t) \quad (3)$$

$$✓ \quad v_y = -R\omega\cos(\omega t) \quad (4)$$

where, R = swing radius of knife, ω = angular velocity of knife, V = forward velocity of whole machine, t = working time

2) 타원형 궤적 방식 분석

- ◇ Kang(2014)은 양과정식기용 4절 링크-캠 방식 식부장치를 연구하기 위해 기존 정식기들의 식부궤적을 분석하였음. 분석결과 전체적으로 로터리 방식이 평균 밀림거리가 가장 작게 나타나지만 개공기-토양 상대속도가 0 m/s이 될 가능성이 없어 비닐멀칭 환경에서는 적합하지 않다고 보고하였음.

- ◇ Park 등(2004)은 3절 링크 식부장치인 로터리 방식을 설계·제작하여 동역학 해석 프로그램을 이용하여 식부궤적, 변위, 속도 등 동역학적 분석을 수행하고, 고속영상분석시스템으로 분석결과를 검증하였음. 식부궤적은 동역학적 해석결과와 실증시험 사이에 ± 2 mm 미만의 오차를 보였다. 3절 링크 식부장치인 로터리 방식은 이앙기, 정식기에 주로 사용되고 있음 (그림 8).

- ◇ 원형 궤적을 그리는 휠 방식과 마찬가지로 주행속도에 영향을 받지 않고 일정한 천공을 가능하

게 하며 안정적으로 천공이 가능함. 로터리 방식은 천공부가 타원모양의 정지궤적을 그리며 천공하며 휠 방식과 마찬가지로 상하 행정이 330 mm가 되도록 구성하였음.

- ◇ 천공 장치는 3절 링크를 이용하였으며 서로 다른 길이의 링크를 반대방향으로 회전시켜 타원형 궤적이 형성되게 하였음. 원형 궤적 장치와 마찬가지로 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행되며 회전 암의 회전 중심을 좌표의 원점으로 설정하고 칼날의 위치방정식을 수학적으로 모델링을 하였음 (Fig. 109).

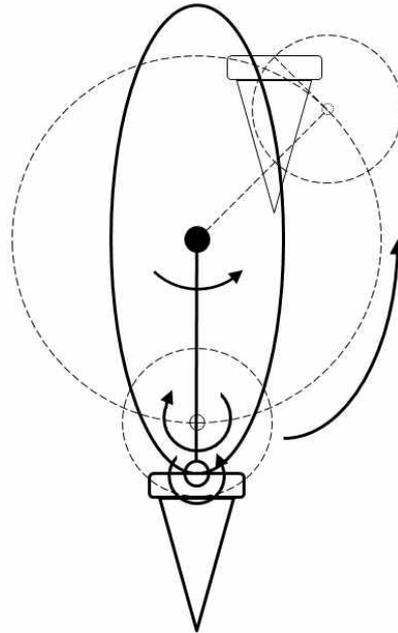


Fig. 109. Diagram of rotary type puncher

- ◇ 시간에 따른 천공부의 수평·수직방향의 위치는 각각 식 (5), 식 (6)과 같음. a 와 b 는 천공장치의 궤적인 타원의 장축과 단축의 거리이며 ω 는 천공부 칼날의 각속도임.

$$\checkmark x = a \cos(\omega t) + Vt \quad (5)$$

$$\checkmark y = -b \sin(\omega t) \quad (6)$$

where, ω = angular velocity of knife, V = forward velocity of whole machine,
 t = working time

- ◇ 식 (5)와 식 (6)을 미분하여 칼날의 속도의 x 성분과 y 성분의 식 (7)과 식(8)을 구할 수 있는데 다음과 같음.

$$\checkmark v_x = V - a\omega \sin(\omega t) \quad (7)$$

$$\checkmark v_y = -b\omega \cos(\omega t) \quad (8)$$

where, ω = angular velocity of knife, V = forward velocity of whole machine,
 t = working time

3) 직선 궤적 방식 분석

- ◇ Min 등(1999)은 양과 재배 생력기계화 정식기계 개발을 위해 기존의 휠 방식, 로터리방식, 크랭크 로커방식의 단점을 보완하고자 직선 궤적과 원형 궤적을 합친 체인트로코이드 방식의 정식기계를 개발하였음. 체인트로코이드 방식은 기존 원형 궤적을 그리는 방식의 정식기계들의 모종이 똑바로 서지 않는 점을 보완하기 위해 직선 궤적을 포함하는 트로코이드 방식의 정식기계를 제안하였음 (Fig. 110).

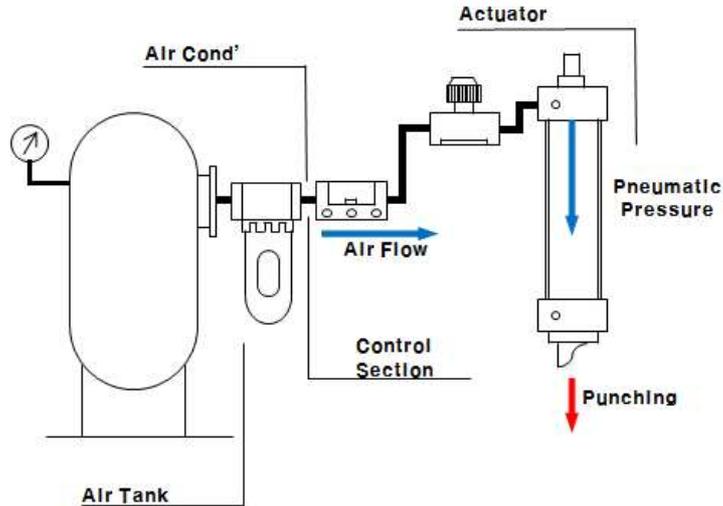


Fig. 110. Diagram of linear type puncher

- ◇ 천공기의 경우 모종이 심어지는 데 필요한 시간 및 모종의 이식 각도를 고려하지 않아도 되기 때문에 수직 방향으로만 운동하는 천공기를 구상하였음. 수직방향으로만 운동하므로 다른 장치에 비해 구성이 단순하며 흔들림이 적을 것으로 판단된다. 직선 방식의 천공 장치의 구상도이다. 공압 실린더를 이용한 메커니즘이고 매우 단순하며, 천공속도를 조절하는 데 용이함 (그림 9).
- ◇ 천공 장치는 공압 실린더를 이용하여 구상하였으며 연결된 관리기가 앞으로 주행하는 동시에 실린더가 직선 왕복운동을 하여 비닐을 찢는 형태로 작동함. 상하 행정이 330 mm가 되도록 구성하였으며 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행함. 실린더의 중심을 좌표의 원점으로 설정하고 칼날 끝부분의 위치방정식을 수학적으로 모델링을 하였는데 식 (9), 식 (10)과 같음.

$$\checkmark x = Vt \tag{9}$$

$$\checkmark y = -v't \tag{10}$$

where, v' = velocity of knife, V = forward velocity of whole machine, t = working time

- ◇ 식 (9)와 식 (10)을 미분하여 칼날의 속도의 x 성분과 y 성분의 식 (11)과 식 (12)를 구할 수 있는데 다음과 같음.

$$\checkmark v_x = V \tag{11}$$

$$\checkmark v_y = -v' \tag{12}$$

where, v' = velocity of knife, V = forward velocity of whole machine

4) 커플러곡선 궤적 방식 분석

- ◇ Liu 등 (2009)은 옥수수, 토마토, 사탕무 등에 적용 가능한 크랭크-로커를 이용한 방식의 이식기의 이식 메커니즘에 대하여 연구하였음. 기구의 운동방정식을 세워 MATLAB을 이용하여 정지상태에서의 운동 궤적, 속도 및 각속도를 분석하였으며, Inventor로 3차원 모델링 후 시뮬레이션하여 동작 분석을 하였다. 식부 장치의 궤적은 초승달 모양의 궤적인 커플러 곡선을 그렸음 (Fig. 111).

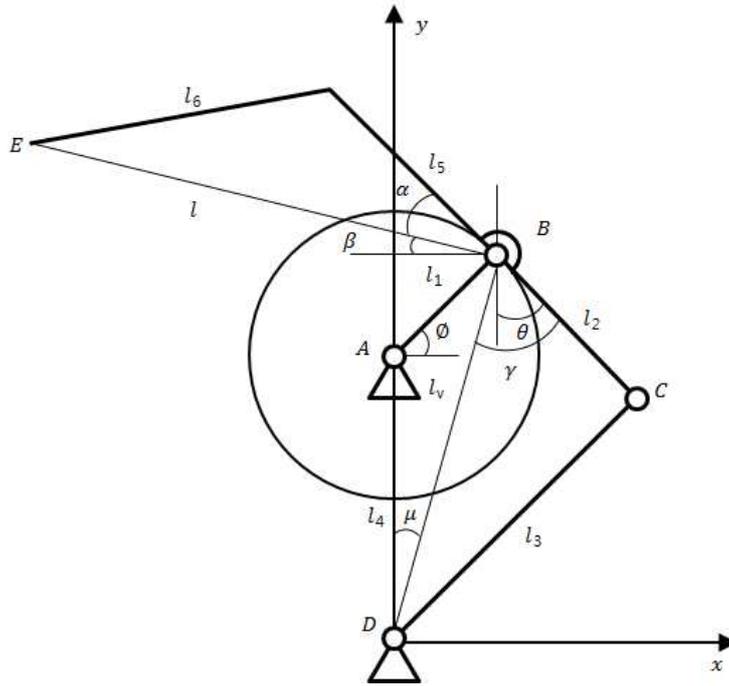


Fig. 111. Diagram of four bar linkage type puncher

- ◇ Dong 등 (2012)은 MATLAB과 동작 분석 프로그램을 이용하여 벼 이식기 프레임의 운동을 해석하였음. 수학적 모델링하여 MATLAB을 이용하여 궤적 그래프를 얻었으며 정지상태 및 주행상태에서의 궤적을 분석하였다. 식부 장치는 초승달 모양의 궤적을 그리며 운동하였음.
- ◇ 4절 링크 방식의 경우 호퍼를 앞쪽에 위치할 수 있어 모종의 줄기가 길어도 정식할 수 있는 특징이 있음. Kang (2014)은 양과정식기용 식부장치 연구에서 4절 링크방식의 식부 궤적을 분석한 결과 밀립거리가 다른 장치에 비해 가장 컸으며 수직으로 정식되어야 하는 양과모종에는 알맞지 않다고 보고하였음. 그림 10은 크랭크-로커를 이용한 방식의 천공장치 구상도임.
- ◇ 천공 장치는 연결된 관리기가 앞으로 주행하는 동시에 천공부가 초승달 모양의 궤적을 그리며 운동하면서 비닐을 천공하며 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행함. Dong 등 (2012)의 4절 링크 방식 및 설계 요인을 참고하였으며 정지 상태 궤적의 식은 다음의 식 (13), 식 (14)와 같음. 주행상태에서 칼날의 위치는 다음 식 (15), 식(16)과 같다. 여기에서 식 (15), 식 (16)을 미분하여 주행 중 칼날의 속도의 x성분과 y성분을 구할 수 있는데 식 (17), 식 (18)과 같음.

$$x = l_1 \cos(\omega \cdot t) - l \cos \beta \quad (13)$$

$$\checkmark y = l_1 \sin(\omega \cdot t) + l_4 + l \sin \beta \quad (14)$$

$$\checkmark x' = l_1 \cos(\omega \cdot t) - l \cos \beta - v \cdot t \quad (15)$$

$$\checkmark y' = l_1 \sin(\omega \cdot t) + l_4 + l \sin \beta \quad (16)$$

$$\checkmark v_x = -\omega l_1 \sin(\omega \cdot t) + l \sin \beta \cdot \dot{\beta} + v \quad (17)$$

$$\checkmark v_y = \omega l_1 \cos(\omega \cdot t) + l \cos \beta \cdot \dot{\beta} \quad (18)$$

where, ω = angular velocity of knife, t = working time

자) 기구부 설계 (Fig. 112)

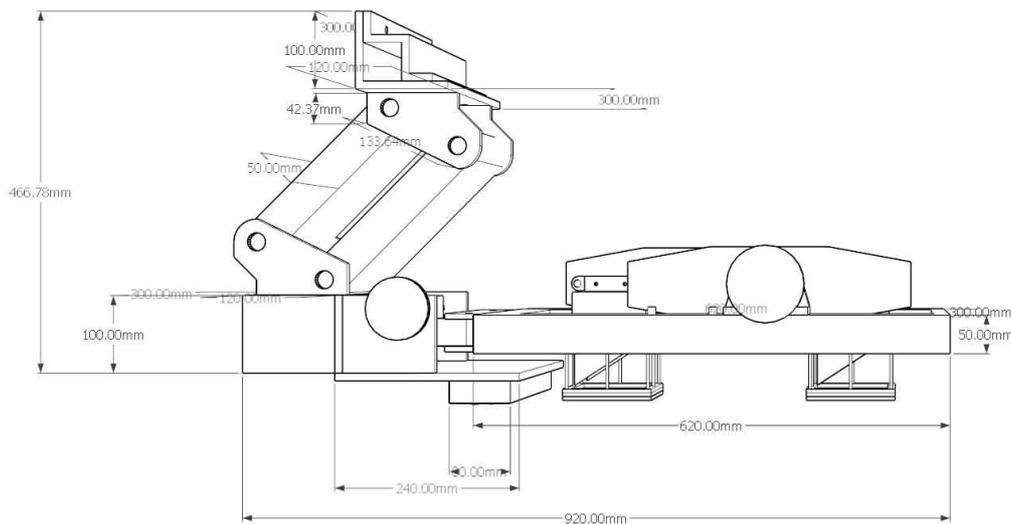


Fig. 112. Schematic view of experimental puncher

- ◇ 원형 궤적 방식, 타원형 궤적 방식, 직선 궤적 방식 그리고 커플러곡선 궤적 방식의 운동 궤적, 속도 및 가속도를 분석한 결과 휠 방식의 원형 궤적이 지면의 밀림거리가 작아 비닐의 손상이 적고 다양한 재식거리에서 천공이 가능할 것으로 판단됨.
- ◇ 분석 결과를 바탕으로 원형 궤적을 그리는 천공 장치를 설계 프로그램 (Sketchup V2015)를 이용하여 설계하였음 (그림 11).
- ◇ 지면의 경사와 두둑의 높이가 일정하지 않은 재배지의 특성에 맞게 상하 좌우로 위치를 조절할 수 있도록 설계하였음. 평행 4절 크랭크 링크를 이용하여 수직 방향으로 $-0.06 \text{ m} \sim 0.06 \text{ m}$ 움직일 수 있도록 하였으며 재배지의 두둑이 항상 직선이 아니며 콩의 파종 위치가 항상 일정하지 않아 좌우 방향도 동일하게 설계하였음.

차) 기구부 실증 실험 장치

1) 인공토조 시스템

- ◇ 비닐멀칭 자동천공기의 수학적 모델링을 통해 얻은 천공부 궤적을 분석하고, 실제 필드에서의

궤적과 비교·분석하기 위하여 인공 토조에서 실험을 실시하였음. 위치마다 토양의 물리적 특성이 다르고 동일한 조건에서 실험이 힘든 일반 농경지의 특성 때문에 인공 토조에서 실험을 수행하였음.

- ◇ 실증 시험을 진행한 인공 토조는 토양조 및 레일 시스템, 대차 구동 시스템, 토양 가공 대차, 측정 실험 대차로 구성되어 있음. 토양조의 토양은 미국 농무성법 (USDA)에 따라 분류된 sand 53.5%, silt 37.1% 및 clay 9.4%로 이루어진 사질양토 (ASAE Standards, S269.5, 2012a)이며 토양 가공 대차는 토양조 위의 레일을 따라 움직임. 토조 크기는 길이 12 m, 너비 1 m, 높이 0.7 m이며, 0.2 m 두께의 철근콘크리트의 외벽 구조물로 이루어져 있음.
- ◇ 토조에는 토양의 수분함량을 조절할 수 있도록 배수시설이 갖추어져 있으며, 토양 가공 전 수분을 공급하고 비닐로 덮어 보습하여 작업이 원활이 이루어지도록 하였음. 토양조 상부에는 레일 시스템이 구축되어 있어 토양 가공 대차 및 측정 실험 대차의 이동이 가능하도록 구성하였으며, 레일의 크기와 형태는 150×75×5.5×9.5 mm의 I-형강 레일 형태로 되어 있음 (Fig. 113).



Fig. 113. Soil bin system, (a) View of soil process, (b) View of rotary tiller for soil preparation, (c) View of soil preparation, (d) View of soil after soil processing

- ◇ 대차 구동 시스템은 원동기의 변속기를 이용하여 대차를 구동시키는 장치로서 4단계의 속도로 조절가능하며 그 범위는 0.1-1.5 m/s임. 토양 가공 대차는 10 마력 전동기에 의해 구동되며 토양의 물리적 상태를 실험 목적에 부합하도록 토양을 가공하는 장치임. 인공 토조 시스템에서 비닐멀칭 자동천공기의 천공부 궤적 실험 모습이며, 천공장치는 토양 측정 실험 대차의 정면에 부착하였음. 실험 대차의 정면에는 철근 구조물로 이루어진 장치가 있으며 이 철근 구조물은 5 cm 간격으로 구멍이 있어 천공 장치의 높이를 조절이 가능하였음 (그림 12).

2) 천공 장치

- ◇ 궤적 분석을 통해 설계·제작한 원형 궤적 방식의 천공기는 메인프레임과 칼날 그리고 비닐을 눌러주는 스프링으로 구성하였음. 일정한 높이에서 천공하기 위해 설계한 위치 조절부는 지면이

평행한 인공 토조의 특성상 제거하였음. 전체적인 프레임의 재질은 SS41이고 두께는 5 mm인 강철판을 이용하여 제작하였음. 메인프레임의 규격은 너비 270 mm, 길이 1240 mm, 높이 425 mm이다 (Table 32). 생육 실험 결과 VC 단계에서 V1 단계의 콩의 크기는 50-70 mm 이었으므로 칼날은 너비 80 mm, 길이 80 mm의 정사각형으로 제작하였음 (Fig. 114).

Table 32. Specifications of circular-path type puncher

Item		Specifcaitons
Main body	Width (mm)	270
	Length (mm)	1240
	Height (mm)	425
	Weight (kg)	54.8
Cutter	Width (mm)	80
	Length (mm)	80
	Height (mm)	65
	Weight (kg)	0.2



Fig. 114. View of the circular-path type puncher

카) 실험 방법

- ◇ 토양 가공은 실험에 앞서 실험환경 조성을 위한 토양가공을 실시하였음. 작업 후 형성된 경반층을 연화시키기 위해 일주일간 수분 공급하고 비닐로 덮어 보습 작업을 하였음. 로터리 작업을 위해 보습된 경반층에 물리적인 힘을 가하여 파쇄하였음. 경반층을 제거한 후 3회의 로터리 작업 및 2회의 균평 작업을 한 사이클로 실시하였으며 총 2회 실시하였음.
- ◇ 실증 실험은 인공 토조에서 실시하였음. 실험에 사용된 비닐은 보온, 보습 및 잡초 억제기능이 탁월한 검정비닐을 사용하였으며 콩 재배지에서 보편적으로 사용되는 0.015 mm 두께의 비닐을 사용하였으며 이는 기초 요인실험 시 사용한 비닐과 동일한 비닐임.
- ◇ 연구에서는 10 m를 하나의 시험구간으로 설정하여 총 9회의 천공실험을 수행하였음. 실험계획을 설계하였으며, 저속 2단 (0.137 m/s), 저속 3단 (0.215 m/s), 고속 1단 (0.328 m/s)로 3가지 주행속도로 운행하여 실험하였음. 수학적 모델링을 통해 분석한 결과를 토대로 각 주행속도에 맞는 회전속도를 설정하여 실험하였으며, 예외 변수를 확인하기 위해 적정 회전속도의 ± 3 RPM도 실험하였음. 표 8과 같이 해당 시험 별로 재식거리와 밀림거리를 측정하였으며 수학적 모

델링을 통해 시뮬레이션 결과와 비교·분석하였음 (Table 33).

Table 33. Conditions for verification test

Driving speed (m/s)	Rotating speed (RPM)	measurement
0.137	5	1. Sliding distance of plastic film 2. Spacing in the row
	8	
	11	
0.215	9	
	12	
	15	
0.327	16	
	19	
	22	

◇ 수학적 모델링을 통해 얻은 궤적의 신뢰성을 얻고 증명하기 위해 주행 속도 별 천공 회전속도에 따른 천공 지점 사이의 거리를 측정하여 비교·분석을 하였음 (Fig. 115).



Fig. 115. Verification test of the circular-path type puncher

3) 생육 실험

◇ 15일간 콩의 생육 실험 결과를 구하였음. 2번구에는 태광콩을 98개 파종하였으며, 4번구에는 대원콩을 89개 파종하였음. 9일차인 6월 20일에 비가 내렸으며 태광, 대원 모두 VC단계가 처음으로 관찰되고 12일차인 24일에 V1단계가 처음으로 관찰되었다. 14일차인 27일에는 강한 호우로 관찰이 불가하였음 (Table 34).

Table 34. Results of growth test in growth stage of soybean

Day	Taekwang					Daewon				
	VS	VE	VC	V1	Total	VS	VE	VC	V1	Total
1	98	-	-	-	98	89	-	-	-	89
2	98	-	-	-	98	89	-	-	-	89
3	98	-	-	-	98	89	-	-	-	89
4	84	14	-	-	98	85	4	-	-	89
5	28	70	-	-	98	49	40	-	-	89
6	20	78	-	-	98	38	51	-	-	89
7	20	78	-	-	98	36	53	-	-	89
8	20	78	-	-	98	33	56	-	-	89
9	18	27	53	-	98	30	27	32	-	89
10	11	22	65	-	98	26	20	43	-	89
11	10	13	75	-	98	25	14	50	-	89
12	9	13	44	32	98	24	9	38	18	89
13	9	15	16	58	98	23	6	20	40	89
14	heavy rain									
15	9	4	11	74	98	19	9	12	49	89

◇ 5, 10, 15일차에 단계별 발아개수에서 5일차에 태광콩의 발아율은 71.4 %였으며 대원콩의 경우 44.9 %였음. 10일차에 태광콩은 88.8 %의 발아율을 보였으며 대광콩은 70.8 %였음. 15일차에 태광콩은 90.8 %, 대광콩은 78.7 %의 발아율을 보였음.

◇ 이 때 V1단계는 태광콩의 경우 발아된 콩의 83.1 %, 대원콩의 경우 70 %로 15일차에 대부분이 V1단계에 도달하였음 (Fig. 116, Fig. 117, Fig. 118).

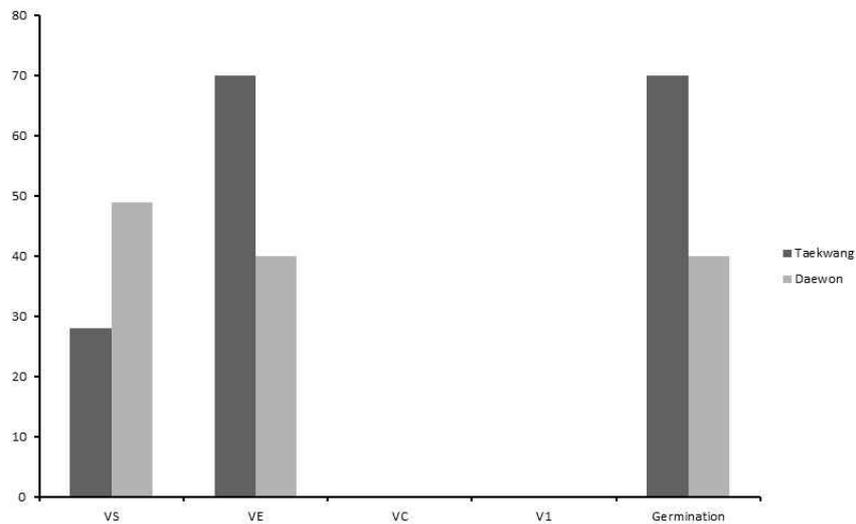


Fig. 116. Growth conditions after 5 days seeding

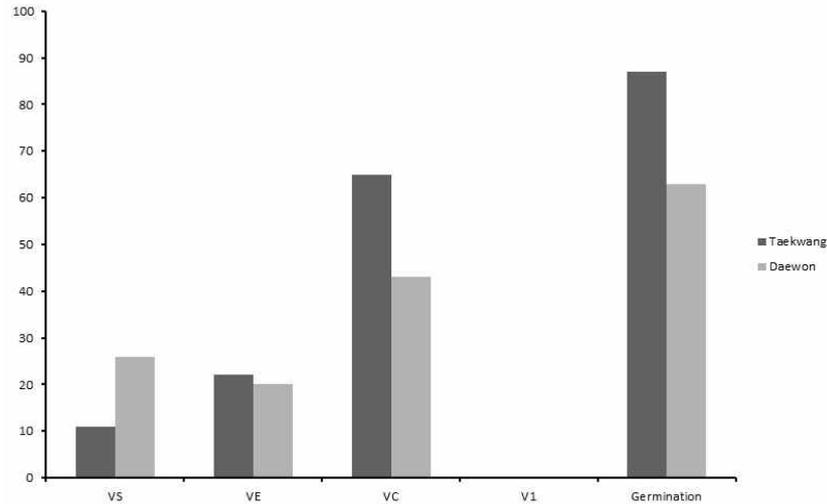


Fig. 117. Growth conditions after 10 days seeding

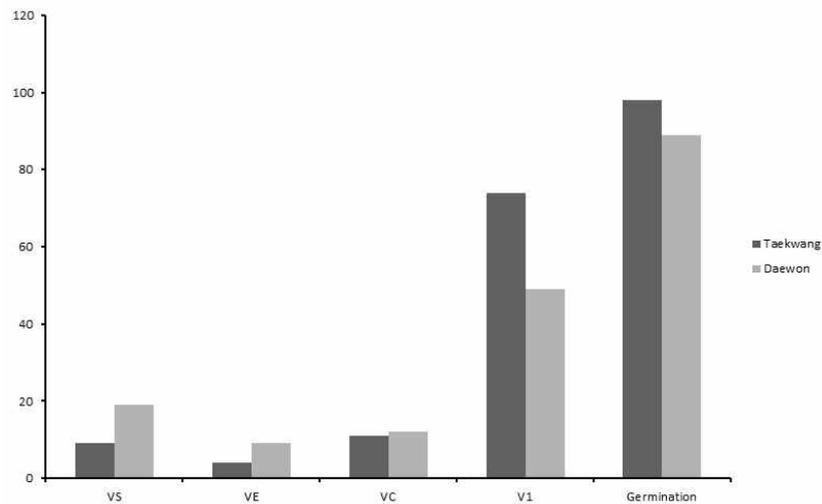


Fig. 118. Growth conditions after 15 days seeding

4) 천공부 궤적 분석

4.1 원형 궤적 방식

- ◇ 원형 궤적을 그리는 천공장치가 정지상태에서 회전할 때 기준점으로부터 칼날 끝부분까지의 거리를 분석하였음. x축은 -165 mm에서 165 mm까지, y축 또한 -165 mm에서 165 mm까지 30 mm를 움직였음. (※ Park (2005)는 채소정식기의 식부장치 개발에서 휠 방식 식부장치의 궤적을 분석하였으며 설계한 식부장치의 호퍼가 외부동력을 사용하지 않고 자중에 의해서만 자세를 유지하기 때문에 휠이 회전할 때 약간씩 흔들리면서 지면과 수직상태를 유지한다고 보고하였음.)
- ◇ 본문에서 설계한 원형 궤적을 그리는 천공장치는 이러한 흔들림이 없다고 가정하고 수학적 모델링을 하였기 때문에 회전반경과 x, y축 변위사이에 오차가 발생하지 않았음 (Fig. 119).

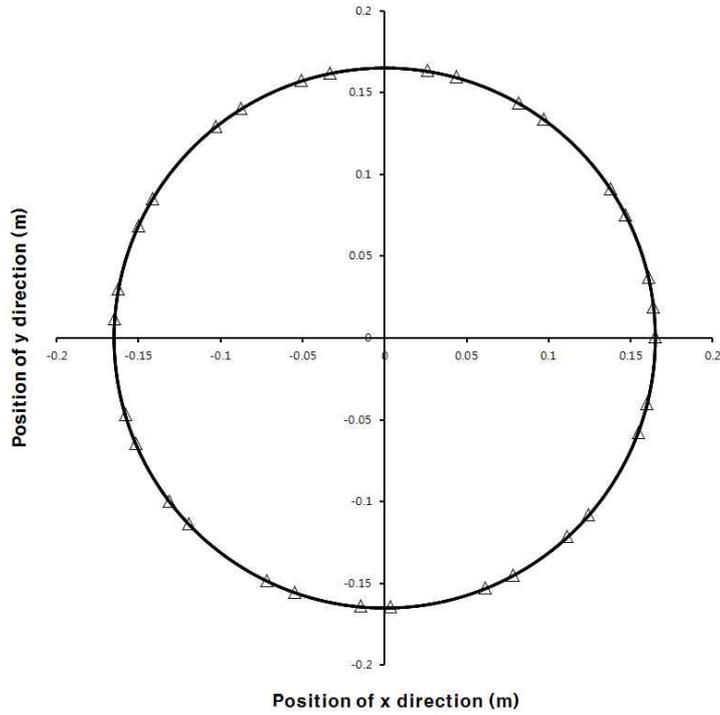


Fig. 119. Trajectory of the circular-path type puncher in stationary state

- ◇ 원형궤적을 그리는 천공장치를 주행시키면서 칼날 끝부분의 궤적을 분석한 결과임.
- ◇ 진행속도는 0.137 m/s로 실증실험을 진행할 인공토조 내의 대차의 저속 2단속도와 동일하게 하였음. 주행속도가 일정할 경우 천공장치의 회전속도에 따라 궤적이 달라지므로 천공속도가 주행속도에 미치지 못할 경우, 적정 속도일 경우, 주행속도에 비해 빠를 경우 총 세 가지로 나누어 궤적을 분석하였음. 천공속도가 5 RPM으로 주행속도에 천공속도가 미치지 못하여 밀림현상이 발생할 것으로 예상되는 궤적임. 지면으로부터 1 cm 삽입되었을 때, 5 RPM의 경우 재식거리는 78.75 cm 이고 6.7 cm 밀리는 현상이 발생하였음 (Fig. 120).

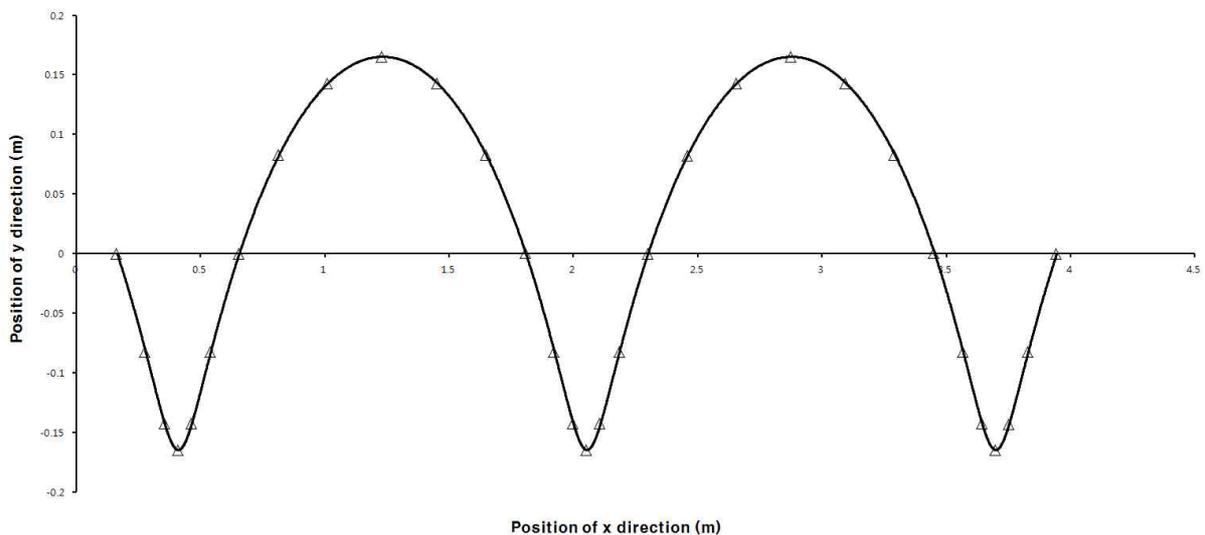


Fig. 120. Trajectory of the circular-path type puncher in driving state (5RPM)

- ◇ 천공속도가 8 RPM으로 주행속도와 천공속도의 비율이 적절한 상태의 궤적임. 재식거리는 51.3 0 cm 이고 0.1 cm 밀리는 현상이 발생하였음 (Fig. 121).

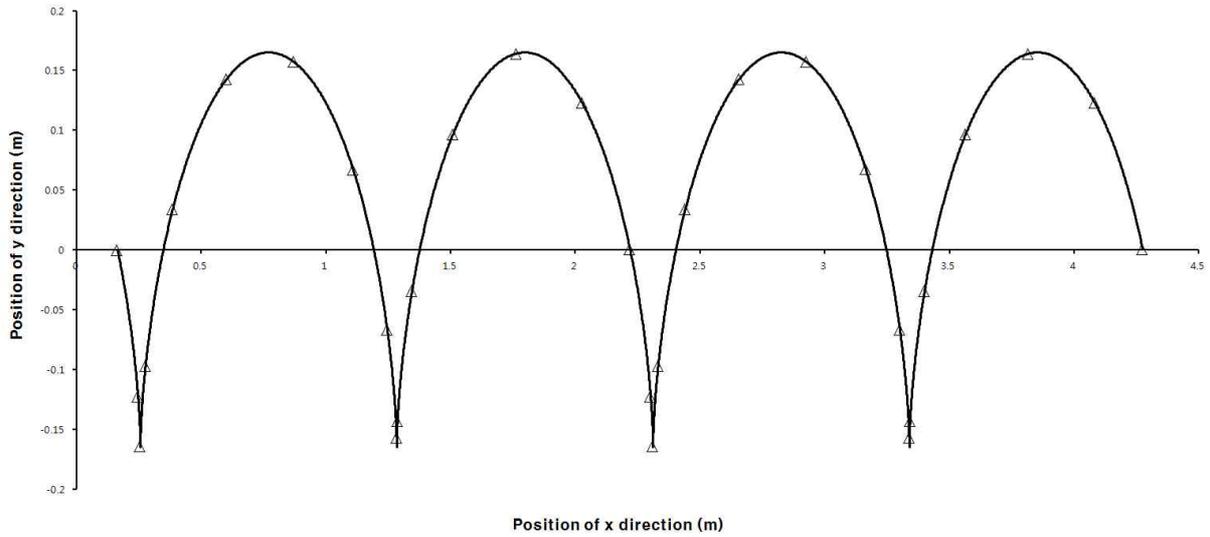


Fig. 121. Trajectory of the circular-path type puncher in driving state (8RPM)

- ◇ 천공속도가 11 RPM으로 주행속도에 비해 천공속도가 빨라 비닐이 끌리는 현상이 발생할 것으로 예상되는 궤적임. 재식거리는 38.8 cm 이고 2.9 cm 끌리는 현상이 발생하였음 (Fig. 122).
- ◇ 천공속도 8 RPM일 때 시간에 따른 칼날의 속도를 나타냄. 시작 후 30초간 속도 변화를 표시하였다. 최대속도는 0.28 m/s 이고 최저 속도는 0 m/s 이며, 이 때 칼날의 y 축의 위치는 -0.165 m로 칼날이 가장 지면 깊숙이 삽입되는 시기를 나타냄.
- ◇ 이는 칼날의 위치가 비닐을 천공하는 순간 상대속도가 0 m/s이며 비닐과 작물의 손상을 최소화 할 수 있음을 의미함 (Fig. 123, Fig. 124, Fig. 125).

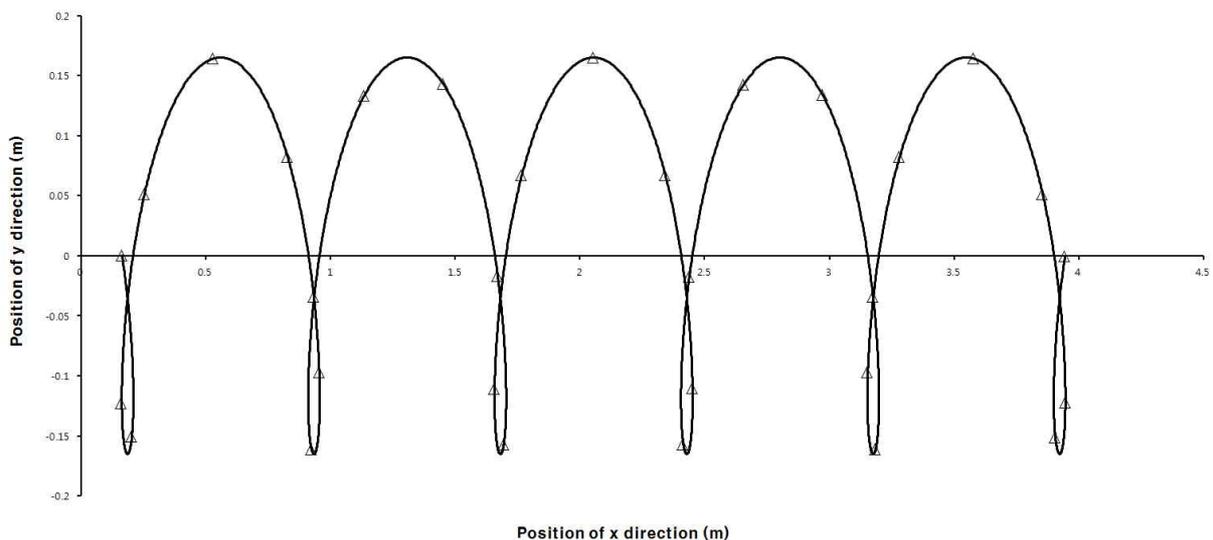


Fig. 122. Trajectory of the circular-path type puncher in driving state (11RPM)

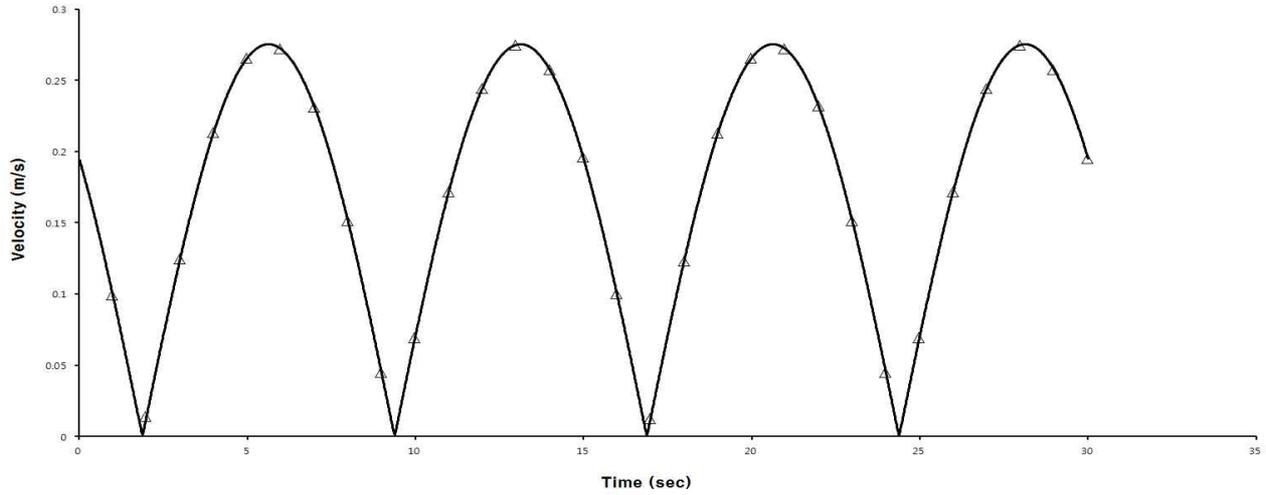


Fig. 123. Velocity of the circular-path type puncher

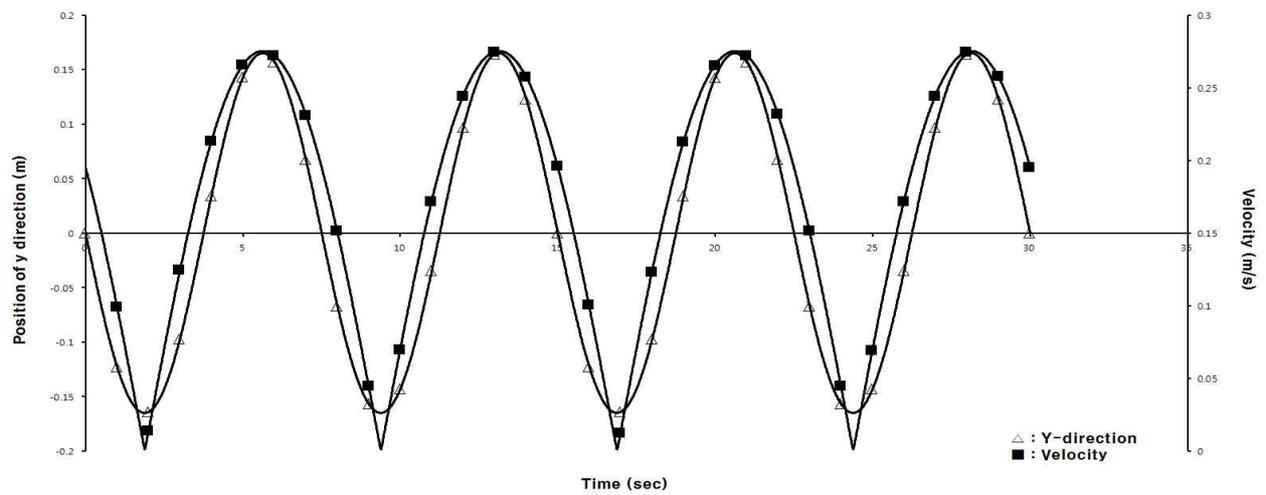


Fig. 124. Velocity and Y direction of the circular-path type puncher

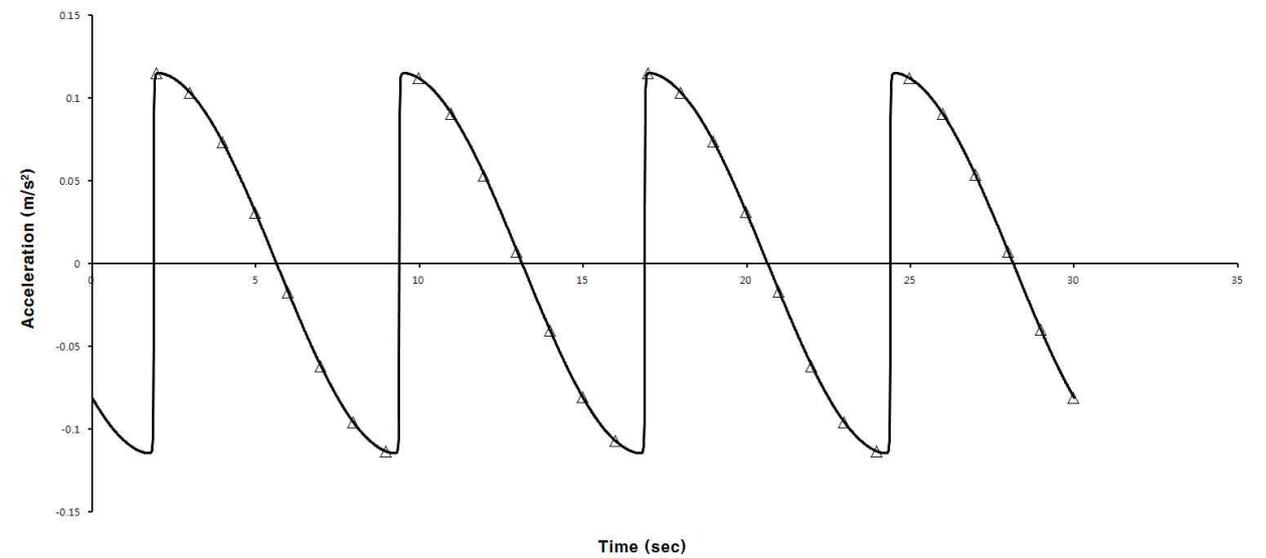


Fig. 125. Acceleration of the circular-path type puncher

- ◇ 원형 궤적을 그리는 천공장치의 30초간의 가속도 변화를 나타냄. 진행방향은 일정하나 칼날은 회전하기 때문에 가속도의 방향이 계속 바뀌는 것으로 나타남. 칼날이 삽입되는 지점인 y축 변위가 -0.155 m에서 다시 -0.165 m까지 감소하였다가 다시 -0.155 m가 되는 지점에서 가속도는 최대 가속도를 유지하였음. 원형 궤적 방식의 천공장치는 천공하는 순간 최대 가속도를 낼 수 있음을 의미하며 최대 가속도는 -0.11 m/s^2 이었음 (그림 24).
- ◇ 휠 방식의 식부장치의 경우 모종을 계속 공급해야하는 정식기의 경우 사용이 제한적일 수 있으나, 비닐멀칭 천공을 위한 적용 결과 삽입하는 순간 최대 힘을 낼 수 있고 칼날을 추가하여 재식거리를 조절하는 것도 가능할 것으로 판단됨. 또한, 칼날 삽입 시 지면-천공부의 상대속도를 0 m/s로 만들어 비닐의 손상을 방지할 수 있으므로 원형 궤적 방식의 천공장치는 비닐을 천공하는데 적합할 것으로 판단됨. 또한 이론적 분석결과 주행속도에 관계없이 적정속도로 회전 시 비닐과 작물의 손상을 방지할 수 있다고 판단되었음.

4.2 타원형 궤적 방식

- ◇ 타원형 궤적을 그리는 천공장치가 정지상태에서 운동할 때 기준점으로부터 칼날 끝부분까지의 거리를 분석함. x축은 -0.06 mm에서 0.06 mm까지, y축 또한 -0.165 mm에서 0.165 mm까지 330 mm를 움직임. (※ Park (2005)은 채소정식기의 식부장치 개발에서 L형 링크가 직선슬라이더의 끝단에 연결되어 좌우로 회전하면서 식부호퍼의 자세를 지면과 수직인 상태로 고정하도록 설계함.) 원형 궤적을 그리는 천공장치와 마찬가지로 흔들림이 없다고 가정하고 수학적 모델링 하였음 (Fig. 126).

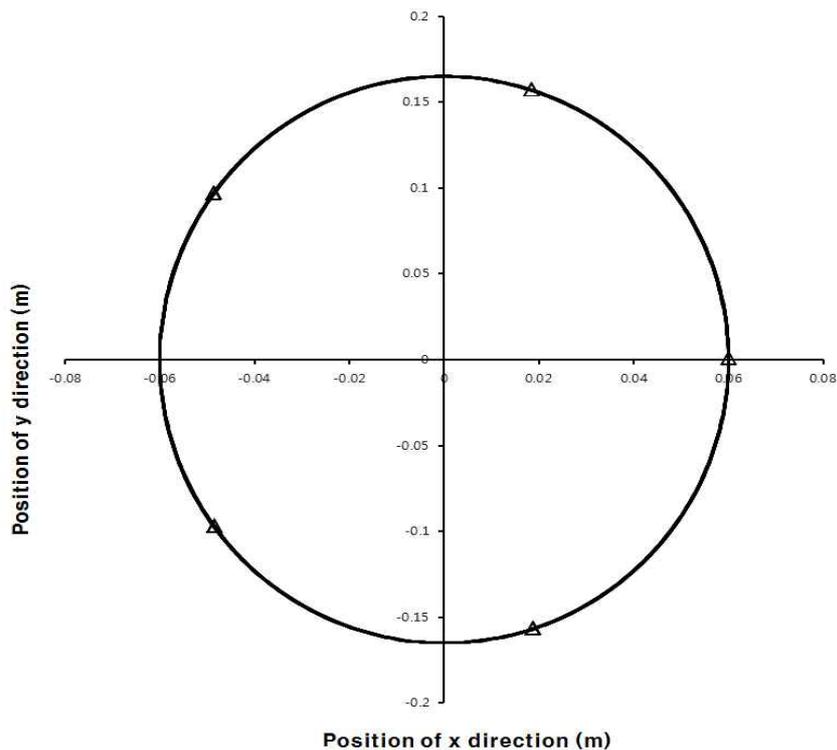


Fig. 126. Trajectory of the rotary type puncher in stationary state

◇ 진행속도는 0.137 m/s로 실증실험을 진행할 인공토조 내의 대차의 저속 2단속도와 동일하게 하였음. 원형 궤적과 마찬가지로 주행속도가 일정할 경우 천공장치의 회전속도에 따라 총 세 가지로 나누어 궤적을 분석하였음. 주행속도 0.137 m/s에 일 때 적정 회전속도는 24 RPM이었다. 원형 궤적 방식과 같은 비율로 나머지 둘의 회전 속도를 정하여 시뮬레이션 하였음. 그림 29는 천공속도가 15 RPM으로 주행속도에 천공속도가 미치지 못하여 밀림현상이 발생할 것으로 예상되는 궤적임. 지면으로부터 1 cm 삽입되었을 때, 15 RPM의 경우 재식거리는 55 cm 이고 2 cm 밀리는 현상이 발생하였음 (Fig. 127).

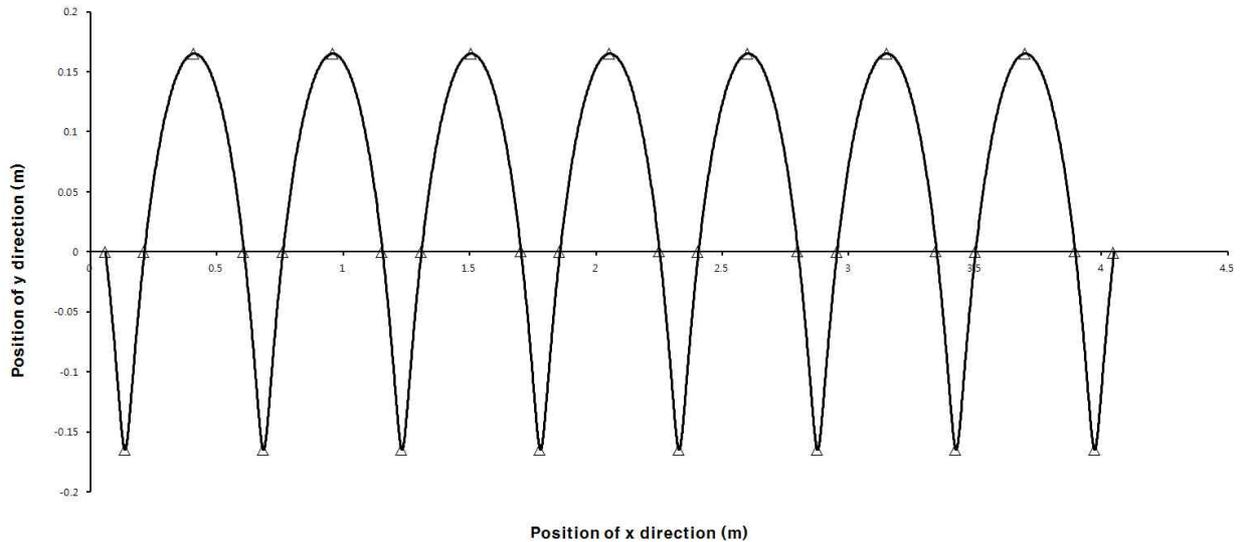


Fig. 127. Trajectory of the rotary type puncher in driving state (15RPM)

◇ 타원형 궤적을 그리는 천공장치를 주행시키면서 칼날 끝부분의 궤적을 분석하였음. 천공속도가 24 RPM으로 주행속도와 천공속도의 비율이 적절한 상태의 궤적이다. 재식거리는 34.3 cm 이고 0.3 cm 끌리는 현상이 발생하였음 (Fig. 128).

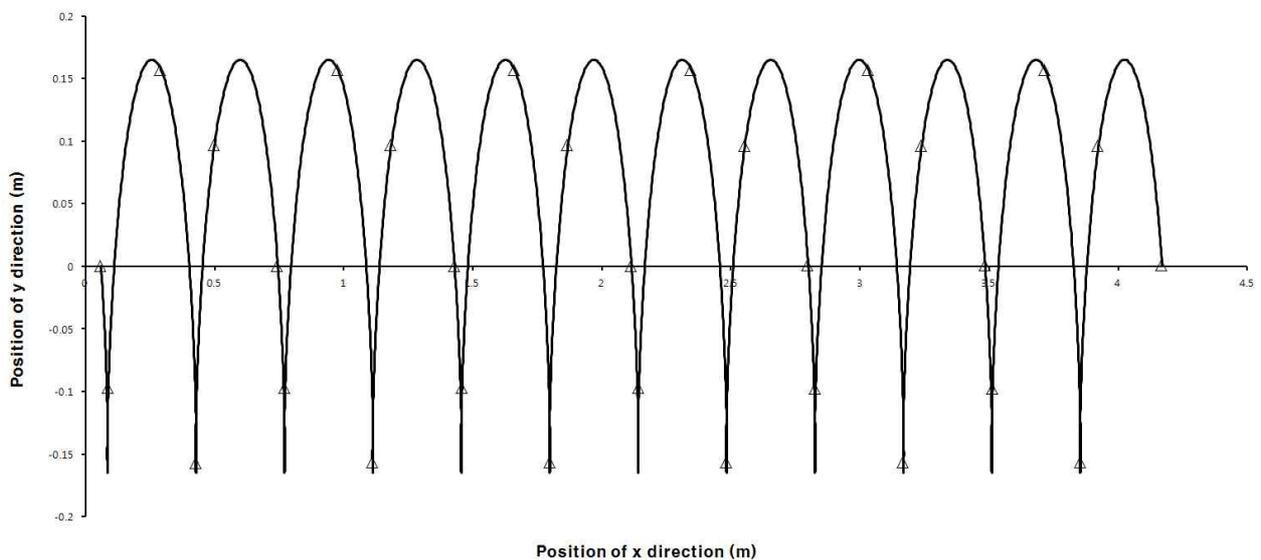


Fig. 128. Trajectory of the rotary type puncher in driving state (24RPM)

- ◇ 천공속도가 33 RPM으로 주행속도에 비해 천공속도가 빨라 비닐이 끌리는 현상이 발생할 것으로 예상되는 궤적이다. 재식거리는 12.5 cm 이고 1.4 cm 끌리는 현상이 발생하였음 (Fig. 129).

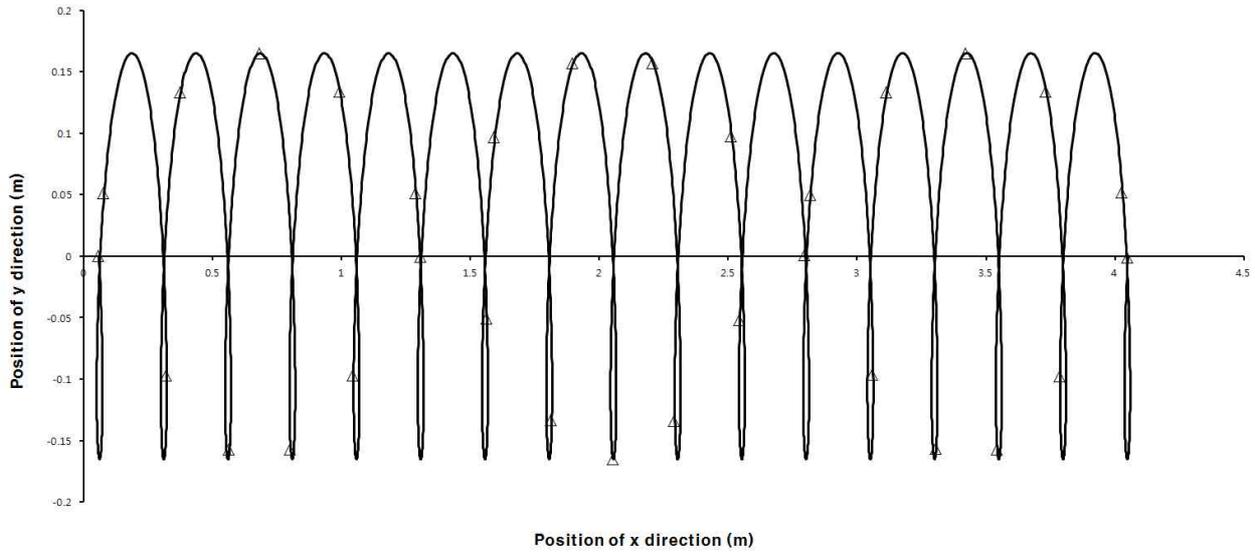


Fig. 129. Trajectory of the rotary type puncher in driving state (33RPM)

- ◇ 천공속도 24 RPM일 때 시간에 따른 칼날의 속도를 나타냄. 시작 후 30초간 속도 변화를 표시하였다. 최대속도는 0.44 m/s 이고 최저 속도는 0.01 m/s 이며, 이 때 칼날의 y 축의 위치는 -0.165 m로 칼날이 가장 지면 깊숙이 삽입되는 시기를 나타냄 (그림 29). 상대속도가 0 m/s에 근접하나 도달할 가능성은 없음 (Fig. 130). 타원형 궤적 방식 천공장치의 30초간의 가속도 변화를 나타냄. 진행방향은 일정하나 칼날은 회전하기 때문에 가속도의 방향이 계속 바뀌는 것으로 나타남. 칼날이 삽입되는 지점인 y축 변위가 -0.155 m에서 다시 -0.165 m까지 감소하였다가 다시 -0.155 m가 되는 지점에서 가속도는 최대 가속도를 유지함. 타원형 궤적 방식의 천공장치는 천공하는 순간 최대 가속도를 낼 수 있음을 의미하며 최대 가속도는 -1.00 m/s^2 임 (Fig. 131).

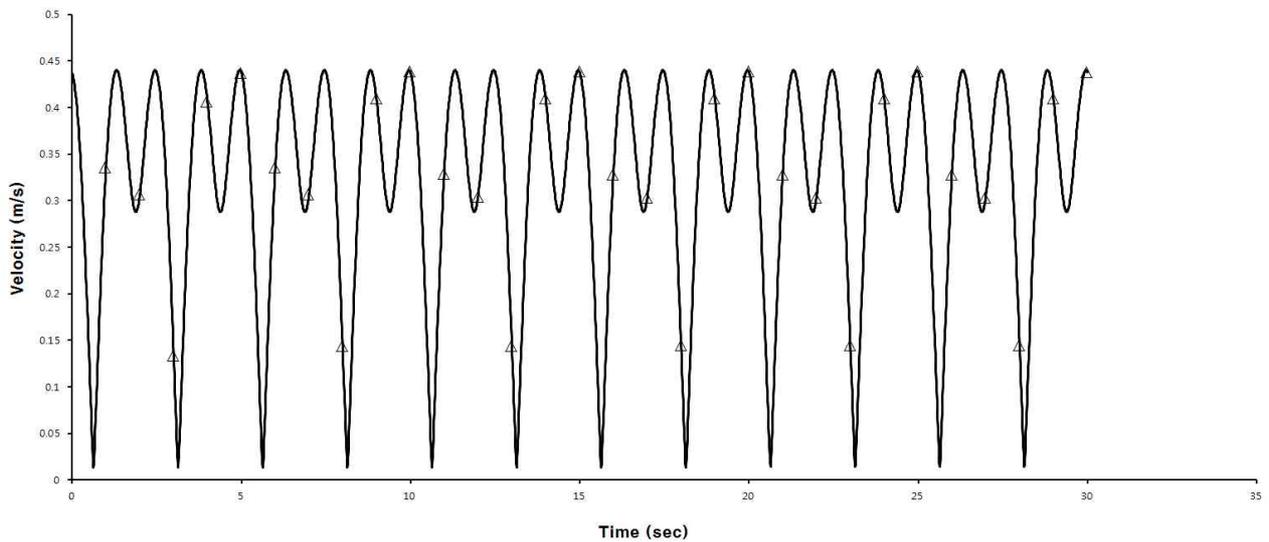


Fig. 130. Velocity of the rotary type puncher

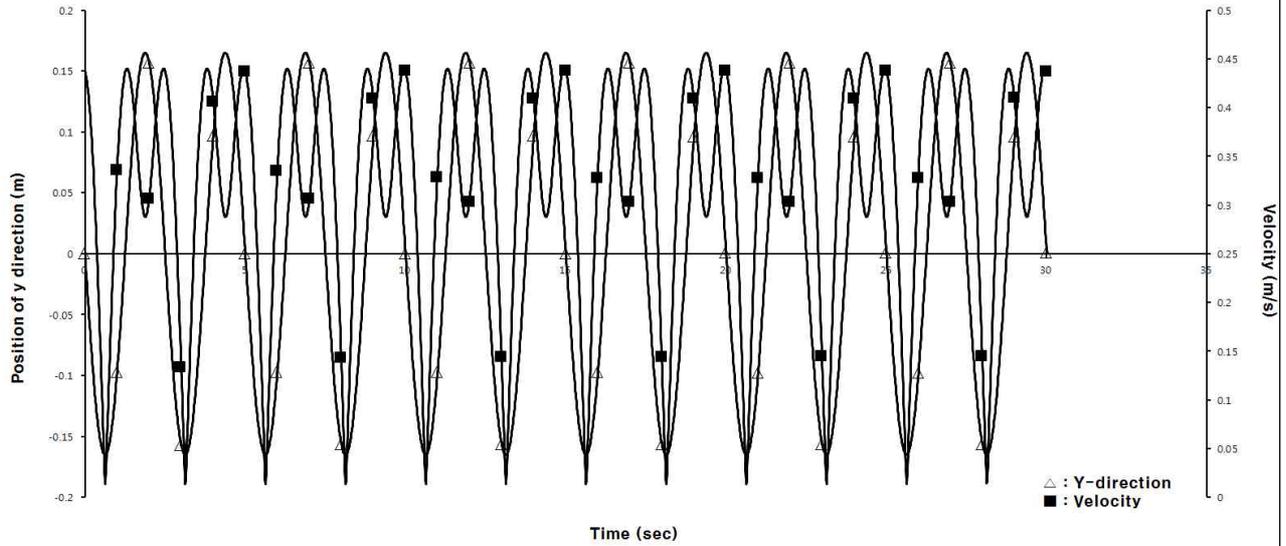


Fig. 131. Velocity and Y direction of the rotary type puncher

- ◇ 타원형 궤적 방식의 천공장치는 저속의 주행속도에서도 빠른 천공을 가능하게하고 일정한 간격으로 천공을 할 수 있으며, 밀림거리가 상대적으로 적음. 재식거리가 길 경우 정확한 천공이 어려울 것으로 판단되며, 밀림이 상대적으로 적으나 천공하는 순간 지면과 천공부의 상대속도를 0 m/s로 만드는 것은 어려울 것으로 판단됨 (Fig. 132).

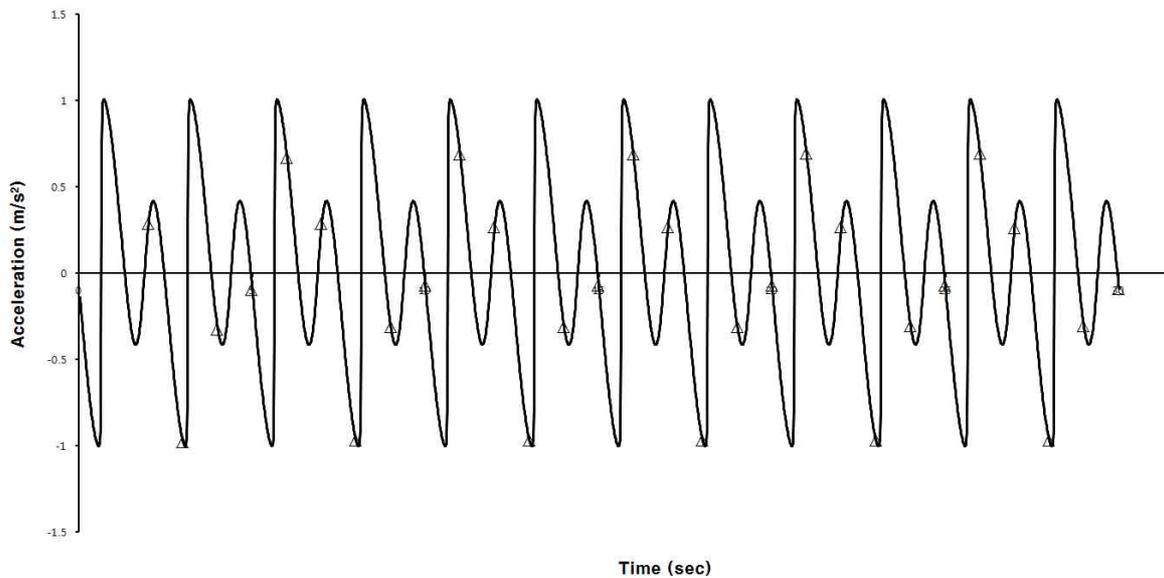


Fig. 132. Acceleration of the rotary type puncher

4.3 직선 궤적 방식

- ◇ 직선 궤적을 그리는 천공장치가 정지상태에서 왕복할 때 기준점으로부터 칼날 끝부분까지의 거리를 분석함. x축 방향으로의 움직임은 없으며, y축 방향으로 -165 mm에서 165 mm까지 330 mm를 움직인다. x축의 방향은 주행속도, y축의 방향은 천공부의 속도로 서로 독립적이며 같은 주행속도일 때 천공부의 속도가 빨라질수록 밀림거리는 감소함 (Fig. 133).

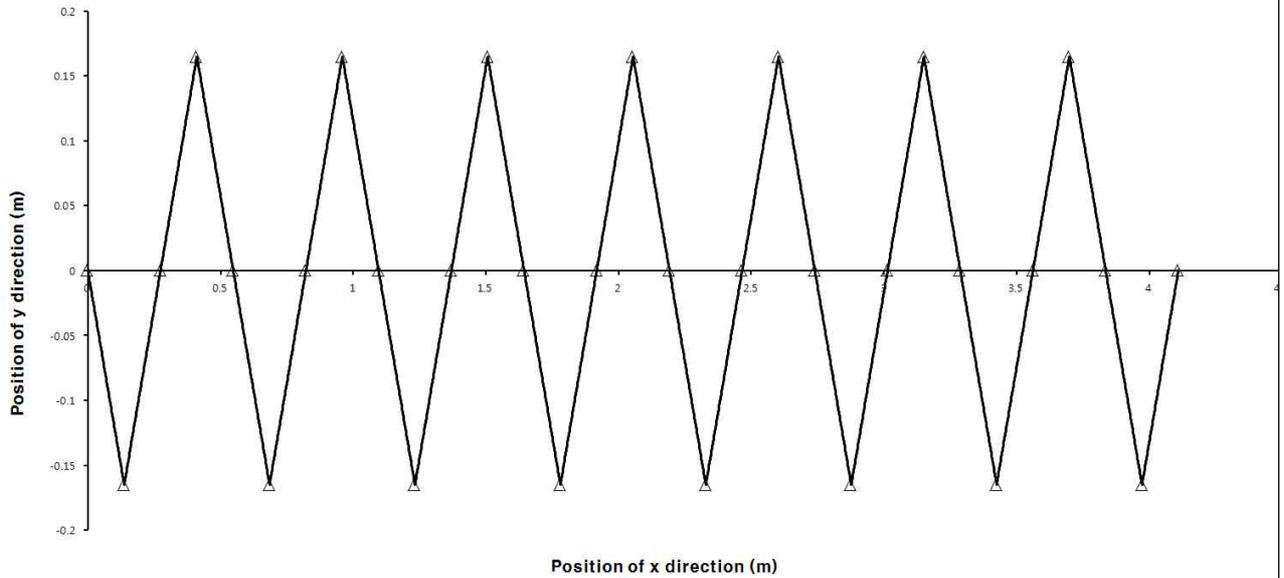


Fig. 133. Trajectory of the pneumatic cylinder type puncher in driving state

- ◇ 주행속도 0.137 m/s, 칼날의 속도 0.165 m/s일 때이며 밀림거리는 1.6 cm이고 재식거리는 13.6 cm임. 하지만 이는 실린더 속도의 변화에 따라 자유롭게 조절 가능하여 의미가 없다고 판단됨.
- ◇ 칼날의 속도는 그림 36과 같이 항상 일정하며 가속도는 0임. 주행속도와 천공속도 사이에 제한이 없는 장점이 있으나 x축의 방향은 주행속도, y축의 방향은 천공부의 속도로 서로 독립적이기 때문에 상대속도가 0 m/s이 되어 밀림이 발생하지 않을 가능성은 없는 것으로 판단됨 (Fig. 134).

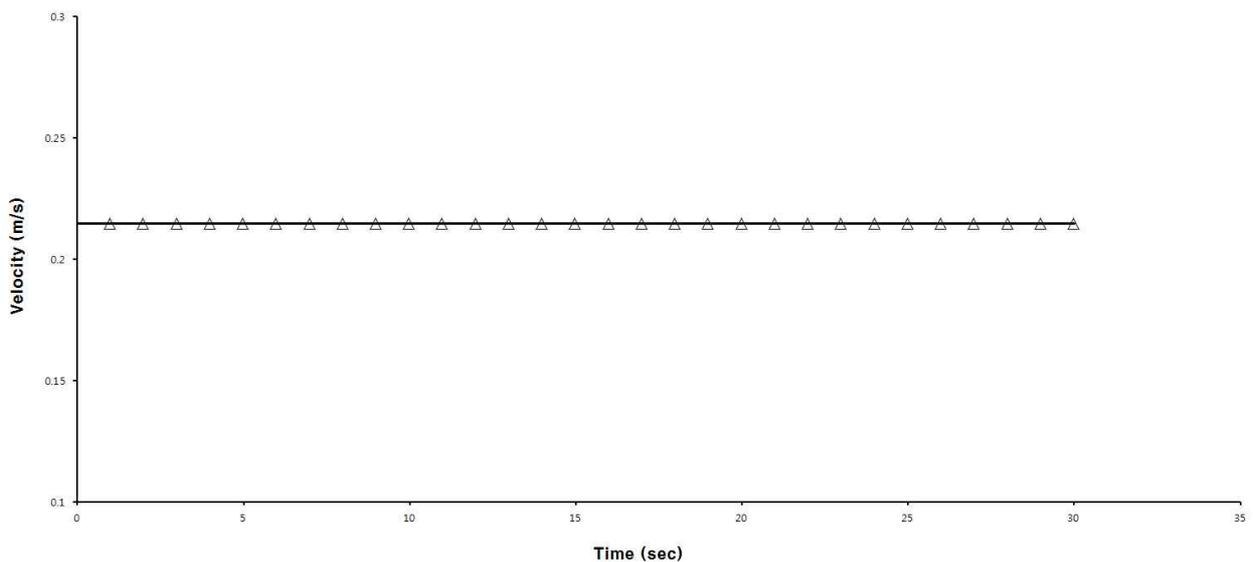


Fig. 134. Velocity of the pneumatic cylinder type puncher in driving state

- ◇ 공압 실린더를 이용한 직선왕복운동의 경우 비닐벌칭 천공을 위한 적용 결과 메커니즘이 구성이 간단하며 재식거리를 조절하는 것도 다른 운동방식에 비해 간편함. 또한, 비닐을 천공하는 순간

지면과 천공부의 상대속도를 0 m/s로 만들 수 없어 비닐의 손상을 방지할 수 없다는 단점이 있지만 단순 비닐천공에는 적용 가능할 것으로 판단됨.

4.4 커플러곡선 궤적 방식

- ◇ 커플러 곡선 모양의 궤적을 그리는 천공장치가 정지상태에서 링크들이 운동할 때 기준점으로부터 칼날 끝부분까지의 거리를 분석함 (Fig. 135).
- ◇ x축은 -210 mm에서 110 mm 까지 320 mm 움직이고, y축은 -140 mm에서 250 mm까지 390 mm를 움직인다. Park (2005)은 채소정식기의 식부장치 개발에서 비슷한 궤적을 그리는 복합 식부장치에서 식부 호퍼가 벌어지면서 오차가 발생함. 천공기의 칼날은 개폐식이 아닌 고정식이기 때문에 이러한 오차에 발생하지 않을 것으로 판단됨.
- ◇ 4절 링크 방식의 천공장치를 주행시키면서 칼날 끝부분의 궤적임. 진행속도는 0.137 m/s로 실증실험을 진행할 인공 토조 내의 대차의 저속 2단속도와 동일함. 링크 AB의 회전속도는 8 RPM으로 하였다. 지면으로부터 1 cm 삽입되었을 때, 재식거리는 105 cm 이고 칼날과 지면사이가 10 cm 밀리는 현상이 발생함 (Fig. 136).
- ◇ 주행 시작 후 30초간 칼날의 y방향 궤적과 속도를 나타냄. 1.19 m/s 이고 최저 속도는 0.07 m/s 이며 천공하는 순간 속도가 가장 빠른 것으로 나타냄. 분석한 천공 방식 중 비닐과 작물의 손상이 가장 클 것으로 보이며 상대속도를 0 m/s로 만들 가능성은 전혀 없을 것으로 판단됨 (Fig. 137).

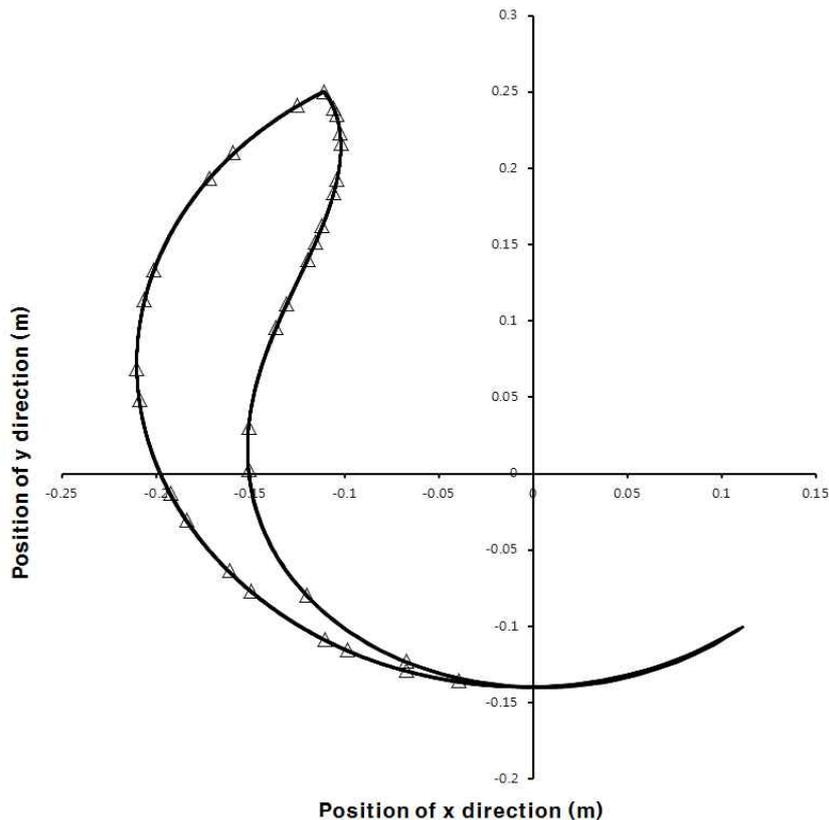


Fig. 135. Trajectory of four bar linkage type puncher in stationary state

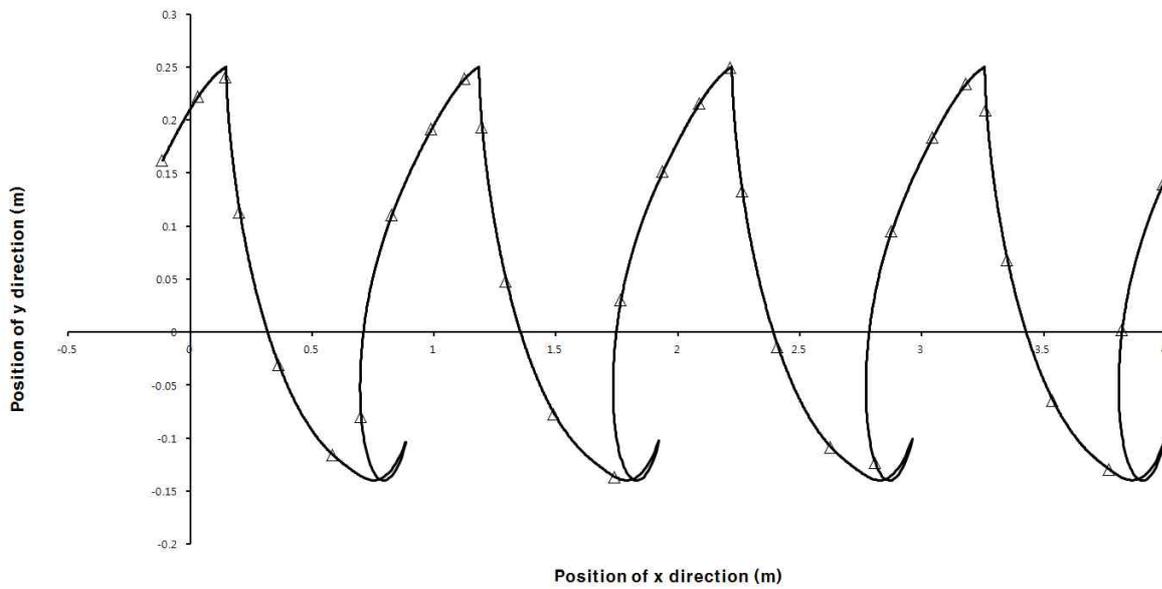


Fig. 136. Trajectory of four bar linkage type puncher in driving state

- ◇ 주행 시작 후 30초간 칼날의 y방향 궤적과 가속도를 나타냄. 최대 가속도는 105 m/s^2 이었고 변화가 일정하지 않았으나 천공하는 순간 가장 높게 나타남 (Fig. 138).
- ◇ 4절 링크 방식에 관한 선행연구자들의 식부장치 궤적분석에서와 마찬가지로 지면의 밀림이 가장 크게 나타남. 비닐멀칭 천공을 위한 적용 결과 삽입하는 순간 최대 힘을 낼 수 있지만 지면과 천공부의 상대속도가 0 m/s 일 가능성이 없고 밀림이 가장 크기 때문에 비닐의 손상이 가장 클 것으로 예상됨. 따라서 비닐을 천공하는 데는 부적합할 것으로 판단됨.

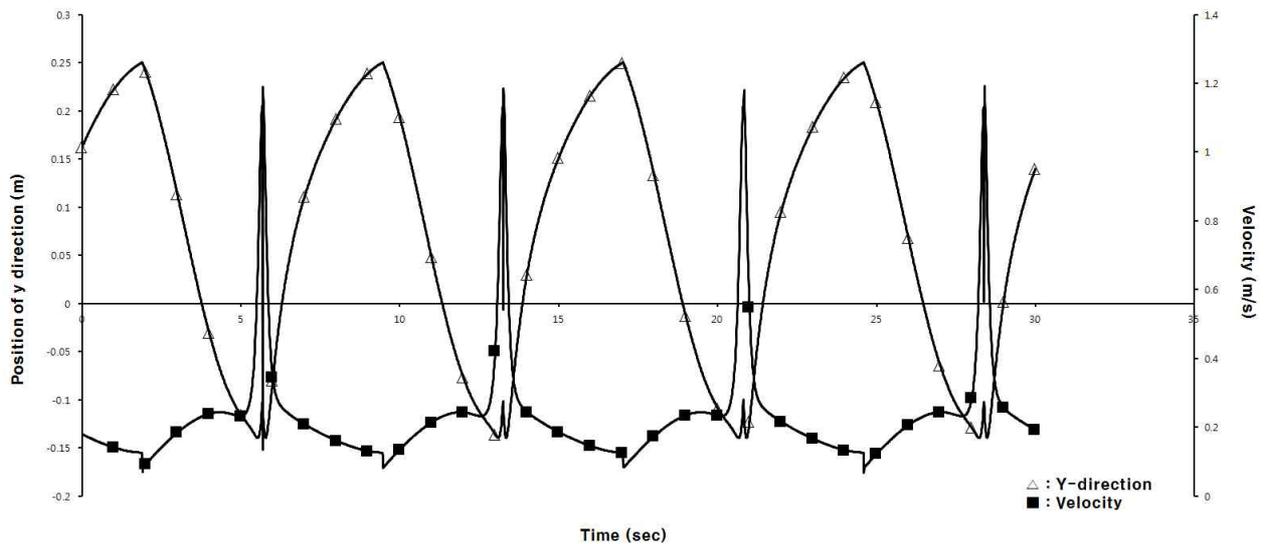


Fig. 137. Velocity and position of Y direction of four bar linkage type puncher

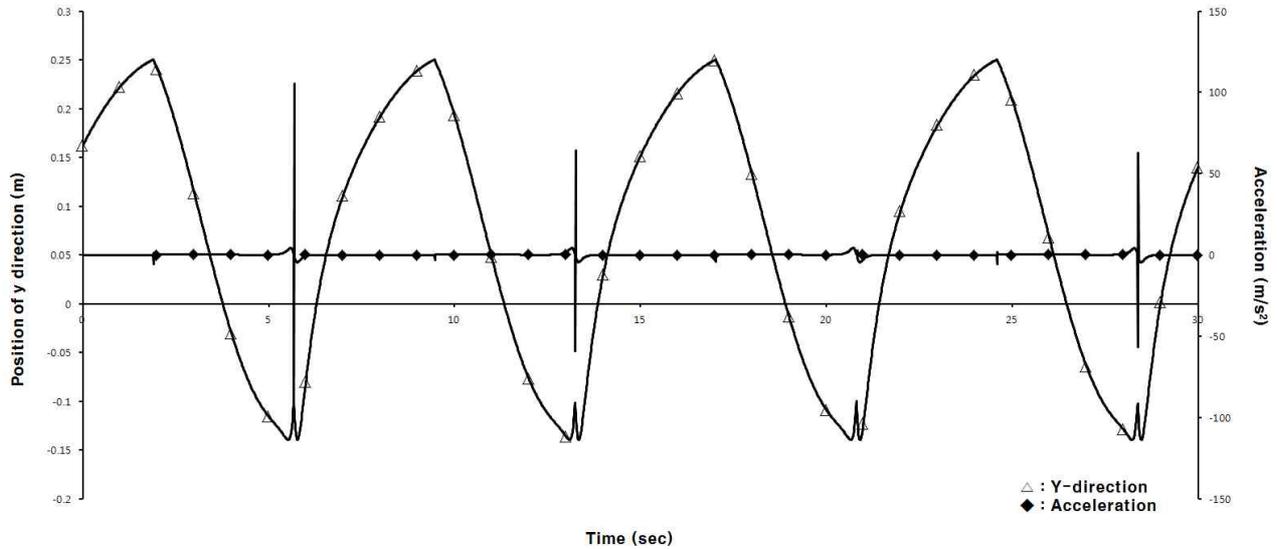


Fig. 138. Acceleration and position of Y direction of four bar linkage type puncher

(17) 센서 융합형 자동 천공장치 시작기 실내 성능 평가

가) 실내 실증실험 (크랭크식 - 관리기 후방 부착형) - 수학적 모델링 검증

- ◇ 천공부의 회전에 따른 천공부 칼날의 진행속도가 주행속도에 미치지 못할 경우, 적정 속도일 경우, 주행속도에 비해 빠를 경우를 비교함. 주행속도에 비해 천공부의 회전속도가 느려 비닐이 밀린 상태 (Fig. 139)와 주행속도와 천공부의 회전속도가 적정 비율일 경우 (Fig. 140)에서 토양의 끌림의 차이가 현저하였음.



Fig. 139. State of plastic film and soil surface after verification test (V=R)

- ◇ 주행속도에 비해 천공부의 회전속도가 빨라 비닐이 끌린 상태이지만 지면의 토양은 끌리지 않고 비닐만 끌리는 현상이 나타남 (그림 40).
- ◇ 대차가 저속 2단으로 주행할 때 천공부의 회전속도별 적정 회전속도인 8 RPM일 경우 재식거리 는 시뮬레이션이 51.30 cm, 실증시험이 52.50 cm로 1.20 cm의 오차를 보였음. 밀림거리는 시뮬레이션이 0.10 cm, 실증시험이 1.50 cm로 1.20 cm의 오차를 보였음 (Table 35).



Fig. 140. State of plastic film and soil surface after verification test ($V < R$)

Table 35. Comparison of result between theory and verification test (slow-II)

Rotating speed (RPM)		5	8	11
Spacing in the row (cm)	Theory	78.75	51.30	38.80
	Test	76.00	52.50	40.00
	Error	2.75	-1.20	-1.20
Sliding distance (cm)	Theory	6.70	0.10	-2.90
	Test	5.20	1.50	-1.20
	Error	-1.50	1.40	-1.70

- ◇ 대차가 저속 3단으로 주행할 때 천공부의 회전속도별 적정 회전속도인 12 RPM일 경우 재식거리는 시뮬레이션이 53.40 cm, 실증시험이 53.50 cm로 0.10 cm의 오차를 보임. 밀림거리는 시뮬레이션이 0.60 cm, 실증시험이 0.50 cm로 0.10 cm의 오차를 보였음 (Table 36).

Table 36. Analysis result between theory and verification test (slow-III)

Rotating speed (RPM)		9	12	15
Spacing in the row (cm)	Theory	69.40	53.40	43.85
	Test	70.00	53.50	43.00
	Error	0.60	0.10	0.85
Sliding distance (cm)	Theory	4.50	0.60	-1.70
	Test	4.70	0.50	-0.60
	Error	-0.20	0.10	-1.10

- ◇ 대차가 고속 1단으로 주행할 때 천공부의 회전속도별 적정 회전속도인 19 RPM일 경우 재식거리는 시뮬레이션이 51.65 cm, 실증시험이 50.00 cm로 1.65 cm의 오차를 보였음. 밀림거리는 시뮬레이션이 0.20 cm, 실증시험이 1.20 cm로 1.00 cm의 오차를 보였음 (Table 37).

- ◇ 실험 결과 주행속도와 천공부의 회전속도의 비율이 맞지 않을 때 오차가 크게 발생하였으며, 회전속도가 느릴 경우 더 크게 나타났음을 확인하였음. 또한 밀림 거리 측정을 위해 비닐의 밀림 거리를 측정하였으나 비닐 하부 지면의 토양은 거의 밀리지 않은 경우도 확인하였음. 수학적 모

델링을 통해 얻은 이론적 결과 값과 인공 토조내에서 실시한 실증시험을 비교한 결과 재식거리는 $R^2=0.9499$, 밀림거리는 $R^2=0.9380$ 의 유사성을 보였음.

Table 37. Analysis result between theory and verification test (fast-I)

		Rotating speed (RPM)		
		16	19	22
Spacing in the row (cm)	Theory	60.30	51.65	45.35
	Test	52.50	50.00	46.50
	Error	7.80	1.65	1.15
Sliding distance (cm)	Theory	2.30	0.20	-1.30
	Test	3.00	1.20	0.80
	Error	-0.70	-1.00	-2.10

◇ 원형 궤적을 그리는 천공 장치는 부착 칼날의 개수를 조절함으로써 재식거리의 조절이 가능하며, 수학적 모델링을 통해 시뮬레이션한 결과 밀림거리가 작아 비닐하부의 작물과 비닐의 피해를 최소화하기에 적합하여 설계·제작하였음. 또한 제작한 천공장치를 인공 토조 내에서 실증 시험하여 시뮬레이션 결과와 비교하였고 수학적 모델링의 정확도가 매우 높게 나타남. 이로써 모델링한 수학적 신뢰성을 검증하였음.

나) 실외 실증시험 (크랭크식-관리기 후방 부착형)

1) 장치의 구성

◇ 개발된 자동천공기 (크랭크식)는 농업용 관리기 후방에 부착되는 작업기로 작업성능은 3시간에 10 a의 면적에 대해 10,000회 천공하는 것을 목표로 함. 적용되는 관리기는 정격출력 4.8~7.0kW 범위의 국내 2개사 10개 모델이며, 장치는 관리기의 후방 힛치판에 부착이 가능하도록 함. 장치는 주 프레임에 구동 모터를 장착하고 크랭크 천공장치와 작업기 연결을 위한 핀 결합장치를 구성하였음. 또한, 별도로 무동력 우레탄 바퀴와 천공장치를 상·하로 조정하는 높이 조절장치와 좌·우로 조정하는 폭 조절장치를 구성하였음 (Fig. 141).

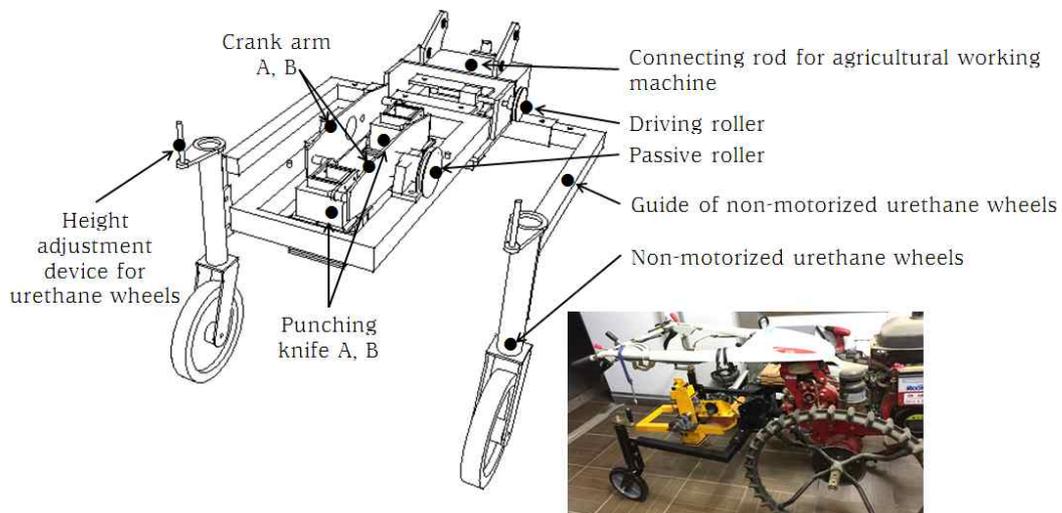


Fig. 141. Developed automatic punching system (crank type) attached to the agricultural working machine

2) 천공 장치

◇ 천공기의 동력은 관리기의 밧데리와 연결하였음. 천공 메커니즘에는 관리기의 이론주행속도인 0.38-0.39 m/s에 대해 조속레버를 하한으로 고정한 상태에서 진행되었음. 저속 운전상태에서 가속레버를 조정하면서 전진 1단의 실측된 주행속도는 0.37~0.61 m/s로 확인되었음. 이때 관리기의 주행속도는 반복되는 실험과정에서 토양상태 (수분, 자갈함량 등에 따른 마찰력의 변화)에 따라 변동이 큰 것으로 나타났음.

◇ 콩 비닐포장에 주로 사용되는 두께 20 μ m의 LDPE (Low density polyethylene) 비닐은 인장강도가 횡방향 248 kgf/cm², 종방향 276 kgf/cm²이며, 신장율은 횡방향 758%, 종방향 613%임 (Ihshin chemical, 2013). 또한, 천공 메커니즘에 적용된 크랭크는 양방향형으로 원형궤적의 로드를 가지며, 회전력을 이용하여 최소 276 kgf/cm² 이상의 강도로 비닐을 천공하는 개념을 적용하였음.

◇ 천공 장치는 연결된 관리기가 앞으로 주행하는 동시에 천공부가 초승달 모양의 궤적을 그리며 운동하면서 비닐을 천공하며 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행됨. 주행 중 칼날의 속도의 x 성분과 y 성분은 식 (17), 식 (18)로 산출하였음.

$$\checkmark v_x = -\omega l_1 \sin(\omega \cdot t) + l \sin \beta \cdot \dot{\beta} + v \quad (17)$$

$$\checkmark v_y = \omega l_1 \cos(\omega \cdot t) + l \cos \beta \cdot \dot{\beta} \quad (18)$$

where, ω = angular velocity of knife, t = working time

◇ 적용된 천공암의 회전은 24 RPM으로 주행속도와 천공속도의 괴적이 가장 적절한 상태로 재식 거리는 34.3 cm이며, 이론적으로 토양의 끌림은 30 mm임. 이때 천공칼날은 지면으로부터 5 mm 깊이까지 토양을 타격하여 비닐을 천공하도록 하였음 (Fig. 142). 이때 천공칼날은 칼날 폭만큼 비닐을 천공 ((a)하면서 주행방향으로 하강하면서 전진 ((b)하고 상승하면서 전진하는 주기 ((c)를 갖도록 하였음.

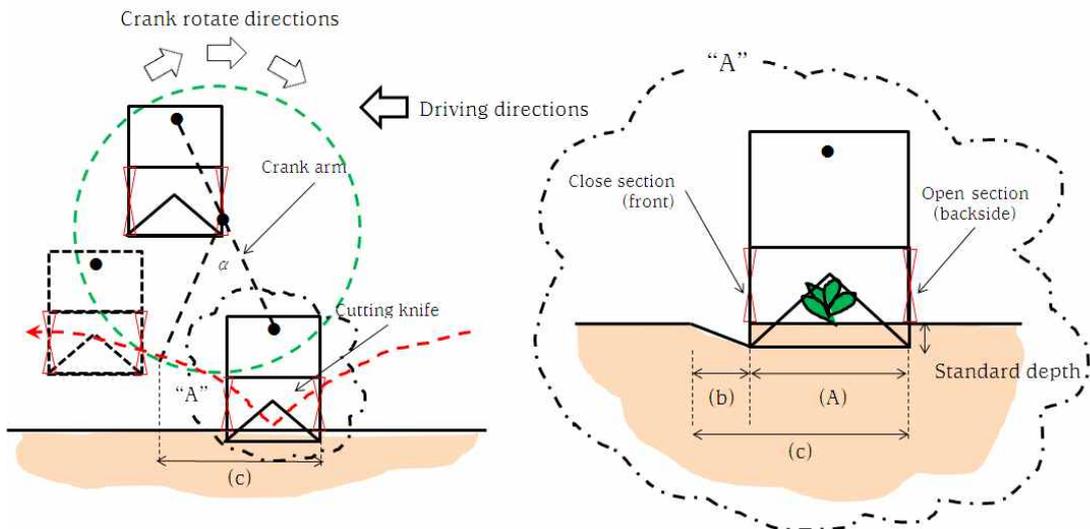


Fig. 142. Schematic of punching mechanism (crank type)

3) 천공 칼날



Fig. 143. Three different types of cutting knife and their edge angles of punching device (material ; STS-304)

- ◇ 천공기에 장착된 칼날은 실험을 위해 육각형, 원형, 사각형 형상으로 두께 1.0 mm의 STS-304 재질로 제작하였음. 천공 단면적은 원형 4,167 mm², 육각 5,055 mm², 사각 5,592 mm²이며, 작업기 진행의 반대방향에 높은 절삭면을 위치하도록 하여 천공작업 중에 콩 초엽과의 접촉을 최소화하였음. 칼날의 비닐절단 단면적은 원형 576 mm², 육각 636 mm², 사각 692 mm²의 3 수준으로 제작하였음. 또한, 각각의 칼날은 원형의 원 중심을 기준으로 각 형상별로 절삭면을 적용하였는데 사각형과 원형은 180도 대칭면을 이용하였고 육각형은 각 6면을 원추 형태로 형상화하였음 (Fig. 143).

4) 성능평가 (실린더식 - 관리기 전방 부착형과 같은 수식 적용)

- ◇ 장치의 성능평가는 ASAE (The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems, 2004)의 방법에 준하여 아래의 식 (19)을 이용하였음.

$$C_h = (S \times W \times (E_f / 100)) / 10 \quad (19)$$

where, C_h ; 시간당 처리면적 (ha/h), S ; 시간당 작업속도 (km/h), W ; 유효 작업 폭 (m), E_f ; 작업효율 (표준상태 70% 적용)

- ◇ 천공율의 성능평가는 칼날이 접촉하는 전체 비닐 단면적과 천공되는 유효단면적의 비로 구하였는데 아래의 식 (20)을 이용하였음.

$$\eta_p = (A_p / A_i) \times 100 \quad (20)$$

where, η_p ; 천공효율 (%), A_p ; 천공된 유효 단면적 (mm²), A_i ; 형상별로 칼날이 비닐에 접촉하는 전체 단면적 (mm²)

5) 실험환경

- ◇ 개발된 장치의 성능평가는 6월에 콩 재배지의 두둑환경에서 천공작업 성능실험과 천공율 측정을 현장실험으로 진행되었음. 현장 실험지 (충북 청원군 오창읍 가좌리)는 전형적인 밭 토양으로 표

토토성은 세사양토이며, 경사도는 0-2%, 배수등급은 양호, 토양은 Inceptisols, Alfisols로 분류되며, 분포지형은 선상지이고, 퇴적양식은 충적층이다. 또한 토양의 화학성은 pH 6.3, 유기물 16.7 g/kg, EC 1.4임 (RDA_Korean Soil Information System, 2016).

6) 실험방법

- ◇ 실험은 관리기의 작업속도를 저속 (전진 1단, 조속레버 하한·중간·상한) 상태에서 진행되었음. 천공작업 성능은 콩 재배지의 평두둑 (높이 20 cm, 폭 70 cm) 재배환경 10 m 구간에서 3회 반복한 평균값으로 정의되었음. 또한, 천공율의 측정은 칼날 형상별로 구간에서 측정된 평균값으로 하였음 (Fig. 144).



Fig. 144. Field test (crank type), (a) Punching operation, (b) Punching round knife, (c) Changing knife, (d) Hexagonal cutting shape of plastic mulching

7) 작업성능

- ◇ 이론식에 유효작업폭 0.7 m, 작업효율 70%와 요인실험장치의 설계치인 주간거리 0.343 m를 전제로 한 작업성능은 최저 작업속도 0.37 m/s에서 6.5 a/h, 중간 작업속도 0.51 m/s에서 9.0 a/h, 최고 작업속도인 0.61 m/s에서 1.08 a/h로 계산되었음.
- ◇ 콩의 재식밀도를 고려한 실제 천공능력은 주간거리에 따라 변화하였음. 주간거리 0.20 m에서 0.40 m로 증가할 때 작업속도 0.37 m/s에서 천공능력은 6,660 ea/h에서 3,240 ea/h로 감소하였고 작업속도 0.51 m/s에서 천공능력은 5,040 ea/h에서 4,590 ea/h로 감소하였으며, 작업속도 0.61 m/s에서 천공능력은 10,980 ea/h에서 5,490 ea/h로 감소하였음. 이를 작업성능으로 산출하면 각각 6.6~3.3 a/h, 9.1~4.5 a/h, 10.9~5.4 a/h의 범위임. 그러나 이때의 작업성능은 천공능력 평가를 위한 단순 주간거리의 증가에 따른 결과임. (Fig. 145). 또한, 최저 작업주행속도(가속레버 하한 상태)는 이론주행속도의 94.9%임.

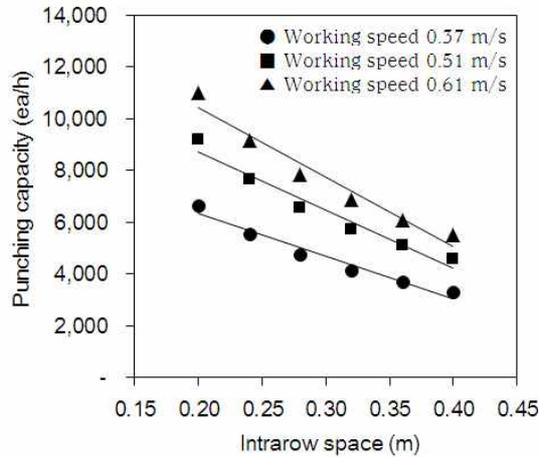


Fig. 145. The punching capacity according to the intrarow spacing and driving speed

8) 천공율

- ◇ 천공율은 원형형상 칼날이 가장 낮았고 육각형상 칼날이 가장 좋은 경향임. 모든 칼날형상에서 비닐이 칼날 접촉면적에 대해 65.3~94.3% 범위에서 천공되었으며, 작업속도의 증가에 따라 천공율은 높아졌으나 천공 품질은 낮아지는 경향임. 평균적으로 원형칼날이 65.3~83.5%, 사각칼날이 70.5~88.5%, 육각칼날이 78.8~84.3% 범위에서 비닐이 천공되었음 (Table 38).
- ◇ 실험결과 적용된 작업속도인 0.37~0.61 m/s에서 비닐의 절단상태가 전반적으로 천공 필요 단면적인 75%를 만족하였으나 절단품질은 토양의 평탄도에 따라 차이가 발생하였고 토양 끌림 현상이 발생하였음. 크랭크의 회전속도 증대를 통한 작업속도 상쇄가 필요하여 추가적인 현장실험 및 개선의 필요성이 있었음.

Table 38. The cutting performance according to the knife shape and working speed

Working speed** (m/s)	Edge angle	Knife shape (%)		
		Square	Round	Hexagon
		Cutting area ratio*	Cutting area ratio*	Cutting area ratio*
0.37	0	70.5	65.3	78.8
0.51	0	84.8	78.3	87.6
0.61	0	88.5	83.5	94.3

* This category represents average residues length of samples at each level

** The working speed is the driving speed of agricultural working machine with punch in g machine

9) 천공품질 (배색비닐-절단면)

- ◇ 천공품질을 확인하기 위해 비닐 절단면을 주사형 전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope, SNE-3000)으로 확인하였음. 사각칼날 절단면에 대해 SEM을 이용하여 200 μm 단위 (150x)로 확인한 결과, 전반적으로 비닐 절단면은 매끄럽고 부드러웠으나 주행속도 증가에 따라 절단품질이 떨어지는 것을 알 수 있었음.

◇ SEM 사진은 육안으로 쉽게 구별하지 못하는 절단품질을 확연하게 확인할 수 있는데 사각칼날의 절단상태로 0.37 m/s (Fig. 146), 0.51 m/s (Fig. 147), 0.61 m/s (Fig. 148)에서 절단품질을 보임. 천공기의 작업속도 증가 (작업기의 주행속도 증가)에 따른 변화를 0.37 m/s의 절단면과 0.51 m/s, 0.61 m/s의 절단면으로 비교하면 0.37 m/s에서 절단면이 깨끗하고 미려한 것을 확인할 수 있었는데 고속 작업에 의해 비닐이 150 -250% 신장된 것을 확인할 수 있었음.

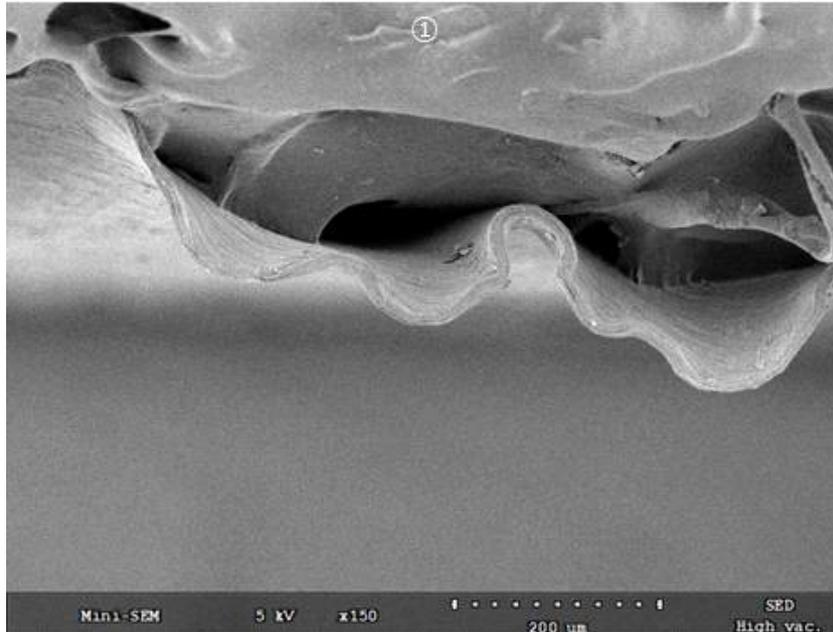


Fig. 146. The cutting shape (SEM; 150x) according to the driving speed (0.37 m/s)
 - Knife shape ; square, Knife thickness ; 1.0 mm

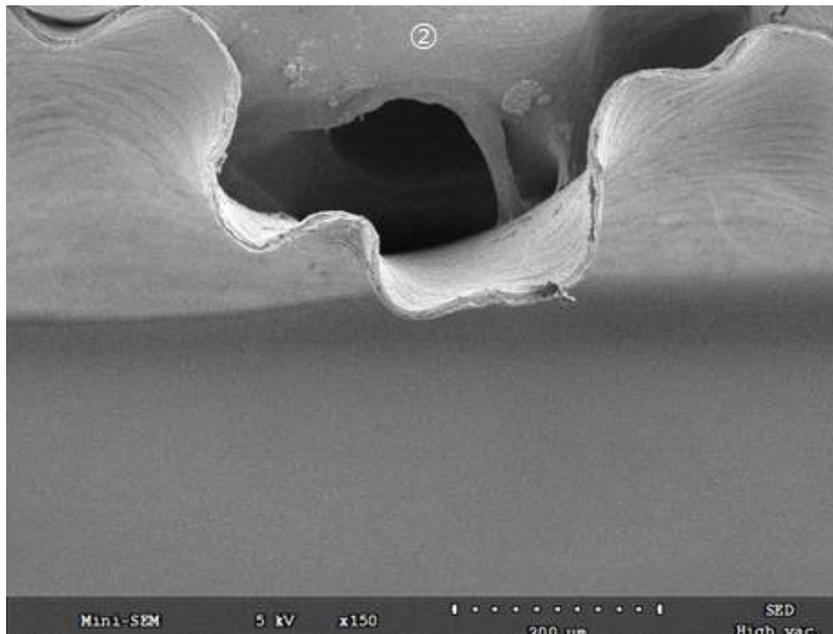


Fig. 147. The cutting shape (SEM; 150x) according to the driving speed (0.51 m/s)
 - Knife shape ; square, Knife thickness ; 1.0 mm

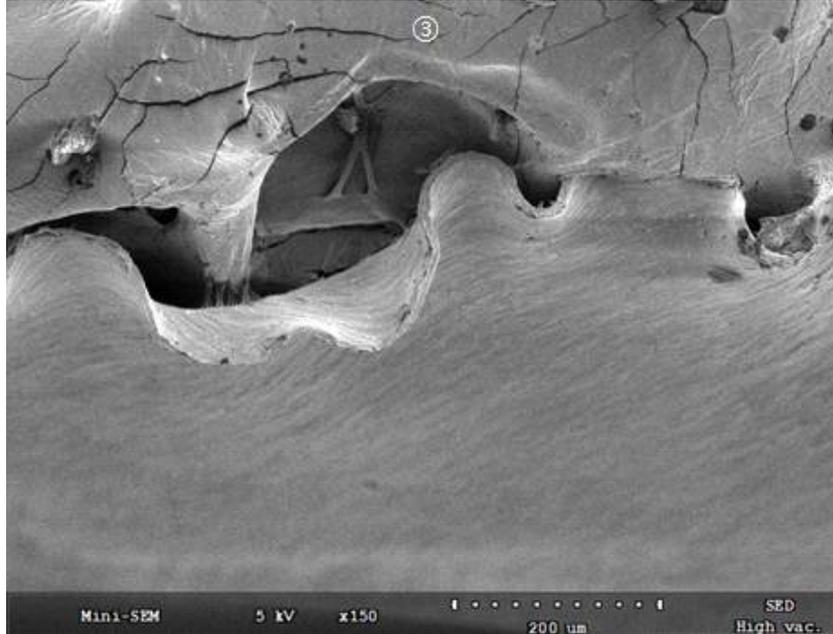


Fig. 148. The cutting shape (SEM; 150x) according to the driving speed (0.61 m/s)
 - Knife shape ; square, Knife thickness ; 1.0 mm

다) 실내 천공을 · 진동실험 및 실외 실증실험 (공압식 - 관리기 전방 부착형)

1) 장치의 구성

◇ 개발된 자동천공기 (공압식)는 농업용 관리기에 전방에 부착되는 작업기로 작업성능은 3시간에 10 a의 면적에 대해 10,000회 천공하는 것을 목표로 함. 적용되는 관리기는 정격출력 4.8~7.0 kW 범위의 국내 2개사 10개 모델이며, 장치는 관리기의 전방 히치판에 부착가능하도록 하였음 (Fig. 149).

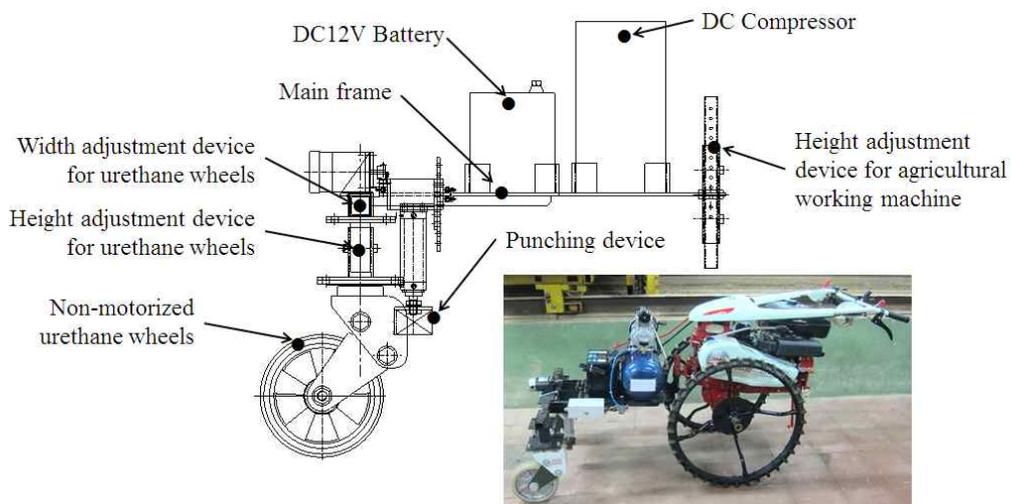


Fig. 149. Developed automatic punching system (air cylinder type) attached to the agricultural working machine

◇ 장치는 주 프레임에 DC용 컴프레서와 밧데리를 장착하고 공압 천공장치와 작업기 연결을 위한 높이 조절장치를 구성하였음. 또한, 무동력 우레탄 바퀴와 천공장치를 상·하·좌·우로 조정하는 폭과 높이 조절장치를 구성하였음.

2) 천공 장치

◇ 천공기에 공급되는 동력은 관리기의 밧데리와 천공 시스템의 밧데리를 병렬로 연결하였음. 천공 메커니즘에는 관리기의 이론주행속도인 0.38~0.39 m/s에 대해 조속레버를 하한으로 고정한 저속 운전상태의 실측 주행속도인 0.19~0.28 m/s를 적용하였음.

◇ 롱 비닐포장에 주로 사용되는 두께 20 μ m의 LDPE (Low density polyethylene) 비닐은 인장강도가 횡방향 248 kgf/cm², 종방향 276 kgf/cm²이며, 신장율은 횡방향 758%, 종방향 613%임 (Ihshin chemical, 2013). 천공 메커니즘에 적용된 공압 실린더는 복동형으로 무회전 피스톤 로드를 가지며, 전진 및 후진 시 출력은 아래의 공압 일반식 (Parker Hannifin, 2015) 식 (21), 식 (22)을 이용하여 계산하였음.

$$F_1 = (\pi/4) \times D^2 \times P \quad (21)$$

$$F_2 = (\pi/4) \times (D^2 - d^2) \times P \quad (22)$$

where, F_1 ; 전진시 실린더의 출력 (N), F_2 : 후진시 실린더의 출력 (N), D : 실린더 튜브의 내경 (mm), d : 피스톤 로드 직경 (mm), P : 사용압력 (MPa)

◇ 적용된 실린더는 9.9 kgf/cm²의 압력으로 작동되며, 천공칼날은 피스톤 최대속도인 500 mm/s에서 지면으로부터 5 mm 깊이까지 토양을 타격하여 비닐을 천공하도록 하였음 (Fig. 150).

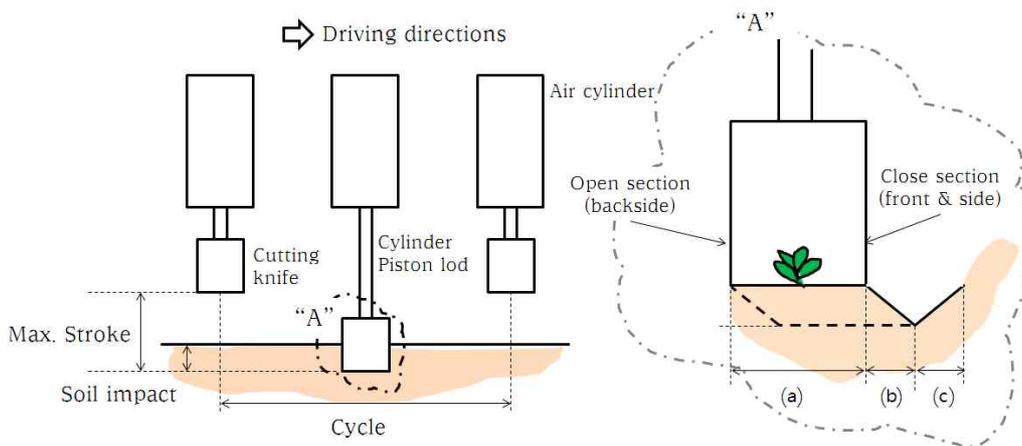


Fig. 150. Schematic of punching mechanism (cylinder type)

◇ 천공칼날은 칼날 폭 만큼 비닐을 천공 ((a)하면서 주행방향으로 하강하면서 전진 ((b)하고 상승하면서 전진 ((c)하도록 하였음. 또한, 작업기-천공기 시스템의 기계진동에 따른 인체감지에 대한 허용한계를 검토하였음.

◇ 검토는 정지상태에서 운전 중 작업기 손잡이, 차륜상부, 천공기 프레임 상부, 무동력 우레탄 바

퀴 4지점에 진동센서 (MEAS Deutschland GmbH_LDT0-028K, Germany)를 설치하고 측정모듈과 오실로스코프 (OWON_SDS5032E, Taiwan)로 진동을 측정하여 국제표준화기구 (International Organization for Standardization)의 ISO 2372 (1974) 표준에서 구조물 훼손과 인체감지에 대한 조화진동 허용기준의 만족 여부를 분석하였음. 진동의 크기는 속도의 RMS (Root Mean Square) 값으로 구하였음. RMS는 Inmam (1994)이 속도 제곱에 대한 시간 평균의 제곱근으로 제시한 아래 식 (23)을 이용하였음.

$$v_{rms} = \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (23)$$

where, v ; 속도, T : 시간

3) 천공 칼날

- ◇ 천공기에 장착된 칼날은 실험을 위해 육각형, 원형, 사각형 형상으로 두께 3.2 mm의 SS400 재질로 제작하였음. 천공 단면적은 원형 4,167 mm², 육각 5,055 mm², 사각 5,592 mm²이며, 작업기 진행의 반대방향에 개구부를 위치하였음 (Fig. 151-①, Fig. 151-②). 칼날의 비닐절단 단면적은 원형 576 mm², 육각 636 mm², 사각 692 mm²이며, 칼날의 절단각도는 각각 30도, 45도, 60도의 3수준으로 제작하였음 (Fig. 151-③). 또한, 각각의 칼날은 원형의 원 중심을 기준으로 각 형상별로 1/4의 개구부를 적용하였음 (Fig. 151-④).

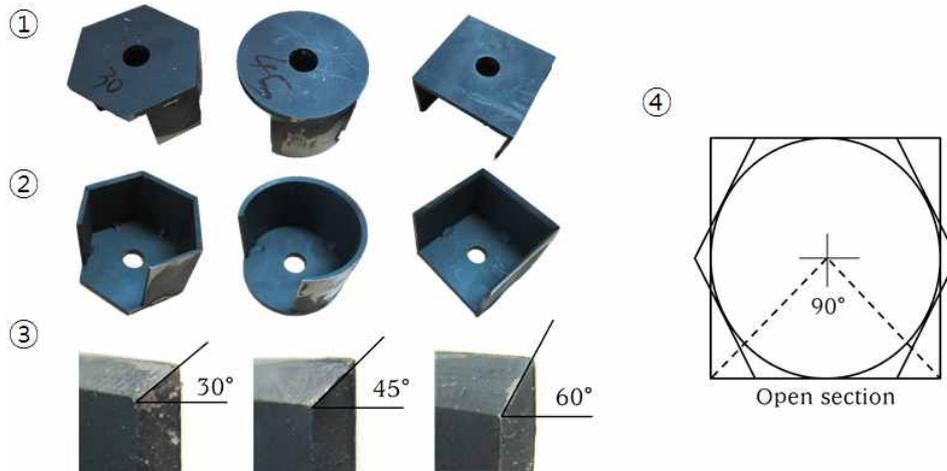


Fig. 151. Three different types of cutting knife and their edge angles of punching device (material ; SS-400)

4) 성능평가 (크랭크식 - 관리기 후방 부착형과 같은 수식 적용)

- ◇ 장치의 성능평가는 ASAE (The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems, 2004)의 방법에 준하여 식 (19)을 이용하였음. 천공율의 성능평가는 칼날이 접촉하는 전체 비닐 단면적과 천공되는 유효단면적의 비로 구하였는데 식 (20)을 이용하였음.

5) 실험환경

- ◇ 개발된 장치의 성능평가는 5-6월에 콩 재배지의 두둑환경에서 천공작업 성능실험과 천공을 측정을 위한 Soil-bin 실내실험으로 진행되었음. 현장 실험지 (충북 제천시 백운면)는 전형적인 밭 토양으로 표토토성은 사양토이며, 경사도는 2-7%, 배수등급은 양호, 토양은 Inceptisols, Udepts로 분류되며, 분포지형은 선상지이고, 퇴적양식은 충적층이다. 또한 토양의 화학성은 pH 5.7, 유기물 26.0 g/kg, EC 0.2임 (RDA_Korean Soil Information System, 2016).

6) 실험방법

- ◇ 실험은 관리기의 작업속도를 저속 (전진 1단, 조속레버 하한고정)에 고정한 상태에서 진행되었음. 천공작업 성능은 콩 재배지의 평두둑 (높이 20 cm, 폭 70 cm) 재배환경 20 m 구간에서 5회 반복한 평균값으로 정의되었음. 또한, 천공율의 측정은 Soil-bin (폭 1.2 m, 길이 20 m) 실험으로 10 m 구간 (주간거리 25 cm)에서 칼날 형상별로 10회 천공작업을 3회 반복한 평균값으로 하였음. 관리기-천공기 시스템에 대한 기계진동의 측정은 측정위치별로 3회 반복하여 평균값으로 하였음 (Fig. 152).



Fig. 152. Field test (cylinder type), (a) Punching operation, (b) Punching round knife, (c) Hanging knife, (d) Hexagonal cutting shape of plastic mulching

7) 작업성능

- ◇ 이론식에 유효작업폭 0.7 m, 작업효율 70%를 전제로 한 작업성능은 최저 작업속도 0.18 m/s에서 3.2 a/h, 최고 작업속도인 0.28 m/s에서 4.9 a/h로 계산되었음. 그러나 콩의 재식밀도를 고려한 실제 천공능력은 주간거리에 따라 변화하였음.
- ◇ 주간거리 0.20 m에서는 최저 작업속도 0.18 m/s에서 천공능력 3,240 ea/h이었고 최고 작업속도 0.28 m/s에서 천공능력 5,040 ea/h로 작업성능은 3.2-5.0 a/h 범위였음. 같은 작업주행속도 범위에서 주간거리 0.25 m의 경우 작업성능은 2.6-4.0 a/h 범위였으며, 주간거리 0.30 m의 경우 작업성능은 2.1-3.3 a/h 범위로 나타났음 (Fig. 153). 이때 최저 및 최고 작업주행속도는 이

론주행속도의 46.2-71.8% 범위였음.

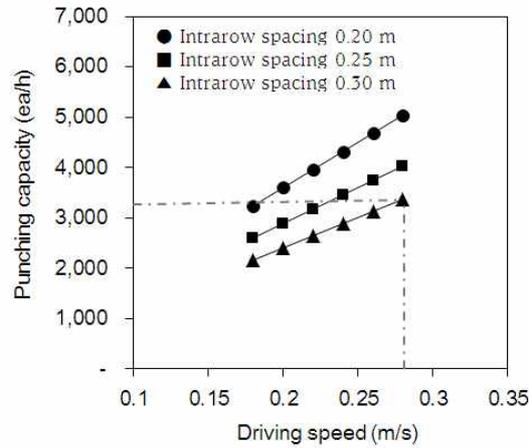


Fig. 153. The punching capacity according to the intrarow spacing and driving speed

8) 천공율

- ◇ 천공율은 원형형상 칼날이 가장 낮았고 육각형상 칼날이 가장 좋은 것으로 나타났으며 칼날 각도가 클수록 좋아지는 경향을 보였음. 칼날 끝단과 비닐과의 거리가 30 mm 에서는 모든 칼날형상에서 비닐이 칼날 접촉면적 (형상의 3/4)에 대해 100% 천공되었음. 하지만, 칼날 끝단과 비닐과의 거리가 50 mm일 때에는 원형칼날이 16.7~25.2%, 사각칼날이 33.0~42.3%, 육각칼날이 54.5~100.0% 범위에서 비닐이 천공되었음 (Table 39).

Table 39. The cutting performance according to the knife shape, stroke distance and edge angle

Stroke distance** (mm)	Edge angle	Knife shape		
		Square Cutting area ratio* (%)	Round Cutting area ratio* (%)	Hexagon Cutting area ratio* (%)
50	30	33.0	16.7	54.5
	45	36.5	18.5	100.0
	60	42.3	25.2	100.0
30	30	100.0	100.0	100.0
	45	100.0	100.0	100.0
	60	100.0	100.0	100.0

* This category represents average residues length of samples at each level

** The stroke distance is the distance between the edge of knife and the ground

9) 기계진동

- ◇ 실측된 관리기-천공기 시스템의 기계진동은 관리기 전진 1단에서 조속레버를 저속·중속·고속으로 조절하면서 진행되었음. 진동 측정을 위해 작업기 손잡이와 차륜상부 및 천공기 프레임 상부와 무동력 우레탄 바퀴에 진동센서를 설치하였음.

◇ 실험에서 조속레버의 상향조정에 따라 진동이 급격하게 증가하였는데 작업자에 진동이 전달되는 관리기 손잡이에서 급격하게 증가하는 경향을 보였음 (Fig. 154). 또한, 천공기의 작업조건인 조속레버 저속상태에서 측정된 25.25 Hz의 진동을 노모그래프로 분석하면 ISO 조화진동의 허용기준 Class I (15kW 이하의 기계장치)을 만족하였음. 이때, 분석에 적용된 진동의 허용기준은 속도에 대한 RMS로 2.80 mm/s이었음.

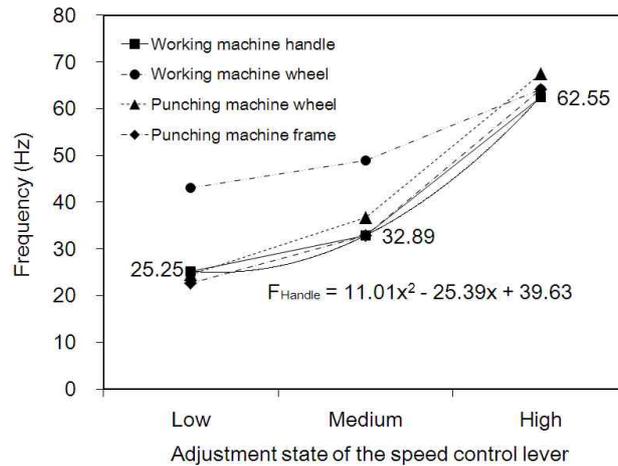


Fig. 154. Frequency change according to the adjustment state of the speed control lever

10) 천공품질 (검정비닐-절단면)

◇ 천공품질을 확인하기 위해 비닐 절단면을 주사형 전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope, SNE-3000)으로 확인하였음. 천공율이 가장 좋았던 육각칼날 절단면에 대해 SEM을 이용하여 200 μm 단위 (150x)로 확인한 결과, 칼날각도가 커짐에 따라 비닐 절단면이 매끄럽고 부드러워졌으며, 칼날각도 60° 에서 절단품질이 가장 우수하였음. 다음의 SEM 사진은 스트로크 거리 30 mm에서 육안으로 쉽게 구별하지 못하는 절단품질을 확연하게 확인할 수 있는데 육각칼날의 각도 30도 (Fig. 155), 45도 (Fig. 156), 60도 (Fig. 157)에서의 절단상태는 다음과 같음.

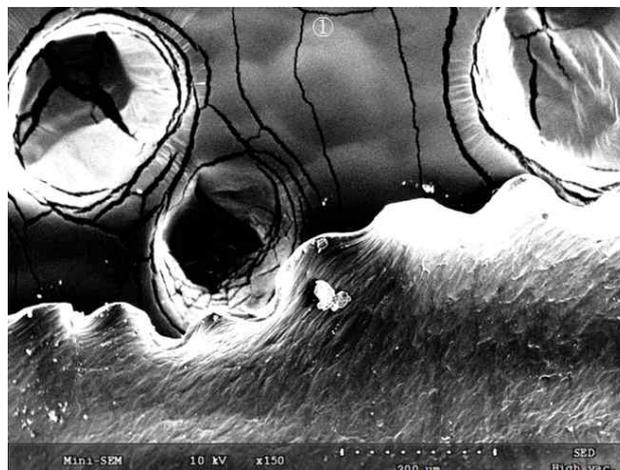


Fig. 155. The cutting shape (SEM; 150x) according to the knife shape, stroke distance and edge angle ; Hexagon/30/30

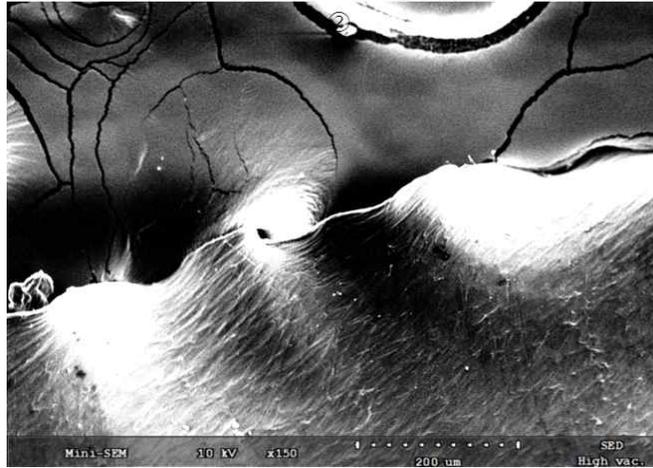


Fig. 156. The cutting shape (SEM; 150x) according to the knife shape, stroke distance and edge angle ; Hexagon/30/45

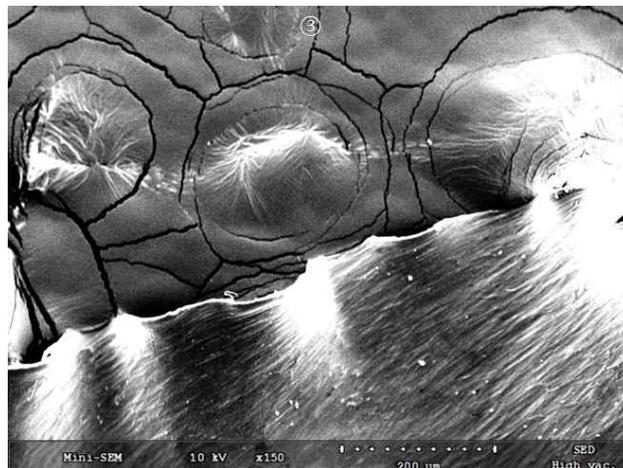


Fig. 157. The cutting shape (SEM; 150x) according to the knife shape, stroke distance and edge angle ; Hexagon/30/60

(18) 작업기 형태별 자동 천공기계 시작기 설계

◇ 관리기 부착 방안 (전방형, 후방형)에 상응하는 자동 천공기계 크기, 간섭 요건에 대한 기구학적 분석에 따른 시작기 설계는 평균 두둑 환경에 대응하여 장치의 높이를 최대 20 cm 조정이 가능토록 실시 설계를 수행하였음. 전방형은 공압 실린더를 이용하여 1조식으로 하였으며, 후방형은 크랭크식으로 2조식으로 대응하여 시작기 실시 설계를 다음의 1)-6)과 같이 수행하였는데 대표도면은 다음과 같음.

- 1) 구조도 (전방형 - 실린더식) (Fig. 158)
- 2) 평면도 (전방형 - 실린더식) (Fig. 159)
- 3) 측면도 (전방형 - 실린더식) (Fig. 160)
- 4) 구조도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 161)
- 5) 평면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 162)
- 6) 측면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 163)

Fig. 158. 구조도 (전방향 - 실린더식)

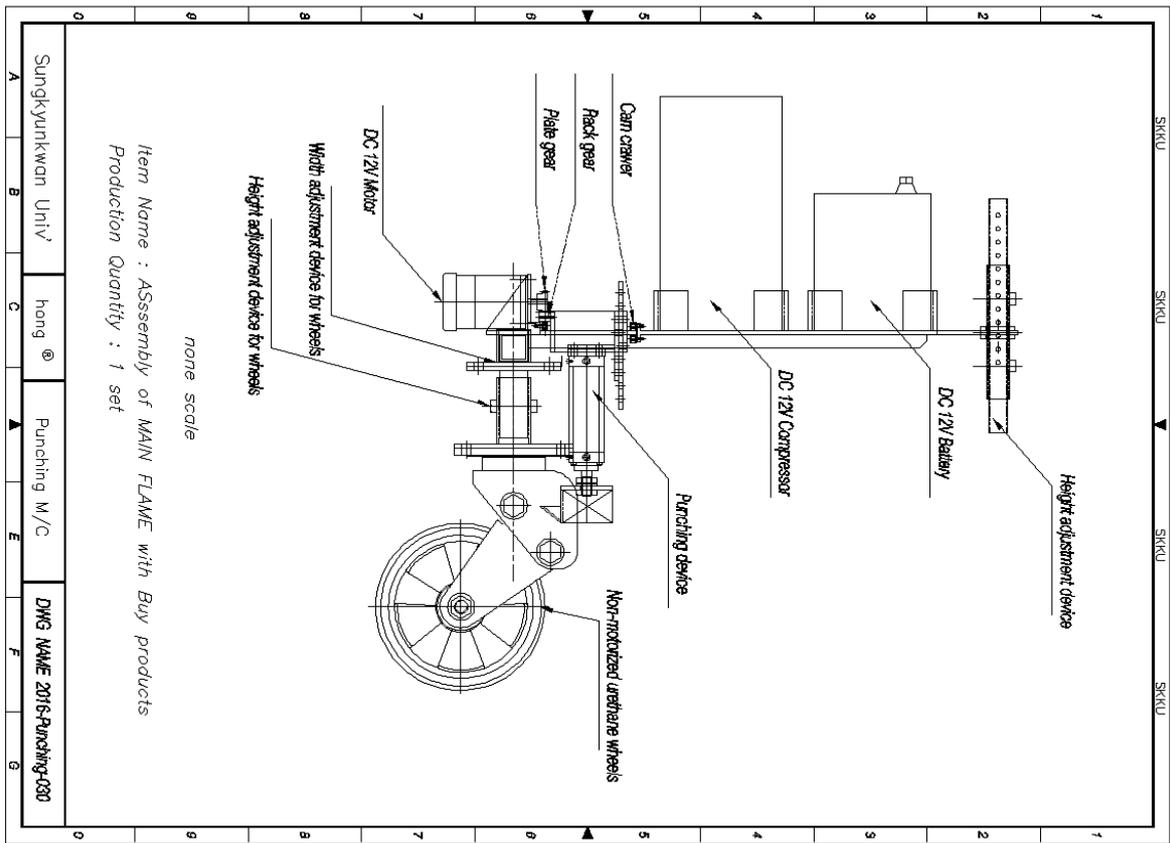


Fig. 159. 평면도 (전방향 - 실린더식)

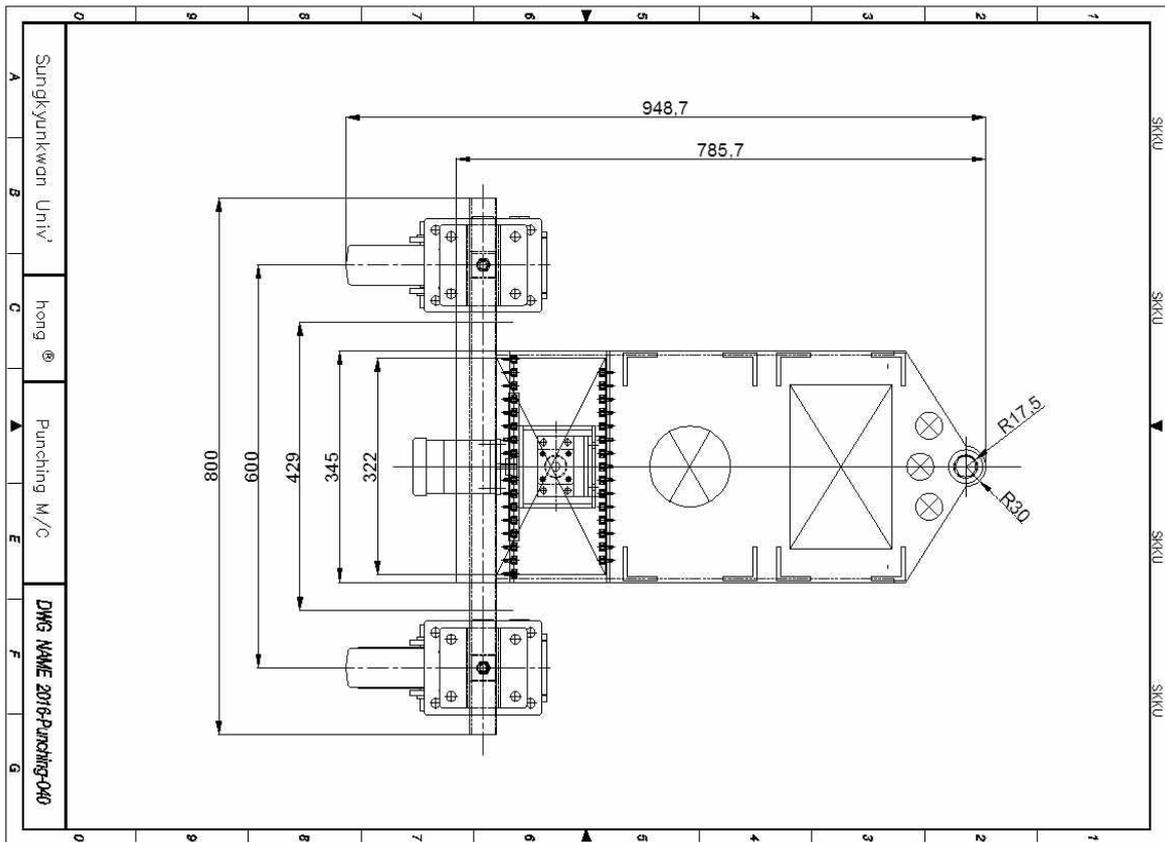


Fig. 160. 측면도 (전방향 - 실린더식)

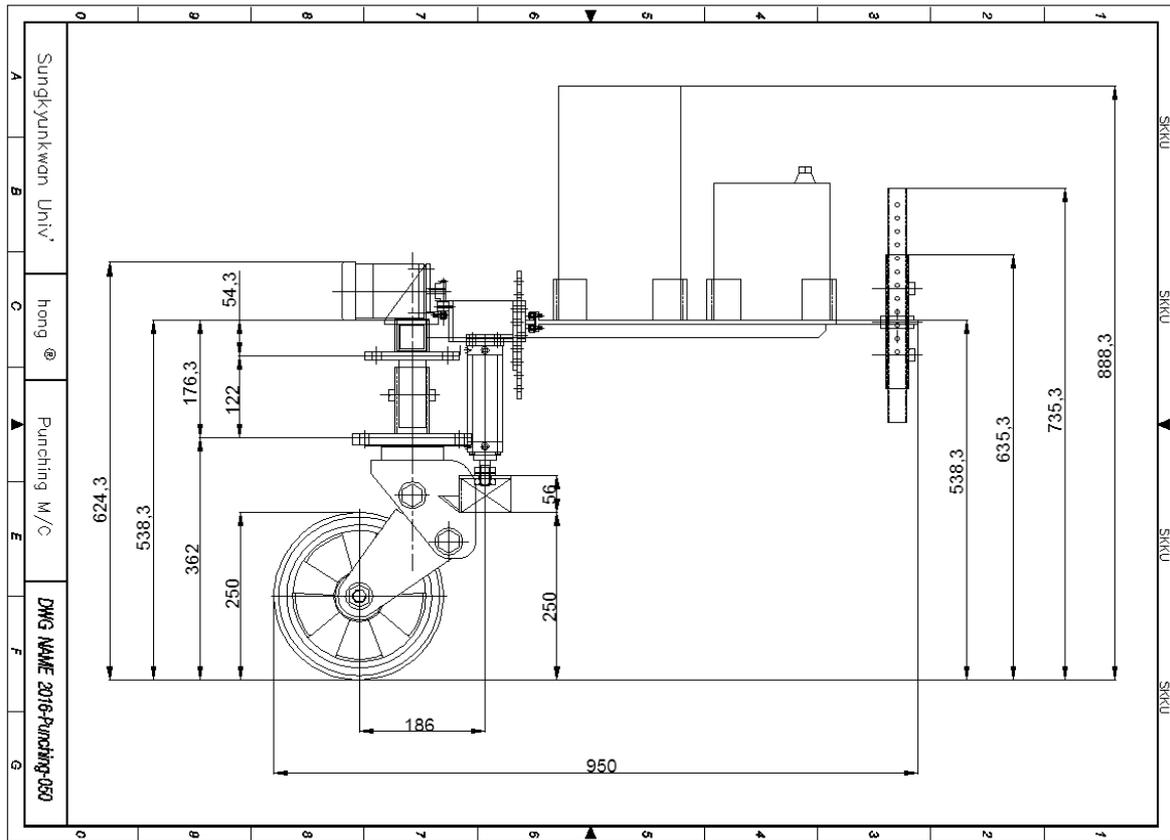


Fig. 161. 구조도 (후방향형 - 크랭크식 - 2조)

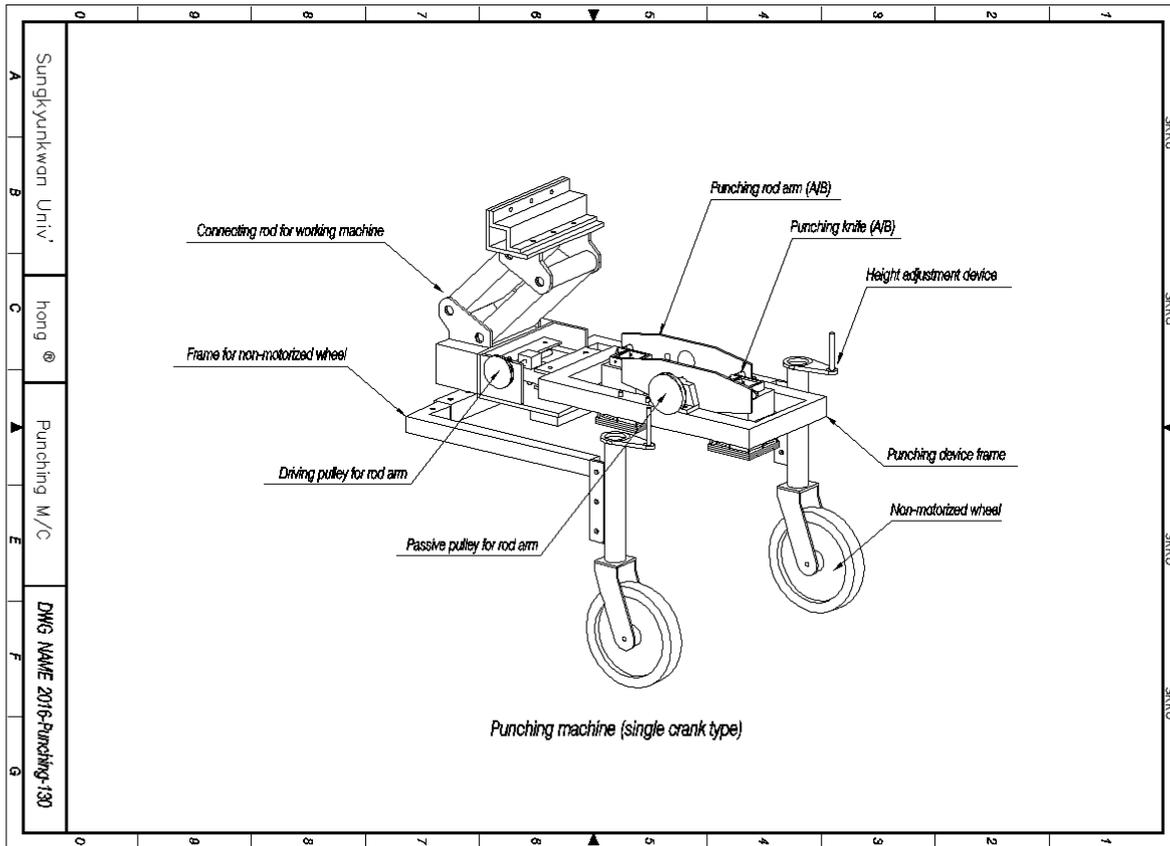


Fig. 162. 평면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조)

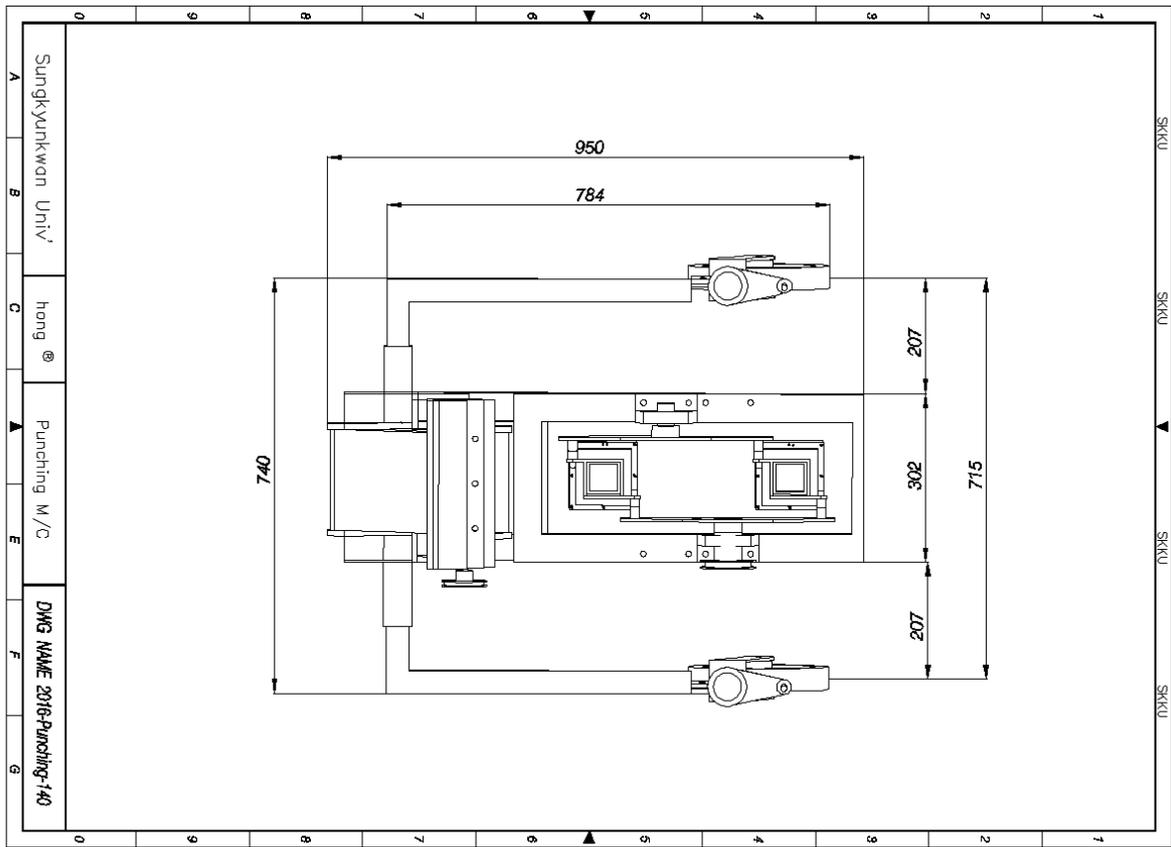
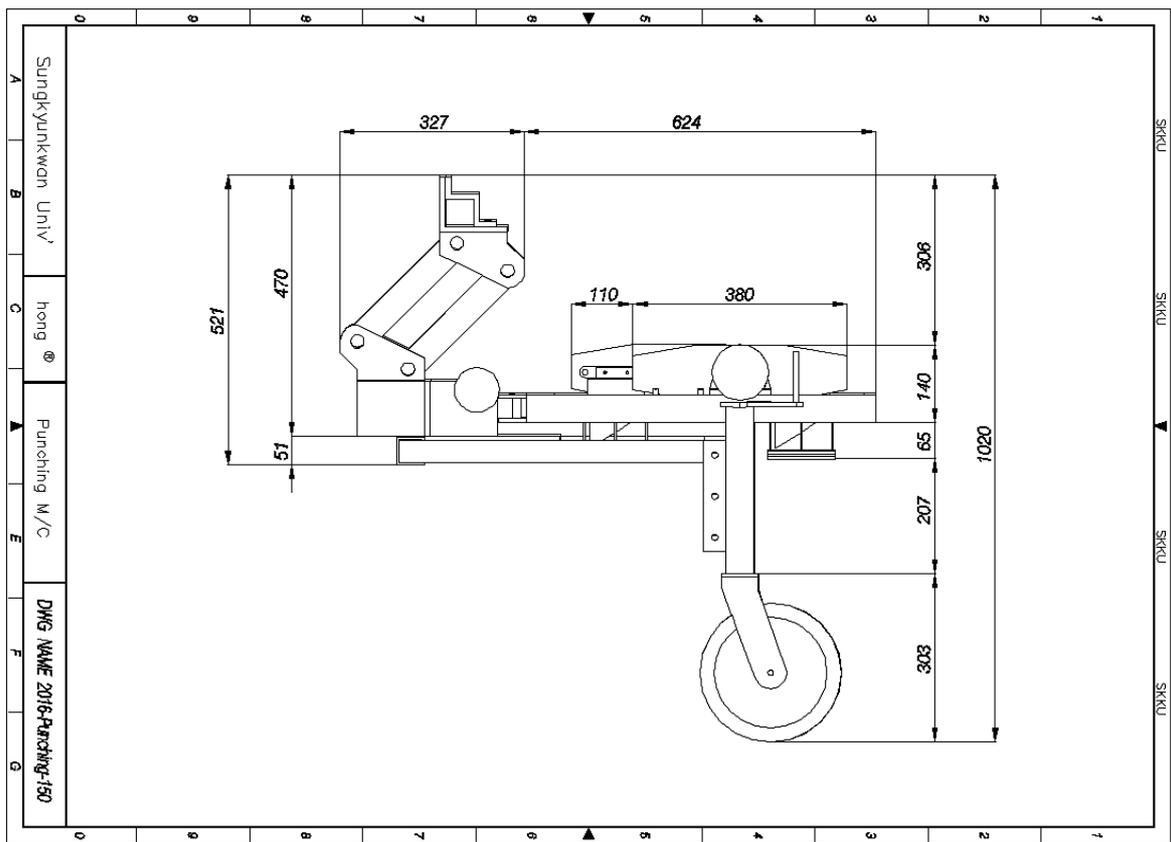


Fig. 163. 측면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조)



(19) 작업기 형태별 센서융합형 자동 천공기계 시작기 설계

◇ 단식-복식 및 주간, 조간 거리별 천공 작업 형태에 따른 자동 천공기계 부착을 위한 실시 설계는 이랑간격을 뜻하는 주간거리 70 cm 와 모종 포기간격인 조간거리 20-40 cm를 기준으로 주간 거리를 50 cm 조절할 수 있도록 설계하였으며, 조간거리는 재식밀도 간격에 대응토록 실시 설계를 수행하였음.

◇ 전방형은 공압 실린더를 이용하여 2조식으로 하였으며, 후방형은 크랭크식으로 4조식으로 대응하여 시작기 실시 설계를 다음의 1)-6)과 같이 수행하였는데 대표도면은 다음과 같음.

- 1) 구조도 (전방형 - 실린더식 - 2조) (Fig. 164)
- 2) 평면도 (전방형 - 실린더식 - 2조) (Fig. 165)
- 3) 측면도 (전방형 - 실린더식 - 2조) (Fig. 166)
- 4) 구조도 (후방형 - 크랭크식 - 4조) (Fig. 167)
- 5) 평면도 (후방형 - 크랭크식 - 4조) (Fig. 168)
- 6) 측면도 (후방형 - 크랭크식 - 4조) (Fig. 169)

Fig. 164. 구조도 (전방형 - 실린더식 - 2조)

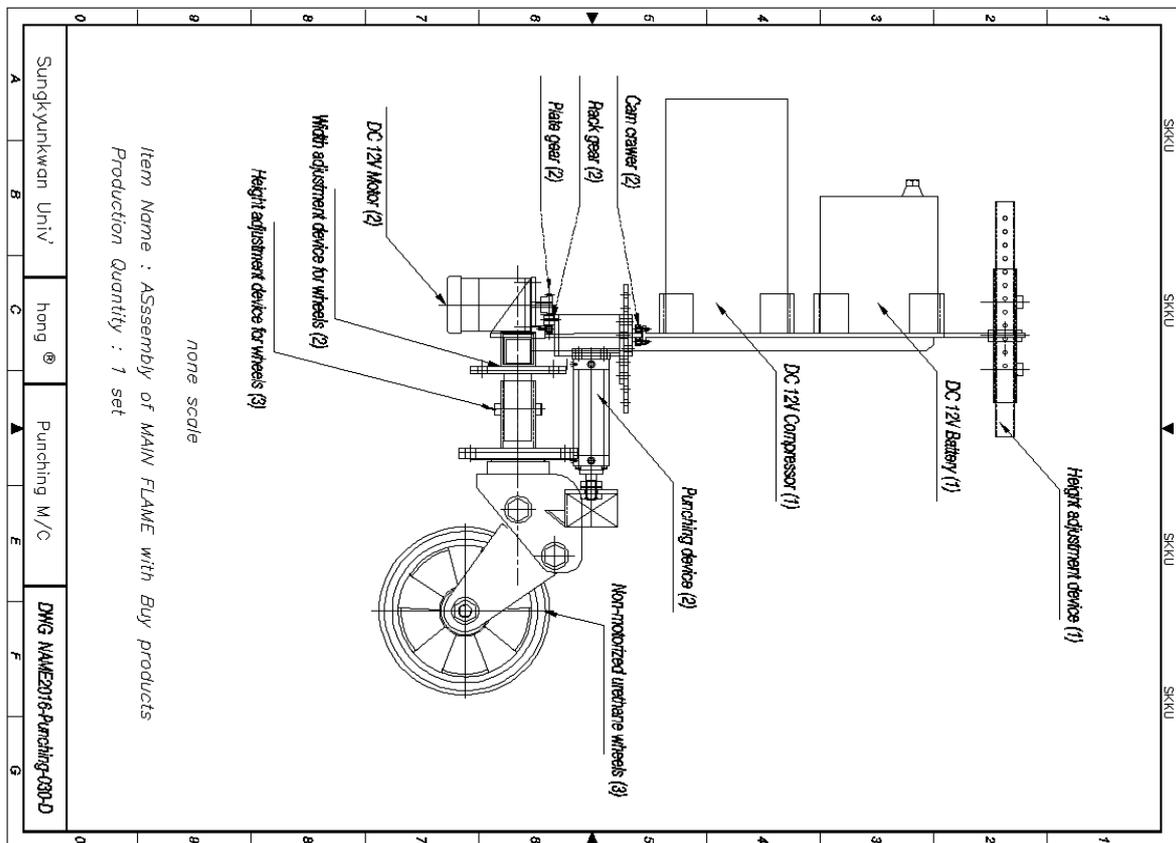


Fig. 165. 평면도 (전방향 - 실린더식 - 2조)

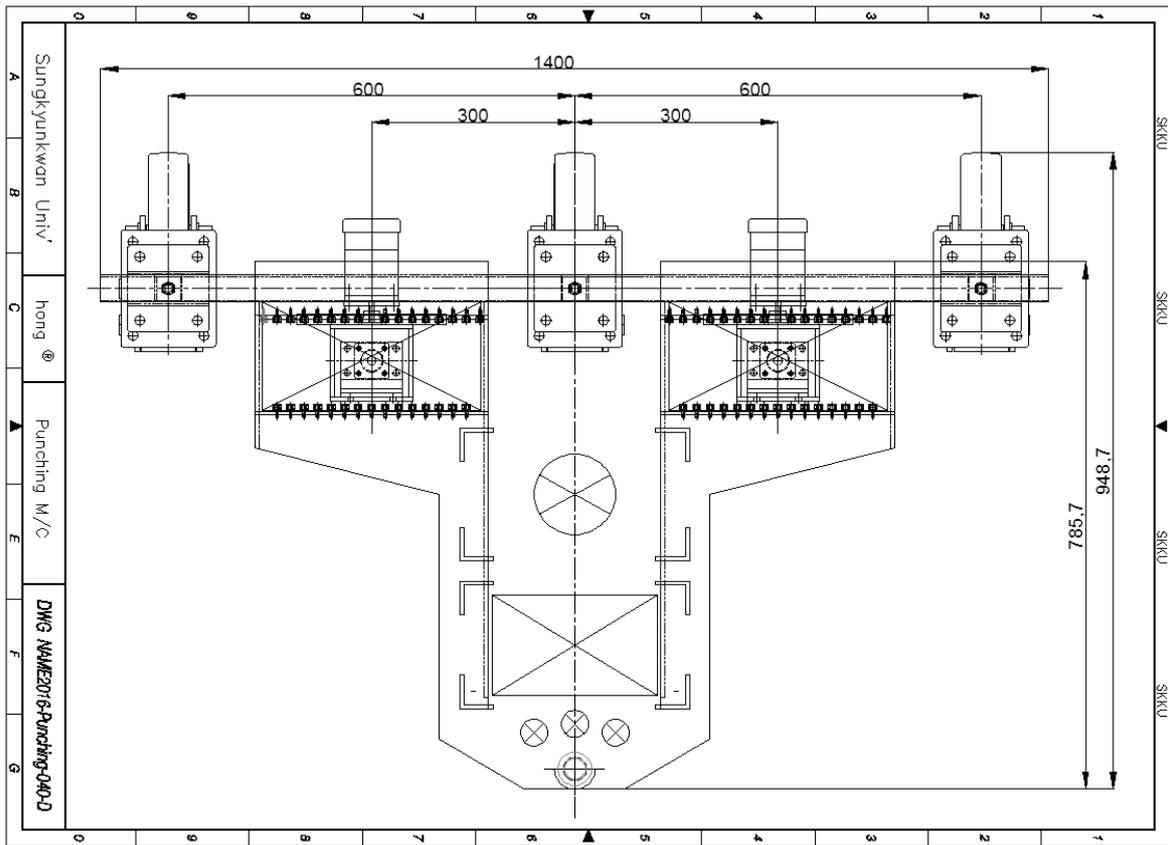


Fig. 166. 입면도 (전방향 - 실린더식 - 2조)

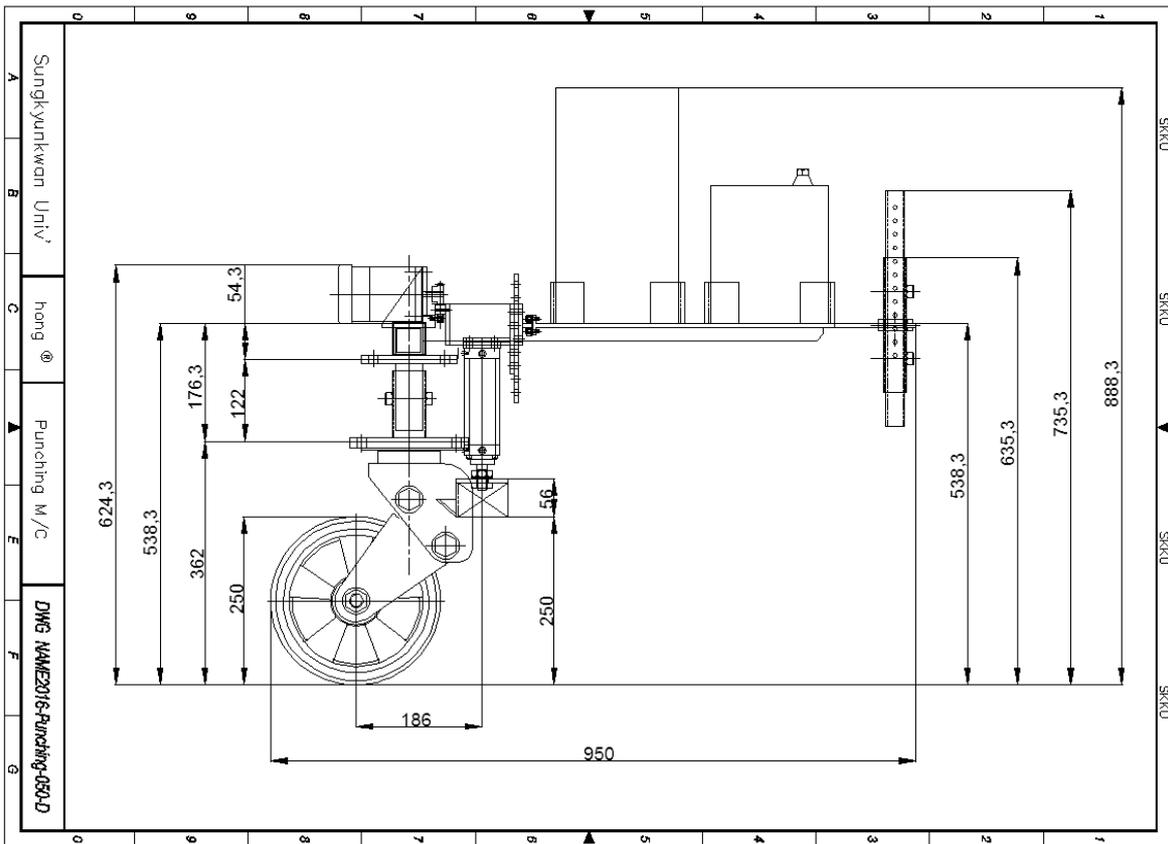
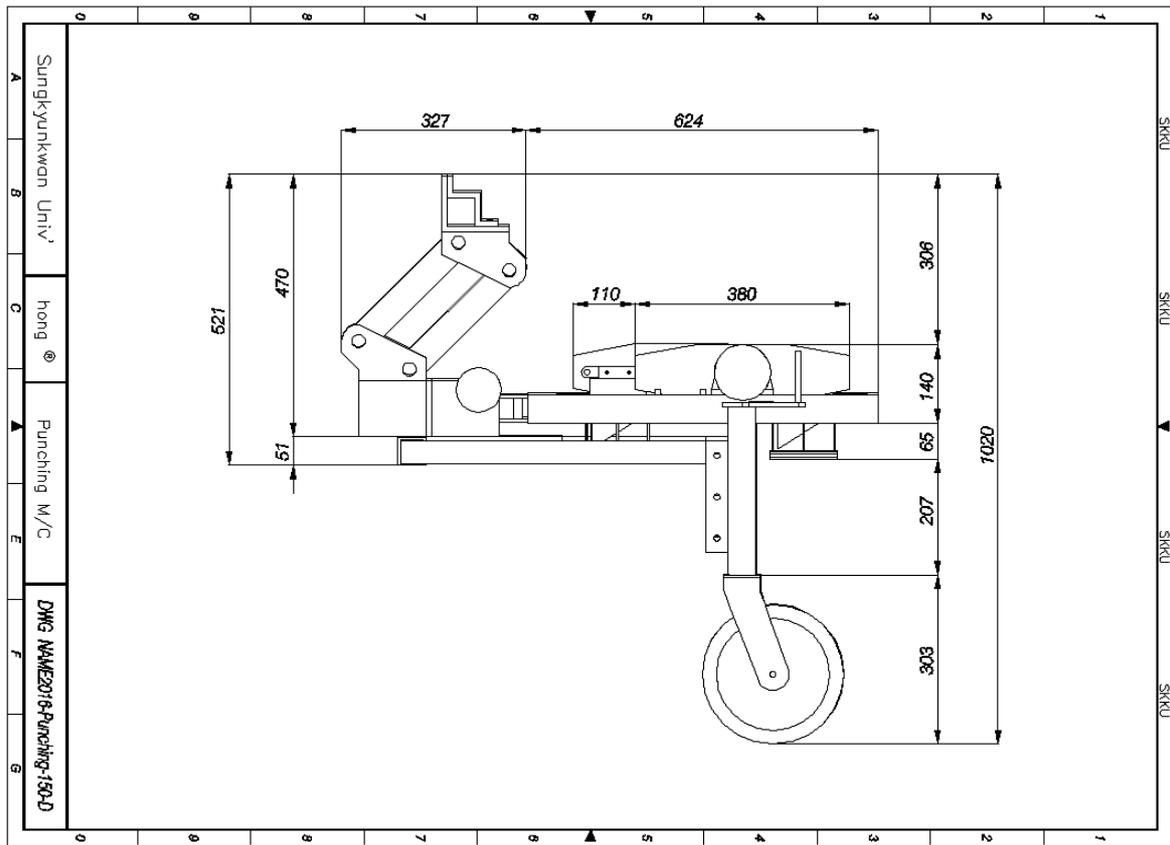


Fig. 169. 입면도 (후방형 - 크랭크식 - 4조)



(20) 콩 재배 재식밀도/형태에 따른 센서어레이 출력신호 보정방법 개발

가) 콩 재배 재식밀도/형태 조사

- ◇ 센서 인식 기반 콩 천공기의 콩 초엽 위치 인식 센서의 계측 주기를 적절히 설정하고, 천공 기구부의 제어 및 회귀 응답성능을 결정하기 위하여 다음과 같이 국내에서 재배되는 주요 콩에 대한 재식밀도/형태를 조사하였음 (Table 40).

Table 40. 주요 콩의 재식밀도/형태

콩의 종류	재식형태	재식밀도	파종깊이
백태	1휴 1열	70×20 cm	3~5 cm
	1휴 2열	120×30 cm	
서리태	1휴 2열	50~55×25~35 cm	3~5 cm
강낭콩	왜성종 1휴 3열	30~35×30 cm	3 cm
	만성종 1휴 2열	60×40~45 cm	
쥐눈이콩	1휴 1열	60×25~35 cm	3~5 cm
완두콩	1휴 다열	15~25×15~25 cm	5 cm

- ◇ 이러한 재배형태는 지역과 재배자의 경험적 판단에 따라 다소 차이가 있으며, 일관 기계화 작업에 의존하여 정지, 복주기, 파종등을 수행하지 않는 경우 같은 포장 내에서도 재식 간격 등에 차이가

발생할 수 있다. 전반적으로 살펴봤을 때, 재식 형태의 경우 1열부터 지역에 따라 다열로 파종을 하는 경우가 적지 않으며, 재식 간격의 경우 작게는 15 cm에서부터 45 cm에 이른다. 파종 깊이의 경우 대부분 4 cm 내외로 일정하였음.

- ◇ 비닐 포장 하부의 콩 초엽 위치를 인식하기 위해서는 1휴 다열 재배 방식에 대응하기 위한 센서 어레이가 설계되어야 하며, 천공기 또한 개별 제어가 가능한 독자적인 천공기가 다열 형태로 배열이 가능해야 함.

나) 재식밀도/형태를 고려한 센서 어레이 출력 신호 보정 방법

- ◇ 재식 간격을 살펴보면 15 cm~45 cm에 이르는 재식 간격에 대응하기 위해서는 1 m/s로 주행하는 경우 센서의 계측 주기가 4 Hz를 만족해야 하며 0.5 m/s로 주행하는 경우 최소한 2 Hz를 만족해야 함. 계측 신호의 양과 보정을 위한 신호 처리를 고려해봤을 때 최대 4Hz의 해당하는 센서의 출력 신호를 동시에 처리할 수 있는 계측 시스템이 필요함.
- ◇ 한편 다음 그림의 (a), (b)와 같이 재식열의 방향이 일정한 경우가 일반적이나, (c)의 경우 재식열의 방향이 일정하지 않는 불규칙 형상의 재배지를 고려하여 봤을 때, 콩 초엽의 위치 인식에서 주행 방향에 직각인 편차를 고려하지 않을 수 없음 (Fig. 170).
- ◇ 한편, 다음 그림의 (d)와 같이 초기 콩 생육에 자연광을 활용하기 위한 비닐 멀칭을 수행한 재배 형태가 있으며, 이와 같은 재배 방법의 경우 판독이 상대적으 수월한 가시광 영역의 정보를 이용할 수 있는 방법을 추가로 고려할 수 있음.

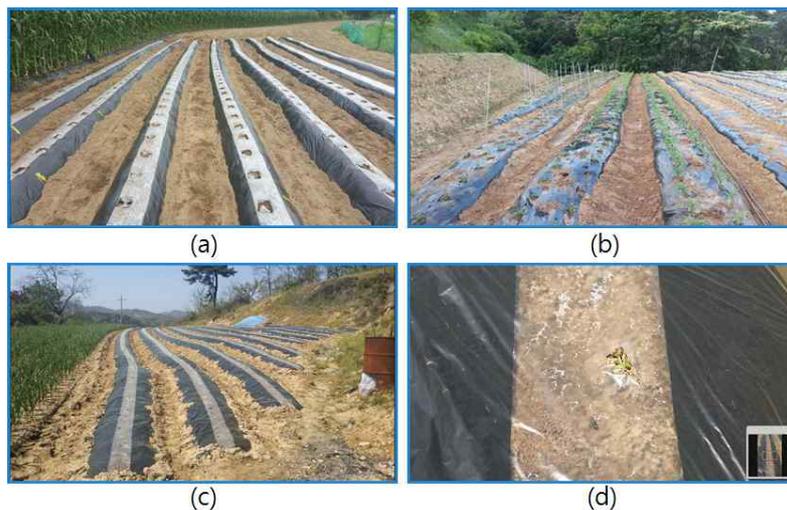


Fig. 170. 콩의 주요 재배 양식

- ◇ 센서 어레이는 콩 초엽과 계측 시스템 관의 상대적인 관계를 x,y 좌표 형태로 결정할 수 있어야 하며, 후처리 과정을 비롯하여 초당 최소 4회 이상의 신호 처리의 수행이 필요함.
- ◇ 연구 수행 과정에서 획득한 센서 어레이 출력 신호 보정의 결과로, 해당 실험 조건에 대하여 콩의 위치를 2차원 공간상에서 결정할 수 있는 중요한 정보를 제공함 (Fig. 171).

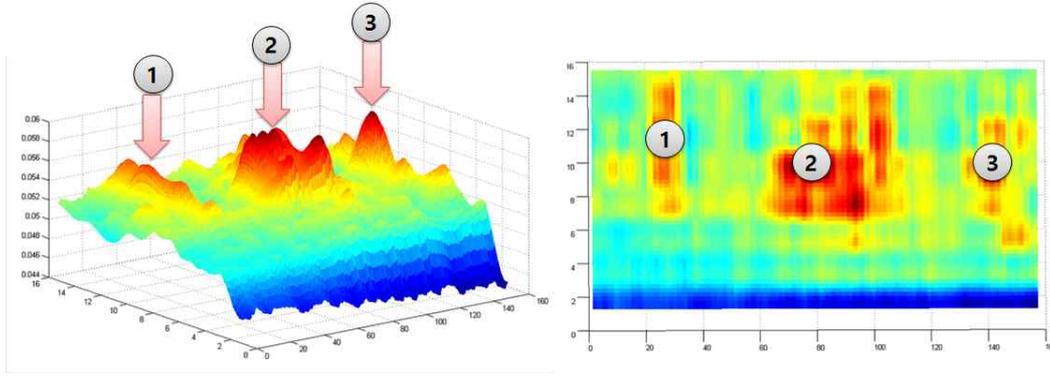


Fig. 171. 비닐 포장 하부 콩 초엽 위치 인식 예시

- ◇ 초당 4회 이상의 계측 신호를 처리할 수 있는 센서 어레이를 새로이 선정하였으며, 아울러 초당 100 Mhz의 CPU클럭을 가지는 저가형 32비트 마이크로 프로세서를 채용하여 신호처리 성능 개선. 이와 관련한 구체적인 내용을 다음의 기술을 통하여 구체적으로 기술함.

(21) 주행방향/직각방향의 기하학적 오차 상응, 검출된 작물위치 보정기술 개발

가) 센서의 성능 개선

- ◇ 열 분포 계측 센서의 최소 Sampling rate는 4 Hz임. 연구에서 선정한 센서 어레이 (DTS-L300-V2) 의 계측 주기가 4 Hz 내외로서, 하나의 모듈이 한 지점의 온도를 적외선으로 측정할 수 있는 다음 그림의 (a)와 같은 센서를 10식 일렬로 배열하는 계측 시스템을 구성하였음. 출력 신호의 후처리를 수행하기에 계측 시스템의 응답성능이 부족하므로, 다음 그림의 (b)와 같이 개선된 성능의 센서를 교체 선정하였음 (Fig. 172). 선정한 센서의 모델명은 DTPAL-UART-1604 (DiWell Electronics, Korea)이며, 가장 큰 차이점은 다음 표에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 1회의 측정 시 16×4 지점의 온도를 측정할 수 있음. 센서 지향 지점에 대하여 가로: $35.49^\circ \times$ 세로: 9.15° 범위에 있는 대상체를 그리드 형태로 16×4 픽셀로 나누어 총, 64 지점의 온도를 동시에 측정 가능하였음 (Table 41).



Fig. 172. 센서 어레이 비교

- ◇ 새로 선정된 센서의 통신 인터페이스는 UART이며, 다음 그림과 같은 자체 프로토콜을 통해서 1회 통신시 총 133바이트의 정보를 전송하며, 1회의 전송 소요시간은 최대 80ms임. 따라서, 초당 4회 이상, 64 지점의 온도를 측정할 수 있음. 또한, 약 115 ms (250 ms - 85 ms)내외의 여유 시간을 통하여 계측 신호의 후처리를 수행할 수 있음 (Fig. 172).
- ◇ 센서에 계측한 신호를 실시간으로 후처리하기 위하여 ARM-Cortex-M4™ 계열의 32비트 마이크로 프로세서를 선정하였으며, 센서와 마이크로프로세서, 실시간 관찰을 위한 LCD 및 계측 데이터를 저

장할 수 있는 마이크로SD 카드 리더기를 다음의 (b)와 같이 통합하였음 (Fig. 61). 실내 요인 실험을 위한 슬라이딩 기구부는 1년차에 개발한 성과물을 활용하여 다음과 같이 통합하였음 (Fig. 173).

- ◇ 콩 초엽 인식 센서 기구부의 사용자 도시화면에는 다음그림의 설명과 같이, 계측 방향의 열분포에 대한 전체 평균 (mean), 표준편차 (standard deviation), 최고값과 최저값의 위치를 보이는 지점의 위치를 실시간으로 결정한 후 도시할 수 있음 (Fig. 174).
- ◇ 16 × 4 형태의 계측 매트릭스를 영상화 하여 1차적으로 화면에 도시함과 아울러 누적된 데이터를 내장 SD 카드에 저장하여 1년차 실험결과물과 동일한 형태로 비닐포장 상면의 온도 분포를 재구성하였음 (Fig. 175).

Table 41. Specifications of the DTPAL-UART-1604 (DiWell Electronics, Korea)

항목	세부 사항
측정 온도 구간	-30 °C ~ 300 °C
동작 온도 구간	-20 °C ~ 70 °C
분해능	0.1 °C
정확도	±2 %
입력 전압	5 V
통신 인터페이스	UART
측정 주기	4 Hz 이상
계측 매트릭스 형태	16 × 4
FOV	가로:35.49° × 세로:9.15°

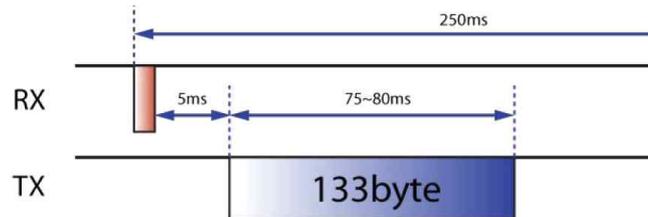


Fig. 172. 센서 응답 성능

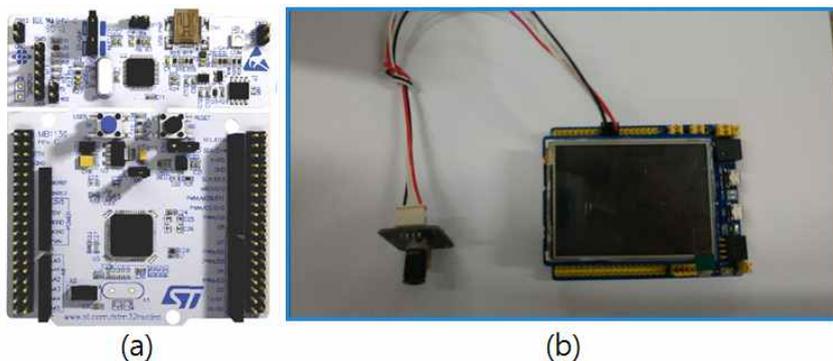


Fig. 173. 마이크로프로세서와 센서 계측 모듈 통합

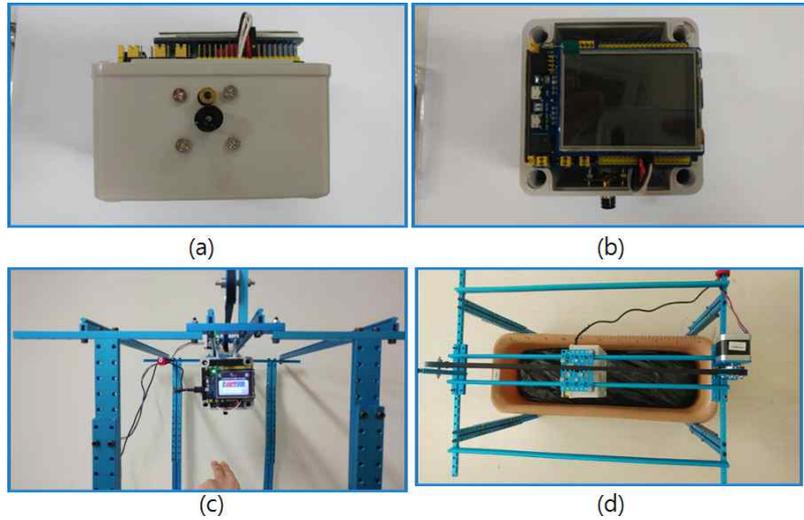


Fig. 174. 요인 실험을 위한 센서 기구부 통합

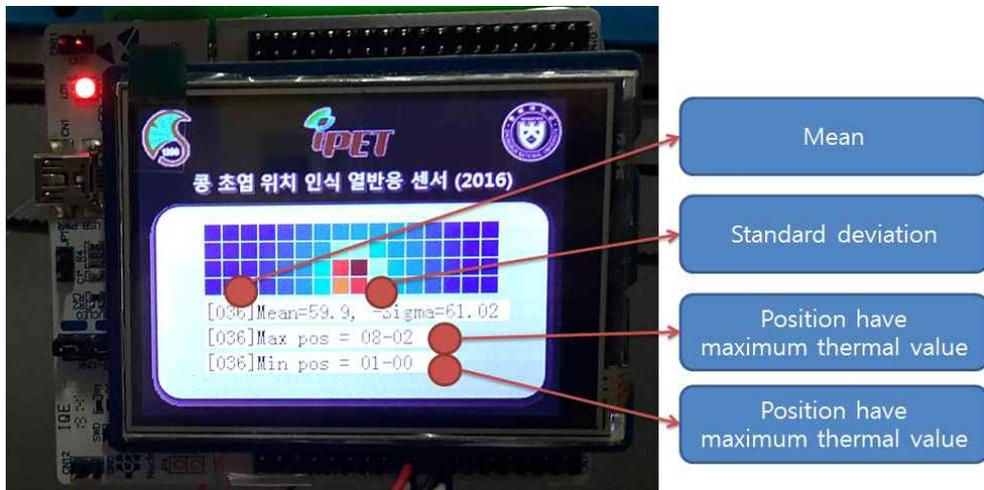


Fig. 175. 콩 초엽 인식 센서기구부 사용자 도시화면 구성 요소

◇ 그림 (a)는 1년차 연구수행을 통해 개발한 센서 기구부의 계측 결과이며, (b)는 4 Hz의 주기로 측정된 온도 분포에 대하여 실시간으로 median 필터를 적용하여 재구성한 당해연도 계측 결과임 (Fig. 176).

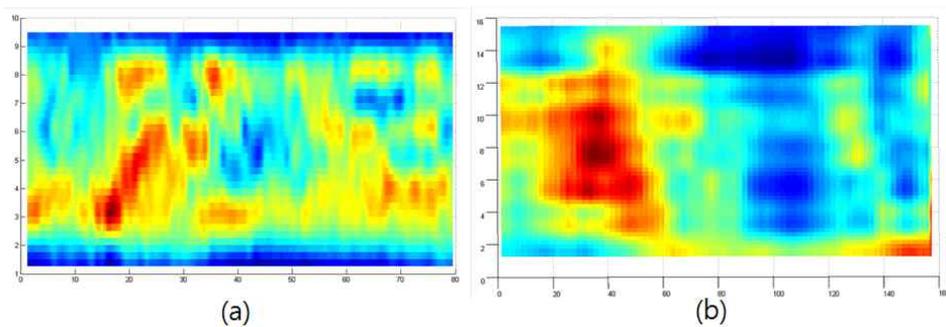


Fig. 176. 센서 개선 및 실시간 신호처리에 의한 공간 분포 정보의 변화

나) 기하학적 오차 검출을 위한 공간분포 알고리즘 분석

- ◇ 개선된 센서 기구부의 성능을 평가하기 위한 요인 실험에 앞서 실시간으로 신호처리를 수행하기 위한 공간 분포 분석 알고리즘 비교 분석하였음 (Fig. 177).

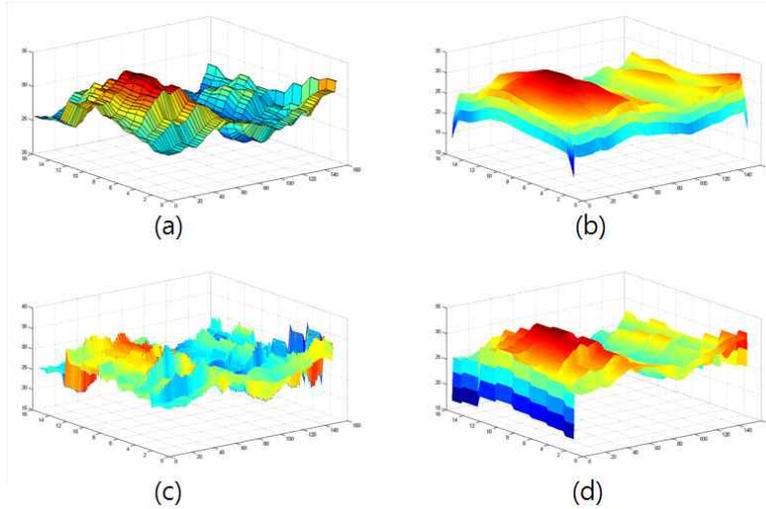


Fig. 177. (a) Original distribution, (b) Gaussian, (c) Unsharp, (d) Motion filtering after Nearest interpolation

- ◇ 획득한 데이터에 대하여 노이즈 제거를 위한 Smoothing 및 보간법을 수행하였으며, 보간법 수행을 위하여 Nearest, Cubic, Spline 알고리즘을 적용하였으며, 1차 후처리 후에 공간 온도 분포에 2차 필터링 작업을 수행하였으며, Gaussian, Unsharp, Motion 필터링을 수행하였음. 115 ms 내에 실시간 후처리를 완료해야 하는 제약에 따라 가장 단순한 형태인 3×3 커널 기반 필터링 마스크를 수행하였음. 다음 비교 화면은 Nearest 보간법을 적용한 후의 각기 다른 필터링 마스크의 결과이며, Gaussian filtering에 의해 지점을 특정할 수 있음 (Fig. 178). Cubic 보간법을 적용한 후의 각기 다른 필터링 마스크의 결과이며, Gaussian filtering에 의해 지점을 특정할 수 있음 (Fig. 179).

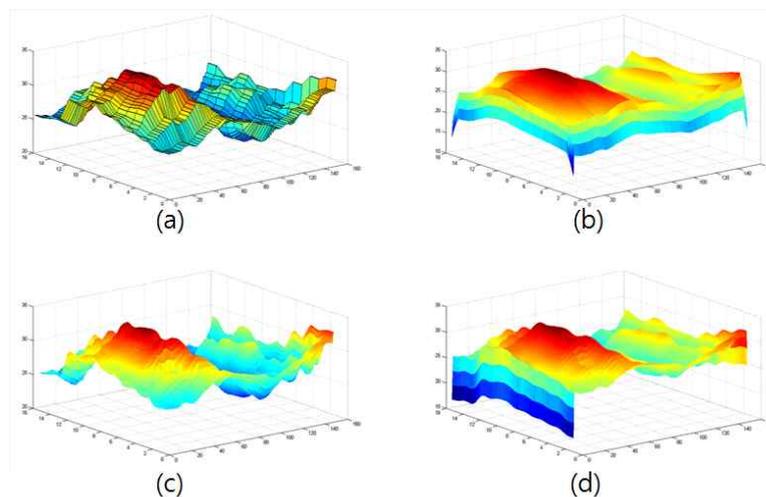


Fig. 178. (a) Original distribution, (b) Gaussian, (c) Unsharp, (d) Motion filtering after Cubic interpolation

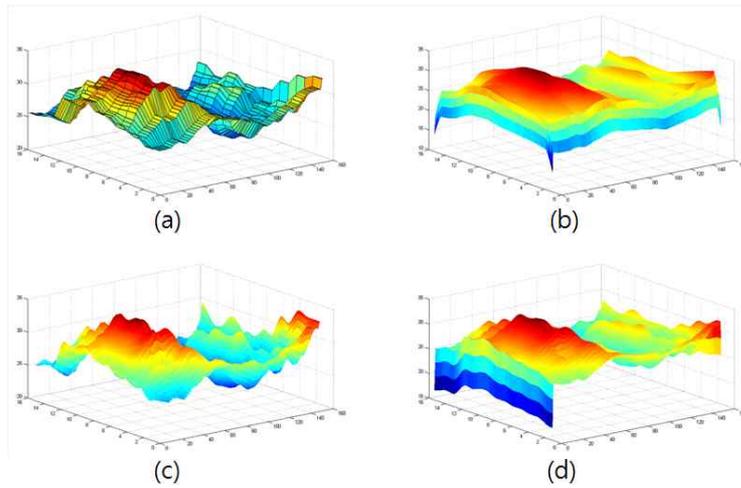


Fig. 179. (a) Original distribution, (b) Gaussian, (c) Unsharp, (d) Motion filtering after Spline interpolation

다) 개선된 센서 기구부를 이용한 오차 검출 요인 실험

◇ 요인실험의 주요 변수는 1년차와 동일하게 설정하여 온실 공간에서 수행하였고 콩 종류별로 육안으로 식별이 가능한 시점을 기준으로 생육 위치 검출 요인 실험을 수행함 (Fig. 180).

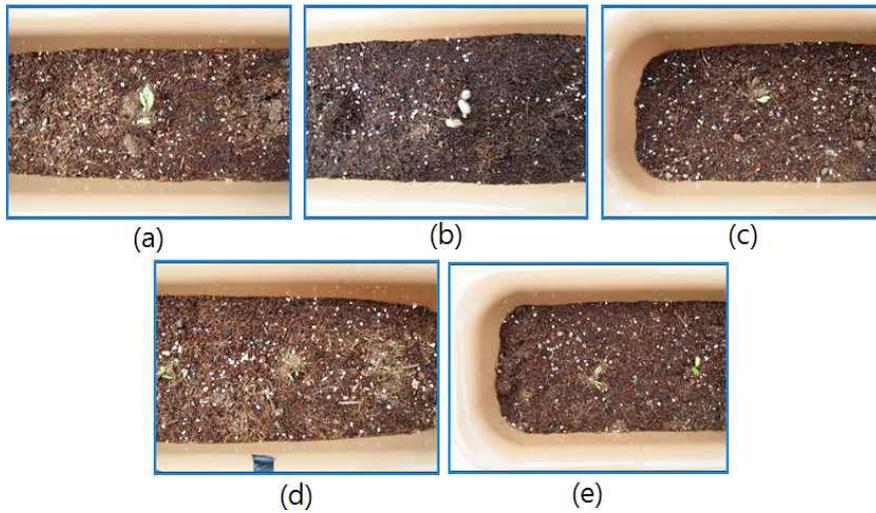


Fig. 180. 콩 생육 초엽 발현 시점 (a) 강낭콩, (b) 백태, (c) 서리태, (d) 완두콩, (e) 쥐눈이콩

◇ 기술한 보정 알고리즘 분석에 따라 Gaussian filtering을 적용하여 센서 계측부에서 마이크로프로세서로 전송되는 신호를 보정하여 콩 생육 위치 정보를 결정하였음 (Fig. 181).



Fig. 181. 실험 화면 및 실시간 계측 결과 예시

- ◇ 정상적으로 검출이 되는 상황은 다음과 같이 두 가지로 분류할 수 있음. (a) 콩 초엽과 비닐 멀칭의 접촉 상황에서 접촉지점 주변 온도보다 높은 경우와 (b) 콩 초엽과 비닐 멀칭의 접촉 상황에서 접촉부위 주변 온도보다 낮은 경우임.
- ◇ 다음 그림과 같이 콩 초엽이 비닐 멀칭에 접촉한 상태에서 비닐 멀칭 주변의 온도보다 높은 경우 4 cm 범위 이하의 정밀도로 검출됨 (Fig. 182).

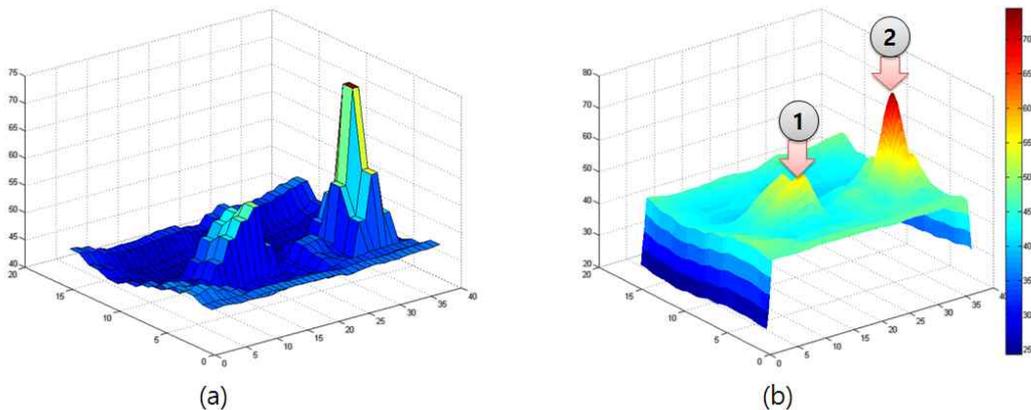


Fig. 182. 콩 검출 성공 시 온도 분포 (a) 원본데이터, (b) 보정 데이터

- ◇ 콩 초엽이 비닐 멀칭에 접촉한 상태에서 비닐 멀칭 주변의 온도보다 낮은 경우 역변환을 통해서 위치 검출. ② 번 지점과 같이 정확한 지점을 파악하기 어려운 경우가 혼재한다 (Fig. 183).
- ◇ 정상적으로 검출이 안되는 상황은 다음과 같이 두 가지로 분류할 수 있음. (a) 콩 초엽과 비닐 멀칭이 접촉하지 않은 경우와 (b) 콩 초엽과 비닐 멀칭이 접촉되어 있으나, 앞서 기술한 두 가지 검출되는 경우의 상황이 서로 천이 하는 과정임. 비닐 멀칭 상부의 온도 분포의 변이가 매우 작은 경우는 비닐 멀칭의 온도 분포에 영향을 요소가 존재하지 않는 경에 해당하며, 즉 콩 초엽의 성장량이 아직 비닐멀칭에 도달하지 못한 경우라 판단됨 (Fig. 184).
- ◇ 비닐 멀칭 상부의 온도 변이가 존재하나, 콩 초엽의 위치를 특정지을 만한 정보를 추출하기가 어려움. 이러한 상태는 정상적으로 검출이 가능한 두 가지 상황, 즉 주변의 온도보다 높거나 또는 낮은 두가지 상태가 천이하는 과정에 발생하였음. 우천 시 비닐 멀칭 상부에 수분이 산개하여 도포된 경우도 이에 해당하였음 (Fig. 185).

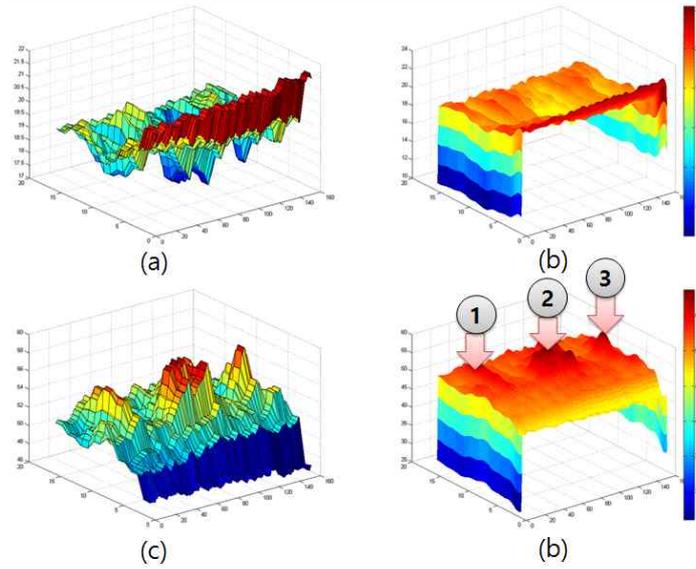


Fig. 183. 콩 검출 성공 시 온도 분포 (a) 원본데이터, (b) 보정 데이터, (c) 원본의 역변환 데이터, (d) 역변환 데이터의 보정 데이터

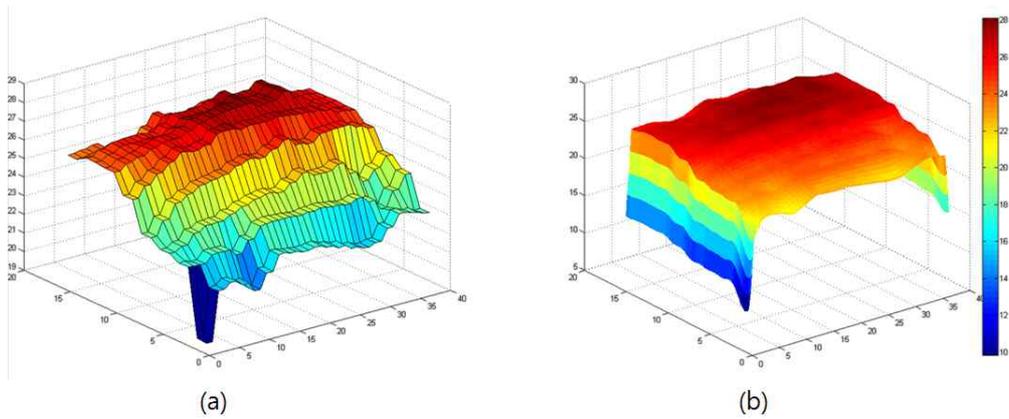


Fig. 184. 콩 검출 성공 실패 시 온도 분포 (a) 원본데이터, (b) 보정 데이터

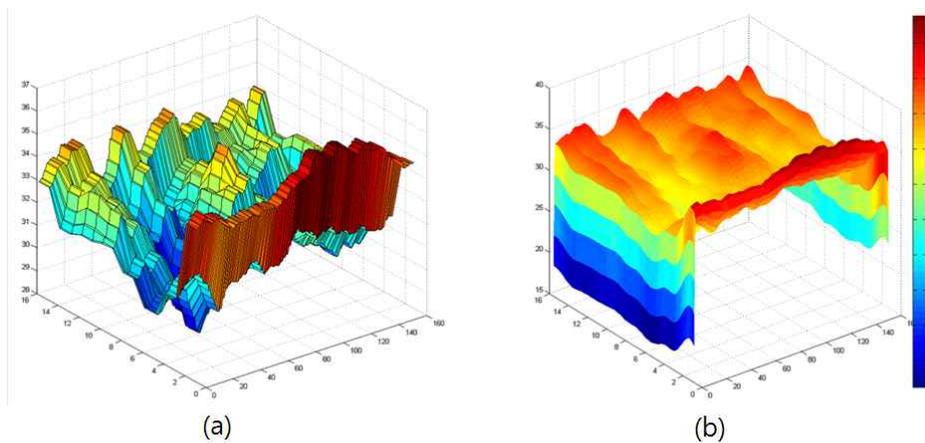


Fig. 185. 콩 검출 실패 시 온도 분포 (a) 원본데이터, (b) 보정 데이터

(22) 천공위치 보정을 위한 천공 관입부 제어기술

- ◇ 설계된 천공기 기구부에 대하여 다음 그림과 같이 2차년도에 보완 중인 천공 기구부의 오차 보정을 위해서 고려해야할 사항은 주행 중 주행 방향에 대해 인식이 된 콩 초엽의 위치 x 와 작업기와 천공기의 중심으로부터 좌우로 인식이 된 콩 초엽의 위치 y 좌표임 (Fig. 186).



Fig. 186. (a) 천공기 기구부 시작기, (b) 작업기에 장착된 천공기 기구부

- ◇ 주행 방향을 기준으로 x 축의 천공 위치 결정시 천공 기구부에 동력을 제공하는 동력원인 모터의 스피드를 조절하여 회전 벨트 또는 동력 전달장치에 의해 회전 기구부의 각속도를 조절함. 이때 비닐에 관입한 관입부의 체류 시간을 최소화하기 위한 기구학적인 보완이 필요하였음 (Fig. 187).
- ◇ 주행 중 정확한 위치 인식이 실패한 경우에 대비한 회전 동력 단절 및 슬립으로 인한 지면 기준 속도 (Ground speed)의 변화에 대응하기 위하여 동력 전달을 유지함과 동시에 주동력원의 급격한 신호 절단을 완화하기 위한 차동기어 적용과 유성 기어를 활용하여 기구부 단순화 가능성을 검토함 (Fig. 188).



Fig. 187. (a)속도조절 인버터, (b)동력전달장치

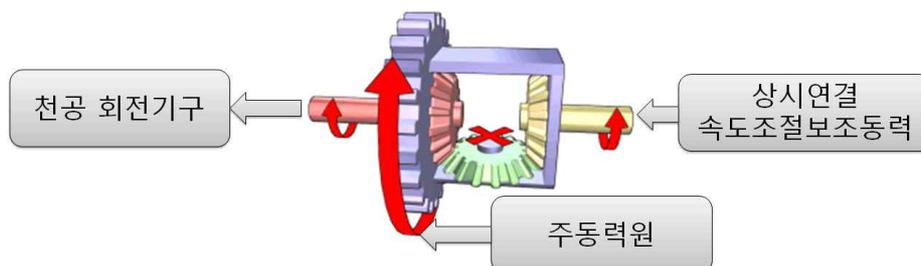


Fig. 188. 주행 중 속도 천공 회전기구 속도 가감을 위한 차동 기어 활용

- ◇ 주행 방향을 기준으로 y 축의 천공 위치 결정시 다음 그림과 같이 축방향 추력이 없는 슬라이드 베어링

을 검토하는 한편 천공 회전 기구부의 양측 회전 중심이 차이로 인해 슬라이딩 운동 시 베어링면과의 마찰력이 급증할 것으로 예상되었음. 마찰력을 감소시키고 원활한 슬라이딩을 위하여 동기화된 2조의 선형 구동기를 검토하였음 (Fig. 189).

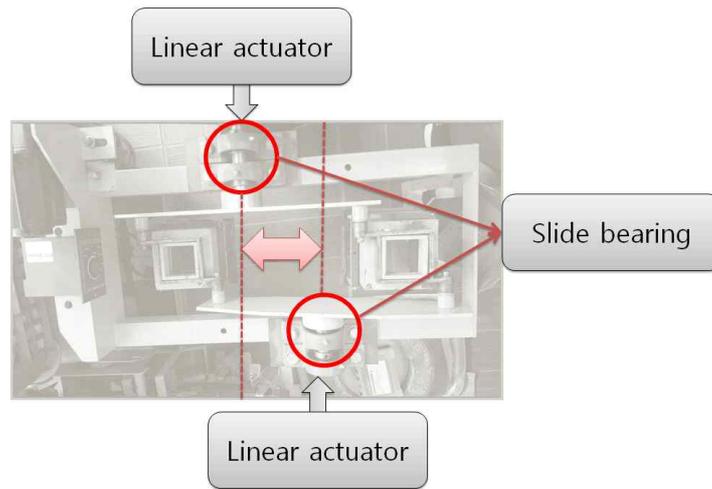


Fig. 189. 중심 기준 좌우 위치 보정을 위한 기구부 보완

(23) 동력원별 천공 제어방식 설계 (공압/탄성체/유압/모터)

가) 적정 액추에이터(공압, 스프링, 유압, 모터) 선정

- ◇ 자동 천공기 설계에 있어 중요한 설계 요소는 중소 능가 현장에 보급 가능한 경량형 모델이어야 하며, 유지/보수가 편리한 구조로 되어 있어야 함. 특히, 비용적인 측면의 부담을 경감하기 위한 최소한의 요소로 구성되는 것이 바람직함.
- ◇ 선형 기구부의 경우 관리기 또는 트랙터에서 동력 취출이 가능해야 하며, 천공 기구부의 y 위치 조절에 필요한 동력과 응답성능 보유해야함. 한편 DC 모터를 활용할 경우 모터의 속도 조절을 위해서 PWM 컨트롤러를 추가해야하는 불편함이 따르나, 콩 위치 검출 센서부의 마이크로컨트롤러에 내장이 가능하므로 보완이 가능함 (Table 42).

Table 42. 천공기 요소별 액추에이터 및 동력원 비교

액추에이터	동력원	장점	단점	천공기 정합성
회전 기구부	공압	동력취출용이	제어성능↓, 응답성능↓	부적합
	스프링	구조간단	제어성능↓, 응답성능↓	불가능
	유압	내구성↑, 제어성능↑	구조복잡↑	부적합
	모터	구조간단↑, 제어성능↑ 응답성능↑	내구성↓	적합
선형 기구부	DC모터	동력취출가능, 제어성능↑	PWM제어필요	적합
	AC모터	경제성↑, 내구성↑	동력취출불가 인버터필요	불가능
	스태핑모 터	제어성능↑ 추가센서불필요	속도제한	부적합
	BLDC모터	제어성능↑	고가 추가센서필요	부적합

나) 제어 시스템 구성을 위한 마이크로프로세서 선정

- ◇ 비닐 멀칭 자동 천공기 설계 시 콩을 인식하는 센서부와 천공 기구부의 천공 위치를 제어하기 위해 공동적으로 디지털 통신 및 제어가 가능한 마이크로 프로세서가 필요함. 앞서 기술한 바와 같이 본 연구에서 선정한 ARM-Cortex-M4™ 를 활용하여 센서부와 천공기구부에 적용하기 위해선 실시간 신호처리 시스템의 시분할 개념 도입 필요함.
- ◇ 선정한 마이크로 프로세서의 주파수는 100 Mhz이며, 센서부에서 사용하는 클럭은 20 Mhz 내외임. 따라서 80 Mhz의 클럭을 이용하여 PWM 제어기 구성이 가능함. 기구부의 모터 제어와 주행형 센서부의 멀티쓰레드는 주행하는 동안 센서의 진행방향 FOV (Field of view)와 데이터 측정시간 (80 ms)을 고려하여 다음 그림과 같이 데이터가 겹치지 않도록 PWM제어를 수행함 (Fig. 190).

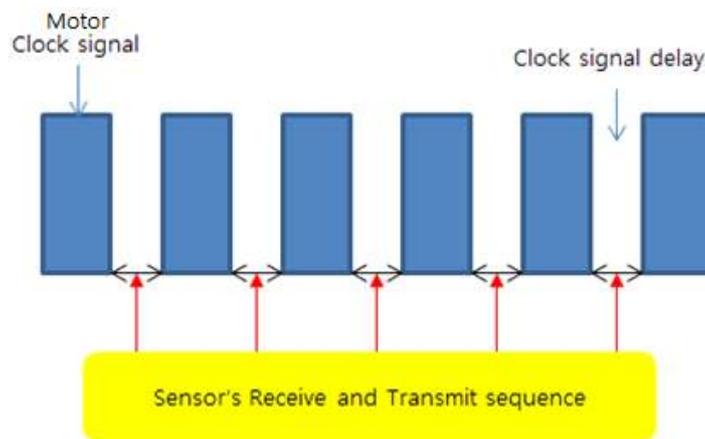


Fig. 190. 센서부와 천공 기구부 동시 제어를 위한 시분할 설계

- ◇ ARM-Cortex-M4™ 계열의 마이크로 프로세서 중 본 과제에서 필요로 하는 사양을 갖춘 최적의 모델을 선정함. 다음 그림과 같이 STM32F411RET6 (STMicroelectronics, USA) 마이크로세서를 내장한 보드에 천공기구부-회전기구부, 천공기구부-선형기구부, 센서부를 통합하여 통합 시작기에 적용함 (Fig. 191).

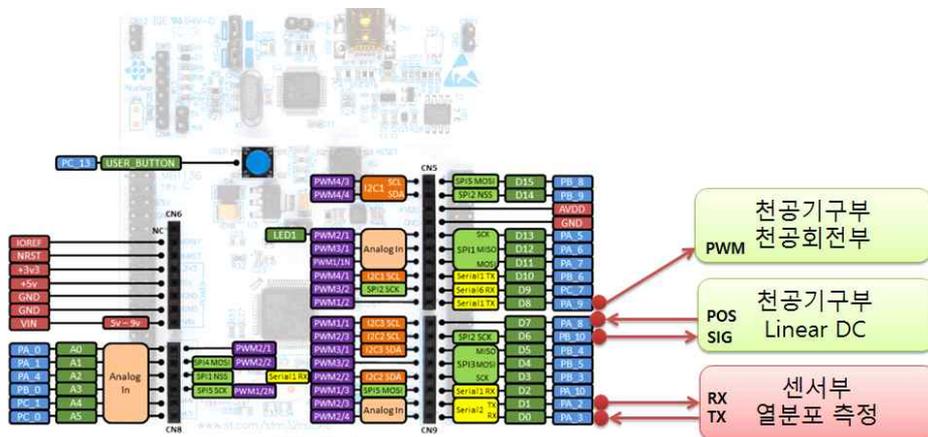


Fig. 191. 마이크로프로세서와 각 요소별 결선 다이어그램

(24) 자동제어를 위한 단위응답 제어 시스템 설계 및 주요계수 결정

- ◇ 자동 제어를 통한 천공 기구부의 제어를 위하여 다음과 같이 일반적인 PID 시스템의 주요 계수를 설계할 수 있음 (Fig. 192).

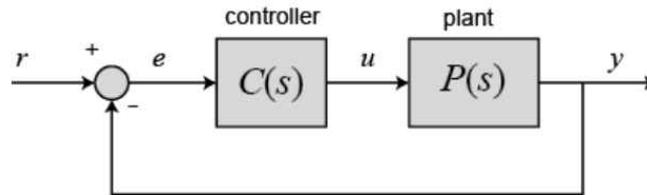


Fig. 192. PID 제어시스템의 블록선도

- ◇ 비례계수 (K_p), 미분계수(K_i), 적분계수(K_d) 설계를 통해서 제어 성능의 응답 특성이 정의되며, 시간 도메인에서 수식은 다음과 같이 기술할 수 있음.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_p \frac{de}{dt}$$

- ◇ 각각의 계수가 결정이 되면 다음 그림과 같은 응답 곡선을 얻을 수 있으며 이를 통해서 이론적으로 제어 성능의 응답성능 (도달시간, 지연시간, 과도응답시간) 파악이 가능함 (Fig. 193).
- ◇ 천공 기구부의 주요 요소에 대한 실증에 있어서 위 그림의 반복적으로 (a) 지점에 도달하는 시간이 최소 0.25초 (4Hz의 센서부 대응) 보다 작아야 하며, 천공 기구부의 왕복 회귀시간이 동일하다는 가정 하에 (a) 점까지의 소요시간 + (b) 점까지의 소요시간이 0.25 초 이하로 계수를 결정하였음.

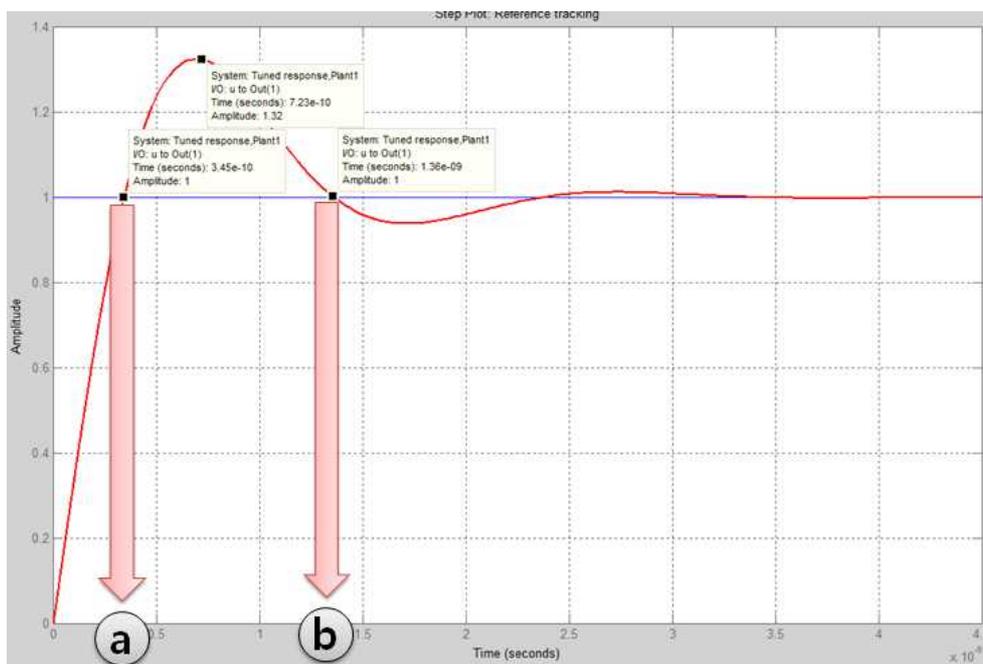


Fig. 193. 회전형 천공 기구부 반복 제어를 위한 계수 결정 요소

(25) 단식/복식 (모듈형 연동) 운영이 가능한 인식/제어 시스템 설계

- ◇ 앞서 기술한 바와 같이 1휴 다열 구조의 콩 재배양식에 부합하기 위해서는 복식 운영이 가능한 시스템의 설계가 필요함.
- ◇ 1조식으로 운영되는 시스템에는 독자적으로 운영이 가능한 센서부가 내장되어 있으며, 관리기 또는 트랙터의 전원을 이용하여 천공 기구부와 센서부가 운영이 가능함.
- ◇ 다조식의 경우 현행 시작기의 좌우 회전축의 비상사정으로 인해 축의 중심을 맞출 수 없는 구조로 되어 있음. 따라서, 다음 그림과 같이 열의 위치에 따라 회전축의 좌우 위치를 교차하여 커플링 등으로 동력 전달이 가능한 형태로 보완될 필요가 있음 (Fig. 194).

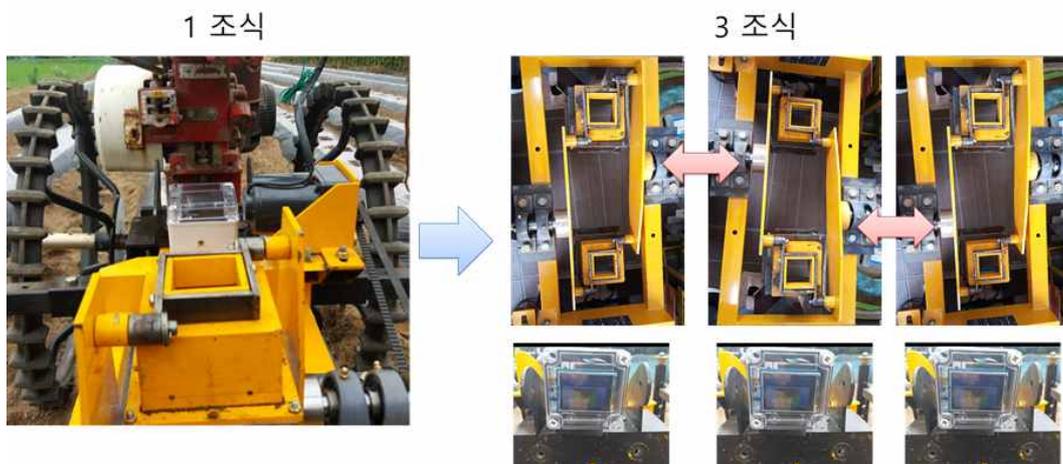


Fig. 194. 1조식 천공장치 및 3조식 천공장치를 위한 조합 개념

- ◇ 동일한 회전수로 회전 동력이 전달되는 상황에서 개별적으로 천공위치를 달리하기 위해서는 개별적으로 연결된 센서인식부의 신호를 받은 차동 기어 (또는 유성기어) 상시 연동형 모터 제어를 통해 가능함

(26) 비닐포장 하부 콩 인식 기술 정밀도 향상 방안 연구

- ◇ 센서부의 인식 정밀도를 높이기 위하여 측정주기와 측정범위가 개선된 열화상 계측 센서를 활용하여, 비닐 포장 표면의 온도 변이가 관찰 되는 상황에서 정밀도는 개선, 위치 오차는 감소하였음. 그러나 열 에너지 측정 분해능이 0.1 °C로 정밀도 향상에 한계가 있음. 또한 비닐포장 상부의 온도 변이가 매우 미미한 경우 열 반응에 의한 인식 기술에 한계가 있음. (Fig. 195).
- ◇ 분해능을 높임과 동시에 측정 주기와 측정 대상의 면적을 유지하거나 높일 수 있는 방안이 필요한데 요인 실험에서 사용한 센서와 동일한 성능으로 0.01 °C분해능과 80×60에 달하는 계측 지점을 동시에 측정할 수 있음. 그러나 9 Hz로 제시하고 있는 계측 주기를 구현하기 위해 추가된 마이크로프로세서로 추가비용이 발생하였음.
- ◇ 현장 조사를 통해 확인한 투과형 멀칭 비닐의 경우, RGB 센서를 이용해서 계측한 데이터를 간단한 산술 연산 만으로 처리하여 대상의 위치 인식이 가능함을 확인하였음 (Fig. 196).

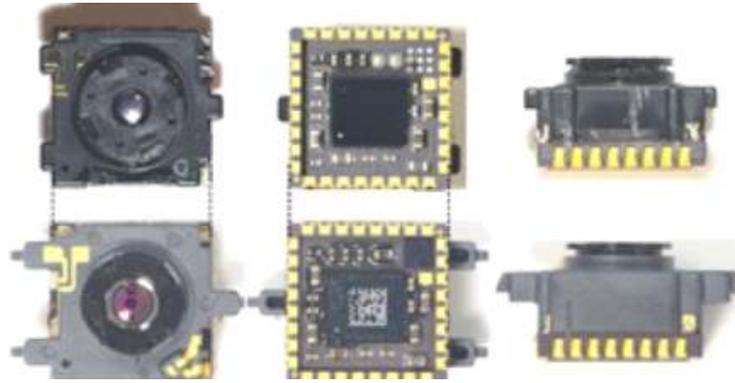


Fig. 195. Flir Lepton™ (FLIR, USA)



Fig. 196. RGB 센서를 이용한 투과형 비닐 포장 하부의 콩 초엽기 인식 데모

(27) 비닐포장 하부 콩 인식 기술 현지 적용성 검토 및 정량화 방안 연구

- ◇ 실내 요인 실험을 통한 오차 보정 알고리즘 수정과 아울러 1차년도 실험 포장에 준비된 작물을 대상으로 2년차에서 개선된 센서부의 예비 성능 실험 수행하였음 (2016.05.13).
- ◇ 실험 현장에서 동일한 비닐 포장 상부 지점에 대하여 적외선 온도계를 이용하여 온도 변화를 관찰하면서 센서부의 계측 데이터와 비교 및 계측 성능을 조사하였음.
- ◇ 실험시간은 오전 10시부터 오후 12시까지 10분 간격으로 측정을 하였으며, 가장 낮은 온도는 18.0 ℃도 였으며 가장 높은 온도는 54.0℃로 편차가 36℃이었음 (Fig. 197).

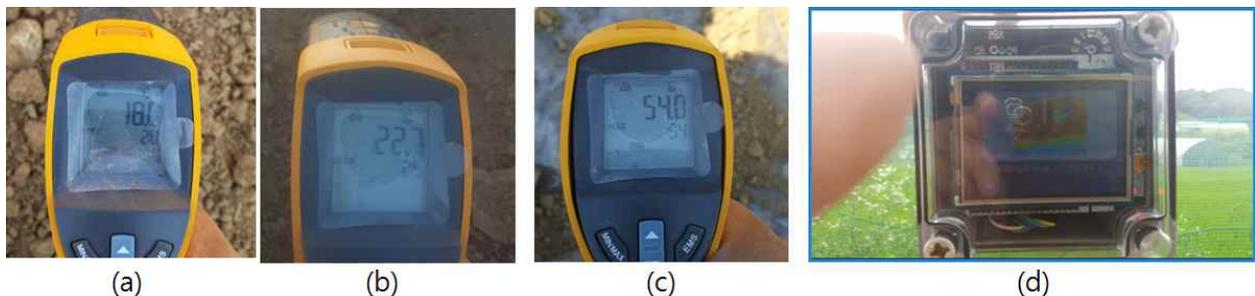


Fig. 197. 콩 접촉 주변 비닐포장 상부의 온도 변화와 센서부의 계측 실증 실험
 (a) 최저온, (b) 계측이 성공한 시점, (c) 최고온, (d) 센서부 인식 실험

- ◇ 총 12회의 측정 중 6회 오차범위 5 cm 내외로 위치가 검출이 되었으며 6회는 콩의 위치를 찾아내지 못하였는데 특히 비닐 멀칭은 온도가 30도 이상인 경우 검출에 실패하였음.
- ◇ 온실에서 실험을 통해 확인한 현상과 유사한 상황에서 검출이 되었음. 즉, 다음 그림과 같이 콩과 비닐 멀칭의 접촉부위에서 콩의 온도가 더 높은 경우와 더 낮은 경우에 검출이 정상적으로 이루어졌으며, 비닐 포장의 온도가 너무 30도를 넘어가는 순간 콩의 접촉부위 온도도 동일하게 올라가는 현상을 발견하였음 (Fig. 198).

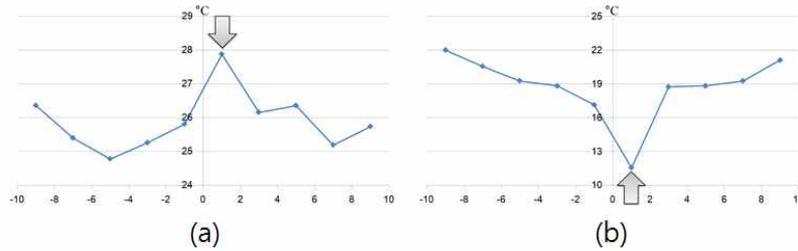


Fig. 198. 콩 검출 성공 상황 시 콩 주변의 온도 분포
 (a) 콩의 접촉부가 고온인 경우, (b) 콩의 접촉부가 저온인 경우

- ◇ 온실 환경에 비하여 변이가 큰 외부 환경 요인을 고려한 센서부의 인식 성능 개선이 당면한 과제임. 아울러, 중소영세 농가의 경작지 정리 상태를 고려할 때, 작업기 연동형 센서부의 위치 기계적 내구성에 대한 고려도 수반되어야 함.

(28) 상용 관리기 제품과 통합을 위한 최적화 설계

가) 공간 오차 보정을 위한 알고리즘 개발

- ◇ 이동식 계측 시스템의 공간 오차 보정을 위한 알고리즘을 개발하기 위해 주파수 분석 그래프의 x축은 y축은 겹친 횡수를 의미함 (Fig. 199).

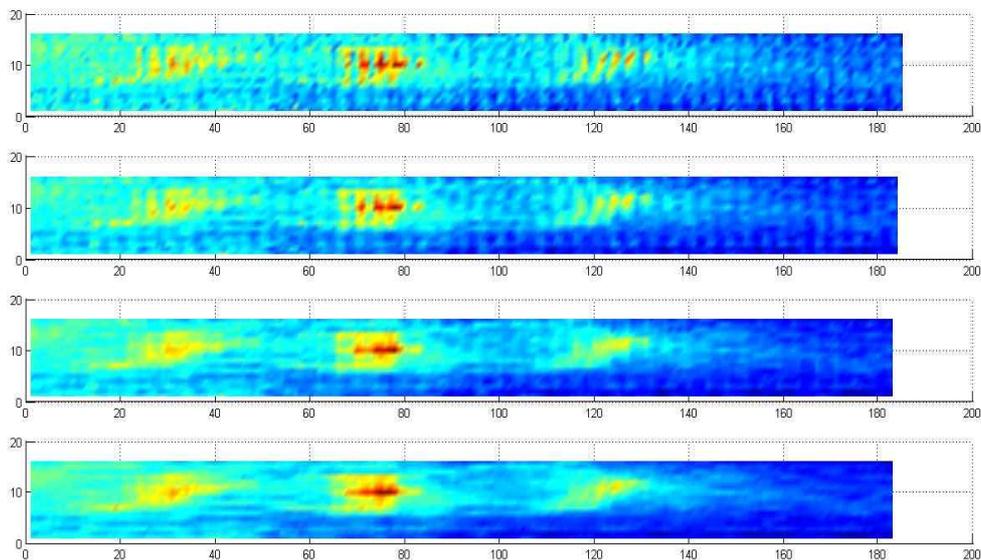


Fig. 199. Not_normalize_integral_moving average (I)

- ◇ 주기적 특성을 고려한 센서 신호 정합 방법에서는 각각의 Normalization은 필요 없으며, 전체적으로 Normalization을 하여 주기성을 파악하는 것이 더 뚜렷한 온도 분포도를 획득할 수 있음.
- ◇ 그래프를 통해서 주파수 분석을 하면 보정 없이 Moving average에 따른 주파수 분석을 한 결과로 8pixel에 40Hz를 나타내주고 있는데 R-square 값을 이용하였음 (Fig. 200, Fig. 201).

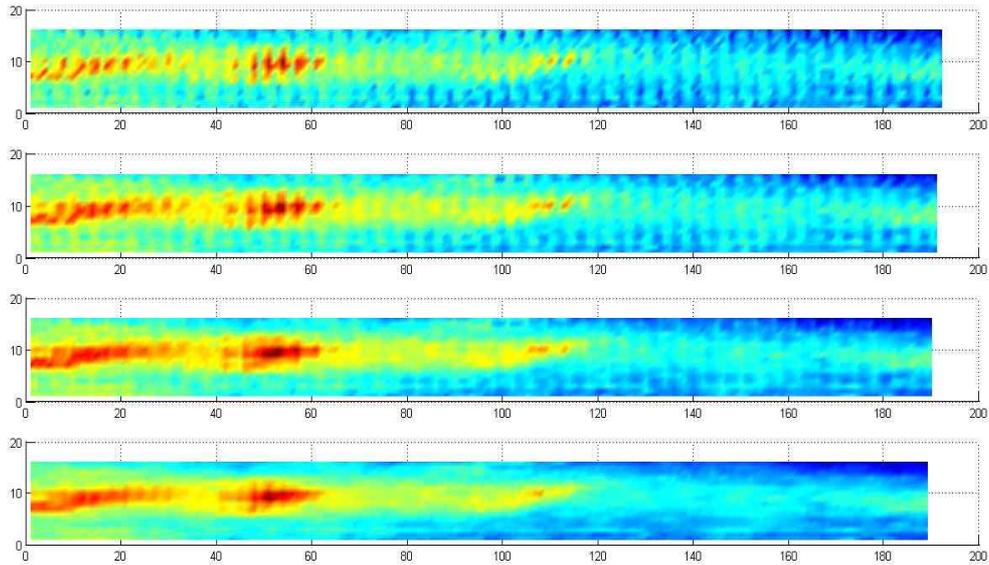


Fig. 200. Not_normalize_integral_moving average(II)

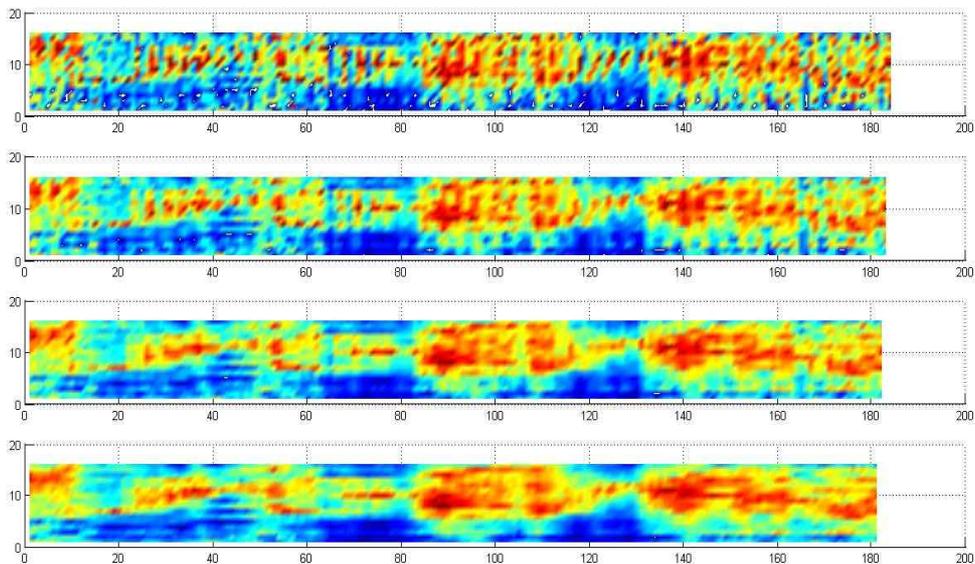


Fig 201. Each_normalize_integral moving average(I)

- ◇ 원본데이터에 대하여 구간별 편차를 극복하기 위해 다음과 같이 프레임별 Normalization을 하였음 (Fig. 202).

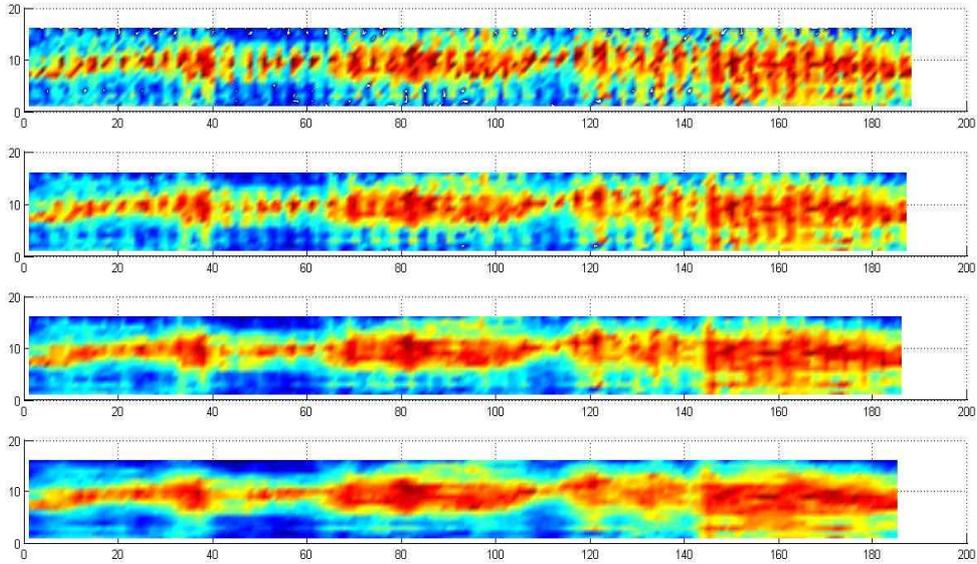


Fig. 202. Each_normalize_integral_moving average(II)

- ◇ 원본데이터에 대하여 구간별 편차를 극복하기 위하여 프레임별 Normalize 보정 신호를 그래프로 표현하였으나, 육안 상으로도 보정하기 더 힘들 것으로 판단되어 구간별 Normalize를 하지 않고 전체적으로 Normalize를 하면 된다고 판단됨.
- ◇ 다음은 2개의 프레임에 해당하는 8 pixel을 대상으로 Moving average 크기에 따른 영상의 변화 및 주파수 변환 그래프임. 먼저 왼쪽의 온도분포도는 위에서 아래로 갈수록 픽셀의 Moving average가 한 개씩 커짐. 제일 위에 있는 분포도는 원본데이터로 그린 분포도이고, 그 아래 그래프는 픽셀 2개를 합쳤을 때를 기준으로 Moving average 보정한 온도 분포도이며, 그 아래 그래프는 픽셀 3개를 가장 아래 그래프는 픽셀 4개를 겹쳐서 Moving average 보정을 한 온도분포도임. 각각의 온도분포도는 필드 실험에서 1회 측정된 모든 프레임을 다 이어 놓은 형태이고, x축은 프레임의 개수를 y축은 한 프레임이 16 X 4을 생각해보면 16을 의미함.
- ◇ 주파수 분석은 8 pixel을 대상으로 40Hz에 해당되는 모든 점을 찍어 평균화함. x축은 그래프의 주기성을 나타내주고, y축은 주기성이 강할수록 그래프의 모양이 크고 강하게 나타남을 확인할 수 있음.
- ◇ 겹쳐진 픽셀의 수가 클수록 주파수의 차이는 줄어든다는 것을 알 수 있음. 이는 절대 값이 줄어들고 있다는 것을 의미하며, 또한 주파수와 Moving average간 상관관계가 높아진다는 것을 확인할 수 있음.
- ◇ 그림 46.에서 x축이 의미하는 것은 40 Hz, 주파수의 개수임. y축이 의미하는 것은 상관관계를 의미하고, 5개의 예제로부터 Moving average 크기에 따라서 주기적인 데이터 발현의 정도가 차이가 남을 보여주는 그래프임 (Fig. 203, Fig. 204, Fig. 205).
- ◇ 즉, 이를 통해 처음으로 주파수가 반전이 일어나는 곳과, 주기성이 나타나는 부분이 어디인지 명확하게 확인을 할 수 있음.

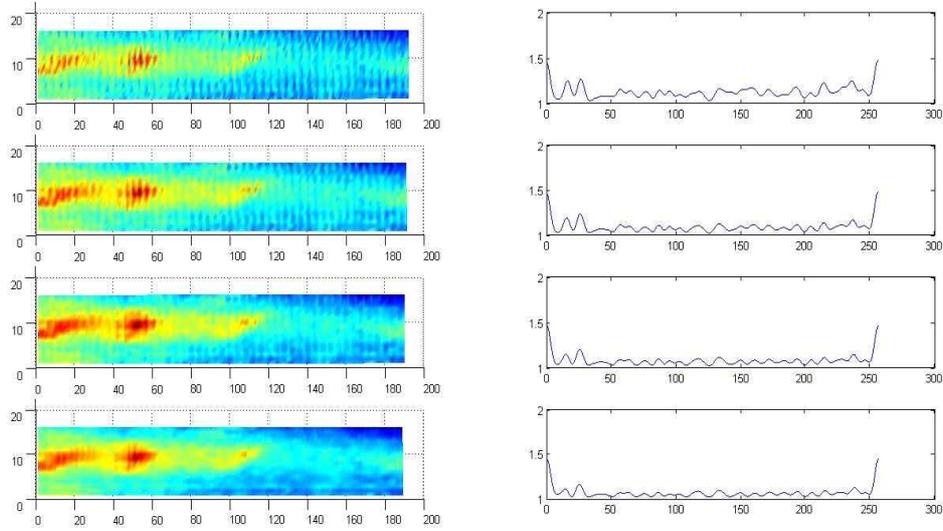


Fig. 203. Field experiment results (I)

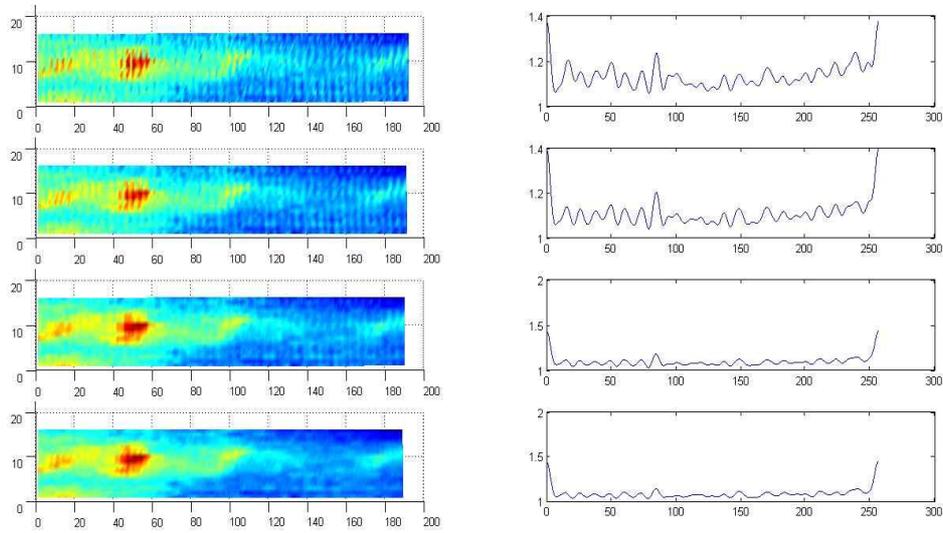


Fig. 204. Field Experiment Results (II)

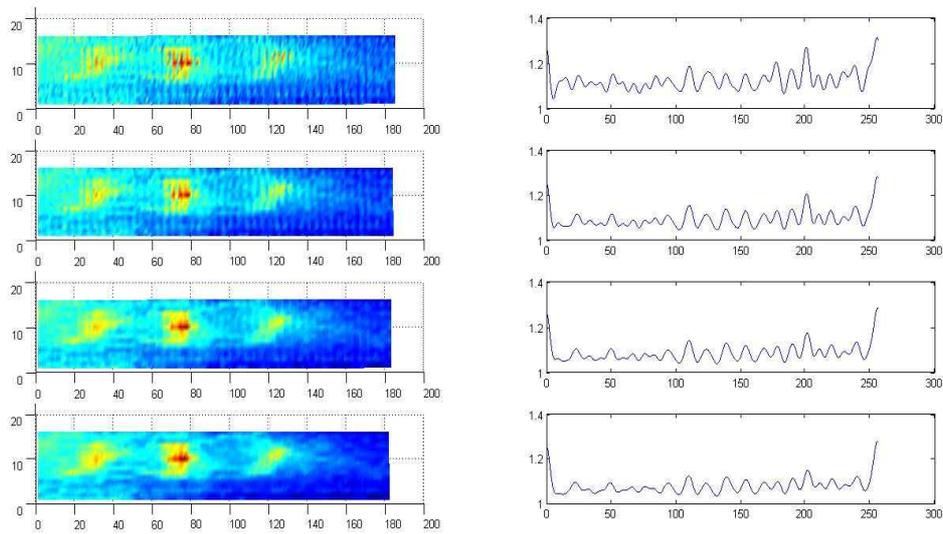


Fig. 205. Field experiment results (III)

- ◇ 픽셀과 주파수 간의 상관성 분석은 구간 4~5에서 최초로 반전이 일어나는 시점을 확인 함. 처음으로 반전이 일어나는 곳이 작물이 있을 것으로 예상 되는 지점으로 작물이 예상되는 지점의 배수 지점들은 일정한 주기를 가지고 있는 것으로 나타남. 그래프에서 오른쪽으로 갈수록 그래프가 아래로 쳐지는 경향을 통해 겹쳐지는 픽셀의 수가 많을수록 주파수와의 상관관계는 더욱 커지며, 선형성은 점점 “0” 과 가까워지고 반복되던 데이터는 겹치는 것을 알 수 있음.
- ◇ 명확한 Resolution을 찾기 위하여 첫 번째 작물이 예상되는 위치를 나타내주는 반전 지점인 픽셀 4를 기준으로 앞과 뒤 구간까지 분석하여, 픽셀 4에서도 어느 구간에서 가장 낮은 주파수를 나타내었는지 확인하면, 그래프의 x축은 픽셀의 개수이고, y축은 상관관계이다. 픽셀 3~5에서 한 픽셀씩이 아닌 0.4 픽셀의 단위로 나누어 가장 낮은 주파수를 가지고 있는 곳이 어디인지 확인하여 가장 최적화된 Resolution을 구함 (Fig. 206).

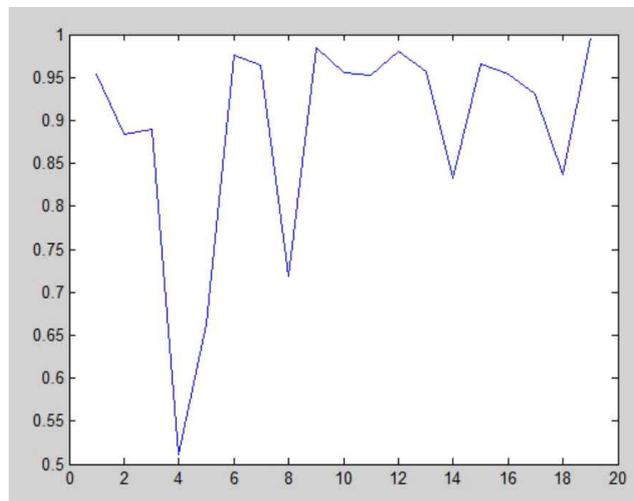


Fig. 206. View of non integral calibration

- ◇ 보정처리 후 나타난 온도분포도는 (a) 3 Pixel, (b) 5 Pixel, (c) 3.4 Pixel, (d) 3.8 Pixel, (e) 4.2 Pixel, (f) 4.8 Pixel에서의 주파수 분석을 통한 온도 분포도임. (c)의 3.4 Pixel을 중첩하여 나타난 분포도가 가장 물결무늬도 사라지고 정확한 작물의 위치를 나타냄 (Fig. 207).

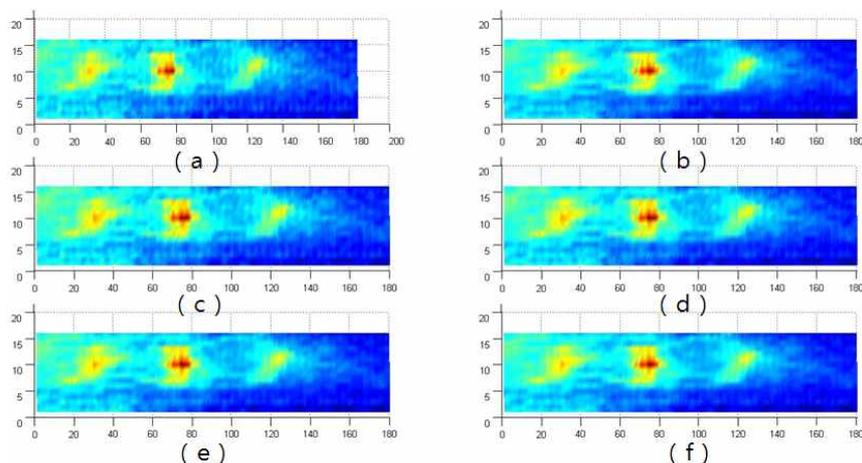


Fig. 207. Process view of non integral calibration

- ◇ 비닐 하부의 작물 위치 인식을 위한 비정형특성 보정과 함께 더 심화된 내분법을 이용하여 픽셀의 중첩부분을 보정하였음. Non-linear integral interpolation이란 Normalization한 결과를 이용하여 주파수를 분석하고 난 뒤 최적의 Resolution값을 찾기 위하여 한 프레임안의 16x4개의 픽셀 값, 즉 64개뿐인 한정된 데이터 값을 임의적으로 늘려서 중첩되는 픽셀의 크기를 상대적으로 줄여주는 작업임.
- ◇ 45개의 프레임은 픽셀 한 개의 단위가 아닌 0.1단위로 쪼개주는 것은 기존의 보정 방법에 비해 10배 이상의 정확성과 독창적인 방법으로 공간오차 보정을 위한 알고리즘은 다음과 같음.

<센서코딩>

```

#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#define F_CPU 8000000UL                /*#define F_CPU 16000000UL
#include <util/delay.h>
char trans_string[128];
unsigned char Thermal_Acq[140];
unsigned char RX0_char_scan(void)      /* receive a character by USART0 */
{
    if((UCSR0A & 0x80) == 0x00)        // if data not received,
        return 0x00;                  // return with 0x00
    else                                // if data received,
        return UDR0;                  // return with data
}
unsigned char RX0_char(void)           /* receive a character by USART0 */
{
    while((UCSR0A & 0x80) == 0x00);    // data received ?
    return UDR0;
}
void TX0_char(unsigned char data)     /* transmit a character by USART0 */
{
    while((UCSR0A & 0x20) == 0x00);    // data register empty ?
    UDR0 = data;
}
void TX0_string(unsigned char *string) /* transmit a string by USART0 */
{
    while(*string != '\0')
    { TX0_char(*string);
      string++;
    }
}
unsigned char RX1_char_scan(void)     /* receive a character by USART0 */
{
    if((UCSR1A & 0x80) == 0x00)        // if data not received,
        return 0x00;                  // return with 0x00
    else                                // if data received,
        return UDR1;                  // return with data
}
unsigned char RX1_char(void)          /* receive a character by USART0 */
{
    while((UCSR1A & 0x80) == 0x00);    // data received ?
    return UDR1;
}
void TX1_char(unsigned char data)     /* transmit a character by USART0 */
{
    while((UCSR1A & 0x20) == 0x00);    // data register empty ?
}

```

```

    UDR1 = data;
}
void TX1_string(unsigned char *string)          /* transmit a string by USART0 */
{
    while(*string != '\0')
        { TX1_char(*string);
          string++;
        }
}
void UART0_Init(void)
{
    UBRR0H = 0;                // 19200 baud
    UBRR0L = 26;
    UCSR0A = 0x00;            // asynchronous normal mode
    UCSR0B = 0x18;            // Rx/Tx enable, 8 data
    UCSR0C = 0x06;            // no parity, 1 stop, 8 data
}
void UART1_Init(void)
{
    UBRR1H = 0;                // 19200 baud
    UBRR1L = 26;
    UCSR1A = 0x00;            // asynchronous normal mode
    UCSR1B = 0x18;            // Rx/Tx enable, 8 data
    UCSR1C = 0x06;            // no parity, 1 stop, 8 data
};
unsigned char GetUserInput()
{
    char digit1;
    char digit2;
    unsigned char myinput = 0;
    digit1 = RX0_char();
    //digit2 = RX0_char();
    //myinput = ( digit1 - '0' ) * 10 + digit2 - '0';
    myinput = digit1 - '0';
    return myinput;
};
int Change2Byte2Thermal(unsigned char *twobyte)
{
    int value = 0;
    value = ( twobyte[0] << 8 ) + twobyte[1];
    return value;
}
void TransferData(void)
{
    // data[2], [3] = 센서의 온도
    // data[4] - data[131] = 계측 대상의 온도
    int row = 0;
    int col = 0;
    unsigned char *data = Thermal_Acq;
    //sprintf(trans_string,"Sensor Temp = %d\r\n", Change2Byte2Thermal( data+ 2));
    //TX0_string(trans_string);
    for(row = 0 ; row < 4 ; row++)
    {
        for(col = 0 ; col < 16 ; col++)
        {
            sprintf(trans_string,"%3d ", Change2Byte2Thermal( data+ 4 + col * 2 + row * 32));
            TX0_string(trans_string);
            *(data+ 4 + col * 2 + row * 32) = 0;
        }
    }
}

```

```

        }
        sprintf(trans_string,"WrWn");
        TX0_string(trans_string);
    }
};

                                        <모터코딩>

void ADC_Init(void)
{
    ADCSRA = 0x00; //disable adc
    ADMUX = 0x00; //select adc input 0
    ACSR = 0x80;
    ADCSRA = 0x87;
}
// 입력으로 들어오는 채널의 ADC를 스타트 시킴.
void startConversion(unsigned char ch)
{
    ADCSRA = ADCSRA & 0x3f;
    ADMUX = 0x60 | (ch & 0x0f);
    ADCSRA = ADCSRA | 0xc0;
}
// startConversion() 후에 수행되며 컨버팅 된 값을 리턴함.
unsigned int readConvertData(void)
{
    volatile unsigned int temp;
    while((ADCSRA & 0x10)!=0);
    ADCSRA = ADCSRA | 0x10;
    temp = ADCL;
    temp = ADCH;///<((ADCH & 0b0000011)<< 8);
    ADCSRA = ADCSRA | 0x10;
    return temp;
}
unsigned int ADC_Value(int ch)
{
    startConversion(ch);
    return readConvertData();
}
void Timer0_init(void)
{
    TIMSK = 0x01; //timer interrupt sources
    TCCR0 = 0x00; //stop
    TCNT0 = 0x00; //set count
    TCCR0 = 0x07; //start timer
}
SIGNAL(SIG_OVERFLOW0)
{
    TCNT0 = 0x00;
    //cli();
    //Jog_Read();
    //sei();
}
int main()
{
    TX0_string("StartWn");
    int i = 0;
    int len = 0;
    unsigned char command = 0;
    unsigned char response = 0;
}

```

```

unsigned char input_char;
cli(); //disable all interrupts
ADC_Init();
UART0_Init();
UART1_Init();
//Timer0_init();
sei(); //re-enable interrupts
TX0_string("Sensor interface v1.4 (Jog Control Excluded) by Watermeat (2016.02)WrWn");
return 0;
while(1)
{
    /*
    _delay_ms(1000);
    sprintf(trans_string,"Counter %dWrWn", i++);
    TX0_string(trans_string);
    */
    command = GetUserInput();
    if(command == 1)
    {
        //sprintf(trans_string,"WrWnYour command is Measure Thermal distributionWrWn") ;
        //TX0_string(trans_string);
        TX1_char(17);
        TX1_char(3);
        TX1_char(65);
        while(1)
        {
            Thermal_Acq[0] = RX1_char();
            if(Thermal_Acq[0] == 22)
                break;
        }
        //if(len > 2)
        {
            for(i = 1 ; i < 133 ; i++)
                Thermal_Acq[i] = RX1_char();
            //sprintf(trans_string,"WrWnStart = [%d], Length = [%d], End = [%d] WrWn",
            //Thermal_Acq[0], Thermal_Acq[1], Thermal_Acq[132]);
            //TX0_string(trans_string);
        }
        // 전송 받은 데이터 검사 후 PC로 전송함.
        if( Thermal_Acq[0] == 22 && Thermal_Acq[1] == 130 && Thermal_Acq[132] == 152)
        {
            TransferData();
        }
        _delay_ms(5);
    }
    if(command == 2)
    {
        sprintf(trans_string,"WrWnYour command is turn Laser OnWrWn") ;
        TX0_string(trans_string);
        TX1_char(17);
        TX1_char(1);
        TX1_char(1);
    }
}
return 0;
}

```

나) 기구부 최적화 설계

- ◇ 1, 2차년도 시작기를 보완하여 단식-복식 및 주간, 조간 거리별 천공 작업 형태에 따른 자동 천공기계 부착을 위한 실시 설계는 주간거리 70 cm 와 조간거리 20-40 cm를 기준으로 주간거리를 50 cm 조절할 수 있도록 설계하였으며, 조간거리는 재식밀도 간격에 대응토록 3차년도 통합기의 최적화 설계를 크랭크식으로 수행하였음.
- ◇ 설계는 실재 콩 재배 농가에서 주로 사용되는 작업기 (밭 작업용 5 마력급 이상의 관리기)와 농업용 경운기에 부착할 수 있도록 설계 (작업기 연결용 히치대 및 높이, 폭 적용)되었음.
- ◇ 크랭크식 통합기는 작업능력을 고려하여 2조식으로 하였으며, 자동변속장치와 천공높이조절장치, 폭조절 수평이동장치를 포함하는 천공기 본체에 구동륜과 천공장치를 부착하고, 하부에 센서와 영상취득장치를 설치하였음.
- ◇ 3차년도 최종 통합기의 최적화 설계 및 제작을 수행하였는데 대표도면은 다음과 같음.

- 1) 구조도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 208)
- 2) 평면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 209)
- 3) 측면도 (후방형 - 크랭크식 - 2조) (Fig. 210)

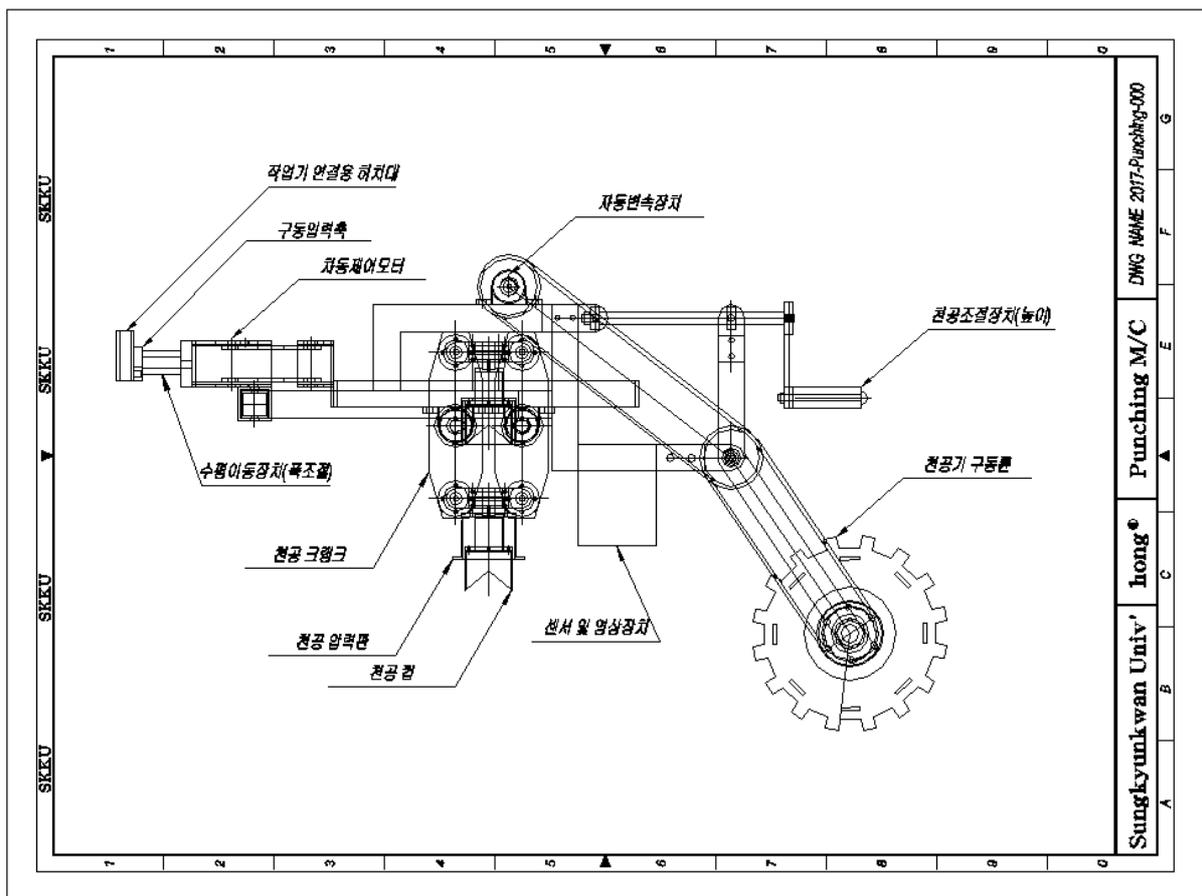


Fig. 208. Drawing of 3rd year automatic punching machine prototype (structure)

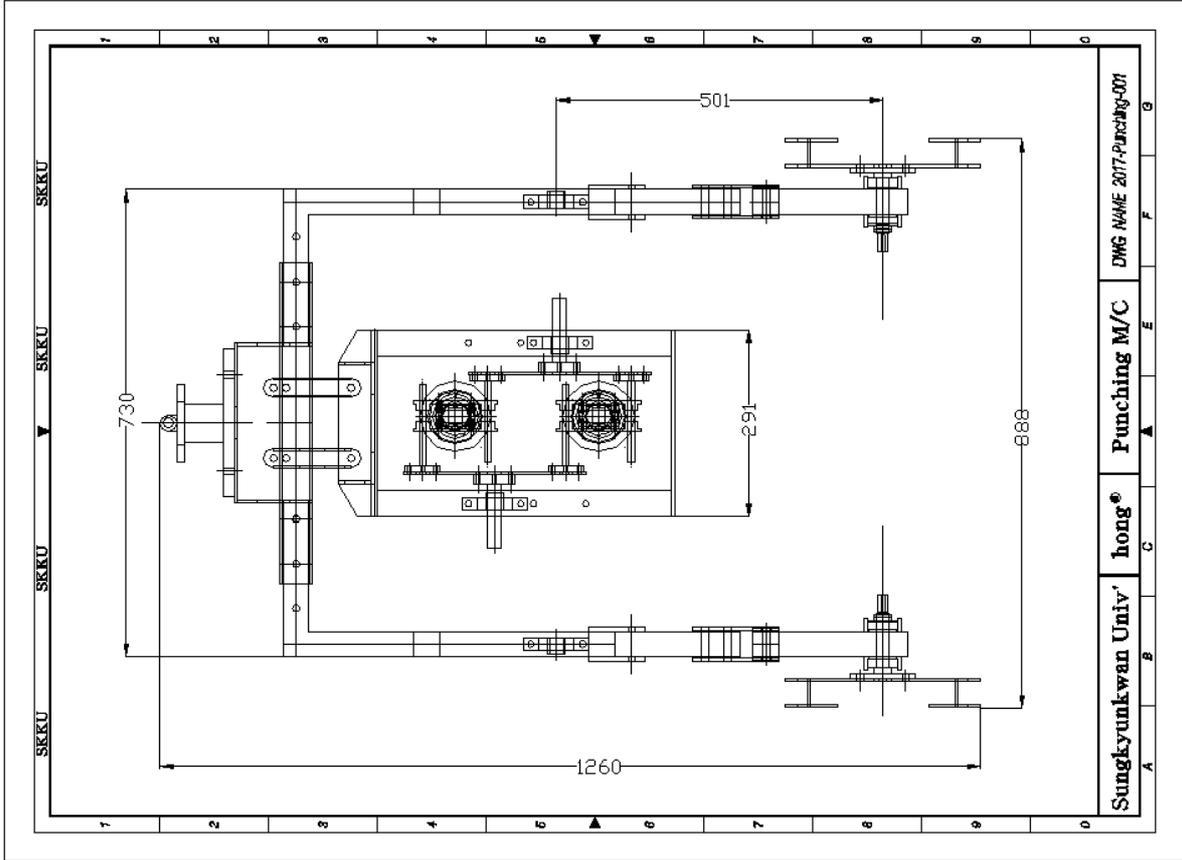


Fig. 209. Drawing of 3rd year automatic punching machine prototype (top view)

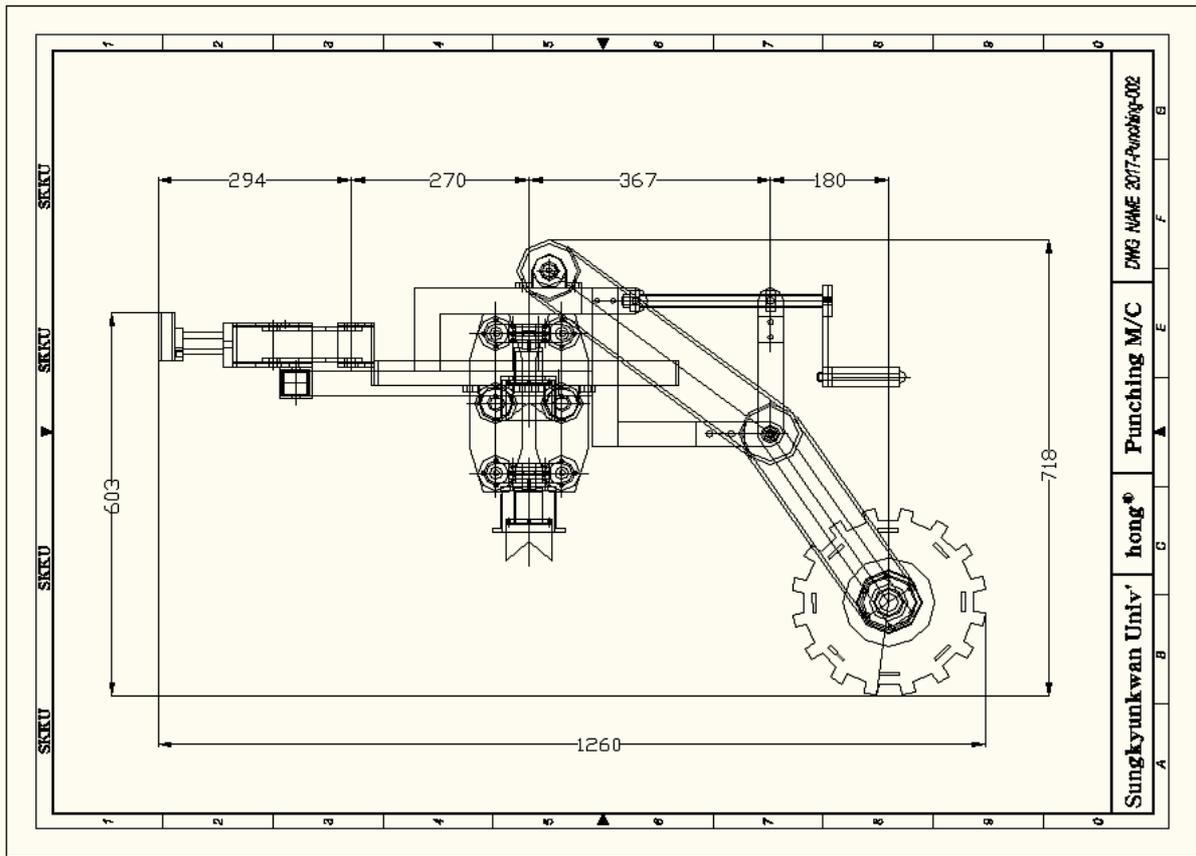


Fig. 210. Drawing of 3rd year automatic punching machine prototype (side view)

(29) 작업기 형태별 통합 시작기 제작 (범용으로 제작)

- ◇ 개발된 자동천공기는 농업용 관리기 및 경운기 후방에 부착되며 작업성능은 3시간에 10 a의 면적에 대해 10,000회 천공하는 것을 목표로 제작됨. 적용되는 관리기는 정격출력 4.8~7.0kW 범위의 국내 2개사 10개 모델과 경운기 전기중임. 장치는 관리기 및 경운기의 후방 힛치판에 부착이 가능하도록 함. 장치는 크랭크 천공장치와 작업기 연결을 위한 핀 결합장치를 구성하였음. 또한, 천공장치를 상·하로 조정하는 높이 조절장치와 폭 조절장치를 구성하였음.
- ◇ 천공기의 동력은 관리기의 배터리 및 별도의 DC12V 배터리와 연결하였음. 천공 메커니즘에는 관리기의 이론주행속도인 0.38-0.39 m/s에 대해 실제 주행속도인 0.37~0.61 m/s (실측치 반영)로 제작되었음.
- ◇ 천공장치에 적용된 멀칭비닐은 실제 콩 농가에서 사용되는 사양 중 최대사양으로 두께 20 μ m의 LDPE (Low density polyethylene) 비닐로 인장강도가 횡방향 248 kgf/cm², 종방향 276 kgf/cm²이며, 신장율은 횡방향 758%, 종방향 613%임 (Ihshin chemical, 2013). 또한, 천공 메커니즘에 적용된 크랭크는 양방향형으로 원형궤적 로드를 가지며, 회전력을 이용하여 최소 276 kgf/cm² 이상의 강도로 비닐을 천공토록 제작되었음.
- ◇ 천공 장치는 연결된 관리기가 앞으로 주행하는 동시에 천공부가 초승달 모양의 궤적을 그리며 운동하면서 비닐을 천공하며 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행됨.
- ◇ 천공 장치의 주요 구성부로 천공장치 메인 후레임에 장착된 천공속도 제어용 기어드 모터의 동력을 이용하여 천공 컵의 작동을 위한 크랭크에 동력을 전달할 수 있도록 4개의 베어링을 이용하여 3단 동력전달 축을 적용하여 가변적인 환경에서도 동력이 전달될 수 있도록 제작되었음. 이때 중간 힌지에 아이들 스프라켓 설치와 좌우 움직임에 대응하고자 스플라인이 설치된 유니버설 조인트를 설치하여 안정적으로 동력이 전달되도록 함. (Fig. 211).



Fig. 211. Power transmission shaft of 3rd year automatic punching machine prototype

- ◇ 동력전달 축을 이용하여 전달된 동력은 천공위치에 정확히 천공하기 위하여 차동변속장치를 적용하였음. 이는 정확한 위치를 천공하기 위해 차동변속장치는 위해 2개의 크랭크가 각각 다른 속도로 천공할 수 있도록 구동력을 전달하는 것임. 차동 기어가 필요한 이유는 전적으로 크랭크

가 회전할 때, 초엽의 거리가 멀거나 짧을 때 거리를 조절하기 위함임.

- ◇ 이때 차동 기어가 없다면 2개의 크랭크가 똑같은 회전수로 회전하게 되고, 그로 인해서 정확한 위치를 천공할 수 없으므로 작업성능 및 천공효율이 크게 저하됨으로 적용하였음. 차동기어는 실시간 속도조절을 위해 구동바퀴의 구동력에 의해 전달된 동력이 차동제어장치로 연결되어 있으며 센서를 통해 작물의 위치를 추적하여 정밀하게 제어할 수 있도록 설계됨 (Fig. 212).



Fig. 212. Automatic transmission of 3rd year automatic punching machine prototype, from working machine to punching machine

- ◇ 천공기의 메인 후레임에는 최종적으로 높이조절장치, 폭조절장치, 구동륜 및 천공장치가 적용되었음. 우선 높이 조절장치 (Fig. 213-(A))는 다양한 두둑형태에 적용할 수 있도록 반영하였음. 장치를 수동으로 적용한 사유는 개별 농가마다 동일 필지의 경운정지작업은 동일한 작업 (두둑높이 20 cm)을 수행함. 폭조절장치 (Fig. 213-(B))는 이랑의 최대 폭 50 cm에 대해 중앙을 기준으로 좌우로 50 mm를 이동하면서 초엽을 천공할 수 있도록 제작됨. 이때 좌우이동은 메인 후레임을 기준으로 천공장치를 포함하는 천공부 전체가 좌우로 이동가능토록 설계됨.
- ◇ 천공기의 구동륜 (Fig. 213-(C))은 발생하는 구동력을 차동장치에 전달하는데, 요철구조의 철차륜으로 지름 260 mm의 원판에 높이와 폭 20 mm의 요철구조가 부착된 것으로 차륜의 폭은 45 mm가 되도록 제작되었음. 요철구조의 철차륜은 고수분의 토양조건과 회전 견인력을 지지할 수 있도록 하여 제작되었음. 천공기 메인 후레임 (Fig. 213-(D))는 사각 파이프 (두께 3.0 mm, W40*D40 mm)로 설계되었는데 재질은 SS400이 적용되었으며 전후좌우 요동을 대비하여 2 포인트의 보강대를 적용하였음.



Fig. 213. Punching machine main frame of 3rd year automatic punching machine prototype, (A) height adjustment device, (B) width adjusting device, (C) driving wheel, and (D) punching machine main frame

- ◇ 천공장치는 최종적으로 천공실린더, 천공압력판, 천공컵, 크랭크로 제작하였음. 천공실린더 (Fig. 214-(A))는 높이 70 mm, 직경 84 mm, 두께 2 mm의 규격으로 내부에 천공컵을 포함하는데, 천공압력판의 작용으로 상부방향으로 10 mm의 유격을 갖음. 천공압력판 (Fig. 214-(B))는 링 형태로 천공실린더에 부착되며 링 폭 15 mm, 두께 5 mm의 규격으로 천공판이 멀칭비닐에 접촉하면 내부의 천공컵이 비닐을 타격하는 것을 지지함.
- ◇ 천공컵 (Fig. 214-(C), Fig. 209, Fig. 210)는 직경 70 mm, 높이 65 mm, 두께 1 mm의 규격으로 아랫방향이 주행방향 기준으로 2개의 99°의 고깔형태로 멀칭비닐을 타격하여 천공하도록 하였음. 2개의 크랭크 (Fig. 214-(D), Fig. 209, Fig. 210)는 길이 280 mm, 폭 80 mm의 규격에 16°모타기 형태임. 또한, 크랭크 축 운동을 위해 길이 110 mm, 두께 5 mm의 규격으로 3개의 직경 20 mm의 축을 연결할 수 있도록 하였음. 그리고 모든 천공장치는 내구성을 위해 SUS304 재질을 적용하였음. 또한, 구동륜의 높이를 조절하여 천공 깊이를 조절하여 노면 상태에 따른 미세 주행속도에 멀칭 비닐의 밀림 현상을 방지하여 식재 작물을 보호하며, 비닐 천공 후 크랭크가 상행할 때 천공 칼날에 박힌 이물질을 자중에 의해 밀어냄.

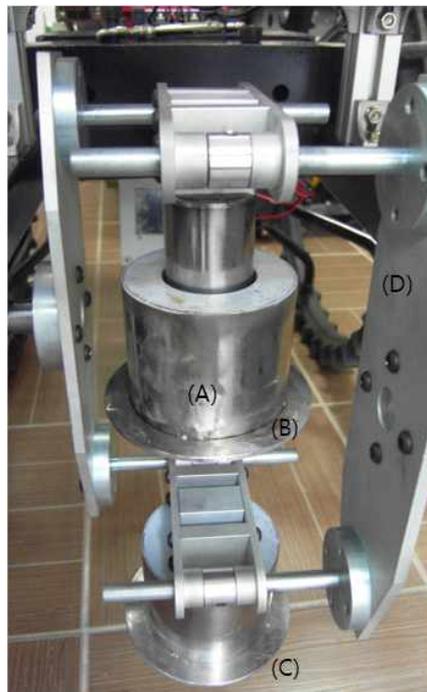


Fig. 214. Punching device of 3rd year automatic punching machine prototype, (A) punching cylinder, (B) punching pressure plate, (C) punching cup, and (D) punching crank

- ◇ 천공 장치는 관리기가 주행하는 동안 천공장치가 초승달 모양의 궤적을 그리며 운동하면서 비닐을 천공하며 천공부의 모든 작업은 평행 이동하며 수행됨. 주행 중 칼날의 속도의 x 성분과 y 성분은 다음의 식으로 기본적으로 설계하였음.

$$\checkmark v_x = -\omega l_1 \sin(\omega \cdot t) + l \sin \beta \cdot \dot{\beta} + v$$

$$\checkmark v_y = \omega l_1 \cos(\omega \cdot t) + l \cos \beta \cdot \dot{\beta}$$

where, ω = angular velocity of knife,

t = working time

- ◇ 제작된 천공기는 상용 관리기 (AMC-880)와 농업용 경운기에 공통적으로 취부 가능토록 제작되었음. 천공기는 상용관리기 (Fig. 215-(A)) 후방의 히치판을 이용하여 일반적 작업기의 취부와 동일한 방법으로 취부가 가능토록 제작하였음.
- ◇ 그리고 농업용 경운기 (Fig. 215-(B))도 마찬가지로 동일한 방법으로 후방의 히치판을 이용하여 쟁기 등 일반적 작업기의 취부와 동일한 방법으로 취부가 가능토록 제작하여 범용성을 갖도록 하였음. 이때 관리기에 장착할 경우, 관리기의 밧데리 동력을 이용토록 하였으며, 경운기는 별도의 DC 12V 밧데리를 장착하여 작동토록 하였음. 천공기가 장착된 관리기와 경운기 사진은 다음과 같음 (Fig. 215).



Fig. 215. 3rd year automatic punching machine prototype, (A) attached to agricultural working machine (Asia-Tec, AMC-880), (B) attached to agricultural tiller

- ◇ 제작된 천공기의 주요 명칭은 다음과 같음 (Fig 216). 상용관리기에 장착된 천공기는 메인 후레임을 중심으로 천공장치 높이 조절장치, 천공장치 폭 조절장치, 천공장치 구동륜, 천공장치 그리고 센서 및 영상취득장치 등 주요 어셈블리와 변속차동장치, 동력전달축, 천공속도 제어 기어드 모터 등 주변 어셈블리로 구성되었음.
- ◇ 천공장치는 주요 195개의 부품 (볼트류 등 단순 부품 제외)이 9개의 어셈블리로 조립되었음. 개별적으로 조립된 각 어셈블리는 상호 간섭이 없도록 유기적으로 조립되었으며, 양산에 대비하여 최대한 생산과정에서 시행착오가 없도록 참여기업의 의견을 최대한 반영하였음.



Fig. 216. 3rd year automatic punching machine prototype (범용으로 제작)

- ◇ 제작된 천공기 주요부의 명칭은 다음과 같은데 천공장치는 「비닐멀칭 천공장치 및 방법 (특허등록: 10-1686325)」의 요소기술이 적용되었으며, 센서 및 영상취득장치는 「작물의 생육정보 수집장치 및 방법 (특허등록: 10-1726944)」의 요소기술이 적용되었음.
 - ✓ 천공장치 높이 조절장치 (두둑환경에 따라 사용자 조정)
 - ✓ 천공장치 폭 조절장치 (두둑환경에 따라 사용자 조정)
 - ✓ 천공장치 구동륜
 - ✓ 동력전달축 및 변속차동장치 (작물인식에 따른 자동제어)
 - ✓ 천공장치 (자동제어, 특허 10-1686325 요소기술 적용)
 - ✓ 관리기 히치판 연결대 (관리기 및 경운기 등 공통사양 적용)
 - ✓ 센서 및 영상취득장치 (자동제어, 특허 10-1726944 요소기술 적용)
- ◇ 천공장치부와 인식제어부의 통합은 DC 모터를 중심으로 천공장치부 (동력발생부/차동기어/천공

장치/천공삽입부)와 인식제어부 (마이크로 컨트롤러/작물인식센서/모니터/터치입력부/스위치입력부/외부전원/5V외부전원)가 결합하여 완성됨.

◇ 천공장치부와 인식제어부의 PWN 제어기, 마이크로 컨트롤러, 작물인식센서, 천공장치부를 포함하는 주요부 및 통합 회로도 는 다음과 같음 (Fig. 217).

- ✓ DC 모터 : 차동기어를 통해 천공속도를 조절하는 장치
- ✓ PWN 제어기 : DC 모터 속도를 조절하기 위한 컨트롤러 (듀티비 10-100%) 장치
- ✓ 마이크로 컨트롤러 : 멀핑비닐 하부의 센서 인식, 열 영상의 분석 및 작물 위치에 따른 천공속도를 조절하는 기능을 하는 장치
- ✓ 작물인식센서 : 멀칭비닐 하부의 초엽을 열전도 특성을 이용하여 실시간으로 분석하기 위해 적용된 열화상센서 장치

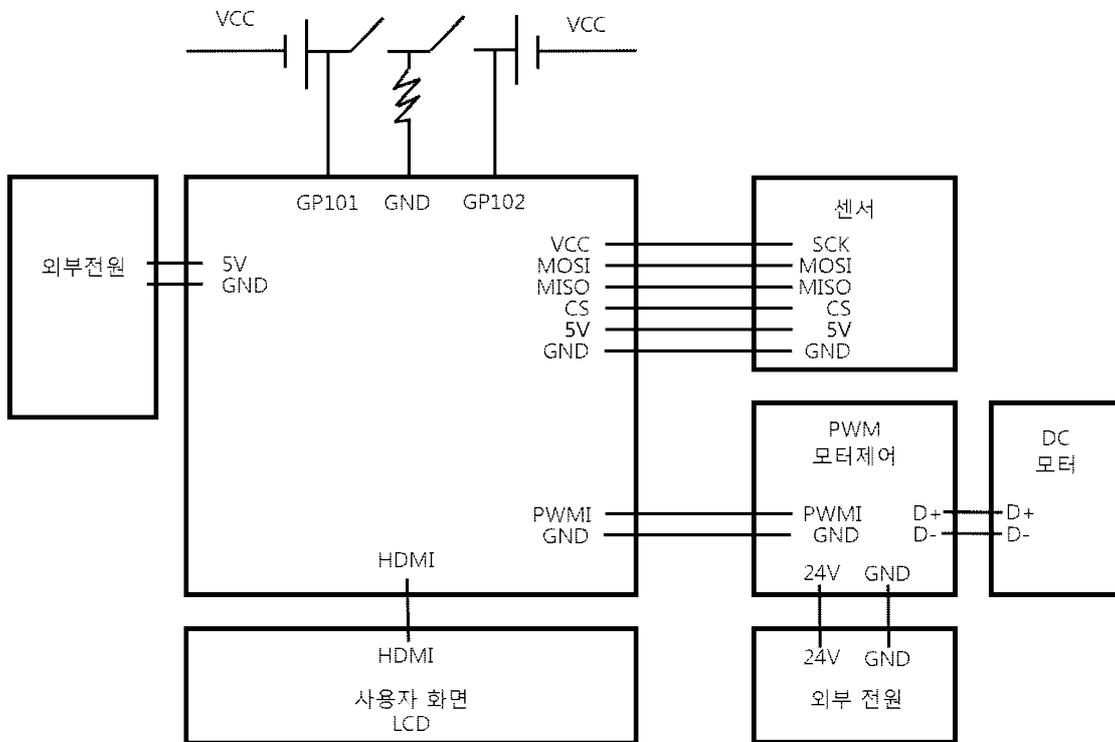


Fig. 217. 천공장치부와 인식제어부의 통합 회로도

- 마이크로 컨트롤러 : 비닐 포장 하부에 대한 2차원 열화상 정보를 취득하기 위하여 열화상 작물 인식 센서부를 분석 하고 그에 상응하는 천공기구부의 속도 조절을 수행할 수 있는 메인 프로세서. 작물 인식 센서부와는 SPI 통신을 수행하며, 16Mhz 내외의 디지털 전송 속도로 초당 9장의 80x60 픽셀에 해당하는 열분포를 분석한 후, 작물의 위치 및 이동 속도를 분석하기 위한 실시간 2차원 배열 분석 프로그램을 내장하였음.
- 열화상 작물 인식 센서부 : 열화상 작물 인식 센서부는 80x60크기의 열화상 픽셀 정보를 59.9 도의 FOV(Field of view)의 각도로 측정하는 역할을 수행함. 이론적으로 초당 9 장을 측정하고 전송할 수 있으나, 이동식으로 신호를 처리할 경우 다소 지연이 발생하여 평균 초당 8.5 장의 영상을 취득하고를 이를 마이크로 컨트롤러 부에 전송함. SPI 통신은

SCK, MOSI, MISO로 불리우는 세가지 신호 결선을 통해 통신을 수행하며 그 외 Chip select를 위한 CS 라인과 VCC/GND로 구성되어 총 6개의 결선이 필요함. 또한 고속 통신 시 외부에서 발생하는 EMI에 영향을 받을 우려가 크므로 회로 내의 결선을 주로 사용하는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 천공작업기의 구도에 적합하도록 SPI 결선을 연장하였음.

- PWM 제어 신호 생성부 : 열화상 작물 인식 센서부의 신호를 분석하고 현재 주행 속도와 이후 천공 조절 속도간의 차이를 계산하여 듀티비(Duty ratio)를 조절함. 기준 속도를 50%로 정해 둔 상태에서 인식된 작물의 위치가 가까우면 50% 이하로 5% 단위로 하향 조정하며, 반대의 경우 5%단위로 상향 조정하는 방식으로 PWM 제어신호를 생성함.

(30) 현장 검증 및 설계검토 및 실용화를 위한 PRM 단계 상향 방안 수립

(가) 모터 제어 성능 검증

- ◇ PWM제어를 기반으로 한 속도 조절 장치의 성능 검증을 위하여 정밀 오실로스코프를 이용한 듀티비를 조사하였으며, 다음 그림과 같이 통합 제어 모듈에서 발생하는 PWM신호는 듀티비에 따른 출력 파형을 보이고 있음.

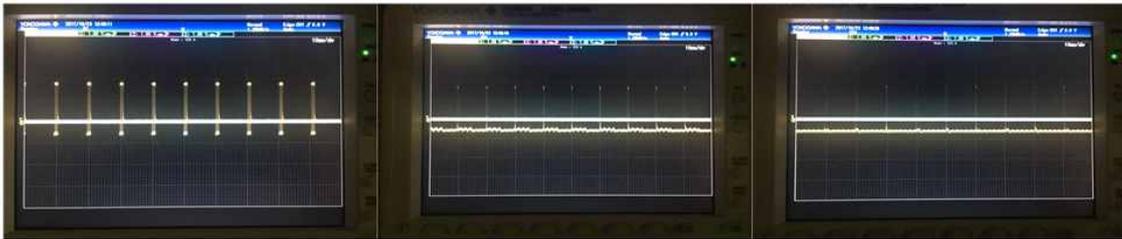


Fig. 218. PWM 출력 신호 측정 데이터 값(듀티비 50%) (좌)모터 속도 10, (중)모터 속도 50, (우)모터 속도 90

(나) 상용화를 위한 Open source 기반 통합 모듈 소프트웨어

- ◇ 다음 그림과 같이 작물 인식 및 천공 속도 조절을 위한 통합 모듈 소프트웨어는 공개 운영 체제인 Linux (Ubuntu 16.04 TLS)에서 공개용 개발도구인 Qt Embedded 5.4를 기반으로 제작되었으며, 하우징 및 LCD 등 주요 구성품을 산업계 일반에서 통용되는 범용 부품을 채용함.



Fig. 219. (좌) Linux 기반 통합모듈 소프트웨어, (우) 범용 하우징 및 표준 제품을 이용한 통합 시작기 제작

(다) 상용 주행 본체 연동 모듈

- ◇ 모듈 형태로 설계된 천공 기구부는 다음 그림과 같이 현장 테스트 베드 실험 수행 중 범용 관리기와 경운기에 모듈 방식으로 탈부착이 가능한 개방형 설계를 지향하였음. 또한, 천공 간격 조절을 위한 천공 기구부의 회전 속도 조절시 도입된 차동 기어 및 제어 로직은 본 과제와 관련된 산업분야에서 진보적인 개념이므로 차동기어를 이용한 연속작업속도 조절기술 특허출원 진행 중임.



Fig. 220. (좌) 동력기에 따른 변형 가능한 천공기, (우) 현장 검증

(31) 인식요소 모듈화 : 센서 어레이와 마이컴의 통합

- ◇ 인식 요소의 모듈화는 작물 인식을 위한 센서부와 센서에서 입력된 신호를 처리하는 마이크로 컨트롤러를 요소로 하여 천공기 제어 시스템 시작기에 적용 가능토록 구성하였음.

(가) 통합 센서 제작

- ◇ 비닐 포장 투과형 콩 초엽 인식 센서어레이 설계 하였는데 센서어레이와 마이컴을 통합하여 하우징 모듈화 하였음. 또한, 열화상 측정 소형 카메라를 하우징에 매립하여 마감 수행함.
- ◇ 작업기의 전원 연결 상태로부터 독립적인 정전원 공급을 위하여 AA규격 건전지 4구를 내삽 후 하우징 하였는데 다음 그림과 같이 마이크로 컨트롤러의 방열을 위하여 방열판을 마이크로 컨트롤러와 모터 드라이브에 각각 설치하였음.

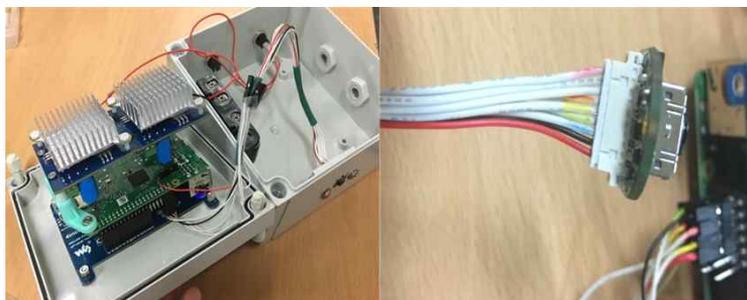


Fig. 221. (좌) 비닐포장 투과형 센서 어레이, (우) 인식모듈 센서

- ◇ 전장회로 시스템 모듈화를 위하여 센서부의 연결을 8핀 클램프 배선을 이용하여 착탈이 가능하도록 설계하고 다음 그림과 같이 회로 시스템 안정성을 위하여 센서 연결부의 길이를 최소화 할

수 있는 In-circuit 방식을 채용함.

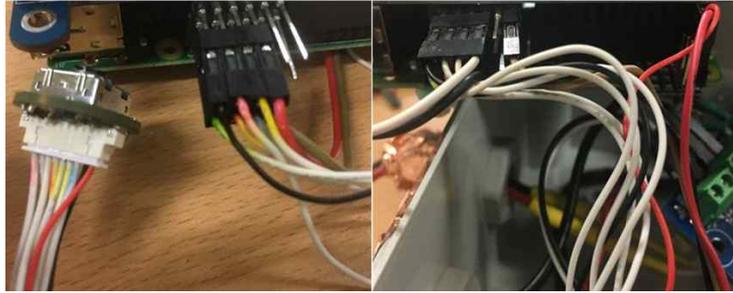


Fig. 222. (좌) 인식 모듈 센서 배선, (우) 센서어레이 접합 연결

- ◇ 다음 그림(좌)과 같이 센서부, 전원부, 중앙처리장치를 모듈형으로 체결하였으며, LCD를 이용한 사용자 인터페이스 외에 스위치 입력이 가능하도록 장비 운영 방식을 다원화 수행하고 그림(우)와 같이 현장 운용시 방진/방습에 대처하기 위한 밀폐형 하우징 및 접속 연결 부위에 방밀형 자제 채용하여 시작품을 제작함.



Fig. 223. (좌) 통합 모듈형 센서 어레이, (우) 하우징 케이스

- ◇ 시작기의 형태에 따라 센서 소자 하우징을 부분 개량하여 본체 내삽형, 케이블 연결형태로 운용 가능하도록 개선하였음.
- ◇ 센서 모듈부만 독립하여 별도 부착 가능하게 하기 위하여 센서 모듈부를 실링된 통신선을 이용하여 배선하고 소형 하우징 마감하고, 시작기 탈부착 가능하도록 타공 및 크기등을 부분 변경하고 관리기, 경운기등에 부착 후 예비 운전을 수행하였으며, 건전지 교체 작업의 어려움을 대처하기 위해 시중에서 쉽게 구할 수 있는 간이 충전 전원방식으로 교체하고 개량, 연동의 형태가 되도록 다양한 설계안 도출하였음.



Fig. 224. (좌)형태별 센서 테스트, (중)개량형 센싱 하우징, (우) 작업기 탈착 여부 테스트

(나) 센서 모듈 작물 인식 성능 요인 실험

- ◇ 2년차 연구 결과를 토대로 열영상의 해상도 80x60으로 상향 개선하였으며, 개선된 센서의 성능 평가를 위한 예비 요신 실험을 수행하였는데, 제식 간격 33cm 기준으로 토양과 매질이 다른 수분을 배치하고 시작기에 장착 후 예비 실험을 수행함.
- ◇ 콩 재배 환경과 상사적으로 동일한 재식 간격 및 비닐포장을 이용하여 실제 환경에 근접한 실험 조건을 형성하고 실제 센서부의 열화상 측정부에서 작물 인식 기능을 사용하여 천공 깊이를 산출하고 검증함.

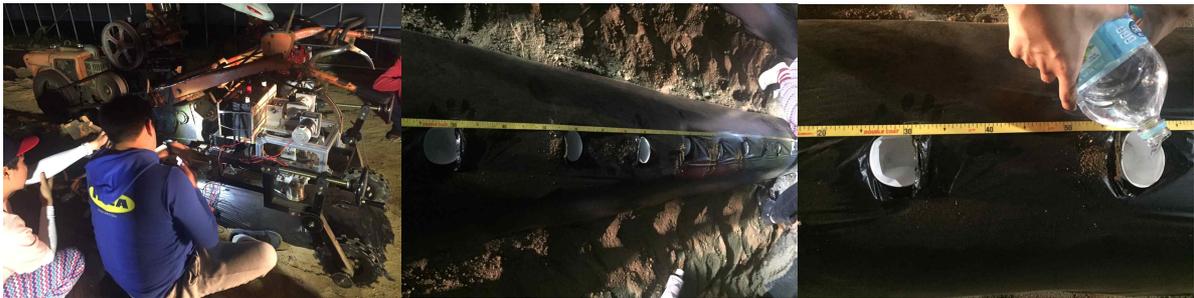


Fig. 225. (좌)작업기 장착, (중) 제식간격 33cm 측정, (우) 영상 인식을 위한 물공급

- ◇ 작물 인식 프로그래밍에서 오류 부분 및 작업기 전자파에 의한 하우징 개선사항 수정하고 작업기 내부의 전자파가 발생하여 센서 모듈의 측정을 방해 요소가 됨을 인지하고 외부 커버 작업을 하였으며, 다음 그림과 같이 알루미늄과 구리 소재를 이용하여 전자파 차단을 수행하였으며, 시작기에 장착하여 전자파 감소 및 차단 효과를 확인하였음.



Fig. 226. (좌) 알루미늄 커버 하우징, (우) 작업기 실착 테스트



Fig. 227. (좌) 구리 커버 하우징, (우) 하우징 수정 모습

(32) 제어요소 모듈화 : 구동 액츄에이터와 마이컴의 통합

◇ 제어 요소는 마이크로 컨트롤러와 DC 모터 제어를 위한 PWM 제어 컨트롤러로 구성되며, 센서 부에서 판단한 작물의 위치 변화에 상응하는 천공 기구부의 구동 속도를 제어할 수 있도록 구성하였음.

(가) 구동 드라이버와 마이컴 통합

◇ DC 모터 제어를 위하여 24V-4A를 이용한 PWM 드라이버를 채용하였으며 100W급의 정전류 Bypass 성능을 가지는 DC 변환 장치를 추가로 설치하고 배선은 IN/OUT으로 구분하여 IN 라인 은 전원공급부, OUT 라인 은 전원 공급, 속도 제어, 듀티비 영역으로 분리하여 배치하였음.

◇ 구동 제어는 LCD 요소에 프로그램되어 있는 UI상에서 수동 제어도 가능하도록 개발하고 다음 그림과 같이 마이크로 컨트롤러와 PWM 제어 장치 및 외부 결선 장치를 체결성이 높은 소자들을 이용하여 모듈형으로 구성하였으며, 개별 요소의 오류 발생 시 교환이 용이하도록 무납땜 체결 방식을 채용하여 클램핑 및 요소간 연결 부위의 불량 접촉을 방지하기 위하여 수축 튜브를 이용한 체결 작업을 수행함.

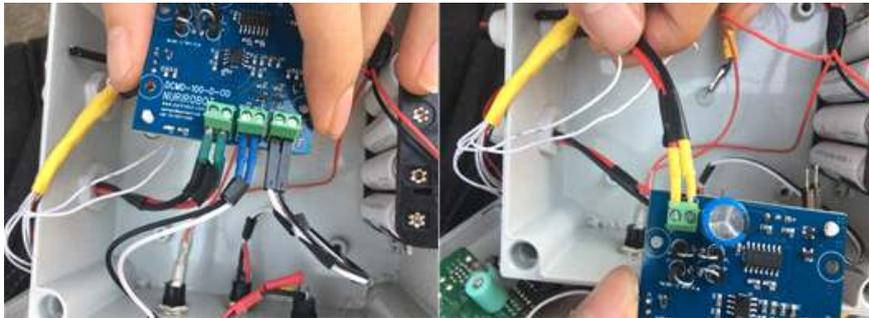


Fig. 228. (좌)모터 드라이브 구동측 연결, (우)모터 드라이브 제어측 연결

◇ 다음 그림과 같이 PWM 제어 요소의 구동 여부 검증을 위하여 시작기에 미장착 상태에서 실내 속도 변화 테스트를 수행하고 PWM 듀티비의 제어는 기준을 50%로 설정한 후 편차 값을 $\pm 5\%$ 로 조절하여 기준 속도와 아울러 수작업에 의한 천공기구부의 회전 속도를 제어할 수 있도록 하였음.



Fig. 229. (좌) 제어 테스트, (우) 천공기 연결 및 실험

(나) 속도 제어 프로그래밍

- ◇ 마이크로 컨트롤러 상의 PWM 제어 포트를 이용하여 PWM 제어를 수행 할 수 있는 사용자 어플리케이션을 다음과 같이 개발하고 센서부에서 입력되는 열영상과 실험의 번호를 확인할 수 있는 문자열 및 측정 중인 열영상의 계측 주기와 현재 PWM 포트에 인가된 듀티비를 확인할 수 있는 정보로 화면 구성함.



Fig. 230. 인식 현황 및 수동 속도 설정을 위한 사용자 프로그램

- ◇ 다음 그림과 같이 기본 속도를 50%로 설정 한 경우 편차 조절 버튼을 이용하여 $\pm 50\%$ 범위의 듀티비 조절이 가능하도록 사용자 입력 버튼을 구성하였으며, 자동 제어 프로그램이 활성화 되는 경우 기본속도는 작업기의 주행속도에 상응하도록 고정되어 있는 수치이나 작물의 상대적 위치 변화에 따라 편차가 조절되는 방식을 구현하였음.



Fig. 231. (좌) 모터속도 최대, (우) 모터속도 최소

- ◇ 수동 제어의 경우 재식 간격이 정확하고 작업기의 주행속도가 일정한 경우에 대응토록 구현하였으며 다음 그림과 같이 10%~100%범위로 듀티비 조절이 가능하도록 하였음.

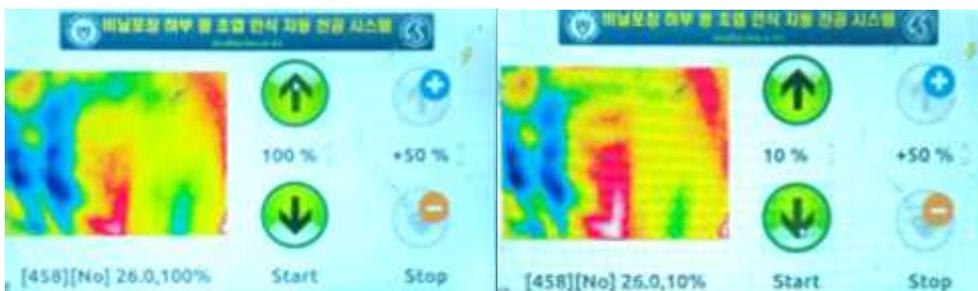


Fig. 232. (좌) 듀티비 최대, (우)듀티비 최소

(다) 회전형 천공 기구부 제어 예비 실험

- ◇ 차동 기어 박스를 이용한 회전형 천공기구부는 다음과 같이 구성되어 있음. 주행 바퀴로부터 취득한 입력축 1과 회전 속도 조절을 위한 모터 회전축에서 취득한 입력축 2의 차이만큼 회전형 천공 기구부를 회전시키는 방식으로 구성되어 있음.
- ◇ 실내 요인 실험을 위하여 주행 바퀴의 입력축에 해당하는 회전 속도를 얻기 위하여 모터 1식을 추가로 구성하여 회전 및 속도 조절 성능을 검증하였는데 사용자 프로그램의 기본 속도 및 편차 조절 버튼을 이용한 회전 속도 조절이 정상적으로 이루어짐을 확인하였으며, 작업기의 주행 단수에 따른 적정 기본 속도 결정을 위한 실외 실험을 실시하였음.



Fig. 233. (좌) 천공기 연결 측면, (우)천공기 연결 정면

- ◇ 다음 그림과 같이 천공 기구부 및 통합 모듈을 작업기에 설치하여 천공 속도 조절 실험을 수행하고 사용자 입력에 따른 천공 간격 조절 실험 수행 후 일부 듀티비 범위에서 속도 변화가 발생하지 않음을 확인하고 이를 보정하기 위한 요인 실험을 수행함.



Fig. 234. (좌) 작업기에 천공기 설치, (중) 하우징 설치, (우) 천공 테스트 진행

(라) 제어 프로그래밍 보정

Table 43. 속도 제어 프로그램 보정 이전 듀티비에 따른 천공 간격

모터설정속도	듀티비	천공 사이 거리 (평균값)(단위 : cm)
-50	10	29.6
-45	15	31.85
-40	20	33.25
-35	25	41.21

- ◇ 1차 예비 실험 결과 다음 표와 같이 천공 -50~-30 (듀티비 10%~25%) 범위에서는 듀티비에 따른 천공 간격의 거리 차이가 비선형적으로 발생하였으나, 모터설정속도 -30(듀티비 25%) 부터 차이가 나타나지 않음.
- ◇ 듀티비 설정의 범위를 수정하고 PWM 제어 신호 발생을 1회 수행하는 방식에서 해당 속도에 이르는 데 필요한 최소한의 Rising time (1초 내외) 동안 지속적으로 PWM 제어 신호를 인가하는 방식을 이용하요 속도 제어 프로그램을 보정함.
- ◇ 다음 표와 같이 전 범위에 걸쳐서 천공 간격의 변화가 발생함을 확인하였으나, 듀티비60 이상에 의 변화는 미미 한 것으로 나타남. 회전형 천공 기구부의 회전 메커니즘의 회전축 중심의 직각면을 기준으로 좌우 비대칭인 관계로 인하여 주행축의 방향과 같은 방향으로 회전이 증가할 경우 측면 추력이 추가적으로 발생하여 회전 저항의 형태로 속도 변화를 방해하는 요소라고 판단되었음.
- ◇ 이를 해결하기 위하여 0%~50%범위의 듀티비 범위에서 천공 간격 변경이 가능하도록 시작기의 주행 속도를 조절하기로 함 (Table 44).

Table 44. 속도 제어 프로그램 보정 이후 듀티비에 따른 천공간격

모터설정속도	듀티비	천공 평균거리 (cm)
40	90	49.24
30	80	48.14
20	70	47.58
10	60	47.12
0	50	46.10
-10	40	45.75
-20	30	42.22
-30	20	41
-40	10	35
-50	0	30

(33) 인식/제어요소 통합 모듈화 : 전장회로 시스템 모듈화 기술 및 보호회로 채용

- ◇ 인식 요소/제어 요소를 통합하기 위하여 인식 요소에서 사용한 마이크로 컨트롤러와 제어 요소에서 사용한 마이크로 컨트롤러를 동일 시스템에 내장 하였으며, 아울러 사용자 UI, 전원부등을 통합하여 통합 인식/제어기 시작기를 제작하였음.

(가) 센서 계측 정보를 이용한 천공기 속도 조절 알고리즘

- ◇ 차동 기어 장치를 이용하여 주행축과 제어모터의 속도차를 이용하여 천공속도를 조절하고 결과적으로 천공 간격을 조절하고 센서에서 산출한 작물의 위치 정보로부터 천공 시점을 결정하고 PWM 신호형태로 모터에 전달됨.
- ◇ 작업기가 전진할 경우 주행축으로부터 1차 회전 입력이 발생하며, PWM 신호가 0%인 경우

100% 천공 회전 기구부에 동력이 전달되고 작업기의 진동 및 지형변화에 대응하기 위하여 출력 축 연결 부분을 유니버설 조인트로 연결하여 회전축의 상대 각도 변화에 대응토록 통합함.

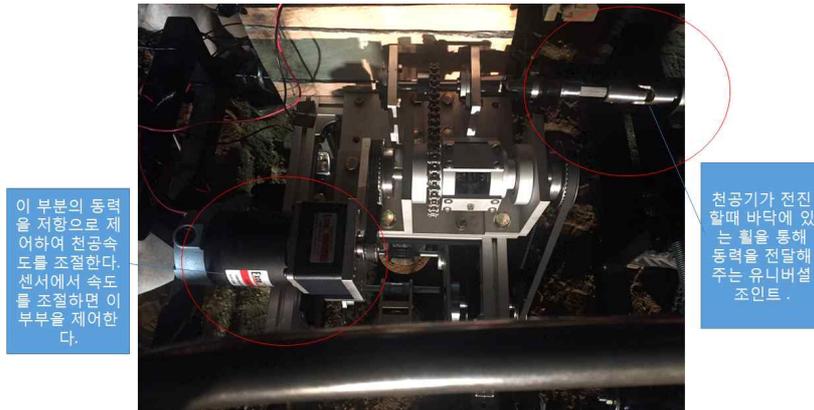


Fig. 235. 차동 기어 박스를 이용한 천공 간격 조절 메커니즘

(나) 통합 모듈 전원부와 전자파 차단 마감

◇ 통합 시작기에 안정적인 전원을 공급하기 위한 5V, 3000mh 배터리를 추가 장착하고, LCD 전면을 제외한 전면을 구리 소재의 전자파 차폐로 마감하고 센서 연결 확장 케이블 및 모터 연결 확장 케이블의 실링을 위하여 전자파 소재로 마감하였으며, 그림과 같이 전원 인가시 소프트웨어의 기본 운영체제 수행 후 전원부, 센서부, 제어부 검사 루틴을 통과한 후 통합 모듈의 사용자 어플리케이션 수행함.

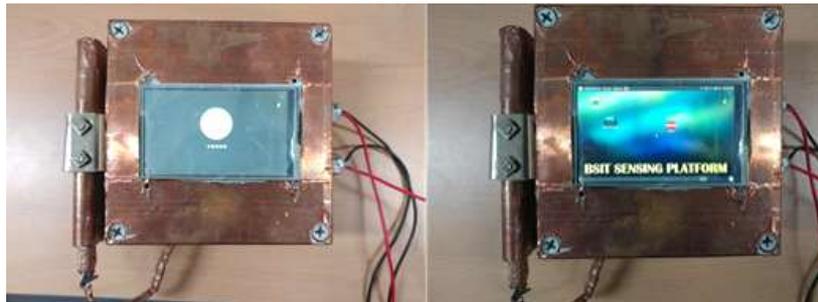


Fig. 236. (좌) 배터리 장착 및 전자파 차단 소재 마감, (우) 전원 인가시 정상 작동화면

◇ 그림과 같이 열영상 취득 시스템은 초당 9장의 영상을 80x60 크기의 픽셀로 취득하여 FOV가 59 degree 로 20cm 지상고를 기준으로 24cm x 18 cm의 영역에 대한 열분포 측정이 가능함.



Fig. 237. (좌) 열화상 측정 화면, (우) 비닐포장 투과 후면 열분포 측정 실험

(다) 통합 모듈을 장착한 작업기 시작기의 요인 실험

- ◇ 통합 모듈부를 시작기 작업기에 설치하고 요인 실험을 수행하였는데, 실외 테스트 배드 (충북, 오창 소재)에서 파종 후 비닐포장 도포를 완료 한 후 통합 모듈 기본 요인 실험을 수행함. 실험 도중 통합 모듈의 전원이 불규칙적으로 인가되지 않은 상황 발생으로 실험 지속이 곤란하여 시작기로 선정된 관리기의 발전기 요소에서 발생하는 전자파의 영향을 받는 것으로 판단되어 이를 해결하기 위한 전자파 차단 보완 후 재실험을 수행함.



Fig. 238. (좌) 작업기 장착 완료 모습, (우) 현장 테스트 베드 실증 모습

(라) 전자파 차단 보완 후 요인 실험

- ◇ 통합 모듈의 구리 와 알루미늄을 추가적으로 재도장 한 후 재실험 수행하였으나, 지속적인 인식 성능에 문제가 있음을 발견하여 그림(우)과 같이 정지 영상에 대한 작물의 인식은 정확하였으나, 주행 중 통합 모듈의 운영에 문제가 발생하여 관리기를 이용한 실험을 경운기를 이용한 실험으로 대체함.



Fig. 239. (좌) 구리 커버 하우징 장착, (우) 비닐포장 하부 작물 인식 결과

(마) 통합 시작기의 주행 본체를 경운기로 변경 후 현장 요인 실험

- ◇ 초당 9장의 영상정보를 얻는 과정에서 센서 모듈 연결 도선에 발생하는 과도한 유도 저항이 외부에서 간섭으로 작용하는 전자파가 상호 작용으로 센서 모듈의 작동이 지속적으로 유지 못하는 문제점을 발견하여 다음 그림과 같이 대체적으로 경운기에 통합 모듈을 설치하고 요인 실험을 한 결과 지속적인 계측과 제어가 가능함을 확인함.



Fig. 240. (좌) 천공 속도 제어 테스트, (우) 동력기기에 하우징 설치

- ◇ 다음 그림과 같이 경운기의 기어 변수에 따라 차동 속도 조절 장치의 입력 축 속도를 조절하고 작물 인식과 무관한 천공 간격 조절 실험을 우선 수행하였는데, 1단의 경우 평균적으로 30.33cm, 2단의 경우 27.55cm, 3단의 경우에는 26.13cm의 값이 측정되어 이를 기준으로 천공 간격 조절 알고리즘의 변수로 하였음.



Fig. 241. (좌) 주행 본체 교체 후 통합 모듈 설치, (우) 테스트 베드 실제 천공 모습

(바) 주행 본체 수정 후 열화상 계측 보정 실험

- ◇ 다음 그림과 같이 천공기 속도와 인식 시스템의 오차로 인해 비닐 멀칭이 밀리는 문제가 발생하였으며, 지상고의 변화에 적응하지 못하여 비닐이 찢기는 상황이 주로 발생하였는데, 연속적으로 측정된 열영상과 실제 작물 거리간의 오차 분석을 위하여 실제 작물 간격과 천공기 작업 거리 측정 및 오차를 산출함.

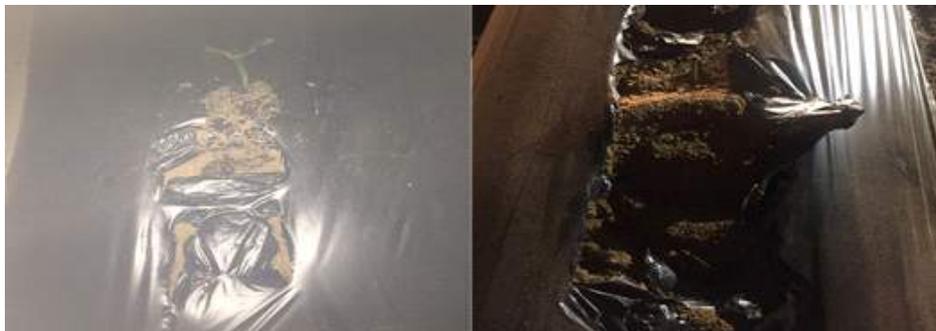


Fig. 242. (좌) 멀칭된 비닐에 작물이 밀린 사진, (우) 천공기에 밀려서 비닐천공 파손

◇ 다음 그림과 같이 고속 주행으로 인하여 천공 작업을 마무리 하지 못한 경우도 발생하였으며, 이를 보완하기 위한 주행 속도 재검증 요인 실험을 병행하여 수행함.



Fig. 243. (좌) 천공이 제대로 되지 않은 경우, (우) 현장 검증 사진

◇ 실제 작물의 거리를 수기로 측정하고 천공 간격을 조사하여 오차 요인이 발생하는 원인 재점검 및 천공 간격 조절 알고리즘을 현장 상황에 맞게 재수정함.



Fig. 244. (좌) 실제 작물 거리 측정, (우) 천공 간격과 작물 거리 비교 측정

(사) 제식 간격과 천공 거리 결정 알고리즘 보완

◇ 상기 천공 간격 조절을 위한 알고리즘 보완 후 현장 검증 실험을 수행하였으며, 초기 3-4구 이후 실제 작물 간격과 일치 (제어기 속도 조절값 : 10%/-50% 가동)함을 확인하고 다음 그림과 같이 콩 작물이 이식 위치와 천공 후 위치를 반복 점검 하면서 천공 정밀도 분석을 수행함.



Fig. 245. (좌) 천공 거리와 작물 거리 분석, (우) 멀칭된 비닐과 작물 대조 실험

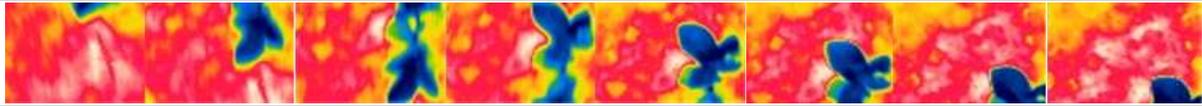
◇ 총 5회에 걸친 실험 결과 오차율이 -0.3cm~6.3cm 내외 이었으며, 3차-5차 실험 기간 중에는 오차의 크기가 1cm 이하로 나타났음. 단 영상정보가 부족한 초기 시작 부분에서는 다소 오차가 높음을 확인할 수 있었음. 비교 실험을 위하여 비닐 포장을 제거한 경우의 실험에서도 유사한 결과를 얻을 수 있음. 이를 통해 열화상 기반 작물 위치 방식이 유효함을 재확인할 수 있음.

Table 45. 열화상 기반 작물 위치 인식 후 자동 천공 실험 결과

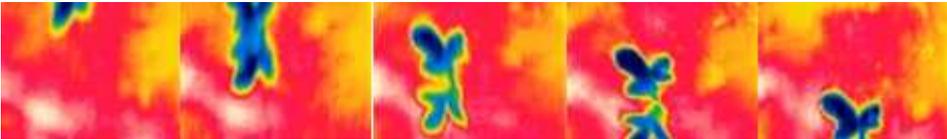
	1차 실험	2차 실험	3차 실험	4차 실험	5차 실험
천공시간 (초)	40.67	36.48	34.23	11.51	32.51
제식거리 (평균)	32.71	33.26	33.36	32.56	32.68
천공거리 (평균)	36.81	39.63	33.13	32.06	32.31
거리오차 (cm)	4.10	6.3	-0.2	-0.5	-0.3
포장상태	비닐(X)	비닐(X)	비닐(X)	비닐(O)	비닐(O)

(자) 작물 인식 열화상 정보 분석

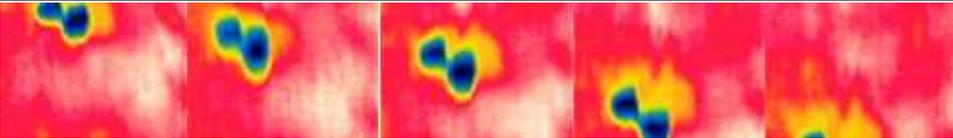
◇ **1차 실험** : 다음과 같이 오후 측정시간의 열화상 정보는 비닐 포장 하부의 작물의 형상까지 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있음. 8프레임의 범위에서 나타남을 고려할 때 대략 1초 미만의 시간 동안 추적이 가능함.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
투명	10	8 sec	PM 02:30	41℃	42%

◇ **2차 실험** : 열화상 센서의 지상고를 15cm 로 조절 경우에도 뚜렷이 나타나고 있으며 5프레임에 걸쳐서 작물의 위치가 파악이 가능함.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
투명	15	3 sec	PM 03:00	39℃	56%

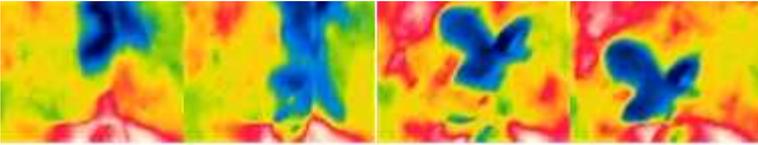
◇ **3차 실험** : 비닐포장을 제거한 경우에도 비닐 포장 동일 형태로 인식이 가능함을 확인하였음.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
없음	15	7 sec	PM 03:15	45℃	36%

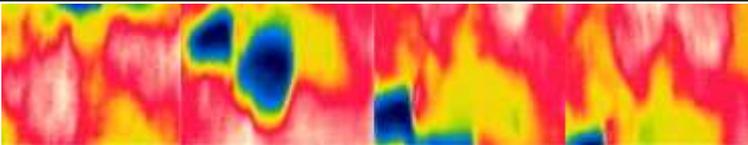
◇ 4차 실험 : 지상고를 20cm로 높인 경우에도 5프레임의 범위에서 작물의 위치 파악이 가능함.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
없음	20	7 sec	PM 03:30	41℃	45%

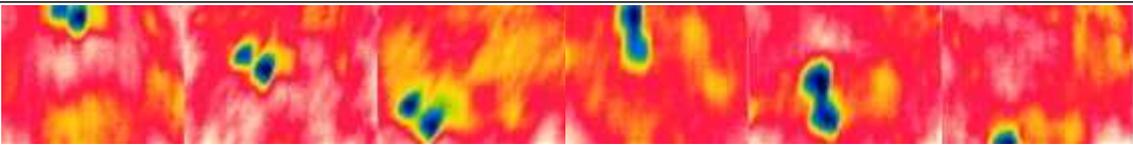
◇ 5차 실험 : 주행 속도를 빨리 한 경우 정확히 인식 가능한 프레임의 수가 반으로 감소함.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
투명	10	4 sec	PM 03:00	41℃	46%

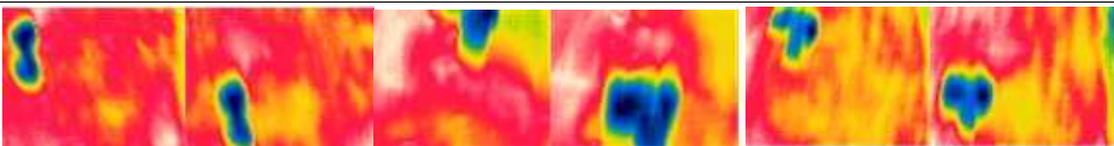
◇ 6차 실험 : 열화상 계측 모듈의 지상고를 10cm로 조절하고 주행 속도를 낮춘 경우에는 4프레임의 범위에서 인식 가능하나 다른 인자를 적용한 결과 대비 상대적으로 부정확한 인식률을 보임.

					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
없음	10	7 sec	PM 03:10	45℃	38%

◇ 7차 실험 : 재식 간격이 좁은 경우 다음 그림과 같이 3프레임을 넘어설 경우 다음에 위치한 작물 인식 가능함.

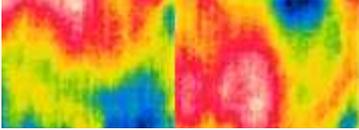
					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
없음	20	7 sec	PM 03:30	41℃	45%

◇ 8차 실험 : 재식 간격이 더 좁은 경우 2프레임 마다 새로운 작물이 등장하므로, 최소 2프레임을 기준으로 작물 위치 파악이 필요함.

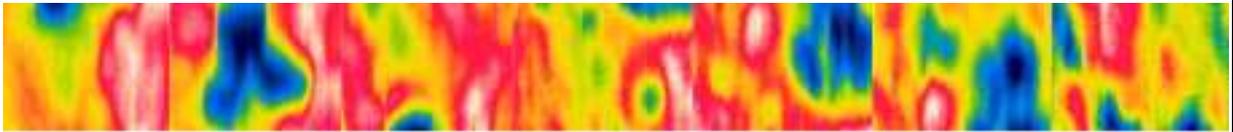
					
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간	지온	습도
없음	20	7 sec	PM 03:30	41℃	45%

(아) 작물 인식 기반 속도 조절 결과 분석

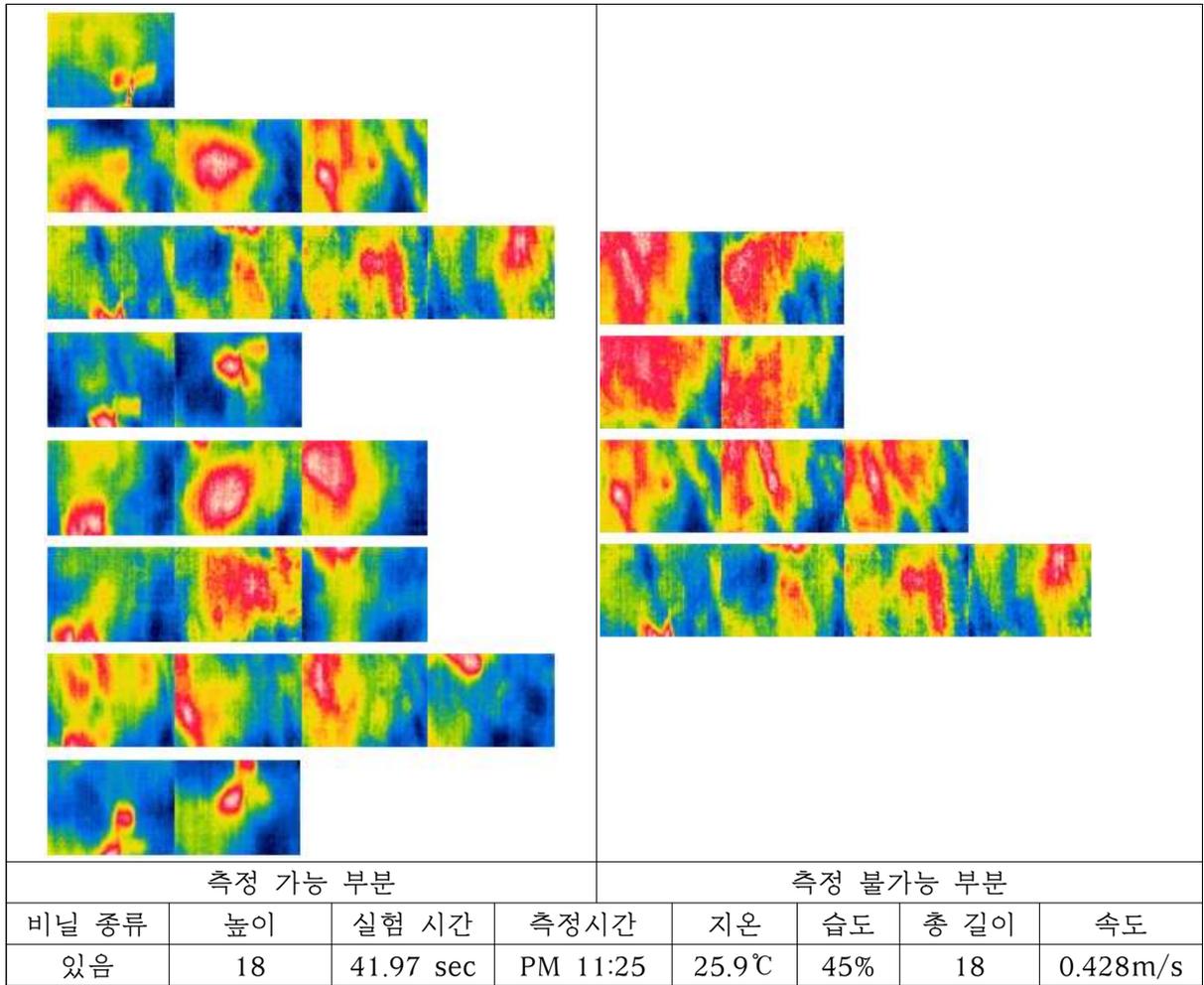
◇ **1차 실험** (속도 10%, 듀티비 -50%) : 2프레임을 기준으로 인식하는데 소요되는 시간은 0.75초이며 배경과 작물의 구별이 가능하나 다음 그림과 같이 초엽기를 지나 배경보다 작물의 차지하는 비중이 큰 경우 기하학적인 유사 패턴의 위치 변동 확인이 부정확한 경우가 발생함.

			
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간
없음	19	0.75 sec	PM 03:00

◇ **2차 실험** (속도 10%, 듀티비 -50%) : 다음과 같이 연속한 프레임에서 0.9초를 넘어설 경우 작물의 위치 추적이 불가능함을 확인하였음. 따라서 한 개체를 인식하는데 최대 0.7초 이내에 분석이 완료되어야 한다고 판단됨.

			
비닐 종류	높이	실험 시간	측정시간
없음	19	0.9 sec	PM 02:30

◇ **3차 실험** (속도 10%, 듀티비 -50%) : 다음과 같이 인식이 가능한 경우와 불가능한 경우를 구별할 수 있으며, 인식이 불가능한 경우에는 최근에 측정된 작물의 위치 정보를 바탕으로 속도를 유지하는 방식으로 대안 제공이 가능함. 앞서 기술한 바와 같이 천공 초기 시점에서 위치 인식의 정밀도가 상대적으로 낮으나 진행할수록 작물의 위치 인식에 따른 천공 간격 조절이 성공적인 이유로 파악됨.



◇ 천공장치의 작동 개념은 다음과 같고 동력제어부의 개념을 도식화하면 Fig. 246과 같음.

- ① 구동륜 바퀴의 움직임으로 인해 발생하는 동력이 차동 기어에 전달됨
- ② 센서부인 열화상 장비에서는 실시간으로 취득한 영상이 모터 동력 전달부를 거쳐서 차동기어에 리얼타임으로 실시간 속도를 조절하기 위한 로직의 신호가 전달됨
- ③ 이러한 로직을 기본으로 차동기어에서는 속도를 조절하는 시그널을 회전부 기어에 보내게 되고 이는 천공 삽입부의 속도를 제어하며 작물을 인지한 후 실시간으로 상황에 대응

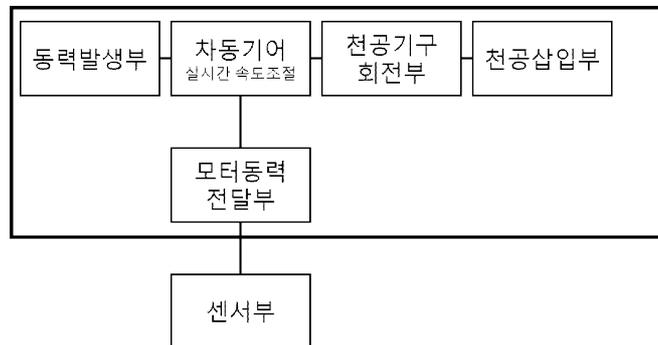


Fig. 246. 동력 제어부의 개념 도식화

- ✓ 동력 발생부
구동륜 바퀴에서 지면과 마찰을 통해 발생한 구동력이 차동 기어에 입력되는 1동력원임.
- ✓ 차동 기어 (실시간 속도조절)
제1동력원이 구동바퀴의 회전동력과 2동력원인 DC모터의 회전 동력원의 차이에 의해서 출력축에 해당하는 회전 천공 기구부의 속도를 연속적으로 조절 수행 가능. 구동바퀴의 구동력에 의해 전달된 동력이 차동제어장치로 연결되어 있으며 센서를 통해 작물의 위치를 추적하여 정밀하게 제어할 수 있도록 설계임.
- ✓ 천공기구 회전부
차동 기어에서 결정된 최종 회전 속도에 따라 180도 회전 시 1회 천공을 수행하는 천공 기구부임.
- ✓ 천공 삽입부
천공기 양쪽에 설치되어 천공기의 지지와 구동륜의 높이를 조절하여 천공 깊이를 조절하여 노면 상태에 따른 미세 주행속도에 멀칭 비닐의 밀림 현상을 방지하여 식재 작물을 보호하며, 비닐 천공 후 크랭크가 상행할 때 천공칼날에 박힌 이물질이 자중에 의해 밀어냄.
- ✓ 모터 동력전달부
중간 힌지 부분에 아이들 스프라켓 설치와 좌우 움직임에 대응하고자 스플라인이 설치된 유니버설 조인트를 설치하여 안정된 동력을 전달함.

◇ 천공장치의 센서 융합 회로 개념 및 동력제어부의 개념을 도식화하면 Fig. 247과 같음.

- ✓ 센서 부분에서는 작물 인식 센서인 열화상 카메라가 작물의 유무를 인지하고 판단할 데이터를 마이크로 컨트롤러에 제공하고 전달받은 데이터를 인식하여 사용자 화면으로 리얼타임으로 보내줌.
- ✓ 마이크로 컨트롤러는 안정적이고 진동의 영향을 받지 않도록 하기 위해 5V 마이크로 5핀의 보조 배터리 전원을 공급받아 작동하며, 취득된 데이터를 기반으로 천공 장치 속도 제어를 위한 신호를 PWM 제어기를 거쳐서 전달함.
- ✓ PWM 전원은 동력 기기인 작업기에 별도의 외부 전원 공급원을 이용하여 신호를 증폭시켜 DC모터로 전송함.
- ✓ DC모터는 신호를 모터 동력부로 전달하게 되며 이를 통해 실시간으로 작물에 따라 속도를 조절함.
- ✓ 사용자의 편의성을 돕기 위해 LCD 보드를 함께 설치하여 실시간 영상 획득 신호를 리얼타임으로 볼 수 있도록 하였고, 손쉬운 조작을 위해 터치 입력부를 통해 듀티비와 모터 속도를 각각 10~100, -50~50의 범위 내에서 조절함.
- ✓ 통합 제어 시스템 기기에 열화상 획득 시점과 모터 드라이브 제어 시점, 마이크로컨트롤러

전원을 3개의 별도 스위치로 분류하여 사용자가 원하는 시기에 시스템을 작동함.

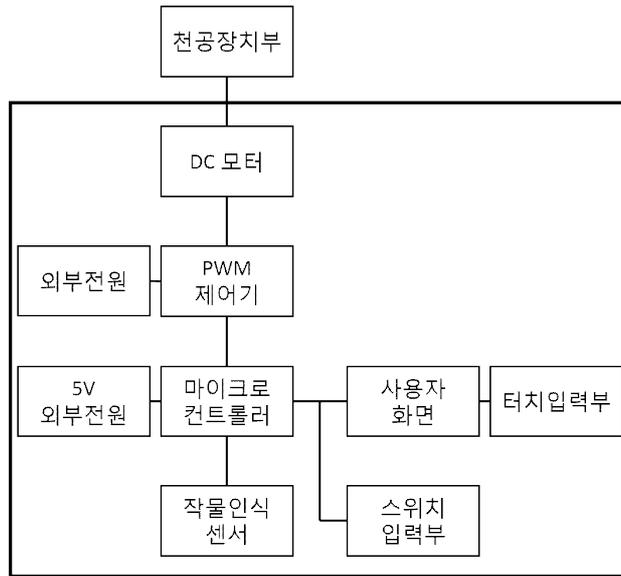


Fig. 247. 센서 인식부의 개념 도식화

<< 성능평가는 모터 성능평가와 천공 성능평가로 진행 >>

(가) 모터 성능평가

- ◇ 모터 성능 평가 결과 초기 1회 시험에는 순수한 동력 기기인 작업기의 힘으로만 천공 거리를 측정하여 1단에서 3단으로 갈수록 사이 간극이 줄어드는 데이터를 획득함.
- ◇ 모터 동력 제어 부분을 테스트하기 위하여 듀티비는 고정시키고 모터 제어 속도를 -50에서 -35까지 조절해가면서 천공 작업을 진행함.
- ◇ 이에 따라 작업기기의 기어는 1단을 유지시키고 제어기의 천공 작업의 속도를 조절하여 -50에서 -35로 갈수록 천공 거리가 늘어나는 것을 확인함.
- ◇ 듀티비 값을 50으로 조정하고 모터속도의 범위만큼 제어를 실시하여 천공 거리를 확인함.
- ◇ -50에서 40까지는 약 19.24 cm의 차이가 나타남을 확인함.
- ◇ 3회의 실험 결과 동력 발생부의 힘이 실시간으로 제어가 가능함을 확인하였고, 그 거리의 차이가 명확하게 나타남을 증명함.

(나) 천공 성능평가

- ◇ 천공 성능 평가 결과 총 5회에 걸쳐 작물을 인식하는 실험을 진행하였으며, 취득 항목으로는 총 천공시간, 실제 작물제식거리, 실제 천공된 거리, 실제 작물거리와 천공거리의 오차, 그리고 비닐 포장 상태를 측정함.

- ◇ 초기 2회까지의 실험의 경우 작물 인식을 테스트하기 위하여 비닐 포장이 없는 상태에서 천공하였고, 이후 비닐을 씌운 실제 현장에서의 환경을 테스트 함.
- ◇ 1~2회 실험과정에서 거리오차가 부분적으로 나타났으며 그 오차범위 최대값이 6.3 cm 나타남.
- ◇ 부분적으로 열영상 인식 부분에서의 프로그래밍을 수정하고 3회 시험에서 측정한 결과 거리 오차가 -0.2로 나타났고, 이후 4~5회 시험은 비닐을 씌운 다음 인식을 측정함.
- ◇ 거리오차의 최대값이 -0.5 cm를 벗어나지 않았고, 실제 현장에 적용해도 될 것으로 판단함.

Table 46. 모터 성능평가 데이터

	1단	2단	3단
1회 시험	30.33(cm)	27.55(cm)	26.13(cm)
	모터속도	듀티비	천공거리 (cm)
2회 시험	-50	10	29.6
	-45	10	31.85
	-40	10	33.25
	-35	10	41.21
3회 시험	40	50	49.24
	30	50	48.14
	20	50	47.58
	10	50	47.12
	0	50	46.10
	-10	50	45.75
	-20	50	42.22
	-30	50	41
	-40	50	35
	-50	50	30

Table 47. 천공 성능평가 데이터

순차	천공시간 (sec)	제식거리 (cm)	천공거리 (cm)	거리오차 (cm)	포장상태
1회 시험	40.67(s)	32.71	36.81	4.1	비닐(X)
2회 시험	36.48(s)	33.26	39.63	6.3	비닐(X)
3회 시험	34.23(s)	33.36	33.13	-0.2	비닐(X)
4회 시험	11.51(s)	32.56	32.06	-0.5	비닐(O)
5회 시험	32.51(s)	32.68	32.31	-0.3	비닐(O)

(34) 경제성 평가

- ◇ 자동천공기의 경제성평가는 연간소요비용 산정으로 산출하였는데, 기계장치의 구입가격 950천 원, 작업 성능 10.2 시간/ha (9.8 a/시간), 내용연수 5년, 잔존가 0%, 연이율 5%, 농업노동임금 등을 적용하여 분석하였음.
- ◇ 작업성능이 증가할수록 (단위면적을 작업소요시간의 증가) 비용이 증가하며, 연간사용시간이 증가할수록 (연간이용면적의 증가) 비용이 감소하며, 적용된 산출근거 및 분석조건은 다음과 같음.
 - 내용연수 : 5년
 - 공통) 감가상각비 : 직선법=(구입가-잔존가)/내용연수
 - 공통) 잔존가 0%, 연이율 5%
 - 작업성능 : 9.8 a/시간 (10.2 시간/ha) ←최저사양으로 분석
 - 연간사용시간 : 400시간 ← 이용면적 3.92 ha 기준으로 산정
 - 공통) 수리비계수 (1년차 : 2.6%, 2년차 : 3.4%, 3년차 : 5.3%, 4년차 : 6.8%, 5년차 : 8.2%)
 - 공통) 연료비 : 면세경유 1,180원/L+윤활유비 (연료비의 30%) ← 201710 수원지역 최고가
 - 공통) 연료 소모량 : 10L/시간
 - 공통) 인건비 : 남성 107,415원/일, 여성 70,857원/일, 2017 1/4분기 농업노동임금 (통계청)
 - 공통) 기계운전자 인건비 : 남성/여성 인건비의 1.4배
 - 인건비 계산) 통합형 베일러 : 남성 운전자 1인
- ◇ 자동천공기는 작업성능 10.2 시간/ha과 연간이용면적 3.92 ha (이용시간 400시간)에서 분석 3차년 기준 (Table 1)으로 1 ha 기준으로 연간소요비용은 57,237원이 소요되며, 5년 합계 286,188원이 소요된다. 그러나 연간이용면적이 작아지면 연간소요비용은 급증하게 됨. 그리고 5년간 시간당 고정비는 606원에서 538원으로 감소하며, 시간당 유동비는 46,538원으로 고정됨.
- ◇ 자동천공기 (구입가격 950천 원, 작업성능 10.2 시간/ha (9.8 a/시간))은 이용면적이 증가할수록 연간소요비용이 감소함. 이용면적이 감소하면 연간소요비용이 급격하게 증가하여 경제성이 심각하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한, 자동천공기의 이용에 따른 연간소요비용의 산출은 고정비와 유동비를 고려하였으며 설정된 조건에서 임작업 등을 고려하여 분석하였는데 산출결과는 다음과 같음.
- ◇ 여기에서 1, 2차년도 현장실험결과, ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers (미국농공학회) Standards D497.4)의 표준식에 준한 사일리지 조재기의 성능평가 (산출근거: 일반작업효율 70%를 적용하였음.)에서 작업성능은 산출근거에 준해 시간당 9.8 a를 적용하였음.

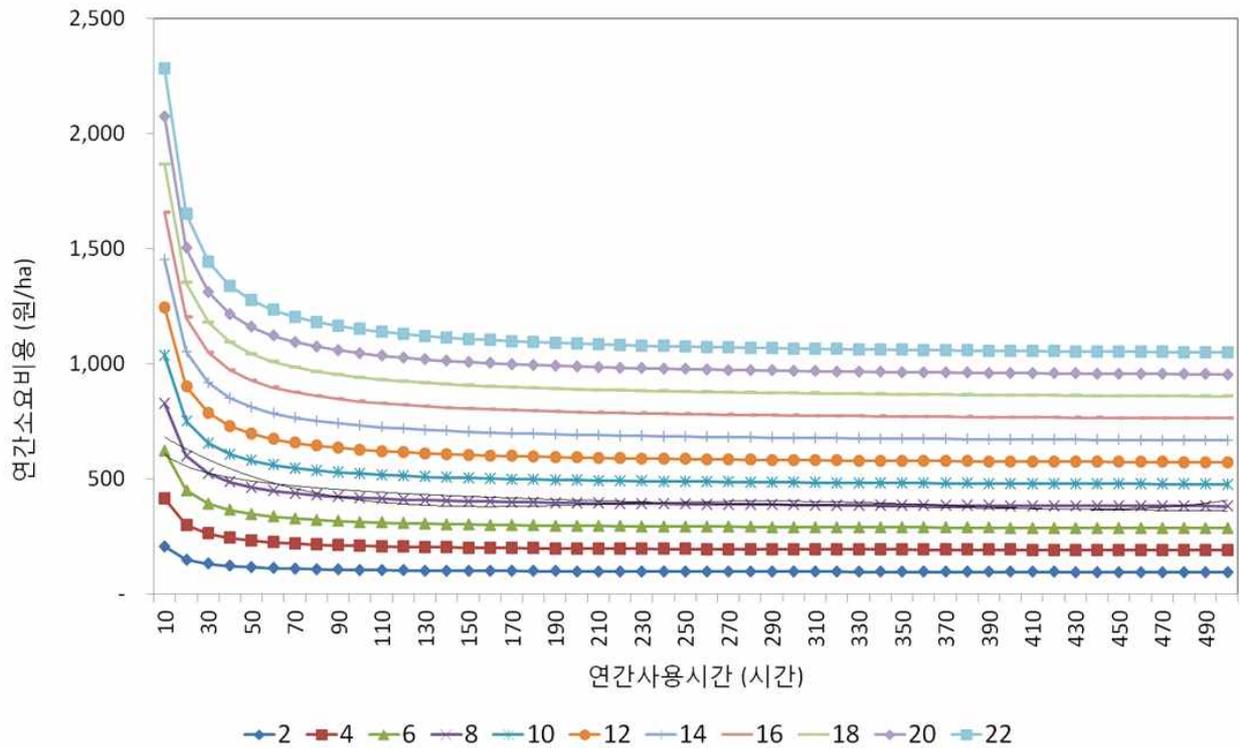
Table 1. 자동천공기의 1 ha 기준 연간소요비용 분석 (단위 : 원)

구 분		자동천공기					
구입가격 (원)		950,000 (작업기 제외)					
내용연수 (년)		5					
연간사용시간 (시간/년)		400					
년차		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	
연 간 고정비 (원/년)	감가상각비	190,000	190,000	190,000	190,000	190,000	
	수리비	4,940	6,460	10,070	12,920	15,580	
	자본이자	47,500	38,000	28,500	19,000	9,500	
	소계	242,440	234,460	228,570	221,920	215,080	
시간당고정비 (원/시간)		606	586	571	555	538	
시간당 유동비 (원/시간)	인건비	남성	18,798	18,798	18,798	18,798	18,798
		여성	12,400	12,400	12,400	12,400	12,400
	유류비	15,340	15,340	15,340	15,340	15,340	
	소계	46,538	46,538	46,538	46,538	46,538	
시간당비용 (원/시간)		47,144	47,124	47,109	47,093	47,076	
작업성능 (시간/ha)		1.215	1.215	1.215	1.215	1.215	
연간소요비용 (원/ha)		57,280	57,256	57,237	57,218	57,197	
		5년 합계 286,188원(연 평균 57,238원)					

- ◇ 자동천공기를 이용한 천공작업은 연간사용시간이 연간소요비용을 크게 변화시키는데 500시간 기준으로 477천원, 400시간 기준으로 480천원, 300시간 기준으로 484천원, 200시간 기준으로 494천원, 100시간 기준으로 522천원, 50시간 기준으로 580천원으로 분석됨.
- ◇ 이는 연간사용시간이 500시간 기준으로 400시간, 300시간, 200시간, 100시간, 50시간으로 감소할 때 1 ha에 대한 연간소요비용은 각각 100.6%, 101.5%, 103.6%, 109.4%, 121.6% 증가하는데 연간사용시간이 줄면 연간소요비용이 급격하게 증가하는 것을 의미함.
- ◇ 개발된 자동천공기는 고정비 중에서 감가상각비, 수리비, 자본이자와 유동비 중에서 시간당 부담되는 인건비, 유류비 등이 고정된 상태에서 연간사용시간 (연간이용면적)이 경제성을 좌우하는 것으로 나타남.
- ◇ 따라서 이용면적을 확보하기 위해 임작업 형태로 이용하거나 공동사용 등으로 경제성을 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 그리고 자동천공기의 경제성분석은 작업기 일반의 법정 내용연수 5년을 적용하여 분석한 결과임.

Table 2. 자동천공기, 작업성능 및 이용면적 변화에 따른 연간소요비용 분석 (단위: 천원/ha)

연간이용면적 (ha)	연간사용시간 (시간)	작업성능 (시간/ha)										
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
0.08	10	207	415	622	829	1,036	1,244	1,451	1,658	1,865	2,073	2,280
0.16	20	150	300	451	601	751	901	1,051	1,201	1,352	1,502	1,652
0.25	30	131	262	393	525	656	787	918	1,049	1,180	1,311	1,443
0.33	40	122	243	365	487	608	730	851	973	1,095	1,216	1,338
0.41	50	116	232	348	464	580	695	811	927	1,043	1,159	1,275
0.49	60	112	224	336	448	561	673	785	897	1,009	1,121	1,233
0.58	70	109	219	328	438	547	656	766	875	985	1,094	1,203
0.66	80	107	215	322	429	537	644	751	859	966	1,074	1,181
0.74	90	106	212	317	423	529	635	740	846	952	1,058	1,163
0.82	100	104	209	313	418	522	627	731	836	940	1,045	1,149
1.23	150	101	201	302	403	503	604	705	806	906	1,007	1,108
1.65	200	99	198	296	395	494	593	692	790	889	988	1,087
2.06	250	98	195	293	391	488	586	684	781	879	976	1,074
2.47	300	97	194	291	388	484	581	678	775	872	969	1,066
2.88	350	96	193	289	385	482	578	674	771	867	963	1,060
3.29	400	96	192	288	384	480	576	672	767	863	959	1,055
3.70	450	96	191	287	382	478	574	669	765	861	956	1,052
4.12	500	95	191	286	381	477	572	668	763	858	954	1,049



(35) 센서 융합형 자동 천공기계 실외성능 평가 및 개발 사양 (종합)

	구분	목표사양	연구개발결과																																											
장치부	적용 규격	5hp 이상 관리기 부착형	<p>■ 다목적관리기 (AMC-880S) 적용</p>  <p>[관리기 부착형 센서 융합 천공 시스템 시작기]</p> <table border="1" data-bbox="619 1137 1414 2018"> <tbody> <tr> <td rowspan="4">기체치수</td> <td>전장 (mm)</td> <td>1880</td> </tr> <tr> <td>전폭 (mm)</td> <td>850</td> </tr> <tr> <td>전고 (mm)</td> <td>1195</td> </tr> <tr> <td>중량 (kg)</td> <td>170</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">탑재엔진</td> <td>명칭</td> <td>DE-300BATS</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>공냉 단기통 가솔린 엔진</td> </tr> <tr> <td>실린더경*행정</td> <td>78*62</td> </tr> <tr> <td>배기량 (cc)</td> <td>296</td> </tr> <tr> <td>정격출력</td> <td>4.8/1800 (ps/rpm)</td> </tr> <tr> <td>최대출력</td> <td>5.9/2000 (ps/rpm)</td> </tr> <tr> <td>사용연료</td> <td>가솔린</td> </tr> <tr> <td>시동방식</td> <td>전기시동식</td> </tr> <tr> <td>점화방식</td> <td>전기점화</td> </tr> <tr> <td>주클러치방식</td> <td colspan="2">W - 벨트텐션방식</td> </tr> <tr> <td>작업폭</td> <td colspan="2">220 - 1600 mm</td> </tr> <tr> <td>차폭거리</td> <td colspan="2">300 - 860 mm (양측면)</td> </tr> <tr> <td>주행변속단수</td> <td colspan="2">전진:4단, 후진:4단</td> </tr> <tr> <td>최대로타경</td> <td colspan="2">430 mm</td> </tr> </tbody> </table>	기체치수	전장 (mm)	1880	전폭 (mm)	850	전고 (mm)	1195	중량 (kg)	170	탑재엔진	명칭	DE-300BATS	형식	공냉 단기통 가솔린 엔진	실린더경*행정	78*62	배기량 (cc)	296	정격출력	4.8/1800 (ps/rpm)	최대출력	5.9/2000 (ps/rpm)	사용연료	가솔린	시동방식	전기시동식	점화방식	전기점화	주클러치방식	W - 벨트텐션방식		작업폭	220 - 1600 mm		차폭거리	300 - 860 mm (양측면)		주행변속단수	전진:4단, 후진:4단		최대로타경	430 mm	
			기체치수		전장 (mm)	1880																																								
					전폭 (mm)	850																																								
					전고 (mm)	1195																																								
				중량 (kg)	170																																									
			탑재엔진	명칭	DE-300BATS																																									
				형식	공냉 단기통 가솔린 엔진																																									
				실린더경*행정	78*62																																									
				배기량 (cc)	296																																									
				정격출력	4.8/1800 (ps/rpm)																																									
최대출력	5.9/2000 (ps/rpm)																																													
사용연료	가솔린																																													
시동방식	전기시동식																																													
점화방식	전기점화																																													
주클러치방식	W - 벨트텐션방식																																													
작업폭	220 - 1600 mm																																													
차폭거리	300 - 860 mm (양측면)																																													
주행변속단수	전진:4단, 후진:4단																																													
최대로타경	430 mm																																													

■ 경운기 (DT100N) 적용



[경운기 부착형 센서 융합 천공 시스템 시작기]

길이*너비*높이 (cm)		239*95*147
엔진	명칭	ND10DE
	형식	4사이클 단기통 디젤엔진
	연소실 형식	직접분사실
	총배기량 (cc)	673
	연속정격출력 (ps)	10
	최대출력 (ps)	13
	사용연료	경유
중량 (엔진포함, kgf)		383
길이축 구동 방식		측면 구동식

천공 능률	10a/3 hour	<p>■ 천공 능률 계산 = 29.3 a/3 hour 두둑 폭 70 cm, 높이 20 cm, ASABE 현장작업효율 70% 를 기준으로 적용함.</p>
천공 능력	10,000주/3 hour	<p>■ 천공 능력 계산 = 12,800 주/3 hour 재식거리 0.32 m, ASABE 현장작업효율 70%를 기준으로 적용함.</p>
천공 효율	콩 초엽 95% 이상	<p>■ 작물 정식 간격과 천공 간격의 비교 분석 2차 실험과 5차 실험 데이터에 근거하여 오차거리는 -0.3 ~ +6.3 cm로 나타났고 효율은 95% 이상 목표 달성함.</p>
제어부	계측 대상	<p>■ 계측 성능 평가 방법 - 비닐에 따른 열화상 인식을 변화를 테스트 하기 위하여 일반</p>

			<p>검정비닐, 투명 비닐, 일반 흙으로 분류하여 테스트를 진행하였음.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 비닐의 종류에 따라 차이가 있음을 도출하였음. (작물인식 열화상 정보분석 데이터에 기반하여 작성)  <p>[현장 테스트 배드 천공 요인 실험 예시]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 열화상 인식률에서는 비닐 포장보다 흙 포장일 경우 더 우수하게 나타났음.   <p>[검정비닐포장 하부 콩 인식 실험] [포장 제거 후 성능평가]</p>
주행	및	위치 제어 ±15 mm	<p>■ 위치 제어</p> <ul style="list-style-type: none"> - 작물 정식 간격 35 cm에 따라 천공기 제어 모터를 조절 한 후 비닐 포장을 덮고 실험을 실시하였음. 초기 3-4두 정도의 오차를 빼고 대부분의 천공 구멍 내 작물이 위치하였음. 초기 동력기기 이동시 모터 제어가 적용되기까지 일정 시간이 필요할 것으로 보임. 일부 비닐이 천공 기구에 걸릴 경우 위치 제어 자체가 되지 않음. 현장에서의 실제 모터 제어 적용을 하기 위해서는 다양한 테스트 공간에서 추가적인 실험이 필요할 것으로 생각됨.  <p>[천공 후 작물 보존 상태]</p>

<p>형상 제어</p>	<p>형상 표준 ±25 mm²</p>	<p>■ 형상 제어</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실제 천공기의 현상 부분에 거의 동일하게 비닐에 천공이 되었으며, 원형의 크기 또한 일정하였음. 비닐의 구겨짐, 팽팽함 여부에 따라 소폭 변형되기는 하나 미비함. 동력기기의 속도에 따라 비닐의 밀림현상 등이 발생하다 2단 이상의 일정 속도의 경우 오차가 발생하지 않았음. <div data-bbox="707 517 1326 837" data-label="Image"> </div> <p>[천공기 후 타공 형상과 타공 기구부의 형상 비교]</p>
<p>제어 형식</p>	<p>센서모듈 통합, 본체 장착</p>	<p>■ 센서 모듈 통합</p> <ul style="list-style-type: none"> - 모터 드라이브와 영상 분석 센서 통합 모듈을 20*20*10 c m 하우징 기기에 밀폐하여 안정성을 확보함. - 센서 라인별로 배선을 정리하여 정리하였고, 라인별로 스위치를 위치시켜 제어가 용이하도록 하였음. - 배선 라인을 별도 케이스로 분리하여 천공기에 연결할 수 있도록 하였음. - LCD 터치 화면을 하우징에 배치하여 손쉽게 작동 조절을 할 수 있도록 하였음. - 하우징 가공이 용이하도록 연성의 플라스틱 하우징을 선별하여 진행하였음. <div data-bbox="807 1417 1227 1756" data-label="Image"> </div> <p>[센서 모듈, 제어모듈 통합]</p> <p>■ 본체 장착</p> <ul style="list-style-type: none"> - 본체 장착에 용이하도록 사각 프레임의 하우징을 거치대에 매달 수 있도록 하였음. - 거치대는 볼트 너트 방식을 통하여 탈부착이 쉽도록 구성하

였으며, 농업 현장에 적용 가능하도록 강철 프레임을 사용하여 안전성을 확보하였음.

- 작업기 운전용에 용이하도록 배선라인을 기기 밑으로 연결하였고, 천공기와 배터리, 제어 기기가 모듈화되어 착탈식 설치 가능함.



[통합 제어기 작업기 장착]

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호 D-06

4-1. 목표달성도

○ 최종연구목표 및 평가방법 척도 : 초과달성

최종연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	최종연구결과 (최종보고서상의 결과)
적용 규격: ≥ 5 hp 관리기 부착형	10	100	정격출력 4.8 hp 관리기 적용
천공 능률: ≥ 10 a/3 hour	10	293	29.3 a/3시간
천공 능력: $\geq 10,000$ 주/3 hour	10	128	12,800 주/3시간
천공 효율: 콩 초엽 $\geq 95\%$	10	104	콩 초엽 99% 이상
계측 대상: 검정비닐포장 하부 콩 초엽	10	100	콩 초엽 인식 및 천공
주행·위치제어: 검색위치 $\leq \pm 15$ mm	10	300	검색위치 ± 5 mm
천공형상제어: 형상표준 $\leq \pm 25$ mm ²	10	100	형상표준 ± 25 mm ² 이내
예상 판매가격: $\leq 1,000,000$ 원/조	5	105	950,000원/조 (관리기 부착형)
주요 조사/분석: 조사/분석 보고서 제출 여부	5	100	최종보고서에 포함
천공장치 설계: 설계서 제출 여부	5	100	최종보고서에 포함
센서융합회로: 전자회로도 제출 여부	5	100	최종보고서에 포함
통합 설계: 통합 설계서 제출 여부	5	100	최종보고서에 포함
성능 평가: 성능 평가서 제출 여부	5	100	최종보고서에 포함
합계	100점	142.75	= $\sum(\text{비중} \times \text{달성도}\%)$

○ 연차별 성과목표 및 개발내용·개발범위 : 정상수행

(1)차년도: 2014.9.25.~2015.9.24			
번호	연차별 세부 성과목표	개발내용·세부설명	가중치
01	콩 재배 환경별 비닐포장 사용 현황 조사	정상수행·보고서 CH-01: 19-23	100%
02	콩 재배 작업 형태별 비닐포장 사용 현황 조사	정상수행·보고서 CH-02: 23-28	100%
03	작업기 형태별 (개량형, 부착형) 자동 천공장치 프레임 설계	정상수행·보고서 CH-03: 28-34	100%
04	기존 자동 천공장치 활용 가능성 및 기구적 무결성 평가	정상수행·보고서 CH-04: 34-35	100%
05	커팅 메카니즘의 기구적 구성 및 검증	정상수행·보고서 CH-05: 36-40	100%
06	작업기/작업 형태 (1조, 다조)별 센서융합형 천공장치 실시 설계	정상수행·보고서 CH-06: 40-45	100%
07	자동 천공장치 기구적 고장요인 분석 및 최적화 설계	정상수행·보고서 CH-07: 46-48	100%
08	진동을 고려한 자동 천공장치 프레임 설계	정상수행·보고서 CH-08: 49-52	100%
09	비닐 포장 하부 콩 초엽기/새싹기/자엽기 물성 분석	정상수행·보고서 CH-09: 53-55	100%
10	비닐 하부 콩 에너지 반응 특성 분석 (광, 온도, 유전율, 이화학)	정상수행·보고서 CH-10: 55-63	100%
11	비닐 포장 하부 잡초특성 분석	정상수행·보고서 CH-11: 64	100%
12	비닐 포장의 에너지 반사/투과 특성 분석	정상수행·보고서 CH-12: 65-69	100%
13	비닐 포장 투과형 콩 초엽 인식 센서어레이 설계	정상수행·보고서 CH-13: 69-75	100%
14	센서어레이 작물 인식 성능 요인 실험	정상수행·보고서 CH-14: 75-77	100%

(2)차년도: 2015.9.25~2016.9.24

번호	연차별 세부 성과목표	개발내용·개발범위	가중치
16	센서융합형 자동 천공장치 기본 요인 실험 (반응속도, 소요동력)	정상수행·보고서 CH-16: 95-123	100%
17	센서융합형 자동 천공장치 시작기 실내 성능 평가	정상수행·보고서 CH-17: 123-137	100%
18	작업기 형태 (개량형, 부착형)별 자동 천공기계 시작기 설계	정상수행·보고서 CH-18: 137-140	100%
19	작업 형태 (1조, 다조)별 센서융합형 자동천공기계 시작기 설계	정상수행·보고서 CH-19: 141-144	100%
20	재식밀도/형태에 따른 센서어레이 출력 신호 보정 방법 개발	정상수행·보고서 CH-20: 144-146	100%
21	기하학적 오차에 상응하는 검출된 작물 위치 보정 기술 개발	정상수행·보고서 CH-21: 146-152	100%
22	천공 위치 보정을 위한 천공 관입부 제어 기술	정상수행·보고서 CH-22: 153-154	100%
23	동력원별 천공 제어 방식 설계 (공압, 탄성체, 유압, 모터)	정상수행·보고서 CH-23: 154-155	100%
24	자동 제어를 위한 단위 응답 제어시스템 설계 및 주요계수결정	정상수행·보고서 CH-24: 156	100%
25	단식/복식 (모듈형연동) 운영이 가능한 인식/제어 시스템 설계	정상수행·보고서 CH-25: 157	100%

(3)차년도: 2016.9.25~2017.9.24

번호	연차별 세부 성과목표	개발내용·개발범위	가중치
26	비닐포장 하부 콩 인식 기술 정밀도 향상 방안 연구	정상수행·보고서 CH-26: 157-158	100%
27	비닐포장 하부 콩 인식 기술 현지 적응성 검토 및 정량화 방안 연구	정상수행·보고서 CH-27: 158-159	100%
28	상용 관리기 제품과 통합을 위한 최적화 설계	정상수행·보고서 CH-28: 159-169	100%
29	작업기 형태별 통합 시작기 제작	정상수행·보고서 CH-29: 170-176	100%
30	현장 검증 및 설계검토 및 실용화를 위한 PRM 단계 상향방안 수립	정상수행·보고서 CH-30: 176-177	100%
31	인식요소 모듈화 : 센서 어레이와 마이컴의 통합	정상수행·보고서 CH-31: 177-179	100%
32	제어요소 모듈화 : 구동 액츄에이터와 마이컴의 통합	정상수행·보고서 CH-32: 180-183	100%
33	인식/제어요소 통합 모듈화 : 전장회로시스템 모듈화기술·보호회로	정상수행·보고서 CH-33: 183-194	100%
34	센서 융합형 자동 천공기계 실외성능 평가 및 개발 사양 (종합)	정상수행·보고서 CH-34: 195-199	100%

4-2. 관련분야 기여도

○ 자동천공시스템의 개발은

- 1) 자동천공시스템 국내외 최초 개발 및 특허등록 2건 기술권리성 획득,
- 2) 탈부착형 개발로 상용 관리기 및 경운기에 접목 가능토록 하여 보급 파급력 증대,
- 3) 기계화를 통한 조류피해 경감 및 재파종 노동력 100% 절감으로 농가소득 향상에 기여,
- 4) 새로운 작업체계(파종→비닐포장→천공) 도입으로 비닐포장 확대 및 생산성 향상을 유도,
- 5) 비닐 수축포장하는 타농산물의 품질측정 등에 접목 가능 및 농기산업 활성화 유도,
- 6) 인력천공 및 조류피해 재파종에 따른 근골격계질환 발생예방 및 편익의 제공,
- 7) 시스템 개발로 열악한 농촌 작업환경 이미지를 개선 등에 기여할 것으로 판단됨.

○ 현재, 개발기술은 국내외에 핵심기술은 없는 상태이고 국내의 경우 일반기술인 천공장치 기술 (최덕규, 2008)과 자동편칭기술 (이성청, 2005) 등이 있으나 과제 연관성 및 권리 침해성은 없는 것으로 파악되며 신규시장 창출 및 관련 연구개발이 촉발될 것으로 판단되며 국내 유사기술은,

- 1) 파종을 위한 단순 비닐 천공장치 기술(최덕규, 박석호, 강태경, 곽태용, 한국농업기계학회 학술발표 논문집 13(1), 178-181, 2008) 논문명 : 비닐멀칭 적응형 마늘파종기 개발(3)-필름종류별 혈공 특성.

2). 컴퓨터 영상처리를 이용한 FPC 비닐포장의 자동편칭 기술(이성철, 이영춘, 김성민, 심기중, 한국정밀공학회 학술대회 논문집 2005(10), 982-985, 2005) 논문명 : 비전을 이용한 FPC필름용 자동편칭 시스템 등이 대표적이나 본 연구와 연관성은 없음.

○ 국내외 최초로 개발된 콩 재배지 자동천공기의 연구개발 과정에서 등록된 2개의 특허는 향후 신사업 분야를 창출할 수 있도록 기술권리성 최대화로 등록하였는데 주요 내용은 다음과 같음.

특허 (1) 비닐멀칭 천공장치 및 방법 (10-1686325)

【요약】 발명은 비닐 멀칭 천공 장치에 관한 것으로서, 비닐 멀칭 상태의 재배지로부터 적외선 값들을 측정하는 센서부; 상기 비닐 멀칭 중 상기 작물을 덮고 있는 일영역을 천공하는 천공부; 및 상기 적외선 값들로부터 상기 재배지에 대한 열화상 이미지를 생성하고, 생성된 열화상 이미지로부터 작물의 이미지를 추출하여 상기 작물의 생육 정도를 인식하며, 상기 생육 정도에 따라 상기 작물의 손상 없이 상기 일영역이 천공되도록 상기 천공부의 동작을 제어하는 제어부를 포함함.

특허 (2) 작물의 생육 정보 수집 장치 및 방법 {10-1726944}

【요약】 발명은 작물의 생육 정보 수집 시스템에 관한 것으로서, 비닐 멀칭 상태의 재배지로부터 적외선 값들을 측정하는 센서부; 및 상기 적외선 값들로부터 상기 재배지에 대한 열화상 이미지를 생성하고, 생성된 열화상 이미지로부터 작물의 이미지를 추출하여 상기 작물의 생육 정도를 인식하며, 상기 작물의 생육 정도와 상기 적외선 값들로부터 상기 작물의 생육 정보 또는 상기 작물의 온도 분포 정보를 생성하는 제어부를 포함함.

○ 현재, 개발기술은 콩 재배지 비닐멀칭 환경 하의 자동천공기는 국외 미개발 기술로 파악되었는데 미국을 중심으로 한 천공관련 기술개발은 기구학적 메카니즘을 이용한 파종, 이식 등의 기술로 생산량 확대를 위한 간격조절 및 정확한 파종을 위한 것으로 본 연구와 관련성이 없는데 일정간격으로 규칙적인 천공기능에 주안점을 둔 것으로 파악되었으며 과제관련 등록특허와 관련성은 없는 것으로 파악되었는데 국외 유사기술은,

1) Munilla 등(1987)은 비닐포장 천공과 파종작업을 동시에 수행할 수 있는 작업기계 개발로 모종파종에 있어 드럼에 장착된 지면에 쌍으로 연결된 삼각형 모양의 천공 모종기가 수직으로 삽입됨. 천공기와 파종기의 속도차이가 없는 조건에서 수행됨. 선행연구는 점파식 모종파종기로 원형회전체의 회전궤적을 이용하여 파종하는 단순 기계식이고 본 연구는 센서 융합 비닐멀칭 자동 천공하는 근본적인 차이를 보임.

2) Molin (2002)는 비닐포장의 천공과 이식작업을 동시에 수행할 수 있는 작업기계 개발 기술로 트랙터 견인식으로 옥수수의 진공 seed meter로 파종 간격을 0.16m~0.24m 범위에서 조절함. 파종간격을 수동으로 간격을 조절하는 단순 파종기이고 본 연구는 센서 융합 비닐멀칭 자동천공하는 장치로 유효 간격 및 폭의 범위에서 자동으로 위치를 추적하여 편칭하고 진행속도에 관계없이 편칭하는 차이를 보임.

3) Lawrence 등(2007)은 공압을 이용하여 트랙터 부착형 천공 장치를 개발하였으며, 양과 및 감자 파종에 있어 트랙터의 유압으로 공압 시스템을 가동하여 비닐 위에 정확한 간격으로 편칭하여 파종함. 작물 간격 및 진행 속도를 제어하는 장치가 탑재됨. 본 연구는 센서 융합 비닐멀칭 자동천공하는 장치로 유효 간격 및 폭의 범위에서 자동으로 위치를 추적하여 편칭하고 진행속도에 관계없이 편칭하는 기술적인 차이를 보임.

5. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

○ 추가연구의 필요성

- ✓ 국내외 최초로 개발된 비닐멀칭 환경에서의 초엽인식을 통한 자동천공 기술은 금번 연구에서 단일작목으로 콩을 대상으로 하여 조류피해를 저감시키는 것을 목적으로 연구되었음.
- ✓ 연구에서는 상용 관리기 및 경운기의 부착형으로 수행되었는데 규모화의 진척과 공동영농, 농가소득 증대를 위해서는 최근 개발되고 있는 발전용의 승용 관리기 및 트랙터에 부착할 수 있는 제품의 연구개발이 추가적으로 필요할 것으로 판단됨.
- ✓ 향후, 4차 산업혁명의 진행과 더불어 자동천공기의 무인장치 개발도 필요할 것으로 판단되는데 장치가 인공지능으로 스스로 판단하여 미천공 위치를 인식하고 자동 천공하는 기술의 응용 및 확대도 필요할 것으로 판단됨.
- ✓ 또한, 연구팀에서는 참여기업과 함께 과제종료 후에도 지속적으로 내구성 실험 등을 진행하여 제품의 완성도를 높이기 위해 추가적인 실험을 진행 할 계획임.

○ 타 연구에의 활용

- ✓ 현재, 국내에서 다양한 작목에 비닐멀칭은 주로 잡초억제 및 성장촉진 기능으로 실시되는데
 - 콩, 팥, 녹두 등 두류작물 일반과
 - 고구마, 감자 등 땅속작물,
 - 이식 작업이 필요한 고추 등 조미채소류,
 - 시설작물 일반에 자동천공장치와 초엽인식기술의 활용을 추진함.
- ✓ 또한, 개발된 초엽인식기술은 인식요소, 제어요소를 시스템 모듈화 기술 및 회로보호 기술을 비닐멀칭 환경에서 수분저장 및 높은 지온으로 발아가 빨리되는 특성을 이용하여 작물 일반에 광범위하게 적용할 수 있으므로 연구팀과 참여업체는 지속적인 연구를 진행할 계획임.

○ 사업화 추진방안

- ✓ 1, 2차년 개발기술인 「생육정보수집장치」와 「비닐멀칭천공장치」는 3차년에 특허등록 되었으나, 3차년 전례 없는 극심한 봄 가뭄으로 반복현장실험(육묘→과종→실험)으로 도출 예정이던 핵심기술인 「차동 비례제어 시스템」의 특허출원이 지연되어 제품개발과 동시에 기술이전과 사업화할 계획이 동시에 지연되어 현재, 특허출원이 진행되고 있음.
- ✓ 따라서 종료후 1차년 상반기에 핵심기술 3개의 기술권리성이 최종적으로 확보되면 주관기관에서 참여기업으로 기술이전을 통해 상품화 및 사업화를 추진할 계획임.
- ✓ 연구팀은 종료후 1차년에 기술이전 받을 참여기업의 상품화과정 및 사업화과정이 효과적이고 효율적으로 진행될 수 있도록 지속적인 개발협력과 기술지원을 할 계획임.
- ✓ 또한, 참여기업의 독점적인 기술력 확보를 위해 필요하면 연구팀은 추가적인 웨미리 특허출원을 진행할 것이고, 참여기업의 제품화 및 사업화 과정에도 참여할 계획이며, 참여기업 연구인력의 기술습득과 연구역량 강화를 위해 석·박사 산학협동과정 진학도 지원할 계획임.

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호

D-08

○ 1) 콩잎의 이미지 프로세싱 기술

- ✓ 제목 : Detection of soybean aphids in a greenhouse using an image processing technique
- ✓ 저자 : Mohammadmehdi Maharlooei et al.
- ✓ 저널 : Computers and Electronics in Agriculture 132 (2017): 63-70
- ✓ 요약 : 콩잎에서 진딧물을 탐지하는 디지털 이미징 기술연구에서 콩의 품종 및 색깔은 진딧물을 식별하는 능력에 영향을 미치지 못하는 것과 낮은 조명에서는 통계에 유의한 차이가 발생한 것을 발표하였음.

Computers and Electronics in Agriculture 132 (2017) 63–70



Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Electronics in Agriculture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compag



Original papers

Detection of soybean aphids in a greenhouse using an image processing technique



Mohammadmehdi Maharlooei^{a,b}, S. Sivarajan^{b,*}, Sreekala G. Bajwa^b, Jason P. Harmon^c, John Nowatzki^b

^a Dept. of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^b Dept. of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, ND, USA

^c Dept. of Entomology, North Dakota State University, Fargo, ND, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 November 2015

Received in revised form 22 November 2016

Accepted 24 November 2016

Available online 4 December 2016

Keywords:

Soybeans

Aphid

Infestation

Sensing

Digital imaging

Algorithm

ABSTRACT

Soybean aphid (*Aphis glycines*) is one of the most important insect pests of soybeans in North America. Insecticide application is performed if the aphids count exceeds the economic threshold of 250 per plant. Precise estimates of aphid densities are needed for field conditions to maximize insecticide application efficiency. The current method of identifying and counting aphids on a plant is a labor-intensive and time consuming process. The objective of this study was to use image processing technique to detect and count different sized soybean aphids on a soybean leaf. The trials were conducted with soybean plants grown in a greenhouse. Three sets of data were collected on different dates using replicate plants from 4 soybean varieties infested with a range of aphid densities. Images of infested soybean trifoliolate leaves were captured with different cameras under 2 different illumination conditions with different cameras used across the different data sets. The images captured were processed in MATLAB[™] R2014a software using the Image Processing Toolbox to identify and count aphids. In order to evaluate the accuracy of the algorithm, the aphids counted with the sensing system were compared to a count generated manually by a trained expert. The algorithm counting with SONY[™] camera images correlated ($r^2 = 0.96$) very well with manual counts. The misclassification percentage was low for most cameras with different resolutions under high illumination conditions. The results also showed that images captured with an inexpensive regular digital camera gave satisfactory results under high illumination conditions.

Published by Elsevier B.V.

1. Introduction and background

The soybean aphid, *Aphis glycines*, is a serious and damaging insect pest in soybean production systems in Northern America (Ragsdale et al., 2011). The soybean aphid was identified in the eastern part of North Dakota in 2001, one year after it was origi-

2008). The potential yield loss can be up to 75% for aphid infestations starting at a late vegetative growth stage and up to 48% if the infestation starts at the early reproductive (R2) stage (Catangui et al., 2009). Moreover, a two-year study by Beckendorf et al. (2008) concluded that seed yield, yield components and seed oil concentrations were inversely proportional to the number of

○ 2) 콩잎의 잎 면적, 에지의 칼라 이미지 프로세싱 기술

- ✓ 제목 : Estimation of soybean leaf area, edge, and defoliation using color image analysis
- ✓ 저자 : Wei-zhen Liang, Kendall R Kirk, Jeremy K Greene
- ✓ 저널 : 2017 ASABE Annual International Meeting 1700061.
- ✓ 요약 : Mahalanobis 거리 분류 방법은 이미지 세트를 처리하고 8 개의 다른 색상 그룹을 가진 두 개의 클래스 (잎과 배경)에 해당하는 잎 영역 (픽셀 수)을 계산하는 데 사용하였음.

The screenshot shows the ASABE website interface. At the top left is the ASABE logo. The header includes navigation links: "Publications Included", "What's New", "Search Tips", "Login | Change Password", "About This Site", and "Contact Us". A sidebar on the left contains links for "Library Home", "Search", "Obtaining Full-Text", "E-mail Alert", "Join ASABE", and "ASABE Home". A box in the sidebar provides "Public Access Information" with icons for Public Access (PA), PA Limited Time, and Open Access. The main content area features the article title "Estimation of Soybean Leaf Area, Edge, and Defoliation Using Color Image Analysis" in a purple serif font. Below the title, it states "Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan www.asabe.org". The article details include: Citation: 2017 ASABE Annual International Meeting 1700061, doi:10.13031/aim.201700061; Authors: Wei-zhen Liang, Kendall R Kirk, Jeremy K Greene; Keywords: Soybean; Mahalanobis distance; Canny edge detection algorithm; Defoliation; Statistical regression; Abstract: Soybean are an extremely important crop in the United States, providing the largest source of animal protein feed and a main source of vegetable oil in the country. The goal of this research is to identify methodologies to estimate percent defoliation of the soybean canopy using RGB images taken in the field. The Mahalanobis distance classification method was used to process sets of images and calculate leaf area (number of pixels) corresponding to two classes (leaf and background) with eight different color groups. The Canny edge detection algorithm provided an efficient method for detecting leaf edges, and threshold $t_2 = 20$ was found to be the optimal value for estimating soybean leaf edge. The segmentation results showed a performance of 96% for soybean leaves using Mahalanobis distance classification. Two statistical regression models (polynomial and logistic regression) for defoliation of soybean were developed based on individual images of leaves taken from the field. The models both utilized leaf area and edge to provide estimates of soybean defoliation; however, a logistic equation has potential to provide greater understanding and more accurate estimates of defoliation with variations, especially at low defoliation. The R^2 and root mean square error of predicted and actual defoliation of individual leaves were 0.90 and 6.16, respectively. The validation of soybean canopy defoliation and its corresponding individual leaf defoliation also provided reasonable correlation ($R^2 = 0.96$ and RMSE = 1.85%). This approach could lead to use of remotely sensed imagery for estimating defoliation in soybeans and timely intervention with integrated pest management strategies. At the bottom of the article, there are links for "(Download PDF)" and "(Export to EndNotes)".

○ 3) 콩잎의 NIR 스펙트럼을 이용한 색상별 이미지 프로세싱 기술

- ✓ 제목 : Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance
- ✓ 저자 : Sreekala G. Bajwa, John C. Rupe and Johnny Mason
- ✓ 저널 : Remote Sens. 2017, 9:127, doi:10.3390/rs9020127
- ✓ 요약 : 잎의 반사율을 질병 상태와 관련시키고 이들 작물 질병을 가장 잘 구분하는 파장대를 확인함. 수집 데이터 800 가지의 잎 스펙트럼, 상응하는 잎 엽록소 함량 및 상이한 질

병 조건 하에서 재배 된 4 가지 콩 품종의 질병 등급이 포함됨. 질병 등급과 선택된 식생 지수사이의 상관관계를 평가함. 질병 감별 능력이 가장 높은 파장대는 LDA (stepwise linear discriminant analysis), LgDA (logistic discriminant analysis) 및 폴링 된 데이터의 선형 상관 분석됨. LDA와 LgDA는 모두 NIR, 적색, 녹색 및 청색 지역의 여러 밴드를 질병 차별에 매우 중요하다고 판별됨.



Article

Soybean Disease Monitoring with Leaf Reflectance

Sreekala G. Bajwa ^{1,*}, John C. Rupe ² and Johnny Mason ³

¹ Department of Agricultural & Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, ND 58108, USA

² Department of Plant Pathology, University of Arkansas, Fayetteville, AR 72701, USA; jrupe@uark.edu

³ Mason Surveying & Consulting, Fayetteville, AR 72701, USA; johnny@masonsurveying.com

* Correspondence: Sreekala.bajwa@ndsu.edu; Tel.: +1-701-261-7002

Academic Editors: Jose Moreno and Prasad S. Thenkabail

Received: 5 December 2016; Accepted: 26 January 2017; Published: 4 February 2017

Abstract: Crop disease detection with remote sensing is a challenging area that can have significant economic and environmental impact on crop disease management. Spectroscopic remote sensing in the visible and near-infrared (NIR) region has the potential to detect crop changes due to diseases. Soybean cyst nematode (SCN) and sudden death syndrome (SDS) are two common soybean diseases that are extremely difficult to detect in the early stages under mild to moderate infestation levels. The objective of this research study was to relate leaf reflectance to disease conditions and to identify wavebands that best discriminated these crop diseases. A microplot experiment was conducted. Data collected included 800 leaf spectra, corresponding leaf chlorophyll content and disease rating of four soybean cultivars grown under different disease conditions. Disease conditions were created by introducing four disease treatments of control (no disease), SCN, SDS, and SCN+SDS. Crop data were collected on a weekly basis over a 10-week period, starting from 71 days after planting (DAP). The correlation between disease rating and selected vegetation indices (VI) were evaluated. Wavebands with the most disease discrimination capability were identified with stepwise linear discriminant analysis (LDA), logistic discriminant analysis (LgDA) and linear correlation analysis of pooled data. The identified band combinations were used to develop a classification function to identify plant disease condition. The best correlation (>0.8) between disease rating and VI occurred during 112 DAP. Both LDA and LgDA identified several bands in the NIR, red, green and blue regions as critical for disease discrimination. The discriminant models were able to detect over 80% of the healthy plants accurately under cross-validation but showed poor accuracy in discriminating individual diseases. A two-class discriminant model was able to identify 97% of the healthy plants and 58% of the infested plants as having some disease from the plant spectra.

○ 4) 플라스틱 멀칭 조건에서 토양의 수분, 온도, 뿌리의 공간분포 연구

✓ 제목 : Spatial distribution of soil water, soil temperature, and plant roots in a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch

✓ 저자 : Xianyue Li et al.

✓ 저널 : Europ. J. Agronomy 83 (2017): 47-56

✓ 요약 : 토양온도의 유의한 차이는 0–5 cm 토양층에서 측정됨. 표토 밑의 토양 온도 (15–25 cm)는 맨 밑의 표면보다 높았음. SWCs, 토양 온도 및 식물 뿌리의 공간 분포는 멀칭비닐에 의해 유의한 영향을 받음.

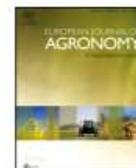
Europ. J. Agronomy 83 (2017) 47–56



Contents lists available at ScienceDirect

European Journal of Agronomy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eja



Spatial distribution of soil water, soil temperature, and plant roots in a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch



Xianyue Li^a, Jiří Šimůnek^b, Haibin Shi^{a,*}, Jianwen Yan^a, Zunyuan Peng^a, Xuewen Gong^a

^a College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China

^b Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, CA, 92521, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 February 2016

Received in revised form 25 October 2016

Accepted 28 October 2016

Available online 1 December 2016

Keywords:

Drip irrigation with plastic mulch

Intercropping

Soil water

Soil temperature

Root distribution

ABSTRACT

Intercropping and drip irrigation with plastic mulch are two agricultural practices used worldwide. Coupling of these two practices may further increase crop yields and land and water use efficiencies when an optimal spatial distribution of soil water contents (SWC), soil temperatures, and plant roots is achieved. However, this coupling causes the distribution of SWCs, soil temperatures, and plant roots to be more complex than when only one of these agricultural practices are used. The objective of this study thus was to investigate the effects of different irrigation treatments on spatial distributions of SWCs, soil temperatures, and root growth in a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch. Three field experiments with different irrigation treatments (high T1, moderate T2, and low T3) were conducted to evaluate the spatial distribution of SWCs, soil temperatures, and plant roots with respect to dripper lines and plant locations. There were significant differences ($p < 0.05$) in SWCs in the 0–40 cm soil layer for different irrigation treatments and between different locations. The maximum SWC was measured under the plant/mulch for the T1 treatment, while the minimum SWC was measured under the bare soil surface for the T3 treatment. This was mainly due to the location of drippers and mulch. However, no differences in SWCs were measured in the 60–100 cm soil layer. Significant differences in soil temperatures were measured in the 0–5 cm soil layer between different irrigation treatments and different locations. The soil temperature in the subsoil (15–25 cm) under mulch was higher than under the bare surface. The overlaps of two plant root systems in an intercropping field gradually increased and then decreased during the growing season. The roots in the 0–30 cm soil layer accounted for about 60%–70% of all roots. Higher irrigation rates produced higher root length and weight densities in the 0–30 cm soil layer and lower densities in the 30–100 cm soil layers. Spatial distributions of SWCs, soil temperatures, and plant roots in the intercropping field under drip irrigation were significantly influenced by irrigation treatments and plastic mulch. Collected experimental data may contribute to designing an optimal irrigation program for a drip-irrigated intercropping field with plastic mulch.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Intercropping is a very popular agricultural practice used around the world, such as in China (Zhang and Li, 2003), Germany (Munz et al., 2014), Brazil (Crusciol et al., 2014), India (Tanwar et al., 2014), Pakistan (Asghar Shah et al., 2016). It not only improves the land use

two different crop species during the growing period, which the traditional flood irrigation, incapable of providing different irrigation amounts in one field at the same time, cannot satisfy. This results in a low water use efficiency (WUE) in intercropping fields (Sampathkumar et al., 2012). On the other hand, drip irrigation with plastic mulch can be an effective practice to increase soil temper-

7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
- 해당사항 없음 -		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10		
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
- 해당사항 없음 -								

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

	코드번호	D-11
<p>○ 대학원생들과 연구원들의 안전과 연구실 및 실험실 안전에 대해서 다음과 같은 사항들을 실시하고 있으며, 국가 연구 개발사업 수행 시 필요한 연구실 안전조치 이행계획에 관련된 사항은 관리팀에서 특별 안전점검과 연구 활동에 필요한 모든 제반사항을 적극 협조하고 있음.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구실 안전을 위해 안전환경관리규정 (2009.11.1.제정, 2011.11.1.개정)에 준해 운영함. <ul style="list-style-type: none"> - 연구실 안전관리 책임자 및 담당자 지정. - 관리팀에서 안전관리 전담자 학교에 배치. 2. 안전점검활동 <ul style="list-style-type: none"> - 연구실 일일안전점검 실시 - 정기점검은 매년 받고 있으며, 특히 위험요인별로 분류하여 점검을 받음. - 법령 의거한 정밀안전진단을 받음 (법 규정 : 2년에 1회실시). - 안전 점검에서 발생된 문제점은 즉시 개선 조치함. 3. 교육훈련 <ul style="list-style-type: none"> - 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」에 따라 안전교육은 월 1시간 이상 또는 6개월에 6시간 이상 받고 있으며, 온라인 교육을 의무적으로 받고 있음. 4. 건강검진 <ul style="list-style-type: none"> - 학교보건법에 의거 본교 건강센터에서 매년 건강검진을 받음. 5. 보험가입 <ul style="list-style-type: none"> - 학교 보험은 단체보험과 연구활동 종사자 상해보험으로 나누어 가입하고 있음. - 과학기술분야 학부생 및 대학원생 포함. 		

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Detection method for bean cotyledon locations under vinyl mulch using multiple infrared sensors	성균관대학교	1저자	Journal of Biosystems Engineering	-	2016.09	단독사사	비SCI
2	논문	비닐 천공 시스템 개발 - 천공칼날이 성능에 미치는 영향	성균관대학교	1저자	Journal of agriculture & life science	-	2016.10	단독사사	비SCI
3	논문	Detection of precise crop locations under vinyl mulch using non-integral moving average applied to the normal distribution	성균관대학교	1저자	Journal of Biosystems Engineering	-	2017.06	단독사사	비SCI
4	논문	비접촉 온도센서를 이용한 2차원 열화상 측정 시스템 개발	성균관대학교	1저자	J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'1 Univ.	-	2016.06	단독사사	비SCI
5	논문	적외선을 이용한 비닐포장 하부 작물 위치예측	성균관대학교	1저자	J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'1 Univ.	-	2017.06	단독사사	비SCI
6	특허	작물의 생육 정보 수집 장치 및 방법 (10-1726944)	성균관대학교	출원인	대한민국	-	2017.04.07	단독사사	등록
7	특허	비닐 멀칭 천공 장치 및 방법 (10-1686325)	성균관대학교	출원인	대한민국	-	2016.12.07	단독사사	등록
8	홍보	기사/콩재배지, 조류피해로부터 머지않아 해방	성균관대학교	주관기관	한국농기계신문	-	2017.07.15	단독사사	배포
9	홍보	기사/센서융합 콩재배지 비닐포장 자동 천공기	성균관대학교	주관기관	정밀농업기술지	-	2014.12.	단독사사	배포
10	기타	콩 멀칭 재배를 위한 자동 천공 시스템 개발	성균관대학교	주관기관	성균관대학교 삼성학술정보관	-	2016.02.25.	석사학위	졸업
11	기타	대상인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계 및 이동식 계측센서의 공간오분차 보정을 위한	성균관대학교	주관기관	성균관대학교 삼성학술정보관	-	2017.02.25	석사학위	졸업
12	학술발표	비접촉 열센서를 이용한 열화상 측정 시스템	성균관대학교	1저자	한국정밀농업학회논문집	-	2014.11	단독사사	비SCI
13	학술발표	Design of algorithm and device for punching plastic mulch using sensor fusion technology	성균관대학교	1저자	바이오텍스논문집	-	2015.04	단독사사	비SCI

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
14	학술 발표	Analysis of patent and technology used for harvesters of upland crops	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2015.04	단독사사	비SCI
15	학술 발표	Analysis of agricultural machinery markets in Japan for export of Korea agricultural machinery in 2014	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2015.04	단독사사	비SCI
16	학술 발표	Plant object extraction under plastic mulch condition using thermal infrared image	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2015.04	단독사사	비SCI
17	학술 발표	백태의 자엽기 생육특성 분석	충북대 학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2015.04	단독사사	비SCI
18	학술 발표	이동식 적외선센서의 측정 지연오차 보정을 위한 역방향 탐색법	충북대 학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2015.04	단독사사	비SCI
19	학술 발표	열화상 센서를 이용한 멀칭비닐 하부 공의 생육 및 인식 연구	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2016.04	단독사사	비SCI
20	학술 발표	비닐포장 하부 공 인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계에 관한 연구	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2016.04	단독사사	비SCI
21	학술 발표	이동식 계측센서의 공간 오차 보정을 위한 분석 방법	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2016.04	단독사사	비SCI
22	학술 발표	스텝모터 제어와 주행형 센서계측을 위한 멀티쓰레드 설계	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2016.04	단독사사	비SCI
23	학술 발표	Research of non-integral spatial interpolation for precise identifying soybean location under plastic mulching	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2017.04	단독사사	비SCI
24	학술 발표	Research of phase correlation method for identifying quantitative similarity in adjacent real-time streaming frame	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2017.04	단독사사	비SCI
25	학술 발표	실시간 LWIR 밴드 영상처리를 위한 병렬 클러스터링 기술	성균관 대학교	1저자	바이오시스 템잡	-	2017.04	단독사사	비SCI

- 이 하 여 백 -

1. 논문 : Detection Method for Bean Cotyledon Locations under Vinyl Mulch Using Multiple Infrared Sensors (출판)

투고 저널 : J. of Biosystems Eng. 41(3):263-272. (2016. 9)

Original Article

Journal of Biosystems Engineering

J. of Biosystems Eng. 41(3):263-272. (2016. 9)
<http://dx.doi.org/10.5307/JBE.2016.41.3.263>

eISSN : 2234-1862
pISSN : 1738-1266

Detection Method for Bean Cotyledon Locations under Vinyl Mulch Using Multiple Infrared Sensors

Kyou-Seung Lee¹, Yong-jin Cho¹, Dong-Hoon Lee^{2*}

¹Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²Dept. of Bio-systems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea*

Received: August 22th, 2016; Revised: August 24th, 2016; Accepted: August 27th, 2016

Abstract

Purpose: Pulse crop damage due to wild birds is a serious problem, to the extent that the rate of damage during the period of time between seeding and the stage of cotyledon reaches 45.4% on average. This study investigated a method of fundamentally blocking birds from eating crops by conducting vinyl mulching after seeding and identifying the growing locations for beans to perform punching. **Methods:** Infrared (IR) sensors that could measure the temperature without contact were used to recognize the locations of soybean cotyledons below vinyl mulch. To expand the measurable range, 10 IR sensors were arranged in a linear array. A sliding mechanical device was used to reconstruct the two-dimensional spatial variance information of targets. Spatial interpolation was applied to the two-dimensional temperature distribution information measured in real time to improve the resolution of the bean coleoptile locations. The temperature distributions above the vinyl mulch for five species of soybeans over a period of six days from the appearance of the cotyledon stage were analyzed. **Results:** During the experimental period, cases where bean cotyledons did and did not come into contact with the bottom of the vinyl mulch were both observed, and depended on the degree of growth of the bean cotyledons. Although the locations of bean cotyledons could be estimated through temperature distribution analyses in cases where they came into contact with the bottom of the vinyl mulch, this estimation showed somewhat large errors according to the time that had passed after the cotyledon stage. The detection results were similar for similar types of crops. Thus, this method could be applied to crops with similar growth patterns. According to the results of 360 experiments that were conducted (five species of bean × six days × four speed levels × three repetitions), the location detection performance had an accuracy of 36.9%, and the range of location errors was 0-4.9 cm (RMSE = 3.1 cm). During a period of 3-5 days after the cotyledon stage, the location detection performance had an accuracy of 59% (RMSE = 3.9 cm). **Conclusions:** In the present study, to fundamentally solve the problem of damage to beans from birds in the early stage after seeding, a working method was proposed in which punching is carried out after seeding, thereby breaking away from the existing method in which seeding is carried out after punching. Methods for the accurate detection of soybean growing locations were studied to allow punching to promote the continuous growth of soybeans that had reached the cotyledon stage. Through experiments using multiple IR sensors and a sliding mechanical device, it was found that the locations of the crop could be partially identified 3-5 days after reaching the cotyledon stage regardless of the kind of pulse crop. It can be concluded that additional studies of robust detection methods considering environmental factors and factors for crop growth are necessary.

Keywords: IR sensor, Signal processing, Soybean, Spatial variance, Thermal response

2. 논문 : 비닐 천공 시스템 개발 - 칼날 형상이 천공 성능에 미치는 영향 (출판)
투고 저널 : Journal of Agriculture & Life Science 50(5) pp.217-224 (2016. 10)

비닐 천공 시스템 개발 - 칼날 형상이 천공 성능에 미치는 영향

홍성하 · 최안렬 · 이규승*

성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

접수일(2016년 7월 13일), 수정일(2016년 8월 23일), 게재확정일(2016년 9월 2일)

Punching system for plastic mulching at soybean field - Effect of punching knife shape on the cutting performance

Sungha Hong · Ahmyul Choi · Kyouseung Lee*

Department of Biomechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

Received: JUL. 13. 2016, Revised: AUG. 23. 2016, Accepted: SEP. 2. 2016

초록

본 연구에서 개발된 자동천공기는 콩의 재식밀도를 고려한 비닐 천공능력이 작업주행속도 0.18-0.28m/s 조건에서 콩의 주간거리 0.20m, 0.25m, 0.30m에 대해 각각 320-500m²/h, 260-400m²/h, 210-330m²/h의 범위로 나타났다. 천공율은 칼날과 지면간 30mm 거리에서 비닐이 100% 천공되었으며, 50mm 거리에서 원형칼날 16.7-25.2%, 사각칼날 33.0-42.3%, 육각칼날 54.5-100.0% 범위에서 천공되었다. 또한, 육각칼날 60°에서 비닐 절단면이 매끄럽고 부드러워 절단품질이 가장 우수하였다.

검색어 - 농업용 관리기, 절단품질, 천공기, 천공능력, 콩

ABSTRACT

In this study, performance of a developed automatic punching machine considering the planting density of soybeans was evaluated in the case of the operation speed of 0.18-0.28 m/s. The performance demonstrated a rate of 320-500 m²/h, 260-400 m²/h, and 210-330 m²/h for the 0.20 m, 0.25 m, and 0.30 m soybean planting density, respectively. One hundred percent punching capacity was confirmed in 30 mm distance between the ground and the blade. Additionally, in the 50 mm distance condition, the performance of round, square, and hexagonal blades were observed in the range of 16.7-25.2%, 33.0-42.3%, and 54.5-100.0%, respectively. Above all, the hexagonal blade with a 60° edge angle had the most superior cutting quality demonstrating a smooth and soft cutting plane of the plastic.

Key words - Agricultural working machine, Cutting quality, Punching capacity, Punching machine, Soybean

3. 논문 : Detection Method for Bean Cotyledon Locations under Vinyl Mulch Using Multiple Infrared Sensors (출판)
투고 저널 : J. of Biosystems Eng. 42(2):117-125. (2017. 6)

Detection of Precise Crop Locations under Vinyl Mulch using Non-integral Moving Average Applied to Thermal Distribution

Yongjin Cho¹, Yeji Yun¹, Kyou-Seung Lee¹, Dong-Hoon Lee^{2*}

¹Department of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, 2066, Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi, 16419, Korea

²Department of Bio-systems Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk, 28644, Korea

Received: April 28th, 2017; Revised: May 18th, 2017; Accepted: May 22th, 2017

Abstract

Purpose: Damage to pulse crops by wild birds is a serious problem. The damage is to such an extent that the rate of damage during the period between seeding and cotyledon stages reaches 54.6% on an average. In this study, a crop-position detection method was developed wherein infrared (IR) sensors were used to determine the cotyledon position under a vinyl mulch. **Methods:** IR sensors that helped measure the temperature were used to locate the cotyledons below the vinyl mulch. A single IR sensor module was installed at three locations of the crops (peanut, red lettuce, and crown daisy) in the cotyledon stage. The representative thermal response of a 16×4 pixel area was detected using this sensor in the case where the distance from the target was 25 cm. A spatial image was applied to the two-dimensional temperature distribution using a non-integral moving-average method. The collected data were first processed by taking the moving average via interpolation to determine the frame where the variance was the lowest for a resolution unit of 1.02 cm. **Results:** The temperature distribution was plotted corresponding to a distance of 10 cm between the crops. A clear leaf pattern of the crop was visually confirmed. However, the temperature distribution after the normalization was unclear. The image conversion and frequency-conversion graphs were obtained based on the moving average by averaging the points corresponding to a frequency of 40 Hz for 8 pixels. The most optimized resolutions at locations 1, 2, and 3 were found on 3.4, 4.1, and 5.6 Pixels, respectively. **Conclusions:** In this study, to solve the problem of damage caused by birds to crops in the cotyledon stage after seeding, the vinyl mulch is punched after seeding. The crops in the cotyledon stage could be accurately located using the proposed method. By conducting the experiments using the single IR sensor and a sliding mechanical device with the help of a non-integral interpolation method, the crops in the cotyledon stage could be precisely located.

Keywords: Image processing, IR sensor, Non-linear integral, Signal processing, Spatial variance, Thermal response

4. 논문 : 비접촉 온도센서를 이용한 2차원 열화상 측정 시스템 개발 (출판)
투고 저널 : J. Agr. Sci. Chungbuk Nat' l Univ. 33(1), 37-40 (2016. 6)

농업과학연구

J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ. 33(1), 37-40 (2017)

비접촉 온도센서를 이용한 2차원 열화상 측정 시스템 개발

조용진^{1*} · 임형민²

¹성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

²충북대학교 바이오시스템공학과

(접수일: 2016년 5월 30일, 수정일: 2016년 6월 13일, 게재확정일: 2016년 6월 13일)

Two-dimensional Thermal Image Measurement System using a Non-contact Infrared Sensor Development

Yong-jin Cho^{1*} and Hyung-min Lim²

¹Department of Bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

(Received : 30. May 2016, Revised : 13. Jun. 2016, Accepted : 13. Jun. 2016)

Abstract : A thermal imaging system has been developed to measure the temperature on surface, using non-contact temperature sensor. Also, the developed system can monitor the temperature based on Zigbee communication for ubiquitous sensor network. The measurement of temperature was performed on the pot plant depending on the moving speed of frame. The optimal speed for frame movement was 1.4 m/s. The developed system might provide as a basic study which predict the location of crops according to the difference of temperature between soil and crop.

Keywords : thermal imaging system, non-contact temperature sensor, Zigbee communication, USN

서 론

최근 심각한 기후 변화로 인해 안정적인 식량 확보의 중요성이 대두되고 있다. 급변하는 기후변화는 기온, 강수량, 일사량 등을 변화시켜 세계적 농업의 생산성 약화를 야기시킬 수 있다. 기온 1°C가 상승하면 한국 농가의 농업 총 수익이 ha 당 26~400만원이 감소하는 것으로 나타났다(Korea Rural Economic Institute, 2009). 집중호우, 초대형 태풍, 가뭄 등의 기상이변으로 인해 노지재배가 타격을 입는 경우가 늘고 있어 식품가격이 급격히 변동하는 위험이 발생하며, 해외에서는 지구온난화와 기상이변, 공업화에 따른 경작면 축소 등으로 밀, 쌀, 옥수수 등 농산물 가격이 폭등하는 가운데 온실 환경 관리에 대한 중요성은 더욱더 늘어나고 있는 실정이다(Lee & Jeon, 1999). 온실 환경 관리에 대한 중요성이 커지고 있는 가운데 아직 첨단 시설원에 기술 및 양액재배 및 시

설운용 기술이 매우 취약하다. 일부 최첨단 온실의 경우에는 시설 자동화를 통해 재배를 하지만, 자동화 기계가 작물의 수확시기, 혹은 작물의 스트레스로 인한 병해 등을 확인하고 판단하지 못하기 때문에 사람이 직접 확인해야만 하는 번거로움이 있다(Chae, 2000). 또한 비파괴적인 방식으로 작물의 생육환경 측정이 되어야 한다. 또한 제한적인 시설 원예환경에 맞게 소형 Microcontroller Unit (MCU) 기반으로 설계하여 계속된 온도 데이터를 Ubiquitous Sensor Network (USN) 기반을 활용하여 온도 모니터링 시스템을 제시할 필요가 있다(Ceccardi et al., 1995). Wang 등(2008)은 다양한 모양의 식물의 잎을 분류하는 방법을 연구하였다. 잎을 윤곽선으로 영상처리 한 후 데이터베이스화하여 잎을 분류하는 시스템을 개발하였으며, 140종의 식물을 각각 10개씩 잎의 윤곽선을 이용하여 분류하였다. 본 논문에서는 작물의 온도와 주위 온도 정보를 계속하기 위하여 비접촉 온도센서를 활용하여 대상물의 표면 온도와 주위 온도를 계속할 수 있는 시스템을 개발

5. 논문 : 적외선을 이용한 비닐포장 하부 작물 위치예측 (출판)

투고 저널 : J. Agr. Sci. Chungbuk Nat' l Univ. 33(1), 51-55 (2017. 6)

농업과학연구

J. Agr. Sci. Chungbuk Nat'l Univ. 33(1), 51-55 (2017)

적외선을 이용한 비닐포장 하부 작물 위치예측

곽형석¹ · 사재원² · 오종우^{2*}

¹성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

²충북대학교 바이오시스템공학과

(접수일: 2017년 5월 26일, 수정일: 2017년 6월 16일, 게재확정일: 2017년 6월 19일)

Research about Estimation Method for a Location of Beans under Vinyl Mulching using Infrared Sensor

Hyeok-suk Kwak¹, Jae-won Sa², and Jong-woo Oh^{2*}

¹Department of Bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

(Received : 26. May 2017, Revised : 16. Jun. 2017, Accepted : 19. Jun. 2017)

Abstract: The image with non-contact and non-destructive measurement methods, might provide advantage to analyze and evaluate the condition of crops. It is necessary to develop a device for monitoring crops under the vinyl mulch which was protected from wild bird and weed control. Using digital image processing, the monitoring device for crops under the vinyl was developed. The monitoring system measured temperature distribution between soil and crops using an infrared temperature sensor. Based on the measured data analysis, the location of the crop under the vinyl mulch were estimated.

Key words: image processing, non-contact measurement, infrared sensor, vinyl much

서 론

작물 생육장에 중 하나인 잡초피해를 해결하기 위한 방법으로 국내 농가에서는 보편적으로 비닐멀칭을 하고 있다. 그러나 비닐멀칭 후 파종방식은 잡초피해를 줄여주지만, 야생 조류로부터 피해는 해결하지 못하고 있다. 이를 해결하기 위하여 종자 파종과 동시에 비닐멀칭을 우선적으로 실시하고, 발아가 되어 초엽이 된 상태에서 친공을 하는 비닐 친공 기계가 연구되고 있다. 비닐멀칭 하부의 작물을 모니터링 하고 판단하는 방식은 작물 생육에 스트레스를 주지 않기 위해 비 접촉, 비파괴 측정 방법으로 이루어져야한다. 비접촉, 비파괴 측정 방법 중 하나인 디지털 영상처리 기법은 동일한 관찰 대상에 대한 여러 색상의 다중 영향을 서로 비교분석 하는 방법이 사용되고 있다. 이러한 디지털 영상처리 기법에 의해 얻어진 정보는 컴퓨터에 입력, 처리되어 분석과 평가가 용이

하다. 작물에 나타난 이상 변화를 디지털 영상 처리 기법에 의해 모니터링 할 경우 작물생육 단계 분석의 정확성을 높일 수 있다. 식물의 생육 단계를 측정할 수 있는 방법 중 열 영상 장비를 이용한 식물의 온도 분석방법이 있다. 열 영상 장치는 식물로부터 나오는 적외선을 측정하여 관찰 대상 작물의 온도를 물리적으로 접촉하지 않고도 비 파괴적이며 연속적으로 측정할 수 있게 해 준다. Ro et al.(2014)은 물체 표면에서 방사되는 적외선을 이용하여 물체의 표면 상태를 온도 분포영상으로 볼 수 있게 하는 기술을 사용하였다. Ryu (2000)은 작물의 스트레스에 의한 작물의 상태 변화를 감지하고자 영양분에 따른 스트레스에 대한 오이, 상추, 고추 등의 세 가지 작물에 대한 온도 반응을 열영상 분석 장치를 사용하여 조사하였다. Kim & Kang(2013)은 시설원에 작물 재배 시 나타날 수 있는 작물의 특징 영양분 결핍 및 과잉 스트레스를 대상으로 하여 작물의 온도 반응을 분석하였는데 생장 환경의 부족으로 작물에 환경적 스트레스가 발생할 때

6. 특허 : 작물의 생육 정보 수집 장치 및 방법 (등록)

등록번호 : 1017269440000 (2017. 04.07)

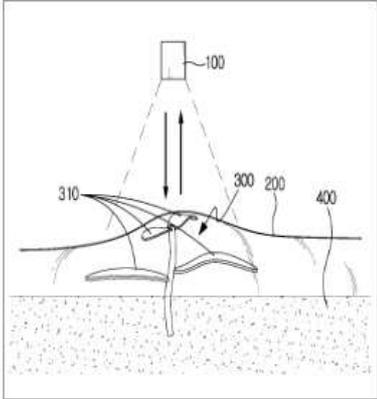
작물의 생육 정보 수집 장치 및 방법

APPARATUS AND METHOD FOR COLLECTING GROWTH INFORMATION OF CROP

상세정보
공개전문
공고전문
등록사항
통합행정정보

서지정보
인명정보
행정처리
청구항
지정국
인용/피인용
패밀리정보
국가R&D 연구정보

(51) Int. CL	A01G 1/00(2015.07.03) A01G 9/00(2015.07.03)	크게보기 Q
(52) CPC	A01G 1/00(2013.01) A01G 9/00(2013.01) G06K 9/00657(2013.01)	
(21) 출원번호/일자	1020150070462 (2015.05.20)	
(71) 출원인	성균관대학교산학협력단	
(11) 등록번호/일자	1017269440000 (2017.04.07)	
(65) 공개번호/일자	1020160137727 (2016.12.01)	전문다운
(11) 공고번호/일자	(2017.04.14)	전문다운
(86) 국제출원번호/일자		
(87) 국제공개번호/일자		
(30) 우선권정보		
법적상태	등록	
심사진행상태	등록결정(일반)	
심판사항		
구분/원출원권리	신규 /	
원출원번호/일자		
관련 출원번호		
기술이전 희망		
심사청구여부/일자	Y(2015.05.20)	
심사청구항수	8	



URL 복사
f
t

초록 본 발명은 작물의 생육 정보 수집 시스템에 관한 것으로서, 비닐 멀칭 상태의 재배지로부터 적외선 값들을 측정하는 센서부; 및 상기 재배지에 대한 열화상 이미지를 생성하고, 생성된 열화상 이미지로부터 작물의 이미지를 추출하여 상기 작물의 생육 정도를 인식하도록 도와 상기 적외선 값들로부터 상기 작물의 생육 정보 또는 상기 작물의 온도 분포 정보를 생성하는 제어부; 를 포함할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	114053031SB010
부처명	농림축산식품부
연구관리전문기관	농림수산식품기술기획평가원
연구사업명	농림축산식품연구개발사업-첨단생산기술개발사업
연구과제명	센서 융합기술을 이용한 콩 재배지 비닐포장 자동천공시스템의 개발
기여율	1/1
주관기관	성균관대학교 산학협력단
연구기간	2014.09.25 ~ 2015.09.24

7. 특허 : 비닐 멀칭 천공 장치 및 방법 (등록)
 등록번호 : 1016863250000 (2016. 12.07)

비닐 멀칭 천공 장치 및 방법
 APPARATUS AND METHOD FOR PUNCHING OF MULCHING PLASTIC

상세정보 공개전문 공고전문 등록사항 통합행정정보

서지정보 인명정보 행정처리 청구항 지정국 인용/피인용 패밀리정보 국가R&D 연구정보

(51) Int. CL	A01C 5/04(2015.07.03) A01G 13/02(2016.11.17)	크게보기 Q
(52) CPC	A01C 5/04(2013.01) A01G 13/0275(2013.01) G06K 9/00657(2013.01)	
(21) 출원번호/일자	1020150070464 (2015.05.20)	
(71) 출원인	성균관대학교산학협력단	
(11) 등록번호/일자	1016863250000 (2016.12.07)	
(65) 공개번호/일자	1020160137728 (2016.12.01)	전문다운
(11) 공고번호/일자	(2016.12.14)	전문다운
(86) 국제출원번호/일자		
(87) 국제공개번호/일자		
(30) 우선권정보		
법적상태	등록	
심사진행상태	등록결정(일반)	
심판사항		
구분/원출원권리	신규 /	
원출원번호/일자		
관련 출원번호		
기술이전 희망		
심사청구여부/일자	Y(2015.05.20)	
심사청구항수	10	

URL 복사 f t (KOR)

초록 본 발명은 비닐 멀칭 천공 장치에 관한 것으로서, 비닐 멀칭 상태의 재배지로부터 적외선 값을 측정하는 센서부; 상기 비닐 멀칭 일영역을 천공하는 천공부; 및 상기 적외선 값들로부터 상기 재배지에 대한 열화상 이미지를 생성하고, 생성된 열화상 이미지로부터 상기 작물의 생육 정도를 인식하며, 상기 생육 정도에 따라 상기 작물의 손상 없이 상기 일영역이 천공되도록 상기 천공부의 동작을 제어할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
 과제고유번호 114053031SB010
 부처명 농림축산식품부
 연구관리전문기관 농림수산식품기술기획평가원
 연구사업명 농림축산식품연구개발사업-첨단생산기술개발사업
 연구과제명 센서 융합기술을 이용한 콩 재배지 비닐포장 자동천공시스템의 개발
 기여율 1/1
 주관기관 성균관대학교 산학협력단
 연구기간 2014.09.25 ~ 2015.09.24

8. 홍보 : 기사/콩재배지, 조류피해로부터 머지않아 해방 (배포)
 배포 신문 : 한국농기계신문 (2017. 07.15)



성균관대 이규승 교수팀이 콩 재배시 조류피해를 획기적으로 예방할 수 있는 공압식 자동천공기를 개발해 국내뿐만 아니라 일본과 중국 등 수출전락 기종으로 각광받을 전망이다.

콩 재배지, 조류피해로부터 머지않아 ‘해방’

성균관대 이규승 교수팀, '자동천공기' 올해 개발 완료할 듯
 원천기술 확보... 일본·중국 등 수출전락기종으로 각광 전망

콩 재배농가 최대 애로사항인 조류피해를 방지하는 대응기술이 개발돼 화제다.

성균관대학교 이규승(사진) 교수팀은 콩 재배지 비닐포장 자동천공 시스템 개발을 목표로 현재 생육정보 수집장치와 비닐천공장치 등 2건의 원천기술을 확보했다고 밝혔다. 한해 약 442억 원으로 추정되는 콩 재배농가의 조류피해를 저감할 수 있는 획기적인 대응기술로 주목받고 있다.

농림축산식품부 지원으로 이 교수팀이 개발 중인 '센서 융합기술을 이용한 콩 재배지 비닐포장 자동천공 시스템'



은 콩 재배농가의 최대 고민거리인 조류피해를 방지하는 대응기술이다. 국립식량과학원은 비둘기에 의한 콩의 조류피해는 파종기에 77%가 발생하는데, 초엽기에는 15%로 급감하는 것으로 분석하고 있다. 또 현재 전국적으로 다양한 조류피해 대응책이 실행 중이지만 조류의 학습효과로 큰 효과를 거두지 못하고 있는 실정이다.

이 교수팀이 개발하는 자동천공기는 열화상 NIR 센서를 이용해 파종 후 비닐멀칭 상태에서 조류피해가 적은 초엽기에 비닐을 천공해 피해를 최소화하는 것이 핵심이다. 국내외에서 최초로 시도되는 자동천공기 개발이 완료되면 향후 재배면적 기준 세계시장 규모는 7조2,000억 원으로 추정되며, 내

수시장은 재배면적 상위 4% 기준으로 약 175억 원의 시장이 형성될 것으로 기대된다.

아울러 비닐멀칭 환경에서 콩을 재배하는 일본, 중국 등에 수출전략품목으로 활용할 수 있을 전망이다. 연구팀은 3년에 걸쳐 연구개발과 동시에 제천·청주·청원 일대에서 현장실험을 진행하고 있는데 성능고도화작업을 거쳐 향후 참여기업 등에 기술이전을 통해 본격적인 상용화를 추진할 계획이다.

홍성하 박사는 "5마력 이상의 상용관리기에 부착할 수 있도록 개발되는 자동천공기는 천공위치에 대한 장치의 위치제어와 천공대상인 멀칭비닐 하부의 콩 초엽에 대한 형상제어를 통해 3시간에 300평 기준으로 1만주의 천공 능력과 95%의 천공효율을 지니며, 대당 예상판매가 100만 원을 목표로 개발하고 있다"고 밝혔다.

김영태 기자

9. 홍보 : 기사/센서융합 콩 재배지 비닐포장 자동천공기 (배포)
 배포 매체 : 정밀농업기술지 (2014. 12.)



센서융합 콩 재배지 비닐포장 자동 천공기

- ① 지원 기관 : 농림수산식품기술기획평가원
- ② 연구 목적 : 국내의 주요 식량작물 중의 하나인 콩의 감초방제 및 생육 촉진을 위해 적용되는 겸정비닐포장 환경에서 재배의 최대 예로서형인 조류피해 경감 및 기계화를 통한 생산비 절감을 위해 센서 융합기술을 이용하여 겸정비닐포장 하부의 콩 초엽을 인식하고 천공하는 자동천공시스템의 개발
- ③ 연구 기간 : 2014년 9월 1일 ~ 2017년 8월 31일(총 3년)
- ④ 연구개발비 : 1,140,000천원
- ⑤ 주관 기관 : 성균관대학교(공동연구기관 : 충북대학교)
- ⑥ 참여 기업 : 장자동화, MIDM
- ⑦ 연구목표 및 내용
 - 연구목표 : 센서융합 콩 재배지 비닐포장 자동 천공기 개발
 - 겸정비닐포장 조건에서 초엽의 손상이 없는 관리기 부착형 비닐 자동천공장치의 개발
 - 센서융합으로 겸정비닐포장 하부의 콩 초엽 인식 및 시스템 제어기술의 개발
 - 세부사항
 - 겸정비닐포장 하부 콩 초엽 인식기술 및 비닐포장 현공위치 인식기술, 장치제어기술의 개발
 - 초엽반응특성을 이용한 인식-제어부의 센서 모듈화와 상용 관리기 집속 통합제어기술의 개발
 - 비닐포장 하부 초엽의 손상이 없는 비닐포장에 적용하는 관리기 부착형 자동천공장치의 개발
 - 탈부착이 가능하고 제어기술이 통합된 관리기 부착형 자동천공시스템 시각기의 개발

연구 개발 최종 목표

관형 파동기에 활용	관형 파동기에 활용	센서기반 조류인식	자동천공기
관형 파동에 적합하게 활용 가능		KCT 융합기술을 이용한 콩 재배지 비닐포장 대응 자동천공기 개발	

콩 재배지 영농규모에 적합하고 생산비 절감이 가능한 비닐포장 자동천공기 실용화

29

10. 기타/석사학위논문 : 콩 멀칭 재배를 위한 자동천공 시스템 개발 (참여연구원: 정관필)
 취득 학위 : 공학석사 (성균관대학교 일반대학원, 2016. 02.25)

원문보기 내서재담기 오류접수 한글로보기 내보내기 f t s + 목록보기 최근검색목록

콩 멀칭 재배를 위한 자동천공 시스템 개발 <http://www.niss.kr/link?jd=T14017626> 복사

· 기사타명	Development of automatic puncher system for soybean cultivation using plastic mulch
· 저자	정관필
· 형태사항	viii, 77 p. : 삽화, 표 : 30 cm
· 일반주기	지도교수: 이규승 참고문헌: p. 69-73
· 학위논문사항	학위논문(석사)-- 성균관대학교 일반대학원: 생명공학과 2016. 2
· 발행국	서울
· 언어	한국어
· 출판년	2016
· 주제어	콩 파종, 열화상 이미지, 비닐천공 장치, 비닐 멀칭, 천공장치 운동 궤적
· 소장기관	성균관대학교 상성학술정보관 성균관대학교 중앙학술정보관
· 초록 (Abstract) ▼	도시화 과정 속에서 급격히 감소하는 농업 노동력이 문제가 되고 있는 현재, 국내 농가의 38%를 구성하는 콩 재배농가에서 조류피해로 발생하는 재파종으로 인한 추가 인력소모 감소 및 기계...
· 목차 (Table of Contents) ▼	계1장 서론 1 1.1 연구배경 1 1.2 연구목적 2 계2장 문헌연구 4

활용도 Summary

View:

Usage:

Share:

11. 기타/석사학위논문 : 대상 인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계 및 이동식 계측 센서의 공간오차 보정을 위한 분석 (참여연구원: 윤예지)
 취득 학위 : 공학석사 (성균관대학교 일반대학원, 2017. 02.25)

원문보기 내서재담기 오류접수 한글로보기 내보내기 f t s+ + 목록보기 최근검색목록

대상 인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계 및 이동식 계측 센서의 공간 오차 보정을 위한 분석 <http://www.niss.kr/link?id=T14441233> 복사

· 기타서명	Analysis method to compensate space error caused by moving measurement sensor array and design of IR sensor array for identifying target
· 저자	윤예지
· 형태사항	viii, 70 p. : 삽화(일부천연색), 표 ; 30 cm
· 일반주기	지도교수: 이규승
· 학위논문사항	참고문헌 : p. 51-57 학위논문(석사)-- 성균관대학교 일반대학원 : 생명공학과 2017. 2
· 발행국	서울
· 언어	한국어
· 출판년	2017
· 주제어	적외선 센서, 이동식 계측 시스템, 공간 오차 보정, 비정수형 보간법, 센서 신호 정합법
· 소장기관	성균관대학교 삼성학술정보관 성균관대학교 중앙학술정보관
· 초록 (Abstract) ▼	기존의 종의 감초방제 및 생육 촉진을 위해 비닐 포광 후 인력 천공하여 파종하는 재배 방식에서 발생하는 조류피해와 인력남비를 해결하기 위해 기존의 재배 방식과는 다르게 파종 후에 비...
· 목차 (Table of Contents) ▼	계1 장 서론 1 1.1 연구배경 1 1.2 연구목적 3

활용도 Summary

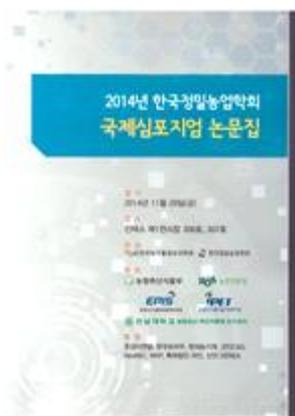
View

Usage

Share

12. 학술발표 : (국문)비접촉 열센서를 이용한 열화상 측정 시스템
 (영문)Thermo-graphic measurement system using IR sensor array

저 자 명 : 이규승, 홍성하, 이희용, 강신형, 이동훈*
 학 술 지 : 2014 한국정밀농업학회 국제심포지엄 논문집 p. 250-251
 발행년도 : 2014. 11.



주요내용 : 식물은 생물학적 또는 비생물학적 이유에 의해 성장에 나쁜 영향을 받으면 스트레스를 받게 된다. 스트레스나 질병에 의한 증상은 여러 가지로 나타날 수 있다. 물리적으로 스트레스를 받거나 병이 들거나 영양이 결핍되거나 광합성 필요 요소가 줄어들면 적색과 청색의 반사율이 늘고 근적외선에 반사량은 현저히 줄어 든다. 원격측정의 한 방법인 적외선 온도센서를 통한 영상과 디지털 영상분석은 관찰대상 작물을 물리적으로 접촉하지 않고도 비파괴적이며 연속적으로 정보를 얻도 분석하게 해준다. 또한 생리학적인 스트레스에 기인하여 발생하는 식물의 반응을 관찰한다. 그 증상이 심하지 않아 눈에 띄지 않을 수 있지만 적외선 온도센서를 통한 영상장치를 이용할 경우 그 증상을 보다 빨리 감지할 수 있다. 본 연구에서는 열화상 카메라보다 저렴한 비접촉 열센서를 이용하여 비파괴적으로 식물의 반응을 계측하고 작물의 변화 또는 이상징후를 관찰할 수 있는 시스템을 개발하였다.

13. 학술발표 : (영문)Design of Algorithm and Device for Punching Plastic Mulch Using Sensor Fusion Technology

저 자 명 : Kwanpil Jeong, Hyungsuk Kwak, Sungha Hong, Kyouseung Lee*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 133-134

발행년도 : 2015. 4.



주요내용 : Soybean which is one of the major crops in Korea are cultivated by 38% of farmers as 444,645 households. Those are generally grown in plastic mulch for weed and growing day control(KOSIS, 2015). Re-seeding which depends on manpower is necessary because birds' damage is 77% of total soybean in plastic mulch(Fig. 1-2). So countermeasure is demanded. It is used to ecological habit that birds eat the food depending mainly on sight. This study was designed to make the algorithm and optimization for development of automatic puncher in plastic mulch.

14. 학술발표 : (영문)Analysis of Patent and Technology used for Harvesters of Upland Crops

저 자 명 : Sungha Hong, Yeji Yun, Daeyeol Won, Kyouseung Lee*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 135-136

발행년도 : 2015. 4.



주요내용 : Recently, promoting mechanization of upland crop agriculture in the agricultural machinery area is the biggest issue in Korea. Proportion of upland crop mechanization is 55.7%, including part of sowing- transplantation(4%) and harvest(12%). This study was carried out for the purpose of constructing basic data for promoting policy of upland crop mechanization and researching space technology by analyzing paper and patent about 28 types of upland crops in insufficient mechanization part of harvest.

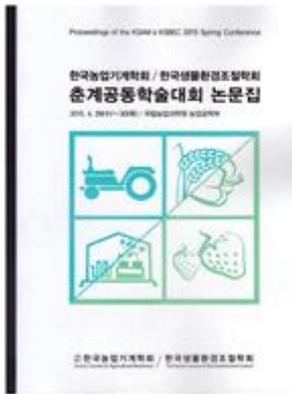
15. 학술발표 : (영문)Analysis of Agricultural Machinery Markets in Japan for Export of Korea Agricultural Machinery in 2014

저 자 명 : Sungha Hong, Hyungsuk Kwak, Kyouseung Lee*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 137-138

발행년도 : 2015. 4.

주요내용 : In 2014, the scale of Japanese agricultural machinery manufacturing industry is JP ¥31,272 million in total revenue including domestic revenue(JP ¥54,432 million(67%)) and export revenue(JP ¥76,841 million(33%)) in domestic



production. Some 1.9 million units that consisted of farm working machine(JP ¥5,619 million) and vegetables machinery(JP ¥5,781 million) were supplied(Fig. 1-4, Fig. 6-7). Based on 2014, domestic market scale of Japanese agricultural machinery that included total revenue(JP ¥33,113 million) of domestic products(JP ¥54,432 million(82%)) and import products(JP ¥8,681 million(18%)) is three times larger than Korean market(Fig. 1, Fig. 5). The revenue of Korean agricultural machinery exports to Japan is US \$25.8 million(JP ¥3,099 million)(KAMICO, 2013) and occupy 4% of Japanese import market share. This research is conducted for exports of Korean agricultural machinery that includes developing automatic puncher to Japan by market analysis.

16. 학술발표 : (영문)Plant object extraction under plastic mulch condition using thermal infrared image

저자명 : Hyongsuk Kwak Sungha Hong Kwanpil Jeong Kyouseung Lee*
 학술지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 289-290
 발행년도 : 2015. 4.



주요내용 : In Korea, Soybean is one of the major crops and farmhouse of soybean accounts for 38% of the total farmhouse. Soybean are generally grown in plastic mulch for weed control, growing day control and maintaining moisture contents of soil. Damage caused by birds is 77% of the total soybean under plastic mulching environment(RDA, 2008). So, objective of developing punching machine is for reducing these damage by punching plastic film on previous cotyledon stage of soybean. The result of this study will be used for recognition of soybean leaf under plastic mulching from infrared image for sensor system of automatic puncher.

17. 학술발표 : (국문)백태의 자엽기 생육특성 분석

(영문)Baektae-bean of cotyledon growth and development characteristic analysis

저자명 : 임형민, 강신형, 이규승, 이동훈*
 학술지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 255-256
 발행년도 : 2015. 4.



주요내용 : 정책당국에서는 발작물 경쟁력 제고를 위해 2020년까지 콩 자급률 20%를 목표로 하고 있다. 전국 발작물 재배농가의 38%의 많은 부분을 차지하고 있는 반면에 현장 최대 애로사항인 조류피해에

대한 확실한 대책이 없는 실정이다. 연구진은 기존의 조류퇴치 중심의 대책에서 콩 보호 대책으로 변화하여 파종, 멀칭, 천공의 형태로 작부체계를 도입하여 콩 자엽기 이전의 조류 피해를 최소화하기 위한 연구를 수행 중이다. 본 연구에서 백태의 자엽기 식생구조와 입지 환경, 생장 특성 등을 파악하여 시각 정보를 확인할 수 없는 비닐 포장 내부의 백태를 간접적으로 인지할 수 있는 인지 기술의 기초 정보를 활용하고자 한다.

18. 학술발표 : (국문)이동식 적외선 센서의 측정지연 오차보정을 위한 역방향 탐색법

(영문)Reverse search method to compensate measurement delay error caused by moving infrared sensor array

저 자 명 : 강채린, 이희용, 이규승, 이동훈*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2015 춘계공동학술대회 논문집 pp. 305-306

발행년도 : 2015. 4.

주요내용 : 이동식 센서를 이용하여 실시간으로 대상의 물성을 측정하는 계측 방법은 물리량 측정과 센서 이동이 동시에 발생하기 때문에 계측 대상과 계측값 사이에 시간 지연이 발생한다. 특히 16비트 이상의 해상도를 특성으로 하는 고정밀 센서를 사용할 경우 센서 입력부와 출력부 사이에서 발생하는 신호처리 시간으로 인해 이러한 시간적, 공간적 오차가 증가한다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이동식 센서의 활용시 발생하는 측정 지연 오차를 보정하기 위한 방법으로 정방향 측정값 데이터와 역방향 측정 데이터간의 관계를 대수적으로 cross correlation하는 방법을 연구하였다.

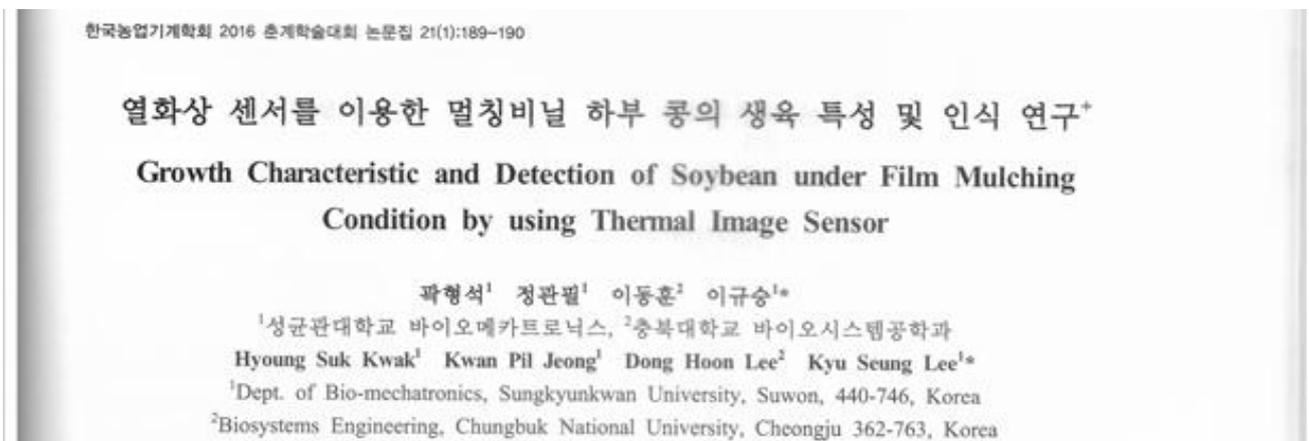


19. 학술발표 : (국문)열화상 센서를 이용한 멀칭비닐 하부 콩의 생육 특성 및 인식 연구

저 자 명 : 곽형석, 정관필, 이동훈, 이규승*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2016 춘계공동학술대회 논문집 pp 189-190

발행년도 : 2016. 4.



20. 학술발표 : (국문)비닐포장 하부 콩 작물 위치 인식을 위한 적외선 센서 어레이 설계에 관한 연구

저 자 명 : 윤예지, 곽형석, 이동훈, 이규승*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2016 춘계공동학술대회 논문집 pp 191-192
발행년도 : 2016. 4.



21. 학술발표 : (국문)이동식 계측센서의 공간 오차 보정을 위한 분석 방법
저 자 명 : 윤예지, 이동훈, 이규승*
학 술 지 : 한국농업기계학회 2016 춘계공동학술대회 논문집 pp 213-214
발행년도 : 2016. 4.



22. 학술발표 : (국문)스텝모터 제어와 주행형 센서계측을 위한 멀티쓰레드 설계
저 자 명 : 곽형석, 이동훈, 이규승*
학 술 지 : 한국농업기계학회 2016 춘계공동학술대회 논문집 pp 213-214
발행년도 : 2016. 4.

스텝모터 제어와 주행형 센서계측을 위한 멀티스레드 설계*
**Design of Multi-Thread for Controlling Stepping Motor and Measuring
Traveling Type Sensor**

곽형석¹ 이동훈² 이규승^{1*}

¹성균관대학교 바이오메카트로닉스, ²충북대학교 바이오시스템공학과

Hyoun Suk Kwak¹ Dong Hoon Lee² Kyu Seung Lee^{1*}

¹Dept. of Bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea

²Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 362-763, Korea

**23. 학술발표 : (영문)Research of non-integral spatial interpolation for precise
identifying soybean location under plastic mulching**

저 자 명 : 조용진, 윤예지, 이규승, 오종우, 이동훈*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2017 춘계공동학술대회 논문집 pp 156

발행년도 : 2017. 4.

한국농업기계학회 / 발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집

**Research of Non-integral Spatial Interpolation for
Precise Identifying Soybean Location under Plastic Mulching**

Yongjin Cho¹ Yeji Yun¹ Kyou-seung Lee¹ Jong-woo Oh² DongHoon Lee^{2*}

¹Department of Bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

**24. 학술발표 : (영문)Research of phase correlation method for identifying quantitative
similarity in adjacent real-time streaming frame**

저 자 명 : 조용진, 윤예지, 이규승, 오종우, 이동훈*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2017 춘계공동학술대회 논문집 pp 157

발행년도 : 2017. 4.

한국농업기계학회 / 발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집

**Research of Phase Correlation Method for Identifying Quantitative
Similarity in Adjacent Real-time Streaming Frame**

Yongjin Cho¹ Yeji Yun¹ Kyou-seung Lee¹ Jong-woo Oh² DongHoon Lee^{2*}

¹Department of Bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

25. 학술발표 : (영문)실시간 LWIR 밴드 영상처리를 위한 병렬 클러스터링 기술

저 자 명 : 조용진, 이규승, 홍성하, 오종우, 이동훈*

학 술 지 : 한국농업기계학회 2017 춘계공동학술대회 논문집 pp 158

발행년도 : 2017. 4.

한국농업기계학회 / 발농업기계개발연구센터 2017 춘계공동학술대회 초록집

실시간 LWIR 밴드 영상 처리를 위한 병렬 클러스터링 기술

Parallel clustering technology for real-time LWIR band image processing

조용진¹ 이규승¹ 홍성하¹ 오종우² 이동훈^{2*}
Yongjin Cho¹ Kyou-seung Lee¹ Seongha Hong¹ Jong-woo Oh² DongHoon Lee^{2*}

¹성균관대학교 바이오메카트로닉스학과

¹Department of bio-mechatronics, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

²충북대학교 바이오시스템공학과

²Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

11. 기타사항

	코드번호	D-13
- 해당사항 없음 -		

12. 참고문헌

	코드번호	D-14
1) Ceccardi T. L., R. L. Heath and I. P. Ting. 1995. Low temperature exotherm measurement using infrared thermography. <i>Hortscience</i> 30(1): 140-142.		
2) Guzmán E., V. Baeten, J. A. F. Pierna and J. A. García-Mesa. 2013. Infrared machine vision system for the automatic detection of olive fruit quality. <i>Talanta</i> . 116: 984-898.		
3) Jeon H. Y., H. Zhu, R. Derksen, E. Ozkan and C. Krause. 2011. Evaluation of ultrasonic sensor for variable-rate spray applications. <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> 75: 213-221.		
4) Jeong B. J. and S. W. Jang. 2009. Image processing using thermal infrared image. <i>Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society</i> 10(7): 1503-1508.		
5) Lee K. S, Y. J. Cho and D. H. Lee. 2016. Detection method for bean cotyledon locations under vinyl mulch using multiple infrared sensors. <i>Journal of biosystem engineering</i> , 41(3): 263-272.		
6) Lim S. K. 2009. Seedling emergence rates and the degrees of damage after soybean seeding by time of eating damage by pigeons and pheasants. <i>National Institute of Crop Science (In Korean)</i> .		
7) Kim G. Y., K. H. Ryu and H. Y. Chae. 1999. Measurement of stress related crop temperature variations. <i>Journal of Bio-Environment Control</i> 8(2): 233-236 (In Korean, with English abstract).		
8) Viola, P. and M. Jones. 2001. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In <i>Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol. 1, pp. 1-1)</i> . IEEE.		
9) Yuan, F. 2008. A fast accumulative motion orientation model based on integral image for video smoke detection. <i>Pattern Recognition Letters</i> 29(7): 925-932.		
10) Ceccardi, T.L., R.L. Heath, and I.P. Ting. 1995. Low- temperature exotherm measurement using infrared thermography. <i>Amer. Soc. Hort. Sci.</i> 30(1): 140-142.		
11) Chae, H.Y., 2000. Plant growth monitoring using thermography. MD. Diss., Seoul national Univ., Seoul.		
12) Kang, S.I. and G.H. Kim. 2007. A study on the implementation of a portable healthcare system using Zigbee. <i>The Journal of the Korea Institute of Maritime Information and Communication Sciences</i> . 11(9): 1793-1798.		
13) Korea Rural Economic Institute. 2009. Impacts and countermeasures of climate change in Korean agriculture. Report of Korea Rural Economic Institute R593.		
14) Lee, H.J. and S.B. Jun. 2009. A study on the SPI communication readable and writable simultaneously. <i>Proceedings of the Korean Institute of Communications and Information Sciences</i> . 2009(6): 2119-2120.		
15) Wang, X.F., D.S. Huang, J.X. Du, H. Xu, and L. Heutte. 2008. Classification of plant leaf images with complicated background. <i>Applied Mathematics and Computation</i> 205: 916- 926.		
16) Kim, S.G. and B.G. Kang. 2013. Implementation of a counterfeit notes detection method using IR sensor. <i>The Journal of Digital Policy & Management</i> 11(8):191-197.		
17) Ro, C.S., K. S. Suk, and H.S. Chang. 2014. Method for Measuring Weld Temperature Using an Infrared Thermal. <i>Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing</i> 34(4):299-304.		
18) Ryu, K.H., G.Y. Kim, and H.Y. Chae. 2000. Plant Growth Monitoring Using Thermography. <i>Korea Society for Agricultural Machinery</i> 25(4):293-300.		
19) Blazquez, C. H. 1989. Densitometry, image analysis, and interpretation of aerial color infrared		

photographs of citrus. Hortscience 24(4):691-693.

- 20) Camargo, A. and J. S. Smith. 2009. An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. Biosystems engineering 102:9-21.
- 21) Ceccardi, T. L., R. L. Heath and I. P. Ting. 1995. Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. Hortscience 30(1):140-142.
- 22) Feyaerts, F. and L. V. Gool. 2001. Multi-spectral vision system for weed detection. Pattern Recognition Letter 22. 667-674.
- 23) Hashimoto, Y., T. Ino, P. J. Kramer, A. W. Naylor and B. R. Strain. 1984. Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. Plant Physiology 74:266-269.
- 24) Inoue, Y. 1986. Remote-monitoring of function and state of crop community. Japanese Journal of Crop Science 55(2): 261-268.
- 25) Kim, G. Y., K. H. Ryu and H. Y. Chae. 1999. Measurement of stress related crop temperature variations. Journal of Bio-Environment Control 8(2):233-236 (In Korean, with English abstract).
- 26) Lim, S. K. 2009. Seedling emergence rates and the degrees of damage after soybean seeding by time of eating damage by pigeons and pheasants. National Institute of Crop Science (In Korean).
- 27) Philipp, I. and T. Rath. 2002. Improving plant discrimination in image processing by use of different colour space transformations. Computers and Electronics in Agriculture 35:1-15.
- 28) Sogaard, H. T. 2005. Weed classification by active shape models. Biosystems Engineering 91(3):271-281.
- 29) Tumbo, S. D., M. Salyani, J. D. Whitney, T. A. Wheaton and W. M. Miller. 2002. Investigation of laser and ultrasonic ranging sensors for measurements of citrus canopy volume. Applied Engineering in Agriculture. 18(3): 367-372.
- 30) ASAE. 2004. ASAE Standards 2004. 51st edition pp.370-375.
- 31) Choi DK, Park SH, Kang TK and Kwak TY. 2008. Development of garlic clove planter for vinyl mulching(Ⅲ)-Characteristics of planting holes by each films. 2008 KSAM annual winter conference. 13(1): 178-181.
- 32) Choi DK, Park SH, Kang TK, Kwak TY, Lee CS, Cho SC and Kim YJ. 2009. Development of a garlic clove planter attached to power tiller. Journal of Biosystems Engineering. 34(3): 140-146.
- 33) Ihlshin chemical Co., Ltd. 2013. Reports on localization of biodegradability of mulching film. Power point presentation slides. pp.11.
- 34) Inman DJ. 1995. Engineering vibration pp.299-305 (ISBN 0-13-951773-1).
- 35) ISO. 1974. Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s - Basis for specifying evaluation standards. Available from <http://www.iso.org/iso>.
- 36) Kim TS. 1983. Experimental research report of Rural Development Institute in Jeollanam-do: Investigation experiment of bean crop.
- 37) Lawrence MJ, Buckmaster DR and Lamont WJ. 2007. A pneumatic dibbling machine for plastic mulch. Applied Engineering in Agriculture. 23(4): 419-424.
- 38) Lament WJ. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. Hort Technology. 3(1): 35-39.
- 39) Lee SC, Lee YC, Kim SM and Sim KJ. 2005. Automatic Punching System using Machine Vision for FPC. 2005 Korean Society for Precision Engineering annual winter conference. 10: 982-98

5.

- 40) Manilla RD and Shaw LN. 1987. A High-speed Dibbling Transplanter. Transactions of the ASA BE. 30(4): 904-908.
- 41) Matsuoka S and Nakamura K. 1987. Seasonal fluctuation of soybean damage intensity by rufous turtle dove streptopelia orientalis and the factors affecting it. Japanese Journal of Ornithology. 36: 55-64.
- 42) Molin JP. 2002. A punch planter with adjustable seed spacing. In 2002 ASAE Annual Meeting. ASABE. pp.1.
- 43) NICS. 2008. Practical utilization of farming: Time periodic degrees of seeding stand and damage by pigeon and pheasant after sowing bean. pp.1-3.
- 44) Parker. 2015. Industrial cylinder products-hydraulic and pneumatic cylinders.
- 45) RDA. 2014. Using state of agricultural machinery and mechanized rate. pp.55-56(No. 11-139 0802-00956-01).
- 46) RDA. 2016. Korean Soil Information System. Available from <http://www.soil.rda.go.kr>.
- 47) Statistics Korea. 2015. Agriculture, fishery & forestry census. Available from <http://www.kostat.go.kr>.