

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ010503)

콩재배 정밀농업 시스템 기반기술 연구

Fundamental study for precision agriculture in soybean fields

국립농업과학원

연구수행기간

2014. 04 ~ 2016. 12

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “콩재배 정밀농업 시스템 기반기술 연구”(개발기간 : 2014.04. ~ 2016.12.)
과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 밭토양 유기물 측정기술 연구
제1협동연구과제 : 콩 생육정보 계측기술 연구
제2협동연구과제 : 원심식 변량 시비시스템 연구
제3협동연구과제 : ISO11783 규격 콩재배 정밀농업 제어시스템 연구
제4협동연구과제 : 센서기반 변량형 플랫폼 개발

2017. 2. 28.

제1세부 연구기관명 : 국립농업과학원
제1세부 연구책임자 : 홍영기
참 여 연 구 원 : 김상철, 김국환, 이재수, 유찬석, 권기영, 이동훈, 박수용
제1협동 연구기관명 : 경상대학교
제1협동 연구책임자 : 유찬석
참 여 연 구 원 : 김성현, 강예성, 강정균, 서재민, Tapash Kumar Sarkar,
제2협동 연구기관명 : 경상대학교
제2협동 연구책임자 : 권기영
참 여 연 구 원 : 한철우, 이상윤, 박효제
제3협동 연구기관명 : 충북대학교
제3협동 연구책임자 : 이동훈
참 여 연 구 원 : 민재기, 이현경, 황영수, 사재원, 박소정, 김수아, 우상희
제4협동 연구기관명 : 호산테크(주)
제4협동 연구책임자 : 박수용
참 여 연 구 원 : 박우성, 류경일

주관연구책임자 : 홍영기 ㉠

주관연구기관장 : 국립농업과학원장

직인

농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서
열람에 동의합니다.

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “콩재배 정밀농업 시스템 기반기술 연구”(개발기간 : 2014.04. ~ 2016.12.)
과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 발토양 유기물 측정기술 연구
제1협동연구과제 : 콩 생육정보 예측기술 연구
제2협동연구과제 : 원심식 변량 시비시스템 연구
제3협동연구과제 : ISO11783 규격 콩재배 정밀농업 제어시스템 연구
제4협동연구과제 : 센서기반 변량형 플랫폼 개발

2017. 2. 28.

제1세부 연구기관명 : 국립농업과학원
제1세부 연구책임자 : 홍영기
참 여 연 구 원 : 김상철, 김국환, 이재수, 유찬석, 권기영, 이동훈, 박수용
제1협동 연구기관명 : 경상대학교
제1협동 연구책임자 : 유찬석
참 여 연 구 원 : 김성현, 강예성, 강정균, 서재민, Tapash Kumar Sarkar,
제2협동 연구기관명 : 경상대학교
제2협동 연구책임자 : 권기영
참 여 연 구 원 : 한철우, 이상운, 박효제
제3협동 연구기관명 : 충북대학교
제3협동 연구책임자 : 이동훈
참 여 연 구 원 : 민재기, 이현경, 황영수, 사제원, 박소정, 김수아, 우상희
제4협동 연구기관명 : 호산테크(주)
제4협동 연구책임자 : 박수용
참 여 연 구 원 : 박우성, 류경일

주관연구책임자 : 홍영기

주관연구기관장 : 국립농업과학원장



농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서
열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제번호	PJ010503		연구기간	2014. 04. 01. ~ 2016. 12. 31.	
연구사업명	단위사업명	농업공동연구			
	세부사업명	농업정책지원기술개발			
	내역사업명	발작물 생산성 증대 기술개발			
연구과제명	주관과제명	콩재배 정밀농업 시스템 기반기술 연구			
	세부(협동)과제명	(1세부) 발토양 유기물 측정기술 연구 (1협동) 콩 생육정보 계측기술 연구 (2협동) 원심식 변량 시비시스템 연구 (3협동) ISO11783 규격 콩재배 정밀농업 제어시스템 연구 (4협동) 센서기반 변량형 플랫폼 개발			
연구책임자	구분	연구기관		소속	성명
	1세부	국립농업과학원		스마트팜개발과	홍영기
	1협동	경상대학교		애그로시스템공학부	유찬석
	2협동	경상대학교		애그로시스템공학부	권기영
	3협동	충북대학교		바이오시스템공학과	이동훈
	4협동	호산테크(주)		호산테크(주)	박수용
총 연구기간 참여 연구원 수	총: 27명 내부: 4명 외부: 23명		총 연구개발비	정부: 720,000천원 민간: 20,000천원 계: 740,000천원	
위탁연구기관명 및 연구책임자			참여기업명	호산테크(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
○ 관입식 토양 유기물 측정 장치 개발 - 측정장치 크기: 250(L)×105(W)×70(H) mm, 센서봉을 포함한 전체 높이: 770 mm - 기지의 농도별 TOC 용액에 대한 주파수별 특성을 비교 분석한 결과 TOC농도가 높아질수록 Intensity가 낮아지는 경향이 나타났음 ○ UAV기반 Multi-spectral 영상을 이용한 콩의 건물중 및 질소량 추정 - 식생지수 NDVI, GNDVI를 이용한 생육단계별 폐주콩과 검은콩의 건물중 및 질소함량에 대한 상관분석 결과, 건물중과 질소함량 모두 GNDVI가 NDVI보다 약 0.5~0.8 정도 높은 상관계수 값을 나타내는 것으로 분석됨 ○ 원심식 시비기를 활용한 변량 시비 시스템 개발 - 시비량 조절장치, 출구위치 조절장치, GPS를 부착하여 주행속도 및 살포량 변화에 따라 변량 시비가 실시되는 장치 제작하여, 살포 균일도 시험결과, 변이계수가 15% 이하로 나타나 균일한 살포가 가능한 것으로 나타났음 - 기존 콩 재배의 경우, 시비에 사용되는 비료의 양이 약 20% 감소 기대				보고서 면수 : 124면	

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<p>본 연구는 토양 및 작물의 상태에 따라 입제비료를 ISO11783 통신규격을 기반으로 하여 적재적소에 정량 살포되는 시스템 개발을 목적으로 한다.</p> <p>토양 및 작물의 정보를 획득하기 위하여 분광분석식 토양 유기물 측정 장치의 시작기를 제작하여 토양 유기물 측정 장치 실내 성능평가를 하였다. 그리고 콩 생육 계측시스템을 개발하여 콩의 생육데이터를 취득한 후 이를 이용하여 추정모델을 개발하였다. 원심식 변량 시비 시스템 연구에서는 기존에 판매중인 원심식 살포기에 출구위치 조절장치, 시비량 조절장치를 부착하여 개량하였다. 개량한 변량시스템의 제어요인 별로 살포패턴을 분석 Database를 구축하여 시비량 조절장치와 출구위치 조절장치 제어를 통해 적재적소에 비료를 살포하는 변량 시비 시스템을 개발하였다.</p>				
연구개발성과	<p>제어장치가 장착된 모니터부, 센서봉, 관입 원주로 구성된 관입식 토양 유기물 측정 장치 개발하였다. 측정장치의 크기는 250(L)×105(W)×70(H) mm, 센서봉을 포함한 전체 높이는 770 mm이다. 콩의 생육을 측정하기 위하여 식생지수 NDVI, GNDVI를 이용한 추정모델 개발하여 회귀분석결과 GNDVI를 이용한 모델이 NDVI를 이용한 모델보다 높은 성능이 나타났다. 건물중을 추정한 경우, GNDVI의 정확도를 나타내는 R²는 0.740, 정밀도를 나타내는 RMSE는 17.5g으로 나타났고, NDVI의 경우, R²는 0.639, RMSE는 20.56g으로 나타났다. 시비량 조절장치, 출구위치 조절장치, GPS를 부착하여 주행속도 및 살포량 변화에 따라 변량 시비가 실시되는 장치를 제작하여 살포 균일도 시험결과, 변이계수가 15% 이하로 나타나 균일한 살포가 가능한 것으로 나타났다.</p>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>기존 콩 재배의 경우, 시비에 사용되는 비료의 양이 약 20% 감소가 기대된다. 또한 변량시비기술의 활용으로 처방량의 15% 범위내의 오차로 비료를 살포함으로써 비료의 과다집중으로 인한 토양오염 및 작물의 피해 최소화가 될것으로 판단된다. 그리고 콩 뿐만 아니라 다른 밭작물에도 적용 가능하여 밭작물 기계화에 큰 기여를 할 것으로 예상된다. 이와같이 투입농자재를 절감할 수 있는 정밀농업의 기반의 확보로 농업기계 관련 및 농업센서 관련 산업의 활성화가 예상된다.</p>				
중심어 (5개 이내)	정밀농업	콩	토양센서	생육계측	변량제어

〈Summary〉

Purpose& Contents	<p>The purpose of this research was to develop a variable rate fertilizer spreading system based on soil and crop properties with ISO11783 communication protocols.</p> <p>A prototype soil organic matter spectrophotometer was manufactured to acquire the information of soil and crops, and implemented indoor performance evaluation. Soy bean growth data was obtained and an estimation model was developed with a growth measurement system. A commercial centrifugal spreader was modified as attaching a discharging location control unit and a flow rate control unit. Spreading database was constructed for each control factor to influence on spread patterns and a variable rate spreading system was ultimately developed by the control units.</p>					
Results	<p>A soil organic matter sensing system was composed of a monitoring unit, a sensor probe and a cone penetrometer.</p> <p>The size of the monitoring unit of the system is 250(L)×105(W)×70(H) mm, and the total length of the sensing system is 770 mm with a sensor probe. Estimation models were developed using NDVI and GNDVI to measure the growth of vegetation, and the regression result showed that GNDVI model had higher performance than NDVI model. After estimating total dry weights, R^2 which represents accuracy was 0.74 and RMSE which represents precision showed 17.5g for GNDVI, and R^2 of 0.639 and RMSE of 20.56 g were reported for NDVI, respectively. A spreading system which controls a rate based on a fertilizer amount setting and a tractor speed was constructed with a discharging location control unit, a flow rate control unit and a GPS. The uniformity test of the spreader showed a promising result with lower than 15% of coefficient variation and possibility of creation for uniformly distributed spread patterns.</p>					
Expected Contribution	<p>The use of fertilizer content can be reduced about 20% in a conventional soy bean farming. Excessive application can be avoided with a variable rate technology as spreading fertilizers within 15% of error, thus soil contamination and crop damage can be minimized. The developed systems and technologies can be applied to other upland field crops and contributed to mechanization for the upland crops. Invigoration of agricultural machinery and sensor business can be expected by securing the foundation of precision agriculture</p>					
Keywords	precision agriculture	soybean	soil sensor	g r o w t h measurement	variable rate control	

〈 목 차 〉

제 1 장	연구개발과제의개요	7
제 2 장	국내외 기술개발 현황	8
제 3 장	연구수행 내용 및 결과	12
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	114
제 5 장	연구결과의 활용계획 등	117
제 6 장	연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	117
제 7 장	연구개발성과의 보안등급	117
제 8 장	국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비현황·	117
제 9 장	연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적·	118
제 10 장	연구개발과제의 대표적 연구실적	118
제 11 장	기타사항	120
제 12 장	참고문헌	120

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발 목적

2000년대에 들어 이상기후로 인한 농작물 피해와 개발도상국의 곡물소비량 증가로 인한 식량부족 사태가 빈발하고 있다. 그리고 다양한 경제적 환경변화로 인해 농업 정책의 패러다임이 6차 산업화 및 기술통합화 추세에 있는 등 국내외 트렌드가 변화하고 있어, 이에 대응하기 위해 ICT 융합기술을 접목한 정밀농업 개발이 필요한 실정이다. 또한 지속 가능한 친환경 농업을 육성하고 소비자 신뢰확보를 위한 식품 안전관리 체계를 강화하기 위해 IT, 로봇 기술 등을 융복합한 정밀농업기술을 통해 친환경, 고품질 안전 농산물 시스템 구축이 필요한 상황이다. 농업 선진국에서 검증된 콩을 비롯한 밭작물 정밀농업 기술을 국내에 적용하기 위해 영농규모와 여건, 작목을 고려한 기술을 재구성하여 국내 밭작물 기계의 시장한계를 극복하고 기계화 생산기반을 구축하고자 하고 있다. 그리고 최근 안전하고 고품질 농산물에 대한 소비자 선호도가 높아지고, 고품질 농산물 생산과 환경오염을 줄이기 위해 화학비료와 같은 농자재 과잉투입 문제를 해결 할 필요성이 있다.

따라서, 토양 및 작물의 상태에 따라 적정 농자재 투입이 필요하지만, 콩 재배 시 사용되는 원심식 입제 살포기의 구조적 문제로 인해 비료 살포가 불균일한 문제점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 토양 및 작물의 상태에 따라 입제비료를 ISO11783 통신규격을 기반으로 하여 적재적소에 정량 살포되는 시스템 개발을 목적으로 한다.

제2절 연구 개발의 필요성

우리나라의 경우 OECD 국가 중 화학비료는 5위, 화학농약의 경우 1위의 사용량을 보이고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 친환경농산물의 비율이 확대되어 2009년 5.2%에서 2013년 8.5%, 2015년에는 12%로 증가하는 추세이고, 화학비료와 화학농약의 경우 2009년에서 2015년까지 각각 267kg/ha에서 187kg/ha, 9.9kg/ha에서 6.9kg/ha로 30%가량 감량되어 사용되어지고 있다. 그리고 친환경 농식품 시장규모는 2009년 4조원으로 연간 45.2%의 성장을 보여주고 있으며, GAP 인증면적의 경우 2012년 3%에서 2018년 10%로 증가하고 있다. 또한 식품안전 개선인식도도 2012년 67.6%에서 2018년 70%로 증가하고 있어 생산부터 소비단계까지 위해요소 유입을 근본 차단하고 과학적 안전관리를 통한 소비자 신뢰확보와 식품안전 관리체계가 강화되고 있다. 그러나 아직까지 경험에 의존한 농업이 주를 이루고 있어 농업에 IT, 로봇기술을 융복합한 정밀농업 기계기술로 친환경 고품질 안전 농산물 생산시스템 구축 시급한 실정이다.

2000년대 들어 이상기상으로 인한 농작물 피해와 개발도상국들의 곡물소비량 증가 등으로 인해 식량부족 사태가 빈발하면서 언제든지 식량을 구할 수 있다는 환상이 깨지기 시작하였다. 그리고 농업 시장개방이 확대되고, 무한 경쟁이 가속화되면서 국내외적으로 기술경쟁력을 갖춘 농식품산업 육성을 도모하며, 고령화 및 다문화화, 글로벌화, 융복합화 등 경제 환경 변화로 농업정책의 패러다임이 6차산업화 및 기술통합화 추세에 있는 등 국내외 트렌드가

변화하고 있다. 이에 대응하기 위해서는 ICT융합 기술을 접목한 정밀농업이 적합할 것으로 판단된다. 발작물 재배에도 환경 친화적 생산 방식의 도입과 생산이력 정보 제공 등을 통해 식품 안전성 확보와 소비자와의 신뢰를 구축함으로써 수요-공급의 안정된 순환구조형성이 중요 할 것으로 판단된다.

콩을 비롯한 발작물 정밀농업은 농업선진국에서 지난 20년 동안 효과가 검증된 기술이나 국내 적용을 위해 영농 규모와 여건, 작목을 고려한 기술 재구성 연구가 필요 하다. 그리고 국내 발작물 기계의 시장 한계를 극복하고 기계화 생산기반 구축을 위해서는 첨단 기술을 결합한 발작물 정밀농업기계 개발을 통한 수출 동력화가 필요할 것이다.

제3절 연구 개발 범위

토양 및 작물의 정보를 획득하기 위한 발토양 유기물 측정기술 연구 및 콩 생육정보 계측 기술 연구를 수행하였다. 연구개발 범위는 분광분석식 토양 유기물 측정 장치의 시작기를 제작하여 토양 유기물 측정 장치 실내 성능평가를 하였다. 그리고 콩 생육 계측시스템을 개발하여 콩의 생육데이터를 취득한 후 이를 이용하여 추정모델을 개발하였다. 개발한 추정모델을 종합적으로 비교분석하여 가장 높은 성능을 보인 시스템과 모델을 제안하였다. 원심식 변량 시비 시스템 연구에서는 기존에 판매중인 원심식 살포기에 출구위치 조절장치, 시비량 조절장치를 부착하여 개량하였다. 개량한 변량시스템의 제어요인 별로 살포패턴을 분석 Database를 구축하여 시비량 조절장치와 출구위치 조절장치 제어를 통해 적재적소에 비료를 살포하는 변량 시비 시스템을 개발하였다. ISO11783 규격 콩 재배 정밀농업 제어시스템 개발 연구에서는 콩 재배 정밀 농업 대응 ISO11783 호환 기술을 분석하여 트랙터를 포함한 작업기 연동형 사용자 주ECU 사양을 결정하여 설계하였다. 또한 콩 생육 계측 및 변량 시비 시스템 연동 프로토콜 설계하고, 사용자 주제어ECU 운영체제 대응 GUI 도구 선정 및 기초 UI 개발하였다. 센서기반 변량형 플랫폼 개발에서는 발작물 작업에 적합한 기계 기구를 설계하여 작업기 속도 등을 고려한 모듈을 구성하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 연구 현황

정보통신부와 지식경제부의 주관으로 2004~2009년까지 농수축산업의 생산·유통·소비 분야에 적용 가능한 IT융합 기술개발을 위해 R&D시범사업을 추진하기 시작하였다. 시범사업을 통해 발굴된 주요 요소기술로는 USN, RFID, LED 등이 주를 이루었으며, 부분적으로 GIS/GPS, QR코드 등의 기술도 활용되고 있다. 2010년 이후부터는 농림축산식품부 주관으로 검증된 IT 융합 기술 확산을 위한 모델 발굴 사업이 산발적으로 추진되고 있으며, 농수축산 현장에서 RFID/USN 등의 신기술을 적용한 생육환경 및 생산(사육)환경 조절 기술 등의 개발과 함께 정밀센싱을 통한 품질 균일화·고급화에 대한 정밀농업 관련 기술 연구가 진행 중이다.

정밀농업은 1999년 미국과의 정밀농업 기술개발에 대한 국제공동연구를 추진한 계기로, 국내에서도 정밀농업에 대한 본격적인 논의 및 연구를 시작하였다. 정밀농업의 현장적용을 위한 ‘이양동시 변량 시비기’ 및 ‘수확량 모니터링 콤바인 시스템’ 등이 개발[1-1, 1-2]되어 현장적용 시험이 진행되었으며, 센싱기반 자율주행 트랙터 기술개발이 활발히 진행되고 있으나 미국의 기술력에 비해 80% 수준으로 나타났다.

현재 최고 기술보유국은 미국이며, 기술위치는 평균 72.2%의 기술수준에 기술격차는 평균 3.5년으로 나타났다. IT 기반 센싱 및 정밀농업의 경우 평균 71.9%의 기술수준에 기술격차는 평균 3.5년으로 나타나고 있다.

농촌진흥청에서는 Fig. 1과 같이 이양동시 변량시비 이양기[1-3]를 개발하여, 관행 시비방법에 비해 약 20~30%의 비료 절감효과가 있다고 보고되었다. 벼 수확량 모니터링 콤바인의 경우 수확량 측정 정밀도는 95%, 수분함량 측정 13~30%까지, $\pm 1\%$ 오차범위로 측정 가능한 콤바인용 벼 수확량과 수분측정시스템[1-4]을 Fig. 2와 같이 개발되었다.

토양환경 관련 센서 개발로는 Fig. 3과 같이 토양 물성 측정장치, 휴대형 토양측정장치[1-5], 임피던스를 이용한 토양수분 센서[1-6]가 개발되어 실용화되었고, 디지털 원추 관입기[1-7, 1-8] 등에 관한 기초연구가 수행되었다.



Fig. 1 이양동시 변량시비 이양기 Fig. 2 벼 수확량 모니터링시스템 Fig. 3 휴대형 토양측정장치

제2절 국외 연구 현황

환경 및 농업용 무선센서기술 시장은 2016년 약 \$2,946 million 달러에 이를 것으로 예상되며, 연평균 성장률은 11.2%로 전망하고 있다(Global wireless sensors market for environment and agricultural monitoring 2011-2016). 그리고 농작업 자동화·로봇화를 위한 농기계 시장은 2016년 약 \$81 billion 달러가 예상되며, 연평균 성장률은 7.97%로 전망하고 있다.(Global agriculture machinery 2014-2018). 또한 정밀농업기술은 2018년 약 \$3.72 million 달러의 시장을 형성할 것으로 예상되며 연평균 성장률은 12%로 전망하고 있다(Precision farming market by technology, applications-global forecast & analysis 2013-2018)

미국 국가과학기술위원회(NSTC) 주도로 IT융합의 기반이 되는 원천기술에 대한 R&D 투자를 2002년 18억 달러에서 2012년 37억 달러로 투자를 확대하고 있으며, 기후변화 대응 등의 분야에 신규 R&D 영역 개발 및 확대를 지속적으로 추진하고 있다.

그리고 1990년대 초반 GPS와 수확량 모니터링 장치가 상용화되면서 정밀농업 이용이 급격히 증가하였으며, 2000년대에는 고정밀도 GPS를 이용한 무인주행 농작업과 조간 농자재 변량(row-by-row)살포 기술이 이용되었다. 또한, 실시간 센서 개발과 정밀농업을 통한 취득 정보를 농산물 생산이력 이용 하는 것들이 주로 개발되었다. 비료 변량 투입기술이 2006년 재배면적의 25%에 적용되었으며, 변량 파종과 농약살포는 3~7% 수준이었다. 현재 Amazone, Bogballe, Evans and Pearce, Kongskilde, Farmec Sulky, Kuhn, Teagle, Kverneland 사에서 변량시비를 위한 장비를 판매하고 있으나 미국의 경지 특성상 대량 살포를 목적으로 하고 있어 우리 농업 여건과는 차이가 있다.

일본의 경우 농식품 IT융합기술은 크게 기계화, 편리성 도모, 수익향상, 건강증대, 안정성 확보 등의 측면에서 광범위하게 적용되고 있다. 그리고 2000년대 이후 u-japan(2004년), e-japan(2011년) 등 IT 융합정책이 발표되었고, 농업에 유비쿼터스 기술 적용이 시도되었다. 2011년 I-japan 전략을 수립하면서 농업을 IT융합 기반의 시스템형 신산업으로 육성하기 위한 6대 중점분야 중 하나로 선정되기도 하였다. 또한 Fig. 4와 같이 가변시비장치로 기비용과 추비용[1-9]이 개발되었으며, 살포량은 1~140kg/10a, 살포폭은 10, 15m(2단계), 작업속도 0.5m/s를 보여 주고 있다. 그리고 비료와 약제를 고랑 중앙부에 시비할 수 있는 시비동시 두둑 성형기[1-10]를 Fig. 5와 같이 개발하였으며, 사용량은 관행의 50~70%로 보고되어 있다. 또한 적외선(830nm) 필터 장착 IEEE1394디지털 카메라를 이용하여 유효측정 범위가 15%~80%인 작물 피복률 실시간 차량 탑재용 센서[1-11] Fig. 6과 같이 개발하였고, Fig. 7과 같이 적색(R=550nm), 녹색(G=625nm), 근적외분광필터(IR=800nm)가 내장된 벼 전용 생육센서[1-12]가 개발되었다.



Fig. 4 가변시비장치(추비용, 일본)



Fig. 5 시비동시 두둑 성형기(일본)



Fig. 6 작물생육 측정기(일본)



Fig. 7 벼 전용 생육센서 (일본)

네덜란드의 경우 농업의 정밀화 사업 PPL(Program Precisie Landbouw)에 따라, 2010년부터 1월부터 3기 4년간에 걸친 민관 공동 출자 사업을 추진 중이다. 그리고 독일은 그린농업 ‘iGreen’ 프로젝트를 진행 중이며, 정부와 농기계 제조업체·시스템 IT업체 등 총 24개의 민간 업체가 위치기반·지식워크를 바탕으로 사용자에게 표준자료를 제공하고 있다. 중국의 경우 변량살포를 위하여 비료를 호퍼에 적재 후 롤러 회전속도와 길이에 따라 변량 살포되는 Fluted roller에 대한 연구가 이루어지고 있다. 그리고 현재, 롤러의 회전속도 및 길이, 구조 등에 따른 다양한 조건별로 균일한 비료살포 방법을 연구 중에 있다. 파키스탄은 변량살포를 위하여 토양색, 토양 조건, 지형조건, 작물 등을 고려하여 GPS와 연동하여 모터의 속도를 조절하여 적재적소에 비료를 살포하는 시스템을 개발 중에 있다.

제2절 국내외 연구현황 비교 및 필요 연구 분야

정밀농업 응용기술은 이미 세계적인 추세로 IT 융합기술 등을 활용한 스마트 기술 확산 및 대중화의 흐름에 따라 앞으로의 성장 잠재력이 크다고 판단된다. 그리고 미래의 신성장 분야로서 정부차원의 R&D 집중 투자를 통한 국제 경쟁력 확보가 필요하고, 정부차원의 집중 투자로 신성장 분야인 정밀농업에 대한 국제 경쟁력 확보가 필요한 시점이다.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
성균관대학교	- 디지털 원추 관입기 개발	기초연구 수행
농촌진흥청	- 휴대형 토양측정장치 개발 - 외기 및 토양 환경 측정장치 개발	개발 실용화 보급 단계(보급대수 940대('13))
일본 동경농업대학교	- 트랙터 부착형 토양 측정장치개발 (유기물, 질산태질소, 전질소, 수분, pH, EC 등 측정)	개발 후 실용화 단계
미국 veris사	- 트랙터 부착형 실시간 토양측정장치 개발(전탄소, 전질소, 수분, EC, pH 등 측정)[1-13, 1-14]	실용화 보급 단계
일본 중앙농업종합연구센터	- 작물 피복율 실시간 차량 탑재용 센서개발 (유효측정 범위 15%~80%)	개발 후 현장 적용 단계
일본 생연센터	- 벼 전용 생육센서개발 (적색(R=550nm), 녹색(G=625nm), 근적외분광필터(IR=800nm)가 내장)	실용화 보급 단계

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

제1절 밭토양 유기물 측정기술 연구

1. 밭토양 유기물 측정을 위한 요인실험 결과

가. 토양시료 채취

유기물 분석에 필요한 토양은 경기도 안성지역의 밭 토양을 중심으로 채취하였다. 토양 채취는 토양 윗부분의 잔유물과 같은 이물질들을 제거한 후 표토 부분을 채취하였고, 토양 시료를 채취한 곳에서 재배된 작목으로는 감자, 파, 도라지, 무, 배추, 참깨, 들깨, 콩, 양파, 오이, 고추 등으로 다양한 곳에서 채취하였다. Fig. 1-1과 Table 1-1에 토양시료의 채취 위치와 유기물 함량을 나타낸 것으로, 토양 시료는 총 365점을 채취하였으며 토양 시료 채취 및 유기물 분석은 안성시농업기술센터의 협조를 얻어 같이 수행하였다.



Fig. 2-1 밭 토양시료 채취위치

Table 1-1 토양시료 채취 지역 및 유기물 함량

시료 번호	작 물	유기물 (g/kg)	시료 번호	작 물	유기물 (g/kg)
원곡-1	배(15-19년생)	62	양성-1	배(15-19년생)	43
원곡-2	복숭아(5-10년생)	30	양성-2	배(15-19년생)	37
원곡-3	감자(노지)	20	양성-3	배(15-19년생)	18
원곡-4	배(15-19년생)	61	양성-4	파(노지)	19
원곡-5	배(15-19년생)	54	양성-5	들깨	16
원곡-6	배(15-19년생)	39	양성-6	파(노지)	37
원곡-7	감자(노지)	25	양성-7	고추(노지)	62
원곡-8	파(노지)	4	양성-8	감자(노지)	62

원곡-9	고추(노지)	16	양성-9	참깨(노지)	35
원곡-10	도라지	24	양성-10	감자(노지)	22
원곡-13	무(노지)	25	양성-11	감자(노지)	44
원곡-14	배(15-19년생)	19	양성-12	오이(시설)	63
원곡-15	배(15-19년생)	17	양성-13	배추(노지)	29
원곡-16	배(15-19년생)	50	양성-14	참깨(노지)	22
원곡-17	양파(노지)	44	양성-15	오이(시설)	64
원곡-18	배(15-19년생)	51	양성-16	오이(시설)	6
원곡-19	배(15-19년생)	34	양성-17	마늘(노지)	33
원곡-20	배(15-19년생)	55	양성-18	마늘(노지)	29
원곡-21	배(15-19년생)	51	양성-19	마늘(노지)	43
원곡-22	배(15-19년생)	50	양성-20	마늘(노지)	59
원곡-23	배(15-19년생)	42	양성-21	감자(노지)	19
원곡-24	감자(노지)	39	양성-22	소나무	22
원곡-25	참깨(노지)	61	양성-23	고추(노지)	35
원곡-26	감자(노지)	12	양성-24	배(15-19년생)	63
원곡-27	감자(노지)	11	양성-25	파(노지)	37
원곡-28	인삼(예정지)	43	양성-26	고추(노지)	9
원곡-29	감자(노지)	27	양성-27	도라지	13
원곡-30	감자(노지)	7	양성-28	복숭아(3-4년생)	13
원곡-31	감자(노지)	12	양성-29	마늘(노지)	23
원곡-32	마늘(노지)	15	양성-30	마늘(노지)	26
원곡-33	감자(노지)	21	양성-31	마늘(노지)	24
원곡-34	참깨(노지)	22	양성-32	고추(노지)	39
원곡-35	참깨(노지)	16	양성-33	고추(노지)	41
원곡-36	콩(노지)	24	양성-34	마늘(노지)	7
원곡-37	콩(노지)	23	양성-35	양파(노지)	46
원곡-38	고추(노지)	29	양성-36	양파(노지)	44
원곡-39	소나무	23	양성-37	마늘(노지)	52
원곡-40	소나무	18	양성-38	고추(노지)	24
원곡-41	소나무	2	양성-39	감자(노지)	48
원곡-42	콩(노지)	12	양성-40	감자(노지)	60
원곡-43	파(노지)	22	양성-41	배(15-19년생)	36
원곡-44	파(노지)	28	양성-42	밀	23
원곡-45	파(노지)	24	양성-43	참깨(노지)	10
원곡-46	파(노지)	11	양성-44	참깨(노지)	13
원곡-47	파(노지)	21	양성-45	밀	29

원곡-48	파(노지)	31	양성-46	파(노지)	39
원곡-49	파(노지)	51	양성-47	파(노지)	35
원곡-50	파(노지)	26	양성-48	블루베리(3-4년)	6
원곡-51	고추(노지)	23	양성-49	콩(노지)	31
원곡-52	양파(노지)	25	양성-50	양파(노지)	20
원곡-53	마늘(노지)	27	양성-51	소나무	5
원곡-54	밀	50	양성-52	콩(노지)	23
원곡-55	옥수수	28	양성-53	감자(노지)	16
원곡-56	들깨	28	양성-54	콩(노지)	9
원곡-66	감자(노지)	44	양성-55	파(노지)	40
원곡-67	배(15-19년생)	28	양성-56	파(노지)	17
원곡-68	들깨	8	양성-57	파(노지)	18
원곡-69	배(15-19년생)	13	양성-58	파(노지)	14
원곡-70	배(15-19년생)	16	양성-59	파(노지)	25
원곡-71	배(15-19년생)	22	양성-60	배(15-19년생)	41
원곡-72	고추(노지)	23	양성-61	소나무	19
원곡-73	고추(노지)	17	양성-62	목초(조성용)	33
원곡-74	고추(노지)	25	양성-63	목초(조성용)	49
원곡-75	파(노지)	23	양성-64	마늘(노지)	55
원곡-76	배(15-19년생)	30	양성-65	배(15-19년생)	60
원곡-77	배(15-19년생)	24	양성-66	참깨(노지)	31
원곡-78	배(15-19년생)	18	양성-67	무(노지)	39
양성-103	배(15-19년생)	26	양성-68	참깨(노지)	22
양성-104	배(15-19년생)	21	양성-69	참깨(노지)	19
양성-94	배(15-19년생)	36	양성-70	배(15-19년생)	39
양성-95	배(15-19년생)	45	양성-71	배(15-19년생)	31
양성-96	배(15-19년생)	45	양성-72	배(15-19년생)	53
양성-97	복숭아(5-10년생)	32	양성-73	배(15-19년생)	52
양성-98	배(15-19년생)	20	양성-74	배(15-19년생)	55
양성-99	배(15-19년생)	33	양성-75	배(15-19년생)	41
양성-100	마늘(노지)	28	양성-76	배(15-19년생)	43
양성-105	배(15-19년생)	35	양성-77	마늘(노지)	15
양성-106	배(15-19년생)	39	양성-78	콩(노지)	14
양성-107	복숭아(5-10년생)	29	양성-79	콩(노지)	22
양성-108	배(15-19년생)	55	양성-80	콩(노지)	31
양성-109	느티나무	14	양성-81	콩(노지)	33
양성-110	소나무	16	양성-82	배(15-19년생)	52

양성-111	파(노지)	21	양성-83	배(15-19년생)	59
양성-112	옥수수	15	양성-84	콩(노지)	49
양성-113	마늘(노지)	31	양성-85	콩(노지)	21
양성-115	감자(노지)	21	양성-86	콩(노지)	38
양성-117	파(노지)	27	양성-87	파(노지)	53
양성-118	파(노지)	52	양성-88	파(노지)	20
양성-119	콩(노지)	44	양성-89	배(15-19년생)	58
양성-120	파(노지)	31	양성-90	배(15-19년생)	51
양성-121	콩(노지)	20	양성-91	배(15-19년생)	44
양성-122	콩(노지)	17	양성-92	배(15-19년생)	32
양성-123	배(15-19년생)	25	양성-93	배(15-19년생)	53
양성-124	배(15-19년생)	22	양성-101	배(15-19년생)	23
양성-125	파(노지)	43	양성-102	배(15-19년생)	25

나. 화학적 분석을 이용한 유기물 측정

토양 유기물 함량은 Tyurin법(토양 및 식물체 분석법, 농촌진흥청)을 이용하여 측정하였다. 측정 방법은 200 mesh 체로 친 0.5 g의 풍건토에 0.4 N 중크롬산칼리황산 혼합액($K_2Cr_2O_7$) 10 ml를 가한 다음 200℃ 정도의 뜨거운 전열판에서 5분 가열 한 다음 냉각시킨 후 150 ml 증류수를 가하였다. 그리고 5 ml의 85%의 이소소인산(H_2PO_4)과 지시약(diphenylamine) 5~6방울과 0.2 N 황산제1철암모니움(Fe_2SO_4) 용액을 넣고, 용액의 색이 주황색으로부터 남청색을 거쳐 담록색이 될 때 적정의 종말점으로 판단하여 측정하고, 유기물을 측정하는데 시료 한 개당 약 40분정도 소요되었다.

다. 유기물 함량의 화학적 분석

화학적 분석을 통하여 토양 유기물 함량을 측정하기 위하여 Tyurin법으로 측정을 하였다. Table 1-1에 샘플위치와 같이 유기물을 측정한 결과를 나타내었고, 유기물 함량은 2 g/kg에서 64 g/kg 사이로 다양하게 변화를 나타내고 있었다. 가장 낮은 유기물 함량을 나타내고 있는 곳은 원곡면 성은리 지역으로 소나무와 사과를 재배하고 있었다. 또한 가장 높은 유기물 함량을 나타내고 있는 곳은 양성면 덕봉리 지역으로 시설 오이와 양성면 난실리의 고추 재배 지역임을 알 수 있었다. 토양 시료의 전체 평균 유기물 함량은 약 31 g/kg으로 원곡면 성주리(파), 원곡면 지문리(들깨), 양성면 방신리(배)등의 지역에서 나타났다.

라. 분광분석기를 이용하여 토양 시료 측정

토양샘플은 유기물 함량의 화학분석에 사용된 동일한 토양을 사용하였고, Fig. 1-2에 풍건한 토양 샘플을 나타내었다.



Fig. 1-3 분광분석에 사용된 토양 시료

Fig. 1-3에 나타낸 분광분석기(Spectroradiometer, FieldSpec3, Analytical Spectral Devices, Inc., USA)를 사용하였고, FieldSpec3의 측정 가능한 파장대는 350 nm에서 2500 nm까지로 사양은 Table 1-2에 나타내었다.



Fig. 1-3 분광분석기(FieldSpec3, ASD)

Table 1-2 분광분석기의 사양

Wavelength range	350~2500 nm(VNIR+SWIR1+SWIR2) * VNIR: 350~1050nm * SWIR1: 1000~1800nm * SWIR2: 1800~2500nm
Size Height	277(H)×356(W)×292(D) mm
Weight	5.6 kg
AC Power supply type	Auto ranging, Switching, SELV
AC Input	90~240 VAC, 50/60 Hz
DC Input	+12 VDC, 60 W
Accessory power port	Output, +12VDC, 27 Watt(max)

풍건한 토양샘플 20 g을 Fig. 1-4과 같은 토양샘플 홀더에 충전한 후에 Fig. 1-5에 나타난 FieldSpec3 전용 머그라이트에 장착하고 측정하였다. 측정범위는 350 nm에서 2500 nm까지 1 nm간격으로 반사율을 측정하였고, 반사율 1회 측정 시 10회 스캔한 데이터의 평균값을 취하여 3반복 측정을 하였다. 그리고 토양샘플을 10회 측정한 후 Fig. 1-5의 왼쪽의 머그라이트 위에 있는 광 보정용 전용 화이트보드를 이용하여 캘리브레이션을 실시하였다. Fig. 1-6은 분광분석기를 이용하여 측정하는 모습을 나타내었다.



Fig. 1-4 토양샘플 홀더



Fig. 1-5 머그라이트(A122100)



Fig. 1-6 측정 모습

마. 분광분석기를 이용하여 토양 시료 측정 결과

FieldSpec3을 이용하여 측정한 토양샘플의 일부에 대해 파장대별 반사율의 변화를 Fig. 1-7에서 Fig. 1-14에 걸쳐 나타내었다. Fig. 1-7에는 감자 재배지, Fig. 1-8은 참깨, Fig. 1-14에는 무, 밀, 옥수수, 배추 재배지의 특성으로, Fig. 1-15에서 알 수 있듯이 측정결과가 유사한 경향을 나타내고 있으며, 1,900 nm까지 reflectance가 증가하다가 이후에 점차적으로 감소하고 있으며, 모든 데이터에서 유사한 유형을 나타내고 있었다. 그리고 1,000 nm에서 반사도가 급격하게 증가되는 부분은 측정 장비의 기계적인 특성으로 판단되어 1,000 nm의 반사율은 고려하지 않았다.

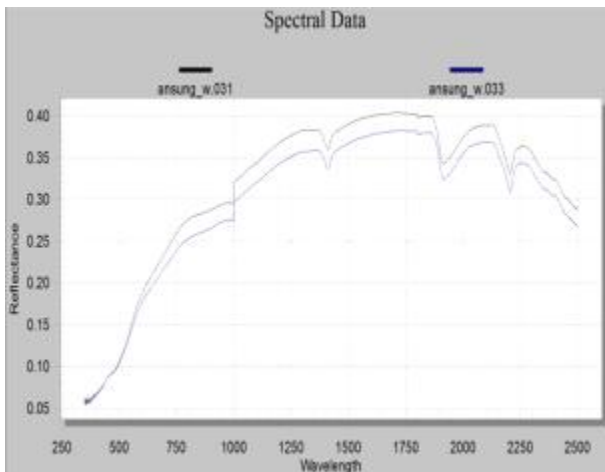


Fig. 1-7 감자 재배지의 파장대별 반사율

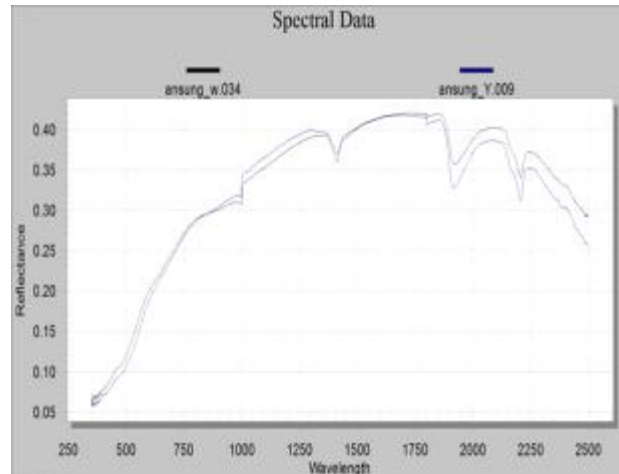


Fig. 1-8 참깨 재배지의 파장대별 반사율

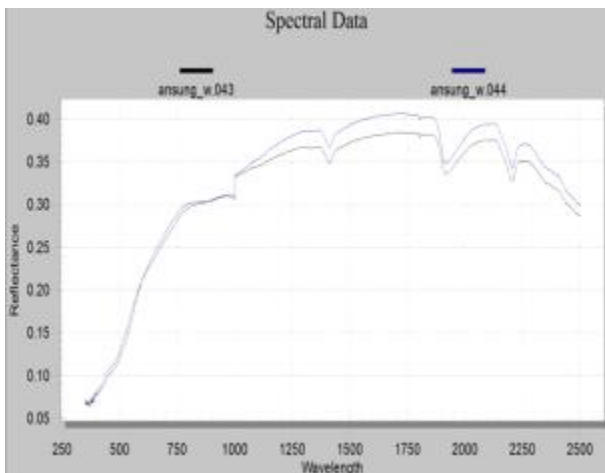


Fig. 1-9 파 재배지의 파장대별 반사율

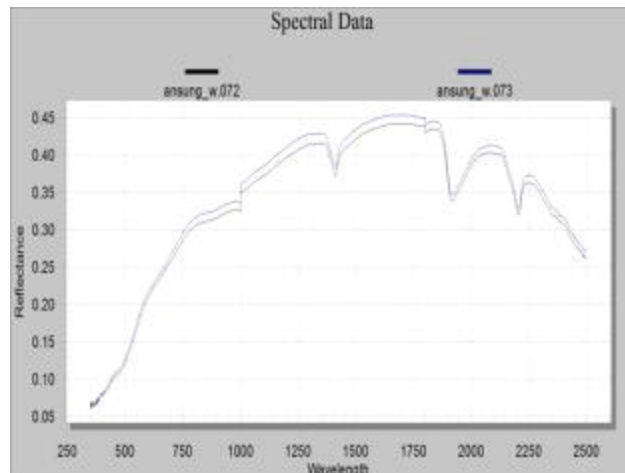


Fig. 1-10 고추 재배지의 파장대별 반사율

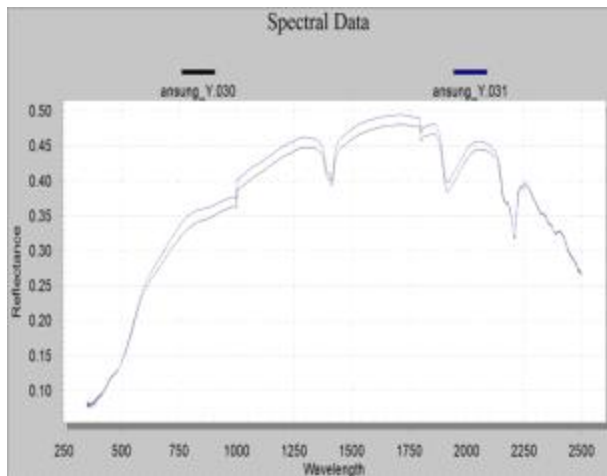


Fig. 1-11 마늘 재배지의 파장대별 반사율

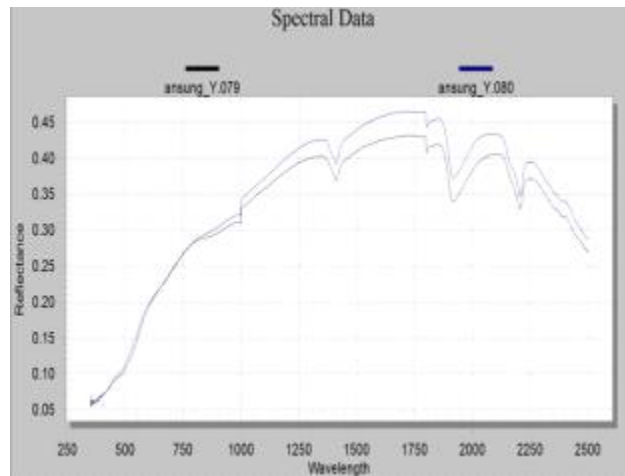


Fig. 1-12 콩 재배지의 파장대별 반사율

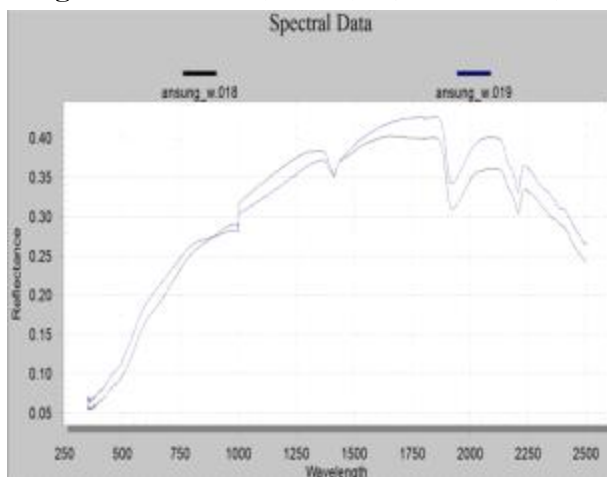


Fig. 1-13 배 재배지의 파장대별 반사율

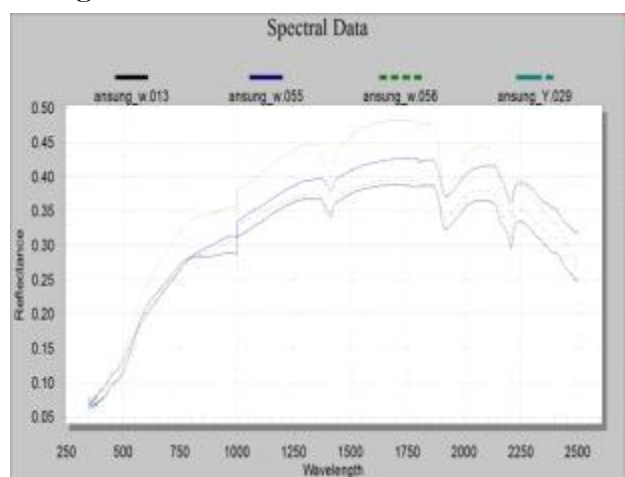


Fig. 1-14 무, 밀, 옥수수, 배추의 파장대별 반사율

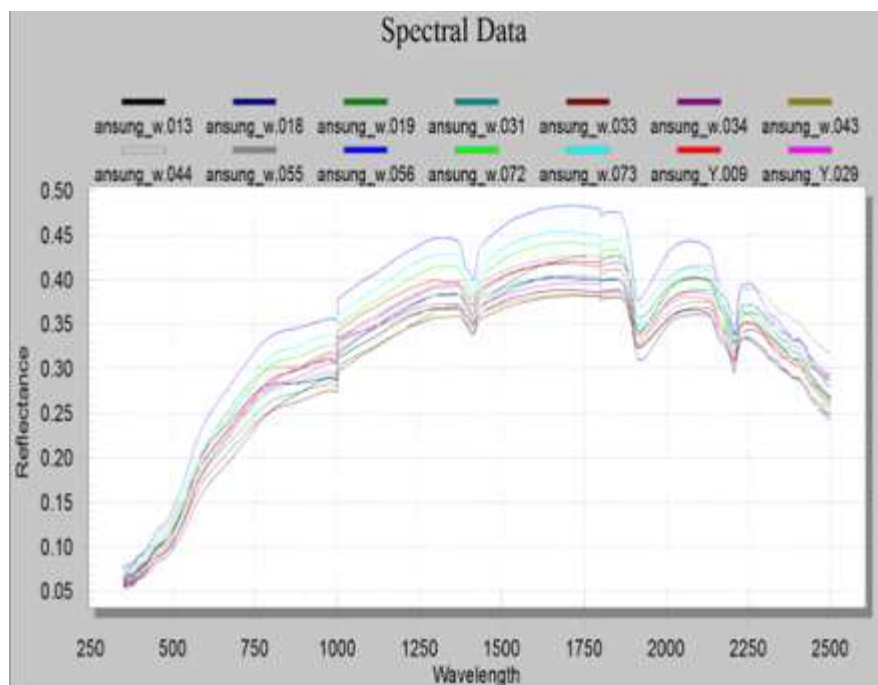


Fig. 1-16 작목별 재배지의 파장대별 반사율

2. 분광분석식 토양 유기물 측정 장치 시작기 제작

가. 분광분석식 토양 유기물 측정 장치의 원리

토양 수분을 비롯한 토양의 물리적 특성과 토양 내 존재하는 영양소와 미량원소를 포함한 화학적 성분들이 특정 파장대역의 빛을 흡수하거나 반사하는 특성을 이용한다. 특정파장을 포함하는 광원을 토양 내부에 조사하고 반사된 빛의 파장과 흡수 및 반사강도를 분석해 토양의 특성을 식별하는 원리이다. Fig. 1-16에 나타냈듯이 관입 원추를 땅 속에 삽입하는 구조로 원추 부분에 내장된 프리즘을 통하여 광을 조사하고 다시 수광하여 땅 속의 토양 환경을 측정할 수 있도록 시작기를 고려하였다.

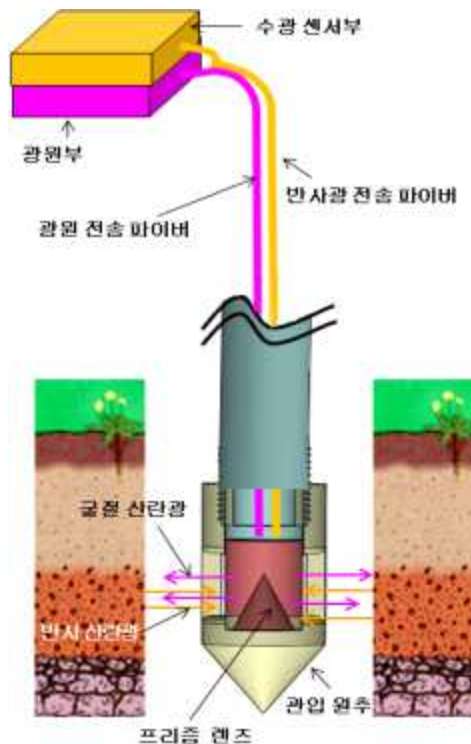


Fig. 1-16 분광 분석식 토양
유기물 측정 개요

나. 분광 분석식 토양 유기물 측정 장치 설계

분광 분석식 토양 유기물 측정 장치는 Fig. 1-17과 같이 구성하였다. Fig. 1-17과 같이 광원과 수광센서, 신호처리장치가 들어있는 측정 장치 제어부와 토양 내부로 빛을 조사하기 위한 센서봉, 손잡이를 통해 센서에 힘을 가했을 때 센서가 단단한 토양 속을 효과적으로 관입할 수 있도록 하는 관입 원추 및 광원부에서부터 광파이버를 통해 유도된 광을 토양 속에 조사하고 반사된 빛을 모아 수광 센서부로 전달하기 위한 프리즘으로 구성하였다.

센서 제어부는 토양 성분들에 민감한 특정 파장대역을 포함한 광원부와 반사광의 파장대역과 세기를 식별하는 수광 센서부 및 수광 신호를 분석해 토양의 성분과 특성을 판별하는 신호 처리부로 구성되었다. 그리고 제어부의 외부에는 측정된 데이터를 표시하고 데이터의 저장과 센서 관리용 메뉴들을 표시하는 표시창과 측정버튼, 메뉴 탐색과 이동을 위한 화살표 버튼으로 구성하였고, 관입 원추는 프리즘을 지지하고 보호하면서 토양 속으로 진입하는 역할

을 하며, 관입 원추가 진입하는 동안 관입 원추 표면에 접촉한 토양은 매끈한 면이 형성되고, 프리즘 렌즈는 이 토양면 위에 광파이버를 통해 전달된 빛의 방향을 90° 꺾어 조사하고 반사된 빛을 다시 수광 파이버를 통해 수광 센서로 전달되도록 설계하였다.

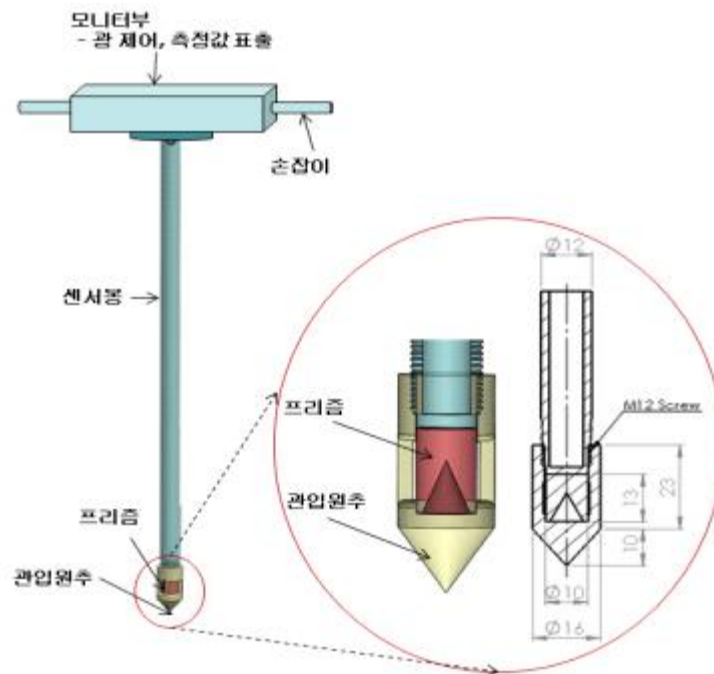


Fig. 1-17 분광 분석식 토양 유기물 측정 장치

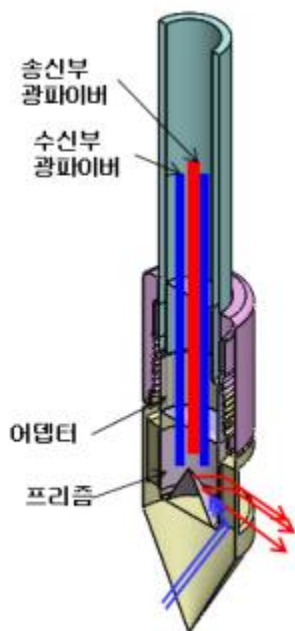


Fig. 1-18 관입원추 상세도

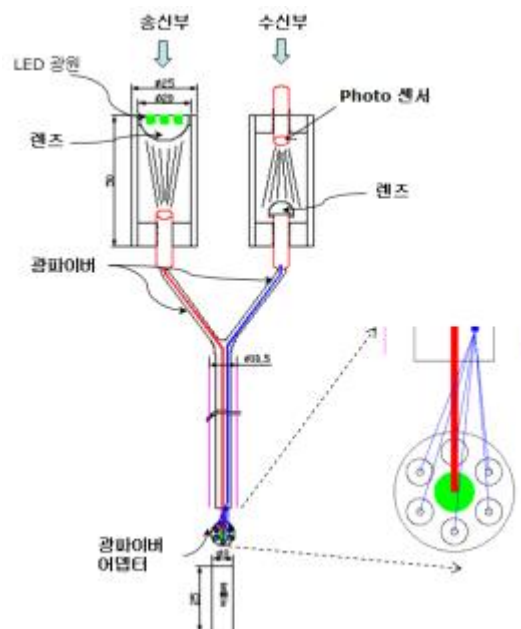


Fig. 1-19 광 송수신부 상세도

Fig. 1-18에 관입원추의 구조를 나타내었다. Fig. 1-18과 같이 LED광원을 파이버와 프리즘을 통해 토양에 조사한 한 후 다시 반사되어 들어오는 광을 수신부 파이버를 통해 수광하는 구조이다. Fig. 1-19에는 광원 송수신부의 개략적인 부분을 나타냈으며, 두 개의 광 파이버를 사용하였고, 광 발신과 수신 할 때에 렌즈를 통해 집광을 할 수 있도록 설계하였다.

다. 분광 분석식 토양 유기물 측정 장치의 시작기 제작

Fig. 1-20에 제작한 관입식 토양 유기물 측정 장치를 나타냈으며, 모니터부의 외부와 내부 모습도 함께 나타내었다. 토양 유기물 측정 장치 모니터부의 크기는 250(L)×105(W)×70(H) mm, 센서봉을 포함한 전체 높이는 770 mm이며, 모니터부 내부에 광 송수신 모듈 등이 설치되어 있고, 암실조건이 될 수 있도록 하였다. 모니터는 Fig. 1-20과 같이 전원, 메인화면, 데이터 출력 단자, 충전단자로 구성하였으며, 모니터는 터치 패널로 되어 있어 측정 및 저장 등의 조작을 간단하게 수행할 수 있었다. 센서봉은 직경 12 mm이며 길이는 700 mm, 관입원추는 Fig. 1-21과 같이 직경 16 mm로 길이가 24 mm로 제작하였고, 재질은 스테인리스 계열 SUS304를 사용하였다.



Fig. 1-20 제작한 관입식 토양 유기물 측정 장치

Fig. 1-21에는 원추 관입부의 구성을 나타내고 있으며, 원추 내부에 프리즘을 설치하였고, 프리즘을 고정할 수 있도록 프리즘 위와 아래쪽에 고무링을 장착하였다. 그리고 광파이버를 고정할 수 있도록 파이버 어댑터를 내장하였다. 원추 관입부에 프리즘을 장착할 경우 수분 등의 외부 오염물질이 들어올 수 없도록 방진 방수 설계를 하여야 하지만, 현재는 프리즘을 교환 장착할 수 있도록 제작하였다. Fig. 1-22에 콘 타입의 프리즘과 빗각 타입의 프리즘을 나타냈으며, 2개의 프리즘을 적용하여 검토할 계획이고, 콘 타입의 프리즘은 발신된 광을 360° 전체로 광을 보낼 수 있어 넓은 범위를 측정하기에 적합할 것으로 예상된다. 그리고 빗

각 타입의 프리즘은 45°로 경사각을 주어 한 방향으로만 광을 송수신하여 좁은 범위 측정에 적합할 것으로 예상된다.



Fig. 1-21 원추 관입부 구성

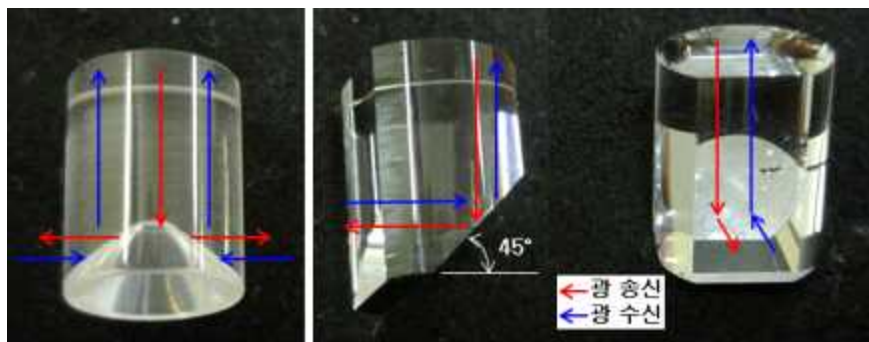


Fig. 1-22 프리즘 형태(좌측-콘 프리즘, 우측-빗각 프리즘)

Fig. 1-23에는 콘 타입의 프리즘을 장착하여 광원을 조사하는 모습을 나타내고 있으며, Fig. 1-23의 우측 사진이 광을 조사할 때의 광이 발신되는 모습을 보이고 있다.



Fig. 1-23 프리즘을 통한 광 조사 모습

3. 분광 분석식 토양 유기물 측정 장치 실내 성능평가

제작한 토양 유기물 측정 장치의 주파수 특성 파악 및 성능평가를 위하여 실내 실험을 수행하였다. 실험 방법은 기지의 TOC 용액을 대상으로 농도별 TOC 용액에 대한 주파수별 특성을 비교 분석하였다. 공시 용질은 전탄소(Total Organic Carbon, TOC) 용액(TOC standard, Fluka analytical co., Switzerland)과 증류수를 사용하였다. 공시용질을 TOC 용액으로 선택한 이유는 토양 및 식물체 분석법(농촌진흥청)에서 유기물 측정법(Tyurin법)이 탄소 함량을 측정하여 토양유기물함량을 산출하고 있기 때문에 사용하였다.

실험은 증류수를 사용하여 TOC용액의 함량이 제로인 경우를 상정하여 수행하였다. TOC 용액의 범위는 25, 50, 100, 500, 1000 mg/l의 5수준으로 하였고, 측정은 Fig. 1-24와 같이 설치하여 분광분석기와 제작한 토양 유기물 측정 장치를 이용하여 TOC 용액의 주파수 특성을 측정하였다. Table 1-3과 같은 사양의 분광분석기(Spectroradiometer, SV2100 VIS-NIR, K-MAC Technology co., korea)를 사용하였고, SV2100 측정 가능한 파장대역은 400 nm에서 1,050 nm까지로 Fig. 1-25에 사용한 분광분석기를 나타내었다.

Fig. 1-24와 같이 유기물 측정 장치를 고정시킬 수 있는 거치대를 이용하여 장치를 지지, 관입 원추부분을 땅속에 관입된 상태를 가정하여 암실상자를 제작하여 측정대상인 TOC 용액을 넣을 수 있도록 하였으며, Fig. 1-26에 공시용질인 TOC용액을 나타냈었다.



Fig. 1-24 유기물 측정 장치를 이용한 실내실험 모습



Fig. 1-25 분광분석기(SV2100 VIS-NIR)

Table 1-3 분광분석기의 사양

Wavelength range	400~1050 nm
Resolution	< 2.5 nm
Grating	750/600 line
Size Height	35(H)×98(W)×118(D) mm
Weight	1.2 kg



Fig. 1-26 공시용질 TOC용액

실험 방법은 다음과 같은 순서로 진행하였다. 분광분석기의 광원 안정화를 위하여 30분간 전원을 넣은 후에, TOC용액을 25 ml로 정확하게 칭량하여 시험관에 넣고 용액이 담긴 시험관을 암상자에 고정시켰다. 그리고 관입 원추 부분의 프리즘이 용액에 잠기도록 암상자의 높이를 조정하고, 빛의 간섭을 방지하기 위하여 센서봉 위쪽에 덮개로 막았다. Fig. 1-27에 나타난 Visual spectra program을 실행시켜 측정 후 데이터를 저장하며 이때 5번 측정을 하고, 이와 같은 방법을 3반복하여 실험을 수행하였다.

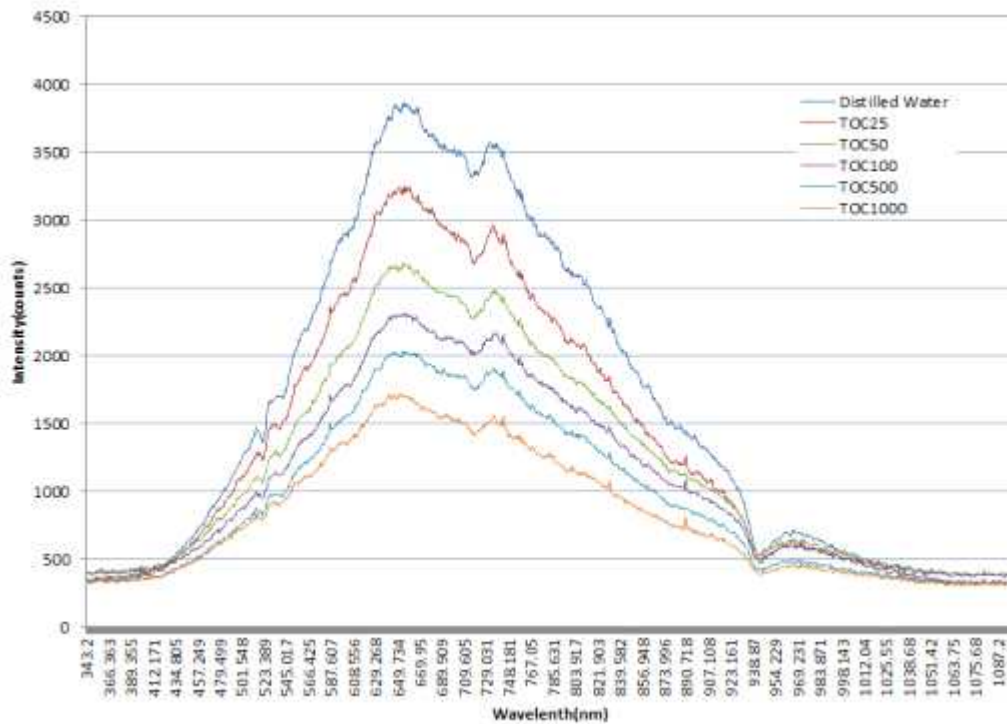


Fig. 1-28 콘 타입의 프리즘인 경우의 TOC 변화에 따른 주파수 특성

빛각 타입의 프리즘인 경우의 TOC용액의 농도 변화에 따른 주파수 특성을 Fig. 1-29에 나타내었다. 전체적으로 콘 타입의 프리즘인 경우와 유사한 경향을 보이고 있으며, 주파수가 증가할수록 Intensity가 증가하여 피크파장인 650 nm를 기점으로 Intensity가 감소하는 경향을 보이고 있었다. 하지만, 증류수를 측정된 결과는 콘 타입의 경우 가장 높은 Intensity를 나타냈지만, 빛각 타입의 프리즘에서는 TOC농도가 100 mg/l보다 약간 높게 나타내고 있었다. 그리고 TOC농도 25 mg/l인 경우가 TOC용액 중에서 가장 높은 Intensity를 기록했으며, TOC농도가 1,000 mg/l인 경우에 가장 낮은 Intensity를 보여, TOC농도가 높아질수록 Intensity가 낮아지는 경향을 나타내어, 콘 타입 프리즘과 동일한 경향을 보였다.

증류수 및 TOC용액에서의 피크 파장은 650 nm에서 나타내고 있으며, 935 nm에서 Intensity가 감소하는 동일한 경향을 나타내었다. 그리고 515 nm 부근에서도 Intensity가 감소하였다가 바로 다시 증가하는 현상이 나타났으며, 715 nm 부근에서도 동일한 현상을 보이고 있었다.

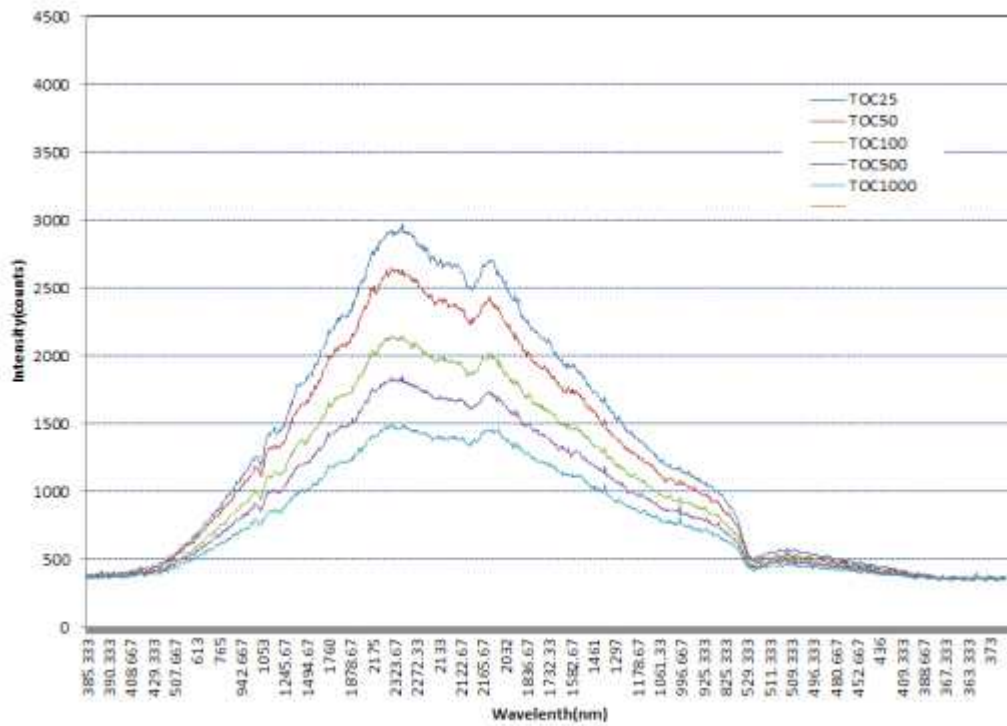


Fig. 1-29 빗각 타입의 프리즘인 경우의 TOC 변화에 따른 주파수 특성

추가적으로 실시한 pH용액 변화에 따른 주파수 특성을 Fig. 1-30에 나타내었다. 전체적으로 주파수가 증가할수록 Intensity가 증가하여 피크파장인 655 nm를 기점으로 Intensity가 감소하는 경향을 보이고 있었다. 그리고 pH3인 경우 pH용액 중에서 가장 높은 Intensity를 기록했으며, pH10인 경우에 가장 낮은 Intensity를 보여 pH가 높아질수록 Intensity가 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 증류수를 측정 한 결과 가장 높은 Intensity를 나타내었다.

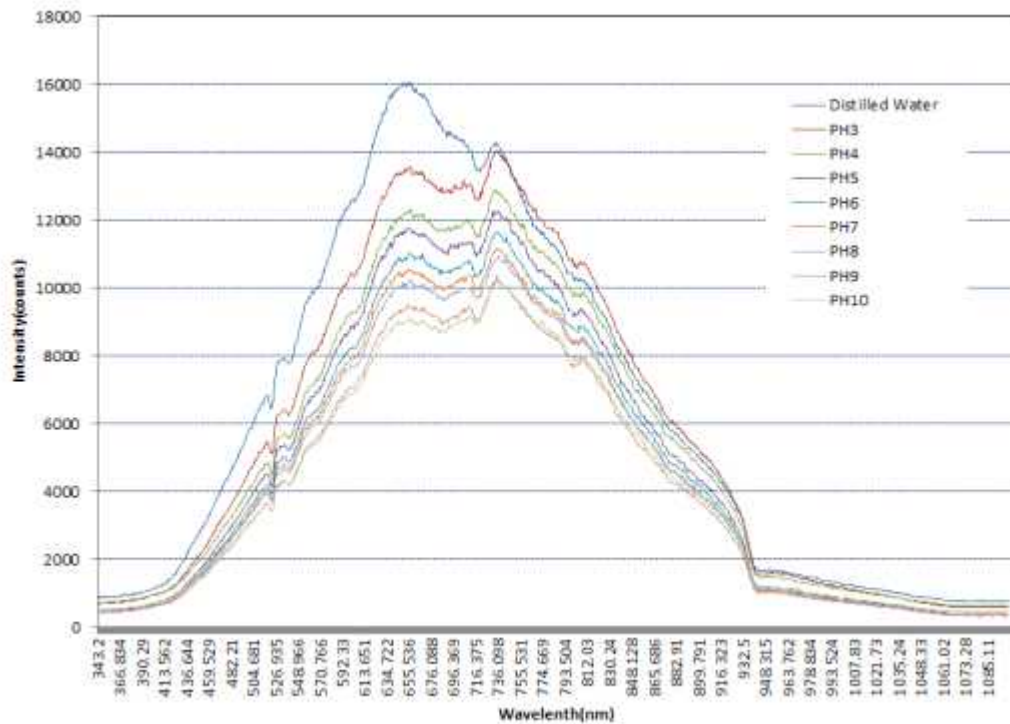


Fig. 1-30 pH용액 변화에 따른 주파수 특성

제2절 콩 생육정보 계측기술 연구

1. 콩 생육계측 주요인자 및 계측기술 분석

가. 문헌조사 및 주요인자 분석

(1) 문헌조사

(가) 콩 생육, 수확량 및 품질, 생리활성 물질에 대한 국내· 및 해외 논문 조사

콩 계측기술 주요인자 및 계측기술 분석을 위해 문헌조사를 실시하였다. 백인열 등(2002)은 콩 발아시 자엽 제거 정도에 따라 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하였으며[2-1], 김충국 등(2001)은 콩의 생육단계별 야간조명 처리가 생리적 특성에 미치는 영향을 분석하여 생육단계별 피해정도를 분석하였다[2-2]. 김선림 등(2012)은 예상치 못한 기온이나 재배환경에서 콩의 생육 및 수량성에 영향을 미치는 요인 검토하기 위해 이소플라본 함량 변이를 분석하였다[2-3]. 최병진 등(2003)은 유기물 사용량에 따른 식물체내 성장반응을 구명하기 위해 이소플라본과 종피에 저장되는 안토시아닌을 측정하여 생리화학적 기초자료 활용하였으며[2-4], 최병렬 등(2009)은 등숙기간에 따라 검정콩에 다량으로 함유된 안토시아닌의 함량을 분석하였다[2-5]. 이은섭 등(2010)은 검정콩 종피에 존재하는 안토시아닌 함량의 변화 분석을 통해 안토시아닌 생성과 종피색소 착색과의 관계 구명, UPLC를 안토시아닌 함량을 분석하였으며[2-6], Jun-Ming Sun 등(2011)은 HPLC의 흡광도 피크를 분석하여 12종의 이소플라본 함량을 분석하였다[2-7].

(나) 각종 센서를 이용한 작물의 생육, 수확량, 품질 및 생리활성 물질에 대한 국내 및 해외 논문 조사

김이현 등(2011)은 레이더 식생지수(Radar Vegetation Index, RVI)를 이용한 L, C, X-밴드 안테나를 장착한 지상관측 레이더 산란계 시스템을 이용하여 얻어진 레이더 식생지수와 콩 생육의 관계를 분석하였고[2-8][2-9], Lee et al.(2004)은 이소플라본을 추출 시 초음파에너지로 측정하는 방법이 가장 우수하다는 것을 밝혔으며[2-10], 김용호 등(2008)은 검정콩 종피에 함유된 안토시아닌의 색소별 함량을 비파괴적으로 신속하게 분석하기 위하여 NIRS(근적외선 분광분석기)를 이용한 모델 개발하였다[2-11].

(2) 주요인자 분석

(가) 콩 종자 선정

본 연구과제 수행을 위해 경남에서 일반적으로 재배하고 있는 메주콩(서리태)과 검은콩(태광)을 공시작물로 선택하였다.

(나) 생육분석

콩의 생육단계 중 유묘신장기(출아기, 초생엽기, 복엽기)는 영양생장으로 엽수가 증가하는 단계이고, 개화기는 생식생장으로 변화하는 단계이며 개체 당 꼬투리 수를 결정하는 단계이기도 하다. 또한 협신장기(협신장기, 협비대기)는 꼬투리의 성장에 중요단계이며, 등숙기는 콩알의 무게가 증가하는 시기로 수확량을 결정짓는 단계이다[2-12][2-13]. 따라서 개화기 및 등숙기의 잎과 꼬투리를 통해 건물중, 질소농도, 질소보유량 등을 분석하였다.

(다) 수확량 및 품질분석

수확량은 단위 면적당 개체 수, 개체 당 꼬투리, 콩알 무게로 결정되며, 품질은 단백질 함유량으로 결정된다. 따라서 수확량 및 품질은 수확 후 콩알을 이용하여 분석하였다.

나. 계측기술 분석

(1) CCD 카메라

CCD 카메라는 가용성 및 활용성이 높아 취급이 용이하며, 영상센서 중 가격이 가장 저렴한 편이다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 가장 취급이 용이한 CCD 카메라인 DSLR 카메라를 선정하였다. 콩 재배 시 잡초가 수확량에 미치는 영향이 상당히 크며, 이는 곧 경제적 손실로 이어지기 때문에 잡초식별에 관한 연구가 필요하다고 판단하였고, CCD카메라는 본 연구의 독창성과 차별화를 위해 작물의 생육 및 잡초 검출에 이용하였다.

(2) 초분광 카메라

일반적으로 초분광 카메라는 가시선과 근적외선 영역의 영상을 수백 개에서 천여 개의 밴드로 취득할 수 있는 센서이다. 초분광 카메라를 이용할 경우 높은 정밀도와 정확도를 가지는 모델을 제작할 수 있으며, 다양한 응용연구에 확장할 수 있는 잠재성이 높다. 또한 초분광 카메라를 사용할 경우 모델에 중요한 영향을 미치는 파장대를 추출할 수 있으며 이를 통해 센서 제작에 응용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 400-1000 nm 파장대의 분광정보를 취득할 수 있는 초분광 카메라를 사용하였다.

(3) 멀티스펙트럴 카메라

멀티스펙트럴 카메라는 CCD 카메라보다 촬영 가능한 파장대가 넓으나 초분광 카메라보다는 좁은 특징을 가지고 있으며 가격 또한 CCD 카메라보다는 비싸지만 초분광 카메라보다는 저렴하다. NIR 영역 또는 RE 영역을 포함하고 있는 멀티스펙트럴 카메라를 사용할 경우 작물의 반사 특성을 정확히 파악할 수 있다.

(4) 영상획득 플랫폼

일반적으로 영상획득 플랫폼에는 크게 항공 플랫폼과 지상 플랫폼이 있다. 항공 플랫폼은 장비 운용비용이 비싸고 데이터의 분해능이 떨어지는 단점이 있으나, 짧은 시간에 넓은 면적의 데이터를 획득할 수 있는 장점이 있다. 반대로 지상 플랫폼은 넓은 면적의 데이터를 취득하는데 제한적이지만, 데이터의 분해능이 높아 정밀한 데이터 취득이 가능하다. 최근 농업기술분야에서 무인기의 활용이 증가되고 있는데, 이는 기존의 항공 플랫폼과 지상 플랫폼의 장단점을 보완할 수 있는 플랫폼이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 지상 플랫폼과 무인기를 이용한 항공 플랫폼을 채택하였다.

(5) 화학분석

(가) 건물중(Dry mass : [g])

개화기 및 성숙기에 콩 영상 취득 후, 지표면 윗부분을 전부 채취하여 잎, 줄기, 꼬투리로 분리하여 세척 후 60℃, 72시간 이상 통풍건조 시킨 다음 각각의 무게를 측정하였다.

(나) 질소(Nitrogen concentration:[%])

개화기 및 성숙기에 건조한 잎을 분쇄 후 Gas Chromatography를 이용하여 질소농도를 측정하였다.

(다) 수확량(Yield, [g/m²])

수확기에 꼬투리 부분만을 수확하여 탈곡한 다음 일정 수분이 되도록 통풍건조 시킨 후 무게를 측정하여 단위면적당 수확량으로 환산하였다.

(6) 모델 추정을 위한 통계처리

(가) 단순회귀분석

멀티스펙트럴 카메라로 취득한 영상의 반사값과 화학분석을 통해 얻어진 측정값(건물중, 질소함량, 수확량 등)을 이용하여 단순회귀분석을 실시하여 생육추정 모델을 작성하였다.

(나) PLS 회귀분석

초분광 영상으로 획득한 영상의 반사값과 화학분석으로 얻어진 측정값을 이용하여 PLS회귀분석을 통해 생육추정 모델을 작성하였다.

2. 콩 생육 계측시스템 설계 및 추정모델 개발

가. 지상 플랫폼 기반 계측시스템 설계 및 추정모델 개발

(1) CCD 카메라 계측시스템

(가) 기본제원 및 환경

본 연구에 사용된 CCD 카메라는 Nikon D7000으로 1620만 화소의 영상을 취득할 수 있으며 오토포커스 기능이 장착된 18-55 mm 줌렌즈를 장착하였다. 영상은 삼각대를 이용하여 약 150 cm 높이에서 지면과 수직으로 촬영하였으며 콩 이식부터 영양생장 기간 동안 1주일 간격으로 촬영하였다. 영상 촬영시 삼각대를 사용하여 지면과 수직으로 촬영하였는데, 이때 삼각대에 의한 그림자가 작물을 가리지 않도록 주의하였다. 영상처리는 공학소프트웨어 MATLAB이 제공하는 개발환경 내에서 영상처리 프로그램을 코딩하였다.

(나) 영상처리방법

① 배경제거 및 영상분리

영상에서 불필요한 정보를 포함하는 배경을 제거하여 콩 영상만을 추출하기 위해 배경을 제거하고 작물영상만을 분리하였다. RGB 색상공간으로 획득된 영상을 처리하기 위해 식생지수를 사용하여 작물과 배경의 밝기차이가 증가하는 대비영상을 생성한 후 임계값을 적용하여 작물과 배경을 분리하였으며 식생지수 임계법의 성능을 비교하기 위해 대표적 비교사 분류기법인 K-means 클러스터링법[2-14]을 이용하여 처리 후 두 방법의 분할성 및 처리시간 성능 비교·분석 하였다.

② 식생지수 선정

RGB 영상 분할의 전처리 과정으로, 작물과 배경의 밝기 차이가 증가하는 대비영상을 생성하기 위한 식생지수 선정하였다. 선행연구에서 제안한 식생지수를 사용하였으나 본 연구에 적용하기 어려워서 다양한 채널조합별 분할영상 비교 분석하였는데, RGB 색상공간의 $1.4R-G$ 와 Lab 색상공간의 $b-a$ 식생지수를 혼합하였을 경우 배경과 작물의 분할성 가장 우수했으며, 최종 식생지수는 $(b-a)-0.5(1.4R-G)$ 로 선정하였다.

③ 임계값 선정

식생지수에 의해 생성된 1채널 흑백영상의 밝기값 히스토그램을 분석하여 최적 임계값을 선정한 후 배경은 0의 값, 작물은 1의 값을 갖는 이진영상으로 처리하였다. 일반적으로 히스토그램을 통계적으로 분석하여 임계값을 선정하는 Otsu 임계법[2-15]이 널리 활용되고 있으나(Fig. 2-1), Otsu 임계법을 본 실험에 적용할 시 배경과 작물이 정확히 분할되지 않아 Otsu 임계법을 그대로 적용하기 어려움이 있어서 Otsu 임계법 이외의 자동 임계법인 Fig.2-2 와 같이 삼각 임계법[2-16]을 이용하여 분할영상을 생성한 결과 최적 임계값은 Otsu 임계값과 삼각 임계값 사이에 존재한다는 것을 발견하였으며, 그 값은 $(3*Tri+2*Otsu)/5$ 로 정의하였다. 식생지수 임계법의 처리 알고리즘은 Fig. 2-3과 같다.

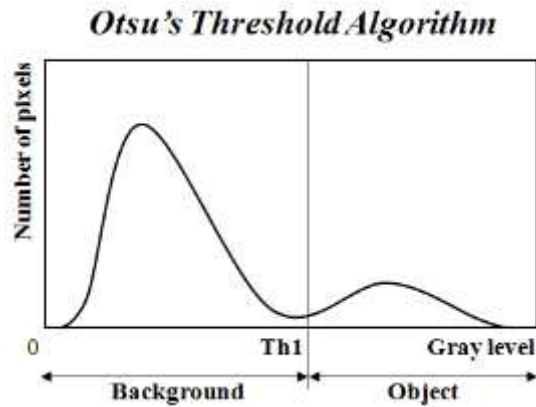


Fig. 2-1 Otsu 임계법의 개념도

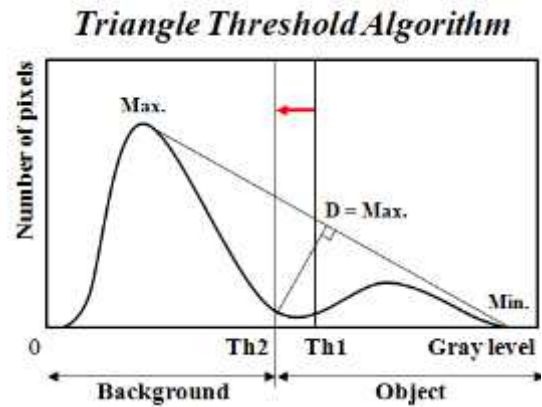


Fig. 2-2 삼각임계법의 개념도

(다) K-means 클러스터링

K-means 클러스터링이란 벡터화한 수많은 데이터 사이의 유클리드 거리, 상관관계 등을 이용하여 유사한 데이터들끼리 분류하는 비교사 군집 알고리즘이다[2-14]. 본 실험에서는 RGB로 획득된 영상을 Lab로 변환하여 색상을 나타내는 'ab' 평면을 추출한 후 각 색상 벡터를 양자화하여 이들 사이의 색상적 특징을 분류하였다. K-means 클러스터링법의 처리 알고리즘은 Fig. 2-4와 같다.

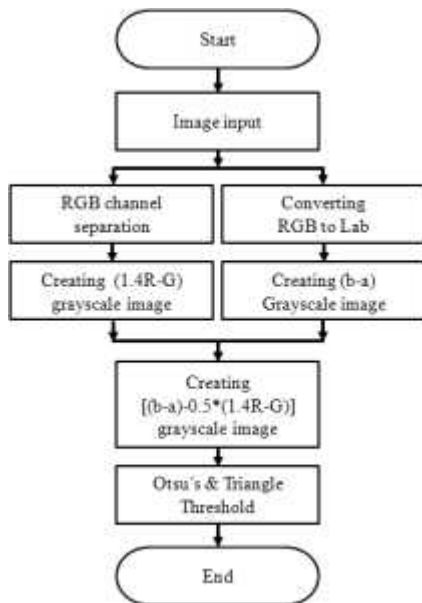


Fig. 2-3 색상지수 임계법 분할 알고리즘

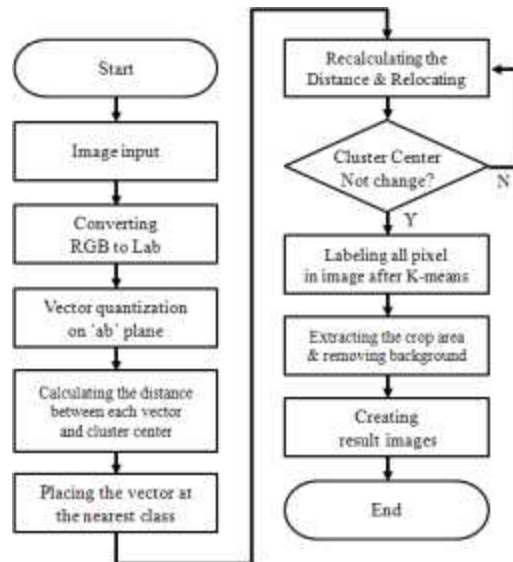


Fig. 2-4 K-means 클러스터링 분할 알고리즘

(라) 잡초검출

색상지수 임계법에 의해 배경이 제거된 영상을 이용하여 잡초 검출기술을 개발하였다. 우선 분할 영상 내의 경계선을 추출한 후 각 경계선 내의 매개변수를 계산한 후 만약 매개변수가 두 조건을 만족하면 콩으로 인식하여 녹색으로 표시하고, 만약 매개변수가 둘 중 하나라도 만족하지 못하면 잡초로 인식하여 빨간색으로 표시하도록 설계하였다. 두 가지 매개변수는 각각 픽셀 수 5000이상, 원주당 면적비 10이상으로 선정하였으며 잡초검출

알고리즘은 다음 Fig. 2-5와 같다.

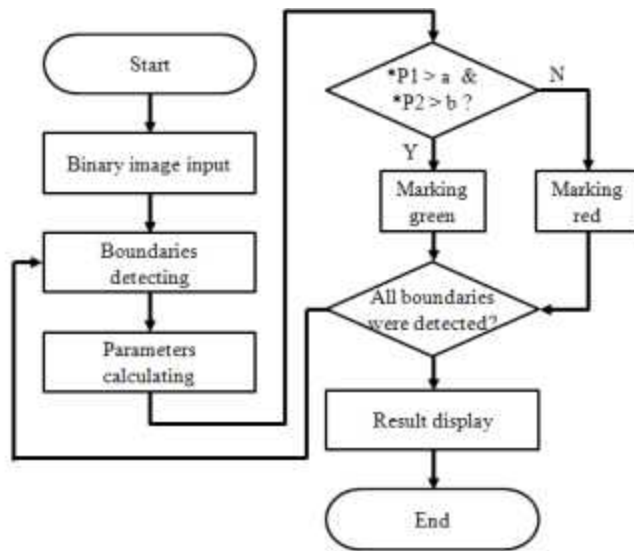


Fig. 2-5 잡초 검출 알고리즘

(2) 초분광 카메라 계측 시스템

(가) 기본제원 및 환경

본 연구에 사용된 초분광 카메라는 Specim VNIR spectral camera PS 이며, 400-1000 nm 파장대의 영상을, 1040개의 밴드로 취득할 수 있다. 분광분해능 2.8nm이고 공간분해능은 1392 화소이다(Fig. 2-6). 초분광 카메라에 사용된 렌즈는 Specim V23 렌즈로서 C 마운트 타입에 조리개값은 f/2.4, 초점거리는 23 mm 이다. 초분광 카메라는 Line-Scanning 방식으로 데이터를 취득하기 때문에 작물을 스캐닝할 수 있도록 LM가이드, 모터, 삼각대, 로테이터 등을 이용하여 지상에서 영상획득하였으며, Line-Scanning 방식에 의해 광 변화의 영향을 직접적으로 받기 때문에 시시각각 변하는 광을 보정할 수 있는 표준반사판을 설치하여 함께 촬영하였다. 지상 플랫폼을 이용하여 시비량을 달리한 검은콩과 메주콩의 개화기, 성숙기에 포장에서 각 시험구별로 랜덤하게 선택된 콩의 캐노피를 촬영하였고, 촬영된 초분광 영상은 분광영상처리 전문 소프트웨어인 ENVI프로그램을 이용하여 처리하였다.



Fig. 2-6 초분광 카메라 외형



Fig. 2-7 시험포장

(나) 영상처리

Fig. 2-8과 같이, 취득된 영상을 ENVI프로그램으로 불러들여 Band math 및 Density slice, ROI(Region of interest) 등의 작업을 통해 작물과 배경을 분리한 후, 콩 영역으로 분리된 부분의 평균 반사값 추출하였다. 태양광 보정을 위해 설치된 반사판도 동일하게 ROI를 지정하여 반사판 영역으로 분리 후 반사판 부분의 평균 반사값을 추출하였다. 다음으로 콩 영역 평균 반사값과 반사판 영역 평균 반사값을 이용하여 보정된 콩 반사율을 계산하였다.

(다) 통계분석

영상처리를 통해 추출된 콩의 반사율을 이용하여 샘플 측정값을 추정하는 모델을 개발하기 위해 통계소프트웨어 R프로그램을 사용하여 모델을 제작하였다.

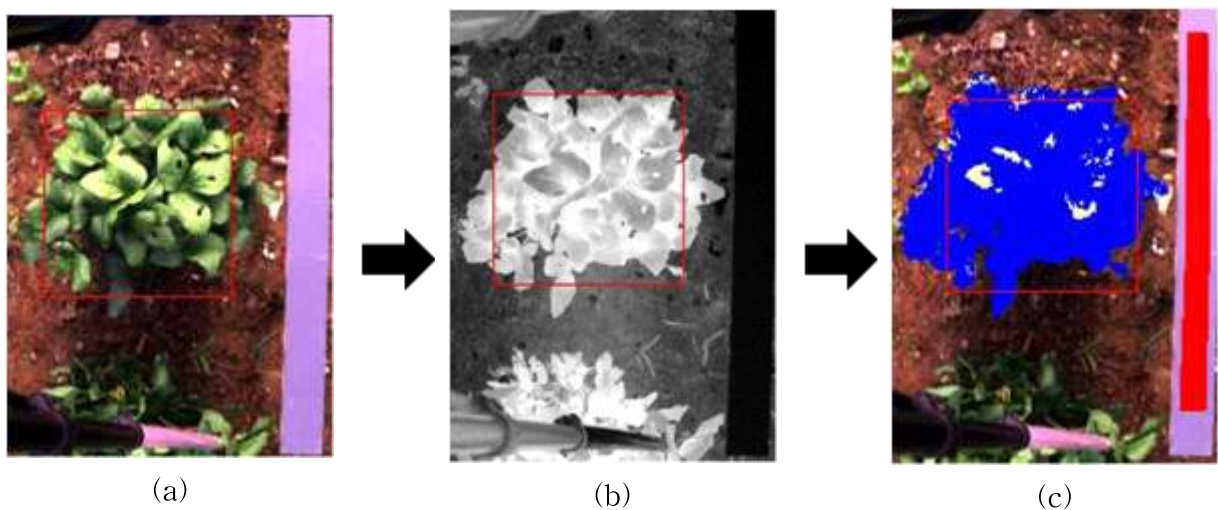


Fig. 2-8 ENVI를 이용한 초분광 영상처리 과정: (a) 콩의 원본영상, (b) 배경분리 및 콩 반사율 추출을 위한 NDVI 영상, (c) 콩 및 반사판의 반사율 데이터 추출

나. 항공 플랫폼 기반 계측시스템 설계

(1) 회전익 무인기 기반 멀티스펙트럴 카메라 계측시스템

(가) 기본제원 및 환경

본 연구에 사용된 항공 플랫폼인 회전익 무인기는 DJI F550 GPS Drone 으로 기체 중량 약 1210g, 비행가능중량 2.4kg 이며 920kV 모터 6개를 장착한 헥사콥터이다(Fig. 2-9). 영상촬영에 사용된 멀티스펙트럴 카메라는 Tetracam Lite 으로 R·G·NIR 밴드의 영상을 320만 화소의 품질로 촬영할 수 있다(Fig. 2-10). 멀티스펙트럴 카메라를 회전익 무인기 하부에 설치한 후 자동제어 프로그램을 이용하여 비행경로 및 고도 등 비행계획을 입력하여 사용하였다. 또한 초분광 영상과 마찬가지로 영상 촬영 시 필드 내에 광보정을 위한 반사판을 위치시킨 후 데이터를 취득하였다. 항공 플랫폼을 이용하여 시비량을 달리한 검은콩과 메주콩의 개화기, 성숙기에 포장에서 각 시험구별로 랜덤하게 선택된 콩의 캐노피를 촬영하였고, 분광영상처리 전문 소프트웨어인 ENVI를 이용하여 처리하였다.



Fig. 2-9 회전익 무인기 DJI F550



Fig. 2-10 Multispectral 카메라 ADC-Lite

(나) 영상처리

Fig. 2-11과 같이, 취득된 영상을 ENVI프로그램으로 불러들여 Band math 및 Density slice, ROI(Region of interest) 등의 작업을 통해 작물과 배경을 분리한 후, 콩 영역으로 분리된 부분의 평균 반사값을 추출하였다. 태양광 보정을 위해 설치된 반사판도 동일하게 ROI를 지정하여 반사판 영역으로 분리 후 반사판 부분의 평균 반사값을 추출하였다. 마지막으로 콩 영역 평균 반사값과 반사판 영역 평균 반사값을 이용하여 보정된 콩 반사율을 계산하였다.

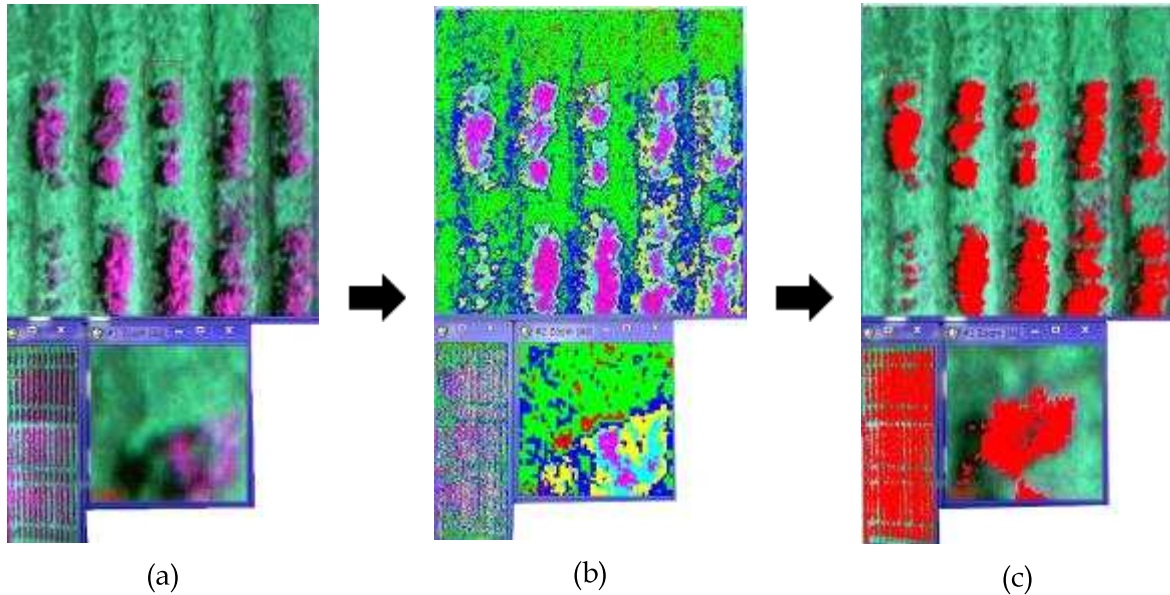


Fig. 2-11 ENVI를 이용한 멀티스펙트럴 영상처리 과정: (a) 회전익 플랫폼에서 획득한 필드영상, (b) 배경분리 및 콩 반사율 추출을 위한 Intensity slice 처리, (c) 콩의 반사율 데이터 추출

(다) 통계분석

영상처리를 통해 콩의 반사율을 측정하여 식생지수(NDVI, GNDVI) 값을 계산한 후 식생지수를 이용하여 샘플 측정값을 추정하는 모델을 개발하기 위해 통계소프트웨어 R프로그램 사용하여 모델을 제작하였다.

(2) 고정익 무인기 기반 Multispectral 카메라 계측시스템

(가) 기본제원 및 환경

고정익 무인기 기반 계측시스템에는 고정익 무인기인 senseFly eBee를 사용하였으며, 비행속도 40-90 km/h, 비행고도 50-1000 m 의 성능을 가진다(Fig. 2-12). 영상취득에 사용된 멀티스펙트럴 카메라는 Cannon S110 NIR Camera 으로 R·G·NIR 밴드의 영상을 1210만 화소의 품질로 촬영할 수 있다(Fig. 2-13). 멀티스펙트럴 카메라는 고정익 무인기 하부에 설치되어 자동제어 프로그램을 통해 비행경로 및 고도 등 비행계획을 입력하여 영상을 취득한다. 영상 촬영시 필드 내에 광보정을 위한 반사판을 위치시킨 후 데이터를 취득했다. 항공 플랫폼을 이용하여 시비량을 달리한 검은콩과 메주콩의 개화기, 성숙기에 포장에서 각 시험구별로 랜덤하게 선택된 콩의 캐노피를 촬영하였고, 촬영된 영상은 분광영상처리 전문 소프트웨어인 ENVI를 이용하여 처리하였다.



Fig. 2-12 고정익 무인기 senseFly eBee



Fig. 2-13 멀티스펙트럴 카메라 S110 NIR

(나) 영상처리

Fig. 2-14와 같이, 취득된 영상을 ENVI프로그램으로 불러들여 Band math 및 Density slice, ROI(Region of interest) 등의 작업을 통해 작물과 배경을 분리한 후, 콩 영역으로 분리된 부분의 평균 반사값을 추출하였다. 태양광 보정을 위해 설치된 반사판도 동일하게 ROI를 지정하여 반사판 영역으로 분리 후 반사판 부분의 평균 반사값을 추출하였고 콩영역 평균 반사값과 반사판 영역 평균 반사값을 이용하여 보정된 콩 반사율을 계산하였다.

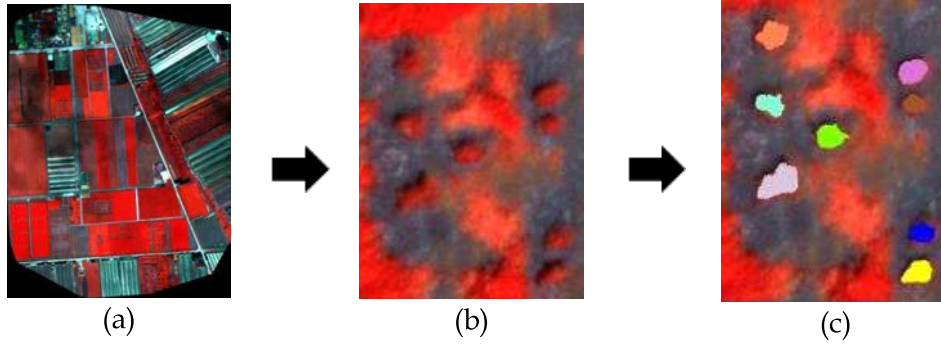


Fig. 2-14 고정익 무인기에서 취득한 콩 영상처리 과정: (a) 고정익 플랫폼에서 획득한 콩의 필드영상, (b) 대상작물 확대, (c) ROI 처리

(다) 통계분석

영상처리를 통해 콩의 반사율을 측정하여 식생지수(NDVI, GNDVI) 값을 계산한 후 식생지수를 이용하여 샘플 측정값을 추정하는 모델을 개발하기 위해 통계소프트웨어 R프로그램을 사용하여 통계분석을 실시하였다.

3. 콩 생육 계측시스템 활용

가. 지상 플랫폼 기반 계측시스템 평가

(1) CCD 카메라 기반 계측 시스템

(가) 식생지수 임계법을 이용한 배경분리

식생지수를 적용한 영상을 생성한 후 임계법을 이용하여 작물과 배경을 분리하였다. 식생지수 임계법의 처리단계별 결과영상은 다음과 같다. Fig. 2-15은 샘플 콩 영상의 원본이고 원본 영상에 $(1.4R-G)$ 식생지수를 적용하였다(Fig. 2-15). 다음으로 원본 영상을 CIE Lab 색공간으로 변환한 후 $(b-a)$ 지수를 적용하였고(Fig. 2-16), 영상을 이용하여 최종적으로 식생지수가 적용된 영상을 생성하였고(Fig. 2-17) 마지막으로 Otsu 임계법과 삼각 임계법을 적용한 최종 분할영상을 생성하였다(Fig. 2-18).



Fig. 2-15 샘플 콩 영상



Fig. 2-16 RGB 공간의 1.4R-G 영상



Fig. 2-17 Lab 공간의 b-a 영상

Fig. 2-18 $[(b-a)-0.5(1.4R-G)]$ 영상

(나) K-Means 클러스터링을 이용한 배경분리

Fig. 2-19 및 Fig. 2-20에 각각 나타낸 식생지수 임계법과 K-means 클러스터링법의 분할영상은 수작업으로 직접 분할한 영상과 각각 비교한 결과, 색상지수 임계법은 전체 픽셀 중 평균 1.07% 차이가 있었으며 K-Means 클러스터링법은 평균 1.40% 차이가 있었으나, 통계적으로 차이를 분석해본 결과 유의확률 $p=0.756$ 으로 두 처리법 간의 분할성의 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 2-1). 처리속도의 경우 색상지수 임계법이 K-means 클러스터링법보다 2배 이상 빠르다는 것으로 나타났으며, 또한 본 실험결과에서 제안한 색상지수 임계법을 적용할 경우 Fig.2-19처럼 그림자의 영향이 획기적으로 감소한 것을 발견하였다.

Table 2-1 색상지수 임계법과 K-Means 클러스터링의 분할성 및 각각의 처리시간

영상	식생지수 임계법		K-Means 클러스터링	
	분할성(%)	처리시간(s)	분할성(%)	처리시간(s)
1	0.14	0.60	0.27	1.44
2	0.30	0.60	0.42	1.20
3	0.18	0.61	0.11	1.45
4	0.11	0.62	0.13	1.26
5	0.15	0.61	0.12	1.15
6	0.34	0.62	0.34	1.31
7	0.60	0.70	0.69	1.26
8	0.56	0.61	0.83	1.16
9	0.53	0.61	0.66	1.07
10	0.39	0.62	0.46	1.29
11	0.76	0.65	0.77	1.13
12	0.83	0.61	0.84	1.04
13	0.63	0.60	0.63	1.08
14	1.11	0.65	1.85	1.28
15	1.09	0.60	1.56	1.50
16	1.37	0.61	1.37	1.35
17	1.35	0.60	1.62	1.24
18	1.03	0.60	1.25	1.44
19	1.50	0.61	2.16	1.23
20	1.27	0.61	1.98	1.14
21	3.92	0.64	3.58	1.22
22	1.59	0.64	3.93	1.30
23	2.62	0.63	2.57	1.45
24	1.84	0.61	3.02	1.16
25	2.58	0.64	3.88	1.24



Fig. 2-19 색상지수 임계법에 의한 분할 결과영상



Fig. 2-20 K-means 클러스터링 분할 결과영상

(다) 분할된 이진영상을 이용한 잡초검출

실험에 사용된 영상의 콩과 잡초의 식별성을 분석한 결과, 25개의 영상 중 7개의 영상에서 콩이 잡초로 또는 잡초가 콩으로 잘못 식별되는 경우 발생하였으며 정확도는 약 72%이며 처리시간은 평균 1.49초로 측정되었다(Table 2-2). 콩으로 계측되었으나 실제로는 잡초인 경우, 잡초로 계측되었으나 실제로는 콩인 경우의 예는 Fig. 2-21와 같다. 추후 연구에서 본 기술의 성능을 개선시키기 위해 잡초와 콩이 가지는 고유의 매개변수를 보정하거나 수를 증가시킬 필요가 있다고 판단된다.

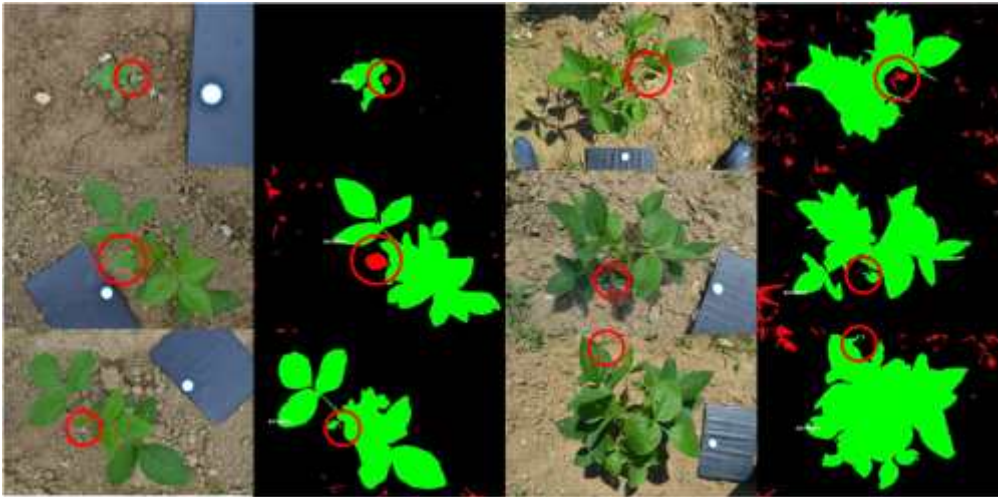


Fig. 2-21. 잡초 판별 오류 예

Table 2-2 잡초-콩 식별 결과 및 처리시간

영상	콩을 잡초로 인식	잡초를 콩으로 인식	처리시간(s)
1			1.48
2		✓	1.50
3			1.51
4			1.50
5			1.59
6			1.49
7			1.50
8			1.47
9			1.47
10			1.48
11			1.50
12			1.49
13			1.49
14			1.48
15			1.52
16	✓		1.44
17			1.49
18			1.45
19			1.43
20	✓		1.44
21	✓		1.55
22	✓		1.43
23			1.56
24	✓		1.44
25		✓	1.42

(2) Hyperspectral 카메라 기반 계측 시스템

(가) 1차 실험: 메주콩 및 검은콩에 대한 생육단계별 모델링

Hypespectral 카메라로 취득한 콩의 400 nm - 1000 nm에 대한 반사율과 개화기와 성숙기에 취득한 샘플에서 분리한 잎과 꼬투리의 건물중을 이용하여 PLS회귀분석 실시하였다. PLS회귀분석결과, 개화기 메주콩의 잎과 꼬투리, 그리고 모든 인자에 대한 모델 모두 높은 정확도와 정밀도를 보였으며, 초분광 카메라를 통해 분석할 수 있는 것으로 나타났다(Table 2-3). 그러나 검은콩의 경우, 샘플링 당시에 꼬투리가 맺히지 않아 꼬투리의 건물중을 측정할 수는 없었다.

Table 2-3 개화기의 메주콩과 검은콩의 잎, 꼬투리 건물중에 대한 PLS 회귀모델
(SD: Standard Deviation, RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean			Black bean
		Leaf	Pod	Total	Leaf
Dry weight [g] (Mean \pm S.D.)		56.0 \pm 11.8	21.7 \pm 6.68	74.1 \pm 15.6	65.6 \pm 7.62
Latent Variable		3	3	4	1
Cal.	R2	0.982	0.999	0.999	0.193
	RMSE [g]	1.597	0.244	0.566	6.844
	RE [%]	2.852	1.122	0.764	10.42
Val.	R2	0.881	0.924	0.963	NA
	RMSE [g]	4.889	2.303	3.620	12.04
	RE [%]	8.731	10.40	4.886	18.34

성숙기의 경우, 잎과 꼬투리의 건물중을 추정하는 모델에서 검은콩 꼬투리를 제외한 나머지 경우에서 모두 좋지 않은 성능을 보였으나, 잎과 꼬투리를 함께 포함시켜 분석한 결과 비교적 높은 정확도와 정밀도를 보였으며 그 결과, 성숙기에서 메주콩과 검은콩의 잎, 꼬투리를 함께 추정하는 하는 것이 가능하다고 판단되었다(Table 2-4).

Table 2-4 성숙기의 메주콩과 검은콩의 잎, 꼬투리 건물중에 대한 PLS 회귀모델
(SD: Standard Deviation, RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean			Black bean		
		Leaf	Pod	Total	Leaf	Pod	Total
Dry weight [g] (Mean \pm S.D.)		42.1 \pm 21.2	77.0 \pm 12.5	11.9 \pm 13.7	36.5 \pm 9.50	62.1 \pm 23.4	98.6 \pm 27.0
Latent Variable		1	1	1	1	2	2
Cal.	R2	0.366	0.162	0.747	0.176	0.844	0.732
	RMSE [g]	16.88	11.44	6.867	8.615	9.242	13.96
	RE [%]	40.60	14.85	5.763	23.60	14.89	14.16
Val.	R2	NA	NA	0.568	NA	0.425	0.074
	RMSE [g]	27.17	24.64	10.77	12.39	21.30	31.13
	RE [%]	64.47	31.99	9.033	33.93	34.33	31.58

모든 품종에 대하여 생육시기별 잎과 꼬투리의 건물중에 대한 PLS회귀분석을 실시한 결과, 개화기의 경우 상당히 높은 수준의 정확도와 정밀도를 보였으나 성숙기의 경우에는 모델로서 사용할 수 없는 결과가 도출되었다(Table 2-5). 이는 성숙기에 콩 잎의 황변하여 분광학적 특성이 완전히 달라지기 때문에 성숙기에는 콩의 생육을 계측하기 힘든 것으로 판단된다.

Table 2-5 생육시기별 모든 품종의 잎, 꼬투리 건물중에 대한 PLS 회귀모델
(SD: Standard Deviation, RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety	Blooming stage			Maturity stage		
	Leaf	Pod	Total	Leaf	Pod	Total
Dry weight [g] (Mean \pm S.D.)	60.8 \pm 11.0	21.7 \pm 6.68	69.9 \pm 13.0	39.3 \pm 16.7	69.5 \pm 20.2	109 \pm 23.7
Latent Variable	7	3	5	1	1	1
R2	0.993	0.999	0.939	0.200	0.034	0.049
Cal. RMSE [g]	0.907	0.244	3.216	14.90	19.86	23.13
RE [%]	1.492	1.122	4.605	37.90	28.56	21.25
R2	0.625	0.924	0.491	0.028	NA	NA
Val. RMSE [g]	7.369	2.303	10.11	17.93	28.02	32.72
RE [%]	12.12	10.40	14.47	45.59	40.29	30.06

생육시기와 품종에 상관없이 잎과 꼬투리의 건물중을 추정한 결과, 모델의 정확도와 정밀도가 비교적 낮아 모델로서 사용될 수 없을 것으로 판단되었다.(Table 2-6). 결과적으로 콩 재배 시 개화기의 데이터를 사용하여 콩의 생육을 추정하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

Table 2-6 전 생육시기의 전 품종의 잎, 꼬투리 건물중에 대한 PLS 회귀모델
(SD: Standard Deviation, RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety	Total (Yellow bean + Black bean)		
	Leaf	Pod	Total
Dry weight [g] (Mean \pm S.D.)	50.1 \pm 17.8	55.5 \pm 27.9	89.4 \pm 27.3
Latent Variable	1	1	1
R2	0.419	0.605	0.458
Cal. RMSE [g]	13.53	17.52	20.11
RE [%]	27.02	31.58	22.50
R2	0.326	0.559	0.374
Val. RMSE [g]	14.68	19.66	22.05
RE [%]	29.31	35.44	24.67

(나) 2차 실험 : 메주콩 및 검은콩에 대한 생육단계별 모델링

Hyperspectral 카메라로 취득한 콩의 400 nm - 1000 nm에 대한 반사율과 개화기(R1, R3)와 성숙기(R5)에 취득한 샘플의 건물중과 질소함량을 이용하여 PLS회귀분석을 실시하였다. 건물중 추정결과, 메주콩과 검은콩 모두 개화기 R3 단계에서 가장 높은 정확도와 정밀도를 보였으며(Table 2-7), 질소함량에서도 같은 결과를 보였다(Table 2-8). 그러나 생육시기에 상관없이 품종에 대한 건물중 추정결과, 메주콩과 검은콩 모두 좋지 않은 결과를 보여 모델로서 사용할 수 없는 것으로 판단되었다(Table 2-9).

Table 2-7 생육시기별 노란콩, 메주콩의 건물중에 대한 PLS 회귀모델

(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean			Black bean		
		R1	R3	R5	R1	R3	R5
Latent Variable		5	5	1	1	3	2
Cal.	R2	0.891	0.992	0.002	0.005	0.901	0.247
	RMSE [g]	12.54	3.656	70.46	103.2	0.91	80.64
	RE [%]	6.601	2.081	23.37	37.00	16.72	19.40
Val.	R2	NA	0.582	NA	NA	0.412	NA
	RMSE [g]	47.32	24.52	89.75	155.4	39.16	115.6
	RE [%]	24.91	13.96	29.77	16.96	7.248	21.59

Table 2-8 생육시기별 노란콩, 메주콩의 질소함량에 대한 PLS 회귀모델

(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean			Black bean		
		R1	R3	R5	R1	R3	R5
Latent Variable		1	5	1	1	5	3
Cal.	R2	0.179	0.936	0.014	0.003	0.995	0.680
	RMSE [g]	2.202	0.535	3.878	5.350	0.243	3.505
	RE [%]	22.54	5.948	25.30	14.31	2.951	19.66
Val.	R2	NA	NA	NA	NA	0.860	NA
	RMSE [g]	3.100	2.518	4.973	8.048	1.228	6.710
	RE [%]	31.73	27.99	32.45	20.15	13.89	25.22

Table 2-9 전 생육시기의 품종별의 건물중에 대한 PLS 회귀모델

(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean	Black bean	Total
Latent Variable		1	1	5
Cal.	R2	0.302	0.205	0.600
	RMSE [g]	63.84	91.46	68.96
	RE [%]	27.71	26.56	24.34
Val.	R2	0.172	0.068	0.464
	RMSE [g]	69.45	98.88	79.77
	RE [%]	31.23	28.72	29.15

생육시기에 상관없이 품종에 대한 질소함량 추정결과도 건물중과 마찬가지로의 결과를 보여 모델서 사용될 수 없는 것으로 판단되었다(Table 2-10). 그러나 품종에 관계없이 생육시기별 콩의 건물중을 추정한 결과, 개화기 중후반 R3와 성숙기 초반인 R5에서 비교적 높은 정확도와 정밀도가 나타났으며, 이러한 수준은 모델로서 사용할 수 있는 수준으로

판단된다(Table 2-11). 품종에 관계없이 생육시기별 콩의 질소함량을 추정한 결과, 건물중과 마찬가지로 개화기 중후반 R3와 성숙기 초반인 R5에서 비교적 높은 정확도와 정밀도가 나타났으며, 이러한 수준은 모델로서 사용할 수 있는 수준으로 판단된다(Table 2-12).

Table 2-10 전 생육시기의 품종별의 질소함량에 대한 PLS 회귀모델
(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		Yellow bean	Balck bean	Total
Latent Variable		1	2	4
	R2	0.292	0.140	0.514
Cal.	RMSE [g]	3.416	5.502	4.023
	RE [%]	30.06	31.00	27.64
	R2	0.149	NA	0.356
Val.	RMSE [g]	3.738	5.570	4.629
	RE [%]	32.90	31.39	31.80

Table 2-11 전 품종에 대한 생육시기별 건물중에 대한 PLS 회귀모델
(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		R1	R3	R5
Latent Variable		1	2	8
	R2	0.127	0.839	0.975
Cal.	RMSE [g]	83.83	37.67	15.85
	RE [%]	35.76	14.66	4.420
	R2	NA	0.739	0.770
Val.	RMSE [g]	93.39	47.72	86.73
	RE [%]	39.83	18.57	24.19

Table 2-12 전 품종에 대한 생육시기별 질소함량에 대한 PLS 회귀모델
(RMSE: Root Mean Square Error, RE: Relative Error, NA: Not Available)

Variety		R1	R3	R5
Latent Variable		1	3	8
	R2	0.127	0.816	0.959
Cal.	RMSE [g]	4.690	2.319	1.137
	RE [%]	37.29	17.10	6.488
	R2	NA	0.689	0.507
Val.	RMSE [g]	5.231	2.997	3.856
	RE [%]	41.59	22.10	22.00

나. 항공 플랫폼 기반 계측시스템 평가

(1) 회전익 무인기 기반 멀티스펙트럴 카메라 추정모델 평가

(가) 메주콩 및 검은콩의 식생지수에 대한 생육단계별 상관분석

초분광 카메라를 이용한 연구에서 콩의 품종을 고려하지 않고 단지 생육시기만을 고려했을 때 모델의 성능이 좋았고, 또한 현장 적용 시 효율적일 것으로 판단되었다. 하지만 멀티스펙트럴 카메라를 이용한 연구에서 생육시기를 고려하여 모델을 작성한 결과, 각 생육단계별 모델의 선형성을 발견하지 못하여 전체 생육단계를 고려하여 모델을 작성하였다. Table 2-13은 메주콩 검은콩의 생육단계별 생육량과 식생지수 NDVI 및 GNDVI 값을 나타낸다.

Table 2-13 메주콩 및 검은콩 잎의 식생지수

Varieties	Growth stages	Dry mass [g]	Nitrogen content [gN/m ²]	NDVI	GNDVI
Yellow Bean	R1	9.77 ± 2.60	9.77 ± 2.60	0.63 ± 0.22	0.21 ± 0.01
	R3	9.00 ± 2.26	9.00 ± 2.26	0.60 ± 0.04	0.25 ± 0.01
	R5	13.6 ± 6.28	13.6 ± 6.28	0.63 ± 0.03	0.25 ± 0.03
Black Bean	R1	15.4 ± 5.73	15.4 ± 5.73	0.71 ± 0.03	0.26 ± 0.02
	R3	18.1 ± 3.76	18.1 ± 3.76	0.70 ± 0.03	0.29 ± 0.01
	R5	19.7 ± 6.62	19.7 ± 6.62	0.72 ± 0.02	0.30 ± 0.01

콩의 건물중과 식생지수 NDVI의 단순회귀분석 결과, 모델의 정확도를 나타내는 R²은 0.391, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE는 각각 4.597 g/m², 31.58%로 나타났으며, Fig. 2-22는 콩의 건물중과 식생지수 NDVI의 단순회귀분석 결과 그래프이다. 콩의 건물중과 식생지수 GNDVI의 단순회귀분석 결과, 모델의 정확도를 나타내는 R²은 0.470, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE는 각각 19.47 g/m², 28.63%로 나타났다(Fig. 2-23).

Fig. 2-22 콩의 건물중과 NDVI의 산포도

Fig. 2-23 콩의 건물중과 GNDVI의 산포도

콩의 질소함량과 식생지수 NDVI의 단순회귀분석 결과, 모델의 정확도를 나타내는 R²

은 0.391, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE는 각각 4.597 g/m², 31.58%로 나타났으며 (Fig. 2-24), 콩의 질소함량과 식생지수 GNDVI의 단순회귀분석 결과, 모델의 정확도를 나타내는 R²은 0.432, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE는 각각 4.439 g/m², 30.50%로 나타났다(Fig. 2-25).

Fig. 2-24 질소함량과 NDVI의 산포도

Fig. 2-25 질소함량과 GNDVI의 산포도

(나) 전 품종에 대한 단순회귀분석

품종에 상관없이 모든 콩의 건물중과 질소함량, 식생지수 NDVI와 GNDVI의 단순회귀 분석 결과는 Table 2-14와 같다. 분석 결과, 품종별로 콩의 생육을 분석했을 때 보다 모든 품종을 함께 분석했을 때 전반적인 모델의 성능이 상승한 것을 알 수 있었다. 생육분석시 NDVI를 이용한 모델보다 GNDVI를 이용한 모델의 성능이 상대적으로 높은 것으로 나타났는데 결론적으로, 멀티스펙트럴 카메라를 이용할 경우 샘플 수를 증가시켜 모델을 보완하면 GNDVI를 이용할 때 보다 좋은 추정결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 2-26, Fig. 2-27은 각각 콩의 건물중과 질소함량을 추정한 그래프이다.

Table 2-14 모든 콩 품종에 대한 추정모델의 정확도 및 정밀도

Model	NDVI			GNDVI		
	R ²	Radj ²	RMSE	R ²	Radj ²	RMSE
Dry mass	0.639	0.633	20.56 g	0.740	0.736	17.45 g
Nitrogen content	0.634	0.628	4.462 gN/m ²	0.714	0.709	3.944 gN/m ²

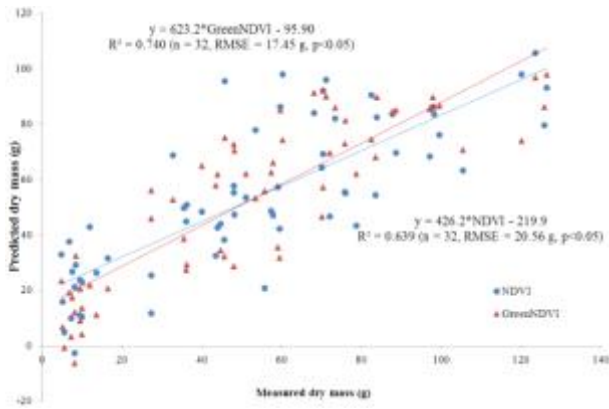


Fig. 2-26 NDVI 및 GNDVI에 대한 콩의 건물중 추정모델

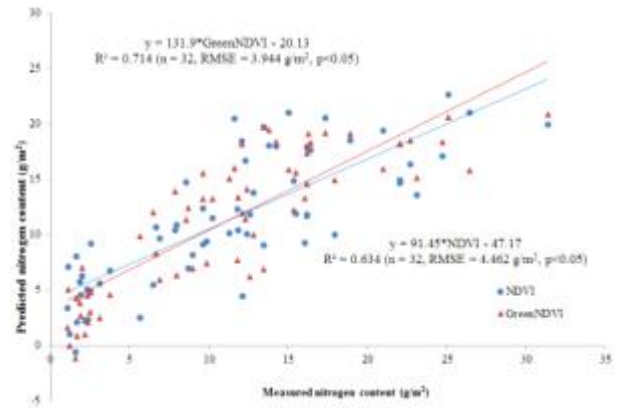


Fig. 2-27 NDVI 및 GNDVI에 대한 콩의 질소함량 추정모델

(2) 고정익 무인기 기반 멀티스펙트럴 카메라 추정모델 평가

(가) NDVI에 대한 메주콩의 생육단계별 선형회귀분석

초분광 카메라를 이용한 생육추정모델 분석에서 개화기 중후반부인 R3 단계에서 추정모델의 성능이 가장 높았는데, 회전익을 이용한 연구에서는 만족스러운 결과를 얻지 못하였다. 따라서 항공 플랫폼을 회전익에서 고정익으로 변경하고 센서도 같은 밴드를 포함하는 다른 카메라를 사용하였다. R3 단계에서 식생지수 NDVI를 이용하여 메주콩 잎의 건물중을 추정한 결과, 건물중 추정모델의 정확도를 나타내는 R2 값은 0.431, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE의 값은 각각 6.330g, 12.15%로 분석되었다(Fig. 2-28). R3 단계에서 식생지수 NDVI를 이용하여 메주콩 수확량을 추정한 결과, 추정모델의 정확도를 나타내는 R2 값은 0.393, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE의 값은 각각 10.61g, 15.21%로 분석되었다(Fig. 2-29).

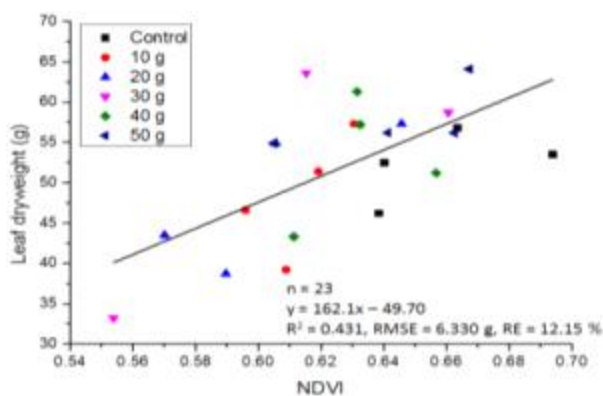


Fig. 2-28 메주콩 잎의 건물중 추정모델 (생육시기 R3)

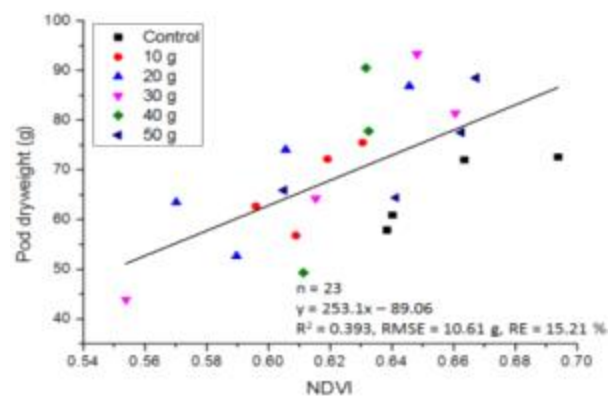


Fig. 2-29 메주콩 수확량 추정모델 (생육시기 R3)

(나) GNDVI에 대한 메주콩의 생육단계별 선형회귀분석

R3 단계에서 식생지수 GNDVI를 이용하여 메주콩 건물중을 추정한 결과, 추정모델의 정확도를 나타내는 R2 값은 0.377, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE의 값은 각각 6.619g, 12.71%로 분석되었다(Fig.2-30). R3 단계에서 식생지수 GNDVI를 이용하여 메주콩 수확량을 추정한 결과, 추정모델의 정확도를 나타내는 R2 값은 0.453, 정밀도를 나타내는 RMSE 및 RE의 값은 각각 10.07g, 14.44%로 분석되었다(Fig. 2-31). 분석결과, 콩의 생육을 추정하기 위해서는 성숙기보다는 개화기 중후반에 데이터를 취득하여 추정하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

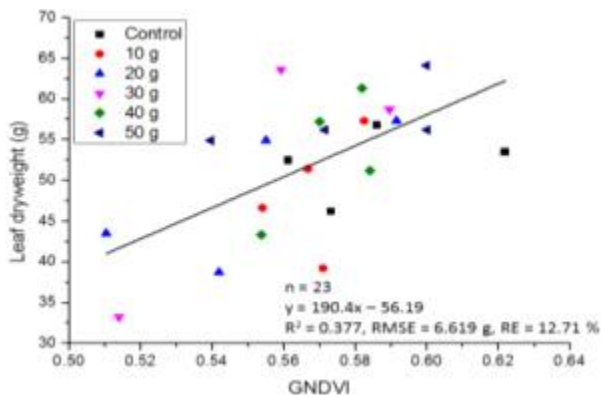


Fig. 2-30 잎의 건물중 추정을 위한 GNDVI 모델(생육시기 R3)

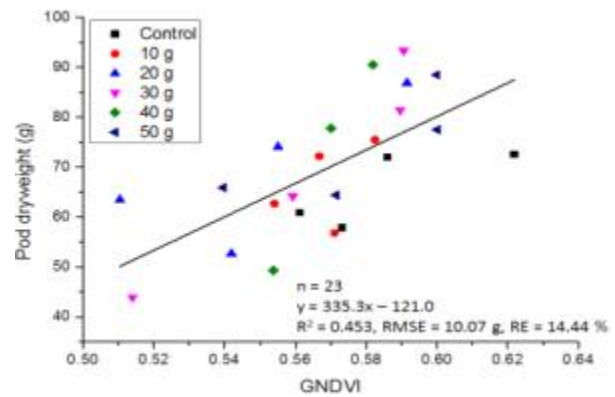


Fig. 2-31 메주콩 수확량 추정을 위한 GNDVI 모델 (생육시기 R5)

(다) 시작기 평가를 위한 현장적용 맵핑

개발된 내용을 바탕으로 시작기 제작 및 평가를 위한 질소량 추정 맵을 제작하였다. 항공 플랫폼 멀티스펙트럴 카메라에서 촬영한 생육시기별 콩 포장 영상은 Fig. 2-32와 같다. 콩 포장영상 원본에 질소량 추정 모델을 적용한 후 MATLAB 프로그램을 이용하여 질소량 Mapping을 실시하였고 Fig. 2-33은 질소량 추정 Mapping의 결과이다. 붉은색일수록 질소량이 풍부하고, 푸른색일수록 질소량이 부족함을 나타낸다. 맵 제작 결과, 변량 시비기 제작시 본 질소량 추정 맵을 이용하면 공간변이에 대한 정밀한 변량시비가 가능할 것으로 판단된다.

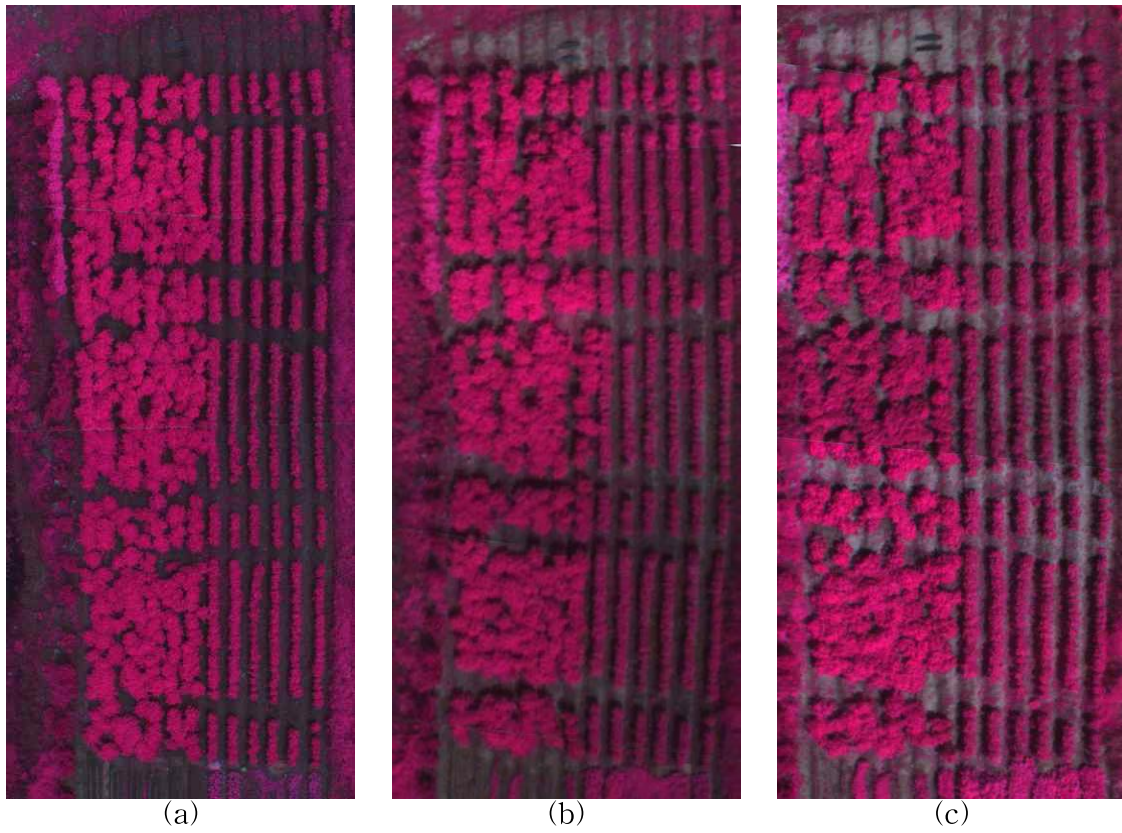


Fig. 2-32 생육단계별 항공플랫폼 영상: (a) R1단계, (b) R3단계, (c) R5단계

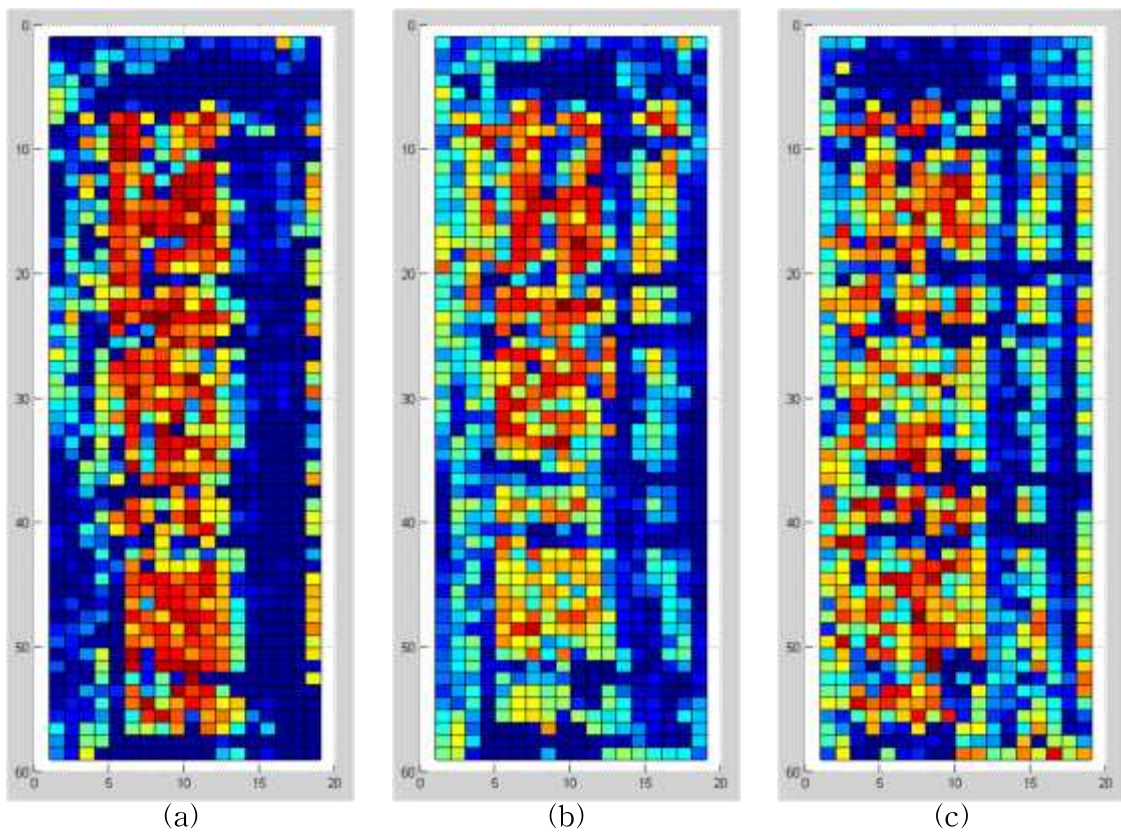


Fig. 2-33 생육단계별 질소량 Mapping 결과: (a) R1단계, (b) R3단계, (c) R5단계

제3절 원심식 변량 시비 시스템 연구

1. 원심식 변량 시비 시스템 제작

가. 원심식 변량시비기 설계

원심식 변량 시비 시스템의 회전원판 속도는 엔코더가 부착된 Brushless 서보모터를 마이크로컨트롤러와 D/A 컨버터를 이용하여 속도제어 할 수 있도록 제작하였다. 그리고 기존의 비료살포기의 레버로 조절하는 시비량 조절장치에 feedback이 가능한 액추에이터를 설치하였으며 마이크로컨트롤러와 모터 드라이버를 이용하여 시비량을 조절하도록 제작하였다. 비료 살포기에는 비료 출구위치 조절 장치를 장착하였고, 출구위치 조절 장치에 feedback이 가능한 액추에이터를 연결하였으며, 마이크로컨트롤러와 모터드라이브를 사용하여 좌우 방향제어 할 수 있게 제작하였다.

CAN-BUS 통신을 위한 H/W구성을 위해 시비량 조절장치, 회전원판 속도제어장치, 출구위치 조절장치 등을 조절하기 위하여 CAN-BUS 통신 모듈을 이용하여 장치를 구성하였다. 그리고 제어상황 모니터링 프로그램 H/W를 구성하기 위해 LCD 디스플레이 패널을 부착하여 시비량, 단위 면적 당 살포량, 출구위치 조절장치 등의 정보 및 작동 오류 상황 등을 디스플레이 하도록 제작하였다. 출구위치 조절장치와 시비량 조절장치를 제어하기 위하여 필요한 액추에이터는 스트로크가 150mm, Feedback이 가능하다는 조건이 필요하였다. 그래서 위와 같은 조건을 만족하는 액추에이터로 엘투에스 사의 CAHB-10모델을 선정하고 마이크로컨트롤러와 모터드라이브를 사용하여 제어하였다.

모터드라이브는 직류 24V 서보모터 제어를 위하여 서진테크 사의 TMC-D07 24V로 선정하였고, 모터 및 액추에이터의 제어하기 위한 장치로서 마이크로컨트롤러 Arduino MEGA와 Pololu Dual VNH5019 Motor Driver Shield for Arduino를 선정하고 CAN-BUS 통신을 위하여 Seeed 사의 CAN-BUS Shield를 선정하였다

트랙터의 위치 및 속도를 파악하기 위한 GPS 장치의 경우 Arduino와 호환이 되는 Gy-neo6mv2 GPS모듈을 선정하여 사용하였다.

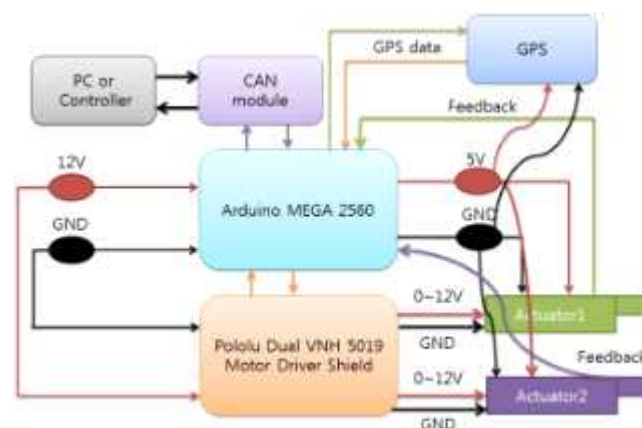


Fig. 3-1 PC와 Arduino간 CAN 통신 블록선도

나. 제어장치 설계 및 제작

선정한 부품을 활용하여 Fig. 3-1과 같이 원심식 시비기의 출구위치 제어장치, 시비량 제어장치 등을 제어하기 위해 제어장치를 제작하고, CAN 통신을 활용하여 노트북과 통신하

도록 하는 장치를 Fig. 3-2와 같이 제작하였고, 트랙터에 설치된 모습을 Fig. 3-3에 나타내었다. 그리고 제어상황을 모니터링 하기 위해 LCD 디스플레이를 제어반에 설치하여 트랙터 속도, 시비량 조절장치 열린 정도, 출구 위치 등을 표시하도록 하였다. 또한 대풍농기계사의 DP-2500N 모델을 선정하여 시비량 조절장치, 출구위치 조절장치 등을 부착하고 이를 제어하기 위하여 Fig. 3-4와 같이 액추에이터를 장착하였고, Fig. 3-5는 시작기 사진을 나타낸 것이다.



Fig. 3-2 제작된 제어장치



Fig. 3-3 실제설치 사진

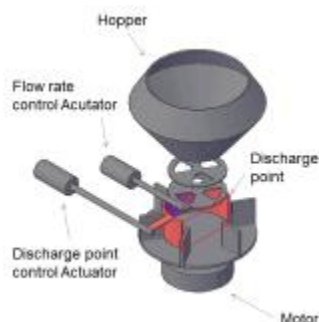


Fig. 3-4 시비기 개략도



Fig. 3-5 시비기 시작기

다. 원판회전을 위한 구동원 및 구동방법

일반적으로 원판식 시비기의 경우 PTO 축을 활용하여 원판을 회전시키지만 변량시비에 있어서 원판회전속도를 일정하게 제어하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 원판을 회전시키기 위한 동력원으로 PTO와 모터로 구분하여 실험을 실시하였으며, PTO 축 구동 시 PTO 연결로드와 기어박스를 이용하여 구동되도록 하였다.

그리고 모터 구동 시에는 24V 직류모터로 교체하여 12V 배터리 2개를 직렬 연결하였고, 모터드라이브, 마이크로컨트롤러, D/A컨버터, 모터의 회전축을 바꾸는 기어박스 등을 이용하여 구동되도록 하였다. 하지만 12V 배터리를 2개 연결하여 모터를 구동할 때, 현장에서 배터리가 방전될 경우 비료시비작업 자체를 중지해야 하며 다시 충전하는 번거로움이 있으며, 또한 시비량이 많아질 경우에는 모터 출력이 모자라 원판이 돌아가지 못하는 현상이 나타났다. 또한 PTO 축과 비교하였을 때 살포패턴 또한 차이가 나지 않아 PTO 축을 활용하여 원판회전을 하는 것으로 선정하였다.

2. 정적 시비패턴 분석

가. 정적시비패턴 분석 재료 및 방법

정적시비패턴 분석은 비료수집 상자를 Fig. 3-6과 같이 배치하여 트랙터를 정지 상태에서 시비기를 작동시켜 살포패턴을 분석하는 것으로 상자는 ASABE Standard S341.3[3-1] 규격에 맞추어 Fig. 3-7과 같이 제작하였으며, Fig. 3-8은 실제 시험 사진을 나타낸 것이다.

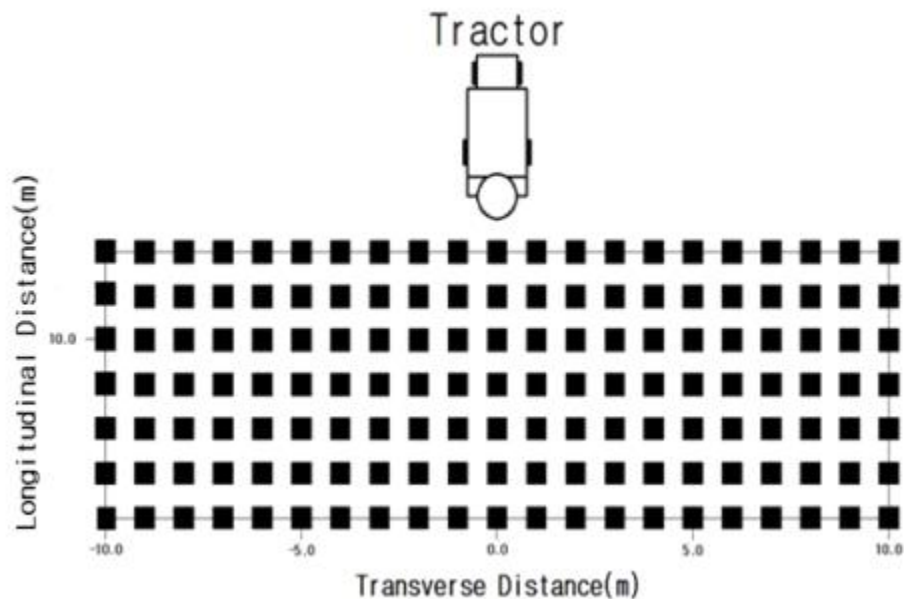


Fig. 3-6 시비기가 장착된 트랙터 및 상자 배치도

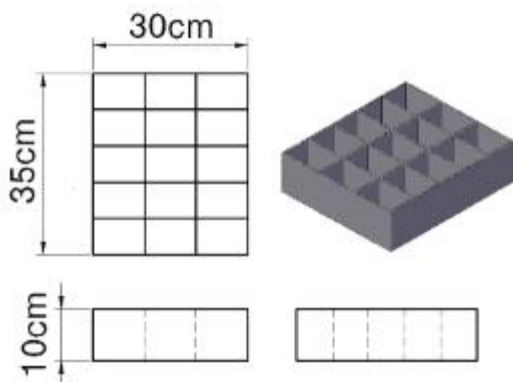


Fig. 3-7 시험에 사용된 박스 제원



Fig. 3-8 실제 시험 사진

나. 호퍼 충전율에 따른 살포패턴 분석

Table 3-1과 같은 조건으로 3가지 상태의 비료충전율, 원판구동방법 등을 변수로 두어 시험하였다. 호퍼충전율이 100% 일 때, 비료적재량 640kg으로 가정하였으며, 비료 살포량은 호퍼에서 비료가 공급될 때 Fig. 3-9와 같이 시비량 조절장치의 출구를 통과하여 떨어지는데 이때 시비량 조절장치가 다 열린 것을 100%로 가정하고 30%를 설정하였다. Fig. 3-10은 출구위치의 정의를 나타낸 것으로 출구의 왼쪽 끝단(시작단)과 트랙터 진행방향 사이의 각도를 출구위치로 정의하였고, 회전판을 PTO로 구동 시 교반기를 사용하였다.

Table 3-1 호퍼 충전율에 따른 살포패턴 분석 시험조건

호퍼 충전율	50%(320kg), 70%(448kg), 90%(576kg)
원판 회전속도(rpm)	540
시비기 원판 높이(cm)	60
원판구동방법	모터, PTO
출구위치(°)	0
시비량 (%)	30

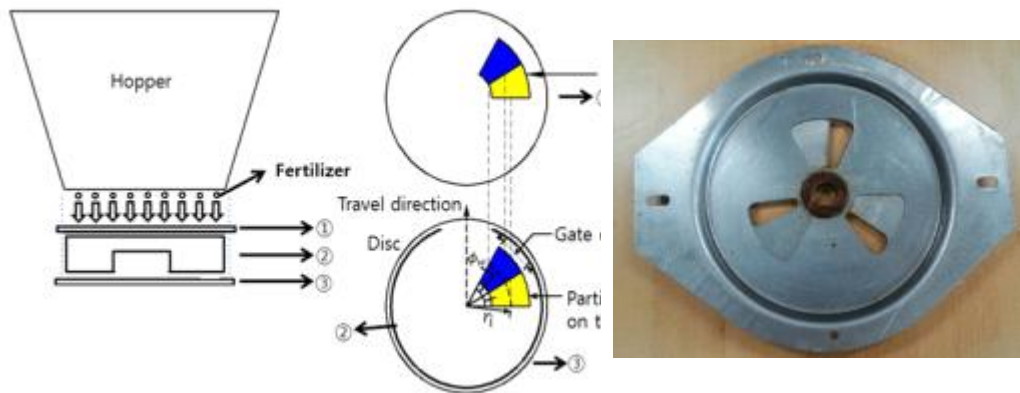


Fig. 3-9 시비량 조절장치

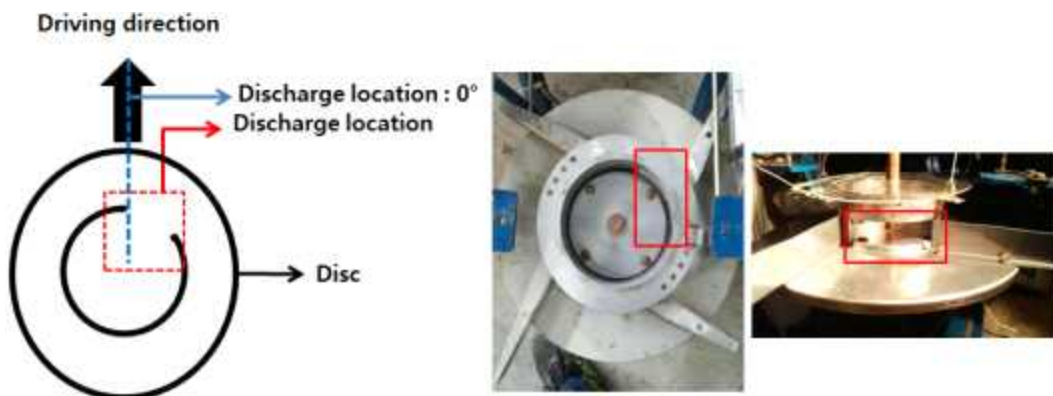


Fig. 3-10 출구위치의 정의

$$R = KW/AE \quad (3-1)$$

R은 비료의 단위면적당 살포량(kg/ha), K는 단위변환 상수로 100,000으로 일정하며 W는 샘플의 무게(g), A는 수집 트레이의 바닥넓이(cm^2), E는 수집 트레이의 개수를 나타내었다.

다. 비료 시비량 변화에 따른 살포패턴 분석

Table 3-2와 같은 조건으로 시비량, 원판 구동방법 등을 변수로 두어 시험하였다.

Table 3-2 비료 시비량 변화에 따른 살포패턴 분석 시험조건

시비량 (%)	25, 30, 35
호퍼 충전율(%)	50
원판 회전속도(rpm)	540
시비기원판 높이(cm)	60
원판구동방법	모터, PTO
출구위치(°)	0

라. 출구 위치에 따른 살포패턴 분석

Table 3-3과 같은 조건으로 출구위치, 원판구동방법 등을 변수로 두어 시험하였다.

Table 3-3 출구위치에 따른 살포패턴 분석 시험조건

출구위치(°)	-5, 0, 5, 10, 15
호퍼 충전율(%)	50
원판 회전속도(rpm)	540
시비기원판 높이(cm)	60
원판구동방법	모터, PTO
시비량(%)	30

마. 출구위치와 시비량에 따른 살포패턴 분석

위에서 나타난 시험결과를 바탕으로 시비량에 따라 올바른 살포패턴이 나타나는지를 알아보기 위하여 다음과 같은 조건으로 시험을 실시하였다.

Table 3-4 출구위치와 시비량에 따른 살포패턴 분석 시험조건

출구위치(°)	3, 0, -3
호퍼 충전율(%)	50
원판 회전속도(rpm)	540
시비기원판 높이(cm)	60
원판구동방법	PTO
시비량(%)	25, 30, 35

바. 살포량 분석 시험

시비량, 호퍼충전율, 교반기 유무 등에 따른 살포량 변화를 분석하기 위하여 Fig. 3-11과

같이 살포된 비료가 밖으로 나가지 못하도록 장치를 제작하고 1분간 살포하고 살포된 비료를 모아 무게를 측정하였다.



Fig. 3-11 살포량 분석 시험

아. 시험조건

Table 3-5와 같은 조건으로 시비량, 호퍼충전율, 교반기 유무, 내부날개 유무 등을 변수로 두고 시험하였음

Table 3-5 살포량 분석 시험조건

원판 회전속도(rpm)	540
시비기원판 높이(cm)	60
원판구동방법	모터, PTO
내부날개(EA)	0, 2
호퍼 충전률(%)	50, 70, 90
시비량(%)	13, 26, 40, 53, 67, 80, 93

3. 회전판 위 비료입자 거동 분석

가. 회전판 위 비료입자 거동 분석 목적

시비량에 따른 살포패턴 시험결과에서 시비량이 증가함에 따라 살포패턴이 좌측 살포량보다 우측 살포량의 증가가 많은 것으로 나타났다. 이러한 살포유형을 분석하여 개선점을 얻기 위해서는 고속카메라 촬영을 실시하여 입자의 궤적을 조사할 필요성이 있다 [3-2][3-3]. 이러한 현상의 원인을 알아보기로 회전판 위 비료입자 거동을 고속카메라 촬영을 통하여 회전판 위에서 비료입자 거동을 분석하였다.

나. 고속카메라 촬영을 통한 회전판 위 비료입자 거동 분석

시비량 조절장치를 투명아크릴 판으로 제작하고 비료 공급장치, 고속카메라 등을 Fig. 3-12와 같이 배치하였다. 모터 드라이브와 마이크로컨트롤러, D/A컨버터 등을 이용하여 회전판 속도를 제어하였으며, 540rpm으로 회전하는 원판 위에 비료를 공급하고 동시에 고속카메라로 촬영하여 회전판 위 비료입자 거동을 분석하였고, 시험조건은 Table 3-6과 같이 설정하였다.

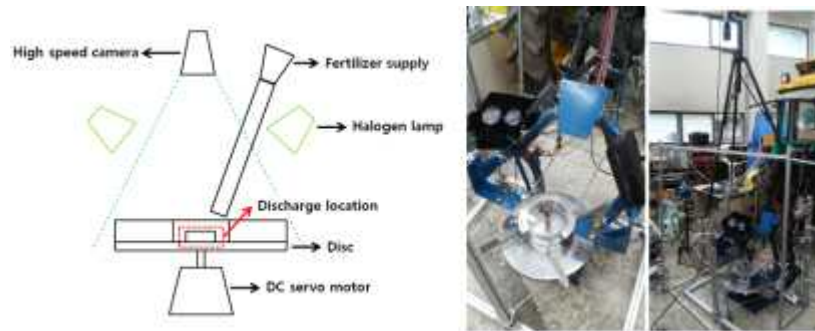


Fig. 3-12 회전판 위 비료입자 거동분석 시험장치

Table 3-6 회전판 위 입자거동 시험조건

시비량 (%)	20, 40, 60
원판 회전속도(rpm)	540

4. 시비량에 따른 살포패턴 제어를 위한 프로그램 개발

가. 단위면적당 살포량에 따른 제어식

단위면적당 살포량은 식 (3-2)와 같이 정의된다.

$$R = 600M / SW \quad (3-2)$$

R은 비료의 단위면적당 살포량(kg/ha), M는 분당 살포량(kg/min), S는 트랙터 속도(km/h) 마지막으로 W는 살포폭(m)을 나타내며, 단위 환산 등을 통하여 시비량에 관련하여 위의 식을 정리하면 식 (3-3)과 같이 정의된다.

$$M = RSW / 600 \quad (3-3)$$

따라서, 식 (3-3)에 따라 시비량을 결정하여 시비량 조절장치를 제어하게 된다.

나. 출구위치 조절장치 제어

Table 3-4의 출구위치와 시비량에 관련하여 분석한 시험결과에 따라 시비량에 따른 출구 위치를 Fig. 3-13과 같이 조절하여야 하는 것으로 나타났으며, 관계식은 식 3-4와 같이 나타내었다.

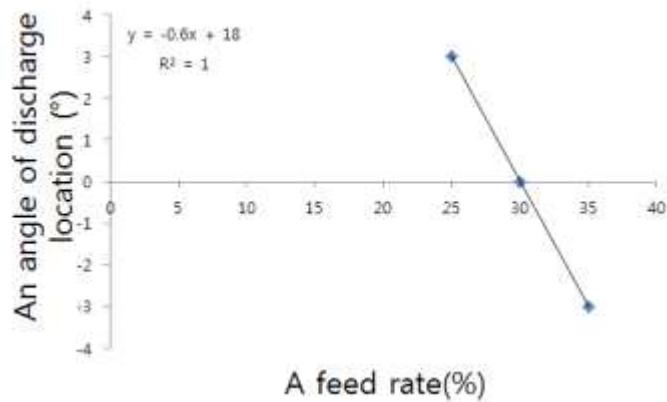


Fig. 3-13 출구위치 조절장치 - 시비량 관계 그래프

$$y = -0.6x + 18 \quad (3-4)$$

식 (3-4)에서 y는 출구위치 조절장치의 회전각도, x는 시비량 조절장치가 열린정도를 나타낸 것으로, 위 식을 활용하여 시비량에 따라 출구위치 조절장치의 회전 각도를 결정하였다. Fig. 3-14는 출구위치 조절장치의 회전각도와 출구위치 조절장치 제어 액추에이터에서 Feedback 되는 전압수치의 관계를 나타낸 것이며 관계식은 식(3-5)과 같이 나타내었다.

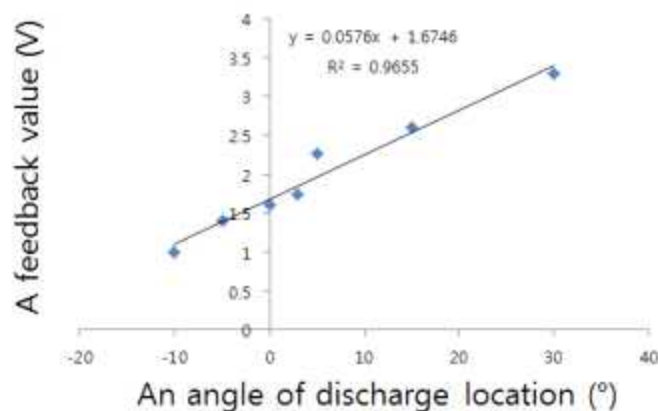


Fig. 3-14 액추에이터 Feedback 값 - 출구위치
조절장치 관계 그래프

$$y = 0.0576x + 1.6746 \quad (3-5)$$

식 (3-5)에서 y는 출구위치 조절장치를 제어하는 액추에이터가 Feedback 하는 값을 나타내고 있으며, x는 출구위치 조절장치의 회전각을 나타내고 있다. 식 (3-5)를 활용하여 출구위치 조절장치가 회전해야 하는 정도에 따라 출구위치 조절장치를 제어하는 액추에이터를 제어하였다.

다. 시비량 조절장치 제어

살포량 분석 시험결과에 따라 분당 시비량과 시비량 조절장치의 사이의 관계는 Fig. 3-15로 나타났으며, 관계식은 식 (3-6)과 같이 나타내었다.

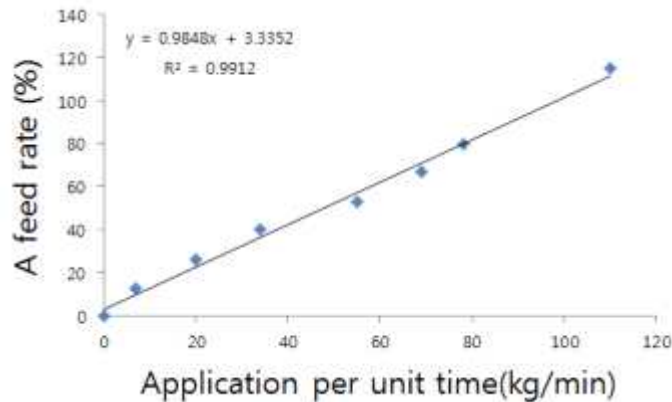


Fig. 3-15 시비량 - 단위 시간당 살포량 그래프

$$y = 0.9848x + 3.3352 \quad (3-6)$$

식 (3-6)에서 y는 시비량 조절장치가 열린 정도를 나타내며, x는 단위시간 당 살포되는 비료의 양을 나타내었다. 위 식을 활용하여 단위시간 당 살포되어야 하는 비료의 양에 따라 시비량 조절장치가 열려야 하는 정도를 결정하였다. Fig. 3-16은 시비량 조절장치가 열린 정도와 액추에이터에서 Feedback 되는 전압수치의 관계를 나타낸 것이며 관계식은 식 (3-7)과 같이 나타내었다.

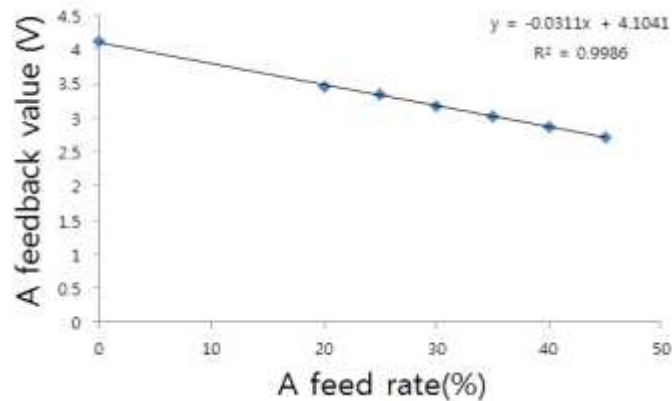


Fig. 3-16 액추에이터 Feedback 값 - 시비량 관계그래프

$$y = -0.0311x + 4.1041 \quad (3-7)$$

식 (3-7)에서 y는 시비량 조절장치를 제어하는 액추에이터가 Feedback 하는 값을 나타내고 있으며, x는 시비량 조절장치가 열린 정도를 나타내었다. 위 식을 활용하여 시비량 조절장치가 열려야 하는 정도에 따라 시비량 조절장치를 제어하는 액추에이터를 제어하였다.

5. 개발된 변량시비 시스템 성능평가

가. 개발된 변량시비 시스템의 성능평가 방법

개발된 변량시비 시스템의 성능을 평가하기 위하여 Table 3-7과 같은 조건으로 단위면적당 살포량을 변수로 두고 ASABE Standard S341.3[3-1]에 따라 Fig. 3-19와 같이 트랙터를 주행하면서 살포시험을 실시하였다. Fig. 3-17과 3-18에서 나타난 것과 같이 Race track mode, Back and forth mode의 두 가지 트랙터 주행방법에 따라 분석그래프를 작성하고 식 (3-8)를 활용하여 살포균일도 변이계수(CV)를 구하였다. 또한, 시비량과 살포폭, 변이계수 등의 관계를 알기 위하여 Matlab을 활용한 데이터 처리를 하였다.

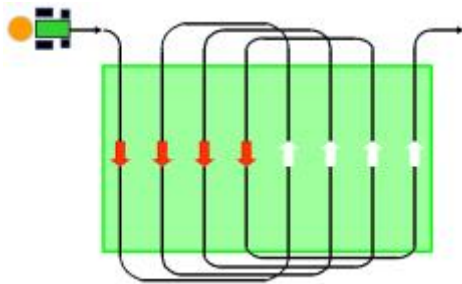


Fig. 3-17 Race track mode[3-4]

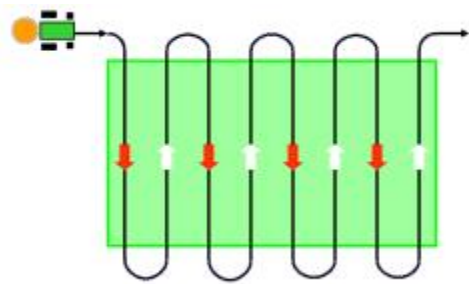


Fig. 3-18 Back and forth mode[3-4]

$$CV = \frac{\text{중복살포지역에 살포된 비료량의 표준편차}}{\text{중복살포지역에 살포된 비료량의 평균}} \times 100 \quad (3-8)[3-4]$$

Table 3-7 변량시비 시스템의 성능평가

원판 회전속도(rpm)	540
시비기의 원판 높이(cm)	50
단위면적 당 살포량(kg/ha)	200, 300, 400

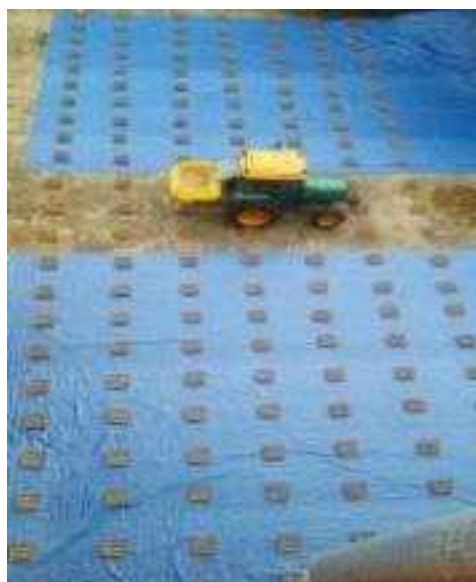


Fig. 3-19 동적 살포패턴 분석시험

나. 비료 종류에 따른 크기분포 조사

기존 시험에 사용하던 비료인 한아름원예(12-9-9+3+0.2)와 콩 재배에 사용되는 잡곡비료(8-8-9+1+0.1)의 크기분포를 비교하고자 한아름원예 100g, 잡곡비료 100g을 랜덤으로 채취하여 정밀표준망채 No. 4, 8, 10, 30에 거른 후 무게를 측정하였다.

다. 비료 종류에 따른 살포패턴 분석

기존 시험에서는 남해화학에서 생산한 한아름원예(12-9-9+3+0.2)를 사용하였으나 다른 종류의 비료를 사용하였을 때의 살포패턴을 분석하기 위하여 남해화학에서 생산한 잡곡(콩, 땅콩, 깨, 팥)(8-8-9+1+0.1) 비료를 사용하여 Table 8과 같은 시험조건으로 살포시험을 실시하였다.

Table 3-8 변량시비 시스템의 성능평가

원판 회전속도(rpm)	540
시비기의 원판 높이(cm)	50
단위면적 당 살포량(kg/ha)	200, 300, 400

6. 주요 결과

가. 호퍼 충전율에 따른 살포 패턴 분석

Table 3-9 호퍼 충전율에 따른 단위면적 당 살포량 (1분간 살포, 모터구동)

Hopper loadage(%)	Mass per unit area(kg/ha)
50	1753.06
70	1817.68
90	2081.63

회전원판을 모터로 구동하여 살포시 호퍼 충전율에 따라 비료살포패턴은 변하지 않으나 비료 살포량이 증가하는 것으로 나타났다. Table 3-9에서 나타난 것과 같이 호퍼 비료 충전율이 50%일 때 단위면적당 시비되는 비료의 질량은 1,753.06kg/ha, 70%일 때 1,817.68kg/ha, 90%일 때 2,081.63kg/ha로 호퍼 비료적재량이 증가할수록 단위면적당 비료의 살포량이 증가하였다. 이는 호퍼 비료적재량이 증가할수록 단위 시간당 호퍼에서 원판으로 공급되는 비료량이 증가하여 나타나는 현상으로 판단된다.

Table 3-10 호퍼 충전율에 따른 단위면적 당 살포량 (1분간 살포, PTO)

Hopper loadage(%)	Mass per unit area(kg/ha)
50	2622.37
70	2701.39
90	2737.11

회전원판을 PTO로 구동하고 교반기를 설치하였을 때, 살포시 호퍼 충전율에 따라 비료 살포패턴 및 비료살포량이 변화하지 않는 것으로 나타났다. Table 3-10에서 나타난 것과

같이 호퍼 비료 충전율이 50%일 때 단위면적당 시비되는 비료의 질량은 2,622.37kg/ha, 70%일 때 2,701.39kg/ha, 90%일 때 2,737.11kg/ha로 호퍼 비료 적재량이 증가할수록 단위면적당 비료의 살포량이 증가하였으나 3% 이내의 증가율을 보이기 때문에 살포패턴이나 단위면적당 살포량 등에는 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 그러므로 모터로 구동 할 때에는 모터의 출력문제로 인하여 교반기 설치가 불가능하지만 PTO 축을 회전원판 구동에 사용하고 교반기를 사용할 경우, 호퍼 비료적재량에 따라 시비패턴에 영향을 주지 않기 때문에 회전원판 구동에는 PTO 축을 활용하는 것이 적합하다고 판단된다.

나. 비료 살포량에 따른 살포 패턴 분석

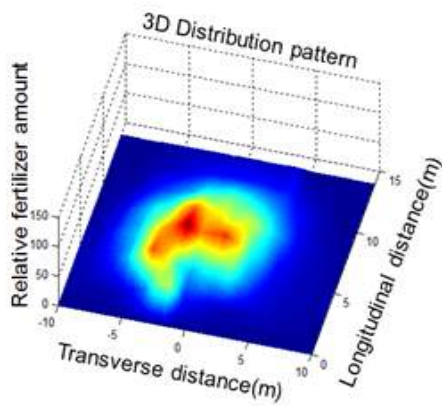


Fig. 3-20 시비량 25% 그래프

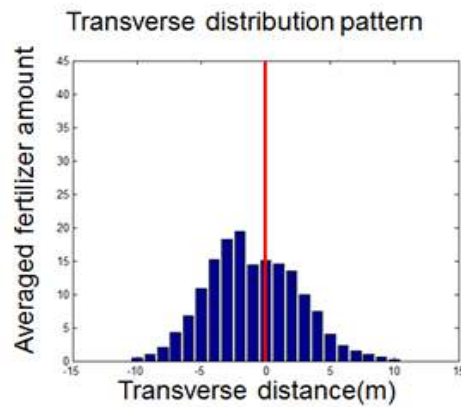


Fig. 3-21 시비량 25% 히스토그램

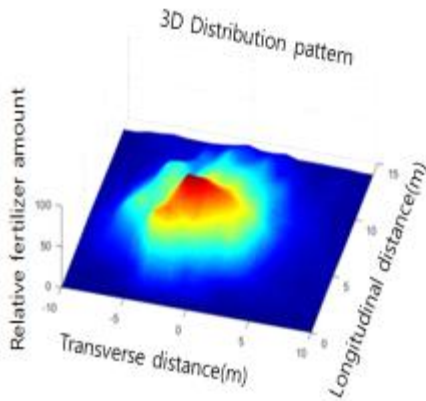


Fig. 3-22 시비량 30% 그래프

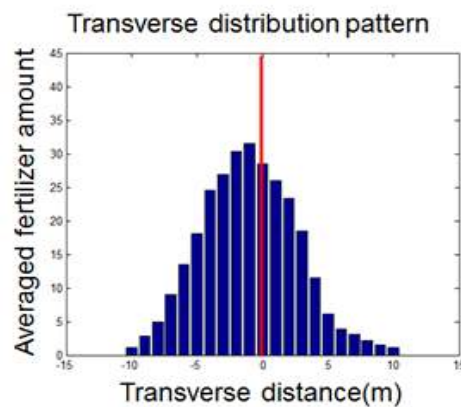


Fig. 3-23 시비량 30% 히스토그램

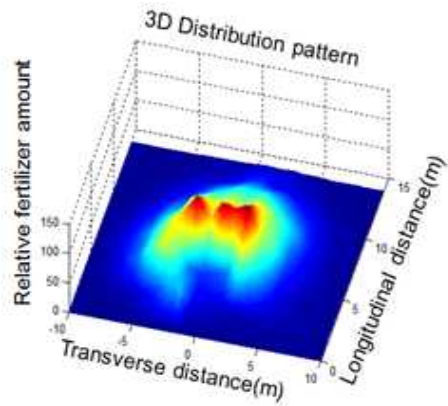


Fig. 3-24 시비량 35% 그래프

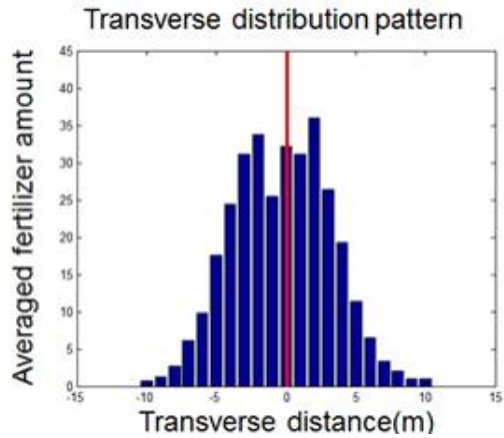


Fig. 3-25 시비량 35% 히스토그램

회전판을 모터로 구동 시, 시비량을 변화시키게 되면 Fig. 3-20, 3-22, 3-24와 같이 살포 패턴이 나타나게 된다. Fig. 3-21, 3-23, 3-25의 히스토그램을 보면 시비량이 증가할수록 좌측 살포량보다 우측 살포량의 증가가 많은 것으로 나타났다.

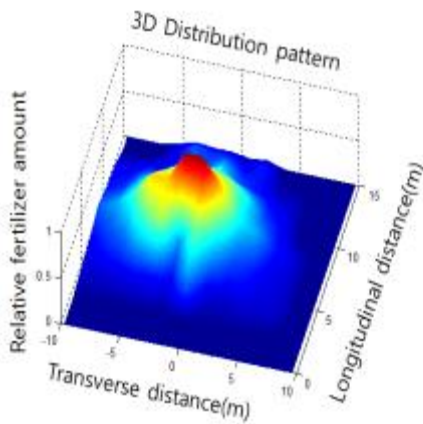


Fig. 3-26 시비량 25% 그래프

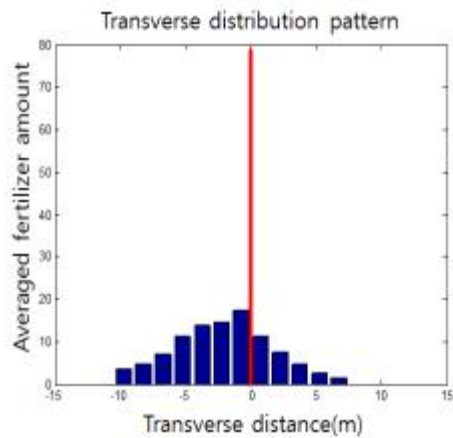


Fig. 3-27 시비량 25% 히스토그램

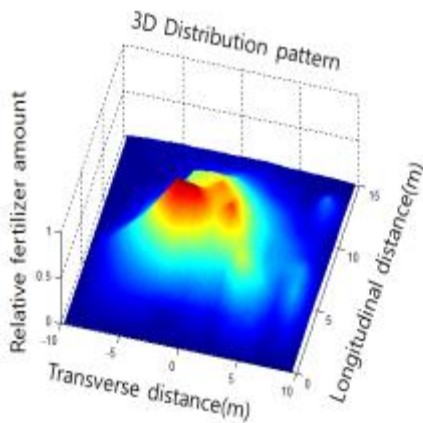


Fig. 3-28 시비량 30% 그래프

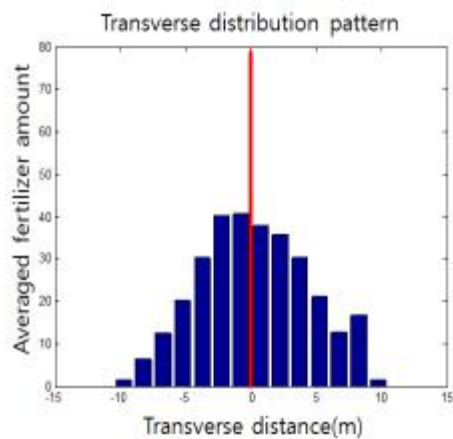


Fig. 3-29 시비량 30% 히스토그램

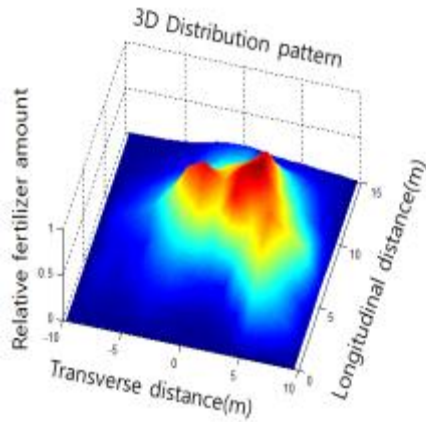


Fig. 3-30 시비량 35% 그래프

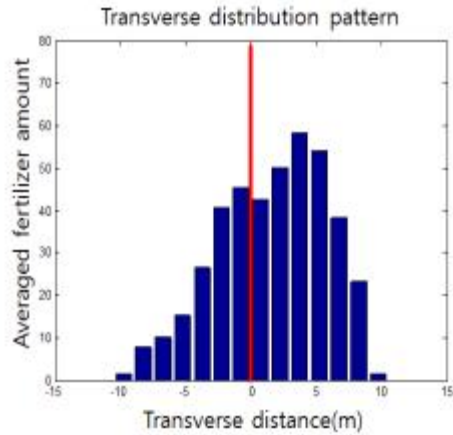


Fig. 3-31 시비량 35% 히스토그램

회전판을 PTO로 구동 시, 시비량을 변화시키게 되면 Fig. 3-26, 3-28, 3-30과 같이 살포 패턴이 나타나게 된다. Fig. 3-27, 3-29, 3-31의 히스토그램을 보면 시비량이 증가할수록 좌측 살포량보다 우측 살포량의 증가가 많은 것으로 나타났으며, 모터 구동 시 보다 많은 양의 비료가 살포되는 것으로 나타났다.

다. 출구위치에 따른 살포 패턴 분석

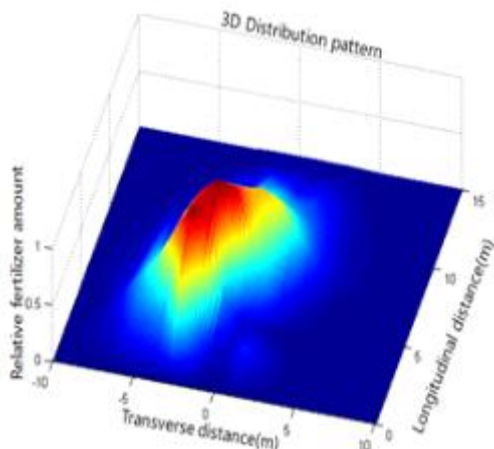


Fig. 3-32 출구위치 -5° 그래프

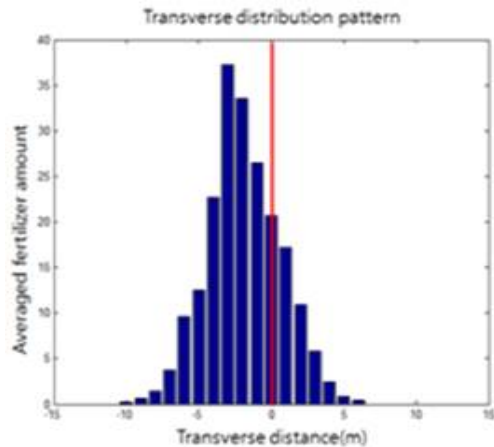


Fig. 3-33 출구위치 -5° 히스토그램

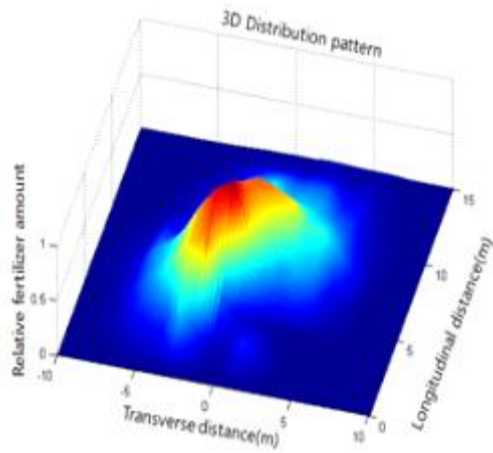


Fig. 3-34 출구위치 0° 그래프

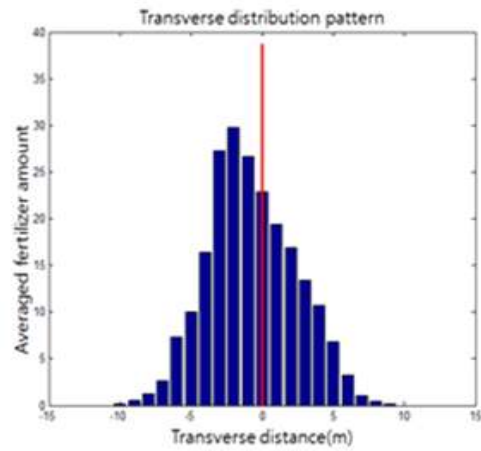


Fig. 3-35 출구위치 0° 히스토그램

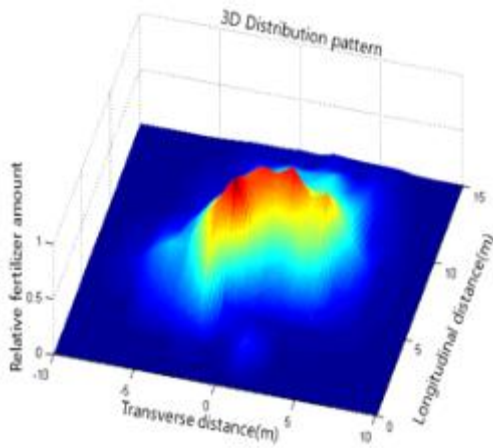


Fig. 3-36 출구위치 5° 그래프

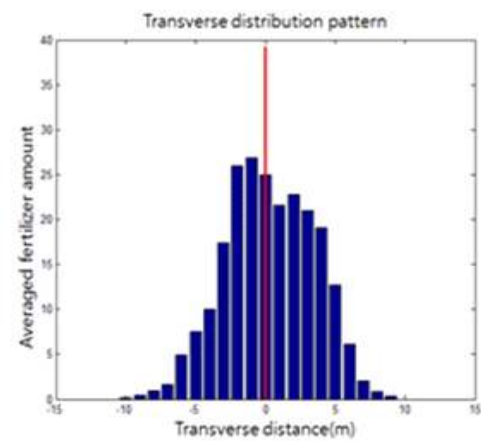


Fig. 3-37 출구위치 5° 히스토그램

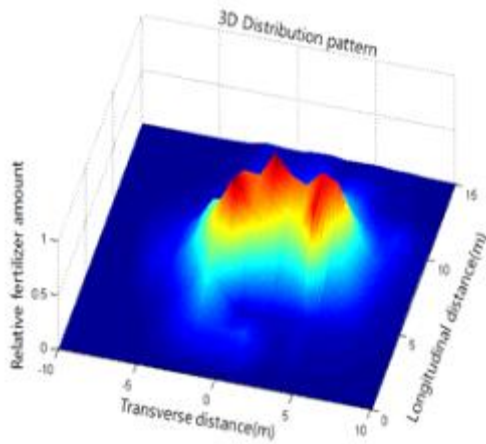


Fig. 3-38 출구위치 10° 그래프

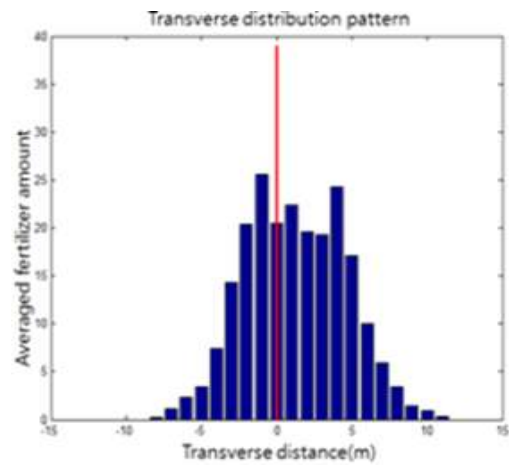


Fig. 3-39 출구위치 10° 히스토그램

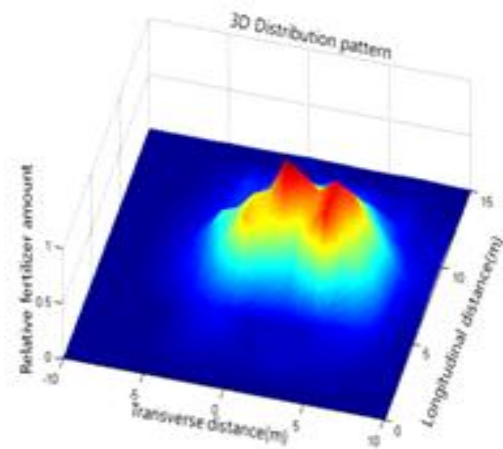


Fig. 3-40 출구위치 15° 그래프

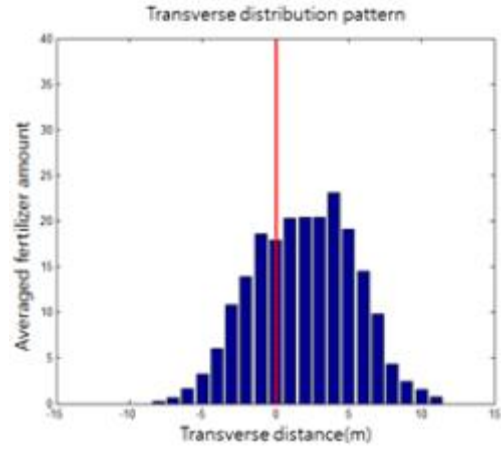


Fig. 3-41 출구위치 15° 히스토그램

회전판을 모터로 구동 할 때, 출구위치를 변화시키게 되면 Fig. 3-32부터 3-41까지의 그래프와 히스토그램으로 나타내었다. 출구위치를 -5, 0, 5, 10, 15° 으로 두고 측정하였을 때 각각 살포패턴이 좌측으로 24, 13, 0°, 우측으로 13, 24° 이동한 것으로 나타났다. 또한 그래프와 히스토그램에서 출구위치가 회전 이동함에 따라 살포패턴도 따라서 이동하는 것으로 나타났다.

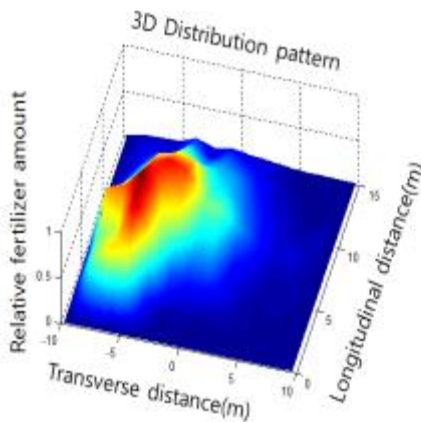


Fig. 3-42 출구위치 -10° 그래프

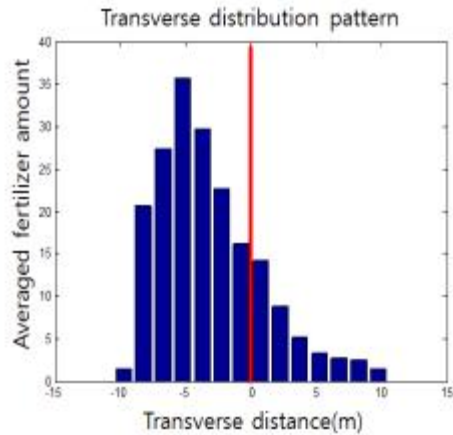


Fig. 3-43 출구위치 -10° 히스토그램

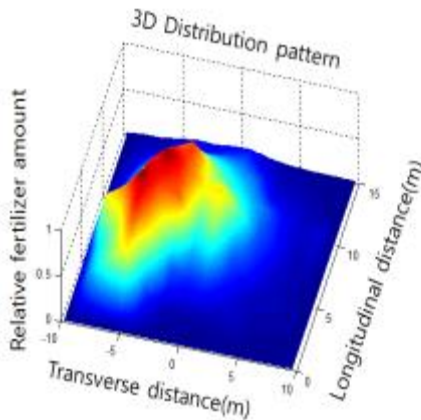


Fig. 3-44 출구위치 -5° 그래프

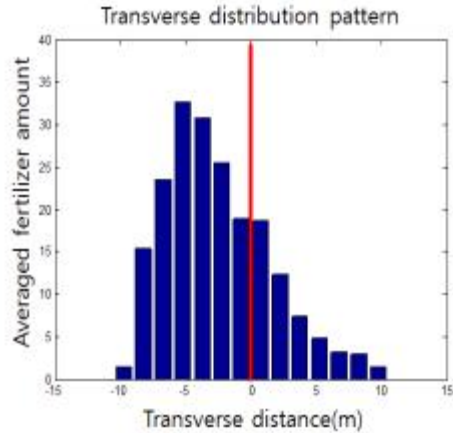


Fig. 3-45 출구위치 -5° 히스토그램

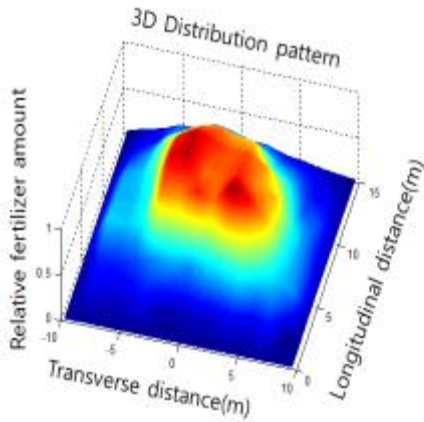


Fig. 3-46 출구위치 5° 그래프

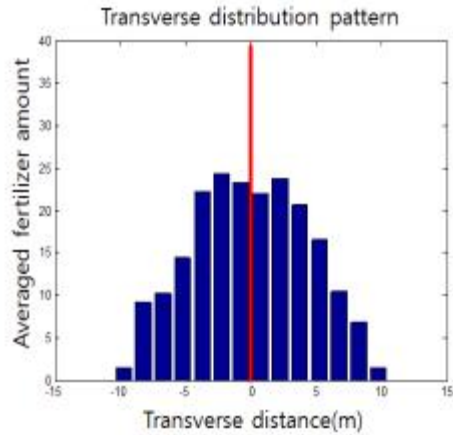


Fig. 3-47 출구위치 5° 히스토그램

회전판을 PTO로 구동 할 때, 출구위치를 변화 될 때를 Fig. 3-42부터 3-47까지의 그래프와 히스토그램으로 나타내었다. 모터로 구동하였을 때, 출구위치에 따라 시비패턴이 변화하는 것을 확인하였기 때문에 PTO로 구동할 때는 출구위치를 -10, -5, 5° 으로 두고 측정하였으며, 각각 살포패턴이 좌측으로 33, 24, 0° 이동한 것으로 나타났다. 또한 모터 구동 때와 마찬가지로 그래프와 히스토그램에서 출구위치가 회전 이동함에 따라 살포패턴도 따라서 이동하는 것으로 나타났다. 따라서, 회전판을 모터로 구동하는 것과 PTO로 구동하는 것에는 유의한 차이가 없는 것으로 판단되었으며 회전원판의 구동은 PTO로 하는 것으로 결정하였다.

다. 살포량 분석시험

Table 3-11은 시비량에 따라 살포되는 비료량을 표시한 것으로 교반기가 있을 때 살포량이 더 많은 것으로 나타났다. 그리고 시비량에 따라 살포되는 비료의 양은 선형적으로 증가하였다. 또한 단위 면적 당 살포량을 계산 시비량을 조절하여 살포량을 제어가능 한 것으로 판단된다.

Table 3-11 시비량에 따른 살포량 (1분간 살포)

교반기 유무 시비량(%)	살포량(kg)	
	x	○
13	3	7
26	12	20
40	27	34
53	48	55
67	67	69
80	72	78
93	95	110

라. 회전판 위 입자 거동분석

Fig. 3-48는 회전판 위에서의 비료입자의 움직임을 고속카메라로 촬영하여 나타낸 것이다. 시비량 20%에서는 비료입자가 시계방향으로 회전하여 출구의 시작단으로 나가지만 시비량 40, 60%에서는 출구의 시작단에서 흘러나가는 비료의 양이 증가함에 따라 살포패턴이 좌측 증가량보다 우측 증가량이 많이 나타나는 것으로 판단된다.

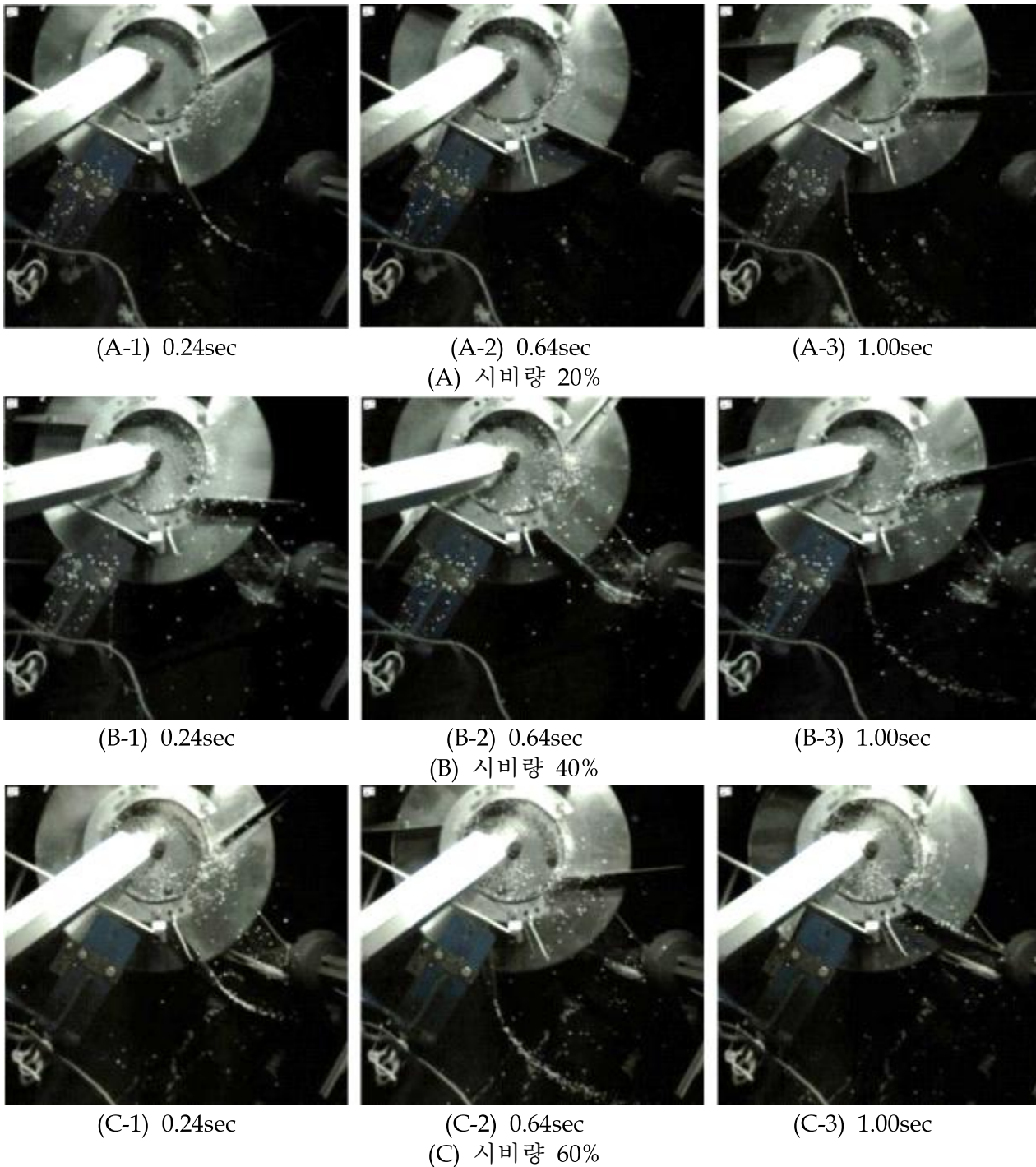


Fig. 3-48 고속카메라 촬영을 통한 원판 위 입자거동 분석

마. 개발된 변량시비 시스템 성능평가

변량시비에 의한 살포균일도 변이계수(CV) 영향 분석을 실시하기 위하여 분석그래프를 트랙터의 주행방법을 Race and track mode로 Fig. 3-49, 3-50, 3-51과 같이 작성하였으며, 분석그래프 중간의 세 직선라인은 주행방향을 표시한 것이다. 변량시비 시스템을 활용하여 시비 후 살포패턴을 분석하고 트랙터 주행간격(Swath width)을 7m로 설정하여 Overlap 하였다. 이를 분석그래프를 통해 Table 3-12와 같이 변이계수가 나타났으며, 변이계수가 15%를 초과하지 않아 균일하게 살포되는 것으로 판단된다.

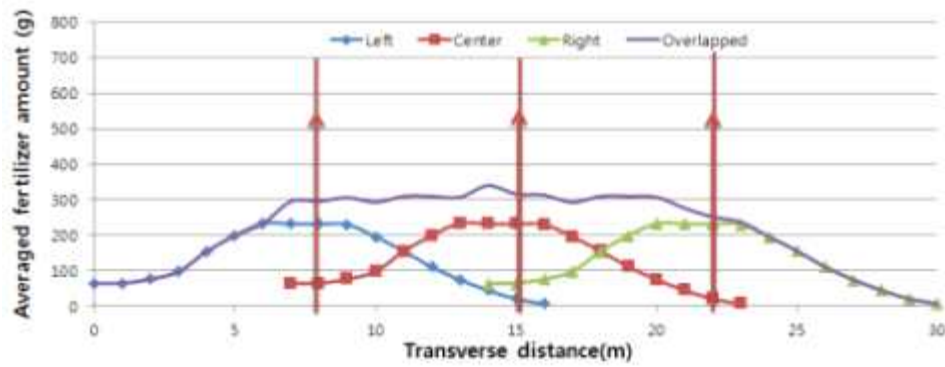


Fig. 3-49 단위면적당 살포량 200kg/ha 분석그래프

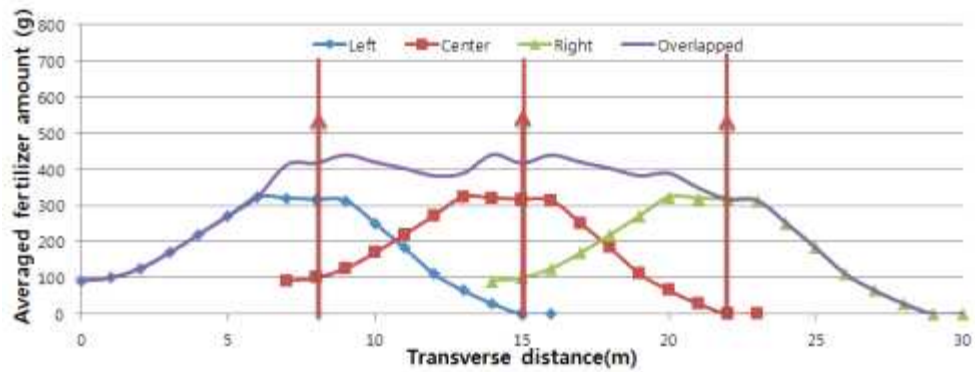


Fig. 3-50 단위면적당 살포량 300kg/ha 분석그래프

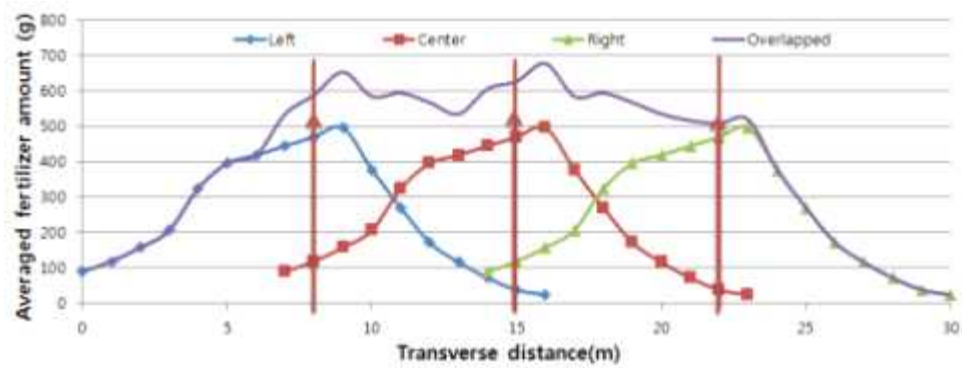


Fig. 3-51 단위면적당 살포량 400kg/ha 분석그래프

Table 3-12 개발된 변량 시스템의 변이계수 분석결과

비료 살포량(kg/ha)	Swath width(m)	CV(%)
200	7	8
300	7	9
400	7	8

Fig. 3-52는 트랙터 주행방법을 Back and forth mode로 하였을 때 200kg/ha로 시비량을 설정한 분석그래프로 변이계수가 12%, 살포폭 7m로 Race track mode에 비하여 높게 나타

났으나 변이계수가 15%를 초과하지 않아 균일하게 살포되는 것으로 판단되었다.

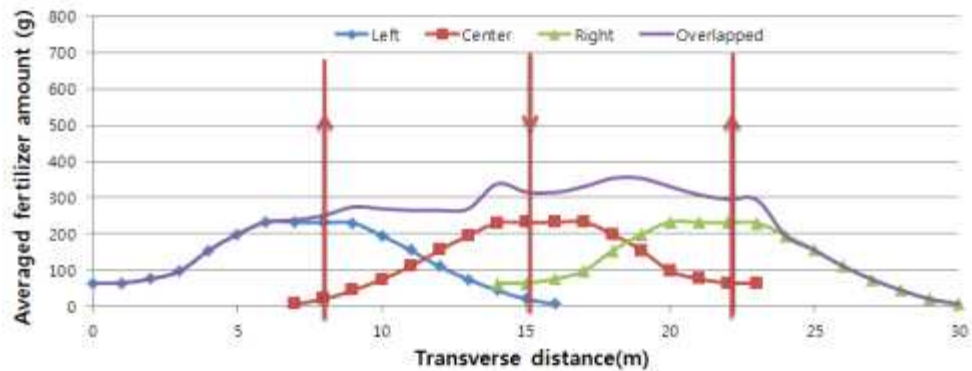


Fig. 3-52 단위면적당 살포량 200kg/ha 분석그래프

Fig. 3-53은 단위면적당 살포량을 200kg/ha, Race track mode로 주행하였을 때 상부 그래프는 살포폭 - 변이계수의 관계를 나타내는 것이며 하부 그래프는 단위면적당 살포량 - 살포폭의 관계를 나타낸 그래프이다. 단위면적당 살포량에 적절한 살포폭을 찾아내기 위하여 Matlab을 활용하여 시뮬레이션 하였다.

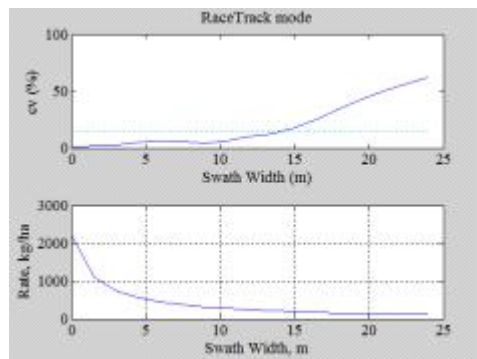


Fig. 3-53 변이계수 시뮬레이션

바. 비료 종류에 따른 크기분포 조사 결과

Table 3-13은 비료를 채에 거른 후 무게를 측정한 결과로 기존 사용비료인 한아름원예에 비하여 잡곡비료의 크기가 더 고른 것으로 나타났다.

Table 3-13 비료 종류에 따른 크기분포

ASTM mesh No.	한아름원예(g)	잡곡(g)
4	7.5	3.4
8	86.9	92.8
10	5.6	3.8
30	0	0

사. 비료의 종류에 따른 성능평가 결과

잡곡비료를 사용하여 변량 시비시스템을 사용하였을 때, 변량시비에 의한 살포균일도 변이계수(CV) 영향 분석을 실시하기 위하여 분석그래프를 트랙터의 주행방법을 Race and track mode로 Fig. 3-54, 3-55, 3-56과 같이 작성하였으며 분석그래프 중간의 세 직선라인은 주행방향을 표시한 것이다.

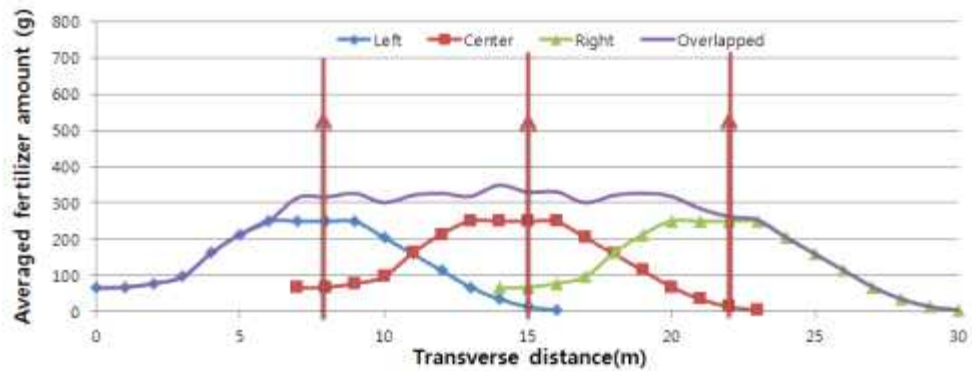


Fig. 3-54 단위면적당 살포량 200kg/ha(잡곡비료) 분석그래프

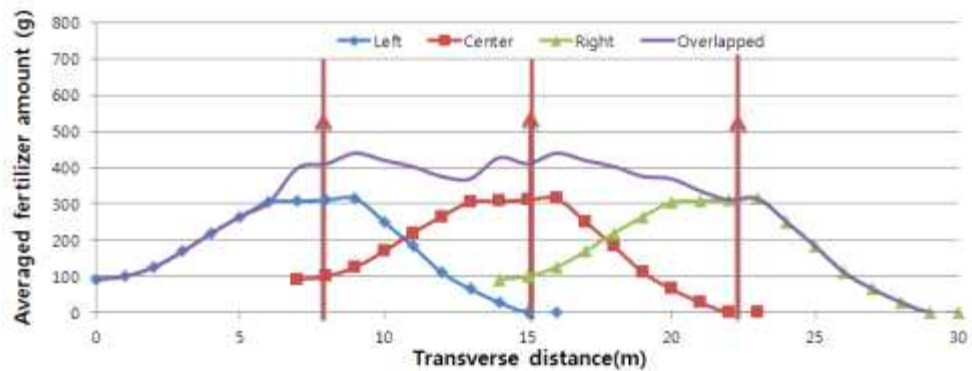


Fig. 3-55 단위면적당 살포량 300kg/ha(잡곡비료) 분석그래프

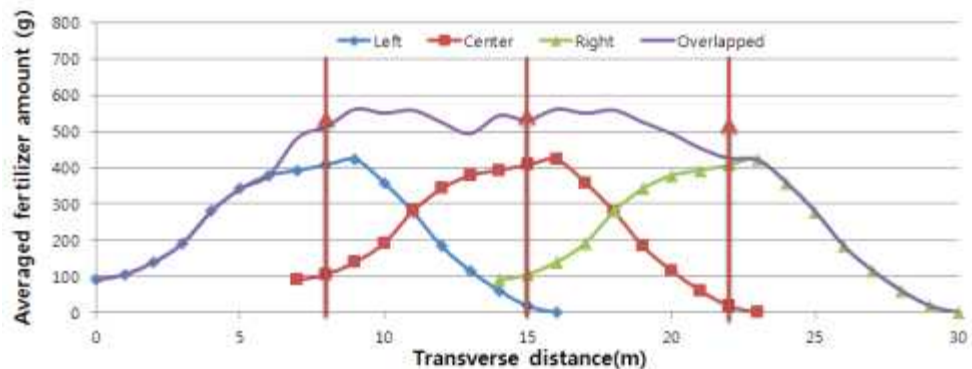


Fig. 3-56 단위면적당 살포량 400kg/ha(잡곡비료) 분석그래프

Table 3-14은 잡곡비료를 개발된 변량시스템으로 살포하였을 때 변이계수를 나타낸 것으로 살포패턴의 차이가 약간은 있으나, 변이계수가 15%이하로 나타나 바로 적용하여도 문제

가 없는 것으로 판단되었다.

Table 3-14 개발된 변량 시스템의 대한 변이계수 분석결과 (잡곡비료)

비료 살포량(kg/ha)	Swath width(m)	CV(%)
200	7	7
300	7	10
400	7	8

제4절 ISO11783 규격 콩재배 정밀농업 제어시스템 연구

1. 콩 재배 정밀 농업 대응 ISO11783 호환 기술 분석

가. 계측 및 제어 ECU 설계를 위한 ISO11783 메시지 분석 및 결정

ISO 11783은 트랙터와 농용 작업기에 접목된 ECU들 사이의 인터페이스와 정보 교환을 허용하도록 설계된 기술표준 규격으로, 개념적으로 트랙터와 농용 작업기 사이의 “plug and play”를 수행하기 위한 목적으로 제시된다. 그리고 ISO 11783은 트랙터와 작업기에 대한 관리용 모니터링 시스템 사이의 데이터 통신 표준화로서 시스템 전체에 해당되는 데이터 정보 공유를 가능하게 하는 기술도 정의된다. 이 표준 규격은 트랙터와 농용 작업기를 대상으로 하는 규격이지만, 이러한 기술적인 측면은 대부분 구체적인 IT 기술을 명시하고 있다. ISO11783은 2013년 현재 총 14개의 장으로 구성되어 있으며 일부 장은 아직도 진행 중이며, 다음 표와 같다.

Table 4-1 ISO11783 구성 및 현황

항목	개정년도	주요내용	현황
ISO11783-1:2007	2007	모바일 데이터 통신 일반 규격	확정
ISO11783-2:2002	2002	물리적 연결 방안	확정
ISO11783-2:2002/Amd1:2006	2006	데이터 연동 방안	최종안 제출
ISO11783-3:2007	2007	데이터 연동 방안	확정
ISO11783-4:2001	2001	네트워크 구성 방안	확정
ISO11783-5:2001	2001	네트워크 관리 방안	확정
ISO11783-6:2004	2004	가상터미널에 관한 내용	확정
ISO11783-7:2009	2009	메시징 시스템	확정
ISO11783-8:2006	2006	동력 전달 메시징 시스템	J1939 종속
ISO11783-9:2002	2002	트랙터 TCU에 관한 내용	확정
ISO11783-10:2009	2009	작업 제어기 및 정보 시스템 연동에 관한 내용	최종안 제출
ISO11783-11:2007	2007	무선 데이터 연동 규격	최종안 제출
ISO11783-12:2009	2009	진단에 관한 규격	진행 중
ISO11783-13:2007	2007	파일 서버에 관한 규격	최종안 제출
ISO11783-13	2013	시퀀스 (작업순서) 제어	진행 중

Table 4-2 ISO11783 ECU 표준 입출력 사양표 요약([4-8], ISO11783 Part 7)

항목	내용	요구조건
센서입력	Inductive Speed Sensors	2
	DHE Speed sensors	4
	Analog	18(0~5V)
	Temperature Sensors	4 Pt1000 and 3 NTC
	Thermocouples	2K
	Wideband Lambda	2
	Knock Sensors	4
	Switch	3
	Lap trigger	1
출력	Current controlled injector drive	8 High Voltage(30V)
	Inductive ignition drive stages	8
	Low side drivers	6(500Hz, 20mA)
	Hogh side drivers	2(16kHz)
	High side drive stages	5
	Lambda heaters	2
	Tacho/Speedo outputs	2
	Oscilloscope Diagnostic	2
	External sensor supplies	1
통신	Ethernet	1
	CAN 2.0B Bus	2(1M bps)
	RS232	1(220kbps)
데이터 저장	Internal memory	16Mbyte + 1Gb(option)
진단기술	센서 입력 범위 검사	1
	제어 보드 온도 검사	1
	전원 공급부 온도 검사	1

Table 4-3 ISO11783 계측 대상 및 센서/액추에이터 요약 ([4-3], ISO11783 Part 9)

구현 대상	계측 대상	활용 센서 및 액추에이터
파워	마스터키 상태 최대 작동시간 파워 유지 요구 시간	TTL 폴다운 디지털 입력 타이머 릴레이 / 전기식 릴레이 타이머 릴레이 / 전기식 릴레이
속도	구동륜의 속도 주행속도(Ground speed) 엔진 속도(>10Hz)	각속도 센서 각속도 센서 / 초음파 센서 각속도 센서
히치	후방히치 위치 후방히치 목표값	변위 센서 / 각도 센서 솔레노이드 밸브 제어 릴레이
PTO	후방 PTO 축 속도 후방 PTO 축 체결 상태	각속도 센서 근접 센서 / 자기 센서
라이트	깜박이 지시등	TTL 폴다운 디지털 입력 무접점 릴레이
위치	위치 높이 방향	GPS 센서 GPS 센서 자이로 센서 / 레이저 센서
전방 적엽기 제어	PTO 출력 제어 유압 제어 모터 제어	변위 센서 솔레노이드 밸브 릴레이 무접점 릴레이

ISO11783의 Part 3 ([4-1])에서 제안하는 메시징 시스템의 기본은 SAE J1939를 기반으로 하는 프로토콜하고, CANBUS규격에서 제시하는 확장 데이터그램 구조를 채용하였으며, 29 비트의 고유 아이디 정보를 바탕으로 데이터 필드의 길이를 조절할 수 있는 가변 길이 프레임 채택하고 있다.

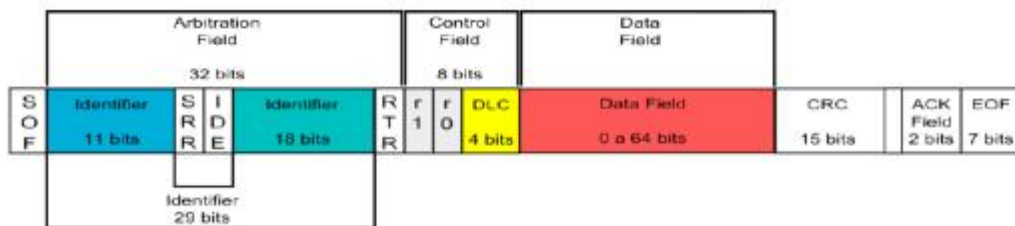


Fig. 4-1 CAN 2.0B Frame 구조

총 304 종의 Parameter 와 46 종의 Parameter Group 메시지 분석하였다.

A.1	Time(UTC)	
	DL	3
	RES	byte 1 = 0,25 s/bit byte 2 = 1 min/bit byte 3 = 1 h/bit
	Range	Byte 1 = 0~59,75 s Byte 2 = 0~59 min Byte 3 = 0~23 h
	Type	Measured
	SPN	byte 1 = 959 byte 2 = 960 byte 3 = 961
	Unit	byte 1 = s byte 2 = m byte 3 = h
A.2	Date	
	DL	3
	RES	Byte 1 = 1 month/bit Byte 2 = 0,25 d/bit Byte 3 = 1 Y/bit
	Range	Byte 1 = 1~12 months Byte 2 = 0,25~31,75 d Byte 3 = 1985~2235 (year)
	Type	Measured
	SPN	Byte 1 = 963 Byte 2 = 962 Byte 3 = 964
	Unit	Byte 1 = month/bit Byte 2 = d/bit Byte 3 = y/bit
A.3	Local minute offset	
	DL	1
	RES	1 min/bit, -125 min offset
	Range	-59 min to 59 min
	Type	Measured
	SPN	1601
	Unit	min

Fig. 4-2. A.1,2,3 Parameter 예시

B.1	Time/Date		
	DL		8
	Data page		0
	PDU format		254
	PDU specific		230
	Default priority		6
	Parameter group number		65254 (00FEE6 ₁₆)
	Bytes 1 to 3		Time (UTC) (see A.1)
	Bytes 4 to 6		Date (see A.2)
	Byte 7		Local minute offset (see A.3)
	Byte 8		Local hour offset (see A.4)
B.2	Ground-based speed and distance		
	Transmission repetition rate		100 ms
	DL		8
	Data page		0
	PDU format		254
	PDU specific		73
	Default priority		3
	Parameter group number		65097 (00FE49 ₁₆)
	Bytes 1, 2		Ground-based machine distance (see A.6)
	Bytes 3-6		Ground-based machine distance (see A.6)
	Byte 7		Reserved
	Byte 8		
		Bits 8-3	Reserved
		Bits 2, 1	Ground-based machine direction (see A.7)
B.3	Wheel-based speed and distance		
	Transmission repetition rate		100 ms
	Data length		8
	Data page		0
	PDU format		254
	PDU specific		72
	Default priority		3
	Parameter group number		65096 (00FE48 ₁₆)
	Bytes 1, 2		Wheel-based machine speed (see A.8)
	Bytes 3 to 6		Wheel-based machine distance (see A.9)
	Byte 7		Maximum time of tractor power (see A.12)
	Byte 8: Bits 8, 7		Operator direction reversed (see A.31)
		Bits 6, 5	Start/stop state (see A.25.2)
		Bits 4, 3	Key switch state (see A.11)
		Bits 2, 1	Wheel-based machine direction (see A.10)

Fig. 4-3 B.1,2,3 Parameter Group 예시

나. 작업기(트랙터 포함) 연동형 사용자 주 ECU 사양 결정 및 설계

Table 4-4 ISO11783 주 메시지 단계별 계측/제어 대상 항목

구현 단계	구현 대상	대상 항목
Class1	파워	마스터키 상태 최대 작동시간 파워 유지 요구 명령
	속도	구동륜의 속도 주행속도(Ground speed) 엔진 속도(>10Hz)
	히치	후방히치 위치 후방히치 목표값
	PTO	후방 PTO 축 속도 후방 PTO 축 체결 상태
	라이트	왼쪽 방향 깜박이 오른쪽 방향 깜박이 지시등 왼쪽 정지등 후방 작업등
	언어 관련 팩	ECU, VT등에 언어설정 가능
Class2	기본 확장	지면/바퀴 기준 높이 및 방향 후방 작업기 정보 작업 완료 점등 정보 추가 밸브 상태 정보
	상세확장	시간과 날짜 속도 및 거리(지면 기준, 바퀴 기준) 추가 히치 정보 : 후면 작업 부하 모든 점등 정보 추가 밸브 상태 예측 및 계측 정보
Class3	히치 PTO 밸브	후방 히치 위치 후방 PTO 축 지정 속도/후방 PTO 체결 상태 밸브 개폐 명령

2. 콩 생육 계측 및 변량 시비 시스템 연동 프로토콜 설계

가. 계측, 제어, 주ECU 간 메시징 시나리오 설계

ISO11783기반 통신(CAN 통신)을 이용한 계측/제어 분산 아키텍처를 채용하였다.

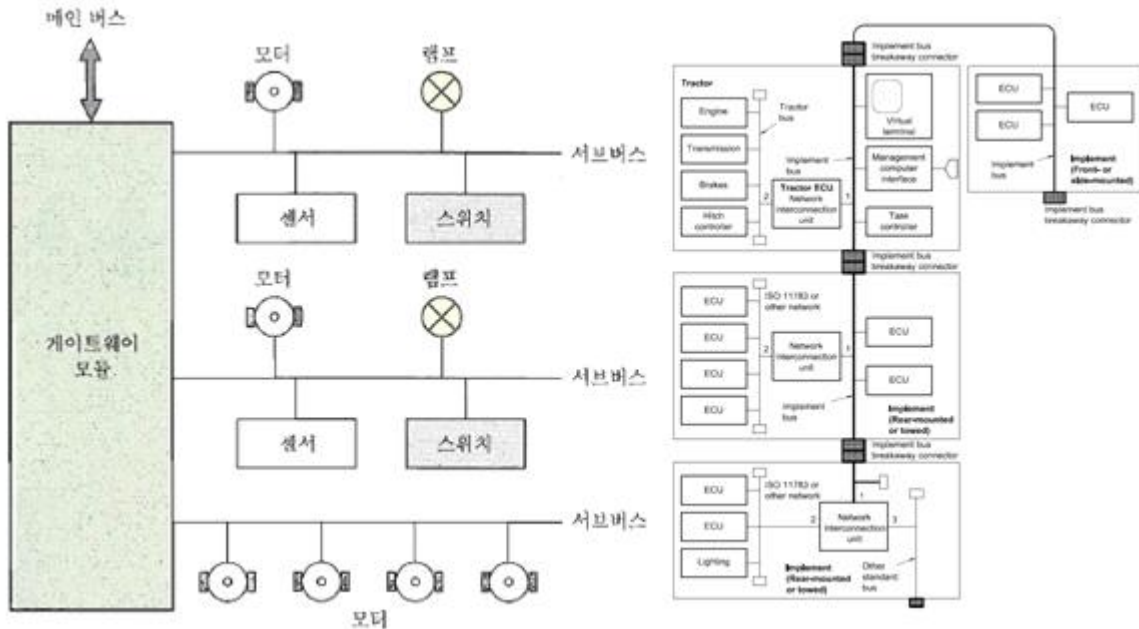


Fig. 4-6 ISO11783 Part 4, Page 4

ISO11783 표준 메시징 구조체 및 시나리오 분석 완료하였다.

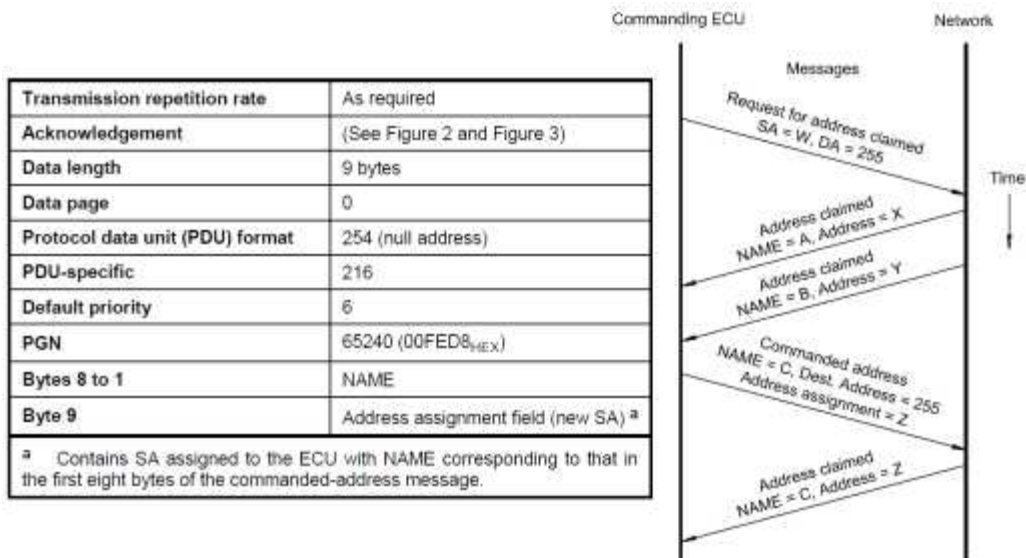


Fig. 4-7 ISO11783 Part 5, Page 9 ([4-2])

나. 시뮬레이션을 통한 제어통신 시스템 특성 분석 및 프로토콜 명세서 도출

ISO11783기반 통신(CAN 통신) 테스트를 위한 브레드 보드 실험 장치 구성 하였다. (협동 과제 연구 진행 내용에 따라 계측 항목, 제어 항목을 선택적으로 연동할 수 있는 테스트 하드웨어 구축)

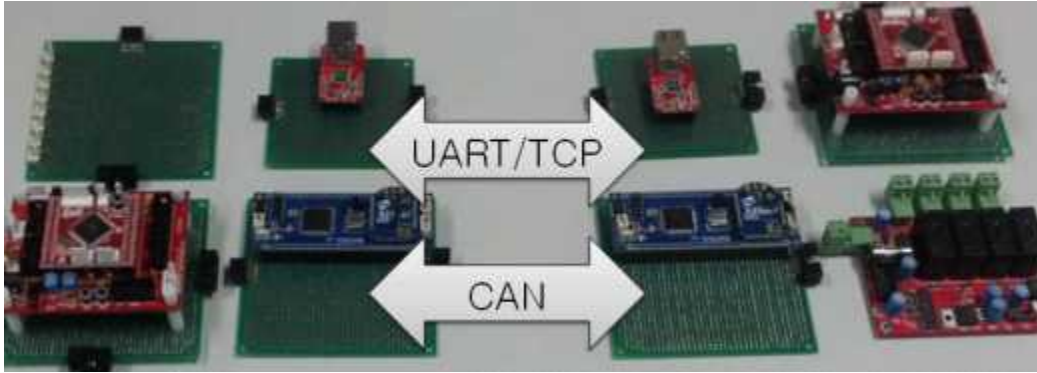


Fig. 4-8 ISO11783기반통신(CAN통신) 테스트를 위한 브레드 보드 실험장치

다. 시뮬레이션 대상 신호 선정

ISO1178 규격에서 제안하는 시스템의 구성방법은 크게 “입력부”, “처리부”, “출력부”로 구분할 수 있다. 이중에서 “입력부”는 디지털 계측 장치인 각종 센서에서 발생하는 입력신호 (대표적으로 0-5 V 사이의 전압)를 표준으로 권고하고 있다. 본 연구에서는 0-5 V를 지원하는 표준 규격에 맞지 않는 다음과 같은 4가지의 센서를 사용할 경우 ISO11783 규격에 곧바로 적용할 수 없는 현재의 한계를 극복하기 위한 다중 신호 변환 장치를 설계하였음

- (1) mV 이하의 미세 신호를 생성하는 로드셀 (예:스트레인 게이지)
- (2) 전압이 아니라 전류 신호를 생성하는 센서 (예:산소센서)
- (3) SPI 규격을 준수한 디지털 신호를 생성하는 센서 (예:정밀도가 높은 온습도 센서)
- (4) I2C 규격을 준수한 디지털 신호를 생성하는 센서 (예:정밀도가 높은 조도센서)

라. 시뮬레이션 대상 신호의 특성

ISO11783에서 표준으로 권고하고 있는 센서의 규격은 ISO11783 Part 7에서 제시하는 바와 같이 구체적으로 신호의 형태를 명시하고 있다(0-5 V). 대부분의 디지털 계측 센서들이 계측원리에 따라 상응하는 물리량을 0-5 V 범위내의 아날로그 형태로 출력을 수행하는 이유는, 일반적인 전자 디지털 회로가 0(Low) V와 5(High) V를 지원하기 때문에 손쉬운 호환성을 위해서 센서 개발자들이 적정한 변환회로를 내장하였기 때문이다. 그러나 근래에 들어서 센서의 정밀도가 높아지고, 성능 또한 우수해짐에 따라 기존 방식의 아날로그 출력(0-5 V) 신호만으로 센서를 통해 계측한 물리량을 정확히 나타내기에 한계에 이르렀다고 할 수 있음. 따라서 콩재배 정밀농업 제어시스템에 바로 적용하기에 무리가 있다.

대표적인 디지털 통신 규격인 SPI, I2C 통신을 통해 상응하는 물리량을 디지털 신호의 형태로 전송해주는 센서들이 그 예라 할 수 있다. 또한 트랙터의 동력 분석에 자주 사용되는 스트레인 게이지의 경우 출력 전압의 크기가 매우 미소하여 별도의 앰프(신호증폭기)를 사용하여야 하므로 이를 위하여 ISO11783 규격에서는 신호증폭을 위한 별도의 ECU를 권고하고 있다. 마지막으로 ISO11783규격이 마련될 당시 고려되지 못한 센서(대표적으로 Gas 센서)를 연결하기 위한 구체적인 방법 제시가 미비한 상황이다. 이미 규격화 되어 있는 ISO11783 규격에 호환 가능하도록, 다양한 센서들로 부터 생성되는 신호들을 변환하기 위한 센서 입력 신호 변환장치를 설계하였다.

마. 신호 변환 시스템의 구성

(1) 표준 아날로그 신호(0-5 V)을 지원하는 ISO11783호환 ECU에서 사용 가능하도록, 다음과 같은 종류의 센서입력 신호를 표준 아날로그 신호로 변환하기 위한 통신 시스템을 설계하였다.

(가) mV 이하의 미세 신호를 생성하는 로드셀

(나) 전압이 아니라 전류 신호를 생성하는 센서

(다) SPI 규격을 준수한 디지털 신호를 생성하는 센서

(라) I2C 규격을 준수한 디지털 신호를 생성하는 센서

(2) ISO11783 규격과 호환하기 위한 기존의 방식

다음 그림과 같이 기존에는, 다양한 센서의 입력 신호를 ISO11783 시스템에 호환시키기 위해서 별도의 ECU 제작이 필수적임. 따라서 센서의 형태 및 통신의 형태에 따라 추가적인 작업을 필요로 하는 제약이 따른다.

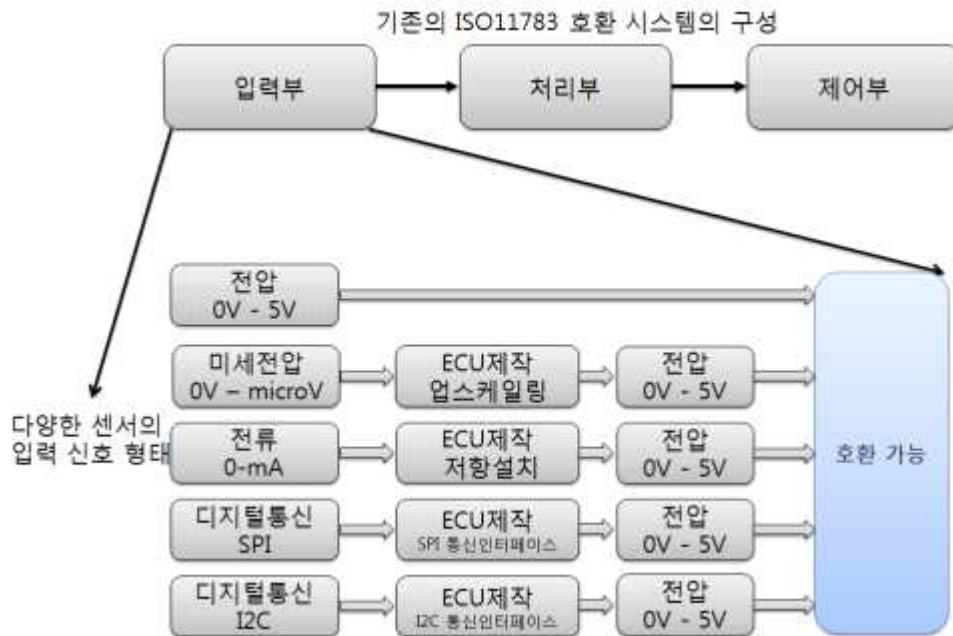


Fig. 4-9 다양한 센서의 입력을 처리하기 위한 기존의 ISO11783호환 방식

(3) ISO11783호환 다중 센서입력 신호 변환 장치 구성

다음 그림과 같이 ISO11783 규격에 정의 되어 있지 않은 센서의 입력 신호를 표준 아날로그 신호로 변환하기 위한 “다중 센서입력 신호 변환장치”를 이용하여 기존의 ISO11783규격과 호환 가능한 시스템 구성을 설계하였다.

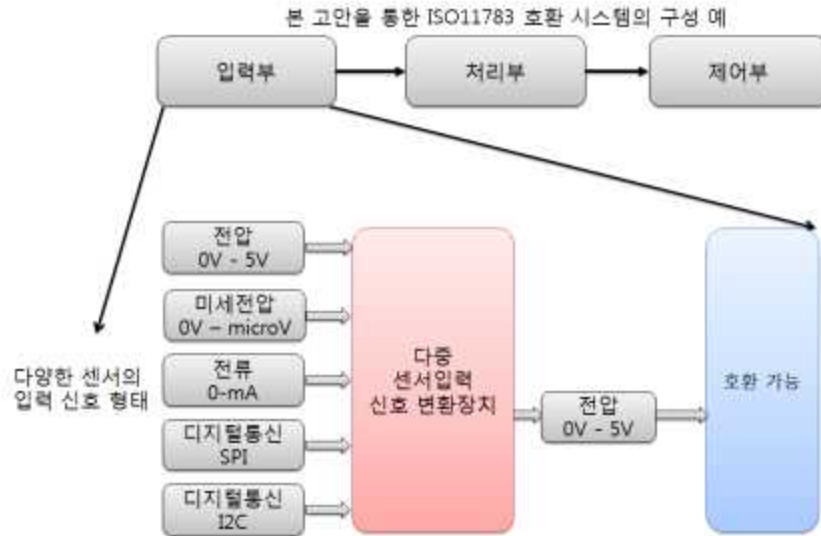


Fig. 4-10 ISO11783호환 다중 센서입력 신호 변환 장치 구성

(4) ISO11783호환 센서입력 신호 변환 ECU 구성 및 원리

4가지 다른 센서의 입력신호 형태를 선택하는 신호 선택기(Dip switch 또는 다중 1선택형 토글 스위치)와 micro V 단위의 전압을 최대 5V 범위 내로 상승 시켜주는 신호 증폭을 위한 OpAmp, 그리고 전류 신호를 전압 신호로 바꾸어 주기위한 분로 저항(Shunt resistance)사용하였다. 또한 전압신호로 변환하는 비율을 조절하기 위하여 가변저항을 사용(100옴 - 1000 옴) 하였다. 전압 변환 후 전압의 크기가 미세할 경우 신호 증폭 회로(2)를 경유하였다.

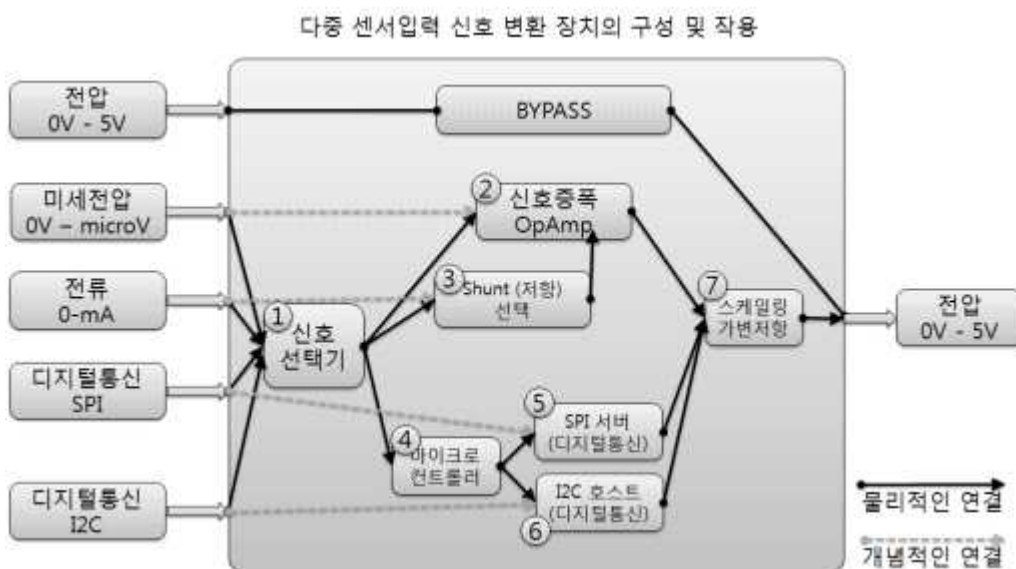


Fig. 4-11 ISO11783호환 다중 센서 입력 신호 변환 ECU의 구성 및 작용

2가지 디지털 통신(SPI, I2C)을 수행하기 위한 디지털 통신 서버 역할을 하였고, SPI 서버는 MCU 내부에 내장되어 있는 S/W 형태로 표준 SPI 통신 수행 하였다. 그리고 I2C 버

는 MCU 내부에 내장되어 있는 S/W 형태로 표준 SPI 통신 수행 하였고, 앞서 기술한 신호 변환 회로에서 발생한 아날로그 신호(0-5 V) 범위의 값을 ISO11783규격에 맞게 비례적으로 변환하기 위한 가변저항을 주었다.

3. 콩 재배 정밀 농업 시스템 대응 요소별 ECU 설계

ISO1178 규격에서 제안하는 시스템의 구성방법은 크게 “입력부”, “처리부”, “출력부”로 구분하였고, 이중에서 “출력부”에 해당하는 장치는 On/Off 처리를 위한 릴레이 제어장치와 변위센서를 피드백으로 입력받아 기계요소의 위치를 제어할 수 있는 아날로그 제어의 2가지 방식으로 결정되었다.

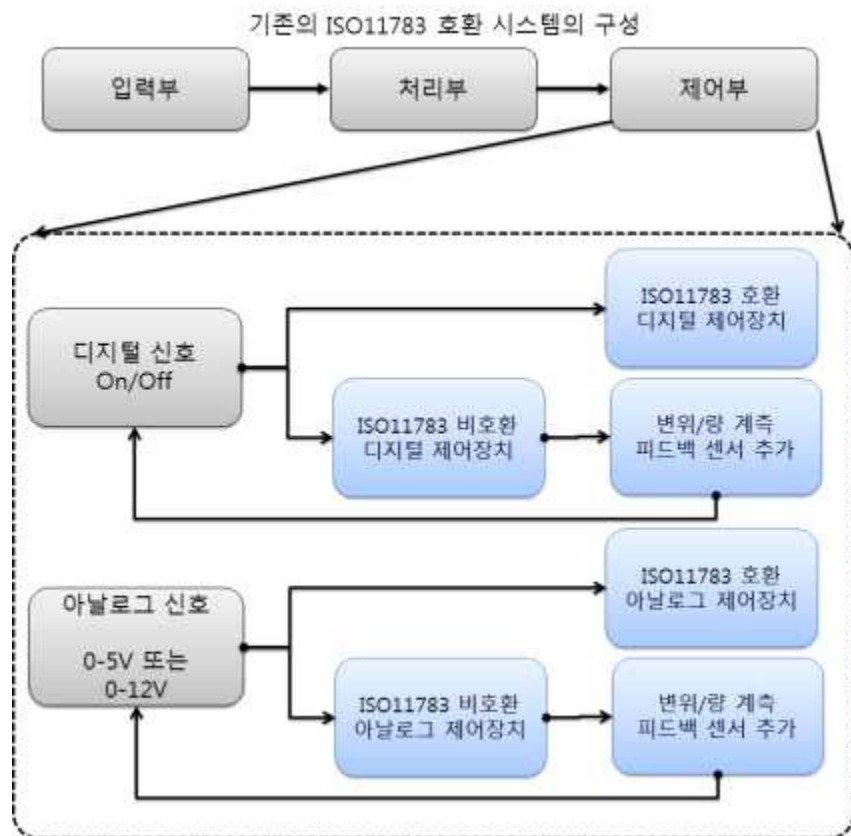


Fig. 4-12 기존 방식의 ISO11783 표준 호환 제어 신호 처리 방법

그러나 이러한 두가지 방식으로는 다양한 형태의 농작업 제어기 적용에 한계가 따르는데, 그 이유는 농작업기계에서 사용되는 제어 장치(또는 액추에이터) 중 PWM(Pulse wavelength modulation) 기법을 이용한 회전량/속도 제어 모터(예:DC 모터)나 각도 입력을 디지털 데이터 신호로 제어하는 회전량 제어 모터(예: Step 모터), 회전속도/방향 제어 모터(예:AC 모터, 유압모터), 선형 변위 제어 실린더(예:유압 실린더,리니어모터) 같은 것들이 표준규격에서 제시하는 범위를 넘어가기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 ISO11783 표준에 호환되지 않는 다양한 제어 장치들을 제어하기 위하여 별도의 개별 ECU(Electronic control unit)의 개발을 필요로 하는 방식을 회피하여, 다양한 제어 장치에 호환 가능한 다중 출력 신호 변환 장치를 다음과 같이 설계를 수행하였다.

ISO11782 호환을 위한 각종 디지털/아날로그 제어장치를 설계하고 개발함에 있어, 표준

규격을 준수할 경우 별도의 수정 없이 바로 활용이 가능할 수 있으나, 표준안을 고려하지 않고 이미 시장에 출시된 제품의 경우 활용에 한계가 있다. 예를 들자면, ISO11783 비호환 디지털/아날로그 제어장치를 사용하고자 할 경우 표준안에서는 새로운 형태의 ECU를 개발할 것을 권고하고 있다.

특히 PWM(Pulse wavelength modulation) 기법을 이용한 회전량/속도 제어 모터(예:DC 모터)나 각도 입력을 디지털 데이터 신호로 제어하는 회전량 제어 모터(예:Step 모터), 그리고 회전속도/방향 제어 모터(예:AC 모터, 유압모터) 및 선형 변위 제어 실린더(예:유압 실린더, 리니어모터) 같이 농작업기에 주로 사용되는 제어 장치의 경우 표준안에서는 새로운 형태의 개별적인 ECU를 개발할 것을 권고한다. 그래서 PWM 기법을 이용한 회전량/속도 제어 모터의 경우 입력 아날로그 신호에 비례하여 Duty ratio (듀티비)를 결정할 수 있는 PWM 신호 생성 모듈을 다음의 원리를 이용하여 구성하였다. 다음 그림과 같이 입력전압에 k 상수배를 취하여 듀티비 결정하고 백분율로 나타난 듀티비 값을 PWM 신호 발생기에 전달한다. 이때, k 상수는 $5 / 100$ (입력전압의 범위가 0-5V) 또는 $12 / 100$ (입력전압의 범위가 0-12V)로 입력 전압의 최고값에 따라 결정하였다.

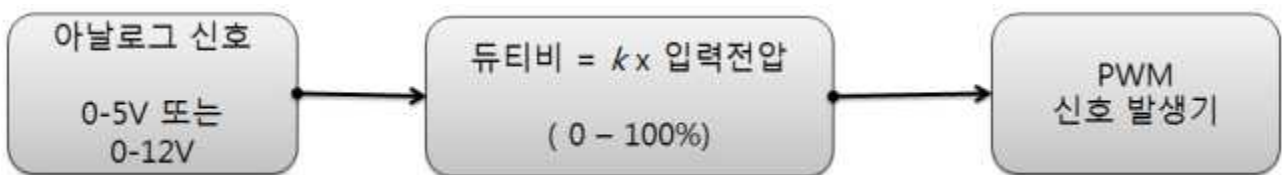


Fig. 4-13 PWM 기법을 이용한 신호 생성 원리

각도를 디지털 데이터로 입력 받아 회전각을 제어하는 모터의 경우 입력 아날로그 신호에 비례하는 각도값을 결정하고, 이에 따른 Step 제어 신호 발생기를 구성하였다. 다음 그림과 같이 입력전압에 k 상수배를 취하여 회전각을 0-360도 범위내의 값으로 결정하고, 이를 Step 제어 신호 발생기에 전달한다. 이때, k 상수는 $5 / 360$ (입력전압의 범위가 0-5V) 또는 $12 / 360$ (입력전압의 범위가 0-12V)로 입력 전압의 최고값에 따라 결정하였다.

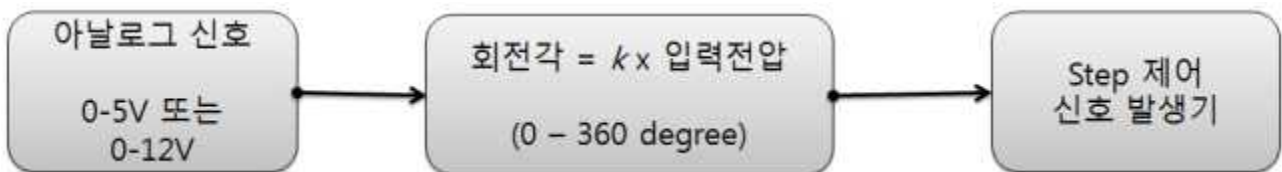


Fig. 4-14 Step 제어 신호 발생기 구성

회전량/방향 제어 모터의 경우 우선 최대입력 전압을 2등분 ($\frac{V_{\max}}{2}$) 하여 이를 기준으로 반시계방향(CCW)와 시계방향(CW)을 구별하였다. 그리고 회전 속도는 입력전압에서

$\frac{V_{max}}{2}$ 을 뺀 절대값에 k 상수배를 취하여 백분율을 결정하고, 방향을 제어할 수 있는 릴레이 구동회로와 인버터 등을 활용한 속도 조절 장치에 전달한다. 이때, k 상수는 2.5 / 100 (입력전압의 범위가 0-5V) 또는 6 / 100 (입력전압의 범위가 0-12V)로 입력 전압의 최고값에 따라 결정하였다.

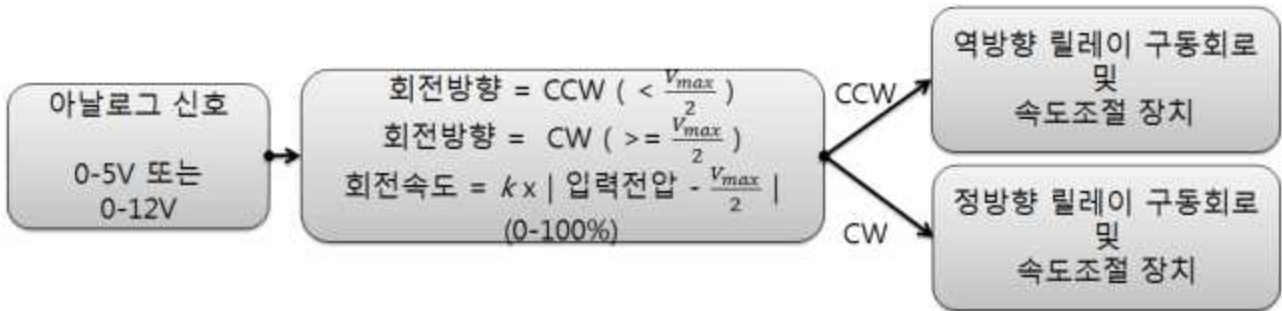


Fig. 4-15 회전량/방향 제어 모터의 신호 발생기 구성

선형 변위 제어 실린더의 경우 우선 최대입력 전압을 2등분 ($\frac{V_{max}}{2}$) 하여 이를 기준으로 반시계방향(CCW)과 시계방향(CW)을 구별한다. 회전 속도는 입력전압에서 $\frac{V_{max}}{2}$ 을 뺀 절대값에 k 상수배를 취하여 백분율을 결정하고, 각각의 방향에 따라 선형 변위 제어 실린더를 제어할 수 있는 솔레노이드 구동회로에 전달한다. 이때, k 상수는 2.5 / 100(입력 전압의 범위가 0-5V) 또는 6 / 100(입력전압의 범위가 0-12V)로 입력 전압의 최고값에 따라 결정하였다.

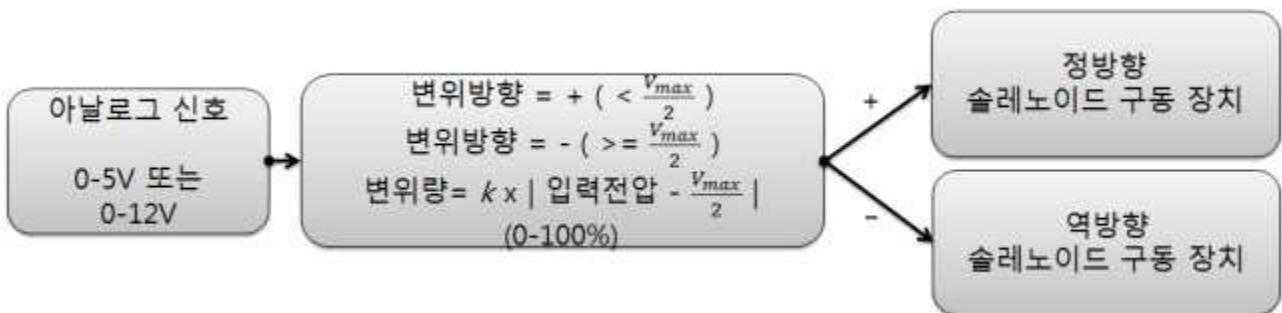


Fig. 4-16 선위 병위 실린더의 신호 발생기 구성

앞서 기술한 개별적인 4가지 제어신호를 통합하여 관리할 수 있는 다중 제어 신호 생성 장치를 다음 도를 통해 설명이 가능하다.

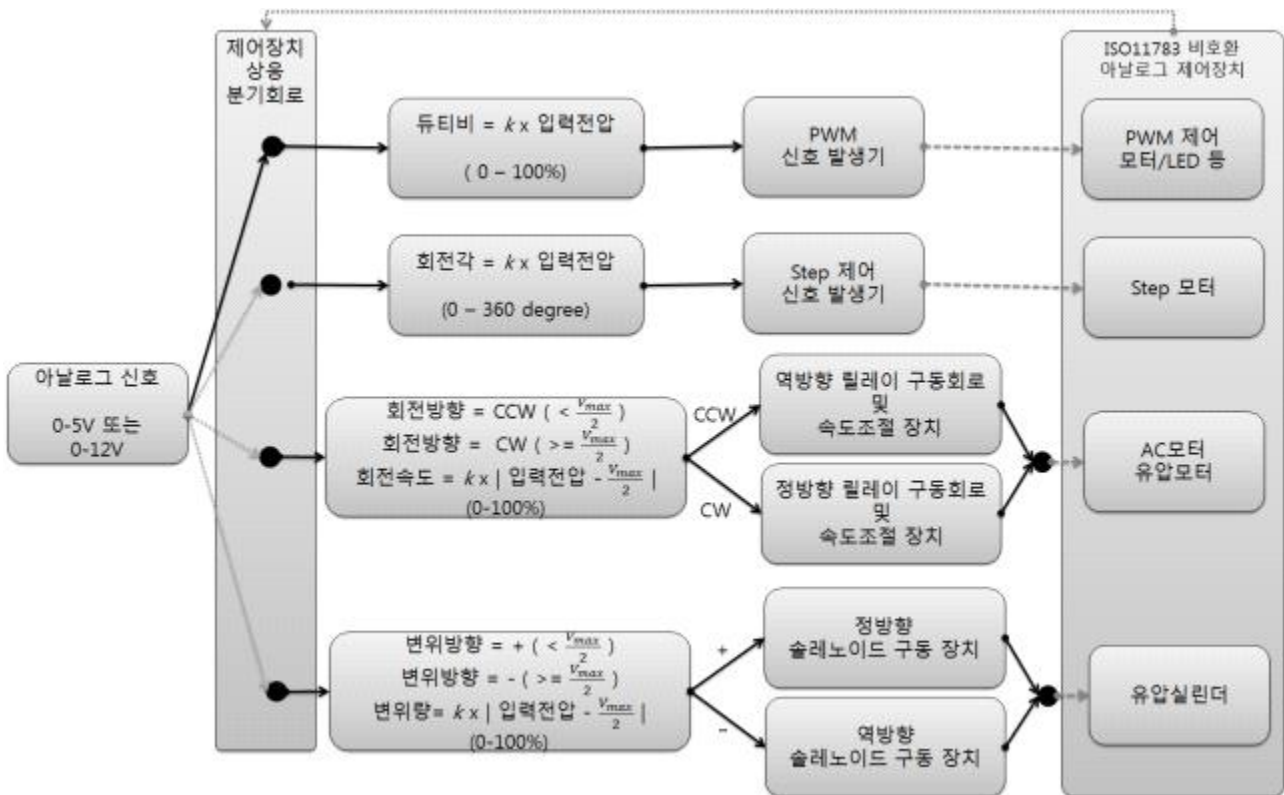


Fig. 4-17 ISO11783 표준 호환을 위한 비호환 제어 장치 제어 신호 흐름도

ISO11783의 구체적인 ECU 사양을 구현하기 위하여 1년차 연구 성과를 토대로 하여 다음 그림과 같이 표준 센서 입력 및 제어 출력 신호를 시뮬레이션하기 위한 테스트 보드를 구성하여 데이터 통신 테스트를 수행하였다. 이 과정에서 회로의 기본적인 성능 테스트를 위하여 브레드 보드 구성 실험을 우선적으로 수행하였다.

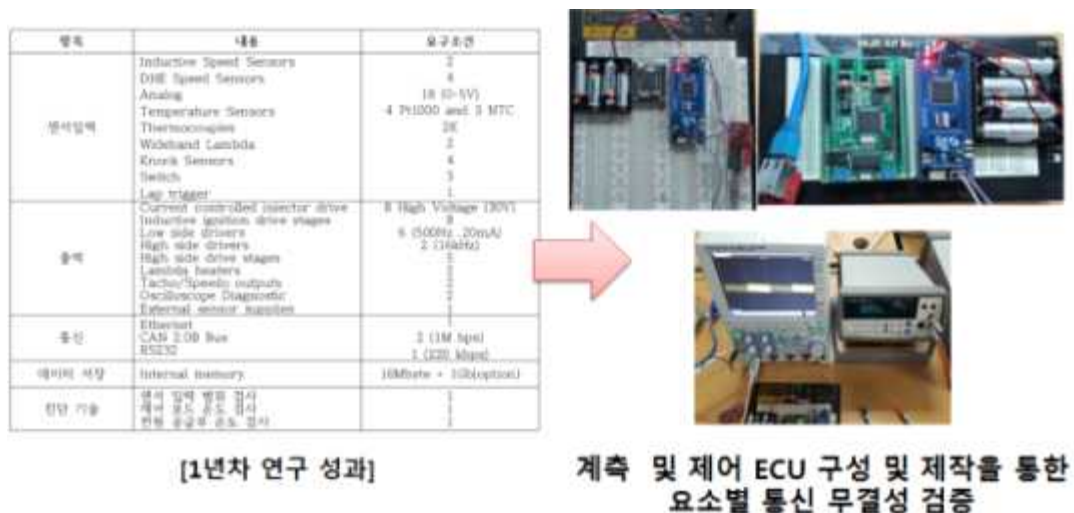


Fig. 4-18 표준 센서 입력 및 제어 출력 신호 시뮬레이션 테스트 보드 구성

4. 콩 재배 정밀 농업 시스템 주제어 사용자 인터페이스 제작

지능화, 다기능화 되어가는 농업기계 및 그 부속기기 간의 통신을 다루기 위하여 설계된 ISO11783규격에서는 사용자에게 정보를 효과적으로 전달함과 동시에 작업 지시를 수행할 수 있는 가상터미널(Virtual terminal)에 대한 구체적인 규격을 제시하고 있다(ISO1178-6, Virtual terminal, 2004.06.15. [4-4]). ISO11783과 호환 가능한 주제어 사용자 인터페이스는 터치 기능이 내장되어 있는 LCD 패널에서 작동하는 방식이며, 사용자에게 도시되는 화면 상에서 계측 요소, 제어 요소 등을 관리 감독할 수 있는 기능을 제공하여야 한다. 다음 그림과 같이 ISO11783 표준 규격과 호환 가능한 가상터미널 환경 상에서 화면구성을 수행하는 사용자 저작도구를 개발하였다. 개발 언튼 C++이며 개발 환경은 Microsoft Visual 10을 이용하였다.



Fig. 4-21 주제어 인터페이스

본 연구를 통하여 개발한 사용자 저작 도구를 이용하여 주제어 사용자 인터페이스 제작이 가능하며 주요한 기능을 살펴보면 다음과 같다. 주메뉴를 이용하여 트랙터, 관리기, 방제기등의 작업기를 선택할 수 있다 그리고 센서요소, 제어로직, 제어요소등을 선택하고, 개념적으로 ISO11783 네트워크를 시각적으로 구성할 수 있다. ISO11783 통신의 주요 요소인 메시지 우선순위를 우상단의 영역을 통하여 확인 할 수 있으며, 우선순위를 변경하고자 할 경우 저작도구를 통하여 변경할 수 있다. 화면상에 나타나는 화면 요소 (계측 요소, 제어 상황)등이 우하단에 실시간으로 도시 되어 ISO11783 호환 가상 화면 내의 사용자 인터페이스를 시각적으로 확인할 수 있다.

터치가 가능한 LCD 스크린을 통해서 정보 전달과 명령을 수행하는 가상터미널에서 사용이 가능한 문자는 ISO Latin 1 과 ISO Latin 9 문자셋(Character set) ([4-4], Page 134,

ISO11783-6)만을 지원하고 있으므로, 영어로 구성된 화면만을 제공하는 한계가 있다. 따라서 본 연구를 통하여 1바이트의 문자만을 규격으로 제시하고 있는 ISO11783 규격 가상 터미널 환경에서 한글 및 2바이트 문자를 지원할 수 있는 방법을 다음과 같이 설계하였다. 다음 그림과 같이 가상 터미널에 도시되는 화면의 각각의 요소들을 정의하는 저작도구(1)와 저작도구에 의해 생성된 문서(2), 그리고 이러한 문서에서 기술한 정의에 따라 화면에 상응하는 그래픽 유저 인터페이스(GUI)를 도시하는 가상터미널로 구성된다.

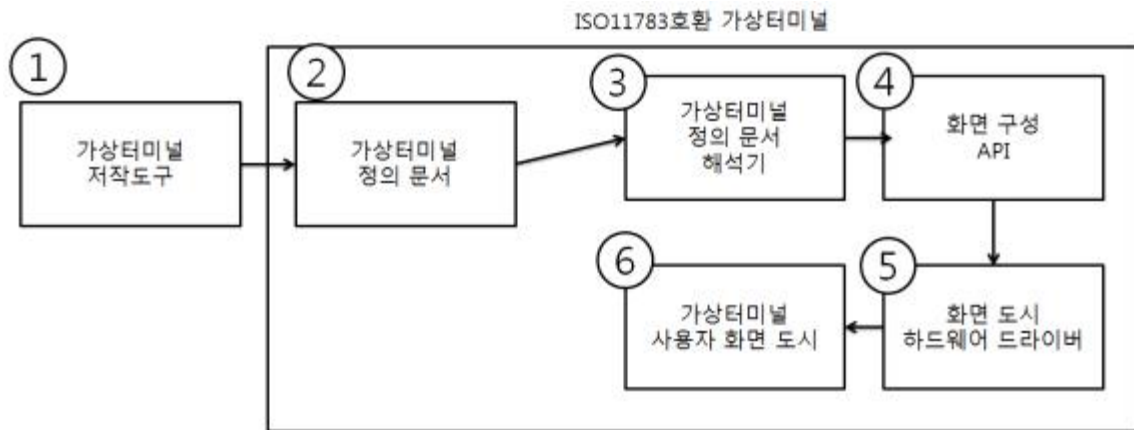


Fig. 4-22 ISO11783 가상 터미널의 화면 도시 과정

ISO11783 호환을 준수하는 일반적인 가상터미널은 내부적으로 가상터미널을 정의한 문서를 해석하는 해석기(3), 해석기를 통해 결정된 화면에 도시해야할 요소(문자, 선, 박스, 타원, 폴리곤 등)에 상응하는 화면 구성 라이브러리(또는 API) (4), 화면 구성 API에 따라 가상 터미널의 디스플레이 하드웨어에 명령을 전달하는 하드웨어 드라이버(5)와 LCD 형태의 사용자 화면(6)으로 구성된다. 이 과정에서 표준 규격(ISO11783)은 화면 요소 중 문자 및 문자열에 대하여 ISO Latin 1 (또는 ISO Latin 9)만을 지원하고 있다. 즉, 한글을 비롯한 2바이트 문자셋을 지원하지 않는 한계가 있다.

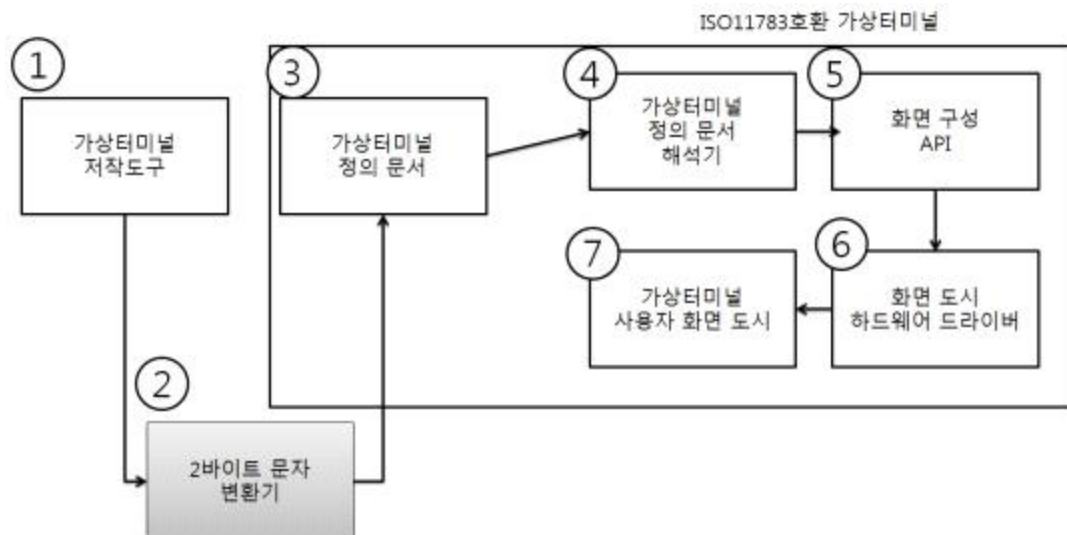
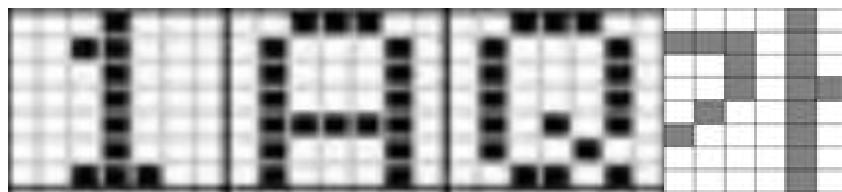


Fig. 4-23 2바이트 문자셋을 도시하기 위한 가상 터미널의 화면 도시 과정 개념도

위의 그림과 같이 가상터미널 저작도구에서 2바이트 문자를 사용할 경우 이를 올바르게 도시하기 위하여 가상 터미널 정의 문서를 생성하는 단계에서 한글 및 2바이트 문자를 도시할 수 있는 형태로 변환하는 과정을 수행하는 “2바이트 문자변환기”를 추가가 가능하다. 해당 표준을 준수함과 동시에 한글 및 2바이트 문자를 올바르게 사용자의 화면상에 표현하기 위하여 표준규격에서 제시하는 화면 요소 또는 객체(Object)를 이용하는 방법을 다음과 같이 설계하였다. 일반적으로 사용자에게 도시되는 화면상에 문자를 도시하는 방법에는 크게 2 두 가지(고정 픽셀 지정 방식, 가변 픽셀 계산 방식)가 있으며 글자의 크기 및 도시하고자 하는 디스플레이의 해상도에 따라 적절한 방식이 결정되어 사용되고 있다. 이중 고정 픽셀 지정 방식은 다음 그림과 같이 일정한 크기 (가로×세로) 구성된 격자 내부를 채워서 문자의 형태로 보이게 하는 방식이다.



<고정 픽셀 지정 방식을 이용한 문자 표현의 일례><“가”의 표현>

Fig. 4-24 고정 픽셀 지정방식

이와 같은 고정 픽셀 지정 방식을 사용하기 위해선 화면에 점(Point)을 도시할 수 있어야 하지만 ISO11783 규격에서는 점을 도시할 수 있는 화면 요소를 지원하지 않는다. ISO11783을 이용하여 도시할 수 있는 화면 요소는 선(Line), 사각형(Rectangle), 타원(Ellipse), 다각형(Polygon)의 4가지에 해당한다(Page 25, ISO11783-6, [4-4]). 따라서 가장 기초적인 화면 요소인 선(Line)을 이용하여 한글 및 2바이트 문자를 도시할 방법을 다음과 같이 제시하였다. ISO11783에서 제시하는 화면 요소인 선(Line)은 다음 표와 같은 화면 요소의 속성값을 지원하고 있다(Page 63, ISO11783-6, [4-4]).

Table 4-5 ISO11783에서 제시하는 선(Line) 화면요소

속성이름	형태	크기(Byte)	범위	위치	설명
식별자	정수	2	0-65534	1-2	
형태	정수	1	=13(Fixed)	3	고정값
선의 속성	정수	2	0-65534	4-5	
폭	정수	2	0-65535	6-7	
높이	정수	2	0-65534	8-9	
방향	정수	1	0 or 1	10	
매크로의 수	정수	1	0-255	11	
(반복) 이벤트 식별자	정수	1	0-255	12, 14, ...	반복
(반복) 매크로 식별자	정수	1	0-255	13, 15, ...	반복

선(Line)의 폭과 높이를 1로 제한할 경우 점(Point)을 도시하는 효과를 얻을 수 있으나,

해당 규격에서 제시하는 표에 따르면 점이 도시되는 가상터미널의 화면인 2차원 평면 내에서 2차원 위치 (X, Y)를 지정할 수 없다. ISO11783 규격에서는 선, 사각형, 다각형 등의 개별화면 요소를 독립적으로 도시하지 않고 개념적으로 상위 개념인 컨테이너 객체(Container object)를 이용하여 다수의 화면 요소들을 그룹핑하여 도시하도록 제안하고 있다(Page 10, ISO11783-6, [4-4]).

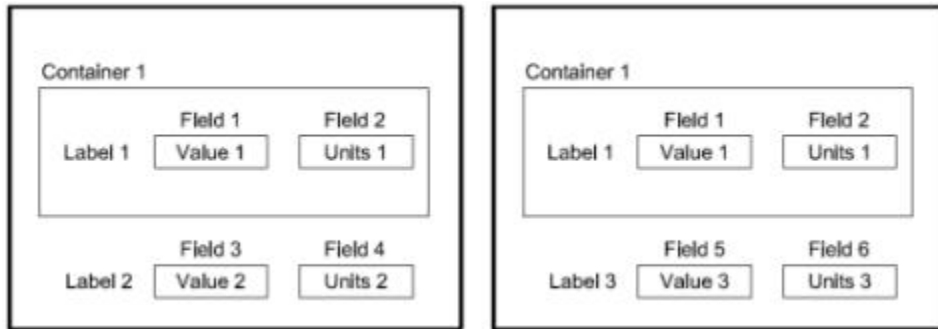


Fig. 4-25. 컨테이너 객체를 이용하여 화면에 표시되는 요소를 그룹핑 한 예시

컨테이너 객체의 속성값을 살펴보면 다음 표와 같다(Page 44, ISO11783-6, [4-4]). 즉 다수의 선(Line) 화면 요소의 시작 지점의 위치(X 좌표, Y좌표)를 상위 요소의 속성을 통해 일괄적으로 제공하고 있음을 알 수 있다. 한편 컨테이너 객체의 위치는 최상위 요소인 작업 그룹 집합(Working set)에서 정의 가능하다.

Table 4-6 컨테이너 객체의 속성값

속성 이름	형태	크기 (Byte)	범위	위치	설명
식별자	정수	2	0-65534	1-2	
형태	정수	1	=3(Fixed)	3	고정값
폭	정수	2	0-65535	4-5	
높이	정수	2	0-65534	6-7	
숨김여부	참/거짓	0 or 1		8	
소속 객체의 수	정수	1	0-255	9	소속 객체의 총 수
매크로의 수	정수	1	0-255	10	
소속 객체의 식별자	정수	2	0-65534	11+ 소속객체수×6	반복
X 위치	부호있는 정수	2	-32767 [∞] 32767	13+ 소속객체수×6	반복
Y 위치	부호있는 정수	2	-32767 [∞] 32767	15+ 소속객체수×6	반복
(반복) 이벤트 식별자	정수	1	0-255	11+ 소속객체수×6, ...	반복
(반복)매크로식별자	정수	1	0-255	12+ 소속객체수×6, ...	반복

앞서 살펴본 표준안을 준수하여 다음 그림의 예시와 같이 “가” 글자를 다음과 같이 표현한다. ISO11783 에서 제시하는 폰트의 최소 크기는 6×8 (Page 84, ISO11783-6, [4-4])이므로 6×8 격자를 가지는 픽셀을 확대하여 다음 그림과 같이 도시 할 수 있다.

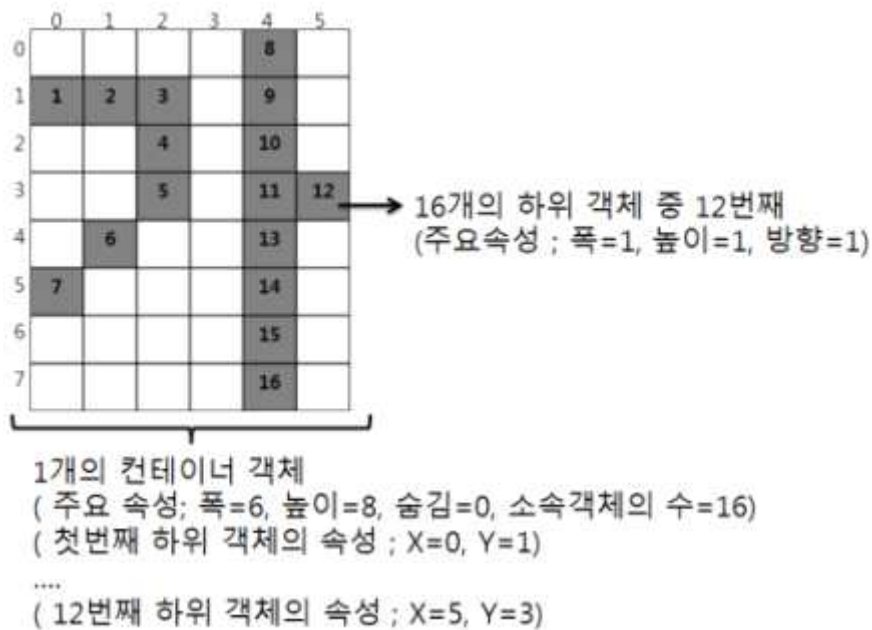


Fig. 4-26 표준안을 준수하여 “가” 글자 표현

이상과 같은 방식은 하나의 컨테이너가 하나의 문자를 도시하기 위하여 하위 객체로 다수의 선(Line)객체의 집합을 포함 시킨 방식이라 할 수 있다. 이와 달리 여러개의 문자를 하나의 컨테이너 안에 포함 시킬 경우 개별 문자내의 점(또는 픽셀)의 좌표값이 문자열 내의 위치에 따른 변경이 필요하여 별도의 계산 과정을 거치므로 상대적으로 효과적이지 못한 방법이라 할 수 있다. 앞선 예제에 대하여 생성한 컨테이너 객체의 바이트 구성과 선(Line) 요소 집합의 바이트 구성을 다음 그림과 같이 기술 가능하다.

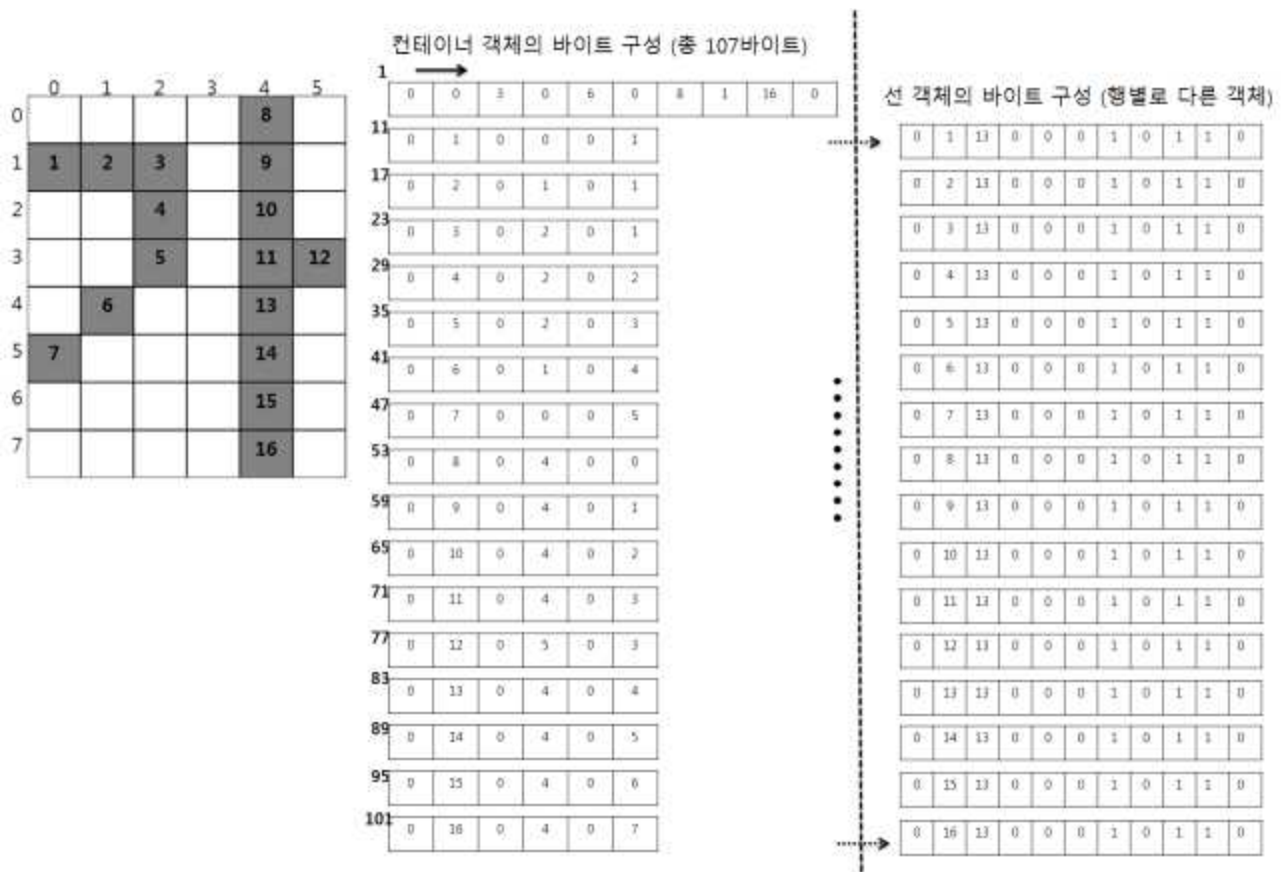


Fig. 4-27 한글 문자 “가”를 표현하기 위한 컨테이너 객체와 16개의 선 객체의 바이트 구성 예제

상기 기술한 내용을 순서대로 살펴보면 다음과 같다. 하나의 문자에 대하여 하나의 컨테이너 객체를 생성하고, 하나의 문자에 상응하는 점의 집합을 컨테이너 객체 안에 추가한다. 그리고 앞선 두번째의 과정에서 점의 위치 값 (X좌표, Y좌표)를 같이 기록하며, 컨테이너 객체 안에 포함된 각각의 점 요소에 대응하는 선(Line) 객체를 생성한다. 또한 선 객체는 외형적으로 점의 형태를 가지므로 폭과 높이 값을 1로 고정시키고, 새로운 문자에 대하여 별도의 새로운 컨테이너 객체를 생성한다.

종합적으로 한글 및 2바이트 문자를 ISO11783 호환 가상터미널에 도시할 수 있는 방법을 다음 그림을 이용하여 설명할 수 있다.

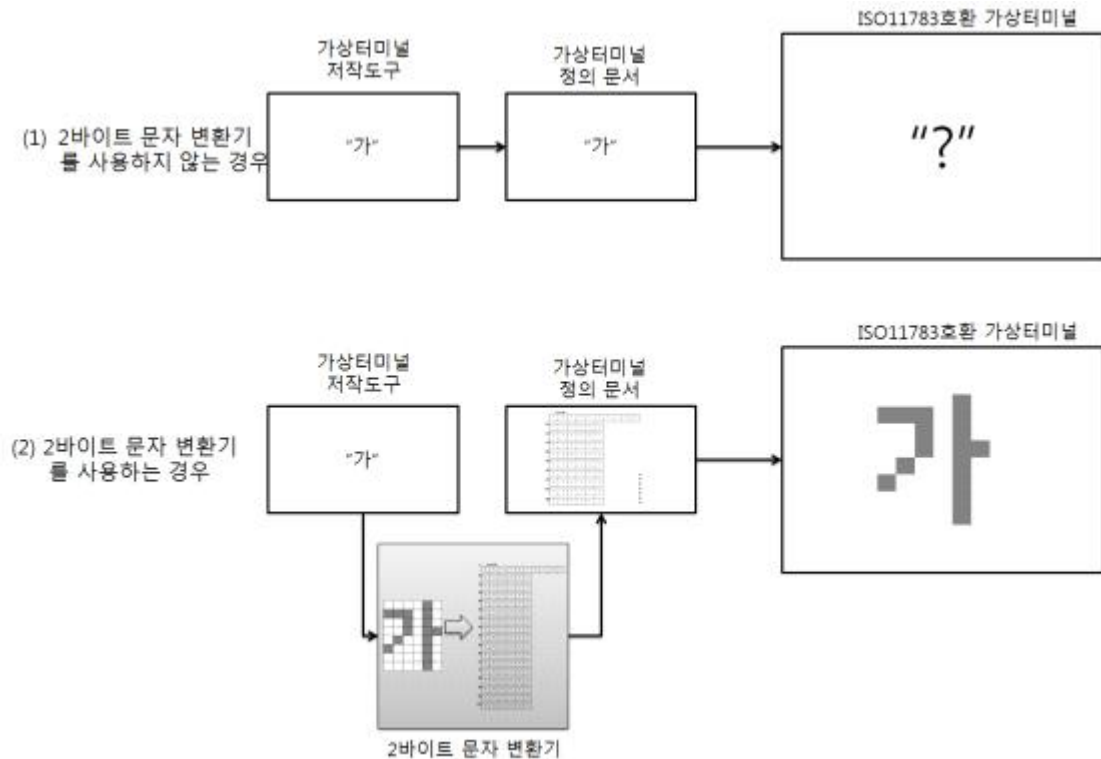


Fig. 4-28 실시간으로 2바이트 문자를 해석하여 GUI에 도시하기 위한 방법

현재의 ISO11783 호환시스템에서는 한글 및 2바이트 문자를 저작도구를 통해 입력한다 하여도 2바이트 문자를 표시할 수 없는 ISO11783호환 가상 터미널에서는 정상적으로 문자를 출력할 수 없다. 그러나 2바이트 문자를 ISO11783 화면요소에 대응하는 요소로 변환한다면, 저작도구에서 입력된 한글 (또는 2바이트 문자)에 상응하는 요소를 표준안에서 제시하는 규격에 따라 가상터미널 정의 문서에 삽입하여 최종적으로 정상적으로 의도된 문자열 표시가 가능하도록 할 수 있다. 이러한 과정을 수행함에 있어서 가상 터미널 저작 도구의 결과물인 가상터미널 정의문서에 대하여 2바이트 문자에 대한 변환 과정을 수행하는 소프트웨어 형태의 변환기가 고려된다. 그러나 소프트웨어 변환기를 사용할 경우 사용자 화면의 변경 요구 시 마다 새롭게 변환기를 구동해야 하는 번거로움이 따를 수 있다.

(1) 소프트웨어 방식 (“가” 문자를 “나” 문자로 수정한 경우)

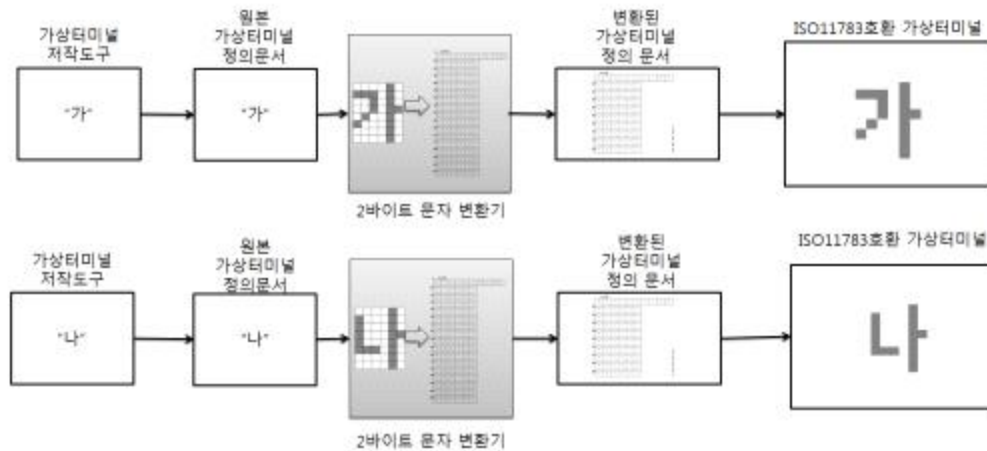


Fig. 4-29 소프트웨어 방식을 이용한 한글의 도시

따라서 2바이트 문자를 표준 규격에서 제시하는 화면의 구성요소로 변환해 주는 기능을 수행해주는 독립적인 하드웨어(ECU; Electronic control unit)를 동시에 고려한다. 이를 이용하여 가상터미널 화면 저작 도구를 이용하여 생성한 가상터미널 정의 문서를 실시간으로 해석하여 수정이 발생할 때 마다 2바이트 문자 변환기를 별도로 구동해야 하는 번거로움을 해결할 수 있다. 표준 규격을 준수하여 이미 출시된 가상 터미널과 올바르게 호환을 이루기 위하여 다음 그림과 같이 가상터미널 정의문서를 실시간으로 해석하여 표준 규격에서 제시하는 규격에 맞도록 가상 터미널 정의 문서를 전달할 수 있는 하드웨어 (ECU)를 설계하였다.

(2) 하드웨어 방식 (“가” 문자를 “나” 문자로 수정한 경우)

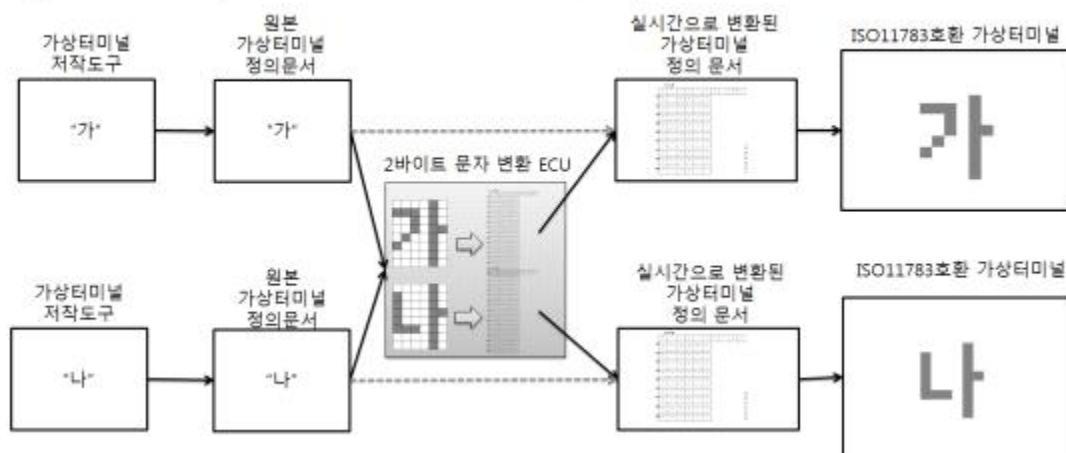


Fig. 4-30 하드웨어 방식을 이용한 한글의 도시

점점 보급이 증가하는 국내 중대형 농기계 시장의 상황 변화에 따른 국내 농업인을 대상으로 한 가상 터미널의 개발에 있어 효과적으로 한글을 도시할 수 있는 방법이 전무한 실

정이다. 또한 각국의 대외 무역 규제 강화 흐름에 대응하기 위한 국제 표준을 준수함과 동시에 일본, 중국, 동남아, 중동 등 2바이트 문자를 사용하는 나라에 보급할 수 있는 2바이트 문자가 도시되는 가상터미널에 대한 수요가 증가할 것이다.

5. ISO11783 제어통신 시스템 시작기 제작 및 성능 실험

가. 시작기 제작 및 요소별 성능 실험

(1) ISO11783 제어 시스템 최적 MCU 선정

ISO11783 제어 시스템의 주제어 시작기는 센서의 입력 신호 해석과, 제어를 위한 출력 신호 생성 및 사용자와 인터페이스를 위한 GUI 등을 제공해야 한다. 따라서, 1 년차 연구 과정에서 개별 ECU를 위하여 선정한 Atmega128(클럭수:16 Mhz)은 주제어 인터페이스를 담당하기에 부족하다.. 최소 80 Mhz 이상의 클럭을 처리할 수 있는 MCU 선정을 위하여 다음 그림의 목록과 같은 산업계 표준에 준하는 ARM-Cortex M3 이상 계열의 CPU에 대하여 적정성을 비교 분석하였다.



Fig. 4-31 ISO11783 주제어 시작기 대상 MCU 목록

조사 항목으로 CPU 의 속도, CAN 통신의 지원 유무 및 추가 통신 기능 지원 여부 등을 다음 표와 같이 조사한 후 초당 250 Kbps의 통신 속도를 처리할 수 있는 시뮬레이션을 이용하여 성능을 평가하였다. 선정 기준은 상업적으로 유통이 가장 활발한 모델과 최고/저 클럭을 보이는 모델을 선정하였다.

다음과 같이 센서 시뮬레이션을 수행하는 ECU (1), 출력 시뮬레이션을 수행하는 ECU (2)와 주제어 시작기 대상 MCU (3)으로 버스를 구성하여 센서 시뮬레이션에서는 250 Kbps로 통신을 수행하며, 출력 시뮬레이션에서는 응답의 결과에 1 ms에서 10 ms의 무작위 선정에 의한 지연 시간을 삽입하여 통신 수행하였다. 또한, 추후 LCD와 인터페이스를 고려하여 주제어 인터페이스의 클럭을 1/2 범위로 제한하여 테스트를 수행하였다.

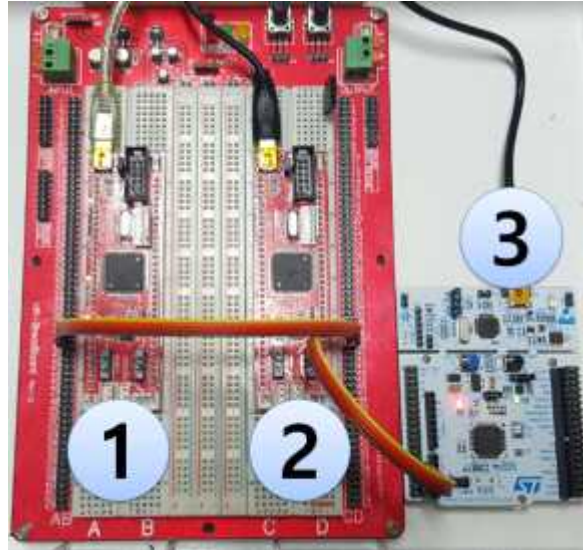


Fig. 4-32 주제어 ECU의 성능 평가 실험 방법

Table 4-7 ISO11783 주제어 시작기 선정을 위한 MCU 비교 평가 결과

MCU 모델	CPU	속도 (Mhz)	CAN 지원	시뮬레이션결과
Seeduino-Arch-Pro	Cortex-M3	96	○	양호
FRDM-K64F	Cortex-M4	120	○	우수
Nucleo-F411RE	Cortex-M4	100	○	통신 지연 발생
Nucleo-F446RE	Cortex-M4	180	○	통신 지연 발생
Renesas GR-PEACH	Cortex-A9	400	비교 불가 (국내 도입 불가)	
WIZwiki-w7500	Cortex-M0	48	○	통신 불가
DISCO-F469	Cortex-M4	180	○	우수
DISCO-F746	Cortex-M4	216	○	우수

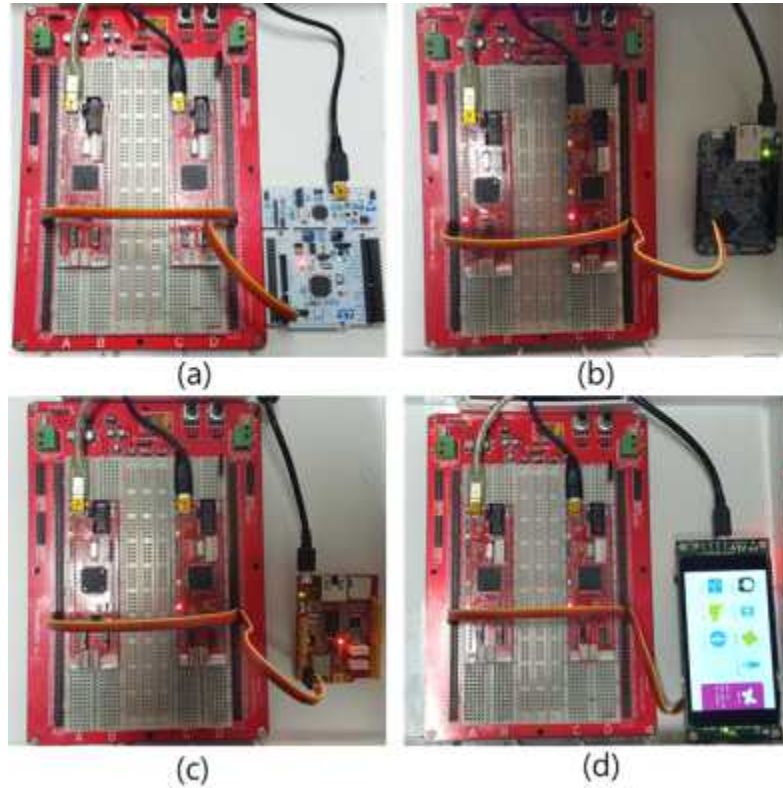


Fig. 4-33 주제어 ECU 모델별 성능 평가화면

대부분의 모델의 CAN 통신을 지원하였으며, 일부 기종의 경우(Nucleo-F411RE, Nucleo-F446RE) 높은 클럭의 성능에도 불구하고 통신 시뮬레이션에서 지연이 발생하는 현상을 보였다. 이는, 통신을 수행하는 과정에서 인터럽트를 사용한 방식이 아닌 시퀀스 방식을 채용하였으며, 다중 쓰레드 지원 여부에 의한 것이라 판단되었다. 결과적으로 시뮬레이션 테스트에서 양호한 결과를 보인 모델 중에서 LCD 인터페이스를 내장하고 있으며, 상대적으로 높은 클럭인 180 Mhz에서 작동하는 DISCO-F469를 ISO11783 주제어 시작기의 개발 환경으로 결정하였다.



Fig. 4-34 선정된 주제어 MCU 및 프로파일 보드(DISCO-F469)

(2) 콩 재배지 정보와 GIS 시스템 연동을 위한 GPS 신호 처리 시스템 제작

선정된 MCU를 이용하여 국제 표준 프로그램 개발 언어인 ANSI C 랭귀지를 이용하여 1차 시작기의 마이크로 컨트롤러에 내장되는 프로그램을 작성 하였으며, 다음 그림과 같이 GPS 모듈과 변량형 작업기의 작업 위치를 보정하기 위한 가속도 센서를 추가하여 1차 시작기를 제작하였다.

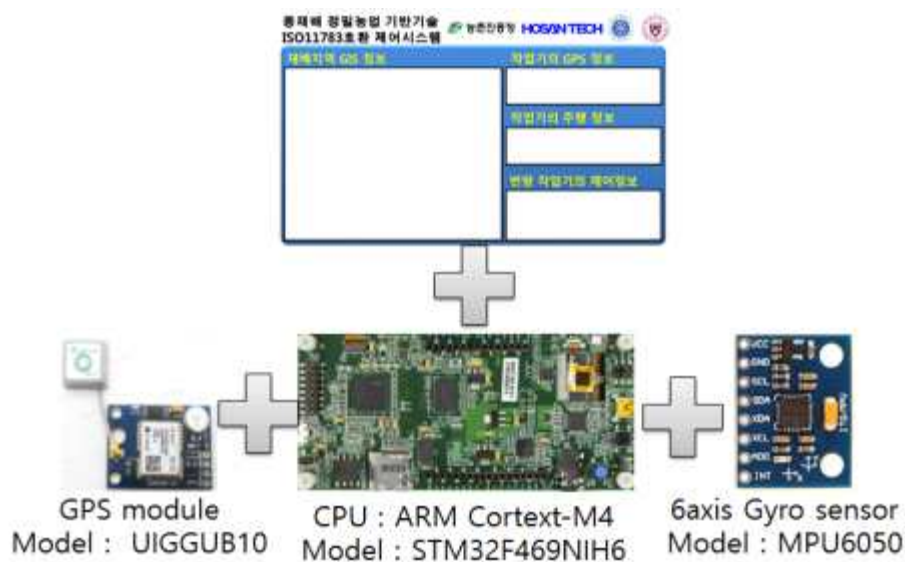


Fig. 4-35 1차 시작기의 사용자 인터페이스 및 외부 인터페이스

GIS 정보를 저장하기 위한 휘발성 메모리 영역과 비휘발성 메모리 영역을 저장하고 관리하기 위하여 메모리 관리 라이브러리를 추가하였다. 그리고 1차 시작기 개발 시 다음 메인 함수에 나열된 바와 같이 MCU의 확장성을 높이기 위하여 EEPROM 라이브러리, LCD 라이브러리, SD카드 라이브러리와 SDRAM 라이브러리, Touch 라이브러리를 추가하여 시작기를 개발하였다..

mainc 함수의 일부분(헤더 영역)	<pre>#include "SDRAM_DISCO_F469NI.h" // 휘발성 메모리 저장 #include "SD_DISCO_F469NI.h" // SD 카드 저장 #include "TS_DISCO_F469NI.h" // 터치 스크린 제어 #include "LCD_DISCO_F469NI.h" // LCD 화면 제어 <이후 생략></pre>
----------------------	--

(3) 쿡 재배포 정보를 도시할 수 있는 사용자 도시용 터미널 제작

다음 그림과 같이 쿡 재배포의 GIS 정보를 화면의 좌측에 도시할 수 있도록 사용자 인터페이스를 구성하였으며, 해당 정보의 크기는 실험적으로 20 Grid x 15 Grid로 설정하였다. GIS 정보 도시에 주로 활용되는 Greenbow 컬러맵을 이용하여 정보의 양적 수준을 10단계로 양자화 하여 도시할 수 있도록 화면 처리 프로그램을 작성하였다



Fig. 4-36 1차 시작기의 사용자 화면과 운영 테스트 화면

1차 시작기 요인 실험 중 발생하는 오류를 보완 하고 센서 입력 신호의 화이트 노이즈 및 Moving average 알고리즘을 통하여 외란을 줄이고자 프로그램을 개선하였으며, 내장 배터리를 활용하여 다음 화면과 같이 2차 시작기를 보완하였다.




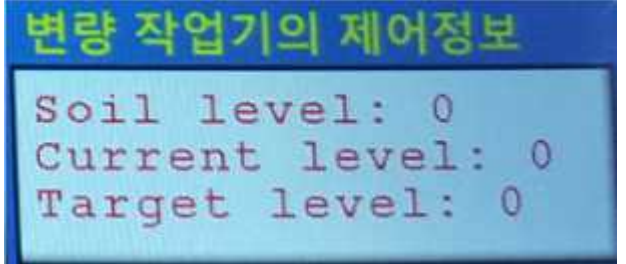

Fig. 4-37 2차 시작기의 사용자 화면과 최종 하우징 결과

(4) GIS정보를 입력인자로 하는 제어시스템 구성

변량 작업기의 GPS 정보를 입력으로 시작기에 내장되어 있는 GIS 정보를 비교 후 토양 정보에 따라 변량 시비기의 제어량을 결정하기 위한 제어 시스템을 구성하였으며, 다음 표에 따른 설명과 같이 순차적으로 정보의 흐름을 설명할 수 있다.

Table 4-8 정보의 흐름에 따른 제어 인자의 설명

제어시스템 인자 및 설명	사용자 화면 예시
<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 입력 인자 : 작업기의 GPS 정보 도시 - 연동 정보 <ul style="list-style-type: none"> : GIS 데이터와 연동되어 해당 좌표에 해당하는 GIS 정보 선택 	
<ul style="list-style-type: none"> - 배치형 입력인자 : 재배지역의 GIS정보 	

<p>(좌표형태 : Local position)</p> <p>- 연동 정보 : 실시간 디지털 통신</p> <p>10단계로 양자화 된 토양 정보를 변량 작업기의 제어기에 전달</p>	 <p>재배지역 GIS 정보</p> <p>GIS Info size: 20 x 15</p> <p>Soil level(06x04)=09</p>
<p>- 실시간 입력인자</p> <p>10단계로 양자화된 토양 정보를 입력으로 제어 수준 결정</p> <p>- 연동정보 : 실시간 출력 인자</p> <p>리니어 모터를 이용한 변량 작업기의 살포량 제어 모듈에 전달</p>	 <p>변량 작업기의 제어정보</p> <p>Soil level: 0</p> <p>Current level: 0</p> <p>Target level: 0</p>
<p>- 실시간 입력인자</p> <p>작업기의 주행 속도 및 지자기 방위각</p> <p>- 연동정보</p> <p>GPS 위치를 보정하기 위한 보조 정보 및 변량 작업기의 균일 살포를 위한 제어량 결정 알고리즘의 입력 인자</p>	 <p>작업기의 주행 정보</p> <p>Speed: 0.39 m/s</p> <p>Dir: -85.66 Deg</p> <p>Temp: 26.53 °C</p>

(5) 원심식 기비 살포장치 제어를 위한 제어 인터페이스 설계 및 제작

3협동 과제에서 수행 중인 원심식 변량 살포 제어 모듈 분석을 통해 리니어 모터의 제어를 통한 시비량 제어 방식 선정하였다. 참여기업의 주행형 관리기의 주요 시스템 분석을 통해 근접 센서에 의한 주행 속도 계측 방식과 변량 제어를 위한 모터 제어를 위해 DC 인버터를 사용한 방식 선정하였다. 그리고 주관 과제의 토양 계측 정보와 2협동 과제의 생육 정보 계측을 통해 GIS 형태로 DB화된 정보를 4협동 과제의 ISO11783 정밀 농업 제어시스템 시작기에 탑재하여 연동 시스템 구축하였다.

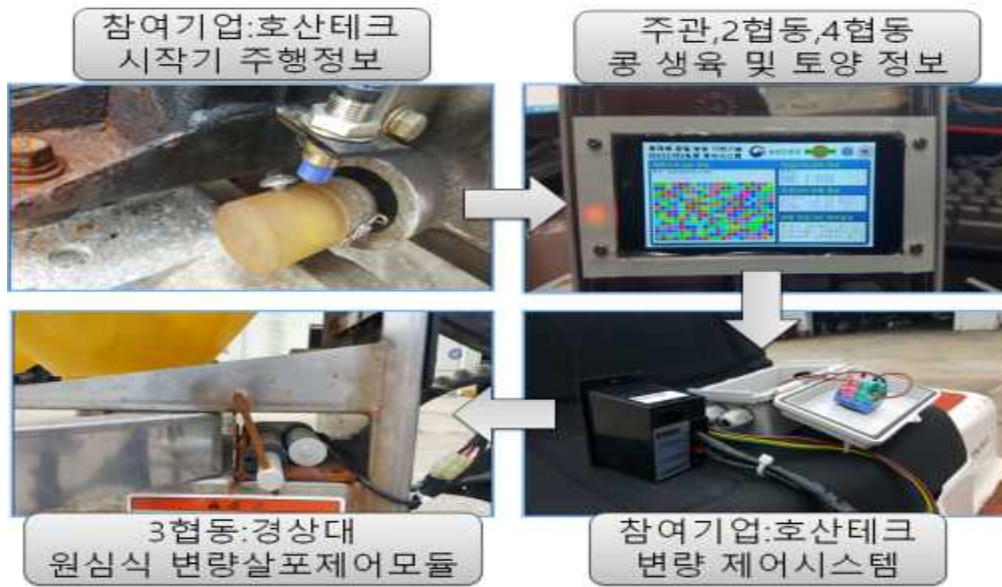


Fig. 4-38 원심식 변량 살포 제어모듈 연동을 위한 시스템 구성도

원심식 기비 살포장치의 스피드를 측정할 수 있는 ECU와 GPS 좌표를 취득하기 위한 ECU, 리니어 모터를 제어하기 위한 모터제어 ECU를 다음 그림과 같이 제작하였다.

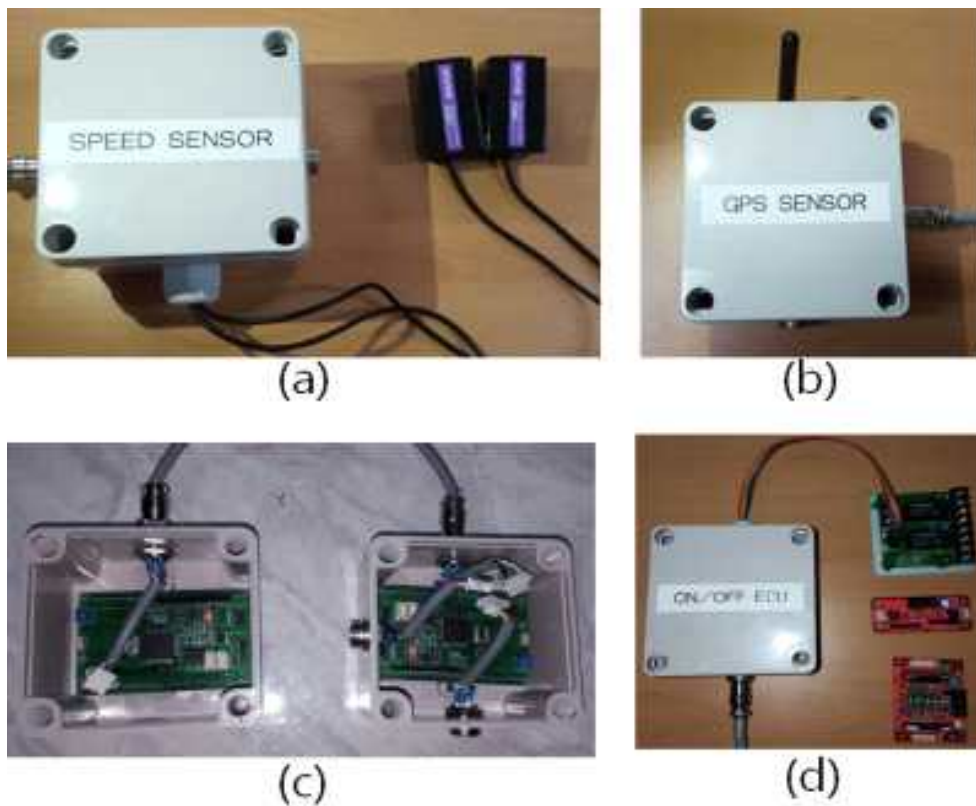


Fig. 4-39 (a) 속도 센서, (b) GPS 센서, (c) 버스 구조 연결 (d) 모터제어(AC, DC, On/Off)

(6) 원심식 기비 살포장치 제어인터페이스의 응답 성능 평가

실외 포장에서 앞서 제어 시스템 연동 성능 평가를 위한 요인 실험을 수행. 터치 스크린 입력을 이용하여 작업기의 좌표를 지정 한 시비 추천량에 따른 리니어 모터의 작동 변위를 조사하여 응답 성능 분석하였다.

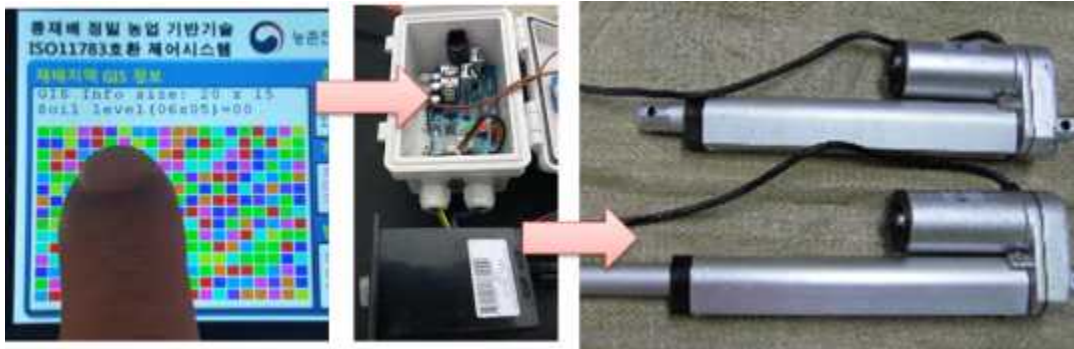


Fig. 4-40 리니어 모터를 활용한 제어 인터페이스 응답성능 실험

시비 추천 변수가 클수록 제어량이 감소하는 방식의 제어 시퀀스에 대한 성능 평가에서 다음 그림과 같이 $r^2 = 0.98$ 의 결정 계수를 나타내고 있다.

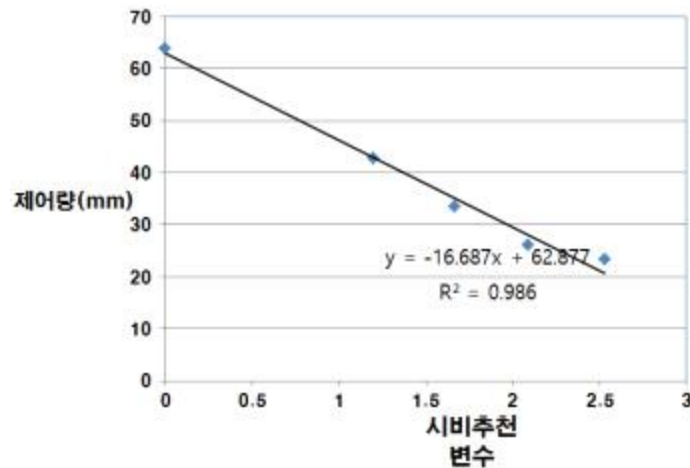


Fig. 4-41 시비추천 변수와 제어량간의 관계

(7) 콩 재배 정밀농업용 ISO11783 제어 통신 시스템 시작기 제작

앞서 기술한 과정을 거쳐 콩 재배 정밀 농업용 11783 제어 통신 시스템 시작기를 다음의 성능 사양을 준수하도록 개발 하였다.

Table 4-9 콩 재배 정밀농업용 ISO11783 제어 통신 시스템 시작 주요 성능 지표

ISO11783 시작기 주요 지표	정량 성능
메인 CPU의 클럭	180 Mhz
프로그램 용량	2048 Kb flash, 384 Kb sram
메모리 용량	16 Mb SDRAM and NOR flash
Virtual terminal resolution	800 x 480
Touch interface	Capacitive touch screen
파일 시스템 지원	Micro SD card upto 64 Gb
GPS 갱신 속도	1 Hz
자이로센서 갱신 속도	10 Hz
가속도센서 갱신 속도	10 Hz
통신 방식	CAN, U(S)ART,SPI,I2C
프로토콜	ISO11783 (CAN 2.0A)

나. 현장 실험을 통한 성능 평가 및 보완 성능 실험

(1) 현장 성능 실험을 위한 콩 재배 현장 조성

현장 성능 실험을 위해 전북 무주군 안성면 공정리 산 23번지의 유기농 채소 재배 이력이 있는 전답 100평을 대상으로 대두와 서리태를 재배 하였다. 기비를 하여 석회 30~70 kg과 퇴비 300 kg, 콩 전용 복비 1 포를 살포 하였다.

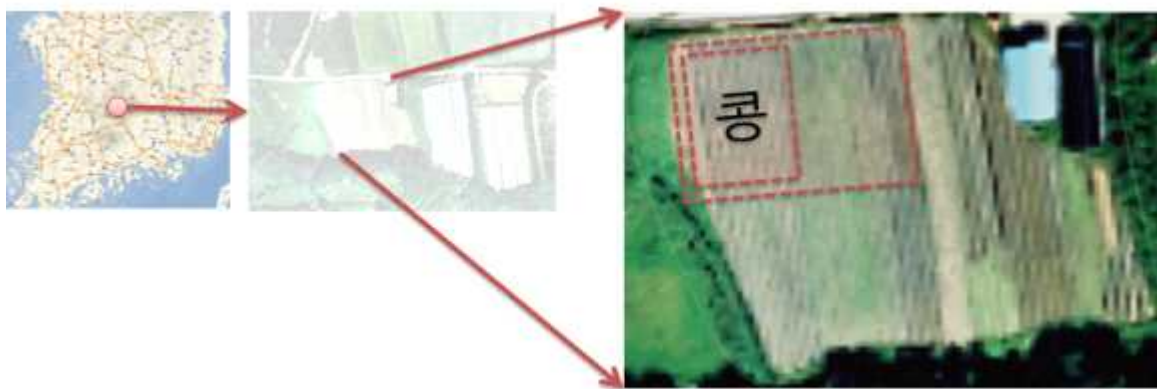


Fig. 4-42 실외 현장 실험 포장지(전북 무주군 안성면 공정리 산 23)



Fig. 4-43 실외 현장 실험 포장지 조성 과정; (a) 기비 살포, (b) 두둑 성형

연구 수행 2년차 중반부에 조성을 시작하였으며, 기비 살포 분포 및 수확량에 대한 정보 분석 완료 후 현장 실험을 수행하였다. 타 협동 과제와 협력을 통한 콩 재배지 정보 조사(1세부)하고, 콩 재배 정밀 농업 제어 시스템 통합을 위한 제4협동 성과물에 ISO11783 기반 사용자 인터페이스 저작 도구 소프트웨어를 모듈 형태로 제공하였다.



Fig. 4-44 ISO11783 대응 가상터미널 사용자 인터페이스 저작 도구

콩 재배 정밀 농업 시스템 구현을 위한 ISO11783 제어시스템 시작기의 제공 제어 시스템 운영 시나리오에 대응 가능한 단독형 및 모듈형 형태로 제공하였다.



Fig. 4-45 독립형 ISO11783 제어기와 모듈 형태로 운영이 가능한 ISO11783 통합 제어시스템 시작기

(2) 통합 시작기 현장 실험을 통한 개별 시스템 운용 성능 분석

통합 시작기 현장 실험을 위한 요소별 정합 및 실험 준비를 하고, 현장 실험을 통한 ISO11783 시작기 개별 시스템 운용 성능분석 수행. 연구 수행 기관 보유의 실험 포장 내에서 기존에 획득한 토양 정보 GIS 정보로 변환하여 예비 실험 수행하였다.

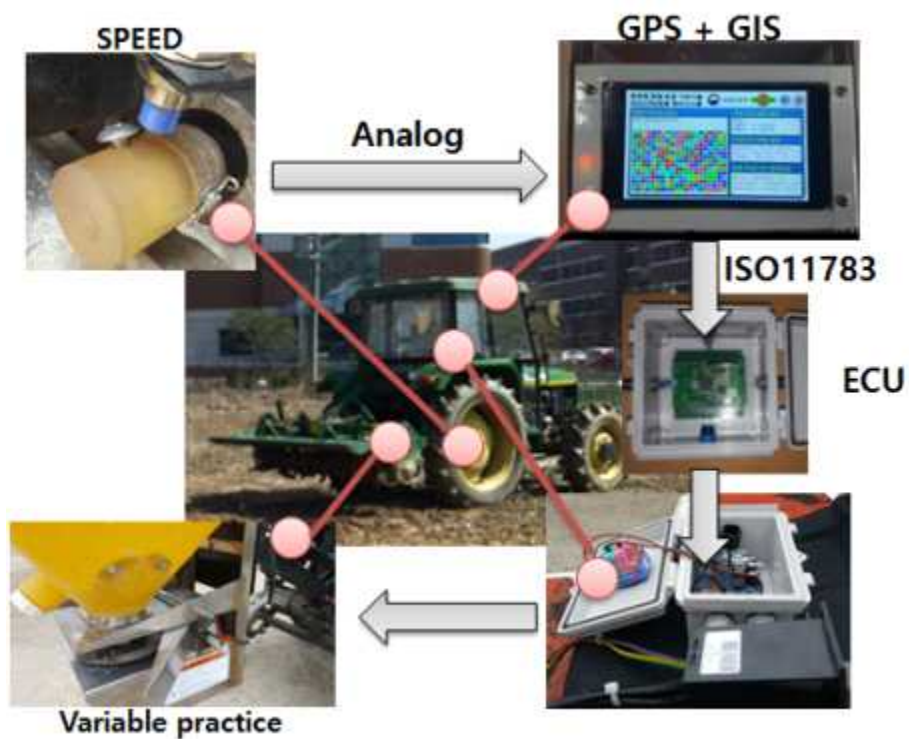


Fig. 4-1-46. 통합 시작기 현장 실험 준비 상황.

사전에 획득한 토양 정보 GIS와 주행형 작업기의 GPS 정보를 비교하여 리니어 모터의 제어량을 결정하는 현장 실험 수행하였다.



Fig. 4-47 ISO11783 시작기 개별 시스템 운용 성능 분석실험

(3) 통합 시작기 성능 평가 및 보완

GPS 신호의 위치 오차 보정을 위한 자이로 및 가속도 센서의 계측 주기 상향 조정 필요하고, 이로 인한 통신 부하 증가에 대응하기 위한 통신 시스템의 선점형 자원 관리에 대한 보완이 필요하다. 그리고 호환성이 높은 CANBUS 2.0A의 경우 표준 통신 속도가 250 Kbps이나 100Hz 이상의 가속도 센서와 자이로 센서에 대응하기 위해선 1.0Mbps의 통신 속도를 규격으로 하는 CANBUS 2.0B로 통신 성능을 향상 시킬 필요가 있다.

Table 4-1-10. 콩 재배 정밀농업용 ISO11783 제어 통신 시스템 시작기의 보완

ISO11783 시작기 주요 지표	정량 성능	보완
메인 CPU의 클럭	180 Mhz	유지
프로그램 용량	2048 Kb flash, 384 Kb sram	유지
메모리 용량	16 Mb SDRAM and NOR flash	유지
가상터미널	800 x 480	유지
Touch interface	Capacitive touch screen	유지
파일 시스템 지원	Micro SD card upto 64 Gb	유지
GPS 갱신 속도	1 Hz (10 Kpbs)	4 Hz (40 Kbps)
자이로 센서 갱신 속도	10 Hz	100 Hz
가속도 센서 갱신 속도	10 Hz	100 Hz
통신 방식	CAN, U(S)ART, SPI, I2C	CAN 2.0B Only
프로토콜	ISO11783 (CAN 2.0A)	ISO11783 (CAN 2.0B)

(4) TRM 단계 상향을 위한 산업화 규격 적용 가능성 검토

본 과제에의 성과물인 ISO11783 제어 시스템 시작기의 TRM 단계는 요소기술 개발 단계에 머물러 있으며, 시제품 단계로 상향을 위한 산업화 규격 적용 방향과 규제와 검정을 통과할 로드맵 수립이 필요하며, 전자파적합 검정(EMC), 소프트웨어 인증(GS 인증), IP67 이상의 코드 준수, ISO11783 응용 제품의 해외 선점 지재권 회피를 통한 시제품 단계로의 산업화 수준 상향을 수행할 수 있다.

제5절 센서기반 변량형 플랫폼 개발

1. 연구수행 내용

밭작물 작업장에 적합한 기계 기구를 설계하고, 기구 작동 속도 등을 고려한 모듈을 구성하였다. 그리고 시비방법 및 작동장치를 구성하였다.

2. 연구결과

가. 밭작물 작업장에 적합한 기계 기구 설계

(1) 수도작 승용이앙기(유휴농기계)를 이용한 밭작물 시비장치 모듈 구성

작업기는 가솔린엔진 및 기계식 TM으로 작업속도는 14m/s(64분/10a)이고, 시비구동은 주행시 후륜차축에 센서를 설치하여 모터 구동 컨트롤을 하였다. 또한 시비살포량은 주행 속도에 따라 실린더의 개폐량 및 체적을 계상하여 정보입력 장치에 저장을 하였다. 시비 작업 폭은 기계기구식 및 전자식으로 조절하였다.

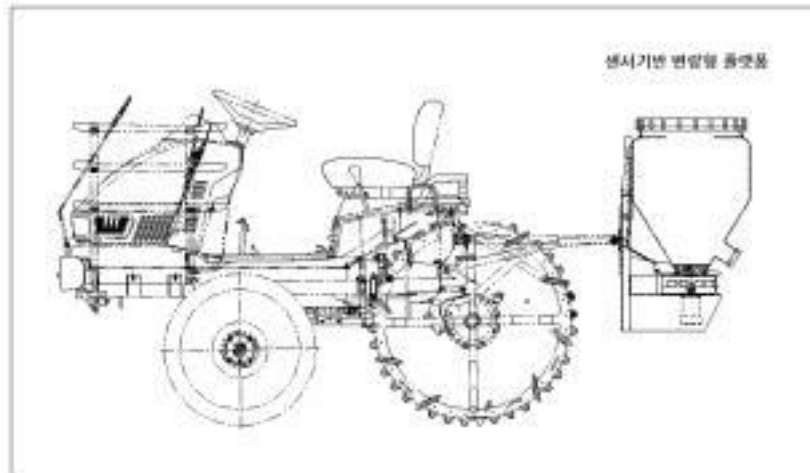


Fig 5-1. 전체 구성도

나. 시비 작동장치 구성

(1) 구성부품 설계

(가) 각 부의 명칭

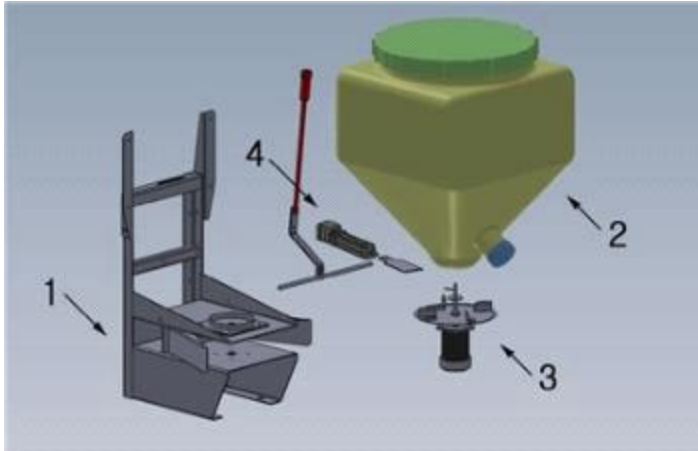
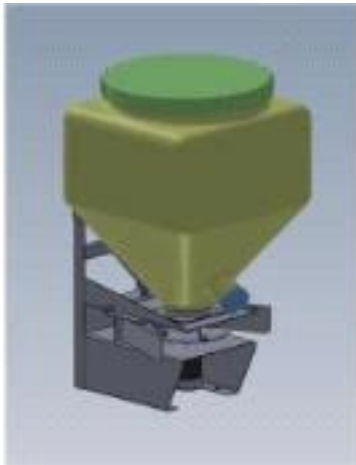


Fig 5-2. 각부 명칭 분해도

- ① 호퍼부 : 비료가 주입이 가능한 용기로 40kg의 비료를 넣을 수 있도록 설계하였다.



- ㉠ 구조 : 몸통과 뚜껑,
압력조절장치
살포량조절장치, 스프레이,
살포폭 조절장치,
프레임으로 구성

- ㉡ 용량 : 40Kg

Fig 5-3. 호퍼부

- ② 비료공급부 : 호퍼부 하단과 연결되어 비료의 공급여부를 결정하며, 솔레노이드에 연결된 배출슬라이드가 개폐동작을 한다.

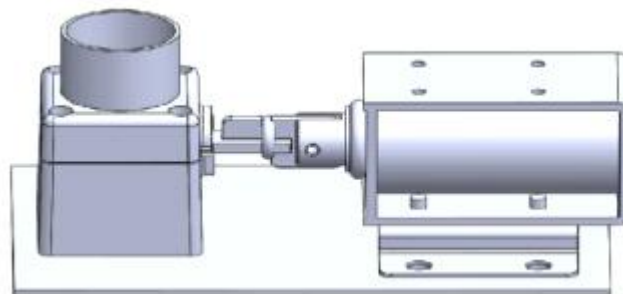


Fig 5-4. 비료공급부 개념도

- ③ 비료살포부 : 비료공급부에서 낙하된 비료가 회전팬의 원심력으로 지면에 살포한다.

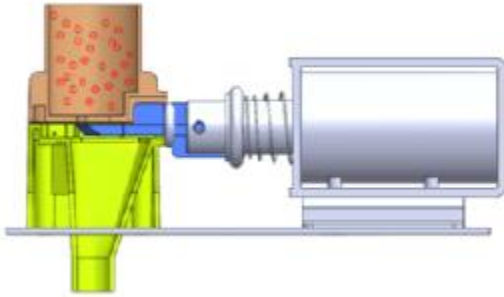


Fig 5-5. 배출 슬라이드 닫힘

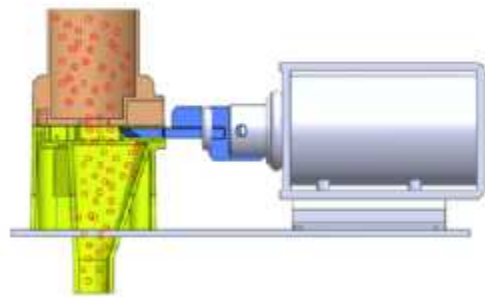
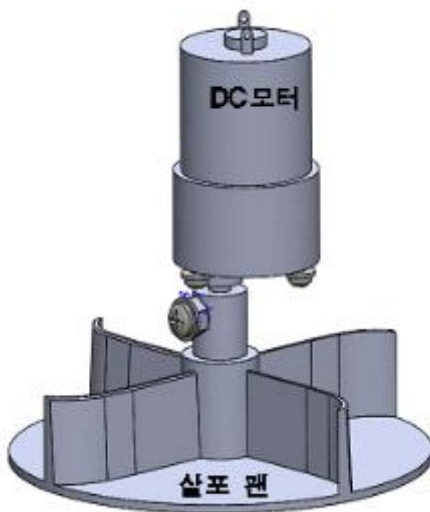


Fig 5-6. 배출 슬라이드 열림

- ㉓ 전동실린더에 연결된 배출슬라이드가 이양기속도에 따라 검출된 신호에 의해 열림량을 조절하여 호퍼부하단 공급부에 적체되어 있던 비료를 낙하할 수 있게 하였다.



- ㉓ 낙하된 비료가 회전하고 있는 팬에 접촉하여 원거리로 살포됨
 ㉓ 팬의 최대회전수 : 1200RPM
 ㉓ 최대살포폭 : 10m
 ㉓ 살포각도 : 70°

Fig 5-7. 회전팬 개념도

④ 총조합



Fig 5-8. 총조합도

- ⑤ 시비방법 : 비료공급부 배출슬라이드의 열림으로 낙하된 비료는 회전하고 있는 팬의

원심력에 의해 부채꼴 모양으로 토양에 살포된다.

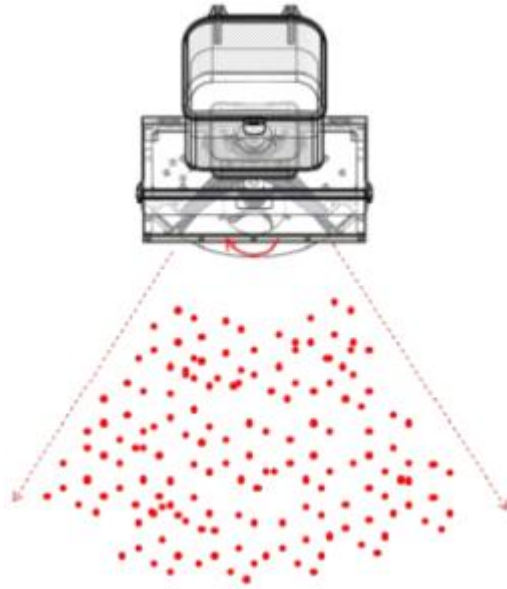


Fig 5-9. 살포형태

다. 기구작동 속도 등을 고려한 모듈 구성

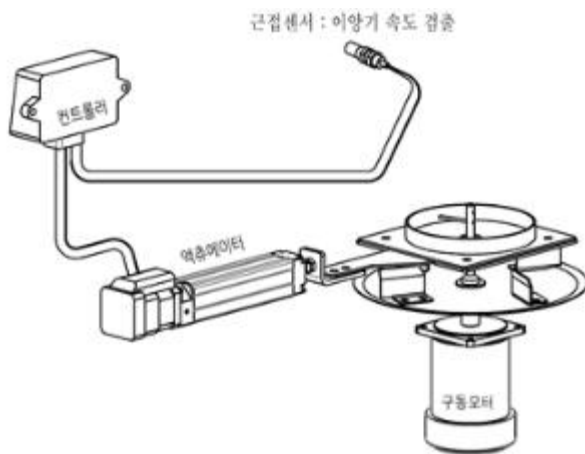


Fig 5-10. 모듈 간략도



Fig 5-11. 근접센서 위치도

이앙기의 속도를 검출, 컨트롤러를 통해 이앙속도에 따른 배출슬라이드의 개폐량이 조절되어 비료의 살포여부 및 양을 조절할 수 있게 설계하였다. 그리고 컨트롤러를 통해 배출슬라이드의 열림 정도를 조절하여 비료의 살포량 조절이 가능하게 설계하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 : 목표대비 달성도

당초 목표	가중치(%)	개발 내용	달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> - 분광분석식 토양 유기물 측정 장치의 시작기 제작 - 분광분석식 토양 유기물 측정 장치 실내 성능평가 	50 50	<ul style="list-style-type: none"> - 토양 유기물 측정 장치의 시작기 제작 - 관입원추, 센서봉, 제어부로 구성 - 분광분석식 토양 유기물 측정 장치 실내 성능평가 - 성능평가를 위한 기지의 전탄소(TOC)를 이용한 성능평가 	100 100
<ul style="list-style-type: none"> - 콩 생육계측 주요인자 및 계측 기술 분석 - 콩 생육 추정모델 설계 및 계측시스템 설계 - 콩 생육 추정모델 개발 및 보정 - 콩 생육 계측시스템 요인 실험 - 콩 생육계측 시스템 시작기 제작 및 성능실험 	30 50 20	<ul style="list-style-type: none"> - 콩 생육계측을 위한 계측인자 선정 및 센서 선정 - 주요 인자별 센서 적합성 평가를 위한 기초실험 - 콩 생육모델 수립을 위한 문헌분석 및 검증실험설계 - 계측시스템의 주요인자 결정 - 콩 생육추정모델 개발을 위한 기초데이터 획득 - 콩 생육추정모델 보정을 위한 요인 실험 - 잡초검출기술 개발 - 계측시스템 시작기 성능평가 - 콩 생육추정 모델을 고려한 계측시스템 평가 - 시작기 요소별 성능실험 - 현장실험을 통한 성능평가 및 보완 	100 100 100
<ul style="list-style-type: none"> - 제어상황 모니터링 프로그램 개발 - 살포량과 시비량에 따른 변이 계수 시물레이션 - CAN-bus에 기초한 원심식 변량 시비 시스템 개발 	40 30 100	<ul style="list-style-type: none"> - 제어상황 모니터링 프로그램 개발 - 살포량과 시비량에 따른 변이 계수 시물레이션 - CAN-bus에 기초한 원심식 변량 시비 시스템 개발 	100 100 100

- 콩 재배 정밀 농업 대응 ISO11783 호환 기술 분석	25	- ISO규격 분석 및 정밀 농업 대응 요소 기술 분석 수행	100
- 콩 생육 계측 및 변량 시비 시스템 연동 프로토콜 설계	25	- GIS 정보를 이용하고 변량 시비를 수행할 수 있는 호환성 있는 연동 프로토콜 분석 및 설계 수행	100
- 콩 재배 정밀 농업 시스템 대응 요소별 ECU 설계	25	- 주제어 인터페이스, 입력 인터페이스, 출력 인터페이스의 호환성 확보를 위한 ECU 설계 및 특허 출원	100
- 콩 재배 정밀 농업 시스템 주제어 사용자 인터페이스 제작	25	- 사용자 대화형 인터페이스 구축을 위한 고속 소프트웨어 개발형 저작 도구 개발 완료	100
- ISO11783 제어통신 시스템 시작기 제작 및 성능 실험	25	- 콩 재배 정밀농업 대응 ISO11783 제어통신 시작기 개발 수행 후 요인/현장 성능 평가 부분 수행	100
- 센서기반 변량형 플랫폼 개발, 기초 연구 및 설계	100	- 수도작 승용이앙기(유휴농기계)를 이용, 발작물에 작업장에 적합한 기계 기구 설계	100
		- 시비 작동장치 구성	100
		- 기구작동 속도 등을 고려한 모듈 구성	100
	100%		100

제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술

1. 논문

- Estimation of Leaf Dry Mass and Nitrogen Content for Soybean using Multi-spectral Camera Mounted on Unmanned Aerial Vehicle
- Improved Plant Image Segmentation Method using Vegetation Indices and Automatic Thresholds
- Development of a variable rate applicator for uniform fertilizer spreading (SCI 논문 리뷰 중)
- 단일 원판식 입제 살포기의 균일시비를 위한 패턴분석
- 균일시비를 위한 입제 비료 살포기의 원판 위 입자 거동 분석

2. 산업재산권 출원

- 국제 표준 농기계 제어규격과 호환을 위한 입력 신호 변환 장치 및 방법
- 1바이트 문자만을 지원하는 국제 표준과 호환하는 가상 터미널 상에서 2바이트문자 표

시 방법 및 장치

- 국제 표준에 화환되지 않는 다수의 제어장치에 각각 적용되는 제어 신호를 생성하기 위한 다중 제어신호 생성장치
- 토양 특성 측정장치
- 호퍼공급부의 회전체를 이용한 개폐장치

3. 영농활용 및 정책제안 기관제출

- 변량시비가 가능한 원판식 입제살포기 농기계 임대사업기종 포함
- 친환경 재배를 위한 변량시비기술 활용
- 콩 생육추정이 가능한 무인기 농기계 임대사업기종 포함
- 무인기를 이용한 콩의 생육 추정 기술
- 토양 유기물 센서 영농활용 방법

4. 학술발표

- Estimation of Nitrogen Concentration Models for Soybean Leaves using UAV System
- 무인항공기 영상을 이용한 콩의 질소량 추정
- 초분광 영상을 이용한 콩의 건물중 추정
- Vegetation segmentation and weed detection methods based on histogram and morphological difference for soybean
- Temporal field monitoring for soybean vegetation using UAV with multispectral camera
- 영상처리를 이용한 콩밭에서의 잡초 검출
- 초분광 영상을 이용한 콩의 생육 추정
- 콩 생육 예측기술 개발을 위한 작물영상분할 및 잡초 분류 알고리즘
- Investigation of effective sonic combination for improving quality of red lettuce depending on vegetation stages
- Changes of the color distribution and vegetation index according to red leaf lettuce's growth
- Spread pattern enhancement with inside vanes for a single disc fertilizer spreader
- Spread pattern analysis of a single disc fertilizer applicator
- 원심식 비료살포기의 균일시비를 위한 패턴분석
- 시비량에 따른 단일 원판식 입제살포기의 회전판 위 비료입자 거동분석
- 균일 시비를 위한 입제 비료 살포기의 원판 위 입자거동
- IoT 기술을 이용한 ISO11783 호환 센서 모듈 설계
- SO11783호환 가상터미널에서 한글 구현 방안 연구
- 농작업 변량 제어를 위한 ISO11783호환 신호 처리 방법 연구

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

본 연구에서 수행한 결과를 통해 품질관리 국제기준(ISO9002), 환경관리 국제기준(ISO14001) 인증이 가능하고, 친환경 정밀농업 실시 농가에 대한 정책적 지원 프로그램들을 실시하여 친환경 농가 인증 및 농업보조에 도움이 될 수 있다. 그리고 토양정보 및 작물의 생육정보 계측 시스템에 의한 실시간 변량시비 시스템 개발이 가능하게 되며, CAN bus (ISO11783) 호환 기술 확보로 생육계측 시스템, 변량시비 시스템 등과 제어통신 시스템 통합을 통해 기술 융복합 기계화·자동화를 기반으로 한 정밀농업 실현으로 생산성 향상 및 고부가가치 산업으로 건인할 수 있을 것이다. 또한 고효율, 저에너지 소모형 농축산 환경 조성으로 환경보존과 식량생산 문제를 해결, 국가 식량 안보 측면에 기여될 것으로 판단된다.

이력추적관리제와의 연계들 통해 농약이나 화학비료 사용에 대한 이력추적관리 뿐만 아니라 전반적인 정밀농업의 효과적인 관리를 위하여 정밀농업관리시스템 구축이 필요하다. 정밀농업 관리시스템은 유비쿼터스 기반의 센서·IT·BT기술을 이용하여 보다 정밀하게 안전농산물의 생산·가공·유통에 대한 이력정보를 수집·분석·제공하고, 농업환경 변화에 대한 감시 장치를 통해 다원적 농업기능의 활성화로 쾌적한 도시 유지와 새로운 농가소득원을 창출하기 위한 시스템이다.

친환경 농가 인증 및 농업보조를 위해 농경지, 농작업, 농자재에 관한 방대한 디지털 자료를 생산하므로, 이러한 정량적인 자료를 친환경 농가 인증 및 농업보조를 위하여 사용 가능할 것이다. 그리고 정밀농업 실시농가에 품질관리 국제기준(ISO9002), 환경관리 국제기준(ISO14001) 인증을 실시 가능하고, 친환경 정밀농업 실시 농가에 대한 정책적 지원 프로그램들을 실시할 수 있다. 또한 각종 자연 자원 보전 프로그램을 통해 토양유실 감소, 물 공급 향상, 수질 향상, 야생동물 서식지 증가, 홍수 등 자연재해 피해 최소화를 추구하고, 자연 자원을 개선하여 농업 생산성과 환경의 질을 유지하면서 경제발전과 여가생활을 할 수 있으며, 자연경관을 지켜나갈 수 있을 것이라고 판단된다.

친환경 재배를 위한 변량시비기술 활용을 위해 새로 개발된 주행속도 및 살포량 변화 감응형 균일 입제 시비기의 이용기술 및 효과에 대한 영농기술 및 영농정보를 농가에 제공함으로써 친환경 농업실현하고, 변량시비기술을 활용하여 처방량의 15% 범위내의 오차로 비료를 살포함으로써 비료의 과다집중으로 인한 토양오염 및 작물의 피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

해당사항 없음

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

해당사항 없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

1) 연구실 안전 관리 계획

(1) 위험인자 분석

- . 화학 분야 : 사용 시약의 특성별 위험요소 확인 및 안전표지 부착
- . 기타 분야 : 전기, 기계, 환기, 폐기물 등 연구실내 위험, 유해인자 확인 및 개선

(2) 안전 교육

- . 자체교육 : 월 1 회 이상 연구실 자체 안전교육 실시(위험물질 취급요령, 보호구 착용 등)
- . 정기교육 : 반기 1회, 학교주관 연구실안전교육 참석(연구과제 참여자 전원)

(3) 안전점검

- . 일일점검 : 매일 연구실책임자 및 연구실종사자가 실시 및 기록
- . 정기점검 : 연구실안전팀에서 년 2회 측정장비 등을 이용하여 연구실내 불안전사항 점검 실시
- . 특별점검 : 연구실 안전사고 발생시 점검을 실시하여 문제점 개선 및 재발방지 계획 수립

(4) 실험실 정밀안전진단 실시

- . 대상 : 유해화학물질을 취급하는 연구실, 유해인자를 취급하는 연구실, 독성가스를 취급하는 연구실
- . 실시 : 2년마다 1회 실시하여 교육과학기술부에 보고

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	논문	Estimation of Leaf Dry Mass and Nitrogen Content for Soybean using Multi-spectral Camera Mounted on Unmanned Aerial Vehicle	경상대		농업생명 과학연구	0.3551	2016.12.31	단독사사	비SCI
2	논문	Improved Plant Image Segmentation Method using Vegetation Indices and Automatic Thresholds	경상대		농업생명 과학연구	0.3551	2015.10.29	단독사사	비SCI
3	논문	단일 원판식 입제 살포기의 균일시비를 위한 패턴분석	경상대	주저 자	농업생명 과학연구	0.3551	2015.10.31	단독사사	비SCI
4	논문	균일시비를 위한 입제 비료 살포기의 원판 위 입자 거동 분석	경상대	주저 자	농업생명 과학연구	0.3551	2016.10.31	단독사사	비SCI
5	논문	Development of	경상대	주저	Internationa	1.007	리뷰중		SCI

		a variable rate applicator for uniform fertilizer spreading		자	l Journal of Agricultural and Biological Engineering				
6	학술 발표	IoT 기술을 이용한 ISO11783 호환 센서 모듈 설계	충북대	교신	대한민국	-	2015.04	단독	
7	학술 발표	ISO11783호환 가상터미널에서 한글 구현 방안 연구	충북대	교신	대한민국	-	2016.05	단독	
8	학술 발표	농작업 변량 제어를 위한 ISO11783호환 신호 처리 방법 연구	충북대	교신	대한민국	-	2016.05	단독	
9	특허	국제 표준 농기계 제어규격과 호환을 위한 입력 신호 변환 장치 및 방법	충북대		한국		2014년 11월		
10	특허	1바이트 문자만을 지원하는 국제 표준과 호환하는 가상 터미널 상에서 2바이트문자 표시 방법 및 장치	충북대		한국		2015년 11월		
11	특허	국제 표준에 호환되지 않는 다수의 제어장치에 각각 적용되는 제어 신호를 생성하기 위한 다중 제어신호 생성장치	충북대		한국		2015년 11월		
12	특허	토양 특성 측정장치	농과원		한국		2015년 11월		
13	특허	호퍼공급부의 회전체를 이용한 개폐장치	호산테크		한국		2016년 06월		
14	영농기술·정보기관제출	센서기반 변량형 정밀시비	호산테크		한국		2016년 11월		
15	정책자료기관제출	변량시비가 가능한 원판식 입제살포기 농기계 임대사업기종 포함	경상대		한국		2016년 11월		
16	영농기술·정보기관제출	친환경 재배를 위한 변량시비기술 활용	경상대		한국		2016년 11월		
17	정책자료기관제출	(정책자료) 콩 생육 추정이 가능한 무인기 농기계 임대사업기종 포함	경상대		한국		2016년 11월		
18	영농기술·정보기관제출	(영농기술정보) 무인기를 이용한 콩의 생육 추정 기술	경상대		한국		2016년 11월		

	출								
19	영농기술·정기보관제출	토양 유기물 센서 영농활용 방법	농과원		한국		2016년 11월		
20	기술이전	트랙터 부착형 바이오매스 작업기의 ISO11783 적용기술	충북대	딘덕	대한민국	-	2016.11	단독	

제 11 장 기타사항

연차	항 목	당초계획	변경사항	근거문서
2년차 (2015)	제1협동과제 6. 연구원 편성 나. 세부·협동·위탁책임자 및 참여 연구원 - 1세부과제 참여연구원		서재민, 강정균 (추가_신규임용)	
3년차 (2016)	제1협동과제 6. 연구원 편성 나. 세부·협동·위탁책임자 및 참여 연구원 - 1세부과제 참여연구원	서재민	서재민(삭제_졸업)	
3년차 (2016)	제1협동과제 6. 연구원 편성 나. 세부·협동·위탁책임자 및 참여 연구원 - 1세부과제 참여연구원		타파스쿠마 (추가_신규임용)	

제 12 장 참고문헌

- 1-1. 정인규, 홍영기, 정선옥, 박종빈. 2008. 변량시비 제어기의 지도해석에 따른 살포량 결정 알고리즘. 한국농업기계학회 학술발표논문집, Vol. 13, No. 1, pp. 416-420
- 2-2. 이충근, 최용, 전현중, 조영목, 이우진, 2008. 콤팩트용 벼 수확량 및 수분측정 시스템, 농업공학연구소 시험연구사업 보고서. pp. 413-417
- 1-3. 정인규, 홍영기, 정선옥, 박종빈. 2008. 변량시비 제어기의 지도해석에 따른 살포량 결정 알고리즘. 한국농업기계학회 2008년도 동계학술대회논문집. Vol. 13, No. 1, pp. 416-420
- 1-4. 정인규, 이충근, 김상철, 성제훈, 박우풍. 2002. 자탈 콤팩트용 수분 센서 개발을 위한 기초연구, 한국농업기계학회 2002년도 하계 학술대회 논문집. Vol. 7, No. 1, pp. 370-375
- 1-5. 홍영기, 신익상, 강동현, 김상철, 이영희, 정호열. 2010. 토양 물리성 센서 개발을 위한 기초연구. 한국농업기계학회 2010년도 동계학술대회논문집. Vol. 15, No. 1, pp. 446-449
- 1-6. 홍영기, 정인규, 김상철, 신익상, 장유섭. 2009. 임피던스를 이용한 토양전기전도도센서 개발-토양수분 영향에 대한 고찰-. 한국농업기계학회 2009년도 동계학술대회 논문집. Vol. 14, No. 1, pp. 515-519

- 1-7. 이규승, 이동훈, 조용진, 정선옥, 박원엽, 노광모, 장영창. 2010. 디지털 원추관입기 개발. 바이오시스템공학, Vol. 53, No. 6, pp. 387-392
- 1-8. 이동훈, 이규승, 정선옥. 2009. 원추 관입형 임피던스 수분센서 개발을 위한 기초 연구. 바이오시스템공학, Vol. 34, No. 6, pp. 434-438
- 1-9. 西村 洋, 林 和信, 堀尾 光廣, 紺屋 秀之, 市川 友彦, 東 邦道. 2003. 可変施肥装置の開発 (第2報) 追肥用可変施肥装置. 日本農業機械學會誌. Vol. 65, No. Supplement, pp. 263-264
- 1-10. 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター農業機械化研究所. 2010. 高精度高速施肥機. 生研センター研究報告會. pp. 57-66
- 1-11. 澁澤 榮. 2007. リモートセンシングデータと精密農業. Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing Vol 45, No. 6, pp.5-7
- 1-12. 小平 正和, 澁澤 榮, 二宮 和則, 加藤 祐子. 2009. Farm Mapping Techniques for Effective Soil Management in Large-Scale Farming. 農業情報研究. Vol 18, No. 3, pp. 110-121
- 1-13. D.L. Corwin, S.M. Lesch, 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 46. pp. 11-43
- 1-14. D.L. Corwin, S.M. Lesch, 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture. Agronomy journal. Vol. 95, No. 3, pp. 455-471
- 2-1. 백인열, 정명근, 강성택, 한원영, 신두철, 김수동, 김순철, 박규환(2002). 콩 자엽 제거가 생육에 미치는 영향. 한국작물학회 학술발표대회 논문집, 227-227
- 2-2. 김충국, 서종호, 조현숙, 김시주, 허일봉(2001). 콩의 생육단계별 야간조명에 따른 생육 및 수량 반응. 한국작물학회지, 46(6), 478-482
- 2-3. 김선림, 정건호, 이재은, 김대욱, 김윤희, 황태영, 이광식, 이병무, 권영업(2012). 고온 등숙에 따른 주요콩 품종의 이소플라본 함량 변이. 한국작물학회 학술발표대회 논문집, 78-78
- 2-4. 최병진, 송범현, 김홍식, 손석용, 김선림(2003). 검정콩의 생장반응 및 Isoflavone 과 Anthocyanin 의 합성, 저장에 대한 유기물 시용효과. 한국작물학회 학술발표대회 논문집, 48(2), 242-243
- 2-5. 최병열, 이은섭, 지정현, 김희동, 김용호(2009). 검정콩 등숙기간중 안토시아닌 함량변화. 한국작물학회 학술발표대회 논문집, 174-174
- 2-6. 이은섭, 김용호(2010). 검정콩 성숙시기에 따른 안토시아닌 함량 변화. 한국작물학회지, 55(1), 19-23
- 2-7. JM Sun, BL Sun, FX Han, SR Yan, Y Hua, K Akio(2011). Rapid HPLC method for determination of 12 isoflavone components in soybean seeds. Agricultural Sciences in China, 10(1), 70-77
- 2-8. 김이현, 홍석영, 이훈열, 이재은(2011). L, C, X-밴드 레이더 산란계 자동측정시스템을 이용한 콩 생육 모니터링. 대한원격탐사학회지, 27(5), 191-201.
- 2-9. 김이현, 홍석영(2011). 레이더 산란계 편파 차이율을 이용한 콩 생육 추정. 한국토양비료학회지, 44(5), 878-886
- 2-10. KJ Lee, KH Row(2004). Comparison of extraction methods for aglycone isoflavones from Korean Soybean. KSBB Journal, 19(6), 421-426
- 2-11. 김용호, 안형균, 이은섭, 김희동(2008). 근적외분광분석기를 이용한 검정콩 안토시아닌의

함량 분석. 한국작물학회지, 53(1), 15-20.

- 2-12 김이현, 홍석영, 이훈열, 이재은, 이경도(2012). 마이크로파 산란계를 이용한 벼, 콩 생육단계 추정. Korean J. Soil Sci. Fert, 45(4), 503-510
- 2-13 이건휘, 백채훈, 최만영, 오영진, 김두호, 나승용(2004). 호남지역 콩 포장에서 톱다리개미허리노린재 (*Riptortus clavatus*) 의 발생소장, 콩 피해 및 억제방제 효과. 한국응용곤충학회지, 43(3), 249-255
- 2-14 Hartigan, J. A., Wong, M. A.(1979). Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics), 28(1), 100-108
- 2-15 Otsu, N. (1975). A threshold selection method from gray-level histograms. Automatica, 11(285-296), 23-27.
- 2-16 Gopinathan, S., & Deepa, P. Enhancement of Image Segmentation using Automatic Histogram Thresholding. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3(4), 1863-1872.
- 3-1. ASAE(2004). Procedure for measuring distribution uniformity and calibrating granular broadcast spreaders. American Society of Agricultural Engineers Standards, S341.3. 198-201, St. Joseph, MI.
- 3-2. Lee CK, Choi Y, Jun HJ, Choi DK, Kim YJ, Lee SK, Moon SD and Han BH(2009). Development of a rapeseed seeder attached to tractors. Journal of Biosystems Engineering. 34: 147-154.
- 3-3. Han CW, Park HJ, Lee SY, Hong YK, Lee DH and Kweon GK(2015). Pattern analysis of a single-disc granule spreader for uniform application of fertilizer. J. Agric. Life sci. 49(5): 321-332.
- 3-4. Kweon G(2006). Analysis and control of rate and uniformity for granular fertilizer application systems. Ph.D. Thesis. University of Illinois, Urbana, Illinois.
- 4-1. ISO. 1998. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 3: Data link layer, International Standard, First edition 1998-07-01.
- 4-2. ISO. 2001. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 5: Network management International Standard, First edition 2001-05-01.
- 4-3. ISO. 2002. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 9: Tractor ECU, First edition 2002-07-01.
- 4-4. ISO. 2004. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 6: Virtual terminal, International Standard, First edition 2004-06-15.
- 4-5. ISO. 2007. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 10: Task controller and management

information system data interchange, Final Draft of International Standard, 2007-03-19.

- 4-6. ISO. 2007. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 13: File server, First edition 2007-05-15.
- 4-7. ISO. 2009. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 12: Diagnostics services, First edition 2009-03-01.
- 4-8. ISO. 2009. ISO 11783(Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network), Part 7: Implement messages application layer, First edition 2009-05-01.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「농업정책지원기술개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「농업정책지원기술개발사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.