

최 중
연구보고서

**포장내 잡초검출장치 및 토양 유기물
실시간 측정센서 개발**

Development of real time operating sensors
to detect weeds and to measure soil
organic content

연구기관 : 전남대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “포장내 잡초검출장치 및 토양 유기물 실시간 측정센서 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003 년 12 월 28 일

주관연구기관명 : 전남대학교

총괄연구책임자 : 서 상 통

연 구 원 : 최 영 수

연 구 원 : 서 규 현

연 구 원 : 황 금 강

연 구 원 : 김 영 태

연 구 원 : 황 성 필

연 구 원 : 박 두 산

협동연구기관명 : 농업기계화연구소

협동연구책임자 : 성 제 훈

요 약 문

I. 제 목

포장내 잡초검출장치 및 토양 유기물 실시간 측정센서 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 필요성

환경친화적인 “저투입 지속적 농업”을 추구하는 정밀농업(precision farming)을 실현하기 위해서는 포장 각 위치의 농산물 생산 잠재력에 대한 정보와 그 위치에서 재배중인 작물의 생육상태 그리고 각 위치에서 수확한 농작물의 양과 품질에 관한 정보를 분석하여 각 위치별 투입할 농작업, 과종량, 비료 및 농약의 정도를 우선 결정해야 한다. 이를 위해서는 포장의 위치별로 다양한 정보를 수집하기 위한 센서나 수집한 정보를 분석하는 기술을 개발하고 이를 종합하여 최적 투입계획을 수립하여 이에 따라 농작업을 수행하는 농업기계 기술을 개발하는 것은 정밀농업의 단계적 구현 과정이다. 따라서 정밀농업 분야에서 포장 정보수집을 위한 센서의 개발은 정밀농업의 실현을 위해 정밀농업의 다른 기술 개발에 앞서 우선적으로 개발해야 할 과제이다.

2. 목적

본 연구는, 정밀농업 실현과정 중 포장정보 수집을 위한 센서 개발에 관한 내용으로서, “논 잡초 검출용 장치”와 포장내 위치별 차이를 실시간으로 측정하는 “토양 유기물 측정센서”를 개발하는 목표로 추진한 연구이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 장치 구성의 기본 방향 결정

- 잡초 검출방법과 주요 광 파장 결정
- 토양 유기물 함량에 민감한 광 파장 결정 및 상관관계 구명

2. 실시간 포장 정보수집 장치 제작 및 알고리즘 개발

- 기계시각을 이용한 잡초 검출 장치 구성과 알고리즘 개발
- 실시간 토양 유기물 함량 측정 센서 설계 제작 및 관련 알고리즘 개발

3. 개발장치 현장 성능실험 및 문제점 보완

- 논 잡초 검출장치의 현장실험과 보완
- 토양 유기물 함량 측정장치의 현장실험과 보완

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

가. 논 잡초 검출 장치 : 개발한 논 잡초 검출 장치를 제초제 살포기에 적용하기에는 약간 미흡한 수준이지만 현 단계에서도 실질적인 제초 효과와 살포하는 약제의 감소 효과는 상당할 것으로 판단되었다. 개발한 장치를 제초제 살포기에 사용할 경우 사용 가능한 기계의 작업폭은 90 cm인 3 조식이고 최고 주행속도는 2.0 ~ 2.4 km/hr로서 이론 작업능률은 18 ~ 22 a/hr로 분석되었다.

나. 토양 유기물 함량 측정 센서 : 개발한 장치는 토양 수분에 의해 유기물 함량이 1 % 정도 달라질 수 있는 오차 범위를 안고 토양 수분에 무관하게 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 표시할 수 있는 장치로서 토양유기물 함량을 5 단계로 구분하였을 경우 81%의 정확도, 3 단계로 구분한 경우 91%의 정확도를 나타내며, 이러한 정확도는 수도작 정밀농업 변량 시비에 충분히 이용할 수 있는 수준으로 판단되었다.

2. 연구성과 활용 계획

가. 논 잡초 검출 장치 : 논 잡초 검출에 적용 가능한 기술을 개발한 것으로서 이를 향후 개발할 변량형 제초제 살포기에 연결하고 이들을 실제로 벼농사에 적용하는 실증실험을 거쳐 제반 문제점을 찾고 그 해결책을 모색하는 실용화 연구를 거친 다음 산업화하도록 할 계획임

나. 토양 유기물 함량 측정 센서 : 개발 기술은 실제로 실용화 연구 과정을 마친 것으로서 현재 관련 기술을 산업체에 이전하려고 적당한 업체를 모색 중이며, 이는 현재 개발 중인 변량형 시비기와 연계하여 시비작업을 정밀농업 방식으로 수행하는데 있어 필수장비로 사용하도록 할 계획임

SUMMARY

I. Subjective

Development of real time operating sensors to detect weeds and to measure soil organic content

II. Background and Objectives of the Study

1. Background

Precision agriculture is a very effective tool to achieve the LISA (least input and sustainable agriculture). To realize the precision agriculture, site-specific informations, like potentials of productivity, growing conditions of plant, and quantity and quality of annual products, are needed to decide amount of various inputs to each site. However, collection of the site-specific informations is very labor and cost intensive. Hence development of technology on various automatized real time operating sensors to collect the informations is necessary. This study is aimed to develop sensors to collect informations for weed control and application of fertilizers.

2. Objectives

This study was carried out to develop sensors to detect weeds in paddy field and to measure organic content of soil those are necessary to develop machinery for precision (site-specific) farming.

III. Scope and Contents of the Study

1. Determination of Technical Approach Methods

- Determination of a method to detect weeds and selection of sensitive wavelengths of light

- Selection of sensitive wavelengths to measure organic content of soil and examination of relationship between soil organic content and reflectance of light of the sensitive wavelengths

2. Design and Construction of the Sensors - both H/W and S/W

- Selection of H/W and development of algorithms to detect weeds using machine vision

- Construction of H/W and development of algorithms to measure soil organic content

3. Carry out Test of Performance in the Field

- Carry out test of performance of the sensors in the field and correction of H/W and S/W needed

IV. Results of the Study

1. Development of a weed sensor in paddy field : A machine vision system consisted of an optical band-pass filter equipped monochrome CCD camera and a frame grabber installed on a personal computer was selected for the purpose. Three optical filters of different wavelength were tested before developing algorithms for the system. An algorithm for the vision system was developed using image processing procedures and pattern recognition techniques.

The sensor proved that it had a good potential to save a considerable amount of herbicide when it is used as a weed detector even though it could not detect all weeds in paddy field and made mistakes to treat rice plant as weed. Working width, speed and field capacity of the sensor were estimated as 90 cm (3 row), 2.0 ~ 2.4 km/hr and 18 ~ 22 a/hr, respectively.

2. Development of a sensor to measure soil organic content : An electro-optical system consisted of a light source, five optical band-pass filters and a electro-optical detector was developed and installed on a shank of tractor attachment. The sensor was proved as having 1% tolerance of organic content due to soil moisture content. Algorithms for application of the system with GPS data and for classification of soil site-specifically into 5 or 3 grades according to organic content were developed.

The system was tried in the field to test its performance, and resulted accuracies of soil classification as 81% and 91% in 5 and 3 grading systems, respectively, which are good enough to use it as a sensor for variable application of fertilizer.

CONTENTS

Chapter 1	General Scope of the Study	10
1.	Background	
2.	Objectives	
Chapter 2	State of the Arts	13
1.	Foreign Researches	
2.	Document Research Trend and Related Technology	
Chapter 3	Development of the Sensors	17
1.	Development of Weed sensor in Paddy Field	17
1.1	Direction of the Development	
1.1.1	Weed Control in Rice Farming	
1.1.2	Paper Review	
1.1.3	Direction of Development	
1.2	Direction of the Development	23
1.2.1	Objectives of the Study	
1.2.2	Materials and Methods	
1.2.3	Results and Discussion	
1.2.4	Conclusions	
1.3	Minimization of Solar Radiation Effects	48
1.3.1	Materials and Methods	
1.3.2	Results and Discussion	
1.3.3	Conclusions	
1.4	Development of Weed Detection System using Machine Vision	60
1.4.1	Materials and Methods	
1.4.2	Development of Algorithm to Detect Weeds	
1.4.3	Results and Discussion	
1.4.4	Conclusions	
2.	Development of Sensor to Measure Soil Organic Contents	88
2.1	Outline of the Development	88
2.1.1	Objectives	
2.1.2	Scope of the Development	

2.2 Methods and Results	88
2.2.1 Materials and Methods	
2.2.2 Results and Discussion	
2.2.3 Conclusions	
Chapter 4 Achievements and Contributions	113
Chapter 5 Scheme to Utilize Research Results	115
Chapter 6 Accquired Foreign Scientific and Technical Infomations	116
References	119

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	10
제1절 연구개발의 필요성	
제2절 연구의 목표와 추진	
제 2 장 국내외 기술개발 현황	17
제1절 국외 연구동향	
제2절 국내 연구동향 및 기술현황	
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	17
제1절 논 잡초 검출장치 개발	17
1. 연구개발 방향 결정	
가. 관행 제조작업	
나. 국내외 관련 연구 분석	
다. 연구 방향 결정	
2 주요 광 파장 결정	23
가. 연구 목적	
나. 재료 및 방법	
다. 결과 및 고찰	
라. 결론	
3 태양광 영향 최소화 방법 결정	48
가. 재료 및 방법	
나. 결과 및 고찰	
다. 결론	
4 기계시각 이용 잡초 검출장치 개발	60
가. 재료 및 방법	
나. 잡초검출 소프트웨어 개발	
다. 결과 및 고찰	
라. 결론	
제2절 토양 유기물 실시간 측정센서 개발	88
1. 연구 개발의 개요	88
가. 연구 개발의 목적	
나. 연구 개발의 범위	

2 연구 내용 및 결과	88
가. 재료 및 방법	
나. 결과 및 고찰	
다. 결론	
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	113
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	115
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	116
제 7 장 참고문헌	119

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

모든 농경지는 포장별 또는 포장내 위치별 토양의 이화학적 성질, 비옥도, 균평 정도, 물의 흐름, 병해충 저항성 등이 각기 다른 특성을 갖고 있으며 이에 따라 생산된 농산물은 질과 양에서 다른 특질을 갖게 된다. 즉 포장의 각 위치별 농작물 생산 잠재력은 상이하나 지금까지의 농업기술은 이 포장 각 위치별 이러한 변수의 차이를 고려하지 못하고 일정 영역 포장에는 획일적으로 일정한 양의 관개수나 화학제를 공급하여 농자재를 과다 투입하고 있고 그에 따라 농용 화학제에 의한 환경오염이 심화되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방안이 정밀농업(precision farming) 또는 처방농업(prescription farming)으로서 이는 최적 농작업을 위해 포장의 각 위치별 특성을 파악하고 그 특성에 맞게 처리(site-specific)함으로써 경제적으로 최소 투자에 의해 최대 수익을 얻을 뿐만 아니라 최소의 환경 오염 효과를 얻고자 하고 있다. 이러한 정밀농업에 관한 연구는 10여년 전 미국에서 시작되어 현재 전세계적으로 활발히 진행되고 있으나 우리나라는 이제 시작단계로 아직 기초기술과 연구체계가 확립되어 있지 않은 실정이다.

정밀농업을 실현하기 위해서는 포장 각 위치의 농산물 생산 잠재력에 대한 정보와 그 위치에서 재배중인 작물의 생육상태 그리고 각 위치에서 수확한 농작물의 양과 품질에 관한 정보를 분석하여 각 위치별 투입할 농작업, 과종량, 비료 및 농약의 정도를 우선 결정해야 한다. 이를 위해서는 포장의 위치별로 전술한 다양한 정보를 수집하기 위한 센서나 수집한 정보를 분석하는 기술을 개발하고 이를 종합하여 최적 투입계획을 수립하여 이에 따라 농작업을 수행하는 농업기계 기술을 개발하는 것은 정밀농업의 단계적 구현 과정이다. 따라서 정밀농업 분야에서 포장 정보수집을 위한 센서의 개발은 정밀농업의 실현을 위해 정밀농업의 다른 기술 개발에 앞서 우선적으로 개발해야 할 과제이다.

정밀농업이 실현되면 경작지의 제반 정보를 체계적으로 수집 관리하고 이를 이용하여 누구든지 객관적이고 합리적인 농자재 투입 계획의 수립이 가능해져 전문 농업인이 아니더라도 최적의 농사를 수행하게 되어 궁극적으로 농사를 효율적으로 지을 수 있게 될 것으로 예상된다.

2. 경제·산업적 측면

정밀농업 기술은 포장의 각 위치에 대한 정보를 수집하여 각 위치별로 최적 관리하여 투입되는 비용을 절감하기 위한 기술이다. 즉 경운작업에서 수확작업

에 이르기까지 체계적이고 조직적인 에너지 및 자원투입이 가능해져 궁극적으로 경제성을 제고할 수 있다. 반면 농자재의 비합리적 과다 사용은 생산비용을 증가시킬 뿐만 아니라 토양을 오염시켜 후기 작물에 피해를 줌으로서 생산량을 저하시키고 수자원을 오염시켜 막대한 2차적 경제적 손실을 야기하는데, 정밀농업을 실현하여 각 위치에 최적의 농자재를 투입함으로써 농민의 경제적 손실을 줄이고 안전한 농산물을 생산하며 토양과 물의 건전한 환경을 유지할 수 있는 토대를 마련할 수 있다.

우리나라의 쌀 생산비가 미국이나 동남아시아 쌀 생산국의 수배임은 주지하는 바인데 미국 등 농업선진국은 정밀농업의 실현으로 생산비를 더욱 낮출 수 있을 것으로 예상되고 있어 향후 생산비 격차는 더욱 커질 것으로 예상된다. 이러한 문제점을 극복하는 방법은 국내에서도 정밀농업을 실현하여 국제적 쌀 생산비 격차의 확대 현상을 방지하여야 할 것이다.

제2절 연구의 목표와 추진

정밀농업의 기본 개념은 포장내 위치별 작물 생산능력과 작물 생육상태에 차이가 있음을 인정하고, 각 위치에 대하여 적당한 시기에 적당한 처리를 수행함으로써 농자재의 투입을 줄이고 농자재의 과다 투입으로 인한 환경오염을 줄이는 것이다.

정밀농업에 관한 기술은 크게 3 과정으로 구분할 수 있다. 첫째는 토양과 작물의 특성(포장 정보) 또는 수확량을 검출하고 수집한 후 분석하는 **포장정보 검출과 분석과정**이고, 두 번째 과정은 이러한 각 위치별 포장정보와 각 위치의 과거 병충해 이력 및 수확량 등의 제반 정보를 종합하여 그 장소가 필요로 하는 농자재 및 작업량을 결정하는 **농작업 의사결정 과정**이며, 마지막 세 번째 과정은 두 번째 과정에서 결정한 농작업량을 정확한 위치에서 정확히 작업하는 **변량(variable rate) 작업과정**이다. 포장내 위치별 특성에 따라 처리해주는 농작업은 시비나 방제 등과 같이 작물 생육 중에 수행해야 할 처리와 토양 중화와 같이 포장에 작물이 없을 때 수행해야 할 작업으로 나눌 수 있다. 이러한 작업의 종류와 작업시기가 결정이 되면 정확한 위치를 파악하여 필요한 양만큼 처리 해 주는 것이 정밀농업이다.

본 연구는 이상 설명한 정밀농업의 세 과정 중 첫째 과정인 포장정보 검출과 분석과정에 관한 내용으로서 수도작용 논과 재배 중인 벼를 대상으로 하여 실시간(real time)으로 관련 정보를 검출할 수 있는 장치(하드웨어와 소프트웨어

어)를 개발하는데 그 근본 목적이 있다.

포장에 관한 정보는 포장의 작물 생산능력과 재배 중인 작물의 제반생육상태에 관한 정보로 구분할 수 있다. 포장의 작물 생산능력에 관한 변수는 토양의 유기물 함량, pH 수준, EC, 질산태 질소, 함수율 등이 있고, 작물의 제반생육상태에 관한 변수는 엽록소 함량 또는 엽색, 무성도, 잡초 발생, 작물의 영양상태, 병충해 발생 여부 등이 있다. 이상의 변수 중 본 연구의 연구 대상 변수는 논의 잡초 발생 여부 그리고 포장의 작물 생산능력에 관한 변수 중 토양의 유기물 함량을 선택하였다. 정밀농업을 위한 센서는 그림과 같이 트랙터 등 포장 내에서 주행하며 작업하는 농용 차량에 장착하여 실시간(real time)의 연속적 자료 수집(continuous data acquisition)이 가능한 비접촉형(non-contact type)인 광학적(optical) 센서가 바람직하다.

본 연구는 이상 설명한 바와 같이 정밀농업형 수도작 농작업 의사결정에 필요한 포장정보를 얻고자 기계시각과 분광분석방법을 응용하여 실시간 비접촉형의 **논 잡초 검출장치와 논 토양 유기물 함량 측정용 장치**를 개발하는 목표를 갖고 다음과 같은 추진 방법으로 수행하였다.

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2001)	정보수집을 위한 장치 구성의 기본 방향 결정	1. 잡초 검출방법과 주요 광 파장 결정 2. 토양 유기물 함량에 민감한 광 파장 결정 및 상관관계 구명 - 토양 유기물 함량별 분광분석실험
2차년도 (2002)	실시간 포장 정보수집 장치 제작 및 알고리즘 개발	1. 잡초 검출 장치 구성과 알고리즘 개발 - 기계시각을 이용한 검출 방법 개발 2. 실시간 토양 유기물 함량 측정 센서 설계 제작 및 관련 알고리즘 개발 - 1차 시작기 제작 및 예비 실험
3차년도 (2003)	개발장치 현장 성능실험 및 문제점 보완	1. 잡초 검출 장치의 현장실험과 보완 - 현장실험, 성능 분석 및 보완 2. 토양 유기물 함량 현장실험과 보완 - 현장 실험, 성능 분석 및 보완

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국외 연구동향

1. 미국

접촉식의 토양함수율 및 경도측정센서, 곡물수확량 및 함수율 센서 등 포장정보를 검출할 수 있는 일부장치가 시판되고 있으며(Microtrack Inc.), GPS 및 GIS 기능과 결합하여 위치 및 시간정보의 좌표축에 기초적인 포장정보를 표시한 지도형태의 소프트웨어가 일부 농가에서 이용되고 있다.

포장내 잡초를 감지하여 필요한 위치에만 농약을 살포하고자 분광분석기법을 이용한 밭 작물용 잡초감지 센서가 개발 중(Wang Ning, et al; 1999, Criner, B. R.; 1998, Fan, G., et al.; 1998)이나 아직 기초 연구 단계이고, 포장의 토양정보를 검출할 수 있는 토양 함수율 및 경도 측정센서, 곡물수확량 및 함수율 센서 등이 시판되고 있으며 다른 센서도 계속 개발되고 있다. 또한 실시간으로 토양의 pH를 측정하는 장치를 개발하여 이를 지도화(mapping)하는 연구가 수행되었으나 응답성능의 불완전성으로 아직 실용화에 문제(Sudduth, Kenneth A; 1989)가 있다.

친환경 농업을 위해 토양 영양상태 지도를 작성하는 연구가 활발하게 진행 중이며, 최근에는 트랙터에 토양 계측센서와 GPS 안테나를 장착하고 포장에서 토양 특성을 계측함과 동시에 절대위치를 기록하고 이를 지도화할 수 있는 연구가 진행 중이며, 수확량과 포장의 정보를 기초로 농자재 투입량 등에 관한 의사결정을 내리는 연구가 진행되고 있다.

파종량이 자동 조절되는 파종기, 농약 살포량이 위치별 포장정보에 따라 자동 조절되는 농약살포기 등 정밀농업 장비가 시범 보급되고 있다(Microtrack Inc.).

2. 유럽

유럽의 정밀농업은 미국과 다르게 매우 다양한 분야에서 연구가 수행되고 있는데, 환경보전기능을 중요시하는 덴마크, 소규모 가족경영의 프랑스, 독일 동부의 집단농장 등에서 약 1만 ha 규모의 정밀농업 시범사업이 진행되고 있다.

덴마크의 농업은 농약류를 5년 이내에 25%, 10년 이내에 50%를 줄이도록 정책적으로 규정하고 있어 이 때문에 국립 시험연구기관과 대학 등이 유관 기관을 대폭 개편하고 있다. 추진 중인 주요 연구의 예를 보면 작물과 잡초간 생장경쟁을 면밀히 조사하여 제초제를 사용하지 않고 재배하는 방법의 확립을 서두르고 있는데, 이 경우 토양과 작물 생육의 포장 내 불균일성을 조사하고

가변작업(variable rate application)의 효과 등을 조사하고 있다. 또한 덴마크는 약 10년 전에 정밀농업 기술의 하나인 수확량 계측기 부착 콤바인을 처음으로 도입하였고 일부 정밀농법을 채용한 농가는 ISO 9002(품질관리의 국제기준)과 ISO 14001 (환경관리 국제기준)의 인증을 받았다. 예를 들어, 밀과 근대를 주작물로 하는 경영면적 330 ha의 밭을 가진 농가의 경우 토양과 수확량에 관한 정보를 지도화하고 농약과 비료살포의 가변작업 실시하여 수익성을 유지하면서 환경부하를 줄이는 농법을 시범적으로 수행하고 있다.

3. 아시아

문순지대에 위치하며 대부분 소규모 영세농으로서 벼농사의 비중이 높은 아시아 국가에서는 최근 정밀농업의 기초연구가 시작되었는데, 이중 한국, 일본, 중국, 말레이시아, 대만, 몽고 등이 "동아시아형 정밀농법"의 가능성이 높은 나라로 지목되고 있다(Shibusawa, S. 1999a).

일본의 경우, 생육상태 감지 및 시비장치를 개발하였는데 이 장치는 포장내에서 작업기가 주행하며 실시간으로 포장정보를 검출하고 이를 시비 요구량으로 변환하여 변량 시비가 가능한 장치를 1999년에 개발하여 현재 실증시험 및 특허 출원 중(棟方 研, 石塚 裕一, 上野 康男; 1999)이다. 또한 토양 비옥도를 측정하기 위하여 광반사 스펙트럼을 이용한 유기물 함량 센서 또는 근적외선 반사 스펙트럼에 의한 토양 비옥도의 주요인 추정용 센서 등 비접촉식 토양 센서의 개발 예가 있지만 모두 토양 표면을 계측한 것으로 외관광의 영향 때문에 실용화하지 못하고 있다(Shibusawa, S. 1999a). Shibusawa는 현재 토양 함수비, pH, EC, 토양유기물, 질산태 질소를 동시에 실시간으로 측정할 수 있는 토중 광센서를 연구 중에 있다.

제2절 국내 연구동향 및 기술현황

1. 국내 연구동향

정밀농업은 환경보전 측면과 투입에너지 및 투입비용의 절감 측면에서 그 중요성이 날로 높아가고 있으나 관련 기술이 비교적 최근에 소개되었으며 관련 연구도 이제 시작단계로서 우리나라에 맞는 정밀농업의 보급방법과 기술적용 수준 및 이용비용 등 검토는 미흡한 상태이다. 현재 토양조사 결과와 농가의 필지 단위 수확량을 토대로 비료 및 농약의 살포량을 산정하고 있으나 포

장정보 검출 센서가 없고 투입농자재-수확량의 관계를 분석하는 연구도 매우 미흡한 실정이다.

현재까지 정밀농업을 농작업기계 기술과 관련하여 수행된 연구로는, 농업기계화연구소의 “논 포장 고저차 측량도를 이용한 균평작업 기술 개발”, “주행속도 비례형 정밀 살포 기술 개발”, “GPS, GIS를 이용한 농기계 자율주행 기술 개발”, “농기계 원격제어를 위한 무선통신 시스템 개발”, “포장내 염록소 변이 측정 및 전자지도 작성”, “수확량 모니터링 장치 포장 적응성 시험”, 농업과학기술원의 “GPS 이용 벼 병해충 예찰 전산화 시스템 개발”, 전남대학교의 “인공지능을 이용한 과채류 생체정보 수집” 등이 있다. 그리고 농업기계화연구소에서는 현재 미국의 미조리 주립대학과 정밀농업형 농작업기계기술 개발 공동연구를 국제 공동연구과제로 수행하고 있으며, 서울대학교와 농업기계화연구소가 공동으로 수행하고 있는 “친 환경 정밀농업기계기술 개발”의 연구가 있다.

2. 국내 기술의 문제점과 앞으로 전망

구미 농업선진국에서 포장정보를 검출할 수 있는 센서관련 기술개발은 전술한 바와 같이 전작을 위한 토양과 작물을 주요 대상으로 활성화되어 일부 제품은 시판되고 있는 실정이나 수도작을 중심으로 하는 우리나라는 이제 관련 기술을 도입하는 단계로서 이의 기초기술을 신속히 입수하고 이를 우리 실정에 맞게 개발하는 자체 기술의 확보가 요청되고 있다.

정밀농업을 위한 센서는 이동중인 농작업기에 장착하여 가능한 실시간(real time)에 의한 연속적 자료 수집(continuous data acquisition)의 기능이 바람직한데, 이를 위해서는 지금까지 토양이나 작물을 대상으로 사용하여 온 채취 시료(sample)용 센서와는 다른 개념의 것으로서 주로 광학적(optical)인 것으로 비접촉형(non-contact type)이 요구된다. 그리고 작물의 생육상태를 파악하기 위한 센서는 측정 대상 작물과 그 재배법을 파악하여 개발되어야 하는데 이를 고려하면 논 잡초 검출용 센서와 토양 분석용 센서에 관한 기술은 국내 기술진에 의해 개발되는 것이 바람직하다.

21세기는 농업은 관련 인구의 숫자는 줄어들고 남아있는 농업노동력마저 질적으로 저하하고 있는 것이 국제적 현상이기 때문에 좀더 지식, 기술, 정보중심의 농업쪽으로 발전될 것으로 예상된다. 그에 따라 현재 외국에서 연구중인 단편적인 포장정보 검출장치가 시스템화 되어 수년내 농업기계에 장착되어 현장실험이 실시될 예정이고, 이 장치와 더불어서 작물 생육단계별 반응차이, 동일 개체내에서의 상이한 생리반응, 다양한 생육장애에 대한 구별 알고리즘 등이 개발되어 더욱 정밀한 수준에서 포장관리가 수행될 것으로 판단된다.

이러한 세계적인 추세에 대하여 국내에서는 전술한 바와 같이 구미에서 개발되고 있는 정밀농업 기술을 도입하여 사용하는 것은 우리농업 여건에 맞지 않기 때문에 기본적으로 한국형 또는 동아시아형 정밀농업 적용수준과 추진전략을 수립하는 것이 요구되고 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 논 잡초 검출장치 개발

1. 연구개발 방향 결정

가. 관행 제초작업

국내의 벼농사에서 제초작업은 일반적으로 이앙 후 한번 또는 두 번 제초제를 살포하는 방법으로 수행하고 있으며, 이러한 제초제 살포작업은 통상 “토양처리” 그리고 “경엽처리”로 구분한다. 이앙한 벼의 초기 성장단계에서 잡초들은 일반적으로 논 면적 전체에서 전반적으로 고르게 발생하는데, 토양처리 작업은 이러한 잡초를 대상으로 하는 작업이다. 이는 제초제를 논 전 면적에 균일하게 살포하여 논에 가득 채운 물에 용해되게 함으로서 논 전반에 걸쳐 고르게 퍼지도록 하여 잡초가 자라 올라올 때 살포한 제초제에 영향 받아 방제되도록 하는 작업이다. 이는 주로 입제의 제초제를 인력 또는 동력살분무기를 사용하여 살포하는 방법으로 수행하고 있다.

경엽처리 방법은 제초 대상 논에서 잡초의 발생이 군데 군데 부분적으로 자라거나 또는 토양처리에 의한 제초제 살포 후에도 국소적으로 자라는 잡초를 대상으로 하는 방법이다. 경엽처리는 잡초 발생영역만을 대상으로 하여 주로 액상의 수화제 제초제를 분무기로 살포하는 방법으로 수행하는데, 실제로는 잡초가 발생하는 영역을 찾아 그곳만을 대상으로 약제를 살포하는 것이 용이하지 않다. 즉 지금까지 논에서 잡초 발생 영역을 찾는 것은 사람의 시각과 판단에 의존하는 일로서 매우 노동 집약적인 문제가 있다. 따라서 벼 농사시 경엽처리는 토양처리와 마찬가지로 동력분무기를 사용하여 논 전면적에 제초제를 살포하는 방법으로 수행하고 있다. 그러나 잡초가 발생한 영역을 기계적인 방법으로 용이하게 찾을 수 있다면 경엽처리에 의한 제초제 살포는 친환경적인 방법으로 그 수행이 가능하므로 본 연구는 이를 위해 잡초 센서를 개발하고자 하는 것이다.

나. 국내의 관련 연구 분석

잡초 센서를 개발하기 위한 연구는 주로 서구에서 밭농사를 대상으로 수행되고 있다. 그러한 연구는 토양이나 농작물로부터 잡초를 구분하는 방법에 중점을 두었다. 이러한 문제에 대한 기본적인 접근방법은, 첫째 광전자 검출기를 사용하거나 또는 기계시각을 이용하여 토양이나 식물의 분광 스펙트럼 정보를 수집하고 분석하는 방법이다.

광전자 검출기(optoelectronic detector)를 사용한 분야 연구의 주요 결과를 보면, Biller(1998)는 제초제의 투입량을 줄이기 위한 방법으로 직색대와 근적

외선대 파장의 분광반사 특성을 이용한 광전자 센서(optoelectronic sensor)를 이용하여 일정간격으로 심어진 작물 사이에 존재하는 녹색식물은 잡초라는 전제하에 토양으로부터 잡초를 분리 인식(작물과 잡초들을 구분하는 것이 아님)하는 센서를 제작하여 실험하였으며, 그 결과 제초제 살포량을 관행의 전면적 살포와 비교할 때 30~70% 감소할 수 있었음을 보고한 바 있다. Borregaard 등(2000)은 VIS/NIR 영역의 line scanning 분광광도계를 이용하여 식물을 토양으로부터 구분하는 연구를 수행하였는데, 수집한 데이터를 이용한 판별분석을 실행한 결과 70-80%의 정확도로 잡초를 구분할 수 있다고 보고하였다. Vrindts 등(2002)은 식물체와 토양으로부터 잡초를 구별하기 위하여 식물 표면의 광 반사 스펙트럼의 정보를 수집하는 라인 이미지 분광계(line imaging spectrometer)를 사용하여 실험한 결과 작물로부터 잡초를 90%이상 분류한 결과를 보였다. 그러나 라인 이미지 분광계는 비교적 고가의 장비로서 잡초 검출을 위한 이의 사용은 비실용적인 것으로 판단되었다. Wang 등(2001)은 밀 경작지에서 diode array형 분광계를 사용하여 분광 스펙트럼에 의한 잡초 검출을 시도한 결과 밀, 토양, 잡초들의 분류정확도는 각각 74%, 100%, 70%였으나, 잡초 밀도가 낮은 경우 50% 이상의 잡초들이 토양으로서 오분류되는 결과를 보고한 바 있다.

기계시각을 사용하여 토양으로부터 잡초를 검출하는 방법은 주로 영상의 컬러 특성(color feature)이나 형상(shape) 또는 영상의 조직(texture)을 분석하는 방법이다. Andreasen 등(1997)은 RGB 컬러 영상 화면의 표준화한 화소값의 상대빈도로부터 잡초 밀도를 구하는 비선형 회귀 모델을 제안한 바 있다.

잡초의 형상 특성을 바탕으로 영상처리를 이용한 잡초검출 센서에 관한 연구는 10여년 전부터 수행되었는데, 이는 식물 잎의 크기나 외관상의 형태적 특징을 파악하여 작물과 잡초를 구분하는 방법이다. Lee 등(1998)은 토마토 유묘를 대상으로 하여 잡초와 유묘를 인식할 수 있는 기계시각 장치를 구성하였으며, 데이터의 처리시간을 줄이면서 분석 정확도를 높이기 위해 ANN(artificial neural network)를 이용하여 토마토 유묘와 잡초를 구분하는 실험을 수행하였다. 또한 조 등(2000)은 무 경작지에서 무 유묘와 잡초의 형상 특성을 변수로 하여 잡초를 인식하는 영상처리 알고리즘을 개발하였다. 그들은 대상체가 겹치지 않게 컬러 카메라로 취득한 영상에서 잡초를 구분하는데 효과적인 변수를 선택하기 위하여 SAS stepdisc 프로시저의 단계적 변수선택법을 사용하여 3개의 주요 형상변수를 선택하였으며, 주요 변수에 의한 neural network 모델을 구축하였다. 분류결과에서 무 유묘와 잡초의 구분 정확도는 각각 93.3%, 93.8%였음을 보고하였다. 이상의 잡초의 형상 특성을 바탕으로 한 잡초 검출은 위와 같이 작물과 잡초의 크기가 비교적 작은 유묘에 적합한 방법이다. 그

러나 벼와 같이 그 크기가 상당히 큰 여건에서도 수행해야 하는 논 잡초 방제에 있어서는 벼의 영상과 잡초의 영상이 겹치는 경우가 많아 그 적용이 곤란할 뿐만 아니라 분석 대상 영상의 처리시간이 길어 실시간(real time) 처리에는 문제가 있을 것으로 판단되었다.

Meyer 등(1998)은 컴퓨터 시각과 통계적 방법을 이용하여 토양과 여러 잡초종으로 부터 작물을 구분하는 실험을 하였다. 이 실험에서 녹색식물과 토양은 99% 이상의 높은 정확도로 구분되었다. 또한 다변량 통계의 판별분석 방법 중 단계적 변수선택법을 이용하여 각기 다른 영상의 구분을 시도하였다. Yang 등(1999)은 디지털 카메라로 촬영한 옥수수 유묘와 잡초의 영상을 ANN으로 구별하는 실험을 수행하였으며, 연구자는 ANN을 이용하여 식물체를 분류하면 처리시간을 줄일 수 있으며, 훈련용 데이터가 많아지면 비교적 높은 정확도를 보이므로 앞으로 제초제 변량살포에 유용한 가능성이 있다고 보고하였다.

Steward 등(1998)은 시간과 기상상태의 변화에 따른 태양광의 변화가 기계시각 영상에 미치는 영향을 찾고, 이에 의해 영상을 취득하고 분석하는 과정에서 위와 같은 영향을 배제할 수 있는 방법을 연구하였다. 연구자가 정의한 CCT(correlated color temperature)는 태양이 지평선 아래로 지고 나면 가장 큰 변화를 보이며, 태양이 뜨기 전이나 후를 제외하고 취득한 영상이 CCT의 변화가 매우 적은 영상임을 발견하였다. 또한 Steward 등(1999)은 다양한 태양광 조건에서 잡초를 검출할 수 있는 기계시각 센서를 설계하였다. 이 실험에서 연구자는 경작지에 일정 간격으로 심어진 콩 사이의 잡초 영상을 취득하였으며, 잡초 영상의 픽셀 값을 이용하여 군집분석으로 분류한 후, 다시 그 값들을 실시간 분류가 가능하도록 Bayes classifier를 사용하였다. 실험에 의한 결과에서 기계시각 센서에 의한 잡초의 검출과 인간에 의한 잡초의 검출간에는 상관계수 0.94의 높은 상관관계가 있음을 보고하였다.

Tang 등(1999)은 잡초 영상의 조직(texture) 특성을 이용한 잡초 검출방법을 연구하였다. 이 연구에서 생육단계별로 잡초의 영상을 취득한 후 벡터화하였으며, 이 자료를 ANN을 이용한 패턴 인식방법에 의해 잡초를 인식하는 시스템을 개발하였다. 실험 결과에서 모든 대상체에 대해 100%의 검출 정확도를 보였으며, 위의 특성 추출 알고리즘은 실시간 처리에 적합한 것으로 나타났다. Burks 등(1999)은 포장에 심어진 잡초의 영상을 취득하는 기계시각 장치를 구성하였으며, 통계 패키지 프로그램인 SAS의 stepdisc 프로시저를 이용하여 컬러 텍스처의 변수를 축소시켰다. SAS에서 선택된 변수를 이용하여 back-propagation방식의 neural network을 실행시킨 결과, 잡초와 토양을 96.7%의 정확도로 구분할 수 있었고, 각 잡초끼리는 90%의 정확도 수준으로 구분해낼 수 있었다고 보고하였다.

El-Faki 등(2000)은 컬러 기계시각을 이용하여 수집한 화면에서 작물과 잡초를 구분하는 방법을 제시한 바 있다. 이들은 각 RGB 화면의 화소값으로부터 구한 네가지 형식의 상대적인 컬러 지표(color indices)를 입력 자료로 하고 이를 판별분석(discriminant analysis)과 ANN을 사용하여 작물과 잡초를 구분하는 몇 가지 분류기(classifier)를 구하는 방법을 제시한 다음 각 분류기의 효능을 평가하였다.

Yang 등(2002)은 정밀농업을 위한 초목 위치검출, 정밀농업에 적용할 수 있는 잡초 검출의 영상처리 요소와 mapping system 개발을 위한 연구를 수행하였다. 영상처리 알고리즘은 디지털 영상에 녹색 물체들의 녹색비율에 근거한 잡초 밀도를 측정하는 것이었다. 그들은 녹색비율을 결정하기 위한 세 가지 방법은 구적계를 사용한 수작업 결과와 비교하였으며, 연구 결과 제초제 비용과 환경오염을 줄이기 위해서는 제초제의 특정지역 살포를 위한 지도화와 잡초검출이 중요한 요소가 될 것으로 보고하였다. 이와 유사한 연구로서 Babio 등(2002)은 잡초의 공간적 변화에 근거한 구역별 제초제 살포에 대하여 연구하였다. 이 연구는 다변량(variable) 제초제 살포장치를 사용해서 수행하였으며, 최종적으로 제초제의 효과와 경제성을 평가하였다.

다. 연구 방향 결정

논에서 잡초를 검출하기 위해서는 일차로 토양과 식물(벼와 잡초)을 구분하여야 한다. 위에서 설명한 바와 같이 토양과 식물을 구분하는데 효과적인 방법은 물체 반사광의 분광분석법(spectrometric analysis)이다. 경엽처리에 적합한 제초기간 동안 논은 보통 물로 채워져 있는데, 본 연구의 기초실험 결과 이러한 토양 조건에 있어 분광분석에 의해 토양과 식물체를 구분하는 것은 비교적 용이한 것으로 판단되었다. 논 잡초 검출을 위한 다음 단계는 식물 영상을 벼와 잡초로 구분하는 것인데, 벼와 잡초는 거의 같은 색상으로서 그 구분이 쉽지 않을 것으로 판단되나 잡초의 광학적 반사 스펙트럼의 특성이 벼의 특성과 차이가 있을 가능성은 있는 것으로 판단하였다. 이는 물달개비와 같은 잡초가 잎과 줄기에 불그레한 색소를 가지고 있어 그 광학적 반사 스펙트럼이 벼와 같지 않기 때문이며, 경엽처리 기간 중 논 잡초들은 allelopathy 현상에 의해 벼에 비하여 어리고 생육이 늦기 때문에 광학적 반사 특성이 벼와 다를 가능성이 클 것으로 예상하였다. 결과적으로 논 잡초를 검출하기 위해서는 토양과 벼와 잡초의 광학적 반사특성을 이용하는 것이 효과적일 것으로 판단하였다. 토양과 벼와 잡초의 광학적 반사특성으로부터 잡초를 검출하기 위해서는 이들을 구분하는데 효과적인 광 파장(effective wavelength of light)을 구하는 것이다. 본 연구는 그 수행에 있어 첫째 과제로 본 연구에 유용한 광 파장을 선별하고자 하였다.

개발할 눈 잡초 검출용 장치는 그 사용장소가 야외이고 그 사용은 날씨가 일중 시간대에 따른 태양광의 변화에 영향이 가능한 최소여야 할 것이다. 그런데 개발할 장치는 일종의 광학 센서이고 야외에서 사용할 것이므로 태양광은 가변적인 광원으로 작용하여 잡초 검출을 위해 수집할 자료에 크게 영향을 미칠 것으로 예상하였다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 본 연구의 둘째 과제로 자료 수집시 태양광 영향을 최소화할 수 있는 방법을 모색하도록 하였다.

눈 잡초를 검출하기 위한 시스템을 개발하기 위해 제조시기 눈과 벼와 잡초의 상태 그리고 몇 가지 가능성이 있는 장치의 장점과 단점을 고려하였다. 일반적으로 경엽처리에 의한 눈 제조작업 가능기간은 이앙 후 15일부터 40일까지의 활착 및 분얼기로서 이 시기 잡초의 밀도는 그림 1-1-1과 같이 상당히 낮은 편이고 잡초는 주로 벼 조간(條間 : 벼 재식 줄 사이) 영역 또는 벼 재식 줄 영역에서도 발생한다. 이렇게 자라나는 잡초를 검출하기 위해서는 주로 작물의 조간 영역만을 검색하는 광전자 검출기형의 장치보다는 눈 전면적을 검색할 수 있는 장치가 바람직하며 이를 위해서는 기계시각을 사용해야 할 것으로 판단하였다. 이에 따라 본 연구에서는 기계시각을 이용한 잡초 검출장치를 개발하고자 하였다.

기계시각을 이용하여 토양과 벼로부터 잡초를 분광특성에 의해 구분하는 가장 실용적인 방법은 광학적 대역 필터(optical band-pass filter)를 사용하는 방법이다. 그런데 기계시각에 다양한 종류의 필터를 사용한다는 것은 실제로 실시간(real time) 잡초 검출에 부적당하고 경제적으로도 불리하다. 따라서 본 연구의 목적을 위해서는 한 종류의 광학필터를 장착한 한 대의 흑백 카메라 또는 한 대의 컬러 카메라로서 기계시각을 구성해야 할 것으로 판단하였다.

필터 부착 흑백 카메라와 컬러 카메라를 비교하면 컬러 카메라는 한 대의 카메라로부터 RGB 3개 화면의 정보를 입수할 수 있는 반면 한 대의 필터 부착 흑백 카메라로부터는 특정한 좁은 광 파장 대역폭(band width)의 단일의 화면 정보만 수집할 수 있다. 따라서 용도에 따라서는 컬러 카메라의 기능이 필터 부착 흑백 카메라보다 우수할 수 있다. 이에 따라 기계시각을 이용하여 눈 잡초를 검출하는 본 연구는 셋째 과제로서 컬러 카메라와 필터 부착 흑백 카메라를 대상으로 하여 잡초 검출에 유용한 카메라 종류를 선정하는 실험을 수행하고, 선정된 카메라로 촬영한 영상을 분석하는 알고리즘을 구성(소프트웨어 개발)한 다음, 마지막으로 그 성능 파악을 위한 실험을 수행하였다. 이상의 세 가지 과제에 대하여 수행한 연구의 방법과 결과를 과제별로 설명하면 다음과 같다.



a) 17 DAT



b) 23 DAT



c) 30 DAT



d) 37 DAT



e) 44 DAT

Fig. 1-1-1 Rice plants and weeds at various growing stages

2. 주요 광 파장 결정

가. 연구 목적

기계시각에 의한 잡초검출센서를 개발하는데 있어서 고려될 수 있는 가장 기본적인 센서의 형태는 벼를 이양한 논에서 벼와 벼 사이에 존재하는 식물체는 모두 잡초라는 전제하에 토양으로부터 구분된 식물체를 모두 그 대상으로 검출하는 센서를 들 수 있다. 이러한 센서는 식물체와 토양의 광반사특성을 이용하여 이들을 서로 구분하는 단순한 광센서를 사용한다.

본 연구는 논 잡초를 검출하는 센서를 개발하기 위하여 먼저 식물체를 토양으로부터 구분한 후, 다시 식물체 중 벼와 잡초를 구분하는 기계시각을 개발하고자 하였으며, 이를 위해 토양과 벼와 잡초의 광반사특성을 구명하는데 본 연구의 중점을 두었다. 이는 차후 벼와 토양으로부터 잡초를 구분하는 기계시각 장치를 구성하는데 있어서 기계시각으로 벼나 잡초의 외형적 특성을 구분한다면 대상체의 영상을 취득하고 분석하는데 많은 과정과 시간이 소요되는데 반해 본 연구와 같은 광반사특성에 기초한 기계시각 장치에 의해서는 영상을 분석하는 시간을 단축시킬 수 있으며, 실제 잡초 검출장치가 작업기에 장착되어 실용화되었을 때 빠른 분석능력을 보일 수 있을 것으로 판단하였다.

이를 위하여 본 연구는 수도작에서 높은 우점도를 나타내는 잡초들을 대상으로 광학적 특성을 이용한 기계시각으로 벼와 토양으로부터 잡초를 구분하는 장치를 개발하는 기초연구로서 다음과 같은 연구목적에 갖고 수행하였다. 첫째 광학적 특성 분석을 토대로 각 토양 상태에 따라 효과적으로 식물체(벼, 잡초)와 토양을 구분할 수 있는 파장과 벼와 잡초를 구분할 수 있는 파장을 선정하고, 둘째 선정한 파장을 이용하여 판별분석 방법에 의해 토양과 식물체, 벼와 잡초를 효과적으로 구분할 수 있는 분류모형을 수립한 후, 셋째 수립한 분류모형이 대상체를 어느 정도로 구분할 수 있는가를 확인하고자 하였다.

나. 재료 및 방법

1) 실험재료 및 기기

가) 실험재료

논의 잡초를 광학적인 방법으로 검출하기 위해서는 먼저 논 표면의 토양으로부터 식물체인 벼와 잡초를 분리한 다음, 토양을 배제시킨 상태에서 식물체 중 벼와 잡초를 구분하는 것이 용이할 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 토양과 벼와 주요 우점 잡초를 대상으로 분광학적 광반사 특징을 추출하여 식물체(벼, 잡초)와 토양을 구분하는 주요 파장과 벼와 잡초를 구분할 수 있는 주요 파장을 선정하고, 그에 따른 분류 알고리즘을 개발하기 위한 실험을 수행하였다. 이를 위하여 토양과 벼와 여러 종류의 우점

잡초를 대상으로 그 잎의 분광반사 특성을 분광분석기를 사용하여 조사하였다.

잡초 검출센서를 개발하는데 있어 중요한 것은 먼저 벼의 일반적 재배방식과 각 대상 식물의 특성에 대한 관찰이 우선되어야 할 것이다. 관행의 벼 재배 방식을 보면 수도작 논에서는 보통 이앙 후 10일(10 days after transplant: 10 DAT) 정도면 잡초 잎이 잘 보이진 않지만 발생하기 시작한다. 이에 따라 일반 수도재배 농가에서는 통상 이앙 후 15 - 20일경에 잡초가 발생하지 않도록 예방하는 차원에서 전면적으로 제초제를 살포하고, 이앙 후 25일이 경과하여 잡초의 발생이 현저하게 증가하면 또 다시 제초제를 살포한다.

한편 벼 재배시 농민들은 이앙 후 30일 경이 되면 벼의 활착을 도와 자생능력 증대를 위하여 논물을 완전히 빼고 채우기를 수차례 반복하는데 이를 경화(hardening)라고 한다. 이 시기는 수도작 환경에서 잡초를 선택적으로 방제하기 위한 적기로서, 그 시기의 벼와 잡초의 분광반사 특성을 조사하기 위하여 이앙 후 경과일을 기준으로 32일과 38일의 2회에 걸쳐 벼와 잡초를 채취하여 측정하였다.

벼와 잡초의 시료는 실제 포장에서 생육단계별로 채취하였는데, 이는 2000년과 2001년의 2년에 걸쳐 전남대학교 농과대학 부속농장에서 재배되고 있는 논에서 채취한 것이다.

본 연구에서 벼와 잡초의 식물체를 대상으로 분광반사율을 측정하는데 있어서 각 식물체의 측정은 잎을 대상으로 하였다. 그 이유는 그림 1-2-1에서 보는 바와 같이 수직에서 내려다본 영상에서 벼와 잡초를 비롯한 식물체 영상면적의 대부분은 잎이 차지하는 것으로 판단하였기 때문이다.



Fig. 1-2-1 Overlooking view of weed and rice at 44 DAT

2000년 실험은 예비실험으로서 6월 23일 이양한 벼(품종: 동진)의 시료를 이양 후 30과 이양 후 37에 채취하여 분광반사율을 측정하였으며, 그 실험자료는 벼와 잡초를 구분하는데 있어서 적용할 다변량 통계 방법의 타당성을 조사하는데 사용하였다.

2001년도 실험은 전년의 벼와 잡초 실험을 근거로 하여 벼와 잡초의 분광반사율을 측정하였는데, 벼는 6월 15일 이양한 동진벼를 대상으로 하였다. 본 연구에서 검출코자 시도한 잡초는 피, 물달개비, 한련초, 여뀌바늘, 밭뚝외풀, 가막사리 6종의 잡초였다. 이들 잡초들은 다음의 표 1-2-1에서 보이는 바와 같이 최근에 우리나라 수도작에 많이 발생하는 잡초들 중 높은 우점도를 보이는 잡초이다.

식물체를 토양으로부터 구분하기 위하여 토양의 분광반사율을 측정하였는데, 이는 전남대학교 부속농장의 논에서 채취한 토양시료를 대상으로 하였다. 토양의 분광특성에 영향을 주는 요인은 주로 토양의 함수율이다. 토양의 함수율은 분광반사율에 대해 전반적인 파장영역에서 고루 영향을 미치며, 1400 nm와 1900 nm와 같은 특정 수분 흡수 파장대에서는 그 영향이 두드러진다. 따라서 본 연구에서는 토양의 다양한 함수율 조건에서 분광 특성을 조사하기 위하여 물을 충분히 포함하고 있는 토양시료를 채취한 다음 채취한 토양은 다양한 함수율 수준을 만족시키기 위하여 토양건조장치를 사용하여 건조시켰는데, 여러 개의 시료를 준비하여 건조장치에서 건조 단계별로 시료를 꺼내서 함수율을 구하기 위한 무게를 측정하고 분광반사율을 측정하였다.

나) 실험기기

본 실험에서 벼와 잡초, 토양 등의 대상체에 대해 분광반사율을 측정하기 위하여 사용한 기기는 근적외선 분광분석기(model 6500, Foss-NIRSystem Co.)이다. 본 기기는 파장 400 - 2500 nm 범위의 가시광 및 근적외선 영역에 대해 2 nm 간격으로 스펙트럼 당 1050개 흡광도를 측정한다. 본 분광분석기는 측정대상물에 특정한 광에너지를 가한 다음 그로부터 반사된 광에너지를 측정함으로써 대상체의 분광학적 반사 특성을 측정할 수 있다.

본 연구에서는 수집한 흡광도 자료 중 본 연구 결과를 비교적 저가의 카메라나 분광분석장치를 사용할 수 있도록 가시광선과 근적외선 영역인 400 - 900 nm의 파장영역을 측정대상으로 하였다. 이와 같이 측정대상 파장영역을 결정한 이유는 본 연구에서 측정코자한 대상체는 벼와 잡초와 토양인데, 위와 같은 영역의 광은 녹색식물의 광합성에 작용하는 광합성 유효복사 파장영역이다. 따라서 이 영역에서는 녹색식물의 광합성에 의한 광흡수가 높으므로 벼와 잡초를 비롯한 식물체의 특성이 많이 반영된다는 것을 전제로 하면, 토양과 식물체의 광반사 특성과 벼와 각 잡초의 광반사 특성에 의한 구분을 목적으로 하는 본 연구에서는 중요한 파장 영역이라고 할 수 있다.

Table 1-2-1 Growth priority ranking of weeds in paddy field (number in parenthesis is percentage of growth priority)

Rank	Gyeonggi	Gangwon	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Chungbuk	Chungnam	Total
1	E11 (11.0)	E11 (11.1)	WM (18.0)	WM (26.4)	WP (12.2)	WM (10.9)	E11 (12.7)	WM (10.9)	WM (12.7)
2	E8 (8.8)	E8 (11.0)	E11 (14.0)	E8 (15.6)	WM (6.5)	WP (10.7)	WG (11.1)	WP (10.6)	E11 (9.5)
3	WP (8.4)	WM (10.8)	E8 (12.4)	WB (7.5)	WG (5.5)	E11 (5.4)	WM (10.5)	E11 (8.8)	WP (9.4)
4	WM (7.8)	WP (8.5)	WP (9.6)	E11 (7.4)	E11 (5.2)	E8 (5.1)	WP (9.67)	E1 (8.1)	E8 (9.1)
5	WG (5.3)	WG (7.4)	E2 (6.6)	WY (7.2)	E8 (4.9)	WG (4.9)	E8 (8.8)	WG (7.0)	WG (5.8)
6	WY (5.2)	E5 (7.4)	WB (4.9)	WP (5.6)	E1 (3.8)	WY (4.4)	WY (6.6)	E8 (6.5)	WY (4.9)
7	E12 (4.9)	E2 (5.9)	E1 (3.9)	E1 (4.0)	WY (3.7)	E4 (3.8)	E1 (5.6)	WY (6.3)	E1 (4.4)
8	WB (4.4)	E10 (5.9)	WG (3.5)	E2 (4.0)	E12 (3.4)	E2 (3.4)	E12 (5.6)	WH (5.7)	WB (4.0)
9	E1 (4.3)	E9 (3.6)	WY (3.5)	E7 (3.5)	E4 (2.2)	E6 (3.3)	E4 (3.3)	WB (5.4)	E2 (3.8)
10	E2 (4.1)	WB (3.0)	E3 (3.2)	E4 (2.1)	E3 (2.0)	WH (3.2)	E5 (3.2)	E3 (4.6)	E4 (3.1)

* WP: 피, WM: 물달개비, WH: 한련초, WY: 여뀌바늘, WB: 발톱외풀, WG: 가막사리

E1: 사마귀풀, E2: 올챙이고랭이, E3: 알방동사니, E4: 여뀌, E5: 가래, E6: 나도겨풀, E7: 올미,

E8: 벼풀, E9: 미국가막사리, E10: 물고랭이, E11: 올방개, E12: 자귀풀

또한 차후 잡초검출 장치를 구성하는데 있어 컬러 CCD 카메라에 의한 영상을 이용한다면 가시광 및 근적외선 영역의 파장이 분석대상으로서 타당하다는 판단으로 본

연구에서는 400 - 900 nm의 파장 영역을 측정대상으로 결정하였다.

한편 본 연구에서 수집한 400 - 900 nm의 분광데이터는 동 회사에서 제공한 NSAS(Nirsystem Spectral Analysis Software, Foss-NIRSystem, USA) 프로그램을 이용해 반사율로 변환하여 사용하였다. 흡광도와 반사율의 변환의 변환식은 다음과 같다.

$$A = \log(1/R) \text{ ————— (1-2-1)}$$

여기서, A = 흡광도

R = 반사율

반사율로 변환된 실험자료는 MS Excel (Microsoft Co.)로 수합하여 SAS 6.12 (SAS Institute Inc.)를 이용한 주요 파장의 선정과 분류 모형의 작성 및 검증에 사용할 수 있도록 하였다.

다) 측정방법

벼와 잡초의 분광반사율 측정에 사용한 시료는 이앙 후 32일과 이앙 후 38일의 2회에 걸쳐 실험포장에서 채취하였다. 잡초는 그 발생 및 성장시기가 종별로 약간씩 상이하므로, 첫째 실험시기에 측정이 가능한 잡초의 종은 적었으나, 시간이 경과함에 따라 표 1-2-2와 같이 둘째 실험시기인 이앙 후 38에서는 그 종 수가 증가하여 총 6가지 주요 잡초를 측정할 수 있었다.

Table 1-2-2 Weed species used in this research

Date	DAT	Weed species
7/18	32	WP, WM, WH, WY
7/24	38	WP, WM, WH, WY, WB, WG

* WP: 피, WM: 물달개비, WH: 한련초, WY: 여뀌바늘, WB: 발뚝외풀, WG: 가막사리

벼와 잡초에 대한 분광반사율 측정 시, 각 대상체에 대해 30회 반복 측정하였으며, 이는 본 연구에서 분광반사율을 측정하기 위해 사용한 근적외선 분광분석기의 측정면적이 지름 7mm 정도의 fiber-optic probe이기 때문에 대상체의 분광반사율을 측정함

에 있어 보다 많은 측정횟수를 확보함으로써 보다 정확한 대상체 잎의 분광반사율을 얻기 위함이다.

토양의 분광반사율 측정에 있어 시료로 사용한 토양의 토성은 주로 실트(silt)질이었으며, 시료를 채취할 때 논은 충분히 담수된 상태이다. 본 연구에서는 통상적인 수도작의 무논 상태 뿐만 아니라 건답재배에 대한 적용성 등을 고려하여 잡초를 검출하는 장치를 구상하였으므로, 위에서 설명한 바와 같이 토양의 분광반사율을 측정하는데 있어서 토양의 함수율을 달리하여 측정하였다. 본 연구에서 측정한 토양은 건답을 전제로 한 마른 토양(dry soil), 물을 뺀 상태의 토양인 배수 토양(wet soil), 물을 충분히 함유한 상태인 무논 토양(watersoaked soil)으로 구분하여 분광반사율을 측정하였다. 측정한 각 토양별 평균 함수율은 마른 토양이 0%, 배수 토양이 43%, 무논이 77% 정도이다.

2) 주요 파장의 선택

토양과 식물체, 식물체인 벼와 잡초를 구분하는데 있어 사용할 파장의 가지 수를 본 연구에서는 최대 3 가지로 하였다. 이는 차후 본 실험 결과를 기초로 하여 기계시각 장치를 구성할 때 그 가지 수가 적을수록 유리할 것은 명백한데, 적어도 3 종의 파장은 관찰할 필요가 있는 것으로 판단하였기 때문이다.

분광분석이나 영상처리 등의 기계시각을 이용한 연구에서 많이 사용되고 있는 통계적 분석 방법은 비교적 단순한 분산분석 뿐만 아니라, 다변량 통계분석 방법인 주성분분석(principal component analysis: PCA)이나 판별분석(discriminant analysis: DA) 등이 다양하게 사용되고 있다. 이 중 판별분석은 본 연구의 내용과 같이 분광분석을 이용하여 식물체와 토양 또는 식물체 중 벼와 잡초를 구분하고자 하는 연구에는 요긴하게 사용될 수 있는 통계적 분석기법이다.

판별분석은 이미 알려진 상호배반적인 몇 개 집단에 속하는 다변량 관측치로부터 각 집단의 차이를 구분할 수 있는 주요 변수를 선택하고 이 선택한 변수를 이용하여 판별함수를 수립하고, 소속집단이 알려지지 않은 새로운 관측치를 수립된 판별함수를 이용하여 어떤 집단에 소속된 것인가를 결정하는 다변량 분석기법이다.

판별분석은 판별함수를 추정하는데 있어 입력된 독립변수 중 가장 분류 영향력이 높은 변수를 선택하여 그러한 변수들만으로 판별함수를 찾을 수 있는 몇 가지 변수선택 방법을 제공하고 있는데, 이는 전진선택법(forward selection), 후진소거법(backward elimination), 단계적 변수선택법(stepwise selection)이다. 전진선택법은 일정한 기준에 의하여 분류의 설명력을 높일 수 있는 변수를 한가지씩 분류함수에 추가하는 방법으로 일단 분류함수에 포함된 변수는 제외할 수 없다. 후진소거법은 고려한 모든 변수를 일단 분류함수에 포함시킨 다음 일정한 기준에 따라 유의하지 않은 변수를 하나씩 제외시키는 방법으로 한 번 제외된 변수는 다시 포함될 수 없다.

단계적 변수선택법은 전진선택법과 후진소거법의 혼합형으로서 대체적으로 변수의 수가 많을 때 매우 유용하게 사용된다. 이 방법은 가장 유의한 변수를 먼저 분류모형에 포함하고 일정한 선택 혹은 제외 기준에 따라 각 단계마다 변수를 선택 혹은 제외하게 되고, 일단 선택된 변수도 분류의 설명력을 높이기 위하여 다시 제외될 수 있다.

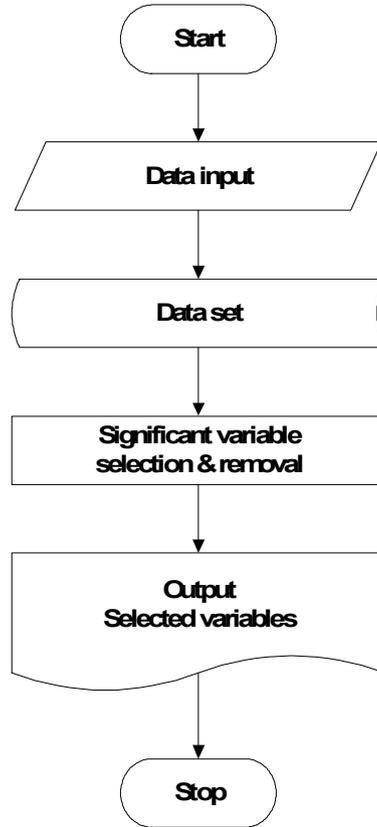


Fig. 1-2-2 Flowchart of stepwise variable selection method

본 연구에서는 400 - 900 nm 파장 영역의 251개 변수(파장) 중 각 대상체를 효과적으로 구분할 수 있는 변수를 추출하기 위하여 단계적 변수선택법을 이용하였다. 이러한 통계적 분석방법을 사용하기 위해 본 연구에서 사용한 소프트웨어는 통계분석에서 가장 널리 사용되고 있는 SAS 6.12이다. SAS는 가장 강력한 분석 능력을 가지고 있으며, 방대하고 자유로운 데이터 입출력이 큰 장점이다.

SAS에서는 여러 가지 통계분석 과정을 프로시저(procedure)라는 개념의 명령어 단위로 제공하는데, 변수선택 방법은 stepdisc 프로시저로 사용할 수 있으며, 위에서

설명한 3가지 변수선택방법은 stepdisc 프로시저에 옵션 명령어로 지정할 수 있다. 한편 stepdisc 프로시저는 기본(default)으로 단계적 변수선택법을 수행한다.

3) 분류 모형의 수립

판별분석은 각 소속집단의 관측치들을 집단화하고, 각 집단을 구분할 수 있는 기준을 제공하는 식을 구할 수 있는데 이것이 판별함수이다. 한편 판별함수를 구할 때에는 각 집단 관측치의 분포 정도를 이용하여 공분산 동일성 검정을 시행하는데, 공분산이 동일하다는 가설이 채택될 경우의 판별함수는 1차 함수의 형태로 표현되고 이를 선형 판별함수(linear discriminant function)라고 한다. 반면에 가설이 기각되는 경우의 판별함수는 2차 함수의 형태로 표현되며 이차판별함수(quadratic discriminant function)라고 표현한다. 그런데 일반적으로 공분산 동일성 가설 검정 결과를 무조건 준수할 필요는 없으며, 대부분의 경우 분류결과가 큰 차이를 보이지 않는 범위 내에서는 보다 오분류율이 낮은 함수를 취하는 방법이 바람직하므로, 이차판별함수 보다는 1차 함수 형태인 선형판별함수를 사용하는 것이 효과적이라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 벼가 생육중인 논외 수직 촬영 영상에서 벼를 토양과 잡초와 구분할 수 있는 판별함수를 구하였으며, 판별함수는 1차 함수의 형태를 띠는 선형판별함수를 사용하도록 하였다.

SAS를 이용한 판별분석은 discrim 프로시저에 의해 수행하였으며, SAS에서의 입력데이터는 프로그램을 코딩하면서 입력하거나 데이터 파일 혹은 텍스트 파일 형식으로 입력할 수 있는데, 본 연구에서 분석에 사용한 입력데이터는 MS Excel에 의해 편집하였다. 입력데이터는 각 관측치마다 소속집단을 지정하는 변수를 포함하며, 위에서 설명한 251개 좌표에서의 반사율 값을 변수로 입력하였다. 본 연구에서는 MS Excel의 데이터를 그대로 입력받을 수 있는 명령어를 SAS 프로그램 코딩에 추가하여 분석하였다. 그림 1-2-3은 선정된 주요변수를 이용하여 판별분석을 수행하고, 동시에 다음에 설명하는 교차검증법(cross-validation)에 의해 분류모형을 검증하는 개략적인 과정을 나타낸 것이다.

4) 분류 모형의 검증

본 연구에서는 분류모형을 수립한 후 분류모형에 이용되는 판별함수의 타당성 및 설명력을 검증하였다. SAS에 의해 수립된 분류모형을 검증하는 방법은 두 가지가 있다. 첫째 방법은 수립된 분류모형에 대해 새로운 관측치를 입력하고 분류정확도 또는 오분류율을 구하여 검증하는 방법이며, 이는 일반적으로 관측치의 수가 충분히 많은 경우에 사용되는 방법이다. 둘째 방법은 교차검증법이다. 이 방법은 분류모형을 수립할 때, 관측치에서 하나씩 제외하여 분류모형을 구성하고 제외된 관측치를 검증에 사용하는 순서로 모든 관측치에 대해 검증을 수행하는 방법이다.

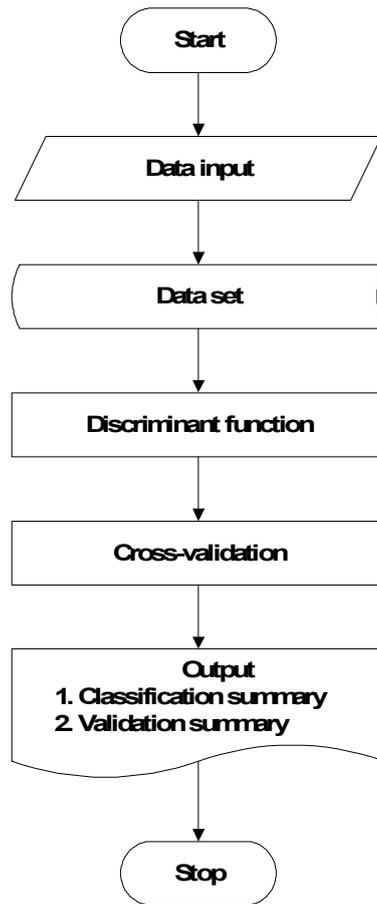


Fig. 1-2-3 Flowchart of the discriminant analysis and cross-validation

본 연구에서는 수립된 분류모형을 검증하는데 있어서 교차검증법을 사용하였으며, 이는 SAS에서 분류모형을 수립하는 판별분석을 실행할 때 crossvalidate 라는 명령어를 추가함으로써 그 수행이 가능하다.

5) 컬러 기계시각을 고려한 분류 모형 수립

본 연구에서는 앞서 제시한 변수선택법에 의해 선택된 파장에 의한 각 대상체의 구분 가능성 조사에 더하여 RGB 파장영역의 중심 파장에 대한 대상체 구분가능성을 파악하였다. 이것은 차후 개발할 잡초검출 시스템에서 컬러 CCD 카메라를 사용할 가능성이 있으므로, 그 사용 효과를 시험하기 위한 것이다. 일반적으로 컬러 CCD 카메라에서 영상을 촬영하기 위해 사용되는 CCD 소자는 RGB gray level로 영상신호를

취득하는데 가시광 영역에서 CCD의 광 반응 특성을 보면, 그림 1-2-4와 같이 적색(r), 녹색(g), 청색(b)에 대해 각기 민감한 광 반응을 보인다. 따라서 본 연구에서는 컬러 CCD 카메라가 민감하게 반응하는 red, green, blue의 중심 파장을 결정한 후, 토양과 식물체를 구분하기 위한 파장과 벼와 잡초를 구분하기 위한 파장을 결정하였다. 또한 선택된 파장을 이용하여 토양과 식물체, 벼와 잡초를 구분하기 위한 분류모형을 수립한 후 각 대상체를 분류한 결과를 통해 3가지 RGB 중심 파장에 의한 분류능력을 검증하였다.

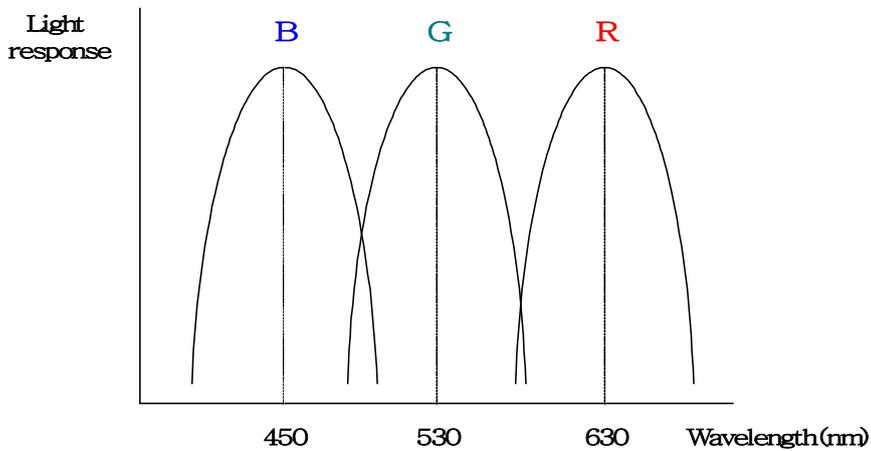


Fig. 1-2-4 Light response of color CCD camera

다. 결과 및 고찰

1) 잡초 검출에 유용한 광파장 결정

가) 벼와 잡초와 토양의 분광반사도 비교

본 연구에서 이앙 후 32일과 이앙 후 38일의 2회에 걸쳐 생육중인 벼와 잡초의 분광반사율을 측정된 결과인 생육시기별 벼와 잡초의 파장 400 - 900 nm 범위의 광반사율 스펙트럼의 공통적인 특징은 그림 1-2-5와 같이 가시광선 영역인 파장 400 - 700 nm의 녹색영역에서 반사율은 대체로 7% 내외이나 파장 550 nm 근처에서는 광반사율이 10 - 15% 정도로 약간 높은 결과였으며, 700 - 750 nm 영역에서는 광반사율이 40% 내외 수준으로 급상승한 다음 750nm 이상에서는 40%로서 대체로 일정한 수준이었다.

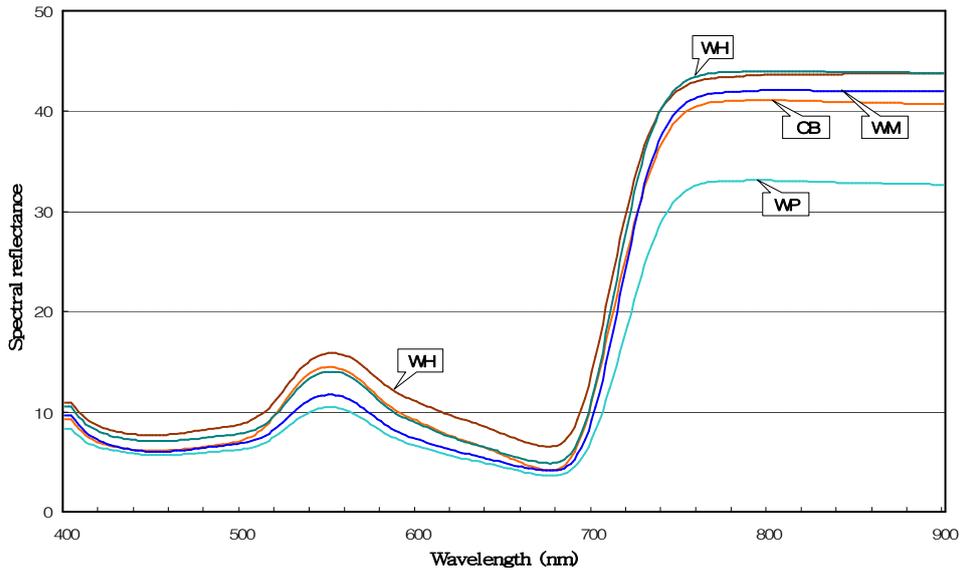


Fig. 1-2-5 Typical spectral reflectance of rice and weed leaves at 32 DAT
(CB: 동진벼, WP: 피, WM: 물달개비, WH: 한련초, WY: 여뀌바늘)

토양의 파장 400 - 900 nm 범위의 광반사율은 그림 1-2-6과 같이 토양의 함수율에 따라 상당한 큰 차이가 있어 함수율이 높을 수록 반사율이 급격히 감소함을 알 수 있다. 그리고 이러한 토양의 파장 400 - 900 nm 범위의 반사율은 상당부분 대역의 파장에 있어 그림과 같이 구분대상 식물체인 벼나 잡초와 뚜렷이 큰 차이를 보이고 있어서 벼와 잡초를 비롯한 식물체와 토양을 구분하는 것은 어렵지 않을 것으로 판단되었다.

이상의 대표적인 벼와 잡초와 토양의 분광 스펙트럼 비교 결과로 볼 때 벼와 잡초와 토양의 복합영상에서 잡초 영역을 분리하기 위해서는 먼저 토양과 식물체를 구분한 다음 식물체 영역에서 벼와 잡초를 구분하는 순서로 하는 것이 타당할 것으로 판단되었으며, 그러한 영상 영역 분리과정에서 효과적인 파장을 선택한 결과는 다음과 같다.

나) 토양과 식물체 구분을 위한 파장 선택

토양과 식물체를 구분하는데 유용한 파장을 선택하기 위해 사용한 단계적 변수선택법에 있어 입력 데이터는 함수율별의 토양과 앞서 설명한 2단계 성장단계별 벼와 6종 잡초의 분광반사율 관측치이다. 이러한 분광반사율 관측치는 파장 400 - 900 nm 사이의 광반사율 스펙트럼으로서 이는 2 nm 간격으로 수집한 분광반사율 자료이므로 총 251종의 파장에 있어서의 광반사율에 대한 수치자료로 구성되어 있다.

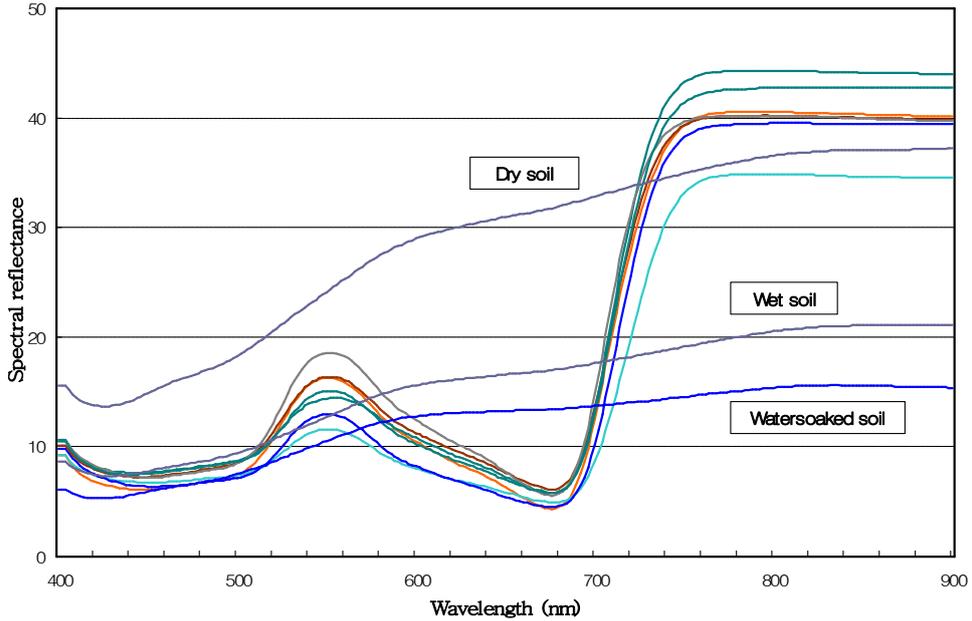


Fig. 1-2-6 Spectral reflectance of several soil types and plants

본 연구에서 단계적 변수선택과정은 이러한 251개 파장을 모두 독립변수로 가정한 다음 이 중 분석 목적에 효과적인 주요 변수 즉 주요 파장을 선택하는 작업이다. 본 연구는 전술한 함수율별 3종의 토양별로 토양과 식물체를 구분하는데 효과적인 파장을 찾는 단계적 변수선택 분석을 수행하였다.

이러한 단계적 변수선택 분석을 SAS 프로그램을 이용하여 수행한 결과를 예시한 것은 그림 1-2-7과 같다. 그림의 변수선택 결과는 총 31회의 단계(step)를 수행한 결과이며, 주요 변수가 선택되는 도중 단계 13, 14, 17, 22, 24, 28에서는 이전 단계에서 선택된 변수 X30(파장 458 nm), X246(파장 890 nm), X44(파장 486 nm), X199(파장 796 nm), X222(파장 842 nm), X40(파장 478 nm) 등 6개 변수가 제외되었음을 알 수 있다.

토양과 식물체를 구분하는데 주요한 파장을 찾기 위한 단계적 변수선택 분석 결과, 당초 251개의 변수 중 주요한 20개 가량의 변수가 각각 토양조건과 벼 생육시기별로 선택되었는데, 선택된 변수의 판별력과 밀접한 관계가 있는 F-검정의 유의수준은 모두 0.1% 미만으로 매우 유의한 것이었다.

함수율 수준으로 구분한 마른 토양, 배수 토양, 무논 토양과 벼의 2단계 생육시기별로 선택된 파장은 표 1-2-3과 같다. 이러한 선택 파장에 대해서는 그 중 좀더 효과적인 최소 수의 파장을 선별하기 위하여 각 벼 생육시기별로 선택된 파장들이 특정

과장대역에서 연속될 경우에는 그 중심이 되는 하나의 파장을 선택한 다음 각 토양별로 최종적으로 자주 선택된 단일의 파장을 결정하였는데 그 결과는 다음과 같다.

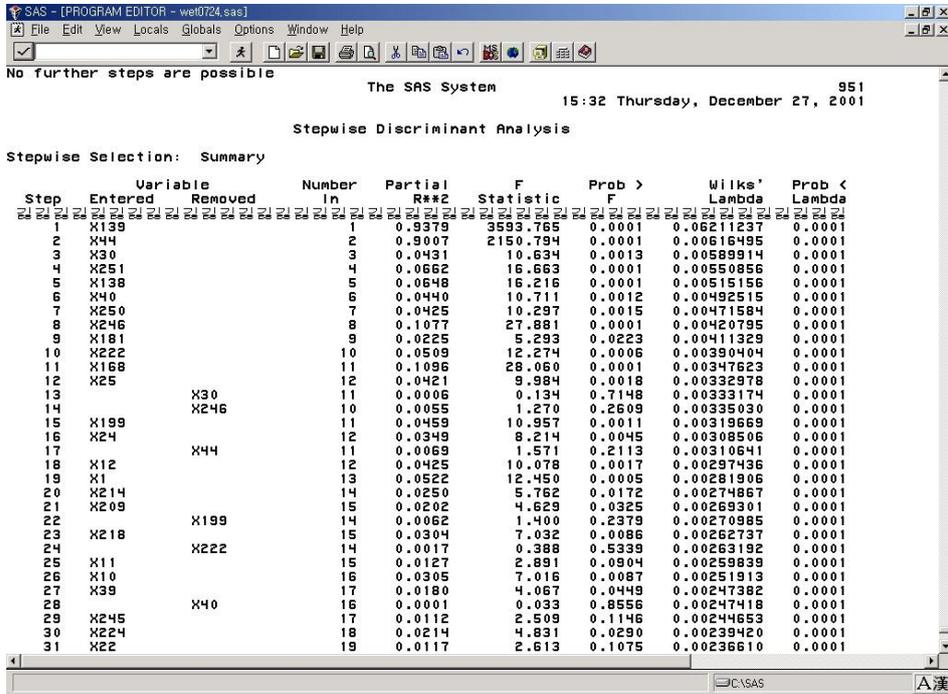


Fig. 1-2-7 A sample result of the stepwise variable selection using SAS

Table 1-2-3 Selected effective wavelengths to discriminate soil and plants regions in an image

	Dry soil	Wet soil	Watersoaked soil
	498		
이양 후 32	542 - 560	546 - 566	554 - 556
	674 - 684	674 - 680	610 - 612
			802
	498		
이양 후 38			554 - 556
	674 - 684	674 - 680	610 - 612
			802

영상처리장치에 의해 특정 파장의 정보를 얻기 위해서는 대부분의 경우 광학 필터를 이용하는 것이 용이할 뿐만 아니라 경제적이다. 본 연구목적에 맞는 광학 필터는 대역통과 필터(bandpass filter)인데, 이 필터의 종류는 그 중심파장(center wavelength)과 통과 대역폭(bandwidth)으로 구분되는데, 이 두 변수의 크기는 가시광선이나 근적외선 영역인 400 - 900 nm 범위에서 대부분이 10의 배수인 nm로 명시하므로 본 연구에서는 영상 구분에 유용한 파장을 찾는 데 있어 그 값을 10의 배수인 nm의 단위로 구하고자 하였다.

마른 토양의 경우 단계적 변수선택을 수행한 결과 2회의 실험시기에서 두드러지게 선택된 파장은 498 nm, 542 - 560 nm, 674 - 684 nm 이다. 선택된 3가지의 파장들은 모두 식물체의 광반사율과 현격한 차이를 보이고 있기 때문에 이들 파장 모두가 주요파장으로 사용될 수 있을 것이다. 그러나 같은 성능을 지니면서 저렴하고 효율적인 잡초검출 장치의 제작을 위해서는 구하고자 하는 파장수를 최소화하여야 하므로, 본 연구에서는 그림 6에서와 같이 이들 파장 중에서 식물체와 가장 큰 차이의 반사율을 나타내는 674 - 680 nm를 주요 파장대역으로 선택하였고, 이 파장 대역의 중심으로서 680 nm를 마른 토양에 대한 주요파장으로 결정하였다.

배수 토양을 식물체와 구분하기 위한 주요 파장선택 결과 각 실험시기별로 선택된 파장은 546 - 566 nm, 674 - 680 nm 이다. 이들 파장 중에서 2회의 실험시기에서 연속적으로 선택된 674 - 684 nm를 주요 파장으로 주목하였으며, 이 파장 대역의 중심으로서 680 nm를 배수 토양에 대한 주요 파장으로 결정하였다.

무논 토양의 주요 파장은 554 - 556 nm, 610 - 612 nm, 802 nm 등의 3 가지로 축약할 수 있다. 무논 토양의 경우 700 nm 미만의 파장은 그림 1-2-6과 같이 식물체와 큰 차이를 나타내지 않고 식물체와 가장 큰 차이를 나타내는 파장은 위의 3 가지 파장 중 802 nm이므로 800 nm를 무논 토양의 주요 파장으로 선택하였다.

다) 벼와 잡초 구분을 위한 파장 선택

벼 생육 영상 중 토양으로부터 분리한 식물체 영역에서 벼와 잡초를 구분하는데 효과적인 파장을 선택하기 위해 위에서 설명한 토양과 식물체 구분에 효과적인 파장을 찾는 작업과 유사한 방법으로 단계적 변수선택 작업을 수행하였으며 그 결과는 표 1-2-4와 같다. 표와 같이 단계적 변수선택 과정에 의해 선택된 파장은 상당히 많은 수이므로 그 중 효과적인 수 개의 파장만을 발췌하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 선택된 파장 중에서 574 - 584 nm, 676 - 678 nm, 806 - 814 nm와 같이 인접하여 연속적으로 선택된 파장을 주요 파장대역으로 선택하였으며, 이 주요 파장대역을 각각 대표하는 3종의 파장인 580 nm, 680 nm, 810 nm를 최종적인 주요파장으로 결정하였다.

Table 1-2-4 Selected wavelength to discriminate weed leaves from rice field scene

Selected wavelength (nm)							
32 DAT	526	574 - 584	608	650	676 - 678	806 - 814	
38 DAT	526	574 - 584	608		676 - 678	806 - 814	

벼와 잡초를 구분하는데 있어 선발된 3종의 주요 파장이 모두 사용될 필요는 없으며 가능한 그 파장 종류는 적을 수록 바람직하다. 본 연구에서는 이 3 종의 파장 중 1 개 단일의 파장, 2 개 파장조합, 3 개의 모든 파장을 사용하는 각각의 경우에 대하여 SAS 프로그램을 이용한 판별분석을 통해 분류모형을 수립하고 수립한 분류모형에 의한 분류능력을 조사하여 가장 우수한 분류능력을 보이는 파장 혹은 파장조합을 선택하고자 하였다. 이 최종 선택시 판단의 기준인 분류능력은 판별분석시 얻을 수 있는 오분류율(error count estimation)로부터 판단하였다. 이러한 방법으로 구한 오분류율의 비교 결과는 표 1-2-5와 같다.

Table 1-2-5 Error count estimation(%) of various combinations of the selected wavelengths to discriminate weed leaves from rice field scene by the discriminant analysis

Wavelength (nm)	580	680	810	580 680	580 810	680 810	580 680 810
	32 DAT	37.1	27.9	56.3	5.8	35.0	29.6
38 DAT	41.4	22.8	45.3	10.3	41.1	18.3	9.7

표 1-2-5와 같이 580, 680, 810 nm 각각 단일파장만을 분류모형에 사용한 결과의 오분류율은 2종 이상의 파장을 조합한 경우보다 모두 높게 나타났으며, 2종 이상의 파장 조합으로 구성하여 판별분석을 하였을 경우는 580 nm와 680 nm를 사용한 경우가 3종 파장을 모두 사용한 경우와 비슷한 수준의 오분류율을 보였다. 비슷한 수준의 오분류율인 경우 보다 적은 수의 파장을 사용하는 것이 효율적인 잡초검출 장치를 구성하는 것임은 명백하므로 벼와 잡초의 구분에는 580 nm와 680 nm 파장을 최종적으로 선택하였다.

2) 분류모형 수립과 수립 모형의 분류 성능분석

가) 토양과 식물체 분류모형과 그 성능분석

본 연구의 궁극적인 목적은 논 표면의 영상으로부터 잡초를 검출하는 것인데 이를 위하여 사용할 파장은 그 종류를 가능한 최소화해야 하고, 토양과 식물체의 구분보다 벼와 잡초 구분이 훨씬 어려운데 벼와 잡초 구분에 적합한 3종의 파장 중 하나가 810 nm인 점을 고려하면 무논에서 토양과 식물체 구분을 위해 선택한 적정 파장은 800 nm보다는 810 nm를 택하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 800 nm의 파장과 810 nm의 파장은 거의 같은 크기의 파장이기 때문에 토양과 식물체를 구분하는데 큰 차이가 없을 것으로 예상되고, 실제로 그림 1-2-6을 보면 800 nm와 810 nm의 파장은 토양과 식물체를 구분하는데 있어 거의 같은 수준의 분류성능을 보일 것임을 알 수 있다. 따라서 무논에 있어 토양과 식물체를 구분하는데 유용한 파장은 810 nm로 재조정하였다.

다른 토양과 배수 토양의 경우는 앞에서 설명한 680 nm의 광반사율을 이용하는 분류모형을 수립하였고, 무논에 대해서는 810 nm의 광반사율을 이용한 분류모형을 개발하였다. 이러한 분류모형은 SAS의 판별분석을 통해 각 토양 상태에 따라 토양으로부터 식물체를 구분하는 판별함수를 구하는 방법으로 구한 것으로서 본 연구에서 구한 분류모형의 상수(constant)와 계수(coefficient)는 표 1-2-6과 같다.

Table 1-2-6 Constants and coefficients of discriminant function to discriminate soil and plants (X_{680} , X_{810} : reflectance of light of wavelengths 680 and 810 nm, respectively)

		Plants	Soil
Dry soil	constant	-10.41	-420.72
	X_{680}	4.15	26.35
Wet soil	constant	-10.79	-124.50
	X_{680}	4.29	14.59
Watersoaked soil	constant	-58.60	-8.51
	X_{810}	2.88	1.10

위 표에서 제시하고 있는 상수와 계수는 각각의 토양 조건에서 토양과 식물체를 구분하기 위한 분류모형의 상수와 계수로서, 참고로 이를 이용한 함수를 다른 토양에 대해 나타내면 다음과 같다. 이러한 함수는 토양과 식물체를 구분하는 판별함수의 기

조합수이며 향후 이를 이용하여 토양과 식물체를 구분하는 영상처리 알고리즘을 개발할 수 있다.

$$L_{Plants} = -10.41 + 4.15 \cdot X_{680} \quad \text{-----} \quad (1-2-2)$$

$$L_{Soil} = -420.72 + 26.35 \cdot X_{680} \quad \text{-----} \quad (1-2-3)$$

SAS의 판별분석에는 위에서 구한 분류모형을 이용하여 임의 실험자료를 판별하는 기능이 있다. 본 연구에서는 SAS의 이러한 기능에 교차검증법(이상의 분류모형을 구하는데 이용한 실험자료를 적용하여 수립한 분류모형을 검증)을 적용하여 위의 분류모형을 검증하였으며, 마른 토양의 실험결과를 이용하여 그 과정을 예시한 것은 그림 1-2-8과 같다. 즉 그림에서 토양과 식물체로 구분된 각 측정치의 원래 소속집단(from group)과 판별 후 소속집단(classified into group)인 판별결과를 볼 수 있다.

Obs	From GROUP	Classified into GROUP	Posterior Probability of Membership in GROUP:	
			plants	soil
132	plants	plants	1.0000	0.0000
133	plants	plants	1.0000	0.0000
134	plants	plants	1.0000	0.0000
135	plants	plants	1.0000	0.0000
136	plants	plants	1.0000	0.0000
137	plants	plants	1.0000	0.0000
138	plants	plants	1.0000	0.0000
139	plants	plants	1.0000	0.0000
140	plants	plants	1.0000	0.0000
141	plants	plants	1.0000	0.0000
142	plants	plants	1.0000	0.0000
143	plants	plants	1.0000	0.0000
144	plants	plants	1.0000	0.0000
145	plants	plants	1.0000	0.0000
146	plants	plants	1.0000	0.0000
147	plants	plants	1.0000	0.0000
148	plants	plants	1.0000	0.0000
149	plants	plants	1.0000	0.0000
150	plants	plants	1.0000	0.0000
151	soil	soil	0.0000	1.0000
152	soil	soil	0.0000	1.0000
153	soil	soil	0.0000	1.0000
154	soil	soil	0.0000	1.0000
155	soil	soil	0.0000	1.0000
156	soil	soil	0.0000	1.0000
157	soil	soil	0.0000	1.0000
158	soil	soil	0.0000	1.0000
159	soil	soil	0.0000	1.0000
160	soil	soil	0.0000	1.0000
161	soil	soil	0.0000	1.0000
162	soil	soil	0.0000	1.0000
163	soil	soil	0.0000	1.0000

Fig. 1-2-8 Resubstitution results using linear discriminant function of SAS for classification of dry soil and plants

이와 같이 SAS를 이용하여 교차검증법으로 수립한 모형을 검증(각 토양별 검증에 사용된 실험자료 수는 토양과 식물체에 있어 각각 30개와 360개)한 결과 모든 경우

토양과 식물체는 완전히 구분되는 것으로 나타났다. 따라서 다른 토양과 배수 토양에서 주요 파장으로 결정된 680 nm와 무논 토양에서 결정된 810 nm는 차후 잡초검출 장치를 구성하여 토양으로부터 식물체를 구분해 내는데 매우 유용하게 사용될 것으로 판단되었다.

나) 벼와 잡초 분류모형과 그 성능분석

벼와 잡초를 구분하기 위하여 본 연구에서 구한 주요 파장인 580 nm와 680 nm를 이용하여 앞에서 토양과 식물체를 구분하는 판별함수를 찾는 방법과 동일한 방법으로 SAS 프로그램을 사용하여 판별분석을 통해 벼와 잡초를 구분하는 분류모형을 구하였으며 그 결과인 판별함수의 상수(constant)와 계수(coefficient)는 표 1-2-7에 제시한 바와 같다.

Table 1-2-7 Constants and coefficients of discriminant function to discriminate rice and weeds (X_{580} , X_{680} : reflectance of light of wavelengths 580 and 680 nm, respectively)

	Rice	Weeds
constant	-20.27	-15.54
X_{580}	5.03	2.96
X_{680}	-4.30	-0.33

SAS에 의한 판별분석으로 각 관측치를 분류모형에 의해 벼와 잡초로 판별한 결과를 예시한 것은 그림 1-2-9와 같다. 그림은 위와 마찬가지로 각 관측치에 대하여 원래의 소속집단(from group)과 판별 후 소속집단(classified into group)을 보여주고 있으며, * 표시가 나타난 관측치는 오분류된 것을 나타낸다. 또한 벼(rice)와 잡초(weeds) 판별함수의 판별함수 점수도 함께 제시되고 있다.

토양과 식물체를 구분하는 분류모형 검증방법과 마찬가지로 벼와 잡초를 구분하는 분류모형을 교차검증법을 적용하여 검증(검증에 사용된 실험자료 수는 벼와 잡초에 있어 각각 60개와 300개)한 결과는 표 1-2-8과 같다. 표와 같이 벼의 경우는 60개의 관측치 중 하나가 잡초로 오분류되어 분류정확도는 98.3%로 나타났다. 잡초의 경우는 300개의 관측치 중 51개의 관측치가 벼로 오분류되어 분류정확도는 83%로 나타나, 본 연구에서 벼와 잡초를 구분하기 위해 구한 주요 파장과 그를 이용하여 구한 분류모형의 기능은 우수한 것으로 판단되었다.

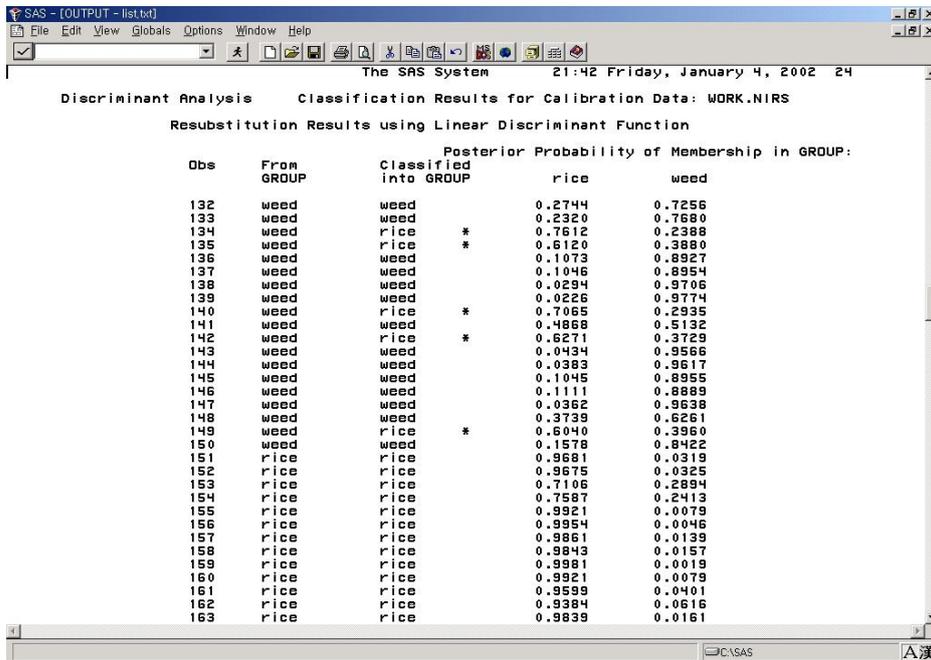


Fig. 1-2-9 Resubstitution results using linear discriminant function of SAS for classification of rice and weeds

Table 1-2-8 Classification result by the constructed classification model for rice and weeds (number in parenthesis is number of observation)

		To	
		Rice	Weeds
From	Rice	98.3% (59)	1.7% (1)
	Weeds	17% (51)	83% (249)

3) 컬러 기계시각을 고려한 분류 결과

컬러 CCD 카메라의 영상은 RGB 3 가지 화면의 조합으로 구성되는데 각 RGB 화면은 렌즈에 입사한 영상을 일종의 RGB 광학 필터로 분리하여 구성한다. 따라서 각 RGB 화면의 영상 자료는 RGB에 대한 분광 반사율 정보이므로 이를 이용하면 벡

재배 영상으로부터 잡초를 검출할 수도 있다. 본 실험은 그 가능성을 확인하기 위한 목적으로 수행하였다.

RGB 각 화면을 얻는 필터의 중심파장은 컬러 카메라에 따라 약간씩 차이가 있는데, 이를 조사한 결과 대체로 R화면의 중심파장은 630 nm, G화면은 530 nm, B화면은 450 nm인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 이 3 종의 파장을 이용한 잡초 검출의 가능성을 앞에서 설명한 분류모형 수립과 수립한 모형의 검증방법으로 타진하였으며 그 결과는 다음과 같다.

가) 토양과 식물체 분류모형 및 분류결과

토양과 식물체를 구분하기 위하여 수립한 분류모형에 있어 RGB 화면 중 R화면에 해당하는 630 nm를 사용하였다. 그 이유는 앞서 제시한 그림 1-2-6에서 배수 토양과 무논 토양의 반사도가 G화면에 해당하는 530 nm와 B화면에 해당하는 450 nm에서 식물체의 반사도와 거의 일치하여 양자의 구분이 용이하지 않을 것으로 예상되었기 때문이다. 630 nm 파장을 이용하여 토양과 식물체를 구분하기 위해 수립된 분류모형의 상수와 계수는 표 1-2-9와 같다.

Table 1-2-9 Constants and coefficients of discriminant function to discriminate soil and plants (X_{630} : reflectance of light of wavelengths 630 nm)

		Plants	Soil
Dry soil	constant	-12.73	-219.09
	X_{630}	3.49	14.47
Wet soil	constant	-12.96	-64.42
	X_{630}	3.55	7.91
Watersoaked soil	constant	-13.06	-42.32
	X_{630}	3.58	6.44

이상의 판별함수를 이용하여 SAS로부터 토양과 식물체를 구분한 결과를 마른 토양, 배수 토양, 무논 토양별로 나타낸 것은 각각 표 1-2-10, -11, -12와 같다.

마른 토양의 경우는 토양과 식물체를 완전히 구분하는 것으로 나타났으며, 배수 토양의 경우 식물체 관측치 하나가 토양으로 오분류되는 것으로 나타났지만 전체적인

관측치 수가 360개라는 것을 감안한다면 그 비율은 미미한 것이므로 배수 토양의 경우도 거의 구분이 가능한 것으로 판단할 수 있다. 무논 토양의 분류결과에서 식물체는 96%, 토양은 100%로 구분이 가능하였는데, 무논 토양의 분광반사도가 630 nm에서 식물체의 분광반사율에 근접하기 때문에 다른 토양상태의 분류정확도 보다 약간 낮은 것으로 판단되었다. 이상의 결과로 볼 때 컬러 CCD 카메라의 R화면에 의한 토양과 식물체 구분 가능성은 충분한 것으로 판단되었다.

Table 1-2-10 Classification result by the constructed classification model for dry soil (number in parenthesis is number of observation)

From \ To	Plants	Soil
Plants	100% (360)	0% (0)
Soil	0% (0)	100% (30)

Table 1-2-11 Classification result by the constructed classification model for wet soil (number in parenthesis is number of observation)

From \ To	Plants	Soil
Plants	99.7% (359)	0.3% (1)
Soil	0% (0)	100% (30)

Table 1-2-12 Classification result by the constructed classification model for watersoaked soil (number in parenthesis is number of observation)

From \ To	Plants	Soil
Plants	96.1% (346)	3.9% (14)
Soil	0% (0)	100% (30)

나) 벼와 잡초 분류모형 및 분류결과

벼와 잡초의 구분은 비교적 어려운 작업으로서 분류성능을 높이기 위해서는 RGB 3 중 화면의 정보를 모두 사용하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 앞에서와 같이 경우에 따라서는 RGB 3 중 화면 정보 중 2 중 화면 정보만으로도 3 중 화면 정보가 갖는 분류성능을 나타낼 수도 있을 것이다. 이러한 가정의 정당성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 3 종의 RGB 중심파장으로부터 단일 파장, 2 중 파장의 조합, 3 중 파장을 사용하였을 때의 분류 성능을 구하여 비교하였다. 분류 성능의 비교는 여러 가지 파장조합에 대해 판별분석을 통해 분류모형을 구하고 분류모형에 의한 분류결과에서 오분류율을 조사하는 과정으로 수행하였으며 그 결과는 표 1-2-13과 같다.

Table 1-2-13 Error count estimation(%) of various combinations of the RGB center wavelengths to discriminate weed leaves from rice field scene by the discriminant analysis

Wavelength (nm)	450	530	630	450 530	450 630	530 630	450 530 630
32 DAT	31.7	27.3	47.5	9.2	12.5	11.7	3.8
38 DAT	19.4	35.9	56.7	19.2	20	10.9	10.9

표 1-2-13은 3 종의 RGB 중심파장을 이용하여 실험시기별로 벼와 잡초의 구분을 시도한 결과인데, 450, 530, 630 nm의 파장을 모두 분류모형 수립에 사용한 경우가 오분류율이 가장 낮으므로 벼와 잡초를 구분하는데 가장 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 530 nm와 630 nm의 파장조합으로서 그 최대 오분류율이 11.7%로서 3개 파장을 모두 사용한 경우보다 오분류율은 높지만 차후 보다 간단한 잡초검출 알고리즘을 구현할 수 있다는 점을 고려한다면 530 nm와 630 nm의 파장조합도 효율적인 선택이 될 수 있을 것으로 판단하였다. 이에 따라 본 연구에서는 벼와 잡초를 구분하기 위한 파장조합으로서 530, 630 nm와 450, 530, 630 nm의 조합을 선정하였으며, 이들 두 가지 파장조합의 분류모형의 상수와 계수를 구한 결과는 각각 표 1-2-14, -15와 같다.

토양과 식물체를 구분하는 분류모형 검증방법과 마찬가지로 벼와 잡초를 구분하는 분류모형을 교차검증법을 적용하여 검증(검증에 사용된 실험자료 수는 벼와 잡초에 있어 각각 60개와 300개)한 결과는 표 1-2-16, -17과 같다. 표와 같이 컬러 CCD 카메라의 R화면과 G화면을 이용한 경우를 가정한 경우로서 파장 530 nm와 630 nm의 반사율을 이용하여 벼와 잡초를 구분한 결과, 벼는 모두 정확히 구분하였지만 잡초는

79%만이 잡초로 인식하고 21%는 벼로 오분류한 결과를 보였다. 반면 RGB 3 중 화면의 정보를 모두 이용한 경우를 가정된 경우로서 파장 450, 530, 630 nm의 반사율을 이용하여 벼와 잡초를 구분한 결과 벼는 95%가 벼로 구분되었고 5%는 잡초로 오분류되었으며, 잡초는 85%를 잡초로 인식하고 15%는 벼로 오분류한 결과를 보였다.

Table 1-2-14 Constants and coefficients of discriminant function to discriminate rice and weeds using 530 and 630 nm wavelengths (X_{530} , X_{630} : reflectance of light of wavelengths 530 and 630 nm)

	Rice	Weeds
constant	-50.42	-35.35
X_{530}	18.20	14.21
X_{630}	-17.82	-13.20

Table 1-2-15 Constants and coefficients of discriminant function to discriminate rice and weeds using 450, 530 and 630 nm wavelengths (X_{450} , X_{530} , X_{630} : reflectance of light of wavelengths 450, 530 and 630 nm)

	Rice	Weeds
constant	-83.89	-81.42
X_{450}	21.57	25.30
X_{530}	21.93	18.58
X_{630}	-33.29	-31.35

Table 1-2-16 Classification result by the constructed classification model for rice and weeds using 530 and 630 nm wavelengths (number in parenthesis is number of observation)

From \ To	Rice	Weeds
Rice	100% (60)	0% (0)
Weeds	21% (63)	79% (237)

Table 1-2-17 Classification result by the constructed classification model for rice and weeds using 450, 530 and 630 nm wavelengths (number in parenthesis is number of observation)

From \ To	Rice	Weeds
Rice	95% (57)	5% (3)
Weeds	15% (45)	85% (255)

이상의 두 경우를 비교하면 3 종의 파장(450, 530, 630 nm) 반사율 정보를 이용한 경우가 2 종의 파장(530, 630 nm) 반사율 정보를 이용한 경우에 비하여 잡초 구분 성능은 6%가 우수하나 벼의 경우 오분류 경우가 5%가 되어 3 종 파장의 반사율을 이용한 경우가 2 종 파장 반사율을 이용한 경우보다 결코 우수하다고 할 정도는 아닌 것으로 나타났다. 이상의 실험은 컬러 카메라를 직접 이용한 실험이 아니고 일종의 간접 실험이므로 위의 두 경우의 분류 성능은 실제의 실험을 통하여 판단하는 것이 필요한 것으로 판단되었다. 다만 본 간접 실험을 통하여 컬러 카메라를 이용한 잡초 검출은 가능할 것임을 확인할 수 있었다.

라. 결론

본 연구는 수도작에서 토양과 식물체의 분광반사특성과 영상처리를 이용한 기계식 각 잡초검출 센서를 개발하기 위한 기초연구로서 본 연구에서는 분류하고자 하는 대상체들의 분광반사율을 조사하여 주요한 파장을 선정하고 선정된 파장을 이용한 판별 분석을 통해 각 대상체에 대한 분류정확도를 중심으로 잡초검출 가능성을 조사하기 위하여 수행하였다.

토양의 분광특성은 잡초 방제시 예상되는 논의 상태인 건답, 배수답, 무논 등에 대한 적응성을 고려하여 각 토양 상태와 상응하는 함수율 조건에 따라 그 분광반사율 자료를 수집하였으며, 벼와 잡초는 실제 수도작에서 자라고 있는 시료를 공시재료로 하여 두 차례의 이앙 후 시기인 이앙 후 32와 이앙 후 38에 있어 분광반사율을 측정하였다. 주요 파장을 선정하기 위해 사용한 분석 방법은 다변량 통계분석 방법인 판별 분석의 단계적 변수선택법이며, 선택된 주요파장의 분류능력을 검증하기 위하여 판별 분석을 통하여 선택된 파장을 중심으로 분류모형을 수립한 후 교차검증법을 적용하여 검증과정을 수행하였다.

본 연구에서 설정한 잡초검출 방법은 먼저 토양과 식물체(벼와 잡초를 포함)를 구분한 다음, 토양을 배제한 상태에서 벼와 잡초를 구분하는 과정으로 하였다. 따라서 주요 파장은 토양과 식물체 구분을 위한 주요 파장과 벼와 잡초 구분을 위한 주요 파장으로 나누어 조사하였다.

본 연구는 컬러 CCD 카메라를 사용하여 잡초검출 센서를 구성할 경우를 대비하여 RGB 화면의 중심파장인 450, 530, 630 nm의 파장에 대한 분류능력도 시험하였으며 이상의 실험으로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 토양과 식물체를 구분하는데 효과적인 파장은 마른 토양과 배수 토양의 경우 680 nm, 무논 토양에 있어서는 810 nm, 토양을 배제한 후 벼와 잡초를 구분하기에 효과적인 파장은 580, 680 nm로 결정하였다.

2. 토양과 식물체를 구분하기 위한 분류모형을 수립하였으며, 이를 이용하여 교차검증한 결과 3가지 토양상태 모두 식물체와 완전히 구분 가능한 것으로 나타났다. 벼와 잡초를 구분하기 위한 분류모형 또한 수립하여 그 정당성을 검증한 결과, 벼는 98%의 분류정확도로 구분이 가능하였고, 잡초는 83%의 분류정확도로 구분이 되는 것으로 나타났다. 따라서 차후 분광학적 원리를 이용한 센서를 제작할 때 본 연구에서 선택한 주요 파장과 분류모형을 이용하여 장치를 구성하고 알고리즘을 제작한다면 벼, 잡초, 토양을 효과적으로 구분이 가능할 것으로 판단되었다.

3. 컬러 CCD 카메라를 사용하는 경우에 있어 식물체와 토양을 구분하기 위해 3종의 파장 중 630 nm 파장만의 이용을 고려하여 그 분류성능을 분석한 결과, 식물체와 토양의 구분은 마른 토양에서는 완전히 가능하였고 배수 토양과 무논 토양에서는 소수의 식물체가 토양을 오분류되는 것으로 나타나 차후 컬러 CCD 카메라를 이용하여 식물체와 토양을 구분하고자 할 경우 식물체와 토양의 구분은 용이할 것으로 판단되었다.

4. 컬러 CCD 카메라를 사용하여 벼와 잡초의 구분은 가능하므로 이를 이용한 잡초검출은 충분히 가능할 것임을 본 간접 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 다만 그 분류성능은 실제의 실험을 통하여 판단하여야 할 것으로 판단되었다.

3. 태양광 영향 최소화 방법 결정

가. 재료 및 방법

1) 실험장치 및 재료

가) 실험장치

본 연구에서 사용한 기계시각장치는 흑백 CCD 카메라, 카메라가 포착한 영상 신호(아날로그 신호)를 디지털 컴퓨터가 처리할 수 있는 A/D 변환기를 내장한 영상처리용 하드웨어, 컴퓨터 시스템, 영상 출력용 모니터 등으로 구성하였다.

본 연구에서 사용한 흑백 CCD 카메라는 국내 Unimo사에서 제작한 2종의 카메라(BCE-142F, BCE-341IA)로서 이들의 차이점은 BCE-341IA가 BCE-142F에 비하여 최근 개발 기종으로서 최저 조도 0.03 Lux에서도 촬영이 가능한 고감도 카메라이며 자체의 정밀한 자동 이득 조절장치(automatic gain contro; AGC)를 갖고 있는 점이다(이하 BCE-142F는 저감도 카메라, BCE-341IA는 고감도 카메라로 명명함). 이들은 셔터 속도를 1/60 ~ 1/10,000 sec 범위에서 조절이 가능하며, 시간당 포착하는 영상 수는 셔터 속도에 관계없이 30 frame/sec이다. 사용한 카메라는 수동 조리개 조절 렌즈(수동 렌즈; Avenir, Japan)와 자동 조리개 조절 렌즈(자동 렌즈; Avenir, Japan)를 사용할 수 있는데, 수동 렌즈는 $f = 8 \text{ mm}$, F1.3 그리고 자동 렌즈는 $f = 8.0 \text{ mm}$, F1.2의 렌즈를 사용하였다.

영상처리용 하드웨어는 Canada Matrox사의 Meteor-II/MC로서 PCI (Peripheral Component Interconnect) BUS를 사용하며, 이는 카메라에 포착한 영상신호를 저장하고 처리하는 장치로서 4 MB의 자체 frame buffer memory를 보유함으로써 영상을 저장할 수 있는 구조의 것이다. 이 하드웨어는 제작회사에서 영상처리용 소프트웨어인 Matrox Inspector 2.2와 각종 함수의 모음인 소프트웨어인 MIL(Matrox Image Library)을 제공하여 사용자가 이를 이용하여 필요한 알고리즘을 개발할 수 있도록 되어 있다.

사용한 영상처리용 컴퓨터는 433 MHz의 작동 속도를 갖는 Pentium III로서, 8 GB의 하드디스크와 128 MB의 RAM을 갖는 것이었다.

나) 실험재료

기계시각에 의해 포착한 물체의 영상은 물체 표면의 광반사 특성과 조명광의 조도(illuminance, Lux 단위 사용) 수준에 의해 형성된다. 태양광의 다양한 조도 하에 카메라가 수집한 물체의 영상자료에서 조도 영향을 최소화하는 방법을 모색하기 위한 본 연구는, 하드웨어에 따른 조도 영향을 조사하기 위하여 수동 렌즈와 자동 렌즈에 따른 “렌즈 비교실험”과 카메라의 감도 차이에 따른

“카메라 비교실험”으로 구분하여 수행하였다.

렌즈 비교실험은 BCE-142F 카메라를 사용하고, 실험 재료는 태양광 조도를 간접적인 방법으로 관찰하기 위한 실험실용 표준반사체(reference reflectance standard, Labsphere. U.S.A.)인 반사도 99%의 백색 표준반사체와 반사도 20% 표준반사체를 선정하였고, 식물 잎 색상차이 검출 등에 기계시각의 사용을 고려하여 식물 잎 대신 녹색지(L=57.24, a=-33.83, b=18.54)를 선택하였으며, 농업 목적의 토양 관찰을 고려하여 건조 토양과 목판을 실험재료로 선택하여 사용하였다.

카메라 비교실험은 자동 렌즈를 장착한 두 종류(BCE-142F와 BCE-341IA) 카메라를 사용하여 실험하였는데, BCE-142F 카메라의 성능은 위의 렌즈 비교 실험 결과를 사용하였고, BCE-341IA 카메라는 반사도 99%의 백색 표준반사체와 반사도 20% 표준반사체 및 2 종의 녹색지(녹색지 #1; L=57.15, a=-33.98, b=18.90, 녹색지 #2; L=50.36, a=-27.06, b=14.14)를 실험재료로 사용하였다.

2) 실험 방법

가) 실험시 조도 범위 결정

위에서 선정한 실험재료를 대상으로 본 연구에서는 모든 영상을 야외의 태양광 아래에서 수집하도록 계획하였다. 영상 수집에 앞서 본 연구에서는 먼저 영상 수집시 태양광의 조도 변화 정도를 파악하였는데, 이는 전남대학교 실습농장에서 수년간 수집하여 온 기상자료를 활용하였다. 이 기상자료에서 태양광의 세기는 quantum량($\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ 단위 사용)과 복사에너지(W/m^2 단위 사용)의 크기로서 본 연구에서는 이러한 태양광의 세기와 조도와 관계를 구하여 기 수집한 기상자료로부터 태양광의 조도 변화 범위를 파악하였다.

태양광의 세기와 조도와 관계는 조도계(model DX-100, Digital Lux Meter, Takemura Elec. Co., Japan)를 사용하여 실습농장의 태양광의 세기와 동시에 실시간으로 태양광의 조도 변화를 측정하여 비교하는 방법으로 구하였는데, 그 결과 실습농장에서 측정한 quantum량과 조도계로 측정한 조도값과의 상관관계수는 그림 1-3-1과 같이 0.974로 높은 상관관계를 보였다.

이를 이용하여 여름철 태양광 세기로부터 본 연구에서 실험할 태양광의 조도 범위를 구하였으며 그 결과 실험할 조도 범위는 10 kLux ~ 110 kLux인 것으로 판단하였다.

나) 실험 방법

본 연구의 렌즈 비교실험과 카메라 비교실험은 모두 2 반복하였고, 실험시 사용한 카메라의 설정 방법은 다음과 같다.

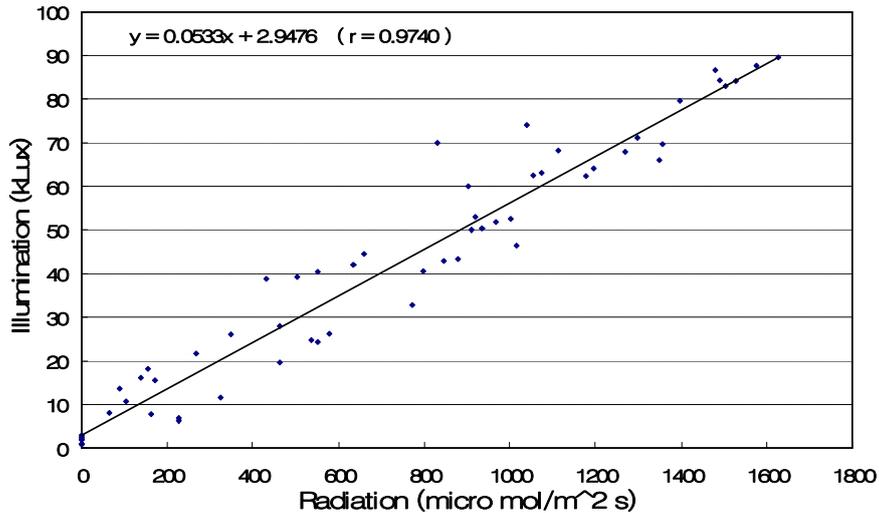


Fig. 1-3-1 Relationship between photometric illumination and radiation of sun during summer time

수동 렌즈를 장착한 카메라에 의한 영상 수집은 적절한 조리개 개도와 셔터 속도를 선택하여야 하는데, 사용한 영상수집 하드웨어에 의한 최대 화소값은 255로서 수동 렌즈를 장착한 카메라에 의한 영상 수집시 조리개 개도와 셔터 속도는 110 kLux 조도 하에서 반사율 99% 표준 반사체의 화소값이 255 이하가 되도록 설정하였다. 이를 고려한 예비실험 결과 수동 렌즈 카메라의 셔터 속도는 1/2,000 sec, 조리개 개도는 16 정도로 하였다.

자동 렌즈를 장착한 카메라의 경우 조리개의 개도는 외부 광선의 변화에 따라 자동으로 조정되므로 이 경우에는 카메라의 셔터 속도만 결정하면 되는데, 본 연구에서는 셔터 속도를 1/60 sec 로 하여 모든 자동 렌즈 카메라의 영상을 수집하였다. 모든 영상 수집시 카메라와 피사체 거리는 600 mm를 유지하였다. 참고로 카메라로 수집한 영상의 한 예를 보면 그림 1-3-2와 같다.

영상 수집시 조도의 영향을 최소화하는 방법을 구하기 위하여 본 연구에서는 99% 표준반사체를 기준반사체로 설정하고 각 실험재료의 평균화소값을 표 1-3-1과 같은 6 가지 지수(이하 “조도보정지수”라 칭함) 계산식에 대입하여 임의 실험재료의 평균화소값을 기준반사체의 평균화소값에 대한 상대적인 화소값(이하 “상대적 화소값”으로 칭함)으로 변환하는 방법을 선택하였다. 여기서 보인 6 가지의 조도보정지수 산출식은 예비 분석과정에서 선발된 가장 가능성이 높은 것들이다.

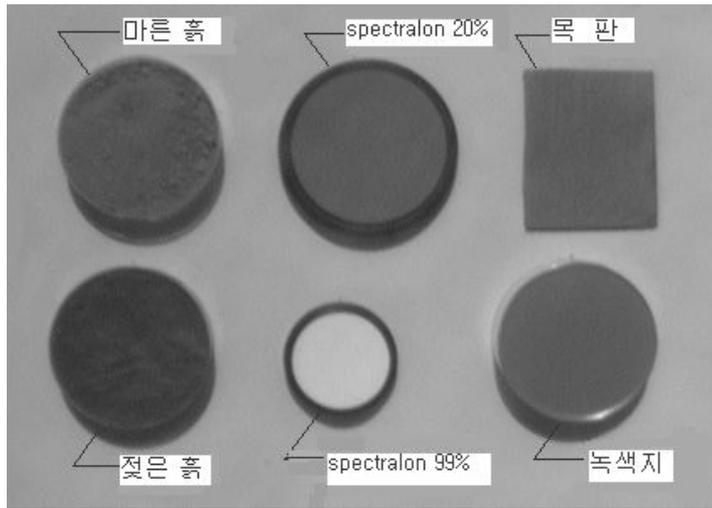


Fig. 1-3-2 A sample image of experimental objects by the b/w CCD camera

Table 1-3-1 Various indices tested to obtain illumination compensated pixel value using the 99% reference reflectance standard (RRS) where A is mean pixel value of the 99% RRS and B is pixel value of an image

Index 1 = B/A	Index 4 = $(A+B)/B$
Index 2 = $(A-B)/(B+A)$	Index 5 = $(A-B)/A$
Index 3 = $(A+B)/A$	Index 6 = $(A-B)/B$

본 연구에서는 이러한 6 가지 조도보정지수 중 가장 조도영향을 최소화하는 지수를 선정하는데 있어, 다양한 조도하에서 얻은 실험대상 물체 영상의 화소값에 각 조도보정지수를 적용하여 상대적 화소값을 구한 다음 이 상대적 화소값의 변이계수(coefficient of variation; CV)를 다음 식에 의해 구하고 그 결과를 비교하여 최소의 변이계수를 보인 조도보정지수를 선택하는 방법으로 하였다.

$$CV(\%) = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad \text{-----} \quad (1-3-1)$$

여기서, s = 조도별 화소값의 표준편차

\bar{X} = 조도별 화소값의 평균값

나. 결과 및 고찰

1) 수동 렌즈-저감도 카메라의 성능

흑백 CCD 카메라로 수집한 영상에서 각 실험재료의 광 반사특성은 화소값(gray scale)으로 나타난다. 본 연구에서는 다양한 조도하에서 수동 렌즈를 장착하여 반사도 99%인 백색의 표준반사체와 반사도 20%의 표준반사체, 특정의 녹색지, 마른 흙, 목판을 대상으로 영상을 수집한 다음, Matrox사(Canada)가 제공하는 영상분석 소프트웨어인 Inspector 2.2를 사용하여 각 실험재료 영상에서 관심영역(region of interest; 이하 ROI라 약칭)를 정하고 이 ROI 내 화소값의 평균치를 구하여 각 실험재료의 평균화소값으로 하였다. 이러한 실험결과를 실험재료별로 나타낸 것은 그림 1-3-3과 같다.

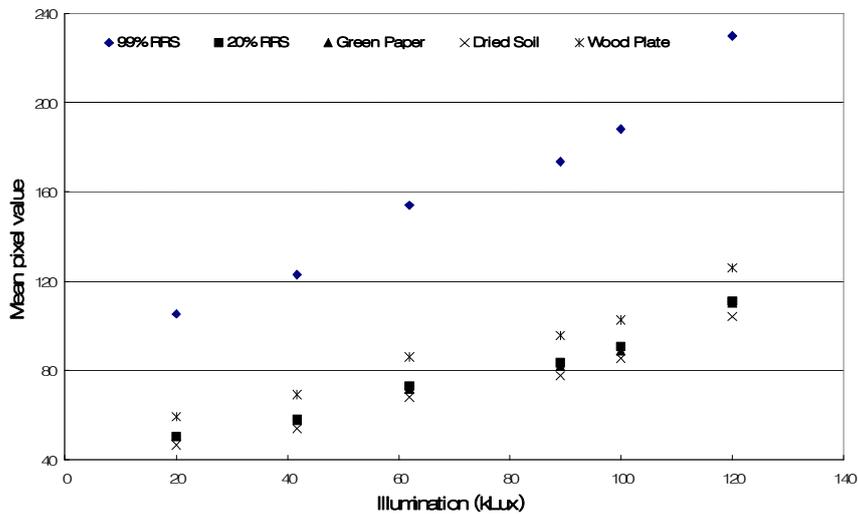


Fig. 1-3-3 Variation of pixel value of tested materials at various illumination conditions - images taken by a low sensitive camera with a manual iris lens

그림과 같이 모든 실험재료의 평균화소값은 조도 증가에 따라 증가하는 결과를 보였고, 그 증가정도를 보면 20% 표준반사체의 경우 조도 수준이 18.2

kLux에서 101.6 kLux로 증가할 경우 평균화소값은 59.9에서 104.2로 약 2배 증가하는 결과를 보여 흑백 영상에서 영상 수집시 조도를 고려하지 않고 평균 화소값만에 의한 반사체의 구별은 불가능함을 알 수 있다.

영상 수집시 조도의 영향을 최소화하는 방법을 구하기 위하여 99% 표준반사체를 기준반사체로 설정하고 각 실험재료의 평균화소값에 표 1-3-1과 같은 6 가지 조도보정지수 계산식을 대입하여 실험재료의 상대적 화소값으로 변환하였다. 변환한 화소값의 한 예로서 그림 1-3-4는 실험한 20% 표준반사체의 화소값을 대상으로 하여 6 가지 조도보정지수 계산식으로 구한 상대적 화소값을 나타낸 것이다.

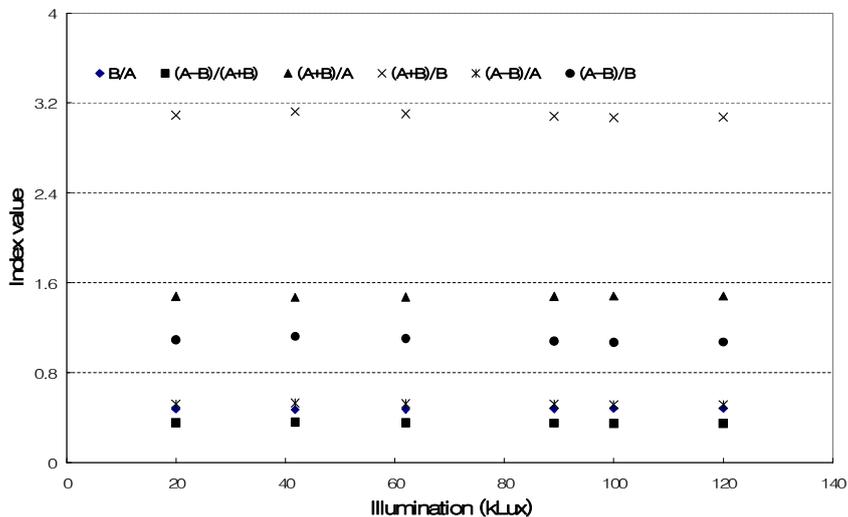


Fig. 1-3-4 Variation of the index values obtained from the pixel values of the 20% RRS at various illumination conditions - images taken by a low sensitive camera with a manual iris lens

그림과 같이 조도보정지수로 변환한 상대적 화소값의 조도 변화에 따른 변화는 대폭 감소하였음을 알 수 있다. 6 가지 조도보정지수 중 가장 우수한 결과를 나타내는 것을 찾고자 각 조도보정지수간 상대적 화소값의 변이계수를 비교하여 최소의 변이계수 값을 나타내는 조도보정지수를 결정하고자 하였다.

이에 따라 각 조도보정지수에 의해 변환한 각 실험재료의 평균화소값으로부터 구한 변이계수 값은 표 1-3-2와 같다. 표와 같이 6 가지 조도보정지수 중 가장 최소의 변이계수를 보인 것은 3 번째 조도보정지수(Index 3)로서 이는

20% 표준반사체를 포함한 모든 실험재료에서 공히 같은 결과를 나타냈고 그러한 결과는 2회의 반복실험에서 같은 결과로 나타났다. 그러므로 흑백 CCD 카메라에 수동 렌즈를 장착한 카메라를 사용한 경우는 특정의 표준반사체를 기준반사체로 한 다음 3 번째 조도보정지수를 이용하여 화소값을 변환하면 가장 효과적으로 조도 영향을 최소화 할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 1-3-2 Coefficient of variation of the transformed data by the 6 indices tested to reduce illumination effect using the 99% RRS as a reference - images taken by a low sensitive camera with a manual iris lens

Repli.	Materials Tested	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
1st	20% RRS	6.09	8.46	2.05	4.32	6.24	13.12
	Green Paper	3.90	5.51	1.33	2.53	4.20	7.99
	Dried Soil	6.13	9.37	2.14	4.15	7.12	13.74
	Wood Plate	3.97	5.69	1.36	2.71	4.28	8.52
2nd	20% RRS	3.95	7.43	1.48	2.44	5.98	9.81
	Green Paper	5.66	11.08	2.15	3.45	9.02	14.37
	Dried Soil	6.45	8.84	2.18	4.19	6.74	12.87
	Wood Plate	3.89	8.24	1.15	2.35	6.77	10.52

2) 자동렌즈-저감도 카메라의 성능

자동 렌즈를 장착한 저감도 카메라를 사용하여, 수동 렌즈를 장착한 흑백 카메라의 경우와 마찬가지로 다양한 조도의 태양광 하에서 각 실험재료의 평균 화소값을 구하였으며 이러한 그 결과를 실험재료별로 나타낸 것은 그림 1-3-5 와 같다. 그림과 같이 모든 실험재료의 평균화소값은 수동 렌즈 카메라의 경우와 마찬가지로 조도 증가에 따라 증가하는 결과로 나타남으로서 자동 렌즈 카메라에 있어서도 영상 수집시 조도를 고려하지 않는 평균화소값에 의한 반사체의 구별은 불가능함을 알 수 있다.

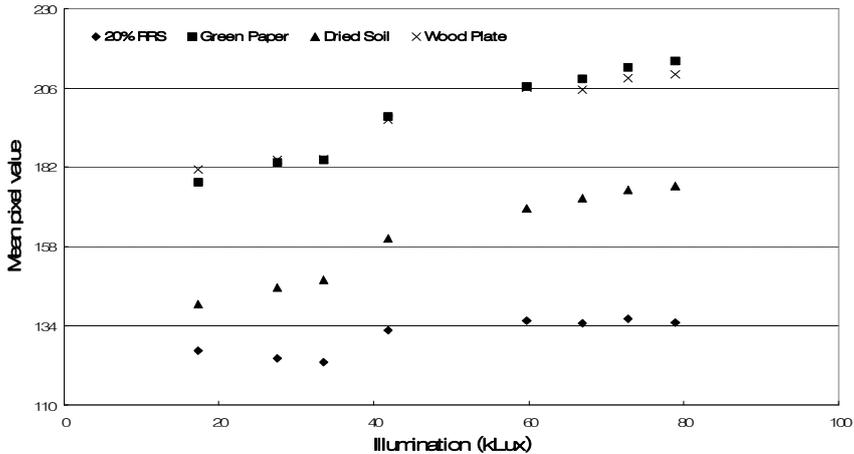


Fig. 1-3-5 Variation of pixel value of tested materials at various illumination conditions - images taken by a low sensitive camera with an auto iris lens

자동 렌즈로 수집한 영상에 대해서도 조도의 영향을 최소화하는 영상 화소값을 얻기 위하여 수동 렌즈의 경우와 마찬가지로 99% 표준반사체를 기준반사체로 설정하고 각 실험재료의 평균화소값을 표 1-3-1과 같은 6 가지 조도보정지수 계산식에 대입하여 임의 실험재료의 평균화소값을 기준반사체의 평균화소값에 대한 상대적 화소값으로 변환하였다.

이상의 6 가지 조도보정지수 산출식을 적용한 한 예로서, 그림 1-3-5에서 보인 20% 표준반사체의 평균화소값으로부터 산출한 결과는 그림 1-3-6과 같다. 그림과 같이 조도보정지수 산출식을 적용한 평균화소값은 대체로 조도 변화에 무관한 것으로 나타나 조도보정지수에 의한 화소값 변환은 수동 렌즈 카메라 영상과 마찬가지로 영상 촬영시 조도 영향을 배제하는데 매우 효과적임을 알 수 있었다.

조도영향을 최소화할 수 있는 방법을 결정하기 위하여 수동 렌즈 카메라의 경우와 마찬가지로 위에서 구한 상대적 화소값의 변이계수를 구하였으며 그 결과는 표 1-3-3과 같다. 표와 같이 6 가지 조도보정지수 중 가장 최소의 변이계수를 보인 것은 수동 카메라의 경우와 마찬가지로 3 번째 조도보정지수 (Index 3)로서 이는 모든 실험재료에서 공히 같은 결과를 나타냈고 그러한 결과는 두 번의 실험에서 같은 결과로 나타났다. 그러므로 자동 렌즈를 장착한 저감도 카메라를 사용한 경우도 99% 표준반사체를 기준반사체로 한 다음 3 번째 조도보정지수를 이용하여 화소값을 변환함으로써 태양과 조도 영향을 최소화 할 수 있었다.

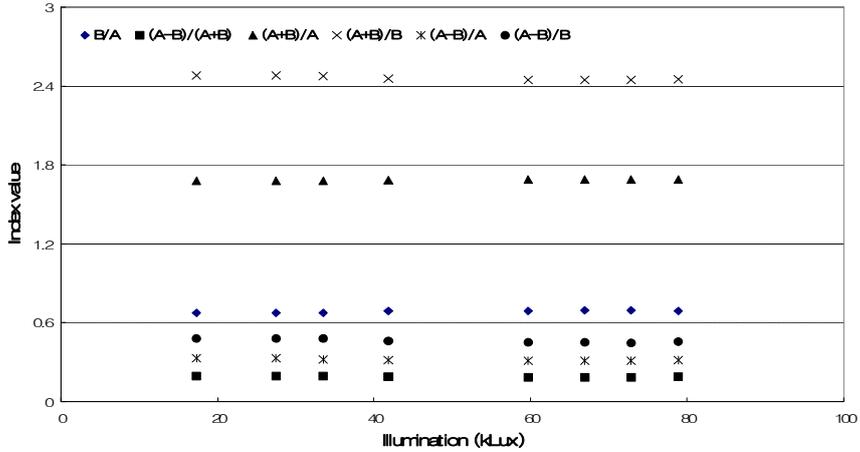


Fig. 1-3-6 Variation of the index values obtained from the pixel values of the 20% RRS at various illumination conditions - images taken by a low sensitive camera with an auto iris lens

Table 1-3-3 Coefficients of variation of the transformed data by the 6 indices tested to reduce illumination effect using the 99% RRS as a reference - images taken by a low sensitive camera with an auto iris lens

Repli.	Materials	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
1st	20% RRS	3.19	4.15	1.05	2.17	3.08	6.35
	Green Paper	8.24	18.54	3.24	5.17	15.16	23.87
	Dried Soil	4.77	7.46	1.69	3.14	5.74	10.67
	Wood Plate	10.37	20.69	3.95	6.68	16.60	27.50
2nd	20% RRS	1.04	2.69	0.42	0.62	2.27	3.32
	Green Paper	6.69	14.28	2.38	5.37	17.59	21.42
	Dried Soil	4.24	5.94	2.85	3.50	32.92	39.65
	Wood Plate	2.98	10.02	1.97	3.03	10.03	14.04

자동 렌즈 영상의 조도 보정 결과를 수동 렌즈 영상의 것과 비교하기 위하여 두 종류 렌즈로 수집한 영상 화소값을 표 1-3-2와 표 1-3-3의 3 번째 조도보정지수로 변환한 자료의 변이계수를 비교하였다. 그 결과 20% 표준반사체

의 경우에는 자동 렌즈가 수동 렌즈에 비하여 좀더 효과적인 결과를 보였으나 나머지 물체의 경우는 자동 렌즈에 관한 변이계수가 수동 렌즈의 것과 대체로 비슷한 수준으로서 자동 렌즈 영상의 경우가 수동 렌즈 영상의 경우보다 조도 보정의 효과가 약간 큼을 알 수 있었다.

3) 자동렌즈-고감도 카메라의 성능

자동 렌즈를 장착한 고감도 카메라를 사용하여 위와 같이 다양한 조도의 태양광 하에서 각 실험재료의 평균화소값을 구하였으며 이러한 그 결과를 실험 재료별로 나타낸 것은 그림 1-3-7과 같다. 모든 실험재료의 평균화소값은 그림과 같이 위에서 설명한 저감도 카메라의 경우와 다르게 조도에 별다른 영향을 받지 않은 것으로 나타났다.

고감도 카메라로 수집한 각 실험재료 영상의 평균화소값의 변이계수를 구한 결과 99% RRS, 20% RRS, 색지 1, 색지2의 경우 각각 2.9%, 3.4%, 2.2%, 2.8%로서, 자동 렌즈-저감도 카메라의 경우 3 번째 조도보정지수에 의한 보정 결과와 거의 비슷한 수준의 변이를 보였다.

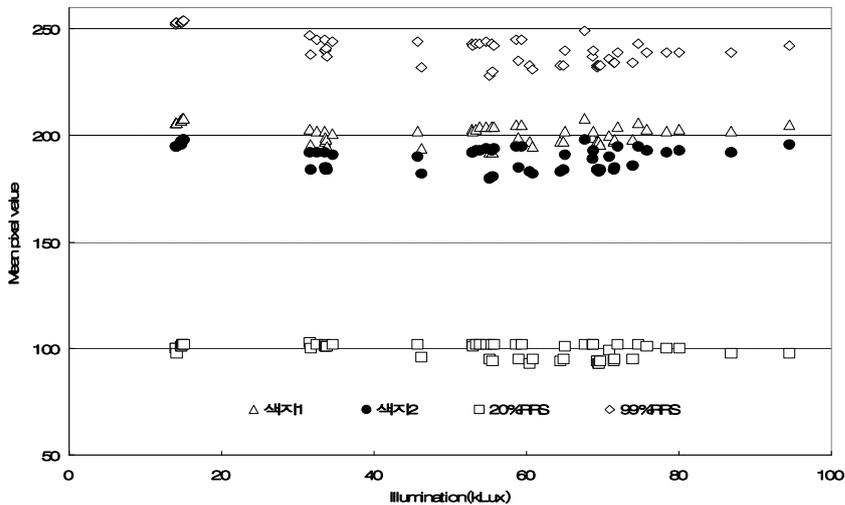


Fig. 1-3-7 Variation of pixel value of tested materials at various illumination conditions - images taken by a high sensitive camera with an auto iris lens

자동 렌즈-고감도 카메라로 수집한 영상에 대해서도 조도의 영향을 최소화 하는 영상 화소값을 얻기 위하여 99% 표준반사체를 기준반사체로 설정하고

각 실험재료의 평균화소값을 전술한 6 가지 조도보정지수 계산식에 대입하여 실험재료의 평균화소값을 기준반사체의 평균화소값에 대한 상대적 화소값으로 변환하였다.

그림 1-3-8은 6 가지 조도보정지수 산출식을 적용한 한 예로서 20% 표준반사체의 평균화소값으로부터 산출한 결과이다. 그림과 같이 조도보정지수 산출식을 적용한 평균화소값은 조도 변화에 거의 영향 받지 않는 것으로 나타나 조도보정지수에 의한 화소값 변환은 고감도 카메라 영상에 있어서도 영상 촬영시 조도 영향을 배제하는데 매우 효과적임을 알 수 있었다.

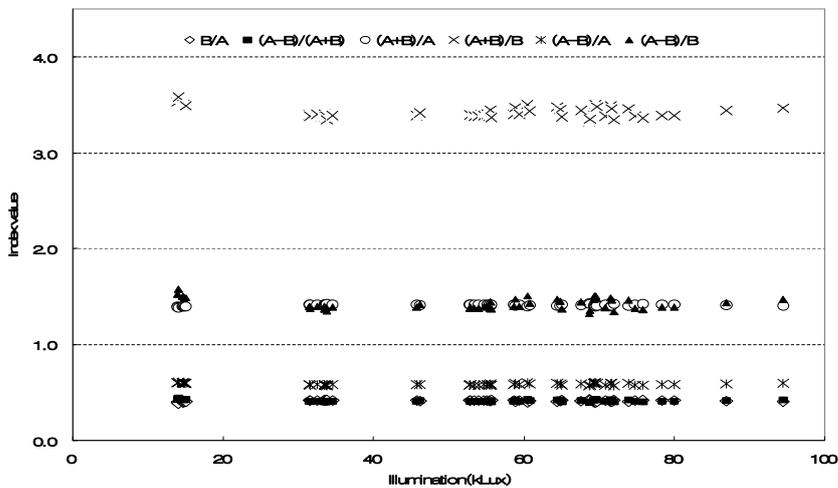


Fig. 1-3-8 Variation of the index values obtained from the pixel values of the 20% RRS at various illumination conditions - images taken by a high sensitive camera with an auto iris lens

조도영향을 최소화할 수 있는 방법을 결정하기 위하여 저감도 카메라의 경우와 마찬가지로 위에서 구한 상대적 화소값의 변이계수를 구하였으며 그 결과는 표 1-3-4와 같다. 표와 같이 6 가지 조도보정지수 중 가장 최소의 변이계수를 보인 것은 앞에서와 마찬가지로 3 번째 조도보정지수(Index 3)로서 이는 모든 실험재료에서 공히 같은 결과를 나타냈고 그러한 결과는 두 번의 실험에서 같은 결과로 나타났다. 그러므로 자동 렌즈를 장착한 고감도 카메라를 사용한 경우도 99% 표준반사체를 기준반사체로 한 다음 3 번째 조도보정지수를 이용하여 화소값을 변환함으로써 태양과 조도 영향을 최소화 할 수 있었다.

Table 1-3-4 Coefficients of variation of the transformed data by the 6 indices tested to reduce illumination effect using the 99% RRS as a reference - images taken by a high sensitive camera with an auto iris lens

Repli.	Materials Tested	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
	20% RRS	4.24	4.18	0.99	0.72	2.73	2.31
1st	Green Paper #1	0.67	11.74	0.21	0.25	8.05	9.02
	Green Paper #2	2.39	7.92	0.68	0.81	13.49	15.81
	20% RRS	1.61	1.80	0.27	0.40	1.06	1.61
2nd	Green Paper #1	0.68	13.53	0.21	0.24	9.13	10.10
	Green Paper #2	0.60	7.00	0.18	0.20	4.81	19.35

자동 렌즈-고감도 카메라 영상의 조도 보정 결과를 앞에서 설명한 자동 렌즈-저감도 카메라 영상의 것과 비교하기 위하여 두 종류 카메라로 수집한 영상 화소값을 3 번째 조도보정지수로 변환한 자료의 변이계수를 비교하였다. 그 결과 20% 표준반사체의 조도보정 효과는 두 카메라의 경우 비슷한 것으로 나타났으나 녹색지의 경우 고감도 카메라 영상의 조도보정효과는 매우 효과적으로 나타나 고감도 카메라 영상의 경우 조도보정 효과도 높은 것임을 알 수 있었다.

이상의 실험결과를 종합하면, 자동 렌즈-고감도 카메라를 사용하여 수집한 영상에 있어 조도 영향은 자동 렌즈-저감도 카메라로 촬영한 영상을 본 연구에서 제시한 조도보정 방법에 의해 보정한 수준으로 판단되며, 이러한 자동 렌즈-고감도 카메라로 촬영한 영상에 대해서 조도보정을 수행할 경우 조도 영향을 좀더 배제할 수 있는 것으로 판단하였다.

다. 결론

본 연구는 잡초 검출 등 농작업시 태양광 아래 기계시각을 이용하여 반사율 같은 광학적 특성을 비교할 경우 태양 조도 영향을 최소화하는 방법(조도보정 방법)을 찾기 위한 목적으로 수행하였다. 연구는 수동 렌즈와 자동 렌즈를 각각 사용한 저감도 흑백 CCD 카메라 그리고 자동 렌즈를 부착한 고감도 카메라를 사용하여 반사율 99% 표준반사체, 반사율 20% 표준반사체, 녹색지, 마른

흙, 목관을 실험재료로 하여 다양한 조도의 태양광 아래 영상을 수집한 다음 조도의 영향을 최소화할 수 있는 방법을 제시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. CCD 카메라 영상에서 조도 영향을 최소화하는 방법은 반사율 99% 표준반사체를 기준반사체로 하고 기준반사체의 화소값(A)과 피사체의 화소값(B)으로부터 $(A + B)/A$ 인 조도보정지수를 피사체의 화소값 대신 사용하는 방법이다. 이러한 방법은 수동 렌즈나 자동 렌즈를 사용하는 카메라에 공히 적용하는 조도보정 방법이다.

2. 자동 렌즈-고감도 카메라를 사용하여 수집한 영상에 있어 조도 영향은 자동 렌즈-저감도 카메라로 촬영한 영상을 본 연구에서 제시한 조도보정 방법에 의해 보정한 수준으로 판단되며, 이러한 자동 렌즈-고감도 카메라로 촬영한 영상에 대해서 조도보정을 수행할 경우 조도 영향을 좀더 배제할 수 있는 것으로 판단하였다.

4. 기계시각 이용 잡초 검출장치 개발

가. 재료 및 방법

기초실험 결과를 기계시각에 적용하여 잡초 검출장치를 개발하는 본 과제는 앞에서 설명한 바와 같이 먼저 본 연구 목적에 유용한 카메라 종류를 선정한다. 다음, 선정된 카메라로 촬영한 영상을 분석하여 잡초를 검출하는 알고리즘을 구성하고, 마지막으로 구성된 알고리즘의 성능을 실험하는 3 단계 내용으로 수행하였다.

이러한 연구 수행 내용 중 잡초검출 알고리즘을 구성하는데 있어서는 벼와 잡초 영상을 구분하는 알고리즘이 필요한데 본 연구에서는 이를 위하여 벼와 잡초 영상을 구분하는 인자(벼와 잡초 영상의 특성)의 효과적인 추출 방법을 실험에 의해 구하고자 하였다. 즉 본 연구에 있어서는, 첫째 카메라 종류 선정 실험, 둘째 벼와 잡초 영상의 특성 추출법 결정실험, 셋째 개발장치 성능실험의 세 가지 실험을 수행하였으며, 각 실험에서의 재료와 방법은 다음과 같다.

1) 카메라 종류 선정실험

본 실험은 카메라 본체의 종류(흑백과 컬러 카메라), 카메라의 렌즈의 종류(수동 렌즈와 자동 렌즈), 사용하는 필터에 따른 잡초 검출에 유용한 정도를

비교하는 흑백과 컬러 카메라의 유용성 비교실험, 수동과 자동 렌즈의 유용성 비교실험, 유용한 필터 선택실험의 3 중 실험으로 구분하여 수행하였다.

가) 실험 장치

흑백과 컬러 카메라의 유용성 비교실험에 사용한 흑백 카메라는 수동 렌즈 (Avenir, Japan)를 장착한 영상처리 전용의 흑백 CCD 카메라(XC-55, Sony, Japan)이고, 컬러 카메라는 수동 렌즈(Avenir, Japan)를 장착한 영상처리 전용의 카메라(VCC-8300BN, CIS, Japan)였다. 흑백 카메라는 필터 선택실험을 동시에 수행하고자 3 대를 구입하여 본 연구에서 선정한 3 종의 유용한 광파장을 적용할 수 있는 필터(중심 파장이 각각 560, 680, 800 nm이고 대역폭은 10 nm, Corion, USA)를 각각 장착하고 그림 1-4-1-a와 같이 고정함으로써 동일한 장면의 영상을 각각의 필터를 부착한 카메라가 수집할 수 있도록 하였다.

수동과 자동 렌즈의 유용성 비교실험은 야외에서 기계시각을 이용하여 영상을 수집하는 경우 태양 조도의 변화 영향을 배제하는데 있어 자동 렌즈의 효과를 조사하기 위하여 수행하였다. 본 실험에 사용한 카메라는 전술한 수동 렌즈 부착 카메라와 자동 렌즈 부착 가능 고감도 흑백 카메라(BCE-341IA, Unimo, Korea)이고 사용한 렌즈는 수동(Avenir, Japan)과 자동 조리개 렌즈 (auto-iris lens; Avenir, Japan)로서 수동 렌즈는 $f = 8 \text{ mm}$, F1.3 그리고 자동 렌즈는 $f = 8.0 \text{ mm}$, F1.2의 렌즈를 사용하였다. 본 실험에 사용한 자동 렌즈 부착 가능 흑백 카메라도 필터 선택실험을 동시에 수행하고자 위와 같이 3 대의 카메라에 각각 3 종의 필터를 부착(그림 1-4-1-b)와 같이 하여 동일 장면의 영상을 각 필터 부착 카메라가 수집할 수 있도록 하였다.



a) Cameras with manual iris lens b) Cameras with auto-iris lens

Fig. 1-4-1 Fixtures of the monochrome cameras

사용한 frame grabber는 Matrox사(Canada) 제품인 영상처리 전용의 Meteor II/MC(해상도가 640×480)인데 이는 6대의 흑백 카메라나 2대의 컬러 카메라를 동시에 지원하는 기능이 있다. 이 frame grabber는 stand-alone형의 영상처리 전용 컴퓨터(4-Sight, Matrox, Canada)에 내장된 것으로서, 4-Sight 컴퓨터에 설치된 CPU는 처리속도가 266MHz인 Cyrix MdeiaGX이고, 장착 RAM은 128Mbyte의 것이었다.

나) 실험 방법

본 카메라 종류 선정실험에 있어 흑백 또는 컬러 카메라 그리고 수동과 자동 렌즈의 잡초 검출 유용성 그리고 유용한 필터의 선택은 벼와 잡초를 촬영한 화면을 대상으로 하여 영상처리 방법 중 영상분리에 사용하는 임계값 처리(threshold) 방법에 의해 화면내의 식물체 영상을 분리하고, 분리한 식물체 영상에서 잡초 영상만을 분리할 수 있는 가능성으로서 판단하였다.

흑백과 컬러 카메라의 유용성 비교실험을 위한 영상은 2002년 6, 7월 중 광주시 소재 전남대학교 실험농장에서 잡초가 자라고 있는 논벼를 대상으로 수집하였다. 논벼 영상의 촬영은 이앙 후 17, 24, 30, 36일에 수행하였으며, 각 촬영일 수집한 화면수는 흑백 카메라는 18~19 화면 그리고 컬러 카메라는 7~11 화면으로서 흑백과 컬러 카메라의 경우 수집한 총 화면 수는 각각 74와 36 화면이었다. 촬영한 영상의 화면은 그림 2-1의 a)와 b)와 유사한 모습으로 각 화면이 포착한 논 면적크기는 약 100×80 cm²이었다.

영상 수집시 촬영한 잡초는 벼 이앙 후에 자연 발생한 잡초로서 그 종류는 물달개비(*Monochoria vaginalis*), 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata* Roxb), 피(*Echinochloa*), 한련초(*Eclipta prostrata*)이었다.

영상 촬영시 기계시각 장치는 그림 1-4-2와 같이 관리기에 장착하여 사용하였다. 그리고 영상 촬영시는 향후 수집한 영상의 태양광 영향을 보정하기 위하여 반사율 20%와 99%의 표준 반사체(diffuse reflectance standard; Labsphere Inc., USA)를 화면내에 포함시켜 촬영하였다.

수집한 영상 화면은 영상분석 전용 소프트웨어인 Inspector 2.2 (Matrox, Canada)를 사용하여 분석하였는데, 이는 임계값 처리시 적용하는 임계값을 쉽게 변경할 수 있을 뿐만 아니라 그 처리 결과를 바로 보여주는 기능이 있다. 수집한 화면을 분석에 있어서는 Inspector 2.2의 이러한 기능을 사용하여 수집한 모든 화면에 임계값을 변화하며 적용하고 그 결과 화면에서 식물체의 분리 그리고 식물체 영상에서 잡초 영상의 분리 가능성을 조사하였다.

수동과 자동 렌즈의 유용성 비교 실험은 위와 유사한 방법으로 수행하였다. 즉 수동 렌즈 카메라의 유용성은 2002년도 수집한 영상의 분석 결과로 하고, 자동 렌즈 카메라

의 기능은 2003년도에 전년도와 같은 장소에서 자동 렌즈 카메라로 영상을 수집한 다음 전년도와 같은 방법으로 분석하고 서로 비교하는 방법으로 수행하였다.

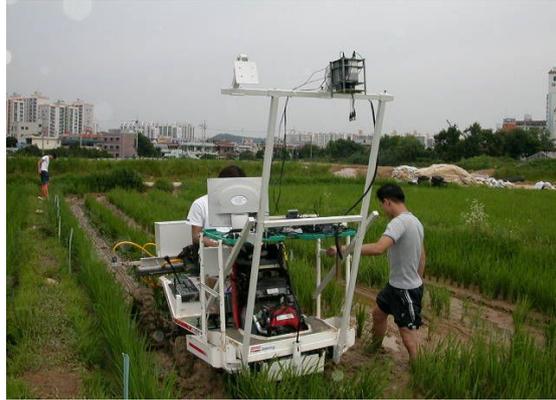


Fig. 1-4-2 Machine vision system installed on a tractor for rice cultivation

2003년도 수집한 영상은 벼 파종시기에 재배용 분에 과종하여 재배한 잡초를 벼 이앙 후 15일 경에 논에 이식한 다음, 벼 이앙 후 24, 27, 30, 33, 36, 39일에 위와 같은 방법으로 촬영한 것이다. 논에 이식한 잡초의 종류는 자귀풀(*Aeschynomene indica*), 물달개비(*Monochoria vaginalis*), 여뀌바늘(*Ludwigia prostrata* Roxb), 피(*Echinochloa*), 한련초(*Eclipta prostrata*), 미국외풀(*Lindernia dubia*), 방동사니(*Cyperus amuricus* Maxim), 마디꽃(*Rotala indiica* Willd Koehne) 8종이었다. 이러한 잡초는 모두 벼 재식줄 사이(조건영역)와 벼 재식영역에 각각 5 포기씩 이식한 다음 각 촬영 날짜에 그들을 벼와 함께 촬영하였으나 촬영일 벼와 잡초의 생육상태나 논의 수심 변화 등의 원인으로 실제로 그 영상이 포착된 잡초 수는 각 촬영일에 있어 조건 잡초의 경우 각각 28, 30, 32, 35, 22, 33 그리고 벼 재식영역의 경우 각각 25, 22, 19, 17, 13, 8이었다.

2) 벼와 잡초 영상의 특성 추출법 결정실험

기계시각을 이용하여 영상 화면에서 특정 물체를 검출하는데 있어 기본적인 방법은 화소 단위로 그 특성값인 화소값을 검색하거나 또는 영역 단위로 임의 특정 영역의 특성(feature)을 찾는 두 가지 방법이 있다. 기계시각을 응용하여 논 잡초를 검출하기 위해서는 벼와 잡초 영상을 구분하는 알고리즘이 필요한데 본 연구에서는 이를 위하여 영상의 영역 단위 접근이 타당한 것으로 판단하였다.

벼와 잡초 영상을 구분하는 영역 단위 접근방법은 벼와 잡초 영역을 올바르게 구분(또는 분류)하는 인자(벼와 잡초 영상 영역의 특성)를 찾음으로서 가능하다. 벼와 잡초 영역을 구분하는 인자로는 크기, 형상, 조직(texture), 화소값 분포 등 몇 가지 인자가 있으나 예비실험 결과 이 중 크기와 화소값 분포가 영상처리시간이 짧으면서도 효과적인 인자인 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 임의 영상 영역의 화소값 분포를 표현하는 방법으로서 특정한 방법으로 설정한 화소값 구간의 구간별 화소분포율(화소값이 191을 넘는 전체 화소수에 대한 해당 화소값 구간에 속하는 화소수의 비율)을 조사한 다음, 이 화소값 구간별 화소분포율을 구분인자로 사용하고자 하였다. 이를 위해서는 조사하고자 하는 화소값의 구간을 미리 설정하여야 하는데 본 연구에서는 이 화소값 구간 설정 방법을 실험에 의해 결정하고자 다음과 같은 방법으로 실험하였다.

본 실험은 전문적인 카메라 종류 선정실험으로부터 결정된 자동 렌즈와 800 nm 필터 부착 흑백 카메라를 대상으로 수행하였다. 이 카메라로 촬영한 화면에서 식물체(벼와 잡초) 영상의 분리는 후술한 바와 같이 임계값 190 내외에서 대부분이 명확하게 수행되었다. 따라서 식물체 영역의 화소값은 191 - 255 범위의 값인데, 본 연구에서는 이 범위의 화소값을 화소값 191부터 10 단위로 구분하여 7개의 기본적인 화소값 구간을 구한 다음 가능한 유사한 특성을 갖는 10 단위의 화소값 구간은 서로 묶음으로서 최선의 화소값 구간(화소값 분포를 이용하여 벼와 잡초를 구분하는데 있어 바람직한 화소값 구간)을 설정할 수 있도록 하였다. 여기서, 유사한 특성을 갖는 화소값 구간은 벼와 잡초 영상으로부터 7개의 기본적인 화소값 구간의 화소분포율을 구한 다음 인접한 화소값 구간의 화소분포율이 벼와 잡초에 있어 서로 비슷한 것으로 판명된 구간이다. 이러한 기준으로 본 연구에서는 표 1-4-1과 같은 5 유형의 화소값 구간 설정 방법을 선택하였다.

선택한 5 유형 중 최선 유형의 선택은 후술한 내용의 패턴 인식을 적용한 벼와 잡초 영상 분류 방법을 적용하여 각 유형의 벼와 잡초 분류 능력(분류의 정확도)을 조사하여 판단하였다. 이는 각 화소값 구간 설정 유형별로 패턴 인식 적용 분류기(classifier) 개발을 위한 학습용 자료(training data set)와 개발한 분류기의 성능 분석을 위한 시험용 자료(test data set)를 수집하는 과정과 각 유형별로 개발한 분류기를 시험하여 벼와 잡초 분류 능력을 조사하는 두 가지 과정으로 수행하였다.

분류기 개발을 위한 학습용 자료와 분류기의 성능 분석을 위한 시험용 자료는 2003년도 수집한 벼와 잡초 영상 화면으로부터 구하였다. 분류기 개발을 위한 학습용 자료는 벼의 경우 식물체 영역과 조간영역에서 각각 196개와 56개 그리고 잡초의 경우 식물체 영역과 조간영역에서 각각 23개와 45개의 표본을

추출하였다. 화소값 구분 유형별로 구한 분류기의 분류 성능(정확도)을 조사하기 위한 자료는 벼의 경우는 식물체 영역과 조간영역에서 각각 131개와 37개 그리고 잡초의 경우 식물체 영역과 조간영역에서 각각 16개와 30개의 표본을 추출하였다. 분류 성능의 실험 결과는 분류의 정확도(correct classification ratio; CCR)와 오분류율(mis-classification ratio; MCR)로 나타냄으로서 화소값 구분 유형별 성능 비교가 용이하도록 하였다.

Table 1-4-1 Selected 5 types of dividing pixel value range to represent the distribution of pixel value in images of rice plant and weed for their classification

Type	Ranges of pixel value						
A	191-200	201-210	211-220	221-230	231-240	241-250	251-255
B	191-200	201-230	231-250	251-255			
C	191-200	201-220	221-240	241-250	251-255		
D	191-200	201-240	241-250	251-255			
E	191-200	201-220	221-250	251-255			

3) 개발 장치 성능실험

본 연구에서 논 잡초 검출 목적으로 선정된 카메라 등 기계시각장치와 개발한 소프트웨어의 잡초 검출 성능을 조사하기 위하여 본 실험을 수행하였다. 본 실험은 논에 잡초방제기간에 자라고 있는 벼와 잡초의 영상을 본 연구에서 선정한 기계시각장치로 수집하고, 이를 개발한 소프트웨어로 처리한 후 잡초 검출율(화면상의 총 잡초 수에 대해 검출한 잡초 수의 비율)과 벼 잎 영상을 잡초로 또는 잡초를 벼로 오인식한 화면당 오인식 수를 조사하는 방법으로 수행하였다.

본 실험을 위한 화면의 수집방법 그리고 수집한 잡초 영상의 종류는 “카메라 종류 선정실험” 중 2003년도 수행한 “수동과 자동 렌즈의 유용성 비교 실험”에서 설명한 바와 같다.

나. 잡초 검출 소프트웨어 개발

1) 개발 환경과 전체 구성

개발한 소프트웨어는 800 nm 필터와 자동 렌즈를 장착한 흑백 CCD 카메라

로 포착한 눈 영상 화면 내의 잡초 영상을 검출하는 것을 목적으로 하여 구성하였다.

잡초검출 소프트웨어의 개발은 실험 장치에서 설명한 영상처리 전용 frame grabber인 Matrox (Canada)의 MeteorII/MC를 장착한 컴퓨터를 이용하여 개발하였다. 소프트웨어 개발에 사용한 언어는 Microsoft의 Visual C++ 6.0과 영상처리 전용 library인 Matrox의 Matrox Imaging Library (이하 MIL이라 약칭함) 6.0을 사용하였다.

Visual C++ 6.0는 SDI (single document interface)형식으로 되어 있으며, 기본적으로 Document, View, Application의 세 가지 클래스로 이루어져있다. 개발한 소프트웨어는 이 세 가지 클래스를 바탕으로 하고, 본 연구에서 구축한 영상처리 알고리즘을 처리하는 Algorithm 클래스를 추가하여 그림 1-4-3과 같이 연산 기초 자료와 가공된 자료를 서로 주고받을 수 있도록 하였다.

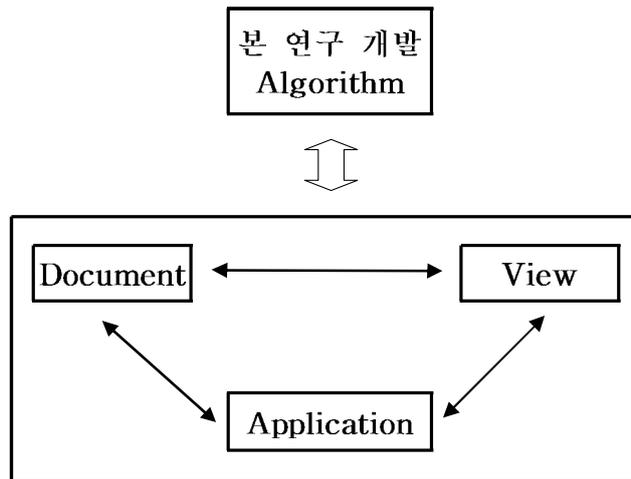


Fig. 1-4-3 Basic structure of the developed software using C++

2) 잡초 검출 알고리즘 개발

가) 영상의 특성과 영상처리 방향 결정

눈 잡초 제초기간인 6월 중순부터 7월 중순까지는 국내에서 전형적인 장마철로서 이 기간 중 태양의 조도는 날씨에 따라 큰 차이가 있고, 눈 수심은 강우량에 따라 상당한 차이가 있다. 눈에서 자라는 잡초는 눈 수심 정도에 따라 그 전체가 물 밖으로 드러나거나 혹은 물 속에 잠기게 되므로 촬영한 화면에

서 잡초의 영상은 촬영 당일 논 수심에 따라 그 영상이 뚜렷이 드러나는 경우도 있고 그렇지 않은 경우도 있었다.

잡초 방제기간 중 벼와 잡초의 변화를 보면, 이앙 후 17일에 있어 벼와 잡초는 그림 1-2-1과 같이 서로 떨어져 생육하고 있어 이 시기 이후 촬영한 화면에서 벼와 잡초는 그 구분이 비교적 용이하였다. 그러나 생육 기간이 경과함에 따라 벼와 잡초는 성장하여 이앙 후 44일에 있어 벼와 잡초는 그 잎들이 서로 겹치게 되어 이 시기 전후에 촬영한 화면에서 벼와 잡초의 구분은 상당히 어렵게 되었다. 이러한 어려움은 벼 재식영역에서 자라는 잡초가 벼 조건영역에서 자라는 잡초의 경우보다 심하였다.

실험기간 중 수집한 벼와 잡초의 영상은 이상과 같이 생육기간에 따라 차이가 있고 또한 영상 촬영일별 태양 조도나 논 수심의 영향 그리고 촬영 당일 촬영 시간의 태양의 각도와 태양광의 강도에 따라 차이를 보였다. 이러한 결과로 벼와 잡초를 촬영한 영상으로부터 잡초만을 검출할 수 있는 가능성은 비슷한 생육시기에 있어서도 기상상태에 따라 차이가 있을 뿐만 아니라 벼 생육기간이 증가함에 따라 그 가능성은 점차 감소할 것으로 예상되었다.

그림 1-4-4는 논바닥에 수직 방향으로 800 nm 필터를 장착한 카메라로 촬영한 이앙 후 33일의 벼와 잡초 영상으로서 논에서 자라는 벼와 잡초의 대표적인 영상이다. 그림과 같이 논바닥의 토양 영역(배경)은 식물체(벼와 잡초 포함) 영역과 비교적 확실히 구분됨을 알 수 있으나, 벼와 잡초 영상은 그 회색농도(gray level)가 비슷하고 영상이 서로 겹치는 경우가 많아 벼와 잡초의 경계가 애매하여 그들간의 구분은 용이하지 않음을 알 수 있다.

기계시각을 이용하여 영상 화면에서 특정 물체를 검출하는데 있어 기본적인 방법은 전술한 바와 같이 화소 단위로 그 특성값인 화소값을 검색하거나 또는 영역 단위로 임의 특정 영역의 특성(feature)을 찾는 두 가지 방법이 있다. 그림 1-4-4와 같이 식물체 영역이 배경이 되는 토양 영역과 확실히 구분되는 이유는 식물체의 광반사율이 무논 토양의 광반사율과 상당한 차이가 있기 때문이며, 따라서 화소값에 의해 식물체의 영상을 배경인 토양으로부터 구분하는 것은 비교적 용이하다. 그러나 벼와 잡초는 녹색식물로서 그들의 광반사율은 대체로 비슷하기 때문에 그들 영상 각 화소의 화소값 만으로 구분하는 것은 쉽지 않다.

본 연구에서는 벼와 잡초의 구분을 위해서는 “화소 검색”방법 보다는 “영역 검색”방법이 바람직한 것으로 판단하고 이를 적용한 잡초 검출 알고리즘을 개발하고자 하였다. 다만 전술한 바와 같이 벼와 잡초의 영상은 많은 경우 서로 겹쳐있기 때문에 “영역 검색”방법에 의해 논 잡초를 검출하기 위해서는 본 연구에서는 그들을 포기별로 분리하는 작업을 먼저 수행한 다음 분리한 각 영역

의 특성을 조사하여 벼와 잡초를 구분하도록 하였다.

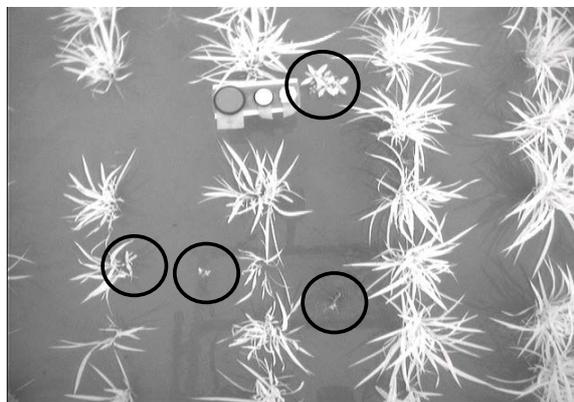


Fig. 1-4-4 View of rice plants and weeds (circled) - the picture was taken using a filter of 800 nm center wavelength on 33 days after transplant

나) 식물체 영상 영역의 분리

식물체 영상을 무늬 토양 배경으로부터 분리(segmentation)하는 것은 전술한 바와 같이 “화소 검색”방법인 화소의 임계값 처리(threshold)방법으로 수행하도록 하였다.

임계값 처리에 있어 적용할 임계값은 컴퓨터의 연산 시간을 최소화하기 위하여 가능한 영상 촬영시 조도(본 연구에서는 태양광 밝기)에 관계없이 일정한 임계값을 적용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이를 위하여 실험장치에서 설명한 바와 같이 이에 적합한 카메라와 렌즈를 선택하여 영상을 수집하였고, 그러한 영상에 있어 일정 임계값 적용의 가능성을 조사하기 위하여 모든 영상을 촬영할 때 그림 1-4-4의 상단에 보이 것과 같이 반사율 20% 표준 반사체(reference reflectance standard)를 설치하고 영상을 수집하였다.

이러한 표준 반사체 영상에 대해서는 수집한 모든 화면을 대상으로 하여 그 평균 화소값을 조사하였으며 그 결과는 그림 1-4-5와 같다. 그림과 같이 표준 반사체 영상의 평균 화소값은 촬영시 태양광 세기에 큰 영향없이 대체로 일정(결정계수=0.221)한 것으로 나타났으며, 그 변이계수를 구한 결과 4.5% (평균=172, 표준편차=7.8)로서 일정 임계값 적용의 가능성을 확인할 수 있었다. 이에 따라 본 연구에서는 수집한 모든 800 nm 영상에 대하여 일정한 임계화소값 190을 적용하였는데, 그 값은 영상처리 전용 package program인 Inspector2.2

(Matrox, Canada)의 임계값 분석 함수로서 수집한 많은 영상을 분석하여 구한 결과이다.

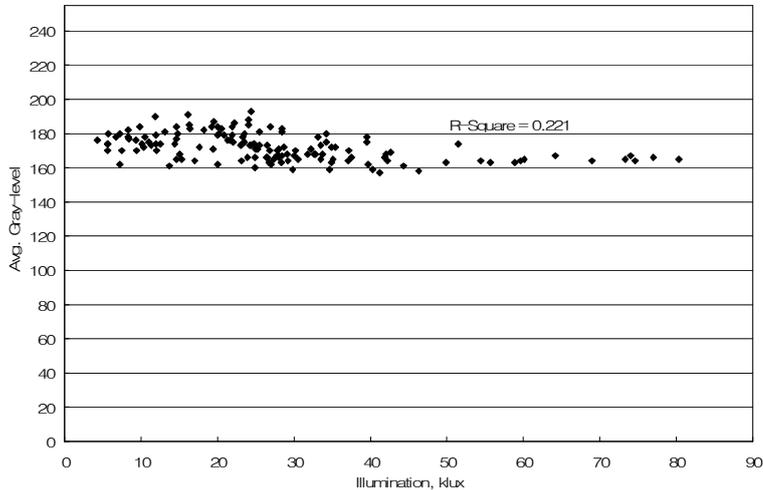


Fig. 1-4-5 Relation between pixel value of 20% standard reflector image and intensity of illumination

일정 임계값의 적용하는데 있어 사용한 frame grabber 영상 입력부의 look-up table (LUT) 기능을 사용함으로써 영상처리 시간을 최소화하도록 하였다. LUT에 의한 임계값 처리시 무논 토양 배경 영역은 화소값 0으로 처리하고, 식물체 영역은 본래의 화소값을 보존하도록 하여 차후 식물체 영상을 벼와 잡초로 구분할 때 식물체 영상의 화소값 자료를 활용할 수 있도록 하였다. 그림 1-4-6은 그림 1-4-4에서 보인 화면을 임계값 처리한 결과이다.

사용한 frame grabber는 자체에 4 Mbyte 용량의 영상 저장용 SGRAM이 있으며 이에 최소 두 화면 영상을 저장할 수 있다. LUT를 통과한 영상 자료는 “1번 영상보관 메모리”에 저장한 후 영상내의 salt와 pepper형의 잡티 (noise)를 제거하기 위하여 3×3 크기의 median 필터로 처리(그림 1-4-7 참조)한 다음 차후 사용을 위하여 그 결과를 “1번 영상보관 메모리”와 “2번 영상보관 메모리”에 각각 저장하였다.

다) 벼와 잡초 영상의 포기별 분리

토양 배경으로부터 분리한 식물체 영상에서 잡초만의 영상을 구별하기 위해서는 벼와 잡초 영상을 포기별로 분리하는 것이 필요하다. 이러한 식물체 영상

은 화소값이 비슷하면서도 서로 겹친 경우가 많은데 이들을 포기별로 분리하기 위해서는 벼와 잡초 각 포기의 중심 영역을 찾는 것이 필요하다. 영상처리의 여러 가지 기법 중 영상을 형태적 처리(morphological processing)하는 영상 축소(erosion) 알고리즘은 관심 대상 영상의 중심부분을 찾아내는데 유용한 알고리즘으로서 본 연구에서는 벼와 잡초 영상을 포기별로 분리하는데 이를 적용하였다.

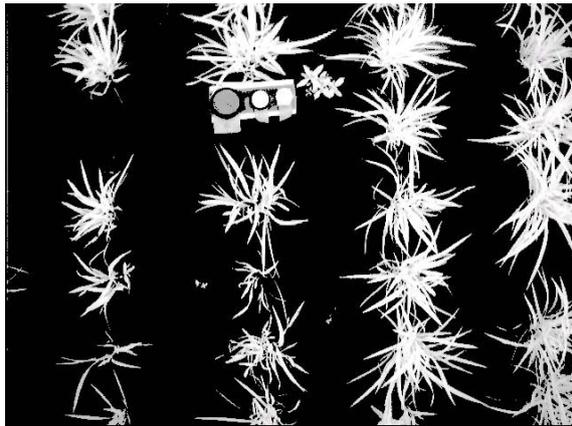


Fig. 1-4-6 Picture after threshold process to segment plants images from soil background

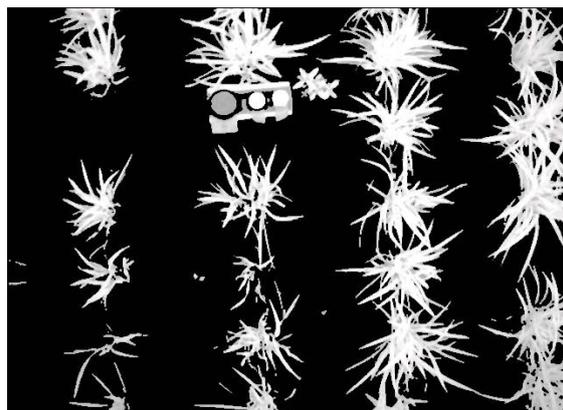


Fig. 1-4-7 Median filtered picture of the fig. 1-4-6 to eliminate noise

영상 축소 알고리즘을 적용하기 위하여 먼저 그림 1-4-7과 같은 “1번 영상 보관 메모리”에 저장된 화면(임계값 처리 후 median 필터 처리한 화면)에서 화소값이 191 이상인 식물체 영상의 모든 화소값을 최대 화소값인 255로 처리하여 흑백의 2치 화면(binary image)으로 변환하였다. 그 다음 벼와 잡초의 식물체 영상을 대상으로 형태적 축소처리를 하였는데, 이를 위해 적용한 요소(structuring element 또는 mask)는 그림 1-4-8내에 나타난 3×3 크기의 십자가형 요소였으며, 그 적용 결과는 그림 1-4-8과 같다.

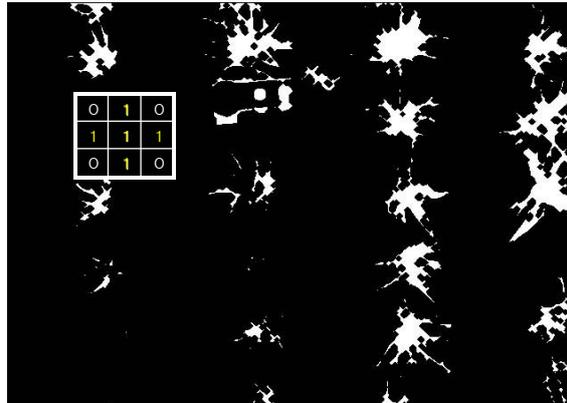


Fig. 1-4-8 Picture of morphologically eroded plants image and applied structuring element represented in a rectangle

형태적 축소처리한 화면내의 식물체 영상을 포기별로 구분하기 위하여 적용한 원칙은 화면에서 8 방향으로 연결된 영상은 하나의 포기 영상이고, 8 방향으로 연결되지 않은 모든 영상 조각은 모두 별개의 포기 영상으로 판정하는 것이었다. 이러한 방법으로 구분한 식물체 영상의 조각 중 그 화소수가 10개 이상인 모든 영상에 대해서는 그림 1-4-9과 같이 사각형 영역으로 구획한 다음 각 영역의 초기 좌표(start_x, start_y)와 최종 좌표(end_x, end_y)를 각 영역을 명시하는 위치 자료로 하여 각각의 고유번호와 함께 차후 분석에 사용하기 위하여 저장하였다.

벼에 인접하여 자라는 잡초 중 그 일부는 위에서 설명한 형태적 축소처리 결과로 인하여 그 포기가 삭제되는 현상이 있었다. 이러한 잡초 영상을 살리는 방법으로서 “2번 영상보관 메모리”에 저장된 화면에서 “1번 영상보관 메모리”에 저장된 식물체 영상과 8방향으로 연결된 영역을 제하고 남는 식물체 영상의 조각 정보를 구하였다. 이러한 영상처리 과정 중 8방향으로 연결된 영역을

찾는 과정에서는 한 화면에서 관심있는 영상과 연결되어있는 모든 화소를 하나의 대상으로 인지하는 flood-fill 영상처리 알고리즘을 적용하여 수행하였다. 이와 같은 방법으로 구한 식물체 영상의 조각에 대해서도 각각 고유번호를 부여하고 그 사각형 영역 정보를 차후 분석에 사용할 자료로 저장하였다.

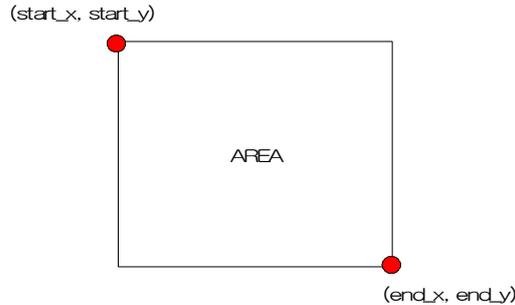


Fig. 1-4-9 A method to locate an area of each separated plant image

라) 벼 재식영역과 조간영역 구분

논에서 자라는 벼나 잡초의 화면은 크게 벼 재식영역과 그 사이(조간영역)로 구분할 수 있다. 논 잡초 검출을 위해서는 앞에서 포기로 구분한 식물체 영상을 벼와 잡초로 구분해야하는데 이를 위해서는 전 단계까지 처리한 화면을 “벼 재식영역”과 “조간영역”으로 구분하여 분석하는 것이 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있음을 예비실험 결과 확인할 수 있었다.

이러한 영역 분리 과정은 형태적으로 축소 처리한 화면에서 640 개의 모든 세로방향 화소 줄을 검색하여 식물체에 해당하는 백색 화소 비율을 구하고, 그 비율이 5% 이상인 화소 줄을 기록한 다음, 480 개의 가로방향 화소줄을 검색하여 기록한 화소줄이 연속해서 30개 이상인 영역은 벼 재식영역으로 하고 남은 영역은 조간영역으로 설정하였다. 이러한 방법으로 구분한 벼 재식영역과 조간영역 그리고 위에서 구한 모든 식물체 영상 조각의 사각형 영역을 나타낸 것은 그림 1-4-10과 같다.

마) 벼와 잡초 구분 알고리즘 개발

사각형으로 표시한 모든 식물체 영상 조각은 벼 또는 잡초 영상의 일부 또는 전부이다. 본 연구에서는 이들을 벼 또는 잡초로 구분하기 위하여 인공지능(artificial intelligence)의 한 분야인 패턴 인식(pattern recognition) 기법을 적용하였다. 이는 위에서 포기 단위로 분리한 후 사각형으로 표시한 모든 식물체

의 영역에 대하여 이 영역들의 고유 특성(feature 또는 분류인자)을 발췌하고 그 특성에 따라 기하학적 또는 통계적 기법을 적용하여 벼 또는 잡초로 분류(classification)하는 방법이다.

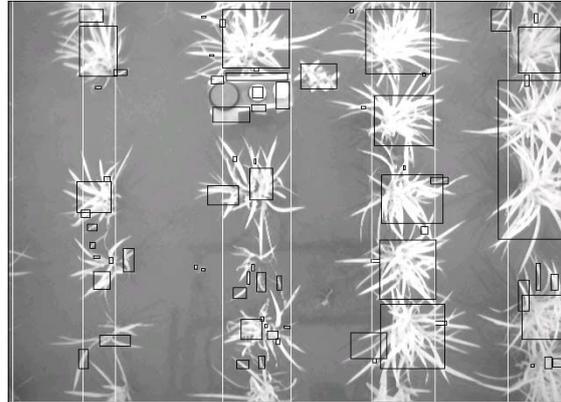


Fig. 1-4-10 Areas of rice planted and inter-row and areas of all of the isolated plant images represented by rectangles-shows 68 isolated plant images

분류작업은 분류에 효과적인 분류인자를 결정하는 과정과 결정한 분류인자를 이용하여 기지 학습용 자료로부터 미지의 패턴을 분류하는 분류기(classifier)를 구하는 과정으로 구분된다. 본 연구에서는 벼와 잡초 영상의 분류인자로서 영상의 크기와 화소값 분포를 결정한 바 있으며, 이 중 화소값 분포를 이용하는 방법은 벼와 잡초 영상의 특성 추출법 실험방법과 그 실험 결과에서 설명한 바와 같다.

분류기를 구하는 방법은 여러 가지 종류의 패턴 인식 기법 중 처리 속도가 빨라 실시간 처리에 유용한 방법의 하나인 최소거리 식별법(minimum distance classification)을 사용하였다. 최소거리 식별법은 다음 그림의 예와 같이 두 인자를 활용하여 두 집단의 패턴을 분류하고자 하는 경우, 기지의 두 집단 패턴 중심점의 위치로부터 미지 패턴과의 거리 차가 가장 근접한 것을 찾아 미지 패턴을 분류하는 방법이다.

본 연구에서는 최소거리 식별법에 의해 분류기를 구하는 프로그램을 Visual C++로서 구성한 다음, 구한 분류기를 본 잡초검출 목적의 프로그램에 이식하여 지금까지의 영상처리 과정에서 사각형으로 표시한 모든 식물체 영상 조각 영역을 최종적으로 벼와 잡초로 구분할 수 있도록 하였다.

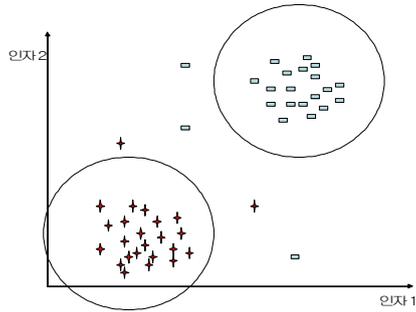


Fig. 1-4-11 Basic principle of minimum distance classification method

그림 1-4-12는 본 연구에서 개발한 논 잡초 검출의 마지막 단계로서 위에서 설명한 분류방법으로 그림 1-4-10에서 보인 68개의 식물체 영역을 벼와 잡초로 분류한 다음 잡초로 인식된 영역만을 나타낸 것이다.

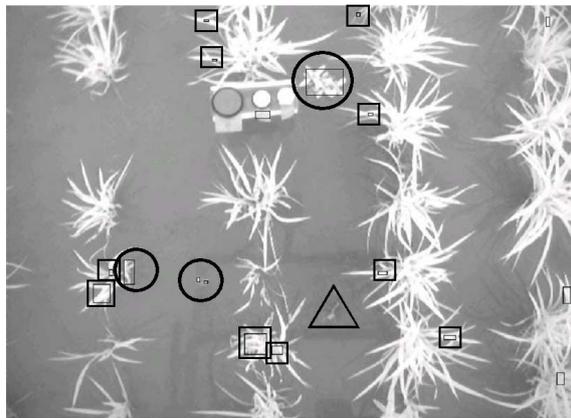


Fig. 1-4-12 Final results of image processing to detect weeds in paddy field (○ : correctly detected weeds, □ : misclassified rice plant as weeds, △ : undetected weed)

그림에서 굵은 선의 원으로 표시한 3개의 잡초는 화면내 4개의 잡초 중 잡초로 정확히 인식한 것이고, 삼각형으로 표시한 1개의 잡초는 검출하지 못한 것이며, 굵은 선의 사각형으로 표시한 10개의 식물체 부분은 벼 영상의 일부분

을 잡초로 오인식한 것이다. 그림의 오른쪽과 왼쪽 끝부분의 영역은 사용한 카메라의 영향으로 판단되는 원인에 의해 오인식되는 경향이 높은 영역으로서 이 영역에서 검출한 잡초는 무시하도록 하였다.

본 연구에서는 지금까지 설명한 영상처리 방법으로 2003년도 수집한 벼와 잡초의 영상의 모든 화면을 분석하여 그 잡초 검출 성능을 조사하였으며 그 결과는 후술한 바와 같다.

다. 결과 및 고찰

1) 카메라 종류 선정실험

가) 흑백과 컬러 카메라의 유용성 비교실험

본 연구에서 수집한 벼와 잡초의 영상자료는, 흑백 카메라의 경우 같은 장면을 3종의 광학 필터를 사용함으로써 동일한 장면을 3종의 화면으로 구분하여 수집한 것이고, 컬러 카메라의 모든 영상자료는 분할된 RGB 3개 화면을 합성한 것이다. 따라서 본 연구에서 수집한 3종 카메라의 모든 영상 자료는 하나의 장면을 3개의 화면으로 분리하는 형식으로 수집된 것이다. 이러한 3종 카메라의 영상자료로부터 벼와 잡초의 검출능력을 파악하기 위하여 화소값의 임계값처리에 의해 식물체와 배경 그리고 식물체 중 잡초만을 분리하는 가능성을 분석한 결과는 다음과 같다.

수동 렌즈 부착 흑백 카메라 : 수동 렌즈를 부착한 흑백 카메라로 3가지 광과장 대역에서 이양 후 17, 24, 30, 36일에 수집한 영상을 이용하여 식물체와 배경을 분리하는 식물체의 검출의 가능성을 분석한 결과는 표 1-4-2와 같다. 표와 같이 식물체 분리 가능성은 중심 파장 560, 680, 800 nm의 3종 분광 화면에 따라 상당한 차이를 보였다. 실험한 4일의 평균값을 3종의 분광 화면별로 구한 결과 각각 52%, 56%, 93%로서 800 nm 화면의 가능성이 다른 두 화면의 것보다 월등히 우수한 결과를 보였다. 이에 따라 잡초 검출을 위한 식물체 분리를 위해서는 800 nm 화면이 매우 효과적임을 알 수 있었다.

이러한 결과는 분광분석기를 사용하여 벼와 잡초 잎의 광반사 특성을 토양의 광반사 특성과 비교한 기초실험 결과로부터 예상되는 결과였다. 즉, 영상수집 당시의 논 표면과 같이 대체로 습한 토양의 광반사율을 식물체의 광반사율과 비교하면 800 nm 부근에서는 서로 현격한 차이가 있으나 560 nm와 680 nm 근방에 있어서는 800 nm의 경우보다 상대적으로 적은 차이가 있다.

수동 조리개 부착 흑백 카메라로 이양 후 17, 24, 30, 36일에 있어 수집한 영상을 이용하여 잡초만의 검출 가능성을 분석한 결과는 표 1-4-3과 같다. 실험한 4일의 평균값을 구한 결과, 표와 같이 각각 26%, 41%, 35%로서 680 nm

화면의 잡초 검출 가능성이 가장 높게 나타났다. 이는 벼와 잡초의 반사율 차이가 실험한 다른 광파장 대역보다 680 nm 부근의 광파장 대역에서 좀더 두드러짐을 의미한다. 그러나 벼와 잡초 잎의 광반사 특성이 비슷하기 때문에 680 nm 부근 광파장 대역에서도 잡초 검출 가능성은 불과 40% 정도로서 비교적 낮은 수준으로 나타났다.

Table 1-4-2 Possibility to segment plant images from pictures taken by a manual iris monochrome camera with an optical filter attached

DAT \ Filter	560 nm	680 nm	800 nm
17	0.50	0.83	0.82
24	0.61	0.56	1.00
30	0.58	0.68	1.00
36	0.37	0.16	0.89
Mean	0.52	0.56	0.93

Table 1-4-3 Possibility to isolate weed images from pictures taken by a manual iris monochrome camera with an optical filter attached

DAT \ Filter	560 nm	680 nm	800 nm
17	0.22	0.61	0.61
24	0.39	0.33	0.22
30	0.16	0.58	0.26
36	0.26	0.11	0.32
Mean	0.26	0.41	0.35

이러한 잡초 검출 가능성은 벼와 잡초의 광반사율 차이를 이용한 화소값의 임계값 처리방법으로 판단한 것으로서, 이러한 결과로 판단할 때 사용한 수동 조리개 부착 흑백 카메라로 수집한 3 종 분광 영상 화소값의 임계값 처리방법에 의한 벼와 잡초의 구분(잡초만의 검출) 가능성은 별로 높지 않을 것임을 예상할 수 있었다.

수동 렌즈 부착 컬러 카메라 : 컬러 영상을 구성하는 R-G-B 3 가지 화면을 대상으로 하여 위에서 설명한 3 가지 광과장 대역의 흑백 영상 분석과 같은 방법으로 식물체 영상의 분리 가능성을 조사하였으며 그 결과는 표 1-4-4와 같다. 표와 같이 식물체 영상의 분리 가능성은 화면에 따라 상당한 차이를 보였으며, 3 가지 화면별로 실험한 4 일의 평균값을 구한 결과, 각각 11%, 44%, 31%로서 앞에서 설명한 필터 장착 흑백 카메라에 의한 식물체의 검출 가능성보다 상당히 낮은 결과를 나타냈다.

이러한 결과는 컬러 카메라 CCD 소자의 본래 특성에 기인하는 것으로 판단되었다. 즉 컬러 카메라의 R-G-B 화면은 카메라의 컬러 CCD 소자에 의해 촬상되는데, 이 CCD 소자의 주요 특성인 화면별 중심과장이나 감광 과장 대역폭은 카메라 CCD 소자에 따라 차이가 있으나 일반적으로 컬러 CCD 소자의 감광 대역폭은 본 연구에서 흑백 카메라에 장착해서 사용한 필터의 대역폭인 10 nm에 비하여 훨씬 크기 때문에 그 분광 성능은 흑백 카메라와 비교가 안 되므로 토양 배경으로부터 식물체의 구분이 불확실한 결과를 나타낸 것으로 판단되었다.

Table 1-4-4 Possibility to segment plant images from pictures taken by a manual iris color camera

DAT \ Frame	B	G	R
17	0.13	0.13	0.63
24	0.0	0.45	0.18
30	0.0	0.30	0.0
36	0.29	0.86	0.43
Mean	0.11	0.44	0.31

컬러 카메라로 수집한 영상에서 잡초만의 검출 가능성을 수동 조리개 부착 흑백 카메라의 경우와 같은 방법으로 조사하였으며 그 결과는 표 1-4-5와 같다. R-G-B 3 중의 화면의 잡초 검출 가능성을 화면별로 비교하기 위하여 실험한 4 일의 평균값을 구한 결과, 표와 같이 각각 28%, 26%, 11%로서 R과 G 화면의 잡초 검출 가능성은 서로 비슷한 수준으로서 B 화면보다 높게 나타났다. 이는 벼와 잡초의 광반사율 차이가 B 화면의 광 과장 대역보다 R과 G 화면의 과장 대역에서 좀더 두드러짐을 의미한다. 그러나 R과 G 화면의 광과장 대역에서도 벼와 잡초 잎의 광반사 특성이 비슷하기 때문에 평균 잡초 검출

가능성은 28% 이하의 비교적 낮은 수준으로서 그 유용성은 별로 없는 것으로 판단되었다.

Table 1-4-5 Possibility to isolate weed images from pictures taken by a manual iris color camera

DAT \ Frame	B	G	R
17	0.13	0.13	0.63
24	0.0	0.27	0.18
30	0.0	0.2	0.0
36	0.29	0.43	0.29
Mean	0.11	0.26	0.28

이상 설명한 컬러 카메라 촬영 화면으로부터 식물체 분리 가능성이나 잡초 검출 가능성을 앞서 설명한 수동 조리개 부착 흑백 카메라 수집 화면과 비교할 때 컬러 카메라 수집 화면의 기능은 수동 조리개 부착 흑백 카메라 수집 화면과 비교가 안될 정도로 낮아 잡초 검출을 위한 컬러 카메라의 유용성은 흑백 카메라에 비하여 별로 없는 것으로 판단하였다.

나) 수동과 자동 렌즈의 유용성 비교실험

자동 조리개 렌즈를 부착한 흑백 카메라를 사용하여 야외에서 수동 렌즈를 부착한 흑백 카메라와 같은 방법으로 영상을 수집하고, 그들을 앞에서 설명한 방법과 같은 방법으로 식물체와 배경 그리고 벼와 잡초의 분리 가능성을 분석하였다.

식물체 영상의 분리 가능성을 조사한 결과, 영상 수집시의 태양강도나 분광 화면 종류(중심 파장이 560, 680, 800 nm인 3 종의 화면)에 관계없이 자동 렌즈를 부착한 흑백 카메라로 수집한 모든 화면에서 식물체 검출이 가능한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 위에서 설명한 수동 렌즈 부착 흑백 카메라의 결과와 비교하면 자동 렌즈 카메라의 사용으로 식물체의 분리 가능성이 대폭 개선되었는데, 이는 자동 렌즈 부착 카메라를 사용함으로써 다양한 태양 조도하에서도 비교적 일정한 화질의 화면을 수집할 수 있었던 것으로 판단되었다.

자동 렌즈 부착 흑백 카메라를 사용하여 수집한 3 종 필터 화면에서 잡초 검출의 가능성을 위에서와 같은 방법으로 조사한 결과는 표 1-4-6과 같다. 3 종 화면 잡초 검출의 가능성을 먼저 벼 재식영역과 조간영역간 비교하면, 3 종

화면 공히 조간영역에서 잡초 검출의 가능성이 벼 재식영역에 비하여 높은 결과를 보였다. 이러한 결과로 보아 잡초의 검출 가능성은 벼와 잡초의 밀식 정도나 잡초의 크기에 따르는 것으로서, 크기가 작은 잡초 중 벼 재식영역 잡초와 같이 벼와 잡초간의 거리가 짧은 경우 잡초의 검출은 벼와 잡초간의 거리가 긴 조간영역 잡초에 비하여 곤란한 것으로 나타났다.

잡초 검출 가능성을 자동 렌즈 카메라와 수동 렌즈 카메라와 비교한 결과 자동 렌즈 카메라의 잡초 검출의 가능성은 표와 같이 3 종 화면에서 40% ~ 73%의 범위로서 수동 렌즈 부착 카메라의 26% ~ 41%에 비하여 상당히 높은 수준이다. 자동 조리개 부착 카메라는 앞에서 설명한 식물체 분리 능력에서도 우수한 결과를 보여 결과적으로 논 잡초 검출용 기계시각의 카메라는 자동 조리개 부착 카메라가 바람직한 것으로 판단되었다.

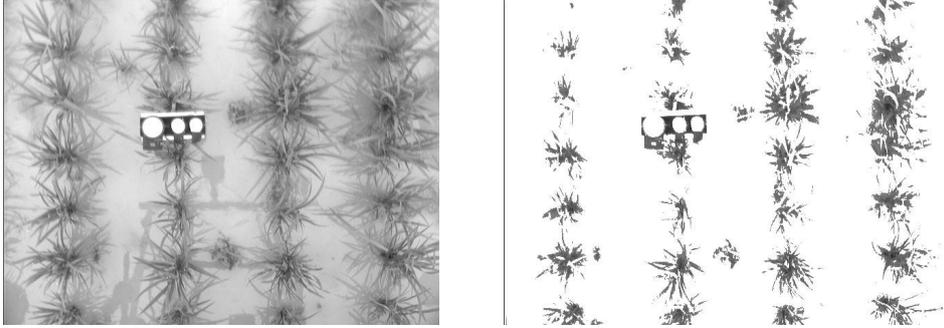
Table 1-4-6 Possibility to isolate weed images from pictures taken by a manual iris monochrome cameras with an optical filter attached

DAT	Weeds in row			Weeds in inter-row		
	560 nm	680 nm	800 nm	560 nm	680 nm	800 nm
24		0.61	0.61		0.61	0.64
27	0.59	0.90	0.65	0.57	0.85	0.65
30	0.25	0.70	0.57	0.63	0.56	0.67
33	0.70	0.80	0.58	0.62	0.81	0.70
36	0.22	0.56	0.35	0.62	0.86	0.70
39	0.24	0.49	0.48	0.81	0.69	0.69
Mean	0.40	0.57	0.44	0.65	0.73	0.67

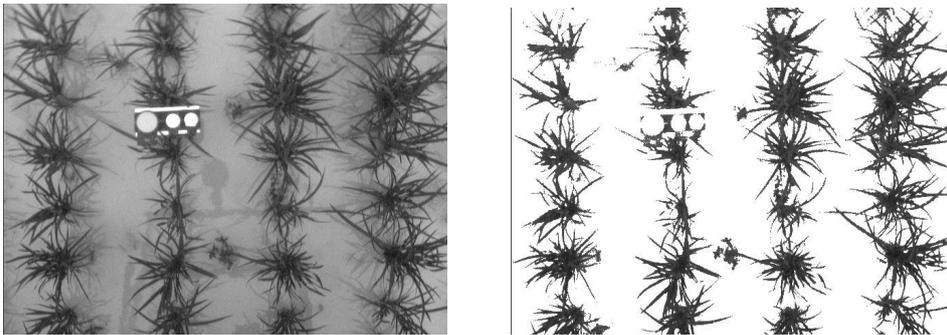
다) 유용한 필터 선택실험

자동 렌즈 흑백 카메라에 3 종의 필터를 장착하여 수집한 화면과 각 화면에서 임계값 처리에 의해 논바닥 배경으로부터 식물체 영상을 분리한 결과를 예시한 것은 그림 1-4-13과 같다. 임계값 처리 전의 필터를 통하여 수집한 각 화면을 비교하면 560 nm와 680 nm 필터 화면에서는 물체의 그림자가 800 nm 화면에 비하여 상당히 선명하게 촬상되었는데 그 결과로 영상 분석시 이러한

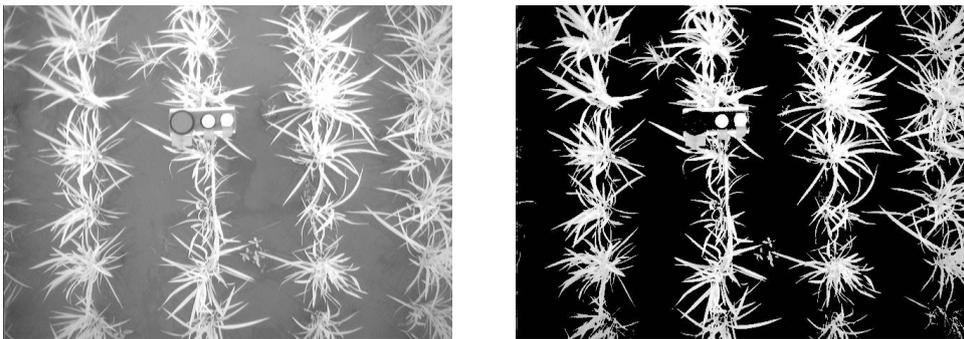
그림자의 영향이 작용하여 영상 분석상 오류를 유발할 가능성이 큰 것으로 판단되었다.



a) image of 560 nm filter



b) image of 680 nm filter



a) image of 800 nm filter

Fig. 1-4-13 Images taken through the 3 kinds optical filters and their threshold processed result

임계값 처리 후 화면을 비교하면, 그림과 같이 800 nm 화면에서 분리 결과가 나머지 두 화면의 것보다 좀더 뚜렷함을 알 수 있었다. 이는 영상 수집시 대부분의 눈바닥에 표면수가 있는 상태로서 이러한 눈 표면 상태에서는 앞에서 설명한 바와 같이 800 nm 부근에서 토양과 식물체의 광반사율 차이가 크게 기인한 결과이다. 중심 파장 680 nm 화면에서도 식물체는 눈바닥 배경으로부터 비교적 잘 분리되나 식물체의 그림자가 식물체 영상을 흐리게 함을 알 수 있었다.

3 종 화면의 잡초 검출 가능성을 표 1-4-6의 결과로부터 비교하면, 화면의 잡초 검출 가능성은 영상 촬영일에 따라 차이가 있으나 표에 나타난 3 종 화면별 평균값을 비교하면 680 nm 화면의 검출가능성이 벼 재식영역이나 조간영역 잡초에 대하여 공히 가장 우수한 결과를 보였다. 이는 앞에서 설명한 수동 조리개 부착 흑백 카메라로 촬영한 영상과 같은 결과이다. 따라서 3 종 필터를 장착한 흑백 카메라로 촬영한 영상을 이용하여 화소값으로 잡초를 검출하는데 있어 가장 효과적인 화면은 680 nm 화면임을 알 수 있었다.

눈 잡초 검출에 유용한 필터를 선택하고자 이상의 분석 결과를 정리하면, 수집한 3 종의 화면에서 임계값에 의해 식물체 영상을 분리하는데는 800 nm 화면이 바람직하나 분리한 식물체 영상에서 잡초를 분리하는데는 680 nm 화면이 우수하여 두 화면 기능이 서로 대립됨을 알 수 있다. 눈 잡초 검출을 위한 영상처리 과정은 앞에서 설명한 바와 같이 배경으로부터 식물체의 분리가 선행 작업이므로 후 작업인 잡초 영상의 검출작업은 식물체 분리작업의 양부에 영향 받는다. 따라서 눈 잡초 검출 목적의 필터는 800 nm로 하여야 할 것으로 판단하였다.

참고로 잡초의 종류별로 전 실험기간에 걸쳐 영상 화소값에 의한 각 잡초의 검출 가능성을 분석한 결과는 표 1-4-7과 같다. 표를 보면 여뀌바늘과 마디꽃의 경우 800 nm 화면의 검출 가능성은 잡초의 식생 위치(벼 재식영역 또는 조간영역)에 관계없이 680 nm 화면보다 우수함을 알 수 있다. 즉 몇 가지 잡초 종류에 대한 560 nm 화면과 800 nm 화면의 잡초 검출 가능성은 680 nm 화면의 검출가능정보보다 우수한 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 영상의 화소값에 의해 눈 잡초를 검출할 경우 2 종 이상의 분광 카메라를 사용하면 좀더 높은 수준의 잡초 검출이 가능함을 시사하는 것이다. 다만 이 경우 사용하는 기계시각 장비(카메라나 컴퓨터와 frame grabber 등)는 좀더 복잡해지고 이를 위한 컴퓨터의 연산 시간은 길어지므로 실시간(real time) 처리를 위해서는 좀더 신중한 검토가 필요할 것으로 예상되었다.

Table 1-4-7 Possibility to isolate images of various weeds from pictures taken by a manual iris monochrome cameras with an optical filter attached

Weeds	In inter-rows			In row		
	560	680	800	560	680	800
<i>Aeschynomene indica</i> (자귀풀)	0.43	0.80	0.17	0.46	0.86	0.27
<i>Lindernia dubia</i> (미국외풀)	0.67	0.68	0.64	0.47	0.45	0.50
<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb (여뀌바늘)	0.54	0.70	0.96	0.34	0.74	0.74
<i>Cyperus amuricus</i> Maxim (방동사니)	0.38	0.58	0.69	0.51	0.64	0.68
<i>Monochoria vaginalis</i> (물달개비)	0.89	0.93	0.80	0.43	0.90	0.70
<i>Eclipta prostrata</i> (한련초)	0.79	0.84	0.57	0.30	0.48	0.22
<i>Rotala indiica</i> Koehne (마디꽃)	0.76	0.63	0.92	0.27	0.60	0.65
<i>Echinochloa</i> (피)	0.72	0.70	0.64	0.41	0.73	0.56
Mean	0.65	0.73	0.67	0.40	0.67	0.54

이상 설명한 영상 분석에 있어 적용한 임계값은 화면별로 ± 15 정도의 차이를 보였다. 화면별로 적용한 임계값을 검토한 결과 임계값은 영상 촬영일 그리고 동일한 촬영일에 있어서도 촬영시간에 따라 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 임계값은 영상 촬영시 태양의 지면에 대한 각도, 태양광의 강도 그리고 눈 표면의 수심이나 함수율에 영향을 받은 것으로 추정되었으나 어떤 일정한 추세는 파악할 수 없었다.

따라서 화소값의 임계값 처리에 의해 잡초를 검출하는 소프트웨어를 개발할 경우 그 소프트웨어는 처리할 모든 영상별로 처리 목적(식물체 분리 또는 잡초 검출)에 맞는 최적 임계값을 결정하는 과정을 포함하여야 할 것이다. 그러나 이러한 최적 임계값을 결정하는 과정은 연구자의 육안에 의한 화면 분석과 같이 그 기준을 설정하기가 곤란하며, 그 기준을 설정할 수 있어도 이를 수행하는데는 짧지 않은 컴퓨터 연산 시간을 필요로 할 것이므로 영상처리에 의한 잡초 검출을 실시간으로 처리하는데 주요 장애 요인이 될 것으로 판단되었다.

이를 고려하여 본 연구에서는 잡초 검출 소프트웨어를 개발하는데 있어 가능한 컴퓨터 연산 시간을 최소화하기 위하여 식물체와 잡초 검출을 위한 임계값의 결정 과정을 다음과 같이 단순화하도록 하였다. 즉 사용하는 frame grabber가 보유한 LUT 기능을 가능한 활용하기 위하여 식물체 검출을 위한 임계값은 각 화면 분석시 구한 임계값을 기초로 하여 화면별로 적정 임계값을 결정하였다. 이에 따라 800 nm 화면에서 식물체 분리를 위해 결정한 적정 임

계값은 190이었다.

2) 벼와 잡초 영상의 특성 추출법 결정실험

본 연구에서 설정한 5 종의 화소값 구간 설정 유형의 벼와 잡초 분류 능력 (분류의 정확도)을 패턴 인식을 적용한 벼와 잡초 영상 분류 방법을 적용하여 조사한 다음 그 결과를 분류의 정확도(correct classification ratio; CCR)와 오분류율(mis-classification ratio; MCR)로 나타낸 것은 표 1-4-8과 같다. 표와 같이 5 종의 화소값 구간 설정 유형 중 가장 분류정확도가 가장 높은 유형은 D형으로 나타났으며, 본 연구에서는 이 유형의 방법으로 모든 식물체 조각 영상 영역의 화소값 분포율을 구하였고 그에 의해 벼와 잡초를 분류하도록 하였다.

Table 1-4-8 CCR and MCR of the selected 5 types of dividing pixel value range to represent the distribution of pixel value in images of rice plant and weed for their classification (CCR=correct classification ratio; MCR=misclassification ratio)

Type	Area	CCR		MCR	
		Rice	Weeds	Rice	Weeds
A	Inter-row	0.71	0.64	0.29	0.36
	In row	0.75	0.27	0.25	0.73
	Whole	0.70	0.63	0.30	0.37
B	Inter-row	0.66	0.64	0.34	0.36
	In row	0.75	0.27	0.25	0.73
	Whole	0.68	0.65	0.32	0.35
C	Inter-row	0.68	0.64	0.32	0.36
	In row	0.75	0.27	0.25	0.73
	Whole	0.69	0.65	0.31	0.35
D	Inter-row	0.71	0.64	0.29	0.36
	In row	0.70	0.80	0.30	0.20
	Whole	0.71	0.65	0.29	0.35
E	Inter-row	0.68	0.64	0.32	0.36
	In row	0.75	0.27	0.25	0.73
	Whole	0.69	0.63	0.31	0.37

3) 개발 장치 성능실험

는 잡초 검출 목적으로 본 연구에서 선정된 카메라 등 기계시각장치와 개발한 소프트웨어의 잡초 검출 성능을 잡초 검출율(화면상의 총 잡초 수에 대해 검출한 잡초 수의 비율)과 화면당 벼와 잡초를 오인식한 영상수(벼 잎 영상을 잡초로 오인식 또는 잡초를 벼로 오인식)를 조사하여 그 결과를 나타낸 것은 표 1-4-9와 같다.

개발 장치 성능 중 잡초 검출율은 벼 생육일 경과에 따른 일정한 변화 추세를 찾을 수 없었고, 그 평균값을 보면 조간영역의 잡초와 벼 재식영역의 잡초의 경우 각각 72%와 45%이고 전영역의 잡초 검출율은 61%로 나타났다.

Table 1-4-9 Performance of developed software for weed detection in paddy field

DAT	Weed detection ratio			# of misclassified in a frame		
	Inter-row	In row	Whole	Inter-row	In row	Total
24	0.86	0.40	0.58	4.0	6.1	10.1
27	0.77	0.29	0.62	4.8	3.2	8.0
30	0.84	0.56	0.73	6.3	5.3	11.6
33	0.63	0.32	0.49	5.9	5.7	11.6
36	0.62	0.50	0.64	8.6	7.2	15.8
39	0.59	0.63	0.62	13.5	8.5	22.0
Mean	0.72	0.45	0.61	7.2	6.0	13.1

잡초 검출율로 볼 때 개발한 장치를 실제로 제초제 살포장치의 잡초 검출 센서로 사용하는 데는 미흡한 것으로 판단하였다. 다만 이러한 수준의 잡초 검출율은 “카메라 종류 선정실험”이나 “벼와 잡초 영상의 특성 추출법 결정실험” 결과와 비슷한 수준으로서 이들 실험을 육안으로 판단하며 수행한 점과 이러한 잡초 검출율을 실제 논에서 자라는 잡초를 대상으로 특히 벼 재식영역에서 자라는 잡초도 그 대상으로 한 영상으로부터 조사한 점을 고려하면 이러한 잡초 검출율은 사용한 기계시각 장치의 하드웨어로 얻을 수 있는 가장 높은 수준에 근접한 것으로 판단되었다.

실제로 잡초 검출율 수준을 높이기 위해서는 2 종 이상의 광과장에 대한 정보가 필요할 것으로 예상되는데, 이를 위해서는 2 종 이상의 필터를 각각 부착한 카메라가 요

구되고 그들이 수집한 화면을 실시간으로 분석할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어가 필요하므로 그에 따른 경제적 부담이 과중하게 되는 문제점이 있음은 전술한 바와 같다.

벼 재식영역의 잡초는 allelopathy 현상에 의하여 벼가 성장함에 따라 그 상당수는 발육이 좋지 못하여 벼 수확량에 미치는 영향은 크지 않으므로 경엽처리의 주 대상은 조건 잡초인데 개발한 장치에 의한 조건 잡초의 평균 검출율은 72%이므로 이들만 방제하여도 벼 수확량에 미치는 효과는 상당히 클 것으로 판단하였다.

벼와 잡초를 잘못 인식한 오인식수(화면당)는 벼 생육일 경과에 따라 증가하는 추세인 것으로 판단되었으며, 그 평균값을 보면 조건영역과 벼 재식영역에 있어 각각 7.2 개와 6.0 개로서 전체 화면당 13.2 개로 나타났다. 이러한 벼와 잡초의 오인식은 대부분이 벼 잎을 잡초로 오인식한 것으로서, 이러한 화면당 오인식 수는 많은 것으로 보이나 영상처리에 의해 한 화면에서 분리 포착한 식물체 영상수가 50~80 개(그림 1-4-9의 경우는 68 개)인 점과 본 장치의 주목적이 제초제 살포를 위한 위치 파악인 점을 고려하면 이러한 오인식 수는 큰 문제가 될 정도로 많은 수는 아닌 것으로 사료되었다. 그러나 이러한 오인식 수는 가능한 줄이는 것이 바람직하며 그 방법으로서 사용하는 필터를 변경하거나 개발한 알고리즘을 보강하는 방법이 있으며 이에 관한 연구가 필요한 것으로 판단하였다.

위와 같은 성능을 갖는 논 잡초 검출장치의 실용성을 검토한 결과, 현 단계까지 개발한 장치를 적용하여 제초제를 살포할 경우 살포하는 약제의 양은 상당 수준 감소할 수 있을 것으로 예상되었다. 이의 실제적인 예로서 그림 1-4-10를 보면, 잡초로 인식한 영역(정확하게 잡초를 검출한 영역과 벼를 잡초로 오인식한 영역)에 제초제를 살포할 경우 그 살포양은 관행의 논 전면 살포시 사용약제의 1/2 정도로 예상되었다. 더군다나 잡초로 오인식한 영상 수를 감소할 수 있다면 더욱 큰 제초제 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단하였다.

본 연구에서 개발한 잡초 검출 소프트웨어의 실제 포장에서 실시간 영상 분석의 가능성을 검토하기 위하여 화면당 분석 시간을 측정된 결과 화면당 1.2 ~ 1.4 초로 나타났다. 본 연구에서 촬영한 한 화면당 논의 실제 크기는 약 100×80 cm이고 일반적인 모 이앙의 조건 간격이 30 cm이므로 한 화면은 3 조의 벼 재식줄을 취급할 수 있다. 화면당 분석시간과 한 화면이 나타내는 논 면적을 기초로 하여 제초제 살포기의 주행속도를 구하면 2.0 ~ 2.4 km/hr로서 이론 작업능률은 18 ~ 22 a/hr로 분석되었다.

추산한 제초제 살포기의 주행속도는 승용 이앙기의 대표적 주행속도인 4 km/hr보다는 낮은 속도로서 제초제 살포기의 주행속도를 승용 이앙기 속도 수

준으로 높이기 위해서는 현 화면 분석 소요 시간을 줄일 수 있는 방법을 강구하여야 하는데, 이를 위해서는 처리 속도가 빠른 컴퓨터 또는 영상처리 하드웨어를 사용하고 가능한 처리 속도가 빠른 영상처리 알고리즘을 모색하여야 할 것으로 판단하였다.

참고로 잡초별로 그 검출율을 분석하였으며 그 결과는 표 1-4-10과 같다. 표와 같이 조간영역에서 검출율이 높은 잡초는 피, 자귀풀, 방동사니, 물달개비 등 대체로 크기가 큰 잡초로서 광반사 특성이 벼와 비슷한 피의 경우는 검출율이 100%, 자귀풀 86%, 물달개비 76%, 방동사니 70%로 나타났다. 벼 재식영역 잡초 중 광반사 특성이 벼와 유사한 자귀풀은 23%의 낮은 검출율을 보였고, 벼보다 크기가 작은 한련초나 마디꽃은 벼에 가려 검출되지 않았으나 잡초의 잎이 넓고 키가 큰 미국외풀이나 여뀌바늘은 그 검출율이 높음을 알 수 있다.

Table 1-4-10 Performance of developed software to detect various weeds in paddy field

Weeds	Weed detection ratio	
	In inter-rows	In row
<i>Aeschynomene indica</i> (자귀풀)	0.86	0.23
<i>Lindernia dubia</i> (미국외풀)	0.57	1.00
<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb (여뀌바늘)	0.63	0.75
<i>Cyperus amuricus</i> Maxim (방동사니)	0.70	0.61
<i>Monochoria vaginalis</i> (물달개비)	0.76	0.36
<i>Eclipta prostrata</i> (한련초)	0.58	0.00
<i>Rotala indiica</i> Koehne (마디꽃)	0.67	0.00
<i>Echinochloa</i> (피)	1.00	0.61
Mean	0.72	0.45

라. 결 론

본 연구는 기계시각을 이용한 논 잡초 검출 장치의 하드웨어를 결정하고 소프트웨어를 개발하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 본 연구 목적에 유용한 카메라 종류를 선정한 다음, 선정된 카메라로 촬영한 영상을 분석하여 잡초를 검출하는 알고리즘을 구성하고, 마지막으로 구성된 알고리즘의 성능을 실험하는 3 단계 내용으로 수행하였다. 이러한 연구 수행 내용 중 잡초검출 알고리즘을 구성하는데 있어서는 벼와 잡초 영상을 구분하는 알고리즘이 필요한데 본 연구에서는 이를 위하여 벼와 잡초 영상을 구분하는 인자(벼와 잡초 영상의 특성)의 효과적인 추출 방법을 실험에 의해 구하고자 하였다. 이에 따라 본 연구는, 첫째 카메라 종류 선정실험, 둘째 벼와 잡초 영상의 특성 추출법 결정실험, 셋째 개발장치 성능실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 논 잡초 검출에 유용한 카메라는 대역통과 필터와 자동 조리개 렌즈를 부착한 흑백 카메라이다. 실제로 이를 사용한 잡초 검출에서는 한 종류의 필터 사용이 실용적인데 이 경우 바람직한 필터는 무논의 영상에서 토양과 식물체(벼와 잡초) 분리에 효과적인 중심과장 800nm의 필터로 판단하였다.

2. 개발한 논 잡초 검출 장치에 의한 잡초 검출율은 조건영역에서 72%, 벼 재식영역에서 45%, 전반적인 검출율은 61%로 분석되었으며, 벼와 잡초를 오인식한 경우는 화면당 13개 정도로 분석되었다. 이러한 잡초 검출율과 잡초로 오인식한 정도로 판단할 때 개발한 장치를 제초제 살포기에 적용하기에는 약간 미흡한 수준이지만 현 단계에서도 실질적인 제초 효과와 살포하는 약제의 감소 효과는 상당할 것으로 예상되었다.

3. 개발한 장치를 제초제 살포기에 사용할 경우 사용 가능한 기계의 작업폭은 90 cm인 3 조식이고 최고 주행속도는 2.0 ~ 2.4 km/hr로서 이론 작업능률은 18 ~ 22 a/hr로 분석되었다.

4. 개발 장치의 성능 중 잡초 검출율을 높이고 벼와 잡초의 오인식 정도를 낮추며 영상 분석속도를 증가하기 위해서는 사용하는 필터 수를 증가하거나 컴퓨터를 포함한 영상처리용 하드웨어를 보강하여야 하며 그에 따라 기 개발한 알고리즘도 보완하는 종합적인 연구가 필요한 것으로 판단하였다.

제2절 토양 유기물 실시간 측정센서 개발

1. 연구 개발의 개요

가. 연구 개발의 목적

본 연구는 토양내 유기물 함량 측정 센서를 개발하는 연구로, 외란광의 영향을 배제하기 위해 지표면으로부터 15 ~ 20 cm 정도 지하에서 인공광을 조사하고 이에 대한 토양의 반사광을 대역통과필터를 장착한 광센서로 측정하여, 첫째 포장내 위치별 토양 유기물 함량 차이(공간적 변이)를 실시간으로 측정하는 토양 유기물 측정센서를 개발하고, 둘째 측정된 토양 유기물 함량값을 이용하여 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 단계로 그룹핑하여 실시간으로 지도화하는 프로그램을 개발하는데 그 목적이 있다.

나. 연구 개발의 범위

이상의 목적을 위하여 본 연구는 다음과 같이 세 부분으로 구분하여 수행하였다.

첫째, 토양 유기물 함량에 민감한 광파장대 결정 및 상관관계 구명

- 광 반사 특성으로부터 민감 파장대 결정 및 측정량과의 상관관계 구명
- 토양 유기물 함량별 분광분석실험

둘째, 실시간 토양 유기물 함량 측정센서 설계 제작 및 알고리즘 개발

- 포장내 위치별 토양 유기물 함량 차이(공간적 변이)를 실시간으로 측정하는 토양 유기물 측정센서 개발
- 측정된 토양 유기물 함량값을 이용하여 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 단계로 그룹핑하여 실시간으로 지도화하는 프로그램 개발
- 1차 시작기 제작 및 예비 실험

셋째, 토양 유기물 함량센서 현장실험과 보완

- 현장 실험, 성능 분석 및 보완

2. 연구 내용 및 결과

가. 재료 및 방법

1) 유기물 함량 예측모델 개발

가) 토양 시료

토양 유기물 함량에 민감한 파장대를 결정하기 위해 유기물 함량별 토양 시료를 조제하였다. 일반적으로 우리나라 토양의 평균 유기물 함량은 논 2.2 %,

밭 1.9 %정도이다. 따라서 본 연구에서는 0 ~ 8 %까지의 유기물함량을 인위적으로 조제하였다. 시료는 유기물이 거의 없는 황토에 시중에서 판매되는 퇴비와 톱밥을 첨가하여 0 ~ 8 %의 유기물 시료 92점을 다음과 같이 조제 및 측정하였다.

즉 그림 2-1와 같이 황토에 퇴비와 톱밥을 혼합(a)하여 유기물 시료 함량별 유기물 토양의 시료를 조제(b)하고, 측정 전에 (c)와 같이 토양 표면을 평평하게 한 후 유기물 측정용 광센서(d)로서 측정하였다.

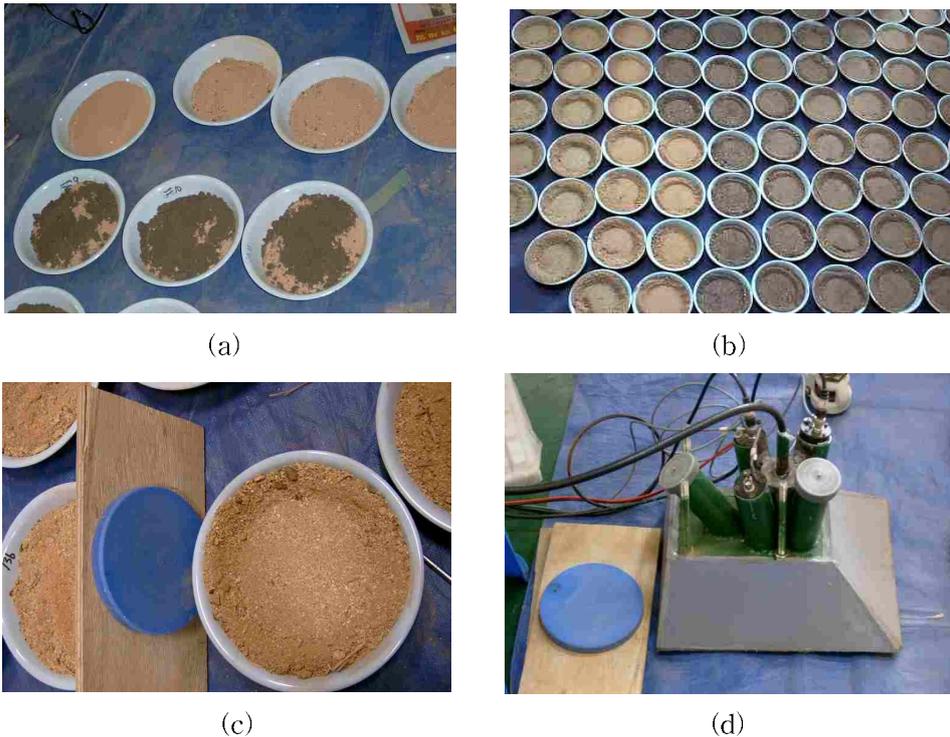


Fig. 2-1 Preparation of the soil samples of various organic contents and their measurement

나) 분광분석

토양의 분광특성을 조사하기 위해 근적외선 분광분석기(model 6500, NIRSystem, Perstorp Analytical, Inc.)를 이용하였다. 이 분석기는 400 ~ 2500 nm 파장영역을 2 nm 간격으로 스펙트럼당 1050 data points의 흡광도를 측정하는 장치이다. 본 분석기기는 측정한 물질의 반사도에서 표준물질의 반사도를 뺀 값을 0부터 6사이의 흡광도로 나타낸다.

다) 화학분석

조제한 토양 시료는 분광특성을 측정한 후 화학적인 방법에 의해 유기물 함량을 측정하였다. 유기물 함량은 농업기술연구소(현 농업과학기술원) 토양화학 분석법에 준하였다(농기연, 1988). 유기물 측정에 사용된 기기는 현재 우리나라 시·군 농업기술센터에 주로 보급돼 있는 토양·농약분석 전용 분광광도계(KA-P, Soiltek)를 사용하였다.



(a)



(b)

Fig. 2-2 Spectrometer (a) and experimental apparatus (b) to measure the organic content of soil samples

라) 토양 유기물 함량에 민감한 파장대 결정

토양 유기물 함량에 민감한 광파장대를 결정하기 위해 토양 시료 92점을 대상으로 400 nm부터 1400 nm까지의 스펙트럼을 분석하였다. 400 nm부터 2400 nm까지의 전체 스펙트럼을 이용하지 않은 이유는 실제 본 연구에서 개발하고자 하는 센서에 장착될 대역통과필터는 400 nm부터 1400 nm 사이의 필터만 사용할 예정이었기 때문이다.

분석에는 원시 스펙트럼, 분할간격 및 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하였다. 스펙트럼 자료의 미분은 모든 자료의 기준선을 0으로 한 후 각 파장에서의 기울기를 계산하였다. 전처리는 일반적으로 이용되는 다분산 보정(Multiplicatives Scatter Correction: MSC)을 이용하였다. 다분산 보정은 개개의 스펙트럼을 시료의 이상적인 스펙트럼(ideal spectrum)으로 선형화하여 산란효과를 제거하는 방법이다.

마) 유기물 함량 예측모델 개발

토양 유기물 함량에 민감한 광파장대를 대상으로 다중회귀 분석을 이용한 수학적 처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 반사 및 투과 스

펙트럼의 흡광도를 대상으로 변수증가법을 이용하여 유기물 함량 예측모델을 개발하였다.

스펙트럼을 이용한 예측모델을 개발하기 위해 다중회귀 분석법(Multiple Linear Regression;MLR)을 이용하였다. 다중회귀모델 개발은 NEWISI 4.0 (NIRSystems, Silver Spring, USA)를 사용하였다. 이 프로그램은 흡광도로 표시된 스펙트럼과 그에 해당하는 성분값을 입력하고, 파장범위, 수학적 처리 및 전처리 방법을 설정하여 실행하면, 결정계수, 교정부 오차 등과 같은 모델의 교정 결과를 파일로 출력한다.

모델의 개발에는 원시 스펙트럼, 분할간격 및 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 사용하였다. 스펙트럼 자료의 미분은 모든 자료의 기준선을 0으로 한 후 각 파장에서의 기울기를 계산하였다. 전처리는 일반적으로 이용되는 다분산 보정을 이용하였다.

스펙트럼 분석시 많은 독립변수들 중에서 적합한 변수를 선택하여 다중선형 회귀모델을 구하는 방법은 일반적으로 변수증가법(step-up method)과 변수증감법(setpwise method)이 주로 이용된다. 변수증가법은 독립변수가 하나도 포함되지 않은 경우에서 시작하여 종속변수와 단순상관이 최대인 변수를 선택하여 회귀모형에 포함시킨다. 변수증감법은 종속변수와 단순상관이 최대인 변수를 선택하여 회귀모형에 포함시켜 각 변수에 대한 회귀계수의 검증을 행하여 모든 변수가 포함되어 있으면 종료하고 그렇지 않으면 계속 변수를 추가하면서 회귀계수의 검증을 실시한다. 본 연구에서는 변수증가법을 이용하여 회귀모델을 개발하였다.

2) 유기물 함량 예측모델 검증

본 연구에서 개발한 토양 유기물 함량 예측 모델을 검증하기 위한 시험장치를 제작하였다. 시험장치는 외란광의 영향을 받지 않도록 광을 차단한 후 가시광선부터 근적외선 영역까지의 인공광을 조사하고, 토양 표면에서 반사되는 반사광을 대역통과 필터를 이용하여 측정할 수 있도록 제작하였다. 자료 저장은 10초동안 매초마다 저장하였으며, 이 중 저장 시작 직후 3개, 저장 종료 직전 3개를 제외한 4개의 데이터를 평균하여 분석에 이용하였다.

가) 센서 및 유기물 측정장치

유기물이 포함된 토양에 인공광을 조사하여 그 반사광을 측정하는 센서는 Electro Optical System Inc.에서 제작한 PBS-050-I와 S-050-I를 이용하였다. PBS-050-I는 700 ~ 1500 nm 범위의 광반사를 측정하고 S-050-I는 300 ~ 700 nm 범위의 광반사를 측정하여 0 ~ 10 v 사이의 전압값으로 변환 출력한

다.

유기물 측정은 토양·농약분석 전용 분광광도계인 KA-P(헨슨테크놀로지)를 이용하였다(그림 2-2 참조). 이 장치의 측정범위는 0 ~ 6.7%이나, 2 배로 희석할 경우 13.4%까지 측정할 수 있다. 따라서 본 연구에서도 유기물 함량이 6.7%까지는 분광광도계를 이용하였고, 그 이상의 유기물 함량인 경우는 희석하여 사용하였다.

나) 모델 검증

본 연구에서 개발한 모델의 검증을 위해 실제 포장에 있는 임의의 토양 시료 59점(논 토양 21, 밭 토양 38)을 대상으로 모델식 개발에서와 동일한 방법으로 측정하였다.

3) 유기물 함량 측정장치 개발

가) 광센서

유기물이 포함된 토양에 인공광을 조사하여 그 반사광을 측정하는 센서는 Electro Optical System Inc.에서 제작한 PBS-050-I와 S-050-I를 이용하였다. PBS-050-I는 700 ~ 1500 nm 범위의 광반사를 측정하고 S-050-I는 300 ~ 700 nm 범위의 광반사를 측정하여 0 ~ 10 v 사이의 전압값으로 변환 출력한다.

나) 측정 센서 개발

정밀농업을 위한 센서는 이동중인 농작업기에 장착하여 별도의 예비 측정 없이, 가능한 실시간에 의한 연속적 자료 수집을 할 수 있어야 하고, 수집된 자료를 이용하여 위치별 수준차이를 몇 개의 단계로 구분할 수 있어야 한다.

본 연구에서 개발하고자 하는 실시간 토양 유기물 센서는 토양 지표아래 15 ~ 20 cm 부근에서 인공광을 조사한 후 그 반사광을 측정하게 된다. 따라서 광원을 조사하고 반사된 광을 측정할 수 있는 시스템을 지표아래 부분에 갖추도록 설계해야 한다. 또한 저장장치, GPS 수신 시스템 등을 탑재하고 작업할 수 있도록 탑재체를 설계할 필요가 있다.

가능한 적은 부하로 지표아래 부분의 토양을 절삭하기 위해서는 토양 절삭 폭을 최소화 시킬 필요가 있는데, 이 폭은 광을 조사하고, 조사광의 강도를 측정하는 센서가 들어갈 최소폭이 되어야 한다. 또한 절삭된 토양 면 중 일정면적 이상에 광이 조사되어야 하고, 조사된 면적의 중앙부분에서의 광반사를 측정함으로써 그림 2-3과 같이 토양 절삭면에서 '측정영역'의 반사광을 측정하게 된다.

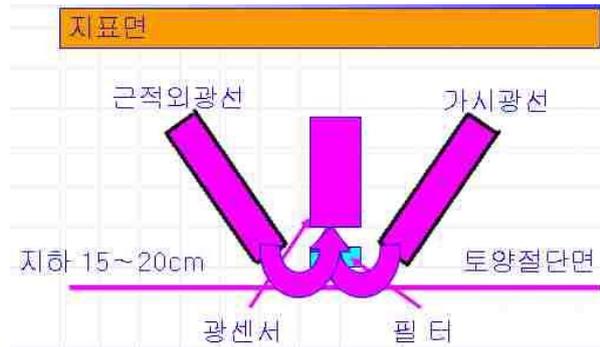


Fig. 2-3 Concept design of the developed soil organic sensor

질삭 표면에서 반사되어 나온 광은 대역통과 필터를 통과하여 광센서의 측정 소자 표면에 정확하게 집중되어야 하는데, 이를 위해 초점렌즈를 사용하는 것이 편리하다. 본 연구에서는 그림 2-4에서와 같이 초점렌즈, 필터, 필터 홀더, 광센서 순으로 센서를 조합하였다.

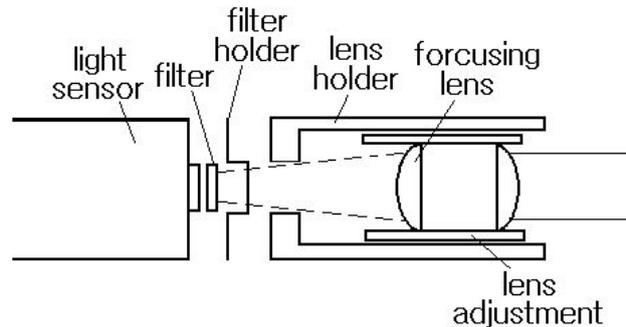


Fig. 2-4 Structure of the sensor developed

4) 실행 프로그램 개발

토양 유기물 함량 측정 센서의 관련 알고리즘을 개발하기 위해서는 측정 위치별로 각 필터에서의 출력값이 저장되어야 한다. 이 값과 예측 모델을 이용하여 포장내 위치별 유기물 함량의 수준 차이를 몇 개의 단계로 그룹핑 하게 된다. 이를 위해 GPS 수신기를 통해 받은 측위 좌표와 각 광센서 출력값이 저장될 수 있도록 C++(Ver. 6.0, Microsoft, USA)을 이용하여 측정용 프로그램을 개발하였다.

5) 포장 실험

본 연구의 목적은 포장내 위치별 토양 유기물 함량 차이(공간적 변이)를 실시간으로 측정하는 토양 유기물 측정센서 개발하고, 측정된 토양 유기물 함량 값을 이용하여 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 실시간으로 몇 개의 단계로 그룹핑하여 지도화하는 프로그램을 개발하는데 있다.

이러한 목적을 달성하기 위해 논과 밭에서 유기물 측정 시험을 수행하였다. 포장시험은 논 37위치를, 밭 342위치를 대상으로 수행하였다. 본 연구에서 개발한 장치를 이용하여 유기물 함량을 측정하고 위치별로 그룹핑 한 후, 동일 위치의 토양 시료를 채취하여 실험실에서 화학적으로 분석하고 그 결과를 비교하였다.

본 연구에서 개발한 장치는 별도의 사전 조사나 시험(평균적인 토양 함수율 측정, 토성 측정 등) 없이 포장내 유기물 함량의 차이를 위치별로 몇 개의 단계로 그룹핑하는 것이다.

나. 결과 및 고찰

1) 토양 유기물 함량에 민감한 광파장대 결정

토양 유기물 함량에 민감한 광파장대를 결정하기 위해 토양 시료 92점을 대상으로 400 nm부터 1400 nm까지의 스펙트럼을 분석하였다. 분석결과 토양 유기물 함량에 민감한 파장대는 558, 574, 638, 684, 906, 908, 964, 1102, 1104, 1274, 1372, 1374 nm로 나타났다.

이 파장대를 선행연구에서 사용한 파장대와 비교하였다. 선행연구에서 사용한 파장대는 표 2-1과 같다. 본 연구에서도 원자료를 1, 2차 미분하여 주성분 스펙트럼을 분석하였으나 이는 선행연구결과와 비교하기 위한 것이고, 실제 본 연구에서 개발할 센서에는 미분 자료를 사용할 수 없다. 그 이유는 미분자료를 활용하기 위해서는 연속된 자료가 필요하나 본 연구에서는 장치의 간소화와 제작비용 절감을 위해 대역통과 필터를 사용하기 때문이다. 따라서 실제 본 연구에서 사용될 스펙트럼 자료는 원시 스펙트럼 자료이다.

표 2-1의 자료를 대역 통과필터를 사용하는 것으로 가정한 경우의 파장대는, 원자료의 경우 480, 530, 610, 700, 880, 1000, 1350, 1470, 1750, 2200 nm, 1차미분 자료의 경우 420, 530, 600, 700, 950, 1000, 1200, 1450, 1650 nm, 2차미분 자료의 경우 430, 500, 550, 600, 850, 900, 1100, 1300, 1500 nm로 요약할 수 있다.

Table 2-1 Reported sensitive wavelength to soil organic content

Source	Ssensitive wavelength (nm)	1st deriv.(nm)	2nd deriv.(nm)
Sung	480, 747, 616, 1372, 704, 879, 1008, 1335, 529	523, 928, 526, 700, 1200, 1020, 1214, 1420, 1657, 416, 606	431, 556, 1105, 1542, 606, 1311, 1238, 849, 1639, 499, 660, 903, 1063
Yoo (1999)	1736, 1868, 2168, 2212		

* : 4개 지역(일본 3, 영국 1)측정 결과 종합

2) 유기물 함량 예측 모델 개발

토양 내 유기물 함량은 측정 당시의 토양 내 수분함량에 영향을 받는다. 본 연구에서 개발하고자 하는 센서는 이동중인 작업기에 장착하여 별도의 예비 측정 없이 위치별 토양 유기물 함량의 수준차이를 몇 개의 단계로 구분하는 장치이다. 즉, 측정하고자 하는 포장의 토양 수분함량이 얼마인지, 대략적인 유기물의 분포가 얼마 정도인지를 확인하지 않은 상태에서 포장전체의 유기물 함량 수준차이를 몇 개의 단계로 구분할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 토양 내 유기물 함량을 측정할 때 영향을 주는 수분함량의 영향을 최소화하기 위해 토양 수분함량과 유기물 함량과의 관계를 먼저 구명하였다.

가) 수분함량과 유기물 함량과의 상관관계

토양 내 수분과 유기물 함량과의 상관관계를 알아보기 위해 토양 시료 35점을 대상으로 상관관계를 분석하였다. 분석결과는 그림 2-5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 토양 내 수분과 유기물 함량간의 관계는 2차 함수로 회귀식을 작성할 수 있으며 R^2 는 0.8891로 나타났다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이 토양 수분 28 % 부근을 기준으로 토양수분에 의한 유기물 함량에 급격한 차이가 있다.

따라서 토양 수분이 28 % 이하인 토양에 대해 토양 내 수분과 유기물 함량과의 상관관계를 별도로 분석하였다. 그림 2-6에서 보는 바와 같이 토양 수분 함량이 28 % 이하인 경우 선형 회귀식을 이용하여도 R^2 값이 0.9773으로 매우 높음을 알 수 있다. 이는 실제 현장에 적용했을 때, 포장내 위치별 수분함량의 차이가 10 %정도면 수분함량에 따라 영향을 받는 토양유기물 함량이 1 % 이내임을 의미한다. 따라서 본 연구에서는, 토양 수분함량이 28%까지의 토양을

대상으로 토양 유기물 센서를 개발하였다.

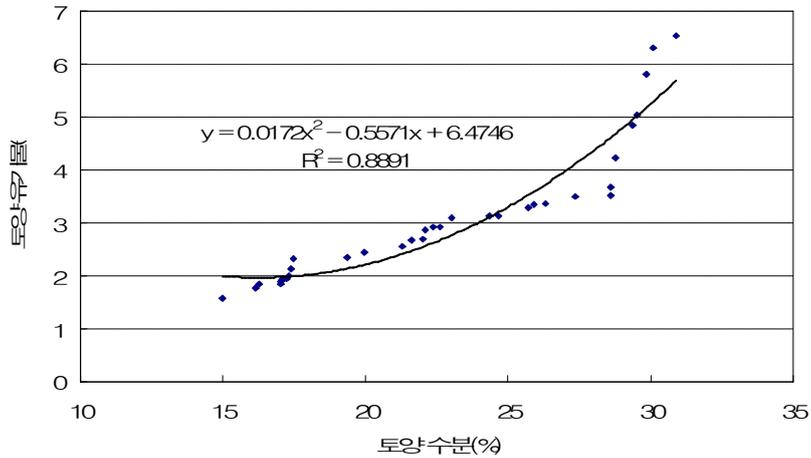


Fig. 2-5 Relationship between soil organic content and moisture content

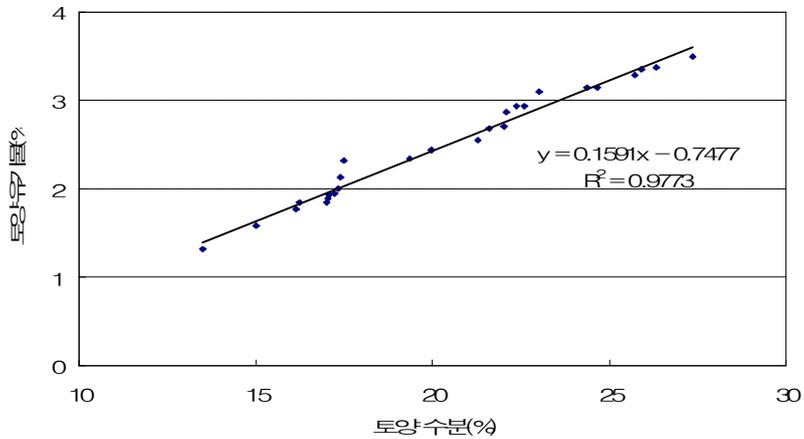


Fig. 2-6 Relationship between soil organic content and moisture content less than 28%

나) 예측 모델 개발

유기물 함량 예측 모델을 개발하기 위하여 토양 시료를 대상으로 400 nm부

터 1400 nm까지의 스펙트럼을 측정하였다. 원 자료를 이용한 모델에서 사용된 파장은 558, 906, 1274, 964, 908, 1104 nm이었다. 대역통과 필터를 이용하여 이 파장대를 구현하고자 하면 560, 910, 960, 1100, 1270 nm($\pm 10 \sim 20$ nm)의 5개 필터를 사용하면 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 560 \pm 9.4, 905 \pm 10, 950 \pm 13.3, 1100 \pm 16.5, 1280 nm \pm 12 nm 5개의 대역통과 필터 이용하였으며 개발된 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{soil organic matter} = -0.3523 + 0.865 \times A_{560} + 1.232 \times A_{905} - 0.998 \times A_{950} + 1.086 \times A_{1100} - 1.153 \times A_{1280}$$

여기서, $A\lambda = \log(1/R)$

3) 예측 모델 검증

모델 검증을 위해 임의의 토양 59점(논 21, 밭 38)을 모델식 개발에서와 동일한 방법으로 측정하였다. 시험결과 논인 경우(토양수분 18 ~ 29%) $R^2=0.8601$ 이었으며(그림 2-7), 밭의 경우(토양수분 20 ~ 28%) $R^2=0.9679$ 였다(그림 2-8). 토양 유기물 함량 예측모델을 이용한 논과 밭 토양의 예측결과는 비슷했다. 그림 2-9는 논 토양과 밭 토양의 모델 검증결과를 하나로 합친 경우이다. 그림에서 보는 바와 같이 $R^2=0.955$ 의 정확도로 토양 유기물함량을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

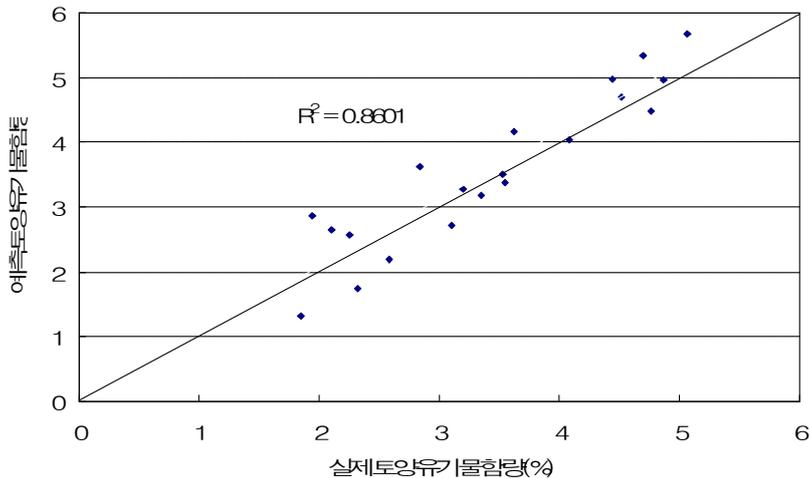


Fig. 2-7 Comparison between predicted values and real values of soil organic content (21 data point in paddy field, MC=18 ~ 29 %)

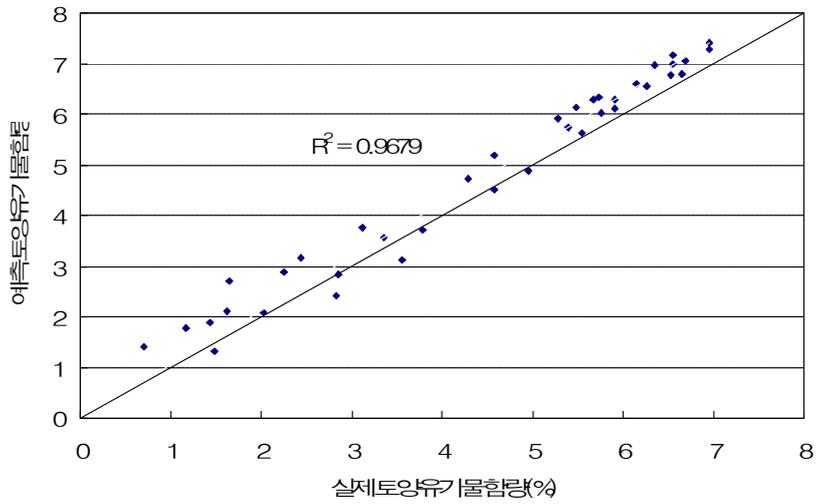


Fig. 2-8 Comparison between predicted values and real values of soil organic content (38 data point in upland, MC=20 ~ 28%)

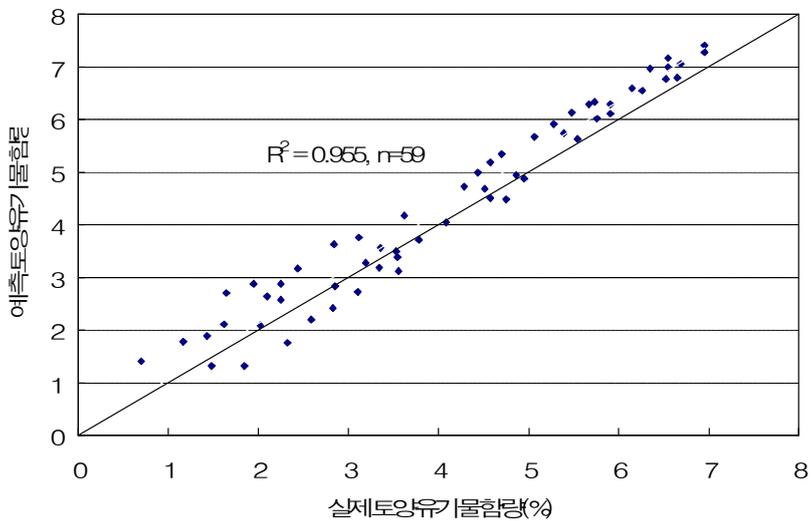


Fig. 2-9 Comparison between predicted values and real values of soil organic content (59 data point in paddy field and upland, MC=18 ~ 29 %)

4) 센서 설계 및 제작

본 연구에서 개발한 장치는 외란광의 영향이 없는 지표면 아래 15 cm 부근에 인공광을 조사하고, 이 인공광이 토양표면에서 반사되는 에너지를 대역통과 필터를 거쳐 광센서로 측정하도록 구성하였다. 동시에 가능한 적은 부하로 지표면 아래 부분의 토양을 절삭하기 위해서 토양 절삭폭을 15 cm로 최소화시켰다. 또한 절삭된 토양 면 중 일정면적 이상에 광이 조사되고, 조사된 면적의 중앙 부분에서의 광반사를 측정하도록 설계하였다.

절삭 표면에서 반사되어 나온 광은 필터를 통과하여 광센서의 측정소자 표면에 정확하게 집중되어야 하는데, 이를 위해 초점렌즈를 사용하였다. 그림 2-10에서 광센서의 설치 위치와 측정 영역, 그림 2-11은 초점렌즈, 필터, 필터홀더, 광센서 순의 센서 조합, 그림 2-12와 그림 2-13에서 유기물 측정센서의 조립 상태를 나타낸 것이다.

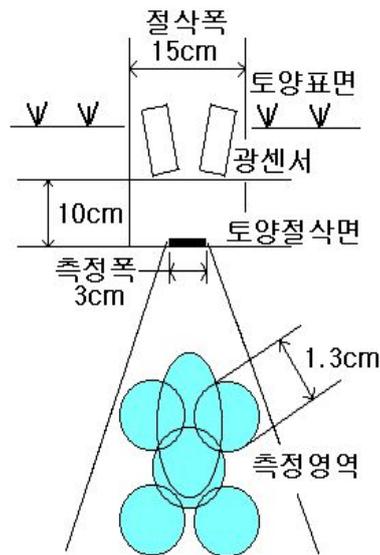


Fig. 2-10 Schematic diagram of the sensor developed



Fig. 2-11 Parts of the sensor and a view after their assembled



Fig. 2-12 The sensor assembled to main body



Fig. 2-13 The sensor mounted on a tractor

5) 실시간 토양 유기물 측정 알고리즘 및 프로그램 개발

가) 알고리즘 개발

본 연구에서 개발한 토양 유기물 측정장치는 포장내를 이동하면서 포장내 위치별 유기물 함량을 몇 개의 단계로 그룹핑(grouping)하게 된다. 따라서, 측정장치에는 위치좌표를 알 수 있는 GPS 수신장치와 유기물 측정센서가 장착되어야 하고, 측정과 동시에 측정값을 지도화하는 알고리즘과 관련내용을 저장하는 알고리즘을 포함하여 실행프로그램을 만들어야 한다. 그림 2-14와 그림 2-15는 유기물 측정장치 실행 프로그램을 개발하기 위한 알고리즘을 나타낸 순서도이다.

나) 실행 프로그램 개발

순서도에서 보는 바와 같이 프로그램은 토양 유기물 측정작업 전에 측정하고자 하는 포장의 경계를 구성하는 파일을 먼저 만들어야 한다. 이 경계 파일은 프로그램을 실행시킨 상태에서 GPS수신기를 켜고 포장의 외곽을 한바퀴 돌면 자동으로 생성된다.

포장의 외곽 경계 파일이 만들어 졌으면, 실제 측정 전에 측정 단위 크기, 즉 기준 메쉬를 설정해야 한다. 기준 메쉬 설정은 포장의 기본 메쉬 크기(몇 m 크기로 단위 측정해야 하는지)를 결정하는 내용이다. 이 단위 크기내에서는 측정이 여러번 수행되더라도 그 값의 평균이 저장되게 된다.

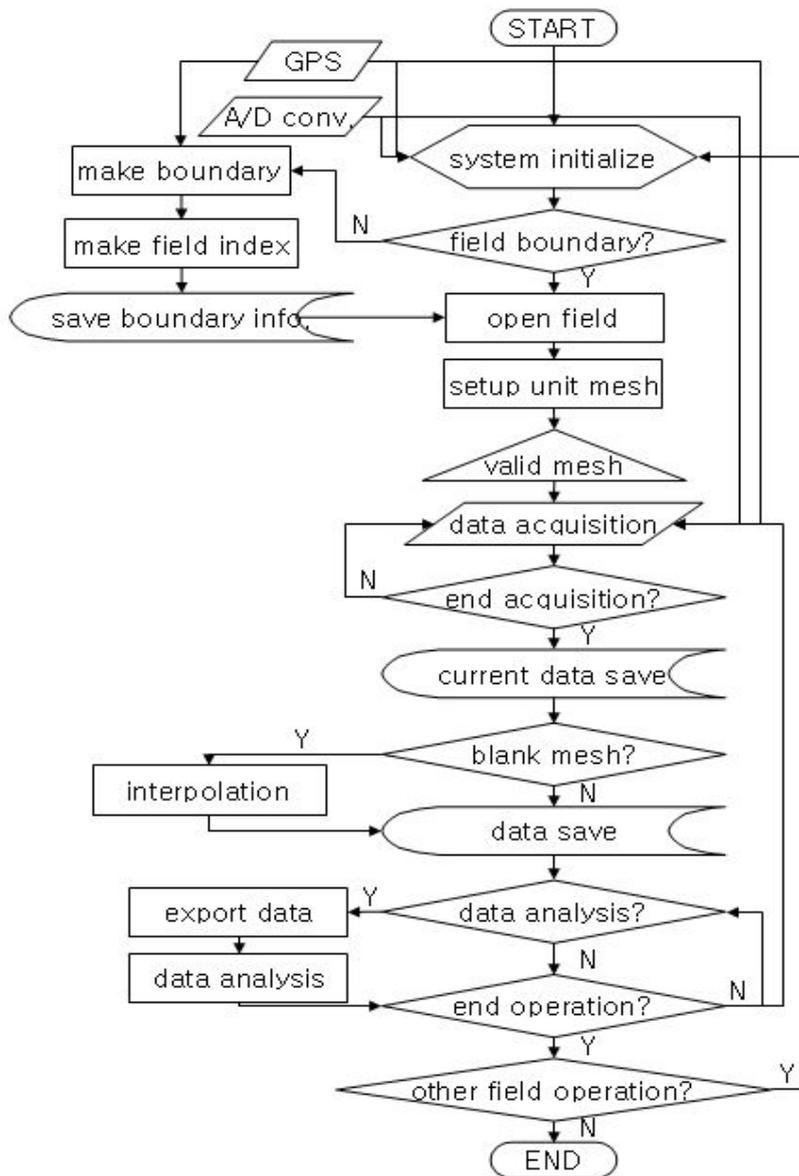


Fig. 2-14 Flowchart of the developed software for measurement

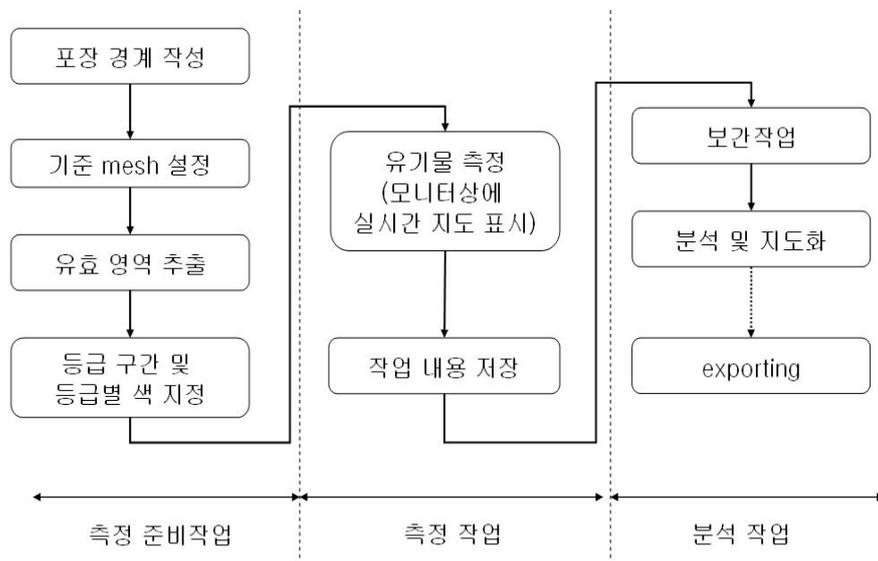


Fig. 2-15 Procedure of the program developed

실제 측정 전에 수행해야 할 또 다른 작업이 유효영역추출이다. 포장이 사각형 형태가 아닐 경우, 사각형으로 기본 메쉬를 결정하면 부득이하게 포장의 외부에까지 기본 메쉬가 설정되게 된다. 이럴 경우 포장의 외부에서 이루어지는 작업은 저장되지 않도록 설정하는 것이 유효영역추출이다.

실제 유기물 측정전에 해야 할 마지막 작업으로, 실시간으로 측정되고 있는 유기물 함량의 등급 구간 및 등급별 색깔을 지정하는 작업이다. 이 과정은 범례를 결정하는 과정으로 단계에 따라 색깔을 달리하여 가시적으로 쉽게 위치별 유기물 함량의 차이를 알 수 있도록 하였다.

이상의 선행작업을 마치면 본 연구에서 개발한 장치를 이용하여 포장내를 이동하면 포장내 유기물 함량이 측정 및 저장되게 된다. 인공광을 조사하면서 농작업기가 포장내를 이동하면 이동하는 위치에서의 토양 유기물 함량이 실시간으로 모니터에 표시되면서 관련 내용이 파일로 저장되게 된다.

측정 후에는 저장된 데이터를 이용하여 유기물 함량 구간을 바꾸거나 구간별 색깔을 바꿀 수 있으며, 다른 작업을 위해 text 형태로 data exporting 이 가능하도록 프로그램을 구성하였다. 측정된 데이터를 분석하기 전에 해야 할 작업이 보간작업이다. 이는 농작업기 운전의 실수로 측정되지 않는 메쉬의 데이터를 보간해 주는 작업이다.

그림 2-16은 토양 유기물 측정장치 실행화면이다. 화면의 오른쪽에 보이는

바와 같이 포장의 외곽 경계선이 보이고, 그 내부에 보이는 사각형이 기본격자이다. 사각형 중 맨 위 왼쪽 사각형의 경우 포장 외곽과 전혀 접하고 있지 않으므로 유효영역 추출시 제외되고, 그 셀 내에서 측정된 데이터는 저장되지 않는다. 그림에 보이는 기본 격자 내부에 있는 사각형의 진함 정도가 유기물 함량의 많고 적음을 의미한다.

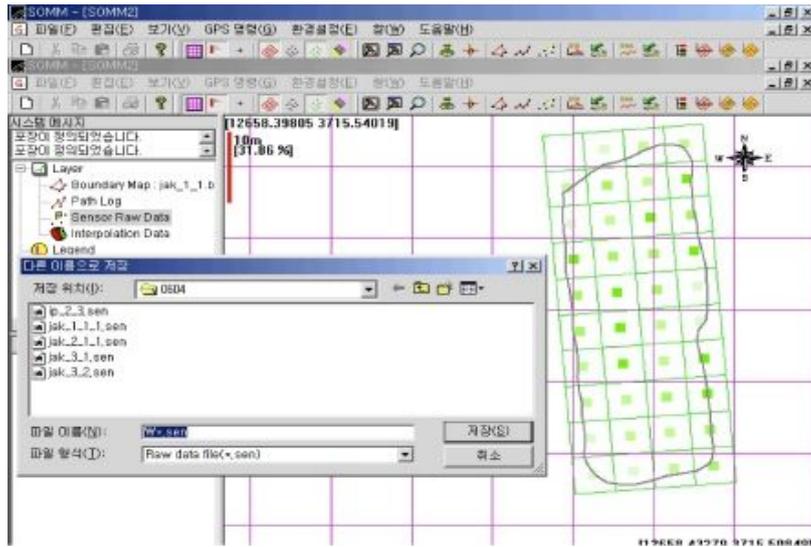


Fig. 2-16 Monitor display of the measurement stage

6) 포장실험

본 연구에서 개발한 장치의 성능을 검증하기 위해 포장시험을 수행하였다. 포장실험은 먼저 본 연구에서 개발한 장치를 이용하여 포장전체 유기물 함량의 분포를 측정 후(그림 2-17 좌), 측정위치를 대상으로 포장을 일정 크기의 메쉬로 나뉘(그림 2-17 우) 토양 시료를 채취하고 실험실에서 화학 분석한 후 결과를 비교하였다. 포장 시험은 논 37위치, 밭 342위치를 대상으로 수행하였다.

가) 실험 결과

37위치 논에서 수행한 포장시험 결과는 그림 2-18과 같다. 실험 당시의 포장 수분은 18 ~ 29 %였다. 그림에서 보는 바와 같이 $R^2=0.7641$ 수준으로 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 포장내 유기물 함량을 측정할 수 있음을 알 수 있다.



Fig. 2-17 Collection of the soil samples in field

앞에서도 언급한 바와 같이 본 연구의 궁극적인 목적은 토양 유기물 함량의 절대적인 량을 측정하는 정량 센서를 개발하는 것이 아니고, 별도의 사전 실험 없이 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 구간으로 그룹핑하여 실시간으로 지도화하는 프로그램을 개발하는 데 있다. 이러한 목적을 달성하는 데는 그림 2-18의 정밀도면 충분한 수준으로 판단된다. 다만 아쉬운 점은 검증 샘플 수가 좀더 많았다면 논 토양과 밭 토양간의 차이점도 구별할 수 있었을 것으로 판단된다.

밭 342위치에서 수행한 포장시험 결과는 그림 2-19와 같다. 실험 당시의 포장 수분은 22 ~ 28 %였다. 그림에서 보는 바와 같이 $R^2=0.9141$ 수준으로 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 포장내 유기물 함량을 측정할 수 있음을 알 수 있다.

그림 2-20은 논 37위치와 밭 342위치에서 수행한 포장시험 결과를 합친 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 $R^2=0.9155$ 수준으로 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 논과 밭에서 별도의 측정(토양 수분, 유기물 분포 등)없이 포장내 유기물 함량을 측정할 수 있음을 알 수 있다.

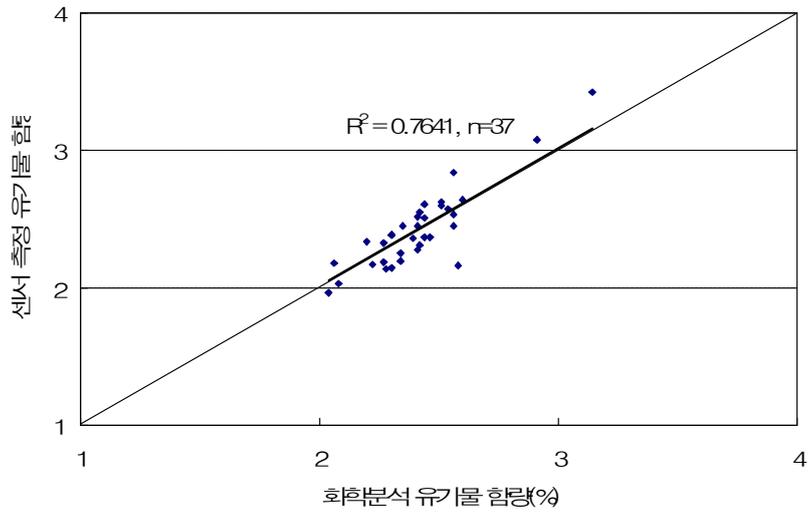


Fig. 2-18 Comparison of soil organic contents measured by the sensor developed and chemical analysis in lab. (37 data points from paddy field, MC=18 ~ 29 %)

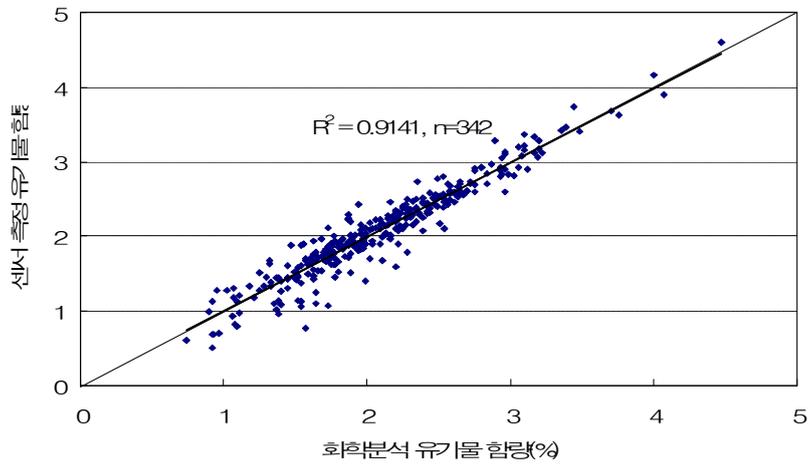


Fig. 2-19 Comparison of soil organic contents measured by the sensor developed and chemical analysis in lab. (342 data points from upland, MC=22 ~ 28 %)

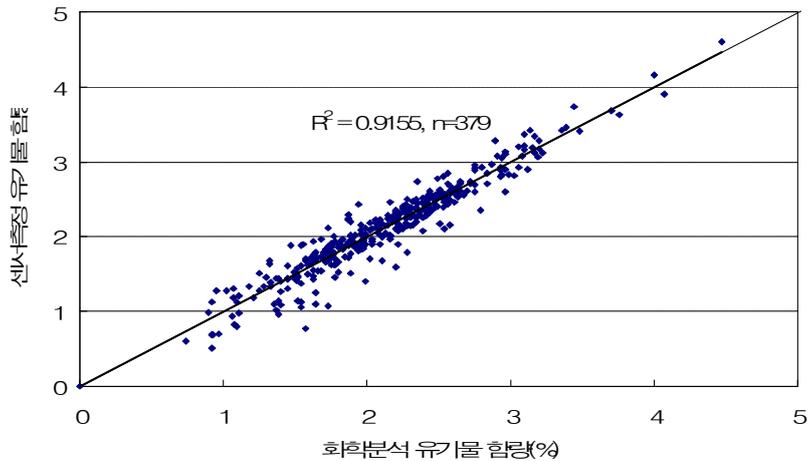


Fig. 2-20 Comparison of soil organic contents measured by the sensor developed and chemical analysis in lab. (379 data points from paddy field and upland, MC=18 ~ 29 %)

나) 결과 분석

앞에서도 언급한 바와 같이 본 연구의 궁극적인 목적은 토양 유기물 함량의 절대적인 량을 측정하는 센서를 개발하는 것이 아니고, 별도의 사전 실험 없이 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 단계로 그룹핑하여 실시함으로써 지도화하는 프로그램을 개발하는 데 있다.

그림 2-21은 포장 실험을 분석하는 방법을 나타낸 것이다. 본 연구에서 개발한 장치를 이용하여 토양 유기물 함량의 분포를 측정한 후, 측정위치에서의 토양 시료를 채취하여 실험실에서 화학분석을 수행한 후 그 결과를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 개발한 장치를 이용하여 판단한 유기물 함량이 1 ~ 2 % 범위(예측 단계) 일 때, 실험실에서 화학적으로 분석한 유기물 함량이 1 ~ 2 % 범위(실제 단계)이면, 개발한 장치를 이용하여 토양의 유기물 함량을 정상적으로 그룹핑 한 것으로 판단했다. 즉, 그림에서 예측 단계와 실제 단계 사각형이 겹치는 부분에 들어가는 토양 시료는 옳게 판단된 시료(옳게 측정된 영역)이고, 겹친 사각형의 외곽에 있는 네 부분(틀리게 측정된 영역)은 옳지 않게 판단된 시료이다. 여기서 ‘옳게 판단된 영역’이란 센서로 측정한 유기물 범위와 화학적으로 분석한 유기물 범위가 일치한다는 의미이고, ‘틀리게 판단된 영역’이란 센서로 측정한 유기물 범위와 화학적으로 분석한 유기물 범위가 다르다는 의미이다.

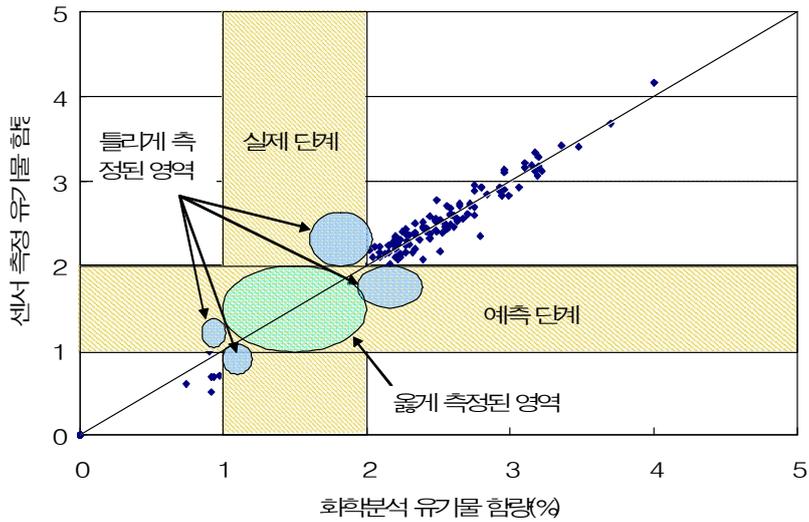


Fig. 2-21 Pictorial explanation of data points collected

본 연구의 결과는 수도작의 경우 기비량 변량살포에 이용하게 된다. 기비량 변량살포는 전년도 농작업 이력과 수확량, 병해충 정도와 현재의 토양 상태를 종합적으로 분석하여 기비량을 5 단계(아주많음, 많음, 보통, 적음, 아주적음)나 3 단계(많음, 보통, 적음)로 구분하여 변량 시비한다. 따라서 본 연구에서도 토양 유기물 함량을 5 단계와 3 단계로 구분하여 분석하였다.

앞에서 설명한 방법으로 토양 유기물 함량을 5 단계로 구분한 결과는 표 2-2와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 토양 유기물을 분석한 결과 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 1 단계로 판단된 지역을 화학적인 방법으로 분석해서도 1 단계로 판단된 지역이 5 위치이고, 2 단계로 판단한 지역이 3 위치임을 알 수 있다. 2 단계의 경우, 개발 센서를 이용하여 토양 유기물을 분석한 결과 2단계로 판단된 지역을 화학적인 방법으로 분석해서도 2단계로 판단된 지역이 15 위치이고, 한 단계 낮은 1 단계로 판단한 지역이 1 위치, 한 단계 높은 3 단계로 판단한 지역이 5 위치임을 알 수 있다.

이러한 방법으로 논 토양과 밭 토양 379 위치를 분석한 결과 본 연구에서 개발한 센서로 측정된 토양 유기물 함량 단계와 화학적인 분석을 이용한 함량 간에 동일한 구간으로 판단한 경우는 308 위치로 전체 379 위치의 81.3 %를 차지했다. 반면, 개발 센서로 측정된 구간과 화학적 분석을 통한 구간이 다른 경우는 69 위치로 전체 379 위치의 18.2 %를 차지했다. 개발 센서로 측정된

구간과 화학적 분석을 통한 구간이 두 단계 이상 차이를 보인 경우는 단 2 위치(0.5 %)에 불과했다.

Table 2-2 Comparison of 5 step classification results between the sensor measurement and chemical analysis

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg);"> 센서측정 화학분석 </div>	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
15단계	5	1	0	0	0
2단계	3	15	4	1	0
3단계	0	5	93	9	1
4단계	0	0	19	151	21
5단계	0	0	0	7	44

Table 2-3 Accuracy of the 5 step classification by the sensor measurement

단계 차	도수	정확도(%)
-2	2	0.5
-1	35	9.2
0	308	81.3
1	34	9.0

토양 유기물 함량을 3 단계로 구분한 결과는 표 2-4와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 토양 유기물을 분석한 결과 1 단계로 판단된 지역을 화학적인 방법으로 분석해서도 1 단계로 판단된 지역이 196 위치이고, 2 단계로 판단한 지역이 15 위치임을 알 수 있다. 2 단계의 경우, 개발 센서를 이용하여 토양 유기물을 분석한 결과 2 단계로 판단된 지역을 화학적인 방법으로 분석해서도 2 단계로 판단된 지역이 141 위치이고, 한 단계 낮은 1 단계로 판단한 지역이 11 위치, 한 단계 높은 3 단계로 판단한 지역이 2 위치임을 알 수 있다.

Table 2-4 Comparison of 3 step classification results between the sensor measurement and chemical analysis

<table border="1"> <tr> <td>센서측정</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>화학분석</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	센서측정				화학분석				1단계	2단계	3단계
센서측정											
화학분석											
1단계	196	11	0								
2단계	15	141	6								
3단계	0	2	8								

이러한 방법으로 는 토양과 밭 토양 379위치를 분석한 결과 본 연구에서 개발한 센서로 측정한 토양 유기물 함량 단계와 화학적인 분석을 이용한 함량간에 동일한 구간으로 판단한 경우는 345 위치로 전체 379 위치의 91.0 %를 차지했다. 반면, 개발 센서로 측정한 구간과 화학적 분석을 통한 구간이 다른 경우는 34 위치로 전체 379위치의 9.0 %를 차지했다. 개발 센서로 측정한 구간과 화학적 분석을 통한 구간이 두 단계 이상 차이를 보인 경우는 없었다.

Table 2-5 Accuracy of the 3 step classification by the sensor measurement

단계 차	도수	정확도(%)
-1	17	4.5
0	345	91.0
1	17	4.5

다) 분석 지도 비교

그림 2-22와 그림 2-23은 본 연구에서 개발한 센서를 이용하여 측정한 데이터를 가지고 만든 토양 유기물 함량 지도(좌)와 화학적 분석 데이터를 가지고 만든 토양 유기물 지도(우)를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 위치별로 메쉬별 함량값이 다른 경우가 있지만 전체적인 경향은 거의 흡사함을 알 수 있다.

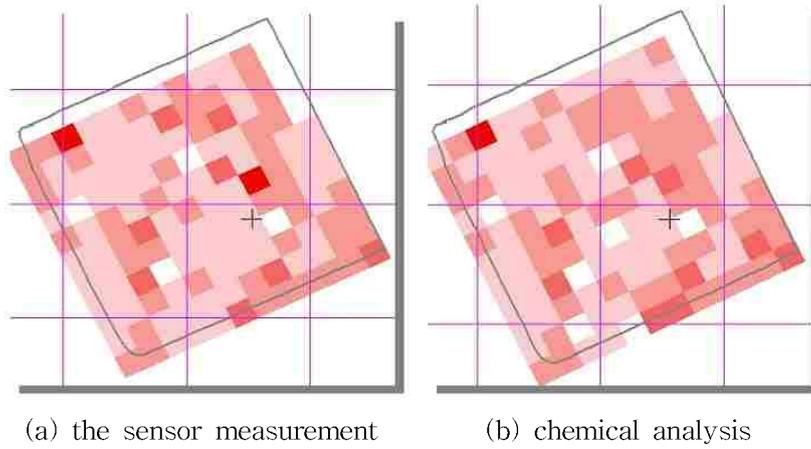


Fig. 2-22 Comparison of maps for soil organic content measured by the sensor and chemical analysis

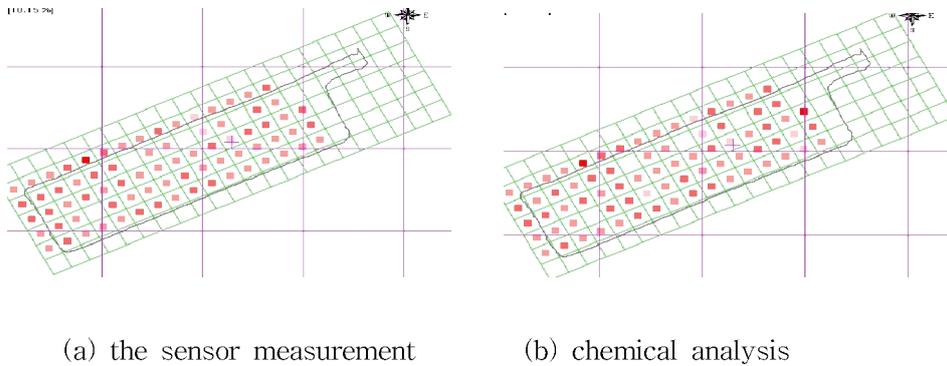


Fig. 2-23 Comparison of maps for soil organic content measured by the sensor and chemical analysis

다. 결론

정밀농업을 위한 센서는 이동중인 농작업기에 장착하여 별도의 예비 측정 없이 가능한 실시간에 의한 연속적 자료 수집을 할 수 있어야 하고, 수집된 자료를 이용하여 위치별 수준차이를 몇 개의 단계로 구분할 수 있어야 한다.

본 연구는 정밀농업 실현을 위한 세 가지 단계(포장정보 검출과 분석, 농작업 의사결정, 변량형 농작업) 중 첫 번째 부분인 포장정보 수집을 위한 센서에 관한 내용이다. 구체적으로는 외란광의 영향을 배제한 상태에서 토양 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 그룹으로 구별하는 데 목적을 두고, 포장내 위치별 토양 유기물 함량 차이(공간적 변이)를 실시간으로 측정하는 토양 유기물 측정센서를 개발하는 연구와, 측정된 토양 유기물 함량값을 이용하여 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 몇 개의 단계로 나눠 실시간으로 지도화하는 프로그램을 개발하기 위하여 수행한 연구이다.

본 연구의 결과는 수도작의 경우 기비량 변량살포에 이용하게 된다. 전년도 농작업 이력과 수확량, 병해충 정도와 현재의 토양 상태를 종합적으로 분석하여 기비량을 5단계나 3단계로 구분하여 변량시비할 때 본 연구에서 개발한 장치로 분석한 포장내 위치별 유기물 함량 자료를 활용하게 된다.

본 연구에서 개발한 센서는 센서의 생산가격을 최대한 낮추기 위해 분광분석기를 사용하지 않고 대역통과 필터를 이용한 점이 다른 연구와의 큰 차이점이다. 토양 유기물 함량에 민감한 5 개의 대역통과 필터를 이용하여 센서를 구성하였다.

본 연구의 또 다른 특징은 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 별도의 사전 실험(토양 수분, 유기물 분포 등) 없이 원하는 구간으로 표시가 가능하다는 점이다. 일반적으로 토양 수분상태에 따라 토양 유기물 함량값이 영향을 받게 되는데 본 연구에서 개발한 장치는 토양 수분에 의해 유기물 함량이 1 % 정도 달라질 수 있는 오차 범위를 안고 토양 수분에 무관하게 포장내 위치별 유기물 함량의 많고 적음을 표시할 수 있다.

포장시험 결과 토양유기물 함량을 5 단계로 구분하였을 경우 화학적 분석결과에 대한 센서 측정결과가 81.3 %의 정확도로 구분할 수 있었으며, 3 단계로 구분한 경우 91.0 %의 정확도를 나타냈다. 이러한 정확도는 수도작 정밀농업 변량시비에 충분히 이용할 수 있는 수준으로 판단된다.

본 연구를 수행하면서 개발한 대역필터를 사용한 분광반사 기술은 정밀농업형 비접촉 센서를 개발하는데 다양하게 활용될 수 있는 기술로, 정밀농업의 다른 분야에 다양하게 활용될 수 있고, 광 반사를 이용한 비파괴 진단기술은 작물의 건강도를 측정하는 연구 분야에 적용할 수 있으므로, 작물학, 토양학분야에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 측정된 정보를 몇 개의 단계로 그룹화하여 지도로 나타내는 프로그램은 다른 포장정보 측정에도 활용할 수 있으며, 정밀농업 실현과정 세 가지 단계 중 세번째 부분인 변량형 농작업을 위한 센서개발에도 바로 적용이 가능하다.

제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

본 연구는 정밀농업 실현과정 세 가지 단계(포장정보 검출과 분석, 농작업 의사결정, 변량형 농작업) 중 첫 번째 부분인 포장정보 수집을 위한 센서에 관한 내용이다. 구체적으로는 벼 재배 중인 논에서 실시간으로 잡초를 검출하기 위한 “논의 잡초 검출용 센서”와 포장내 위치별 토양 유기물 함량 차이(공간적 변이)를 실시간으로 측정하는 “토양 유기물 측정센서”를 개발하는 연구이다. 연차별 연구개발 목표와 달성도 그리고 관련 분야의 기여도는 다음과 같다.

1. 연차별 연구개발 목표 및 달성도

연구 초기에 연구 계획 수립시 설정한 연차별 연구 목표와 그 달성도는 다음과 같다.

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위 (달성도 %)
1차년도 (2001)	정보수집을 위한 장치 구성의 기본 방향 결정	1. 잡초 검출방법과 주요 광 파장 결정 : 100% 2. 토양 유기물 함량에 민감한 광 파장 결정 및 상관관계 구명 : 100%
2차년도 (2002)	실시간 포장 정보수집 장치 제작 및 알고리즘 개발	1. 잡초 검출 장치 구성과 알고리즘 개발 : 100% 2. 실시간 토양 유기물 함량 측정 센서 설계 제작 및 관련 알고리즘 개발 : 100%
3차년도 (2003)	개발장치 현장 성능실험 및 문제점 보완	1. 잡초 검출 장치의 현장실험과 보완 : 100% 2. 토양 유기물 함량 현장실험과 보완 : 100%

2. 관련분야 기여도

○ 본 연구에서 개발한 대역통과 필터를 사용한 기계시각과 분광반사 기술은 정밀농업형 비접촉 센서를 개발하는데 다양하게 활용될 수 있는 기술로 정밀농업의 다른 분야에 활용 가능함

○ 고가의 분광기를 사용하지 않고 저가의 대역통과 필터를 사용하므로 이 기술을 이용하여 다른 분야에서 개발한 정밀농업형 센서도 산업화가 용이함

○ 본 연구에서 개발한 기술은 비파괴적인 방법으로 작물의 건강도를 측정하는 연구 분야에 적용할 수 있으므로 작물학이나 토양학 분야에 유용하게 활용 가능함

○ 측정된 정보를 그룹화하여 지도로 나타내는 프로그램은 다른 포장정보에도 활용할 수 있으며, 정밀농업 실현과정 세 가지 단계(포장정보 검출과 분석, 농작업 의사결정, 변량형 농작업) 중 첫 세번째 부분인 변량형 농작업을 위한 센서개발에도 바로 적용이 가능함

제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

1. 기 활용 성과

- 본 연구에서 연구비를 지원받아 일본을 다녀왔고, 다녀온 결과를 한국농업기계학회지에 발표했음(한국농업기계학회지 26(2):197-202)
- 본 연구에서 개발한 내용을 한국농업기계학회 학술대회(2003, 하계학술 발표대회)에서 발표하였으며,
- 2003년 말에 한국농업기계학회지에 투고.

2. 활용 계획

가. 논 잡초 검출 장치 : 논 잡초 검출에 적용 가능한 기술을 개발한 것으로서 이를 향후 개발할 변량형 제초제 살포기에 연결하고 이들을 실제로 벼농사에 적용하는 실증실험을 거쳐 제반 문제점을 찾고 그 해결책을 모색하는 실용화 연구를 거친 다음 산업화하도록 할 계획임

나. 토양 유기물 함량 측정 센서 : 개발 기술은 실제로 실용화 연구 과정을 마친 것으로서 현재 관련 기술을 산업체에 이전하려고 적당한 업체를 물색 중이며, 이는 현재 개발 중인 변량형 시비기와 연계하여 시비작업을 정밀농업 방식으로 수행하는데 있어 필수장비로 사용하도록 할 계획임

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 외국 방문 연구 수행

○ 본 연구에서 추진한 토양의 유기물 함량 측정 센서에 관한 연구는 그 내용이 일본 동경농공대학의 Shibusawa 교수에 의해 수행되고 있는 토중 광 센서 개발 연구와 기술적인 면에서 비슷하므로 연구 시작 직후 방문연구를 수행하였음.

2. 외국의 정밀농업 연구 및 추진실태

가. 미 국

○ 미국은 1990년대초부터 정밀농업이 농업현장에 보급되기 시작. 미국에서 정밀농업을 실시하고 있는 면적은 1998년도에 주요곡물재배 면적의 11 %인 1천만ha임.

○ 정밀농업실행 기술내용은 토양조사, 수확량조사, 생육조사, 변량살포로 1999년도 통계에 의하면 어떠한 형태로든 정밀농업을 수행하고 있는 농가가 37.5 %나 되며, 세부기술별로 농가수의 비율을 보면 격자단위 토양조사가 19.5 %, 변량시비 18.4 %, GPS를 이용한 수확량 모니터링 13.3 %, 변량파종 11.3 %, 변량방제 9.2 %, 원격생육조사가 2.4 %임.

○ 잡초 검출 센서를 개발하기 위한 연구는 주로 서구에서 발농사를 대상으로 수행되고 있는데, 이러한 문제에 대한 기본적인 접근방법은, 첫째 광전자 검출기를 사용하거나 또는 기계시각을 이용하여 토양이나 식물의 분광 스펙트럼 정보를 수집하고 분석하는 방법임.

○ 광전자 검출기(optoelectronic detector)를 사용한 분야 연구는 주로 적색대와 근적외선대 파장의 분광반사 특성을 이용한 광전자 센서(optoelectronic sensor)를 이용하여 일정간격으로 심어진 작물 사이에 존재하는 녹색식물은 잡초라는 전제하에 토양으로부터 잡초를 분리 인식(작물과 잡초들을 구분하는 것이 아님)하는 센서임 식물체와 토양으로부터 잡초를 구별하기 위하여 식물 표면의 광 반사 스펙트럼의 정보를 수집하는 라인 이미지 분광계(line imaging spectrometer)를 사용하여 실험한 결과도 있고 diode array형 분광계를 사용하여 분광 스펙트럼에 의한 잡초 검출을 시도한 경우도 있음.

○ 기계시각을 사용하여 토양으로부터 잡초를 검출하는 방법은 주로 영상의

분광 특성(color feature)이나 형상(shape) 또는 영상의 조직(texture)을 분석하는 방법이며, 데이터의 처리시간을 줄이면서 분석 정확도를 높이기 위해 ANN(artificial neural network)을 사용한 연구가 있고, 특성 추출을 위해 다변량 통계의 판별분석 방법 중 단계적 변수선택법을 이용하여 각기 다른 영상의 구분을 시도한 연구도 있음.

나. 일본

- 농림수산성에서 정밀농업을 주테마로 한 「21세기형 농업기계 등 긴급개발사업」이 1999년부터 시작되었고, 정부의 농업시험장과 대학, 민간기업에서 연구개발이 시작되었음.

- 구미와 일본을 비교했을 때 정밀농업 연구개념의 가장 기본적이면서 동시에 중요한 입장의 차이점은, 일본의 정밀농업 개념은 포장관리의 단위를 한 포장으로 생각해, 그 안에서 균질한 관리를 수행해야할 포장의 대표값의 정밀도를 향상시키는 일에 주안점을 두고 있는데 반해서, 구미에서는 포장내의 각종 특성값의 변동을 보다 높은 정밀도로 파악해 그것에 기초해 정밀포장관리를 수행하려고 하는 것임.

- 실제로 정밀농업을 현장에 적용시키기 위해서는 수집해야할 정보량이 너무나 방대하기 때문에 포장정보(토양특성값, 생육량, 수확량 등)를 자동적·실시간으로 측정할 수 있는 센서 기술의 개발이 필수적인 과제로 인식되게 되었음. 그 결과, 일본에서는 2000년부터 정밀농업을 실현하기 위해 필요한 포장정보의 센서 기술 개발에 박차를 가하고 있음.

- 일본에서는 정밀농업연구가 1997년도부터 본격적으로 시작을 하였으나 결과물이 나오지 않아 많은 관계자들로부터 의구심을 야기시킨 것이 사실임. 그러나, 근래들어 결과물이 하나씩 나오고 있음. 즉, 앞에서도 소개한 것처럼 벼의 생육량을 측정하는 기계, 비료를 변량적으로 살포하는 기계, 토양샘플러 등. 앞으로는 이런 기계들을 어떻게 효율적으로 영농현장에 활용할 것인지가 관건임.

다. 중국

- 중국에서는 정밀농업 연구계획을 1999년도부터 수립하여 2001년 3월부터 밀 재배 포장을 대상으로 정밀농업연구를 시작하였음. 북경 농업대학과 베이징시 농림과학원 농업정보센터에서 운영하고 있는 시험포장의 크기는 160ha로서 국가가 민간인에게 임대한 포장을 연구기관에서 임대하여 시험포장으로 사용하고 있음.

- 프로젝트의 연구비는 총 60억 정도이며 주로 포장에서의 조사, 초저고도

조사(크레인 이용), 저고도 조사(비행기 이용), 고도조사(위성이용)로서 4단계로 포장정보를 조사하고 있음. 주로 조사하고 있는 내용은 토양정보, 생육정보, 수량정보 등임. 특징적인 것은 인공위성을 이용한 생육조사나 수량조사에서는 구름의 영향을 많이 받고 연구자가 원하는 시기와 장소에 정확하게 영상을 획득할 수 없기 때문에 OMIS 다중분광카메라와 저공비행기를 이용한 영상취득에 관한 연구를 수행하고 있음.

○ 중국은 농업의 경영규모와 재배작물이 미국과 비슷하며 전작이 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 미국의 정밀농업 개념을 그대로 도입하려는 시도가 많이 되고 있음. 그 일환으로 미국과 유럽에서 개발된 수확량 모니터를 도입하여 수확량 조사를 실시하고 있음. 그러나, 가격이 너무나 고가여서 도입하기가 힘들어 비료변량살포기와 수확량 모니터 등은 독자개발을 추진하고 있음.

제 7 장 참고문헌

1. 유관식, 박우철, 김복진, 조래광. 전자파의 표면조사에 의한 토양 유기물, 수분 및 전질소의 비파괴 측정기 개발 연구보고서(I,II,III). 1996, 1997, 1998. 농촌진흥청
2. 서규현, 서상룡, 성제훈. 2002 분광특성 분석에 의한 논 잡초 검출의 기초연구. 한국농기계학회지 27(2):133-142
3. 서상룡, 류육성, 정갑채, 성제훈. 2000. 토마토 잎의 비파괴 측정에 의한 N, P, Ca 결핍 장애 진단법 비교. 한국농기계학회지 25(6):517-526
4. 성제훈, 서상룡, 박우풍, 정인규, 김상철, 이충근. 2003. 2종의 엽록소 측정기를 이용한 포장내 벼의 엽록소 함량 분포 측정. 한국농기계학회지 28(3):245-252
5. 조성인, 배영민, 양희성, 최상현. 2001. 근적외선 반사도를 이용한 토양 유기물 함량 측정. 한국농업기계학회지. 26(5) 475 - 480.
6. Benlloch, J. V., et al. 1996. Weed detection in cereal fields using image processing techniques. Precision agriculture. 903-904.
7. Biller, R. H. 1998. Reduced input of herbicides by use of optoelectronic sensors. J. agric. Engng Res. 71: 357-362.
8. Blasco, J., N. Aleixos, J.M. Roger, G. Rabatel and E. Molto. 2002. Robotic weed control using machine vision. Biosystems Engineering. 83(2):149-157
9. Borregaard, T., H. Nielsen, L. Norgaard, and H. Have. 2000. Crop-weed discrimination by line imaging spectroscopy. J. agric. Engng Res. 75:389-400.
10. Burks, T. F., S. A. Shearer and F. A. Payne. 1998. Evaluation of statistical discriminant analysis techniques for classification of weed species using machine vision. ASAE Paper No. 98-3037.
11. Cho, S.I., D.S. Lee and J.Y. Jeong. 2002. Weed-plant discrimination by machine vision and artificial neural network. Biosystems Engineering. 83(3):275-280
12. El-Faki, M. S., N. Zhang and D. E. Peterson. 2000. Factors affecting color-based weed detection. Transactions of the ASAE. 43(4): 1001-1009.
13. El-Faki, M. S., N. Zhang and D. E. Peterson. 2000. Weed detection using color machine vision. Transactions of the ASAE. 43(6): 1969-1978.
14. Frazier, B. E., C. S. Walters, and E. M. Perry. 1997. Role of remote sensing in site-specific management. The site-specific management for

agricultural systems. 149-157.

15. Gerhards, R., M. Soekefeld., C. Timmermann, W. Kuhbauch and M.M. William II. 2002. Site-specific weed control in maize, sugar beet, winter wheat, and winter barley. *Precision Agriculture*. 3: 25-35
16. Hummel, J. W., L. D. Gaultney, and K. A. Sudduth. 1996. Soil property sensing for site-specific crop management. *Computers and electronics in agriculture*. 14: 121-136.
17. Johnson, G. A., J. Cardina, and D. A. Mortensen. 1997. Site-specific weed management: Current and future directions. *The site-specific management for agricultural systems*. 131-143.
18. Noguchi, N., et al. 1998. Vision intelligence for precision farming using fuzzy logic optimized genetic algorithm and artificial neural network. *ASAE Paper No. 98-3034*.
19. RDA. 1988. *Chemical Analysis Method of Soil*. NIAST.
20. Shibusawa, S. 1999a. Environment-Friendly Agriculture and Mechanization Trend in Japan. *Proceedings of international Symposium on Farm Mechanization for Wnvironment-Friendly Agriculture*:53-80.
21. Shinusawa, S. et al. 1999b. On-line real-time nir soil sensor. *Preseedings of international conference on agricultural engineering*. v-115-v-121.
22. Shibusawa S., Z.L. Ming, K. Sakai, A. Sasao, H. Sato and A. Otomo. 1999. On-Line Real-Time Nir Soil Sensor. *Proc. of 99 International Conference on Agricultural Engineering Beijing, China*
23. Stafford, J. V. and P. C. H. Miller. 1996. Spatially variable treatment of weed patches. *Precision agriculture*. 465-474.
24. Steward, B. L. and L. F. Tian. 1998. Real-time machine vision weed-sensing. *ASAE Paper No. 98-3033*.
25. Steward, B. L., L. F. Tian, and L. Tang. 1999. Detection of outdoor lighting variability for machine vision-based precision agriculture. *ASAE paper*. 99-7030.
26. Sudduth, K. A. 1989. *Near Infrared Reflectance Soil Organic Matter Sensor*. Ph.D. thesis Urbana, Illinois.
27. Sudduth, K. A. and J. W. Hummel. 1993. Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis. *Trans. of ASAE*. 36(1), 1993: 185-193.

28. Sudduth, K. A. and J. W. Hummel. 1993. Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. *Trans. of ASAE*. 36(6): 1571-1582.
29. Sudduth, K. A. 1998. Engineering and application of precision farming technology. Integrated weed and soil management. 311-331.
30. Sudduth, K. A. and J. W. Hummel. 1993. Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis. *Transactions of the ASAE*. 36(1):185-193.
31. Sudduth, K. A. and J. W. Hummel. 1993. Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. *Transactions of the ASAE*. 36(6):1571-1582.
32. Sung, J. H., S. O. Chung and S. Y. Hong. 1999. Site-specific rice crop fertilizing based on chlorophyll content-describing chlorophyll content variation. *Proceeding of international conference on agricultural engineering, Beijing, P.R. China*. v-104-v-1-9
33. Tang, L., L. Tian, B. L. Steward and J. F. Reid 1999. Texture-based weed classification using Gabor wavelets and neural network for real-time selective herbicide application. *ASAE Paper 993036*.
34. Tang, L., L. Tian and B. L. Steward. 2000. Color image segmentation with genetic algorithm for in-field weed sensing. *Transactions of the ASAE*. 43(4):1019-1027.
35. Thai, C. N., M. D. Evans, and J. C. Grant. 1998. White reference control of spectral imaging using a small reference target. *ASAE Paper No. 98-3100*.
36. Tian, Lei. 2002. Sensor-based precision chemical application systems. *ASAE Pub. No. 701P0301*. pp.279-289
37. Vrindts. E., J.De Baerdemaeker and H. Ramon. 2002. Weed detection using canopy reflection. *Precision Agriculture*, 3: 63-80
38. Wang, N., N. Zhang, F.E. Dowell, Y. Sun and D.E. Peterson. 2002. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. *Trans. of the ASAE* 44(2):409-419
39. Wang Ning, et al. 1999. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. *Preseedings of International Conference on Agricultural Engineering*. v-136-v-143.
40. Wang Rongben, Ji Shouwen, Chen Jiajuan, Li Juan. 1999. Computer

image processing technology for recognizing weed from corn seedling. Preseedings of international conference on agricultural engineering. v-49-v-52.

41. Yang, Chun-Chieh, S. O. Prasher, and Jacques-Andre Landry. 1999. Weed recognition in precision farming. ASAE paper. 99-3115.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.