

632.9
L2932

최 중
연구보고서

정밀방제 기술 및 전자지도 작성기술 개발

Development of Electronic Mapping and Precision
Spraying Technologies

연구기관

서울대학교

농 림 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “전자지도 작성 및 정밀방제 기술 개발”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2001년 10월 31일

주관연구기관명 : 서울대학교

총괄연구책임자 : 조 성 인

세부연구책임자 : 이 중 용

연 구 원 : 장 영 창

연 구 원 : 김 유 용

연 구 원 : 정 재 연

연 구 원 : 최 상 현

연 구 원 : 여 운 영

연 구 원 : 남 기 찬

연 구 원 : 이 대 성

연 구 원 : 강 인 성

연 구 원 : 양 희 성

연 구 원 : 김 영 주

연 구 원 : 황 진 성

연 구 보 조 원 : 이 영 화

참 여 기 업 : I D R

연 구 원 : 정 창 호

연 구 원 : 육 응 수

연 구 원 : 송 기 표

연 구 원 : 권 승 중

연 구 원 : 나 규 동

요 약 문

I. 제 목 : 정밀방제 기술 및 전자지도 작성기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

증가하는 세계 인구와 더불어 식량 문제가 가장 큰 외교문제의 하나로 대두되고 있다. 이러한 이유로 정부는 국가적 차원의 식량확보 및 안보 차원의 농업 생산성 증대를 위해 노력해 왔다. 이 과정에서 화학비료와 농약의 사용량의 증가는 불가피하게 되었다. 또한 기존의 방제 및 시비 작업은 작물의 생육 상태를 무시한 채 획일적인 투입으로 국부적인 농약이나 비료의 과다 및 부족 현상을 초래하였다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 경작지 내의 국소적 변이를 고려하여 지역적으로 서로 다른 농약 및 비료의 양을 처방하는 정밀농업 (precision farming)의 개념이 대두되었다.

정밀농업을 위해서는 경작지내의 국부적인 토양 변이 및 작물의 생육 상태 변이를 정확하고 신속하게 측정할 수 있는 센싱 기술, 이러한 측정된 데이터를 저장, 가공, 처리할 수 있는 전자지도 작성기술 개발이 요구되고 있다. 그리고 농약 사용을 줄이기 위해 국부적으로 필요한 지역에만 농약을 변량적으로 살포하는 정밀방제 기술이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위해 미국과 유럽 등 농업선진국에서는 유기물 함량측정 센서와 생육상태 계측센서를 이용한 전자지도 작성기술, 그리고 국부적으로 점 살포 또는 지능방제를 가능하게 하는 정밀방제 기술에 대한 연구를 진행하고 있으나, 국내에서 진행되는 정밀농업에 대한 연구는 극히 미미한 수준에 머무르고 있는 실정이며 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 정밀농업을 위한 전자지도 작성 시스템의 개발과 실시간 적용 가능한 잡초 검출 및 방제 시스템을 개발하는 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

전자지도 작성 시스템을 개발하기 위하여 전자지도 작성 알고리즘을 구성한다. 또한 전자지도의 두 요소로서 토양 유기물 함량 계측 시스템 및 작물의 생육 상태 계측 시스템을 개

발한다. 개발된 시스템의 통합을 통한 전자지도 작성 시스템을 개발한다.

방제 요구 부위 검출 및 정밀 방제기술 개발을 위해 작물과 잡초간의 검출 인자를 추출한다. 획득된 검출인자를 이용하여 알고리즘을 구성하며, 영상처리 장치를 제작하여 작물과 잡초의 검출 성능을 측정한다.

노지에서 적용 가능성을 검증하기 위하여 분무 시스템을 구축하고 각각의 노즐별 ON/OFF 제어가 가능하도록 컨트롤러를 제작한다. 이동형 작업차량을 제작하여 실험장치와 알고리즘을 통합한 정밀방제 시스템을 개발한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

가. 연구결과

- ① Microsoft Access를 사용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 토대로 위치에 따른 토양의 유기물 함량, 시비 요구량 및 작물의 생육지도를 작성하는 알고리즘을 개발하였다.
- ② 근적외선 분광분석법을 이용하여 토양 유기물 측정 센서를 개발하였으며 DGPS 시스템과 통합하여 토양 유기물 함량 측정 시스템을 구성하였다.
- ③ DGPS와 칼라 CCD 카메라를 이용한 영상처리 시스템을 통합하여 구성하였으며, 잎 면적을 이용한 작물의 생육상태 측정 시스템을 개발하였다.
- ④ Database, 토양유기물 함량 측정 시스템, 그리고 생육상태 측정 시스템을 통합하여 전자지도 작성 시스템을 개발하였다. 개발된 통합 시스템을 이용하여 유기물 지도, 시비량 지도 및 작물의 생육 상태 지도를 작성하였다.
- ⑤ 방제 요구 부위를 검출하기 위한 기초 연구를 행하였다. 그 결과 광학적 특성 및 형태학적 특성을 이용하여 작물과 잡초를 판별할 수 있다고 판단되었다.
- ⑥ 작물과 잡초의 형태학적 특성이 다르다는 점에 착안하여 CCD 카메라와 신경회로망을 이용한 잡초 검출 알고리즘을 개발하였다. 그러나 높은 검출력에 비해 상대적으로 소요되는 시간이 많아 실제 방제 시스템에 적용시 문제가 있다고 판단하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 DGPS와 자이로센서 및 GIS를 이용한 전자지도상에 기획득된 작물좌표를 이용하여 좌표변환을 통해 잡초와 작물을 판별하는 고속화 알고리즘을 개발

하였다.

- ⑦ 정밀 방제용 이동식 차량을 제작하고 노즐별로 ON-OFF 제어가 가능한 살포장치를 부착하였으며, 고속화 알고리즘을 통합하여 정밀방제 시스템을 개발하였다. 완성된 시스템의 성능 및 안정성을 평가하기 위해서 서울대학교 부속 과수원에서 무를 대상으로 개발된 시스템을 검증하였다.

개발된 시스템은 RS-232C 통신을 이용하여 데이터의 전송을 수행할 수 있었으며, 순차적인 진행이 가능하도록 통합 프로그램을 제작하였으며, 검증 결과 정밀방제의 가능성을 보였다.

나. 활용방안

- ① 개발된 전자지도 작성 시스템을 정밀농업을 비롯한 농작업의 의사결정에 활용
- ② 정밀방제 장치는 정밀농업에 활용
- ③ 개발된 정밀방제 장치 및 전자지도 작성 기술을 참여업체와 협의하여 실용화 검토

SUMMARY

I. TITLE:

Development of Electronic Mapping and Precision Spraying Technologies.

II. OBJECTIVES AND NECESSITY

With great increase in the population of the world, the food problem has been regarded as one of the important diplomatic affairs. Therefore, the government of Korea has made great effort to increase agricultural production for national foodstuffs and security. As a result, increase using chemical fertilizer and agricultural chemicals was unavoidable. Conventionally, uniform herbicide and fertilizer were sprayed in a field. Therefore, the amount of them were partially overused or deficient. For this reason, concept of the precision farming was introduced, spraying fertilizer and herbicide in consideration of spatial variation.

Many technologies such as the sensing system measuring the spatial variation of soil properties and the state of cultivated crop and the electronic mapping system were needed for the precision farming. In agriculturally advanced countries such as America, EU and etc., electronic mapping technology has been developed with aid of sensing technology quantifying soil organic matters and crop growth and also spot or intelligent spraying has been researched. However, researches about precision farming in Korea are insufficient, and they are eagerly needed.

The purpose of this research was performed to develop electronic mapping system and precision spraying technology.

III. SCOPES AND CONTENTS OF THE STUDY

To develop the electronic mapping system,

- 1) Electronic mapping algorithm will be developed.
- 2) Two main components for the electronic map such as soil organic contents sensing system

and crop growth monitoring system will be developed.

3) The integrated system will be constructed.

To develop the precision spraying system,

1) The image processing algorithm to discriminate between crop and weeds will be developed.

2) An appropriate Image processing system will be constructed.

3) Spraying system and conveying vehicle will be constructed.

4) A ON/OFF controller for controlling each nozzle will be manufactured.

5) Performance test of the developed system will be executed in field.

IV. RESULTS AND APPLICATIONS

A database programmed with Microsoft Access was constructed. Electronic mapping algorithm was developed with mapping the organic matter contents and crop grow rate.

The soil organic matter measurement model was developed with a good correlation ($R^2 = 0.82$, standard error of prediction = 0.82). The soil organic matter measurement system was integrated with this model and DGPS.

The crop growth measurement system was composed of a DGPS and a vision system with a color CCD camera. As the crop growth was correlated with crop leaves, it was measured with the developed system.

The database, the soil organic matter measurement system, and the crop growth measurement system were integrated to the electronic mapping system. Soil organic matter contents, variable fertilizer treatment and crop growth was plotted by the integrated system.

Basic research to determine spots for spraying was carried out. As a result, a system to discriminate between crop and weed was composed with the aid of optical properties and shape factors.

As there existed differences in shape properties between crop and weeds, weed detection algorithm using CCD color camera and artificial neural network was developed. Although the

developed algorithm showed high precision in detection, it was not proper for real field application because of consuming time. To solve this problem, high speed algorithm of the weed detection made up of a DGPS, a gyro sensor and the known crop coordinate was developed.

Conveying vehicle and spraying system were constructed. An ON-OFF controller for controlling each nozzle was integrated to the precision farming system. The developed system was tested in an orchard of S.N.U. The developed system could transmit data through RS-232C protocol. The totally integrated program was made and tested to feasible to precision farming.

CONTENTS

Chapter 1. INTRODUCTION	1
Section 1. Objective of this study	1
Section 2. Goal of this study	2
Chapter 2. DEVELOPMENT OF ELECTRONIC MAPPING TECHNOLOGY	4
Section 1. Introduction	4
Section 2. Review of literatures	5
Section 3. Development of algorithm for electronic mapping	7
1. Conceptual design of database	7
2. Development of algorithm for acquiring GPS signal	9
3. Development of algorithm for acquiring sensor signal	13
4. Development of algorithm for electronic mapping	15
Section 4. Development of the soil organic matter contents measurement system	24
1. Soil organic matters	24
2. Conventional measurement method of soil organic matter contents (Walkeley-Black Method)	24
3. Basic study for the soil organic matter contents measurement system using Near Infra-Red spectrograph(700nm~2,500nm)	26
4. Development of the soil organic matter contents measurement system using Near Infra-Red spectrograph(900nm~1,700nm)	41
5. Summary and conclusions	57
Section 5. Development of the crop growth measurement system	59
1. Basic study for the crop growth measurement system	59
2. Development of the crop growth measurement system	68
3. Summary and conclusions	72
Section 6. Development of the electronic mapping system	73
1. Systems integration	73
2. Design of the database	79
3. Electronic mapping	81
4. Summary and conclusions	85

Section 7. Conclusions	86
Chapter 3. DEVELOPMENT OF DETECTION OF WEED DETECTION AND SITE-SPECIFIC SPRAYING TECHNOLOGY	87
Section 1. Introduction	87
Section 2. Review of literatures	89
Section 3. Fundamental studies for weed detection	91
1. Selection of target plants	91
2. Species and properties of domestic weeds	91
3. Analysis of optic properties of radish and weeds	93
4. Analysis of shape properties of radish and weeds	97
5. Conclusions	109
Section 4. Development of algorithm for weed detection by IR image processing	111
1. Instruments	111
2. Acquisition of IR images	113
3. Development of the integrated illumination	115
4. Acquisition of IR the images in the integrated illumination	116
5. Conclusions	117
Section 5. Development of weed detection by CCD color camera and neural network	118
1. Instruments	118
2. Theory of the neural network and experimental methods	119
3. Weed detection by the neural network	121
4. Development of faster algorithm	126
5. Conclusions	130
Section 6. Development of precision spraying system	131
1. Instruments	131
2. Field test	140
Section 7. Conclusions	147
References	148

목 차

1장 서론	1
1절. 연구개발의 배경과 필요성	1
2절. 연구개발 목표 및 내용	2
2장 전자지도 작성 기술개발	4
1절. 서 언	4
2절. 관련 기술 동향	5
3절. 전자지도의 요소 알고리즘 개발	7
1. 데이터베이스 설계	7
2. GPS 수신기의 신호입력 알고리즘 개발	9
3. 센서(영상처리)의 신호입력 알고리즘 개발	13
4. 전자지도 작성 알고리즘 개발	15
4절. 토양 유기물 함량 측정 센서 개발	24
1. 토양 유기물	24
2. 기존의 토양 유기물 함량 측정 방법(Walkeley-Black Method)	24
3. 근적외선(700nm~2500nm) 흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 측정의 기초연구	26
4. 휴대용 저과장(900nm~1700nm) 근적외선 분광 분석기를 이용한 실시간 유기물 측정시스템 개발	41
5. 요약 및 결론	57
5절. 생육상태 측정 알고리즘 개발	59
1. 생육상태 측정 시스템을 위한 기초연구	59
2. 생육상태 측정 시스템 개발	68
3. 요약 및 결론	72
6절. 전자지도 작성 시스템 개발	73
1. 시스템 통합	73
2. 데이터베이스 구축	79
3. 전자지도 작성	81
4. 요약 및 결론	85
7절. 결 론	86

3장. 방제요구부위 검출 및 site-specific 방제기술 개발	87
1절. 서 언	87
2절. 관련 기술 동향	89
3절. 방제요구부위 검출을 위한 기초 연구	91
1. 대상 작물의 선택	91
2. 우점 잡초의 종류 및 특성	91
3. 무와 잡초의 광학적 특성 분석	93
4. 무와 잡초의 형태학적 특성 분석	97
5. 결 론	109
4절. 근적외선 영상 처리에 의한 방제요구부위 검출 알고리즘 개발	111
1. 실험 장치	111
2. 근적외선 영상의 획득	113
3. 일관 조명장치 개발	115
4. 일관 조명장치 내에서의 영상획득	116
5. 결 론	117
5절. CCD 칼라 카메라와 신경회로망을 이용한 방제요구부위 검출 알고리즘 개발	118
1. 실험 장치의 구성	118
2. 신경회로망에 관한 이론 및 실험 방법	119
3. 신경회로망을 이용한 잡초 검출	121
4. 고속화 알고리즘의 개발	126
5. 결 론	130
6절. 정밀방제 시스템 개발	131
1. 장치 구성	131
2. 장치의 성능 검증	140
7절. 결 론	148
참고문헌	151

표 차 례

Table 2-1 물리량 데이터	7
Table 2-2 화학량 데이터	8
Table 2-3 생물량 데이터	8
Table 2-4 출력데이터 포맷과 용도	11
Table 2-5 토양 유기물 함량을 이용한 질소 시비량(kg/10a)	20
Table 2-6 작업기 크기 분포	22
Table 2-7 토양 시료와 유기물 함량	26
Table 2-8 입자의 크기에 따른 토양 유기물 함량의 예측	36
Table 2-9 NIR Spectrograph의 사양	42
Table 2-10 토양 시료와 유기물 함량	43
Table 2-11 토양 시료와 유기물 함량	50
Table 2-12 토양 유기물 함량 계측센서 예측과 검증 결과	58
Table 2-13 붕소, 석회 결핍	61
Table 2-14 무의 생육 상태 계측 항목	66
Table 2-15 전자 지도용 데이터베이스	80
Table 3-1 채소밭에서의 우점잡초	92
Table 3-2 무와 잡초의 엽록소 함량의 분산분석	95
Table 3-3 무와 잡초의 수분 함량에 대한 분산분석	97
Table 3-4 여러 형상 인자의 정의	100
Table 3-5 무의 형상인자 값 (N=50)	103
Table 3-6 잡초의 형상인자 값 (N=100)	104
Table 3-7 SAS 판별분석의 변수선택법 결과	104
Table 3-8 올바르게 분류한 객체 수와 평균 사후확률	104
Table 3-9 바깥이로 분류된 경우의 수와 퍼센트	106

Table 3-10 단일 형상인자로 옳게 판별된 경우의 수	107
Table 3-11 두 개의 형상인자를 사용하여 옳게 판별된 경우의 수	109
Table 3-12 근적외선 카메라의 제원	111
Table 3-13 은닉층의 노드 수에 따른 신경회로망 검증 결과	122
Table 3-14 신경회로망 모형의 검증 결과	123
Table 3-15 개선된 신경망의 판별 수	124
Table 3-16 옳게 판별한 경우의 수	126
Table 3-17 영상처리부 제원	132
Table 3-18 자이로 컴파스 제원	133
Table 3-19 펌프의 제원	135
Table 3-20 레귤레이터의 제원	136
Table 3-21 노즐 선정에 고려한 사항 및 계산 과정	137
Table 3-22 UniJct nozzle의 제원	138
Table 3-23 압력센서의 제원	140
Table 3-24 노즐의 분무량 측정	141

그림 차례

Fig. 2-1	GIS를 이용한 정밀농업의 데이터 관리체계	7
Fig. 2-2	외곽지도 생성을 위한 데이터베이스 모델(E-R diagram)	9
Fig. 2-3	속성 데이터베이스 모델 (E-R diagram)	9
Fig. 2-4	DGPS 시스템	10
Fig. 2-5	GPS 신호입력 알고리즘	10
Fig. 2-6	지구타원체 및 위도 분할	11
Fig. 2-7	위도 분할	12
Fig. 2-8	위도에 따른 원의 반경 획득	12
Fig. 2-9	경도 분할	13
Fig. 2-10	토양 유기물 함량 신호입력 알고리즘	14
Fig. 2-11	생육 상태 정보 입력 알고리즘	14
Fig. 2-12	수치지도 작성을 위한 공간·속성자료 입력 흐름도	15
Fig. 2-13	지도 작성 알고리즘	15
Fig. 2-14	Boundary 지도 작성 알고리즘	16
Fig. 2-15	포인트 지도 작성 알고리즘	17
Fig. 2-16	분포도 지도 작성 알고리즘	18
Fig. 2-17	점 데이터 보간	19
Fig. 2-18	점 데이터 보간	19
Fig. 2-19	시비량 지도 작성 알고리즘(처방지도)	21
Fig. 2-20	Semivariogram	23
Fig. 2-21	Walkeley-Black 방식의 측정 방법	25
Fig. 2-22	분광 분석 장치	27
Fig. 2-23	시료를 담은 모습	27
Fig. 2-24	수직압을 유지하기 위한 추	27
Fig. 2-25	데이터 분석 과정	28
Fig. 2-26	다중 회귀 모델을 이용한 건조되어지고 균질화된 토양의 유기물 함량 예측	29
Fig. 2-27	입자가 다른 토양 시료의 근적외선 분광 스펙트럼	30
Fig. 2-28	입자가 같은 토양 시료의 근적외선 분광 스펙트럼(1차 미분)	31
Fig. 2-29	입자가 같은 토양 시료의 근적외선 분광 스펙트럼(2차 미분)	31
Fig. 2-30	300 μ m체로 거른 토양의 유기물 함량 예측	32

Fig. 2-31	500 μ m체로 거른 토양의 유기물 함량 예측	33
Fig. 2-32	850 μ m체로 거른 토양의 유기물 함량 예측	34
Fig. 2-33	자연 상태 토양의 유기물 함량 예측	35
Fig. 2-34	변수 선택법을 이용한 함수 토양의 유기물 함량 예측	37
Fig. 2-35	함수 토양 스펙트럼(1차미분)과 토양 유기물 함량과의 상관관계	37
Fig. 2-36	함수 토양 스펙트럼(2차미분)과 토양 유기물 함량과의 상관관계	38
Fig. 2-37	PCR 모델링을 이용한 함수 토양의 유기물 함량 예측	39
Fig. 2-38	PCR 분석법에 의한 파장별 계수값	39
Fig. 2-39	PLS 모델링을 이용한 함수 토양의 유기물 함량의 예측	40
Fig. 2-40	PLS 분석법에 의한 파장별 계수값	40
Fig. 2-41	토양 유기물 센서 시스템 구성도	41
Fig. 2-42	Spectrograph의 모습	41
Fig. 2-43	광원 장치	41
Fig. 2-44	Probe	42
Fig. 2-45	Probe holder	42
Fig. 2-46	토양 샘플링 오거	43
Fig. 2-47	흡광도 측정 모습	43
Fig. 2-48	토양 흡광도 스펙트럼 그래프	44
Fig. 2-49	흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	45
Fig. 2-50	토양 흡광도의 1차 미분 그래프	46
Fig. 2-51	1차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	47
Fig. 2-52	토양 흡광도의 2차 미분 그래프	47
Fig. 2-53	2차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	48
Fig. 2-54	실시간 계측을 위한 probe sample holder의 전체적인 모양	49
Fig. 2-55	실시간 유기물 센서의 시작기 모습	49
Fig. 2-56	토양 반사도 측정과 토양 샘플링 방법	50
Fig. 2-57	토양 흡광도 스펙트럼 그래프	51
Fig. 2-58	흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	52
Fig. 2-59	토양 흡광도의 1차 미분 그래프	53
Fig. 2-60	1차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	54
Fig. 2-61	토양 흡광도의 2차 미분 그래프	54
Fig. 2-62	2차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증	55
Fig. 2-63	흡광도 PLS 분석의 파장별 계수	56

Fig. 2-64	토양 유기물 함량 계측 알고리즘	56
Fig. 2-65	붕소결핍 증상 I	60
Fig. 2-66	붕소결핍 II	60
Fig. 2-67	미 붕소 생육 무 (A, B)와 적정 붕소 시비 생육 무(C)의 모습	60
Fig. 2-68	화분의 시비량	62
Fig. 2-69	NIR System	62
Fig. 2-70	무 앞의 앞면 흡광도	63
Fig. 2-71	무 앞의 뒷면 흡광도	63
Fig. 2-72	앞면 1차 미분	64
Fig. 2-73	뒷면 1차 미분	64
Fig. 2-74	줄기 위치별 흡광도	65
Fig. 2-75	위치별 흡광도의 1차 미분	65
Fig. 2-76	생장 일수에 따른 근중의 변화	67
Fig. 2-77	생장 일수에 따른 근장의 변화	67
Fig. 2-78	생장 일수에 따른 최대근경의 변화	67
Fig. 2-79	장치 구성도	68
Fig. 2-80	생육상태 계측을 위한 알고리즘	69
Fig. 2-81	영상으로부터 앞면적을 추출하는 과정	70
Fig. 2-82	앞면적에 따른 근중의 변화	71
Fig. 2-83	앞면적에 따른 근장의 변화	71
Fig. 2-84	앞면적에 따른 최대근경의 변화	72
Fig. 2-85	전자지도 작성을 위한 시스템 구성도	73
Fig. 2-86	토양 유기물 함량 계측 시스템 구성도	74
Fig. 2-87	토양 유기물 함량 계측 시스템 프로그램	75
Fig. 2-88	토양 유기물 함량 측정 실험 모습	75
Fig. 2-89	생육 정보 계측 시스템 구성도	76
Fig. 2-90	생육 상태 정보 입력 알고리즘	77
Fig. 2-91	CCD 카메라로부터 영상 획득	77
Fig. 2-92	생육 정보 계측 알고리즘에 의한 녹색 정보 추출	78
Fig. 2-93	DGPS와 Gyro Compass의 데이터 입력 프로그램	78
Fig. 2-94	생육 정보 계측 실험 모습	79
Fig. 2-95	데이터베이스 관계 다이어그램	80
Fig. 2-96	Boundary 지도 작성	81

Fig. 2-97 토양 유기물 함량 지도	82
Fig. 2-98 토양 유기물 함량 분포 지도	83
Fig. 2-99 토양 유기물 함량의 Semivariogram	84
Fig. 2-100 질소 시비량 지도	84
Fig. 2-101 무의 생육 상태 지도	85
Fig. 3-1 우점 잡초의 칼라 영상	92
Fig. 3-2 엽록소 측정기	94
Fig. 3-3 무와 잡초의 엽록소 함량	94
Fig. 3-4 수분 함량 측정을 위한 샘플	96
Fig. 3-5 무와 잡초의 수분 함량	96
Fig. 3-6 서울대학교 부속농장 내의 무농장	98
Fig. 3-7 무와 다양한 잡초의 칼라 영상	98
Fig. 3-8 무와 잡초의 칼라 영상	99
Fig. 3-9 전통적인 패턴 분류법의 예	99
Fig. 3-10 형상인자의 예	100
Fig. 3-11 이치화된 영상	102
Fig. 3-12 다양한 식물체의 형상인자	103
Fig. 3-13 형상인자의 평균값	103
Fig. 3-14 사후확률을 이용한 산포도	105
Fig. 3-15 두 개의 형상인자를 사용하여 옳게 판별한 경우	108
Fig. 3-16 (LTP, PTB) 순서쌍의 그래프	108
Fig. 3-17 (Compactness, PTB) 순서쌍의 그래프	108
Fig. 3-18 실험용 근적외선 카메라	112
Fig. 3-19 비전 시스템을 장착한 이동장치	113
Fig. 3-20 근적외선 카메라를 이용하여 획득한 영상	114
Fig. 3-21 일관 조명 시스템	115
Fig. 3-22 근적외선 영역의 영상	116
Fig. 3-23 포장실험을 위한 영상처리 시스템	118
Fig. 3-24 단순 퍼셉트론 모델	119
Fig. 3-25 잡초 인식 알고리즘의 순서도	121
Fig. 3-26 오류역전파 학습을 이용한 신경망의 구조	122
Fig. 3-27 신경회로망의 결과를 도시한 산포도	123
Fig. 3-28 개선된 신경망 모델의 3-2-2 구조의 출력	124

Fig. 3-29	개선된 신경망 모델의 8-2-2 구조의 출력	125
Fig. 3-30	영상 처리 순서	126
Fig. 3-31	고속화 알고리즘을 위한 시스템 구성도	127
Fig. 3-32	고속화한 알고리즘의 구성도	128
Fig. 3-33	영상정보 획득 알고리즘	128
Fig. 3-34	공간정보 처리부의 알고리즘	129
Fig. 3-35	정밀 방제 시스템의 개략도	131
Fig. 3-36	차폭의 선정	132
Fig. 3-37	자이로 컴파스(C-100)	133
Fig. 3-38	지구자기의 요소	133
Fig. 3-39	변량 제어형 분무 시스템 구성도	135
Fig. 3-40	방제기용 펌프의 외관	135
Fig. 3-41	토출밸브용 레귤레이터의 구조	136
Fig. 3-42	방제 노즐의 분사각	137
Fig. 3-43	분무 시스템을 차량에 장착한 모습	138
Fig. 3-44	노즐 컨트롤 순서도	139
Fig. 3-45	컨트롤러의 회로도	139
Fig. 3-46	분무 노즐 제어부	139
Fig. 3-47	호스트 컴퓨터용 노즐 제어 프로그램 실행도	141
Fig. 3-48	계측 시스템을 이용한 노즐 테스트	141
Fig. 3-49	노즐 안정성 테스트	142
Fig. 3-50	노즐의 반응속도 테스트	143
Fig. 3-51	작물의 위치정보 검출을 위한 기초실험	143
Fig. 3-52	레이블링한 영상	143
Fig. 3-53	대상체의 좌표를 영상에서 추출	144
Fig. 3-54	회전변환을 통해 추출	144
Fig. 3-55	필드에서 실험중인 정밀방제기	145
Fig. 3-56	통합 프로그램의 실행 화면	146
Fig. 3-57	실제 분무기가 작동하는 모습	146
Fig. 3-58	방제 후 토양 및 식물체	146

1장 서론

1절. 연구 개발의 배경과 필요성

증가하는 세계 인구와 더불어 식량 문제가 가장 큰 외교문제의 하나로 대두되고 있다. 이러한 이유로 정부는 국가적 차원의 식량확보 및 안보 차원의 농업 생산성 증대를 위해 노력해 왔다. 이 과정에서 화학비료와 농약의 사용량의 증가는 불가피하게 되었다. 또한 기존의 방제 및 시비 작업은 작물의 생육 상태를 무시한 채 획일적인 투입으로 국부적인 농약이나 비료의 과다 및 부족 현상을 초래하였다. 이러한 농약 및 화학비료의 사용량의 증가와 획일적인 방제 및 시비 작업은 경영비 증가는 물론 작물에 해를 끼쳐 단위 농업생산성을 저하시키며, 국민의 식생활 증가에 따른 농산물의 품질향상에 대한 기대에 반할 뿐 아니라 국민보건 증진 측면에도 악영향을 미치게 된다. 또한 토양 및 수질오염의 원인이 되기도 한다. 한번 오염된 토양은 자연정화가 불가능하고 반영구적으로 오염물질이 토양 중에 존재하면서 농·축산물을 통해 인체에 쌓여 각종 만성적인 질병을 유발하게 된다. 즉, 오염 토양의 사후 처리대책보다는 예방차원에서의 사전오염방지대책 추진이 더욱 절실하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 경작지 내의 국소적 변이를 고려하여 지역적으로 서로 다른 농약 및 비료의 양을 처방하는 정밀농업(precision farming)의 개념이 대두되었다.

정밀 농업을 위해서는 경작지내의 국부적인 토양 변이 및 작물의 생육 상태 변이를 정확하고 신속하게 측정할 수 있는 센싱 기술, 이러한 측정된 데이터를 저장, 가공, 처리할 수 있는 전자지도 작성 기술 개발이 요구되고 있다. 그리고 농약 사용을 줄이기 위해 국부적으로 필요한 지역에만 농약을 변량적으로 살포하는 정밀방제 기술이 필요하다. 이 기술은 최적의 농작업을 할 수 있도록 도움을 줌으로써, 생산성을 향상시키며 일부 환경문제를 해결할 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 미국과 유럽 등 농업선진국에서는 유기물 함량측정 센서와 생육상태 계측센서를 이용한 전자지도 작성기술과 국부적으로 점 살포 도는 지능방제를 가능하게 하는 정밀방제 기술에 대한 연구를 진행하고 있으나, 국내에서 진행되는 정밀농업에 대한 연구는 극히 미미한 수준에 머무르고 있는 실정이어서 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

2절. 연구개발 목표 및 내용

본 연구는 정밀 농업을 위한 전자지도 작성 시스템의 개발과 실시간 적용 가능한 잡초 검출 및 방제 시스템을 개발하는 것이다. 본 연구과제는 2개의 세부과제로 구성되어 있으며 각 세부과제명과 최종 목표는 다음과 같다.

가. 생육 상태 계측 및 전자지도 작성 시스템 개발

- 1) 전자지도 작성 알고리즘 개발
- 2) 토양 유기물 함량 계측 시스템 개발
- 3) 생육 상태 계측 시스템 개발
- 4) 개발된 시스템의 통합을 통한 전자지도 작성 시스템 개발

나. 방제 요구 부위 검출 및 정밀 방제 기술 개발

- 1) 잡초 검출 인자 및 검출 알고리즘 구성
- 2) 이동형 영상획득 장치의 구성 및 획득한 영상을 이용한 잡초 검출 알고리즘 구현
- 3) 분무장치를 구성하고 노즐별로 ON/OFF 제어가 가능하도록 컨트롤러를 제작
- 4) 구성된 장치 및 알고리즘을 통합한 정밀방제 시스템 개발

이러한 시스템 개발을 위한 연차별 개발 목표와 내용은 다음과 같다.

구분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위
1 차 년도	[제 1 세부 과제] 전자지도의 기본 구조 결정 및 요소 알고리즘 개발	- 전자지도용 데이터베이스의 모형화 - 전자지도 작성 도구의 구조 설계 - 지도 입력 및 인식 알고리즘 개발 - 데이터베이스 입력 및 처리 알고리즘 개발
	[제 1 세부 과제] 근적외선 영상 처리를 이용한 작물의 생육 상태 계측 알고리즘 개발	- 무의 생육 상태에 따른 광학적 특성 분석 - 근적외선 영상 처리에 의한 작물의 생육 상태 계측 알 고리즘 개발
	[제 2 세부 과제] 가시광선 영상 처리를 이용한 잡 초 검출 알고리즘 개발	- 무와 잡초의 분류 특성 분석 - 영상처리 시스템 구축 - 가시 광선 영상 처리에 의한 방제 요구 부위 검출 알고 리즘 개발
	[제 2 세부 과제] 근적외선을 이용한 토양 유기물 계측 센서 개발 연구	- 토양 유기물과 근적외선 영역의 흡광도와와의 상관 분석 - 회귀분석을 이용한 유기물 함량 계측 모형 작성 및 검증 - PCR 및 PLS 법을 이용한 유기물 함량 계측 모형 작성 및 검증 - 신경회로망기법을 이용한 유기물 함량 계측 모형 작성 및 검증
2 차 년도	[제 1 세부 과제] 전자지도의 요소 알고리즘 개발	- 센서(영상처리)의 신호 입력 알고리즘 개발 - GPS수신기의 신호 입력 알고리즘 개발 - 지도 작성 알고리즘 개발
	[제 1 세부 과제] 가시광선 영상 처리를 이용한 작물 의 생육 상태 계측 알고리즘 개발	- 가시 광선 영상 처리에 의한 작물의 생육 상태 계측 알 고리즘 개발 - 계측 알고리즘의 고속화
	[제 2 세부 과제] 근적외선 영상 처리를 이용한 방제 요구 부위 검출 알고리즘 개발	- 근적외선 영상 처리에 의한 방제 요구 부위 검출 알고리 즘 개발 - 검출 알고리즘의 고속화 - 포장내 일팔 조명 시스템 개발
	[제 2 세부 과제] 토양 유기물 함량 계측 센서 개 발 연구	- 토양 유기물 센서 시작기 개발 및 검증 - Probe 및 sampler 개발 - 실시간 측정 알고리즘 개발
3 차 년도	[제 1 세부 과제] 전자지도 작성 시스템 구축	- 요소 알고리즘 통합 - 전자지도 작성 시스템의 성능 검증 - GPS 신호에 의한 전자지도 데이터베이스 출력 알고리즘 개발 - 전자지도 활용 시스템의 성능 검증
	[제 2 세부 과제] Site-specific 방제 기술 개발	- 운반차 및 제어 장치 제작 - 살포기 제작 및 분무 ON/OFF 제어 기술 개발 - 농약 살포량 제어 기술 개발

2장 전자지도 작성 기술 개발

1절. 서 언

현재 농업은 획일적인 화학 비료의 사용으로 국부적으로 비료의 과다 및 부족 현상이 발생한다. 이러한 화학 비료의 과다 및 부족 현상은 환경에 악영향을 줄뿐만 아니라 작물의 성장에도 영향을 끼쳐 생산성을 저하시키고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 경작지 내의 국소적 변이를 고려하여 지역적으로 서로 다른 농약 및 비료의 양을 처방하는 정밀농업(precision farming)의 개념이 대두되었다.

이러한 정밀 농업을 위해서는 경작지내의 국부적인 토양 변이 및 작물의 생육 상태 변이를 정확하고 신속하게 측정할 수 있는 센싱 기술이 필요하며, 이러한 데이터를 저장하며, 적절하게 가공, 처리할 수 있는 전자지도 작성 기술을 필요로 하고 있다. 이러한 기술의 개발은 작물이 자라는데 필요한 토양 내 양분의 분포와 생육 상태 등을 실시간(real-time) 계측과 처방이 가능하므로 최적의 농작업을 할 수 있도록 도움을 주며, 생산성을 향상시키고 일부 환경문제를 해결할 것이다.

현재 전자지도 작성을 위해 범용 GIS 소프트웨어를 많이 사용하고 있으나, 이러한 범용 소프트웨어는 값이 비싸며, 처방을 위한 다른 응용프로그램과 호환에 문제가 있어 개발이 필요하다.

본 연구는 정밀 농업을 위한 전자지도 작성 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하며 세부적인 목적은 다음과 같다.

1. 전자지도 작성을 위해 전자지도 작성 알고리즘 개발
2. 토양 유기물 함량 계측 시스템 개발
3. 생육 상태 계측 시스템을 개발
4. 개발된 시스템 통합과 전자지도 작성

2절. 관련 기술 동향

미국을 비롯한 선진국의 경우, 친환경 농업을 위해 토양 영양상태의 분포도 작성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 최근에는 트랙터와 같은 농작업 차량에 토양 계측 센서와 GPS/GIS 시스템을 탑재하여 실시간으로 토양의 영양상태를 모니터링 할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구도 보고되고 있다.

Hans 등(1994)은 GPS 시스템을 이용하여 토양의 영양상태 지도 작성에 관한 연구를 진행하였고, Gotway(1996) 등은 토양의 영양상태 분포를 토양 지도 작성을 통해 분석하였다.

Adamchuk 등(1999)은 실시간으로 토양의 pH를 측정할 수 있는 시스템의 프로토타입을 개발하여 토양 pH 분포도 작성에 관한 연구를 수행하여 실시간 지도 작성의 가능성을 평가하였으나 아직까지는 pH 센서의 실시간 응답성능의 불 완전성으로 인해 계측 정확도에 문제점을 안고 있다.

일본의 경우에도 정밀농업에 관한 연구가 활발히 진행중이다. 일본의 연구 결과, 소규모 경작지의 정밀 농업이 가능하다는 판단을 내리고 있으며 이를 위해서는 포장 안의 변이뿐만 아니라 포장과 포장간의 변이 또한 중요하며, 이를 위해서는 포장의 데이터를 모으는 것부터 시작해야 한다고 지적한다(Shibusawa, 1999).

그러나, 우리나라의 경우 정밀농업에 관한 연구는 아직까지는 시작단계로써, 정선옥 등(1999)이 소 구획 경지에서서의 비 수확량 지도 작성에 관한 연구를 진행하였으나, 경작지내의 수확량 변이 분포를 위한 정확성 높은 지도 작성 시스템 하드웨어의 개발에 관해 초점을 맞추고 있다. 따라서, 우리나라의 경우에도 정밀농업에 관한 연구가 발전하기 위해서는 하드웨어의 개발뿐 아니라 포장의 여러 데이터를 조직하여 이들 데이터를 어떤 방식으로 이용할 것인가에 대한 판단이 요구된다.

Smith(1987) 등은 토양 반사도를 측정할 수 있는 프로브를 가진 포터블 분광분석기를 개발하였으며, 이를 이용하여 유기물 함량을 측정한 결과 높은 상관관계를 보였으며 좀 더 정확한 측정을 위해서는 토양의 수분 함량을 측정하는 것이 필요하다고 하였다.

Sudduth(1988) 등은 여러 가지 다른 데이터 분석과 Calibration 분석을 적용하여 유기물 함량을 예측하였다. 그 결과 PLS 회귀 분석이 가장 좋은 결과를 보였다.

Shonk(1991) 등은 단일 파장(660nm)으로 유기물 함량을 측정할 수 있는 센서를 개발하여 유기물 함량과의 상관관계를 분석하였다. 비옥한 토양일 때는 유기물 함량과 토양 반사도가 선형적으로 나타났으며, 사질 토양에서는 지수함수 형태를 나타냈다. 이 유기물 센서는 유기물 함량이 6% 이상인 토양의 상관관계는 매우 낮았다. 또한 프로토타입 센서를 제작하여 필드 테스트를 수행하여 $R^2=0.83$ 를 보였다. Dematte(1999) 등은 토양 표면으로부터의 깊이, 유기물 함량, 철의 형태, 토양의 건조에 따른 토양 스펙트럼 반사도의 변화를 관찰하여, 광물, 유기물 함량, 철, 칼륨, 칼슘 등을 수식화 하였으며, 토양 종류를 구별할 수 있었다.

Chen(2000) 등은 영상을 이용하여 토양 유기물 함량과의 상관관계를 규명하고 유기물 지도를 작성하였다. 영상에서 어두운 색깔을 가진 영역일수록 토양유기물이 높다는 것을 알 수 있었다. 붉은 색의 차이는 철과 관계가 있었다.

우리나라와 비슷한 환경을 가진 일본에서는 Shibusawa(2000) 등은 분광분석기를 이용한 센서를 농용 차량에 부착하여 1 m/s의 속도로 토양의 반사도를 측정할 수 있는 프로토타입을 개발하였으며, 측정 거리와 토양 표면의 거칠기의 변화를 측정함으로써 센서의 안정성을 평가하였다. 측정거리에 따라 bias가 생겼으며, 이는 일차미분을 통해서 제거할 수 있었다. 토양 거칠기도 흡광도에 영향을 주었으나 미분을 통해 조금은 제거할 수 있었다.

Anom(2000) 등은 실험실에서 개발한 유기물 센서를 트랙터에 부착시켜 토양 반사도와 수분, 토양 유기물 함량, 질소 함량과의 상관관계를 구하고, 실시간으로 측정된 반사도에 기초하여 지도를 작성하였다. 수분과 질소 함량은 상관관계가 낮았으며, 유기물의 경우 R^2 가 0.7 정도를 보였다.

3절. 전자지도의 요소 알고리즘 개발

지리정보 시스템 (Geographic Information System, GIS)을 이용한 정밀농업의 개념적인 데이터 관리체계는 그림 2-1과 같다. 그림과 같이 공간적으로 저장된 데이터는 GIS 시스템을 구성하며 정밀농업을 위한 GIS 시스템은 경작지내의 미시적인 환경변이에 대한 가변적인 처리를 위한 의사결정 지원도구로서의 역할을 한다.

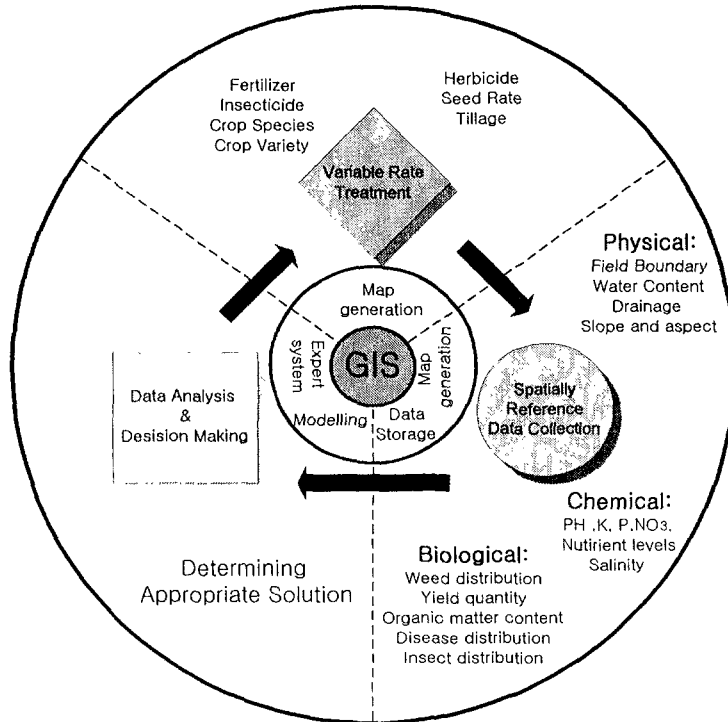


Fig. 2-1 GIS를 이용한 정밀농업의 데이터 관리체계

1. 데이터베이스 설계

공간적으로 분포된 속성 데이터들은 물리적, 화학적, 생물학적인 데이터로 구성되며, 표 2-1, 2-2, 2-3에 나타난 것과 같다.

Table 2-1 물리량 데이터

물리량 데이터	데이터 종류	용도
	Field Boundary	Coverage mapping

Table 2-2 화학량 데이터

화학량 데이터	데이터 종류	용 도
	Soil PH, N, P, K, EC Soil Oragnic Matter Content Fertilizer	Variable Rate Treatment & Input/output of map data

Table 2-3 생물량 데이터

생물량 데이터	데이터 종류	용 도
	Radish Growth Radish Yield	Variable Rate Treatment & Input/output of map data

물리 데이터 중 경작지의 외곽 데이터의 경우는 boundary 지도를 생성하기 위한 데이터로 사용되며, 경작지내의 총 생산량, 면적, perimeter, 경사도 등의 경작지 내 각종 물리량을 표현한다. 나머지 화학, 생물 데이터들은 경작지 내 여러 공간에서의 속성을 나타내며 이는 가변적 처리를 위한 분포를 표현하는데 사용된다.

가. 외곽지도 데이터베이스 모델

외곽지도는 토양 샘플링을 위한 일정간격의 격자로 나뉘어 작성된다. 그림 2-2는 외곽지도 데이터베이스 모델이다. 모든 공간 데이터의 시작은 점 데이터이며 이 점 데이터를 운용하여 선 데이터와 면 데이터를 생성하는 방식으로 설계되었다.

나. 속성 데이터베이스 모델

본 연구의 데이터베이스 모델은 경작지의 물리적 상태, 경작지 내의 국부적 토양의 화학적 상태, 잡초, 생산량을 주요 데이터로 선정하여 설계하였다. 모든 데이터는 어느 한 경작지내의 국부적인 지역의 한 위치에서의 값을 나타낸다. 그림 2-3은 본 연구에서 개발한 데이터 베이스의 개념적 모델이다 .

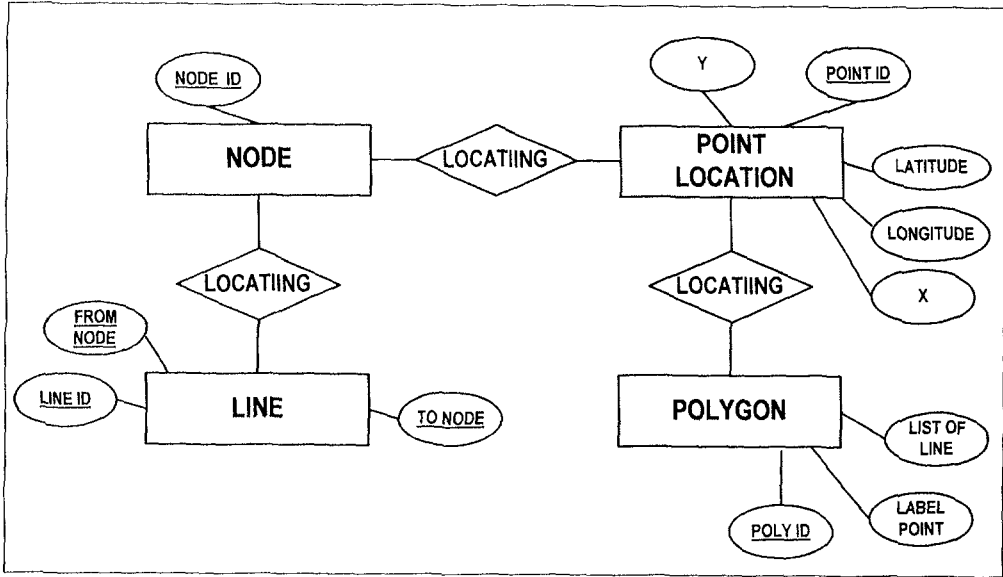


Fig. 2-2 외곽지도 생성을 위한 데이터베이스 모델(E-R diagram)

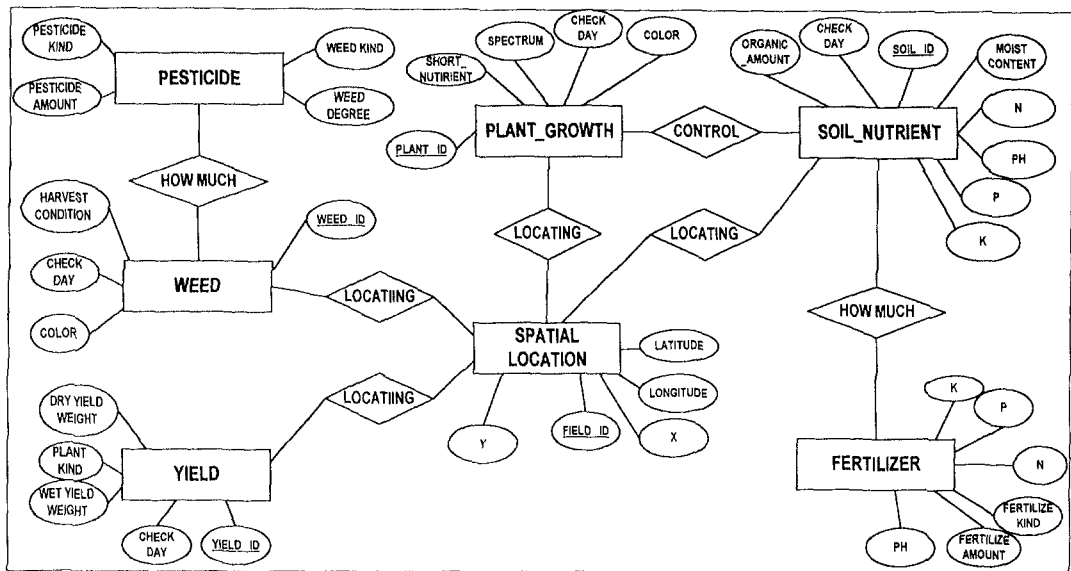


Fig. 2-3 속성 데이터베이스 모델 (E-R diagram)

2. GPS 수신기의 신호 입력 알고리즘 개발

가. GPS 시스템 구성도

GPS 위성으로부터 오는 신호를 GPS 수신기를 통해 수신하고 이를 RS232C 직렬 통신을 통해 탑재된 컴퓨터에 그림 2-4와 같이 저장하고 실시간으로 모니터링 하였다.

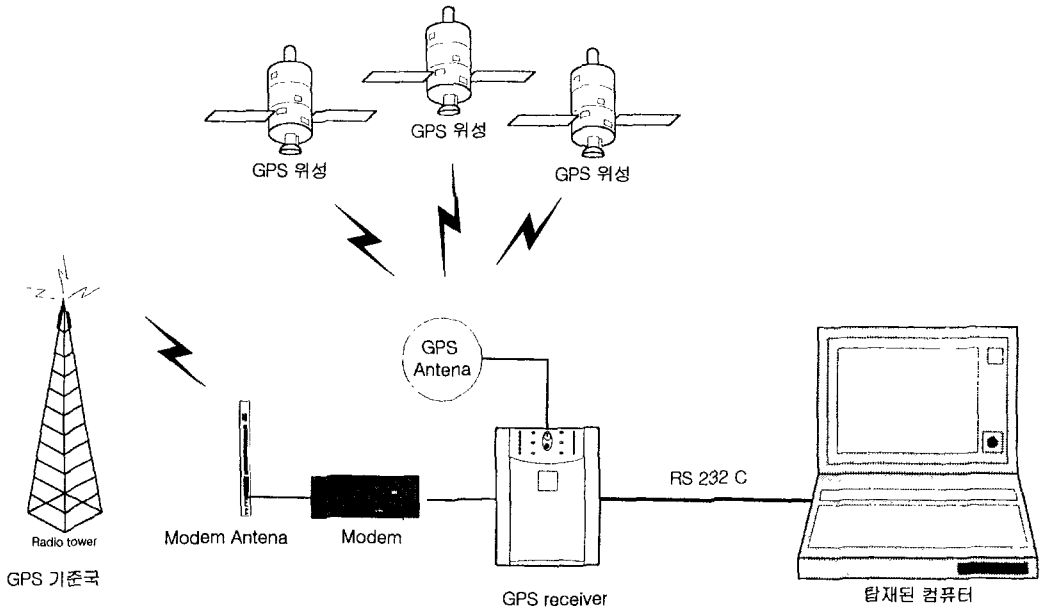


Fig. 2-4 DGPS 시스템

나. 신호입력 알고리즘

GPS 수신기의 신호입력 알고리즘은 그림 2-5에 나타난 바와 같이 GPS 수신기에서 입력된 WGS 84의 경·위도 좌표 값의 오차 유무를 검증한 다음 표 2-4와 같이 그 값을 구축된 데이터베이스에 저장되며 제어신호 및 의사결정 시스템의 입력을 위해 text file로 출력된다.

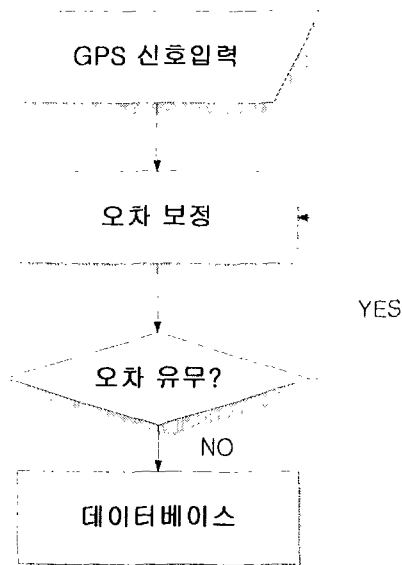


Fig. 2-5 GPS 신호입력 알고리즘

Table 2-4 출력데이터 포맷과 용도

데이터 출력 포맷	용도
text file	제어신호 및 의사결정 시스템의 입력
mdb file	데이터베이스 저장

다. 좌표변환 알고리즘

토양 유기물 함량 측정 센서와 작물의 생육상태 계측을 위한 영상 카메라의 위치가 GPS 수신기의 WGS84 좌표계의 경·위도 값으로 저장되어 있다. 이 값들은 실시간 처리에 적당하나 데이터 처리에는 적당하지 못하다. 그래서 GPS 수신기의 WGS84 좌표계의 경·위도 값을 X, Y, Z의 m값으로 변환하는 좌표변환 알고리즘이 필요하다. 이는 GPS 기준국인 농업기계화연구소의 경위도 값을 X, Y, Z 좌표계의 기준원점으로 설정한 후, 이동국의 경·위도 값과 기준국의 경·위도값의 차(ΔLon , ΔLat)를 구한 다음, 이 값을 X, Y, Z의 m 값으로 변환하였다. 위도, 경도 1" 당 m값을 구하는 절차는 다음과 같다.

1) 위도 1" 당 거리값(m) 획득

AutoCAD R14를 이용해 WGS84 좌표계에 의한 지구타원체(장반경 : 6,378.137m, 단반경 : 6,356.752m, 편평도 1/298.26)를 구성하였다. 구성된 지구타원체를 위도 10° 간격으로 9등분한 후 우리나라가 속한 위도 영역인 위도 30~40° 지역을 다시 1° 간격으로 10등분하였다. (그림 2-6)

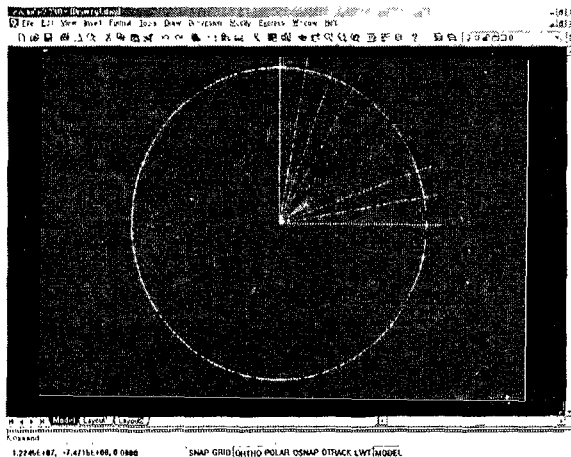


Fig. 2-6 지구타원체 및 위도 분할

계속해서 실험에 있어 기지국으로 사용되고 있는 수원의 농업기계화연구소가 속한 위도 영역대인 36~37° 지역을 0.1° 간격으로 10등분하고 이러한 과정을 반복하여 위도 1" 당 거리값 30.88416667m로 획득하였다.(그림 2-7)

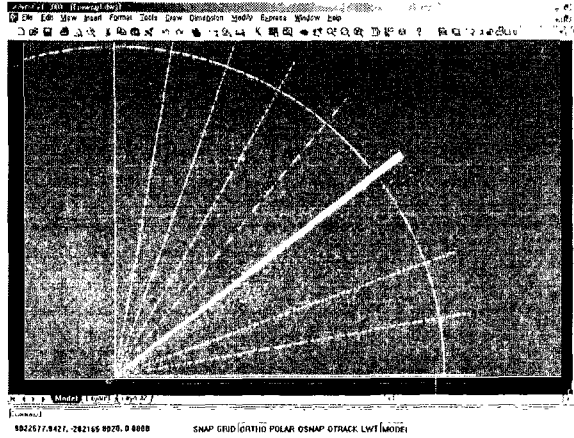


Fig. 2-7 위도 분할

2) 경도 1" 당 거리값 획득

위도 1" 당 거리값 획득과 유사한 방법으로 AutoCAD R14를 이용해 WGS84 좌표계에 의한 지구타원체(장반경 : 6,378.137m, 단반경 : 6,356.752m, 편평도 1/298.26)를 구성하였다. 구성된 지구타원체의 무게중심에서 농업기계화연구소 기지국의 위도 각도로 사진을 긋고, 사진과 지구타원체가 만나는 교점을 획득하였다. 획득한 교점에서 지구의 무게중심과 북극점을 연결하는 선분에 수선의 발을 내린다.(그림 2-8)

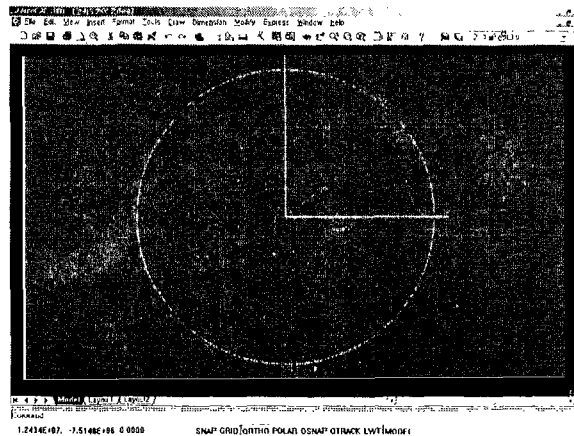


Fig. 2-8 위도에 따른 원의 반경 획득

지구의 무게중심과 북극점을 연결하는 선분과 수선의 교점을 중심으로 하고 수선의 길이를 반지름으로 하는 원을 형성한 후 그림 2-9와 같이 우리나라가 속한 동경 126~127° 영역의 길이를 구한 다음 3,600으로 나누어주면 경도 1" 당 약 24.57568556m의 거리값을 획득하였다.

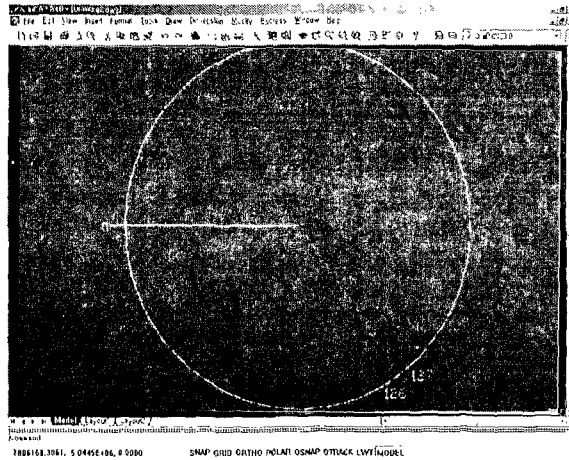


Fig. 2-9 경도 분할

3. 센서(영상처리)의 신호입력 알고리즘 개발

가. 토양 유기물 함량 입력 알고리즘

경작지 내의 위치에 따른 가변적 토양 유기물 함량을 측정하여 데이터베이스에 저장하는 알고리즘은 그림 2-10과 같다. 토양 유기물 센서를 통해 들어오는 신호를 National Instruments사의 DAQ-DIO-24 카드를 사용하여 입력받는 동시에 그 때의 측정 위치를 RS232C를 통해 컴퓨터에 연결된 GPS 수신기를 통해 입력받는다. 수신된 GPS 신호는 농업 기계화연구소(위도 : 37.27446864 N, 경도 : 126.98186819 E)의 GPS 기준국에 의해 오차가 보정되며, 오차가 2cm 보다 작은 경우, 그 때의 토양 유기물 센서의 위치(공간정보)와 해당 위치에서의 토양의 유기물 함량(속성정보)을 통합하여 데이터베이스에 저장한다.

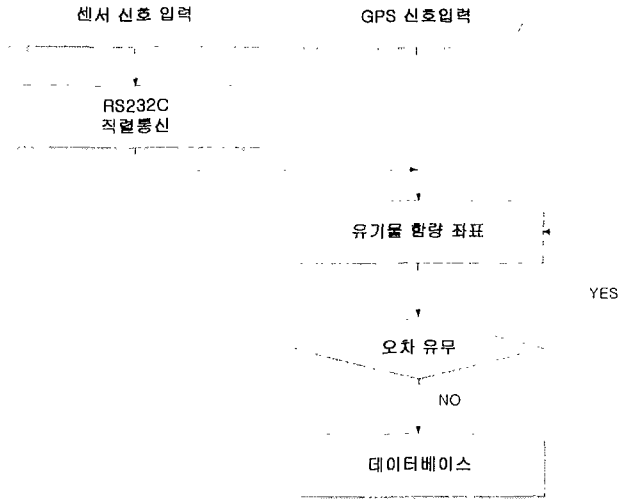


Fig. 2-10 토양 유기물 함량 신호입력 알고리즘

나. 작물의 생육 상태 입력 알고리즘

경작지 내에서의 가변적 작물의 생육 상태 계측하여 데이터베이스에 저장하는 알고리즘을 그림 2-11과 같다. 데이터베이스에는 작물의 위치 정보가 저장되어 있다. 또한 작물의 생육 상태 계측 시스템에서 계측한 녹색의 위치는 GPS 수신기로부터 좌표를 획득하게 된다. 이 두 개의 위치 정보를 비교함으로써, 위치가 같은 곳은 작물로 인식하여 녹색 정보의 픽셀 수를 계산한다. 그리고 계산된 픽셀 수는 데이터베이스에 그 작물이 위치한 곳에 저장한다.

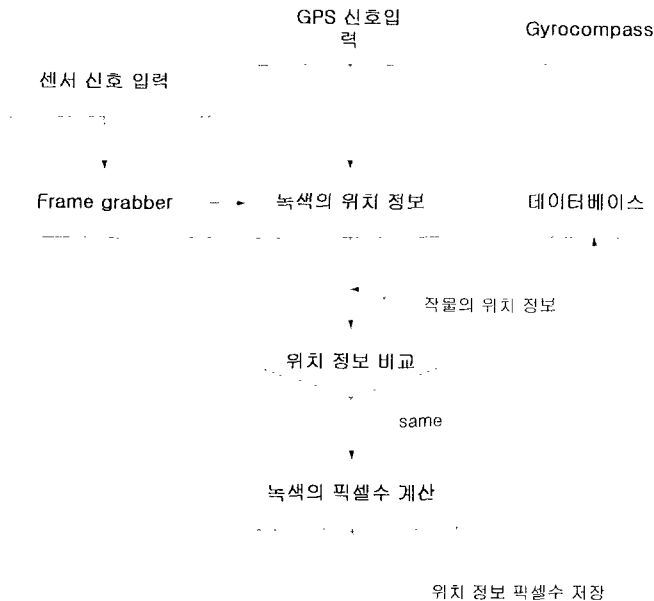


Fig. 2-11 생육 상태 정보 입력 알고리즘

4. 전자지도 작성 알고리즘 개발

전자지도 작성의 전체적인 흐름은 그림 2-12와 그림 2-13과 같다. DGPS RT-2 수신기를 통해 입력된 경·위도 및 고도의 공간 데이터와 센서를 통한 경작지 및 토양의 속성, 작물의 속성을 데이터베이스에 저장하고 이 데이터를 이용하여 전자지도를 작성한다.

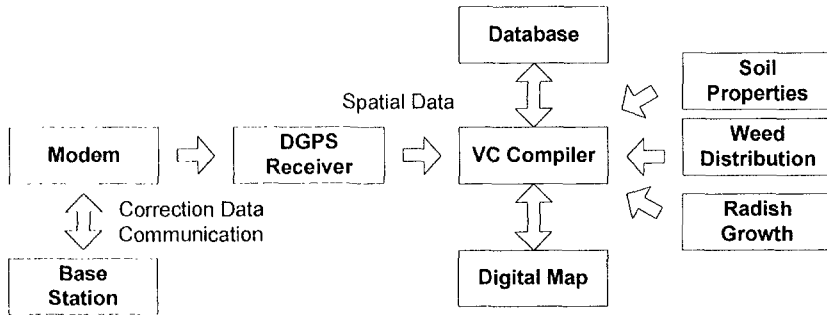


Fig. 2-12 수치지도 작성을 위한 공간·속성자료 입력 흐름도

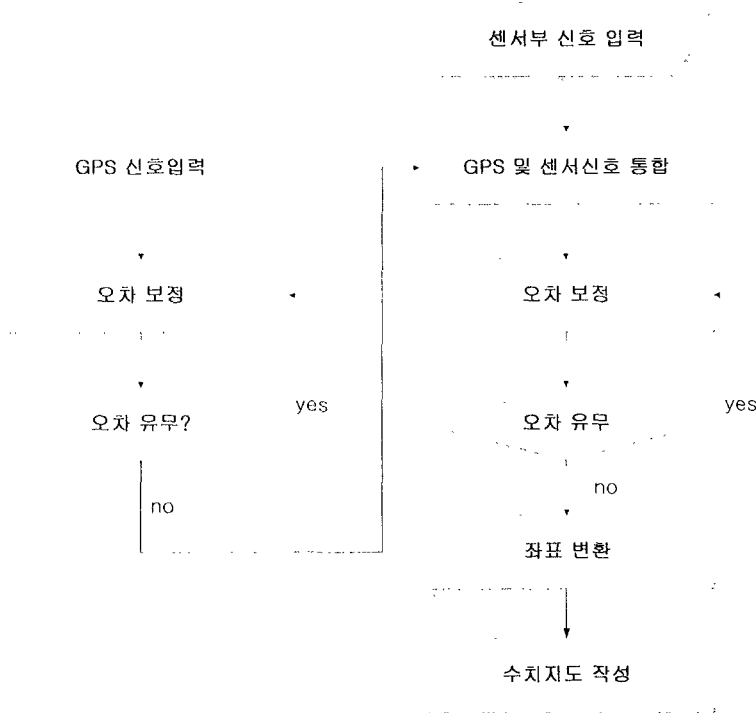


Fig. 2-13 지도 작성 알고리즘

가. Boundary 지도 작성

Boundary 지도를 작성하기 위해서는 데이터베이스에 저장되어 있는 boundary 위치 데이터를 불러온다. 각 위치 데이터들은 포인트로 저장되어 있다. 그래서 각 점들을 polygon 데이터로 변환하여야 한다. Polygon은 인덱스를 가지고 있는 각 점들로 이루어져 있는 데이터 형태를 말한다. 그래서 각 점들을 인덱스 순서대로 라인을 그려주게 된다. 이때 좌표들은 UTM 좌표로 변환이 되며, 각 점들은 원래 좌표인 WGS84 좌표계의 값들을 동시에 가지고 있다. 이 boundary 지도는 전자지도를 작성할 때, 각 점이나, polygon 데이터의 유효성 검사에 사용된다. 그림 2-14는 boundary 지도 작성 알고리즘이다.

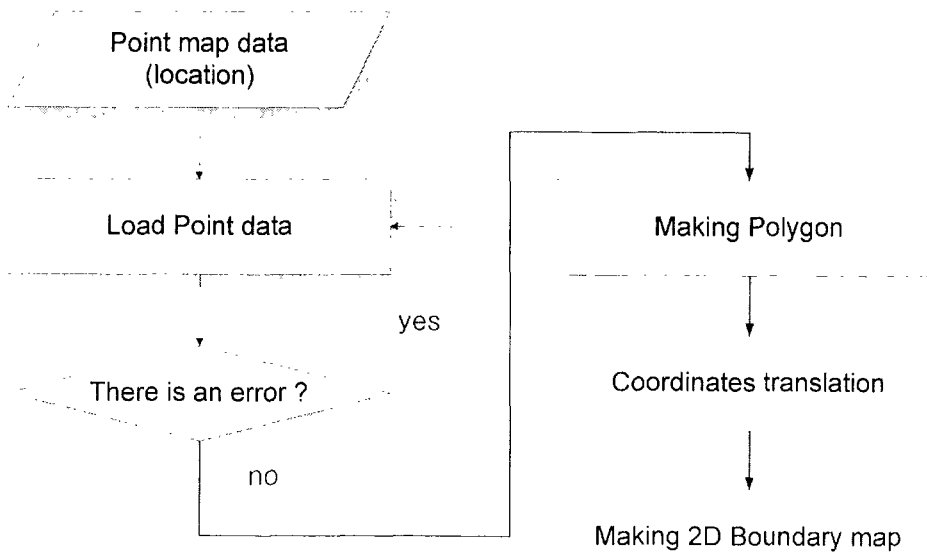


Fig. 2-14 Boundary 지도 작성 알고리즘

나. Point 지도 작성 알고리즘

데이터베이스에 저장되어 있는 유기물 함량이나, 생육 정보는 샘플의 위치 데이터와 샘플에 관한 정보 데이터로 저장되어 있다. point 지도는 이러한 데이터를 지도상에 표현해 준다. 그림 2-15는 point 지도 작성 알고리즘이다.

각 데이터들을 데이터베이스에서 불러오면서 유기물 함량과 작물의 면적 값들의 최대값,

최소값을 검색한다. 이 최대값과 최소값을 이용하여 데이터들은 5등급으로 분류되어지며, 이 등급별로 각각 다른 색과 크기를 가지고 지도 위에 point 형태로 그려진다.

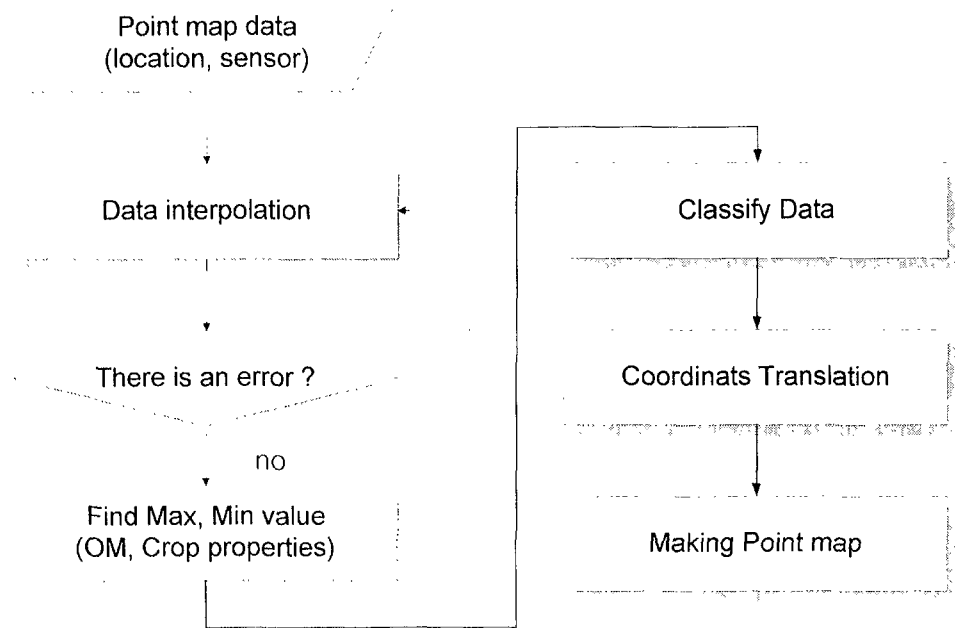


Fig. 2-15 포인트 지도 작성 알고리즘

다. 분포도 지도 작성 알고리즘

분포도 작성 알고리즘은 그림 2-16과 같다. 분포도 지도를 작성하기 위해 외곽지도를 30cm 간격의 grid point로 채 구성한다. 그리고 각 point에 값을 부여하기 위해 보간법을 사용하였다. 보간법에는 kriging method와 inverse distance method를 사용하였다. 또한 이렇게 구성된 point들은 point 지도에서 구한 유기물 함량의 최대값과 최소값을 이용하여 등급별로 분류가 되어진다. 이렇게 분류된 데이터들은 지도에 각각 다른 색으로 표현된다.

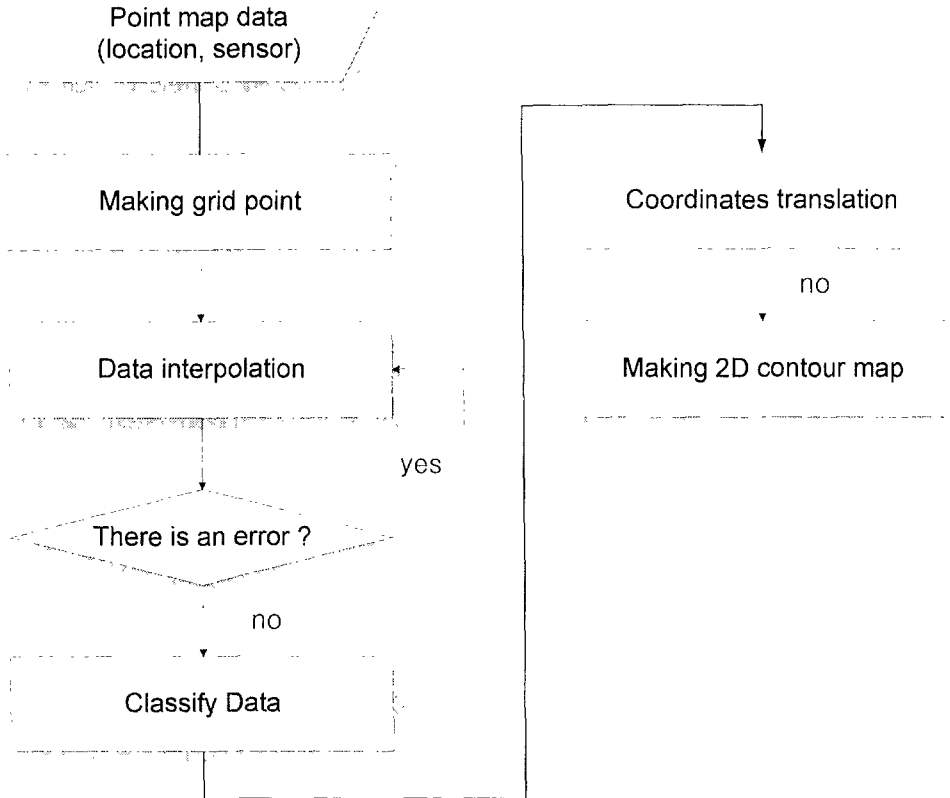


Fig. 2-16 분포도지도 작성 알고리즘

1) 데이터 보간

전자지도를 작성하기 위해서는 공간적으로 분포되어있는 데이터의 경우 데이터 사이의 구간에 대한 보정이 필요하다.

① Kriging method

보정방법으로는 가장 정확도를 신뢰할 수 있는 방법으로써 kriging method 선형 추정법을 이용, 샘플링된 데이터에 가중치를 부여하여 원하는 격자 블록내의 데이터를 추정하게 된다. 본 연구에서 진행될 데이터 보간중 점 데이터 보간은 선형 식을 이용하여 추정하며 보간 순서는 그림 2-17과 같다.

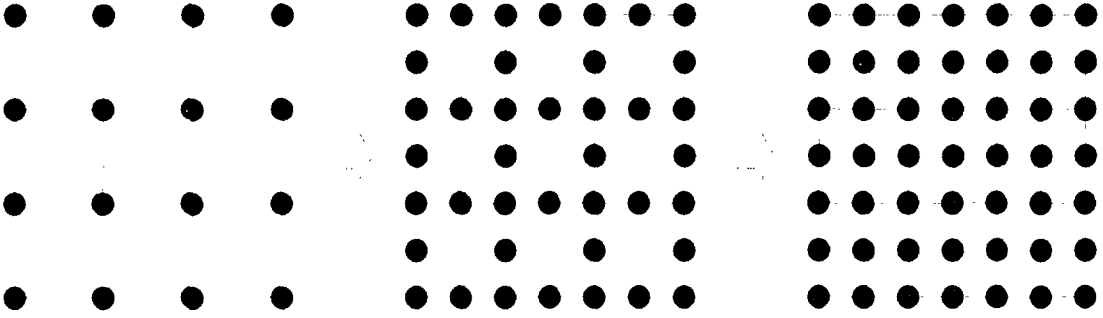


Fig. 2-17 점 데이터 보간

② Inverse distance method

Inverse distance method는 인접해 있는 point들에 대해 거리에 따른 가중치를 부여하여 보간하는 방법이다. 그림 2-18에서 보듯이 인접한 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 를 이용하여 Z_v 의 값을 알아낸다. 이 방법은 단순하면서도 큰 변이의 데이터들에 대해 합리적인 결과를 도출해 낸다. 또한 데이터 값들의 범위를 초과하지 않는 장점을 가지고 있다. 그러나 가중치 함수에 민감하다는 단점이 있다.

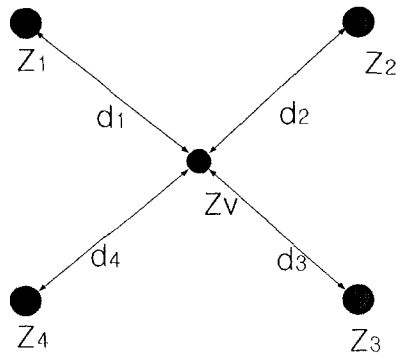


Fig. 2-18 점 데이터 보간

식 2-1은 보간식이며 n 은 데이터 point 개수, Z_j 는 point j 의 데이터 값, d_j 는 point j 와 예측하는 point와의 거리, $w(d)$ 는 가중치 함수이며 식 2-2와 같다.

$$Z_v = \frac{\sum_{j=1}^n w(d_j) Z_j}{\sum_{j=1}^n w(d_j)} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$w(d) = \begin{cases} \frac{1}{d^2}, & \text{if } d \leq d_{\max} \\ 0, & \text{if } d > d_{\max} \end{cases} \dots\dots\dots (2-2)$$

라. 시비 처방 지도 작성 알고리즘

작업기가 시비작업을 할 경우를 예상하여 경작지내의 특정한 위치에서의 시비량 조절을 어떤 방식으로 해야 할 지를 보여주기 위한 처방지도는 작업기의 작업 효율과 작업 방식에 따라 작성된다. 시비량을 결정하기 위해서는 면적단위로 분포를 나누는 것이 효과적이며 따라서 격자 간격을 어떤 방식으로 결정할 지가 중요하다. 지도의 격자 크기는 작업기의 폭을 기준으로 하여 최소 격자 크기를 정하고 표본 토양 샘플을 공간적으로 통계 처리하여 최대 격자 크기를 결정한다. 이렇게 격자 간격이 정해지면 격자 간격의 polygon들이 생성되며, polygon들은 격자 지도를 구성하게 된다. 또한 유기물 분포도 지도에 보관된 데이터들은 각 작물에 따른 시비식(표 2-5)에 따라 시비량으로 변환된다. 그리고 각 polygon들은 polygon 안에 있는 시비량 값으로 변환된 point 데이터들을 이용하여 하나의 시비량 값을 갖게 된다. 그리고 polygon들은 최소값부터 최대값까지 5등급으로 분류되어 다른 색으로 표현된다. 시비량 지도 작성 알고리즘은 그림 2-19와 같다.

Table 2-5 토양 유기물 함량을 이용한 질소 시비량(kg/10a) ('96 농과원)

Plants	General fertilizing amount	Recommneded fertilizing equation	Fertilizing amount for each soil OM content		
		Y: N fertilizing amount X: soil OM content	1.6 이하	1.6~2.5	2.5이상
Radish	28.0		33.6	28.0	22.4
Potato	10.0	Y = 26.169 - 1.564 X	23.8	22.2	20.7
Sesame	2.9	Y = 17.596 - 5.530 X	8.8	2.9	0
Cabbage	32.0	Y = 44.082 - 5.881 X	35.8	30.3	24.7
Lettuce	20.0		24.0	20.0	16.0
Corn	17.4	Y = 23.319 - 2.206 X	21.3	19.3	17.2
Garlic	25.0	Y = 22.761 - 1.564 X	19.6	18.0	16.5
Onion	25.0		18.2	15.2	12.2

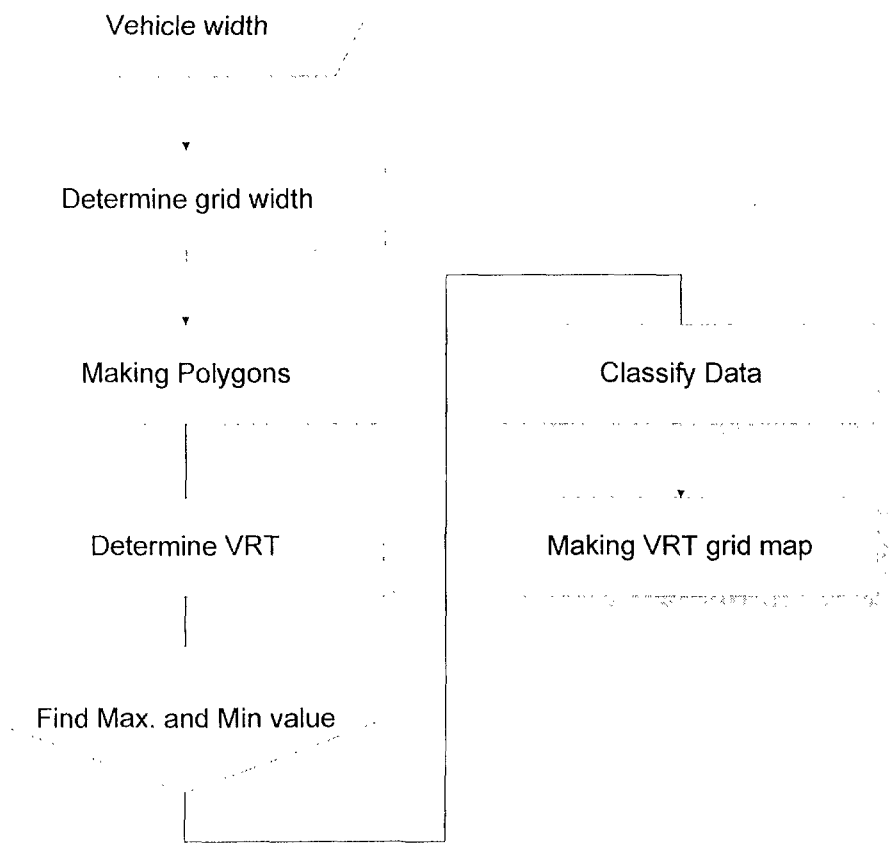


Fig. 2-19 시비량지도 작성 알고리즘(처방지도)

1) 지도 격자 크기 결정(전처리부)

지도의 격자 크기는 작업기의 폭을 기준으로 하여 최소 격자 크기를 정하고 표본 토양 샘플을 공간적으로 통계 처리하여 최대 격자 크기를 결정한다. 작업기의 작업폭을 기준으로 최소 격자크기를 정하는 이유는 토양지도 작성은 최종적인 결과로 토양 관리를 위한 시비 처방을 위해 시비 관리기를 이용하여 시비작업을 자동화 해야하기 때문이다. 즉, 경작지내의 어느 부분에 대하여 시비를 실시하기 위해서는 작업기의 이동 경로를 기준으로 일정한 거리 범위가 어느 정도까지인지를 파악해야 하고 최소한 그 거리만큼의 격자를 기본으로 지도를 작성해야 한다.

① 작업기의 크기 : 밭 작업에서의 작업기의 경우 관리기, 트랙터, 경운기가 주로 사용되며 그 크기는 표 2-6과 같다. 따라서 지도의 격자크기는 약 1~3m로 선정된다. 물론 이 격

자보다 작은 격자로 분할해도 되나 수동으로 데이터를 획득하여 지도 데이터를 입력해야 하는 경우 시간적, 경제적인 문제가 발생할 수 있으므로, 이런 문제를 고려하여 지도 격자크기의 최소 범위는 약 1m~3m 내로 선정하였다.

Table 2-6 작업기 크기 분포 (자료 제공 : 농촌진흥청 홈페이지)

작업기의 종류 \ 특 징	길 이 (cm)	폭 (cm)
관 리 기	92 ~ 161	57 ~ 90
경 운 기	222 ~ 240	85 ~ 101
트 랙 터	360 ~ 400	180 ~ 210

② 표본 데이터 획득을 통한 격자 크기 결정 알고리즘 : 공간적으로 분포하는 데이터의 통계처리를 통해 샘플링 격자를 나누는 방법으로는 데이터의 공분산을 이용하여 기대값을 획득하는 방법인 semivariogram method를 사용하였다. Semivariance 통계식은 식 2-3과 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(N-h)} \sum_{i=1}^{N-h} (Z_i - Z_{i+h})^2 \dots\dots\dots (2-3)$$

- $\gamma(h)$ = semivariance
- N = number of sample
- Z_i = value at i position
- h = lag between samples

예를 들어 데이터의 개수가 20개이고 데이터간의 거리가 1이라면 2-6의 식에 의해 $\gamma(1) = \frac{1}{2 \times (20-1)} [(Z_1 - Z_2)^2 + (Z_2 - Z_3)^2 + (Z_3 - Z_4)^2 \dots + (Z_{19} - Z_{20})^2]$ 로 되어 공분산이 계산되며 데이터의 개수가 40 개이고 데이터간의 거리가 2이면

$$\gamma(2) = \frac{1}{2 \times (40-2)} [(Z_1 - Z_3)^2 + (Z_2 - Z_4)^2 + (Z_3 - Z_5)^2 + \dots + (Z_{37} - Z_{39})^2 + (Z_{38} - Z_{40})^2]$$

가 된다. 규칙적으로 획득된 표본데이터를 이용하여 아래의 그림 2-20과 같은 semivariogram을 얻는다. 세로축은 semivariance이며, 가로축은 표본 데이터 사이의 lag, 즉 표본 사이의 데이터 거리를 의미한다. 그리고 세로축의 절편인 nugget은 반복 샘플 획득시 나타나는 오차를 의미한다. 그래프의 증가가 둔화되는 지점인 sill(C) 이후는 데이터 사이의 공분산이 존재하지 않는 것으로

파악된다. 따라서 공간상의 데이터의 변이 분포를 정확하게 표현하기 위해서는 Sill이 나타나는 지점에서 샘플링 격자의 range(a)가 결정된다. Semivariogram은 데이터사이의 보정에서도 사용되는데 데이터 보정을 위해 semivariance는 식 2-4와 같이 spherical equation으로 모델링 된다.

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_o + C \left[\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right] & (h < a) & \dots\dots\dots (2-4) \\ &= C_o + C & (h > a) & \end{aligned}$$

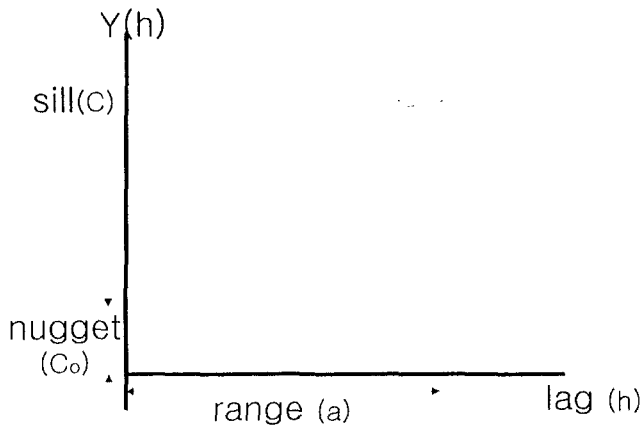


Fig. 2-20 Semivariogram

4절. 토양 유기물 함량 측정 센서 개발

정밀 농업의 국소적 처방을 위해서는 경작지 내 토양 성분 변이를 파악하는 것이 중요하다. 이 중 유기물 함량은 질소 비료의 시비량과 토양 오염도를 나타내는 기준이 될 수 있다. 그리고 유기물의 시용은 토양의 물리적 특성에 영향을 주며, 토양의 구조개선, 양분 및 수분의 보존성 증대, 경운성 향상, 온도 상승 및 미생물 활동 촉진 등의 간접적인 효과도 크기 때문에 정확히 측정할 필요가 있다(농촌진흥청, 2000). 현재 시행되는 유기물 함량 측정법은 포장 내 토양의 샘플을 채취하여 실험실 내에서 시행되고 있으며, 주로 Walkley-Black 방법을 이용하고 있다. 그러나, 이런 분석적 방법은 복잡한 분석과정으로 전문 인력이 필요하며, 분석시간이 길어서 포장내 위치별 유기물 함량 분포를 측정하기에는 적합하지 않다. 따라서 조작하기 쉽고 신속한 측정이 가능한 센서의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 근적외선 분광분석법을 이용한 토양 유기물 함량 측정 센서에 관한 연구를 수행하고, 근적외선 분광분석법을 이용한 토양 유기물 함량 측정 센서 시작기를 개발하는 것을 목표로 한다.

1. 토양 유기물

토양 유기물의 본래의 근원은 주로 식물조직으로서 자연 상태에서는 나무류, 풀 및 이끼류 등의 많은 유기물이 해마다 토양에 남게 된다.

토양 유기물의 종류에는 섬유소, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 아미노산, 지방산, 에테르, 알코올, 단백질 등이 있다. 이러한 유기물은 토양에 많은 영향을 미치고 있다. 유기물의 시용은 양분 및 미량요소 공급 등 직접적인 효과뿐만 아니라 유기물 자체의 물리적 특성에 의한 토양의 구조개선, 양분 및 수분의 보존능 증대, 경운성 향상, 온도 상승 및 미생물 활동 촉진 등의 간접적인 효과도 크다.

2. 기존의 토양 유기물 함량 측정 방법(Walkley-Black Method)

토양 유기물 함량의 측정 방법은 Walkley-Black 방법을 이며(Nelson, 1982). 측정 방법은 다음과 같으며 그림 2-21에 나타내었다. 500 μ m 체로 친 0.5g의 풍건토에 1N $K_2Cr_2O_7$ 10ml와 conc. H_2SO_4 20ml를 넣고 1분간 잘 섞어준다. 약 30분간 방치한 후 200ml의 증류수를 넣은

다음, 지시약 3~5 방울을 넣는다. 마지막으로 0.5N $FeSO_4$ 로 푸른색이 붉은색으로 변할 때까지 적정한다. 이러한 유기물 함량 측정 방법은 시료 한 개당 약 40분 이상의 많은 시간이 소요되고 있다.

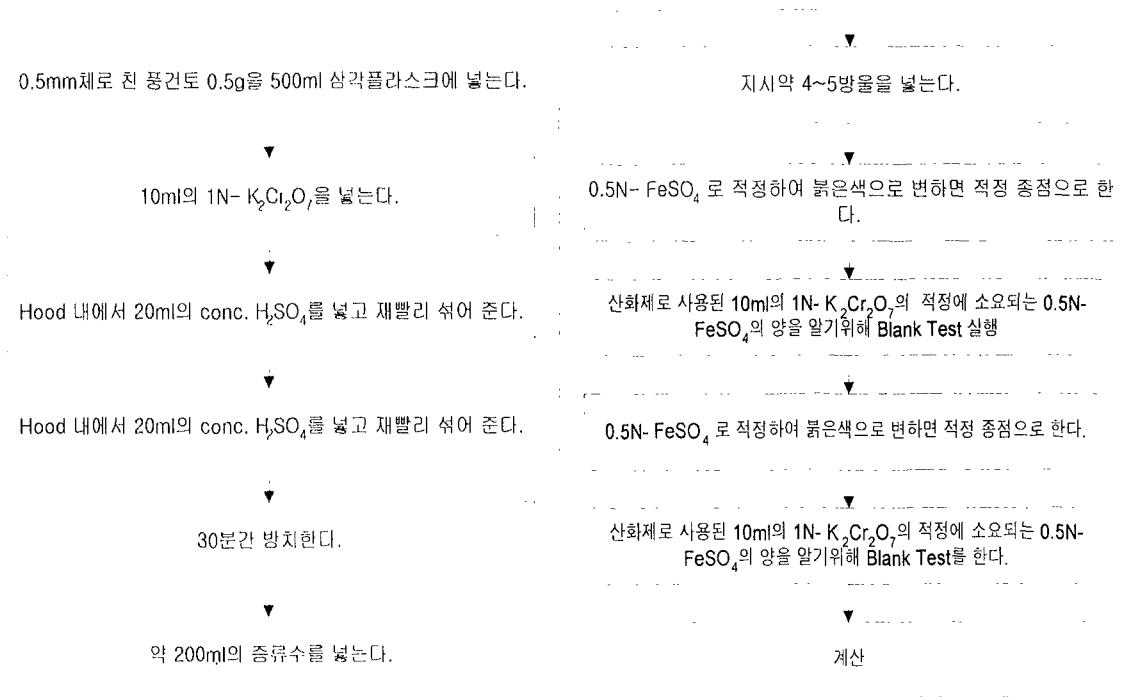


Fig. 2-21 Walkeley-Black 방식의 측정 방법

Walkeley-Black Method에 쓰이는 시료의 조제법은 다음과 같다.

- Potassium dichromate($K_2Cr_2O_7$), 1N : 49.04g의 $K_2Cr_2O_7$ 을 물에 녹인 후 1,000mL가 될 때까지 물을 붓는다.
- o-Phenanthroline-ferrous complex, 0.025M : 14.85g의 o-Phenanthroline과 6.95g의 ferrous sulfate heptahydrate($FeSO_4 \cdot H_2O$)를 물에 녹인 후 1,000mL가 될 때까지 물을 붓는다.
- Ferrous sulfate heptahydrate($FeSO_4 \cdot H_2O$)solution, 0.5N : 140g의 $FeSO_4 \cdot H_2O$ 을 물에 녹인 후 15mL의 conc sulfuric acid(H_2SO_4)를 넣고 1,000mL가 될 때까지 물을 붓는다.

3. 근적외선(700nm~2500nm) 흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 측정의 기초연구

가. 재료 및 방법

1) 토양 시료

유기물 분석에 이용한 토양 시료는 수원, 대관령, 원주 지방에서 채취하였으며, 토양 윗부분의 잔유물을 걷어낸 다음 약 10~20cm 깊이에서 채취하였다. 채취된 토양 샘플은 Walkeley-Black 방법을 이용하여 토양 유기물 함량을 분석하였으며 그 분포는 표 2-7과 같다.

Table 2-7 토양 시료와 유기물 함량

	수원(서울농대농장)	대관령 고랭지 지방	원주 지방
시료수	40	30	40
유기물 분포	0.5~3%	4~11%	2~5%

이런 샘플 토양은 실험을 위해 다음과 같이 조제되었다.

가) 토양 입자의 크기와 수분 함량의 영향을 배제한 상태에서의 유기물 함량과 토양 흡광도와와의 관계를 알아보기 위해서 건조한 토양을 500 μ m의 표준 체를 사용하여 일정한 입자크기의 시료를 조제하였다.

나) 토양 입자가 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 풍건토양을 체로 거르지 않은 것과 각각 300, 500, 850 μ m의 체로 거른 토양 등 4단계로 조제하였다.

다) 토양 중의 수분 함량이 흡광도에 미치는 영향을 분석하기 위해서 시료를 조제하였다. 토양 수분 함량의 대략적인 범위가 20~40%이므로, 입자크기가 일정한 토양의 수분을 각각 20, 30 및 40%로 조정하여 시료를 조제하였다.

2) 토양의 흡광도 측정

근적외선 분광계(Model 6500, NIRSystems Inc., USA)를 이용하여 가시광 영역과 근적외 영역인 400nm에서 2500nm까지 2nm간격으로 반사도를 측정하였으며, 이 값을 흡광도로 변환하였다. 이 때, 입자의 다짐 정도를 일정하게 유지하기 위해서 일정한 수직압을 받을 수 있도록 그림 2-24와 같이 압축용 추를 제작하여 샘플 토양을 압축하였다.

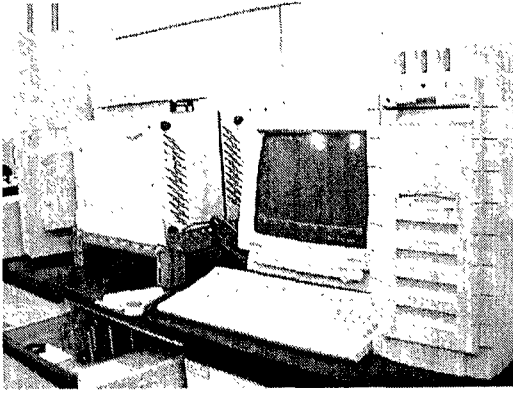


Fig. 2-22 분광 분석 장치

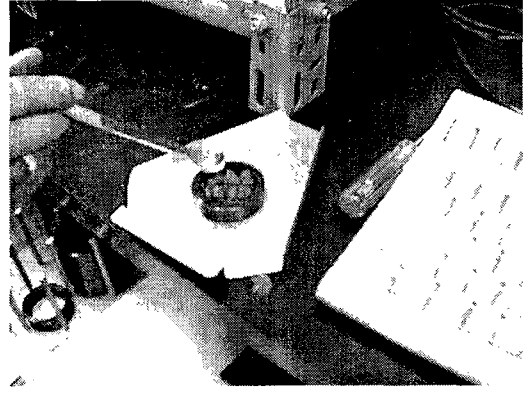


Fig. 2-23 시료를 담는 모습

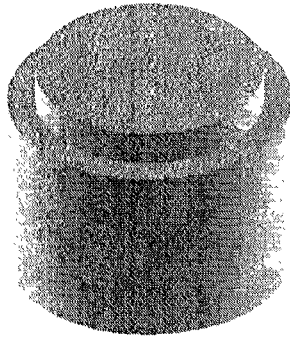


Fig. 2-24 수직압을 유지하기 위한 추

3) 데이터 처리

데이터 처리는 NIR System에서 제공하는 통계 분석 프로그램인 NIRS(Ver. 3.10)를 사용하였다. 데이터의 전처리 과정으로는 400~2500nm의 파장을 2nm 간격으로 측정된 데이터를 처리속도 향상을 위해 8nm 간격으로 데이터를 추출한 후 평활화(smoothing) 및 1차 미분, 2차 미분을 이용하여 산란 보정하였다. 이러한 전처리 과정이 끝난 후 MLR, PCR 및 PLS 분석 방법을 이용하여 주어진 데이터를 분석하였다. 그림 2-25는 분석 방법을 나타내고 있다.

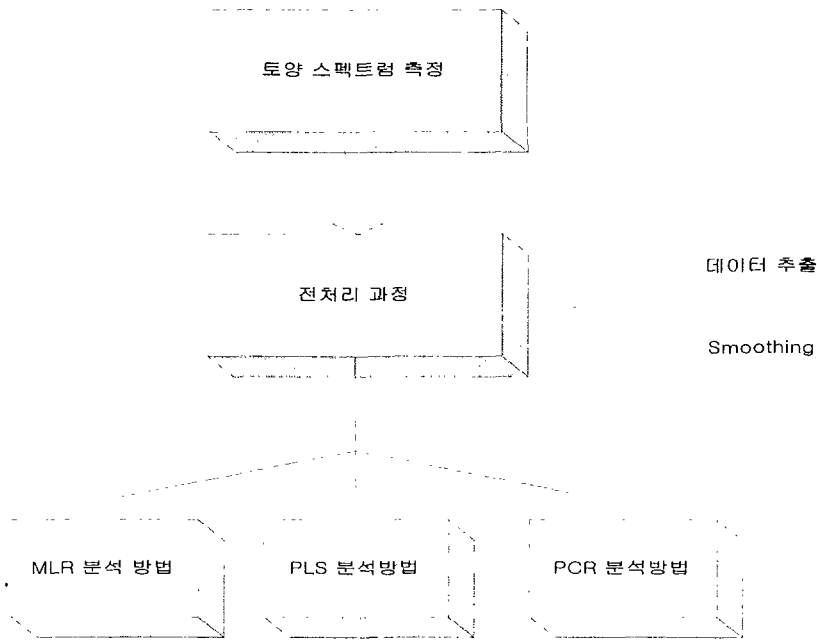


Fig. 2-25 데이터 분석 과정

나. 결과 및 고찰

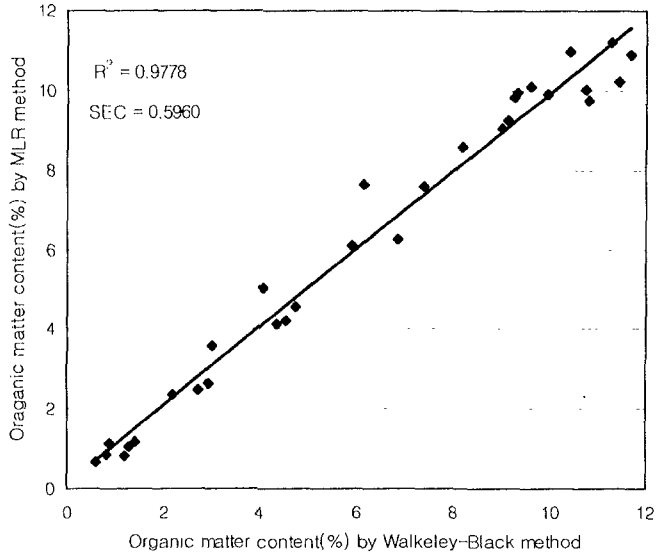
1) 입자크기가 일정한 건조 토양의 유기물 함량 예측

수분 함량과 입자 크기의 영향을 배제하기 위하여 토양을 건조시킨 후 체로 걸러 흡광도를 측정하였다. 흡광도를 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 검량식을 작성하고 이 식을 검증하였다. 이때 검량식 작성에 40개의 데이터, 검증에 39개의 데이터를 사용하였다. 검량식과 검증에 사용한 데이터는 110개의 데이터 중에서 NIRS 프로그램에 의해 랜덤으로 선택된 데이터들이다.

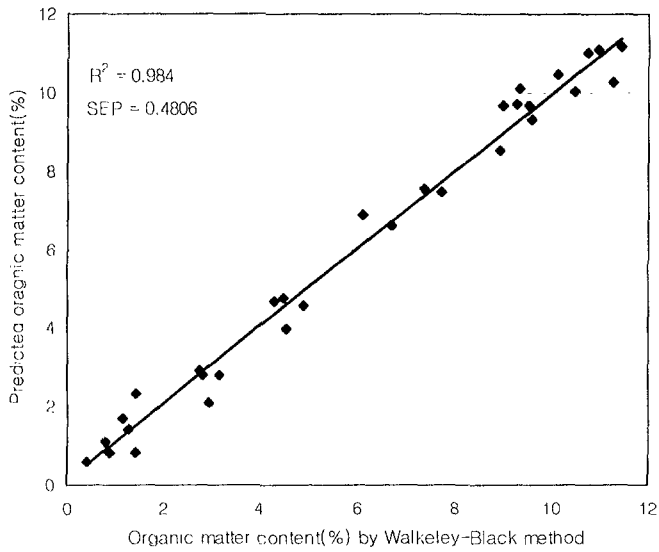
검량식을 구하기 위해 다중 회귀 분석을 사용하였으며, 회귀 분석에 사용된 파장은 노이즈가 거의 없는 2164, 2220, 2388 및 2412nm이다. 이를 이용한 유기물 함량 검량식은 식 2-5와 같다. 결과는 그림 2-26과 같으며 $R^2 = 0.984$ 와 $SEP=0.481$ 로 검증되었다.

$$\begin{aligned}
 \text{유기물 함량(\%)} = & 1.063 + 28.166 \log \frac{1}{R_{2164}} - 25.905 \log \frac{1}{R_{2220}} \dots\dots\dots (2-5) \\
 & + 58.423 \log \frac{1}{R_{2412}} - 57.357 \log \frac{1}{R_{2388}}
 \end{aligned}$$

R : 각 파장대의 반사도



(a) 예측 모델을 위한 calibration



(b) 예측 모델의 검증

Fig. 2-26 다중 회귀 모델을 이용한 건조되어지고 균질화된 토양의 유기물 함량 예측

검량식에 사용된 2164, 2220, 2388 및 2412nm의 파장은 C-O, C-H, C=O, $(CH_3)_2-C(CH_2)_3-$ C, C-C, C=C, C-H, -OH, COOH, C-N, aromatic ring(연속된 탄소가 고리를 이루고 있는

구조), 및 $C\equiv N$ 등의 결합의 공진에 의해 흡광도의 그래프에 peak가 생기는 것으로 분석된다(Williams 등, 1990). 본 실험에선 수집된 토양의 유기물 함량을 변이폭 0.4%에서 11.6%까지 $SEP=0.4806$ 으로 측정할 수 있었으며, 위의 결과로 근적외선 분석법을 이용한 토양 유기물 함량 측정이 가능하다고 판단된다.

2) 입자 크기가 다른 토양의 유기물 함량 예측

실제 포장에서 신속한 유기물 측정을 위해서는 자연상태의 토양을 직접 사용해야 한다. 이때, 토양 입자 크기가 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 동일한 토양을 건조시켜 입자 크기를 각각 300, 500 및 850 μm 의 표준 체로 거른 토양과 체로 거르지 않은 토양의 흡광도를 측정하였다. 그림 2-27은 4가지의 다른 입자크기의 같은 유기물 함량을 갖는 토양의 흡광도를 보여주고 있다. 그림에서 나타나듯이 같은 유기물 함량을 가진 토양이라도 입자의 크기에 따라 흡광도에 수직방향의 바이어스가 생김을 알 수 있다. 이러한 바이어스는 미분을 통해 제거할 수 있으며 그림 2-28은 흡광도 스펙트럼의 1차 미분 스펙트럼이다. 그림 2-29는 흡광도 스펙트럼의 2차 미분 스펙트럼이다.

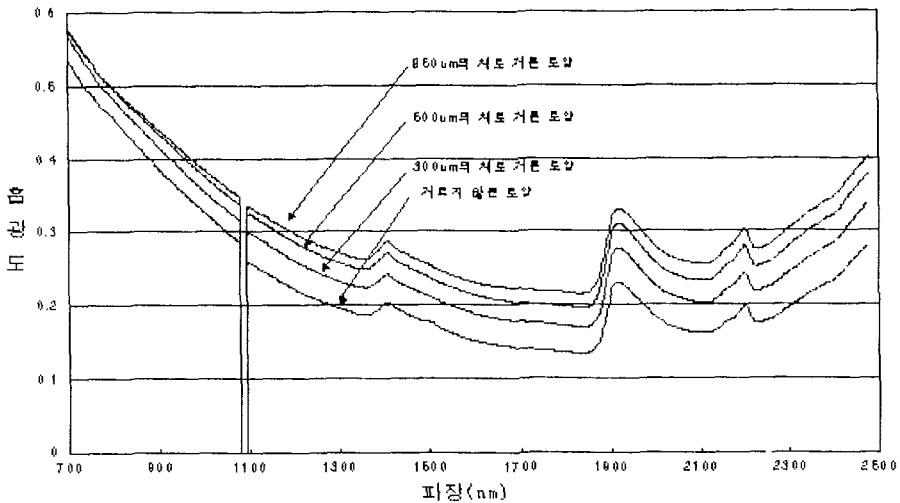


Fig. 2-27 입자가 다른 토양 시료의 근 적외선 분광 스펙트럼

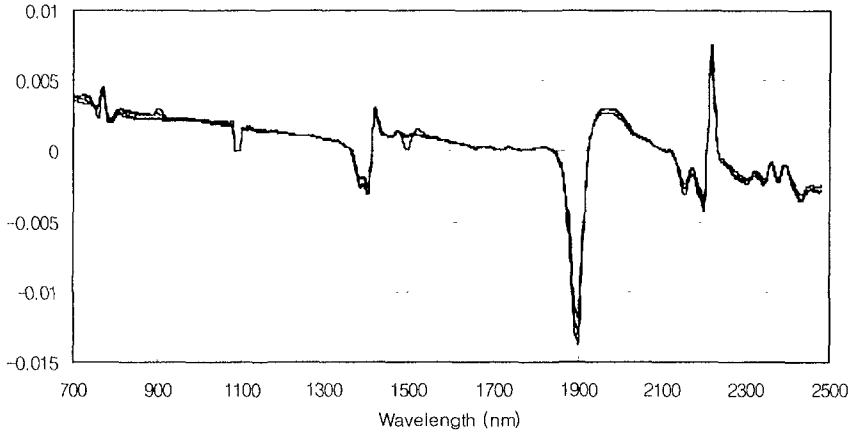


Fig. 2-28 입자가 같은 토양 시료의 근적외선 분광 스펙트럼(1차 미분)

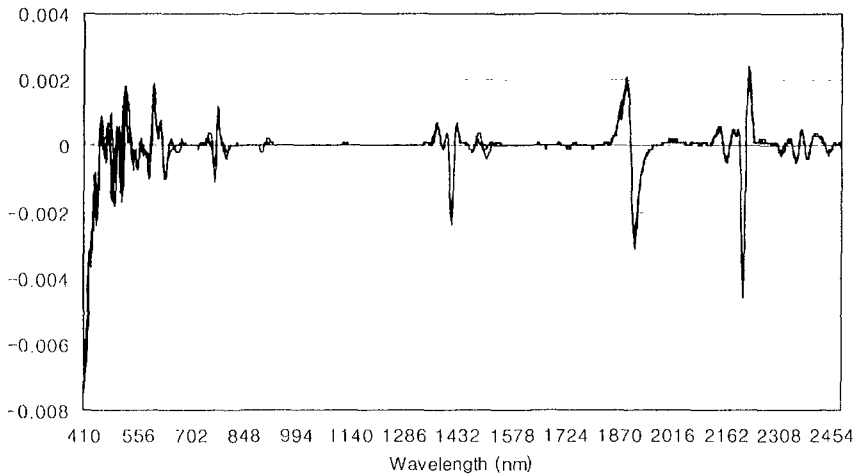
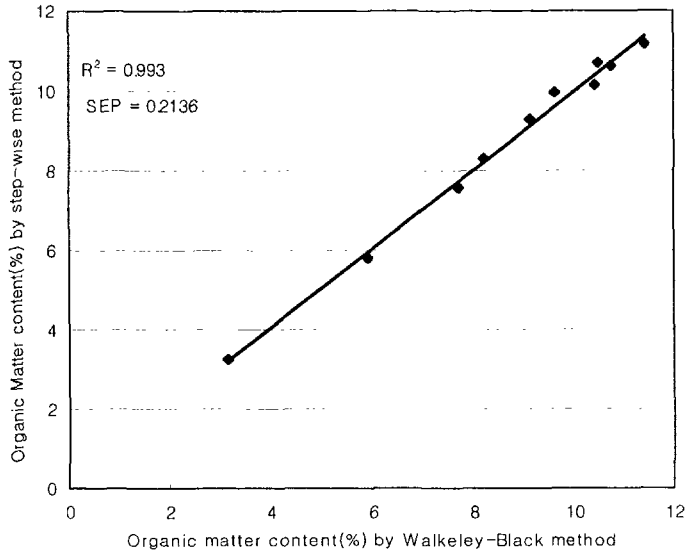


Fig. 2-29 입자가 같은 토양 시료의 근적외선 분광 스펙트럼(2차 미분)

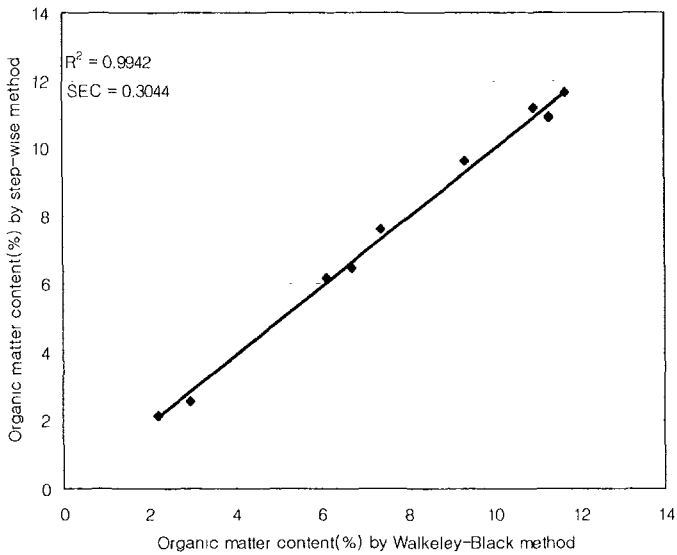
다중 회귀 분석을 이용하여 토양입자에 따른 유기물 검량식을 작성하였다. 흡광도의 1차 미분을 한 검증결과가 흡광도와 흡광도의 2차 미분의 검증결과보다 SEP 값이 감소했음을 알 수 있다. 표 2-8에서 보듯이 입자를 거르지 않은 자연 상태의 토양과 입자크기를 조절한 토양의 결과를 비교해 보면, 유기물 함량 예측에 입자 크기의 영향이 거의 없음을 알 수 있다. 따라서, 토양 입자 크기의 영향을 배제할 수 있다는 것을 확인하였다. 흡광도의 1차 미분을 사용하여 분석한 결과 사용된 파장은 888, 2356 및 2404 nm 이었으며 회귀식은 식 2-6과 같다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = 10.912 + 251.482 \log \frac{1}{R_{888}} + 156.415 \log \frac{1}{R_{22356}} - 61.429 \log \frac{1}{R_{2104}} \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

그림 2-30은 300 μm 체로 거른 토양의 유기물 함량 예측과 검증 결과이다.



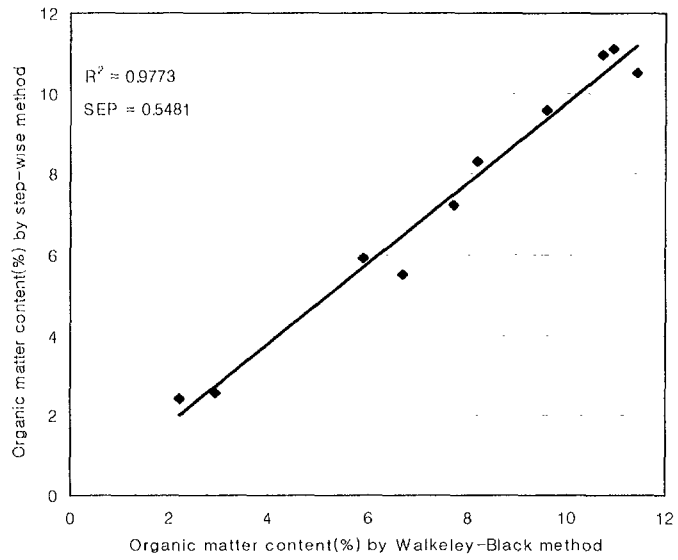
(a) 예측 모델을 위한 calibration



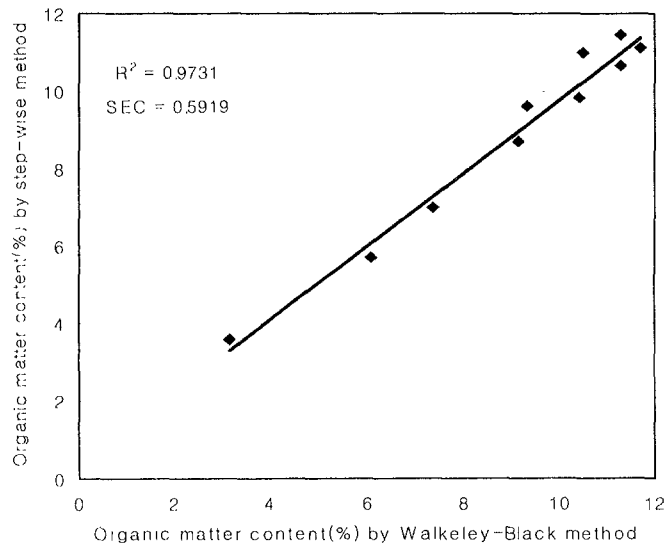
(b) 예측 모델의 검증

Fig. 2-30 300 μm 체로 거른 토양의 유기물 함량 예측

그림 2-31은 500 μ m체로 거른 토양의 유기물 함량 예측과 검증 결과이다



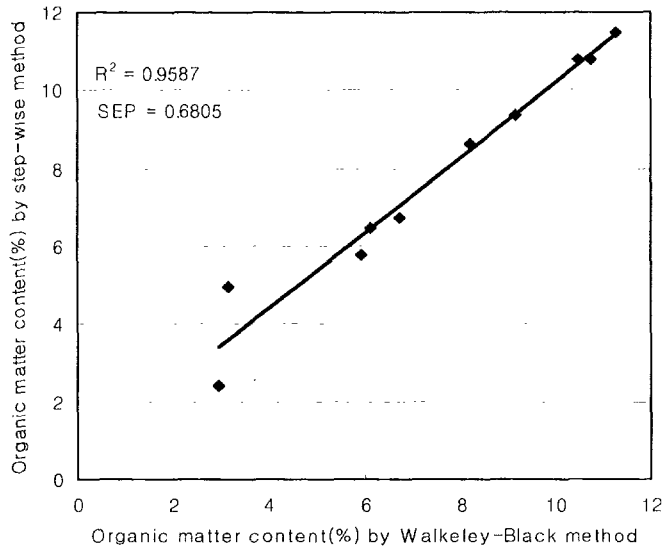
(a) 예측 모델을 위한 calibration



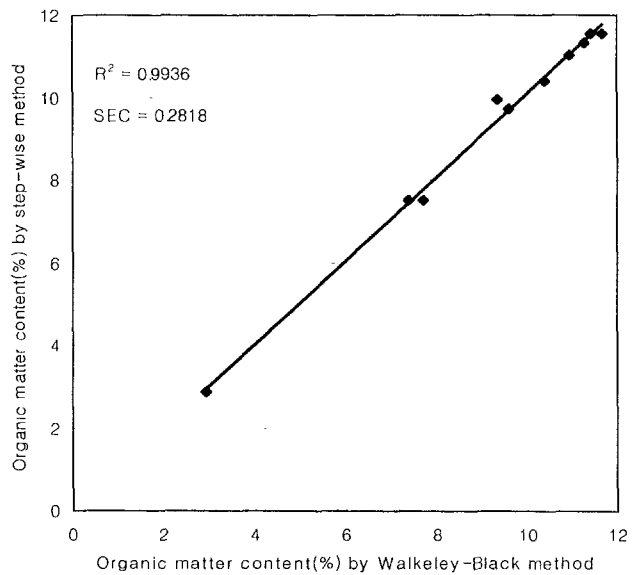
(b) 예측 모델의 검증

Fig. 2-31 500 μ m체로 거른 토양의 유기물 함량 예측

그림 2-32는 850 μm 체로 거른 토양의 유기물 함량 예측과 검증 결과이다



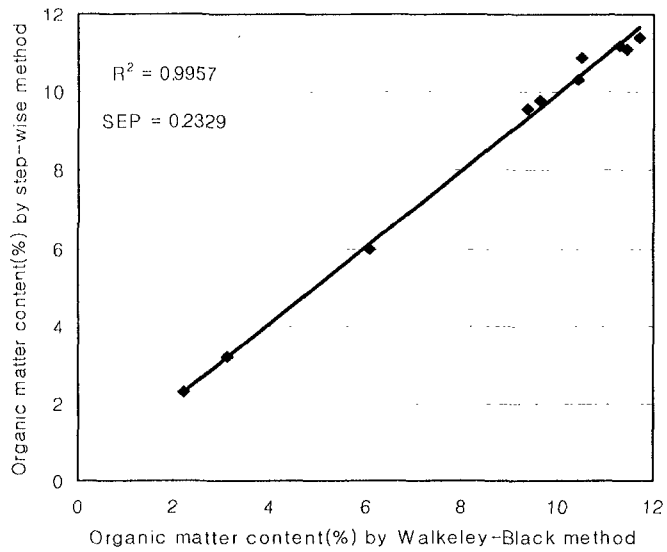
(a) 예측 모델을 위한 calibration



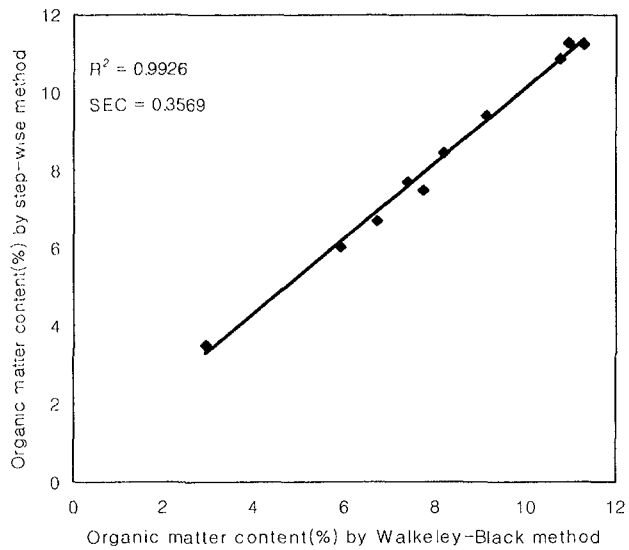
(b) 예측 모델의 검증

Fig. 2-32 850 μm 체로 거른 토양의 유기물 함량 예측

그림 2-33은 자연 상태 토양의 유기물 함량 예측과 검증 결과이다.



(a) 예측 모델을 위한 calibration



(b) 예측 모델의 검증

Fig. 2-33 자연 상태 토양의 유기물 함량 예측

Table 2-8 입자의 크기에 따른 토양 유기물 함량의 예측

	입자크기	R ²	SEC	SEP
흡 광 도	300 μm	0.9839	0.5138	0.2405
	500 μm	0.9789	0.4685	0.5750
	850 μm	0.9881	0.3478	0.5602
	거르지않음	0.9933	0.2806	0.3672
흡 광 도 의 1 차 미 분	300 μm	0.9717	0.3441	0.2136
	500 μm	0.9731	0.5919	0.5481
	850 μm	0.9936	0.2818	0.6805
	거르지않음	0.9926	0.3569	0.2329
흡 광 도 의 2 차 미 분	300 μm	0.9468	0.9221	0.4754
	500 μm	0.952	0.7665	0.4556
	850 μm	0.9698	0.5285	0.7213
	거르지않음	0.9407	0.8265	0.6758

3) 함수 토양의 유기물 함량 예측

수분 함량을 20, 30 및 40%의 3 수준으로 나눈 후 이를 합쳐서 실험에 사용하였으며 검량식 작성을 위해 20개의 데이터를 사용하였고, 검증용을 위해 19개의 데이터를 임의로 분류하여 사용하였다.

그림 2-34는 흡광도의 다중 회귀 분석결과이며 사용된 파장은 880, 968nm로서 회귀식은 식 2-7과 같다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = 9.835 + 67.466 \log \frac{1}{R_{880}} - 168.737 \log \frac{1}{R_{968}} \dots\dots\dots (2-7)$$

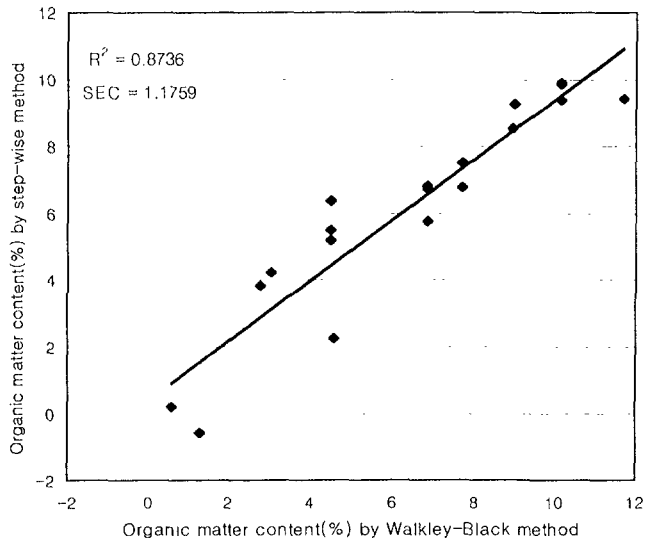


Fig. 2-34 변수 선택법을 이용한 함수 토양의 유기물 함량 예측

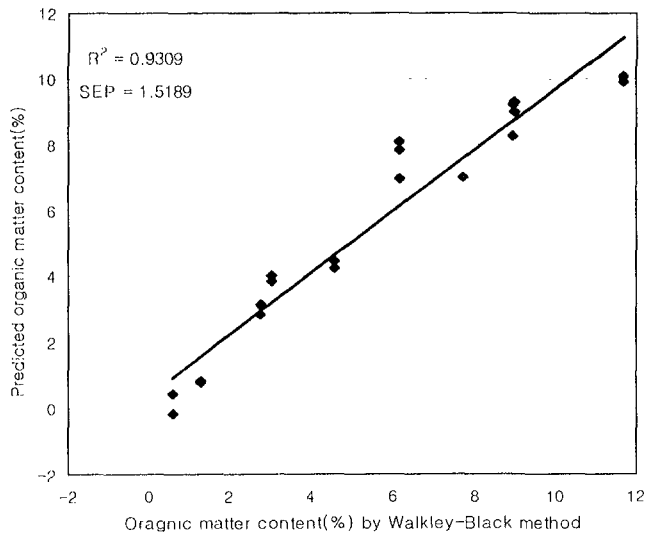


Fig. 2-35 함수 토양 스펙트럼(1차미분)과 토양 유기물 함량과의 상관관계

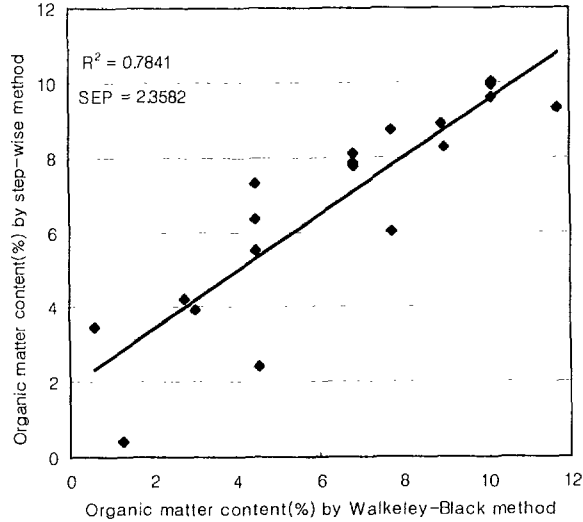


Fig. 2-36 함수 토양 스펙트럼(2차미분)과 토양 유기물 함량과의 상관관계

그림 2-35는 1차 미분한 흡광도를 step-wise 분석법을 이용하여 검량식을 작성하고 검증한 그림이다. $R^2=0.9309$, $SEP=1.5989$ 로 측정된 데이터를 검증할 수 있었다. 896nm와 1409nm의 파장을 이용하여 회귀 결과를 얻었으며, 회귀식은 식 2-8과 같다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = 31.59 + 265.16 \log \frac{1}{R_{896}} + 95.32 \log \frac{1}{R_{1409}} \dots\dots\dots (2-8)$$

그림 2-36은 2차 미분을 하여서 얻어진 결과 값이다. 1116, 904 및 2004nm의 파장을 이용하여 회귀 결과를 얻었으며, 회귀식은 식 2-9와 같다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = 0.35 + 756.31 \log \frac{1}{R_{1116}} + 1600.77 \log \frac{1}{R_{904}} + 327.22 \log \frac{1}{R_{2004}} \dots\dots (2-9)$$

또한, 전파장대에 걸쳐서 행해지는 분석법인 PCR과 PLS 분석법을 사용하여 회귀 분석을 제시도 하였다. 그림 2-37과 2-39는 그 결과를 나타낸 것이다. 그리고 그림 2-38과 2-40은 분석결과 파장별 계수를 나타낸 것이다. PLS 분석법을 사용할 경우 R^2 가 0.9454로 증가하였으며 SEP는 감소하였다. 따라서 PLS 분석법 같은 적절한 통계 기법을 이용하면 토양 수분 함량의 영향을 줄일 수 있는 것으로 판단되었다.

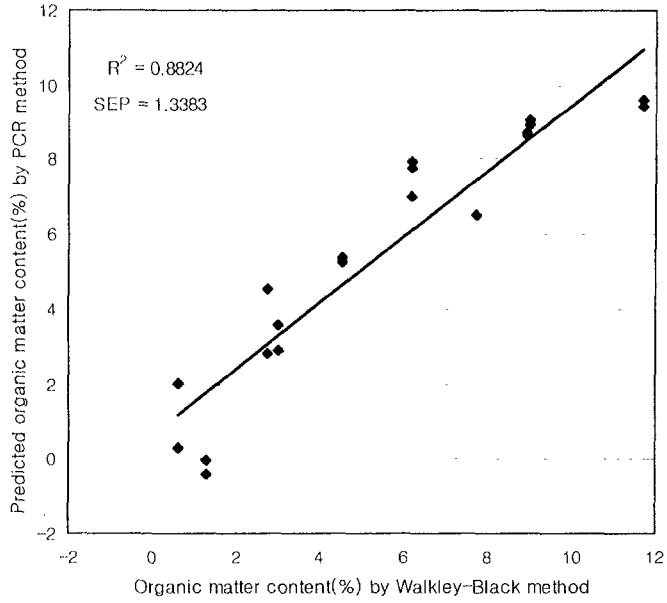


Fig. 2-37 PCR 모델링을 이용한 함수 토양의 유기물 함량 예측

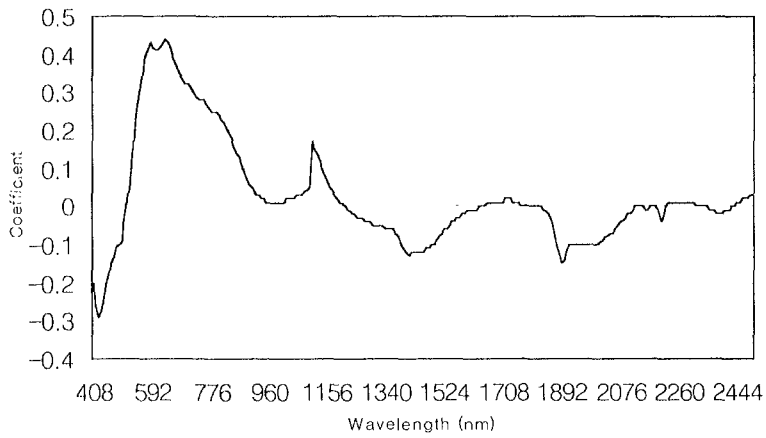


Fig. 2-38 PCR 분석법에 의한 파장별 계수값

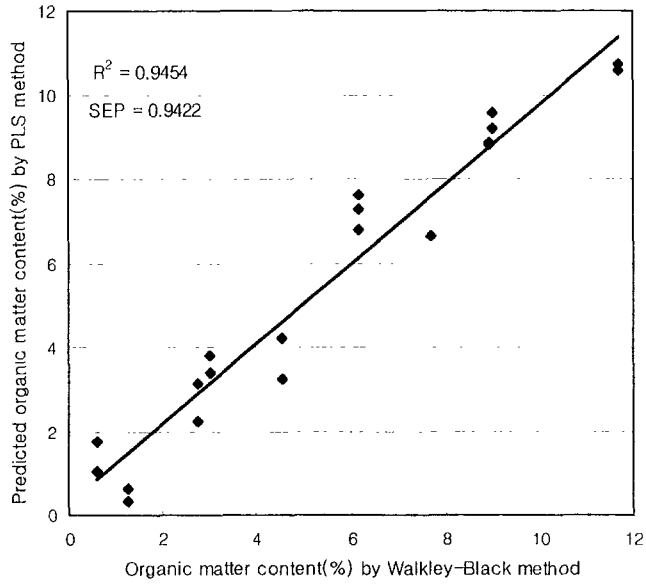


Fig. 2-39 PLS 모델링을 이용한 함수 토양의 유기물 함량의 예측

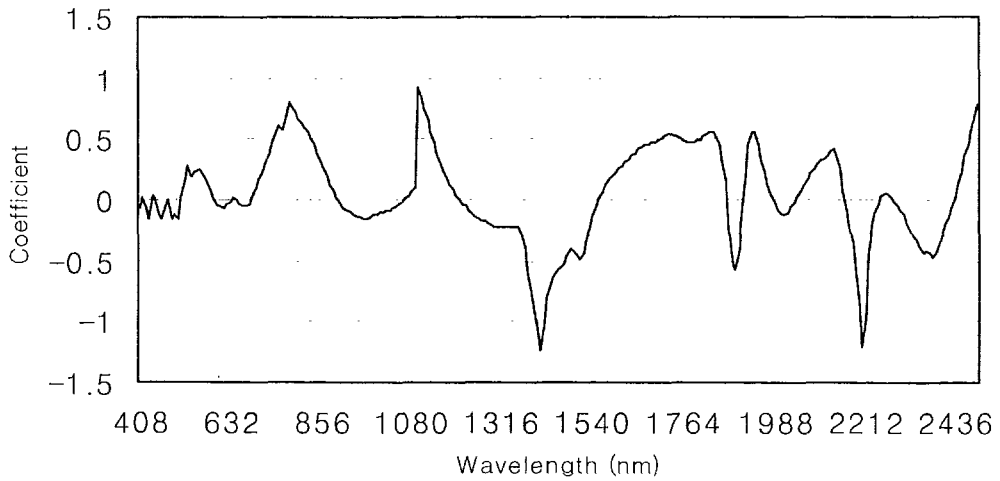


Fig. 2-40 PLS 분석법에 의한 파장별 계수값

4. 휴대용 저파장(900nm~1,700nm) 근적외선 분광 분석기를 이용한 실시간 유기물 계측 시스템 개발

가. 기초 연구

1) 실험 장치구성

토양 유기물 센서를 NIR 분광기, 광원, probe 그리고 광섬유로 구성하였다. 그림 2-41은 토양 유기물 센서 시스템 구성도이다.

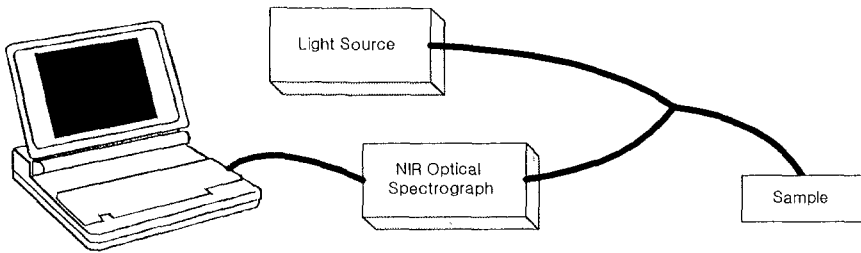


Fig. 2-41 토양 유기물 센서 시스템 구성도

NIR 분광기는 Control Development 사의 NIR Optical Spectrograph Card 제품을 사용하였으며 그림 2-42와 2-43에 분광기와 광원장치를 나타내었다. 광원으로는 35W의 할로젠 등이 내부에 장착된 Control Development사의 interface kit을 이용하였다. Interface kit는 DIO (Digital Input Output) 보드를 내장하고 있어 노트북 PC와의 데이터 전송을 할 수 있도록 구성되어 있다. NIR Spectrograph의 사양은 표 2-9에 나타내었다.

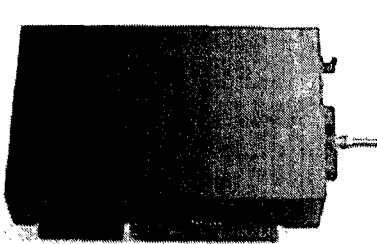


Fig. 2-42 Spectrograph의 모습

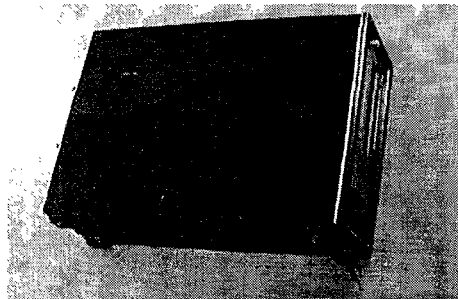


Fig. 2-43 광원 장치

Table 2-9 NIR Spectrograph의 사양

Wavelength Range	900nm~1,700nm (standard InGaAs)
Wavelength Stability	less than 0.05nm over 48 hours
Spectral Dispersion	3.125 nm/pixel (standard InGaAs) and 5.0 nm/pixel (extended InGaAs). Custom dispersions available
Spectral Bandwidth	6.0nm. Custom bandwidths available
Photometric u Repeatability	less than 50 μ AU. Variation between 100 data points, each point consists of 1000 samples (8 second accumulation)
Pixel Size	45 μ m wide; 50 μ m on center; 500 μ m pixel height.
Number of Pixels	Typ. 13 μ AU RMS (approx. 2 counts for 1024 point sample, 8 Sec accumulation, reference of 65,000 counts)
Signal to Noise	Typ. 32000: 1
Outputs	Modular Connector: Trigger, Two Strobes, Light Source Shutter Control and two Fiber Optic Switch Controls.

광원으로부터 토양 시료로, 시료로부터 NIR 분광기로 광을 전달하기 위해 그림 2-44에서 보여지는 probe와 광섬유를 사용하였다. 그림 2-45와 같이 probe holder를 제작하여 probe에 입사되는 외부 광을 차단하였다.

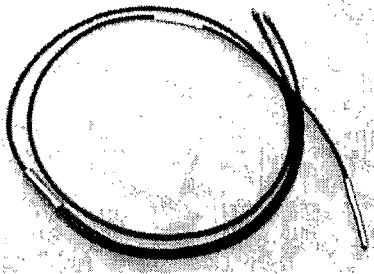


Fig. 2-44 Probe

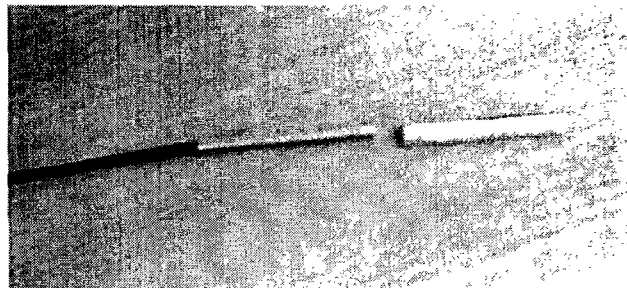


Fig. 2-45 Probe holder

2) 실험 방법

그림 2-46에서 보여지는 sampling 오거를 사용하여 서울 대학교 부속 농장과 강원도 평창 지역, 대관령 지역에서 각각 20점, 40점, 39점을 토양 표면으로부터 10cm~15cm 깊이에서 토양을 sample하였다. 구성된 시스템과 sampling 오거를 사용하여 채취한 후 토양으로부터 산란을 방지하기 위해 토양 표면을 매끄럽게 한 후, 그림 2-47과 같이 토양 반사도를 측정하였다.



Fig. 2-46 토양 샘플링 오거



Fig. 2-47 흡광도 측정 모습

Walkeley-Black 방법을 사용하여 채취된 샘플 토양의 실제 유기물 함량을 측정하였으며, 그 분포는 표 2-10과 같다.

Table 2-10 토양 시료와 유기물 함량

	수원(서울농대농장)	강원도 평창 지방	대관령 지방
시 료 수	20	40	39
유기물 분포	1.56 ~ 3.33%	2.45 ~ 3.74%	0.88 ~ 10.14%

3) 데이터 처리 및 분석

측정된 반사도는 흡광도 데이터로 변환되며, 이 흡광도 데이터를 이용하여 전처리를 하였다. 900nm ~ 1,150nm와 1,600nm ~ 1,700nm 사이의 파장은 산란이 많아, 데이터 분석에 적합하지 않다고 판단하여 제거하였다. 나머지 파장의(1,151nm ~ 1,600nm) 흡광도 값을 5nm 간격으로 추출한 후 평활화(smoothing) 및 일차미분, 이차 미분하여 산란 보정하였다. 이러한 데이터를 PLS, PCR 분석방법을 이용하여 분석하였다.

본 연구에서는 Matlab(ver 5.3, Mathwork, USA)을 이용하여 알고리즘을 개발하였으며, PCR, PLS 분석을 위해 PLS_Toolbox(ver 2.0, Eigenvector Research, USA)를 이용하였다.

4) 결과 및 고찰

토양 스펙트럼 데이터로부터 유기물 함량 예측식을 구하고 실제 유기물 함량과 비교 분석하여 유기물 함량 계측 센서를 검증하였다. 전처리 과정을 거친 데이터를 PLS, PCR 통계 분석을 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 예측과 검증을 하였다. 이때 예측을 위해 50개의 데이터, 검증에 49개의 데이터를 사용하였다. 예측과 검증에 사용된 데이터들은 Matlab의 랜덤 함수를 이용하여 랜덤으로 선택된 데이터들이다. 그리고 주성분 분석의 경우, 인자의 선택에 따라 개발된 모델의 예측 오차가 크게 달라지므로, 최적인자의 선택은 중요하다. 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용하는 방법으로 최소 PRESS값을 보이는 인자를 선정하는 최소 PRESS법을 사용하였다.

그림 2-48은 전처리 과정을 거친 토양 흡광도 스펙트럼 그래프이다. 이 흡광도 데이터와 최적인자 7을 이용하여 PLS 통계방법으로 분석한 결과는 그림 2-49의 (a)에 나타내었다. *는 예측 데이터의 유기물 함량 예측값을 나타내며, o는 검증 데이터의 유기물 함량 예측값을 나타내고 있다. 예측 데이터의 분석 결과 $R^2=0.92$, $SEC=0.79$ 이며, 검증 데이터의 분석 결과는 $R^2=0.87$, $SEP=0.92$ 이었다. 그리고 흡광도 데이터와 최적인자 12를 이용하여 PCR 통계방법으로 분석한 결과는 그림 2-49의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터는 $R^2=0.91$, $SEC=0.74$ 로 분석하였으며, 검증 데이터는 $R^2=0.88$, $SEP=0.95$ 이었다.

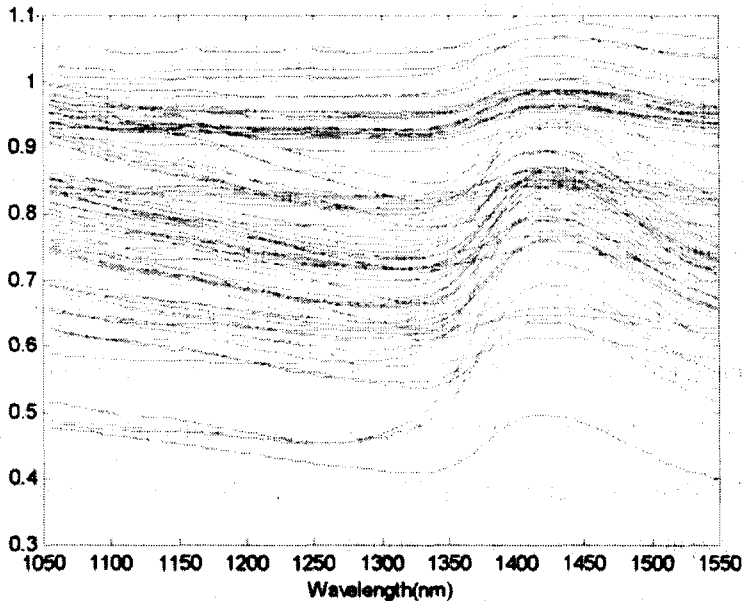
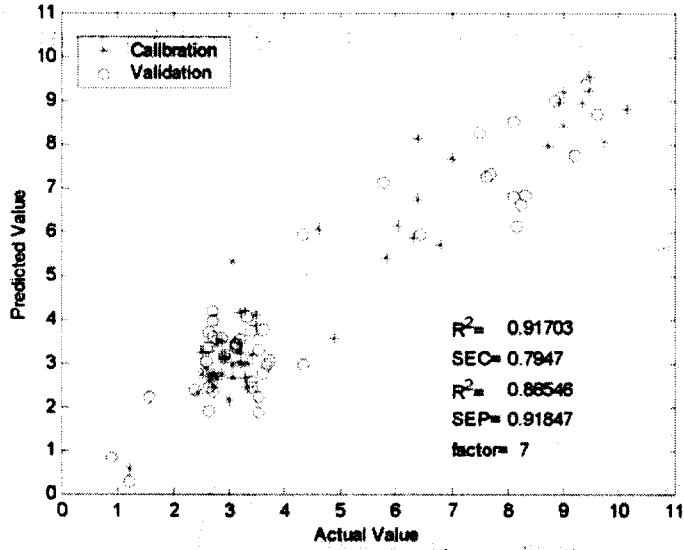
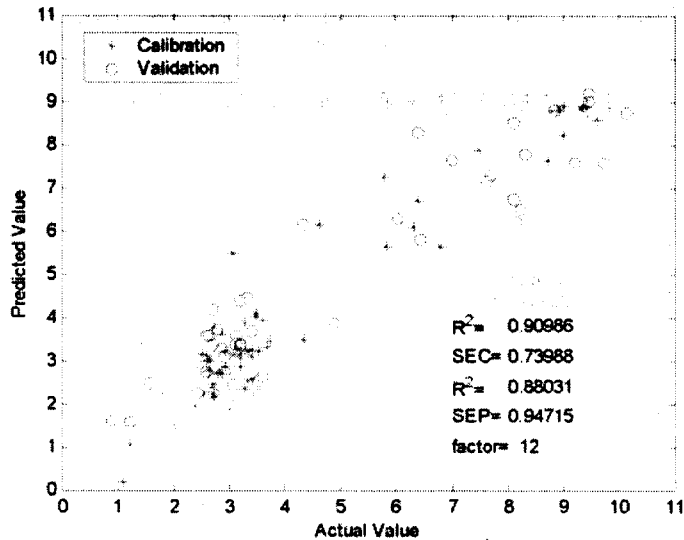


Fig. 2-48 토양 흡광도 스펙트럼 그래프



(a) PLS 분석 방법 이용



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-49 흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

그림 2-50은 흡광도 스펙트럼 데이터를 1차 미분한 그래프이다. 이 1차 미분된 데이터와 최적인자 3을 이용하여 PLS 통계방법으로 분석한 결과는 그림 2-51의 (a)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.85$, $SEC=0.93$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.84$, $SEP=1.06$ 이었다. 그리고 1차 미

분된 데이터와 최적인자 18을 이용하여 PCR 통계방법으로 분석된 결과는 그림 2-51의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.91$, $SEC=0.79$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.81$, $SEP=1.44$ 이었다.

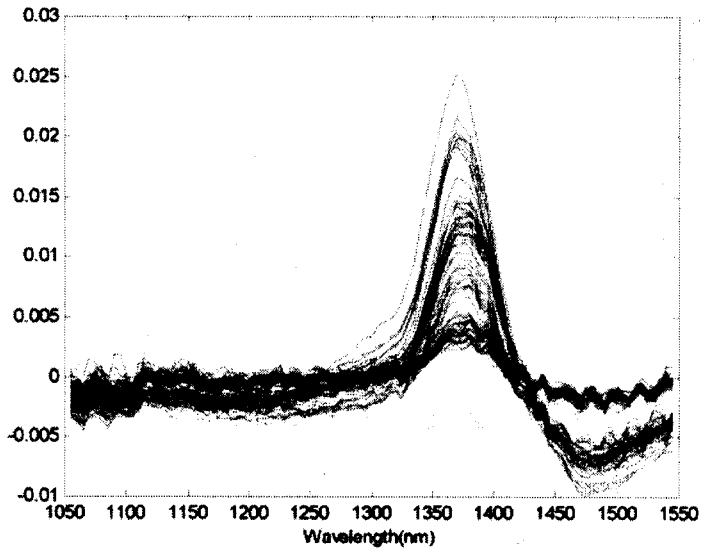
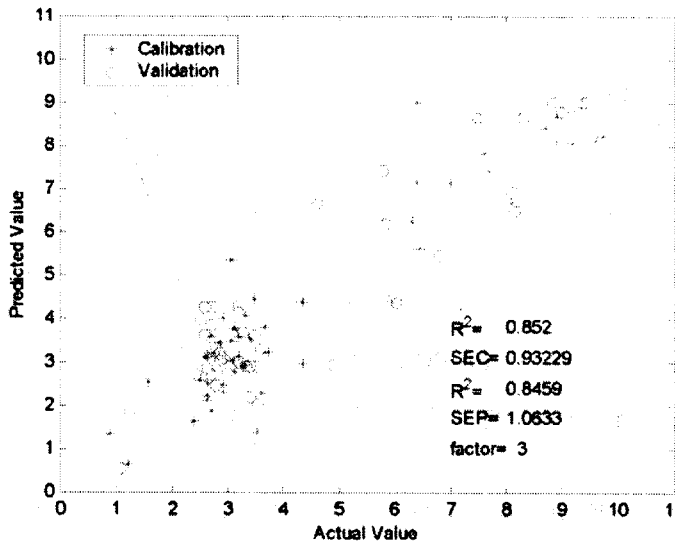
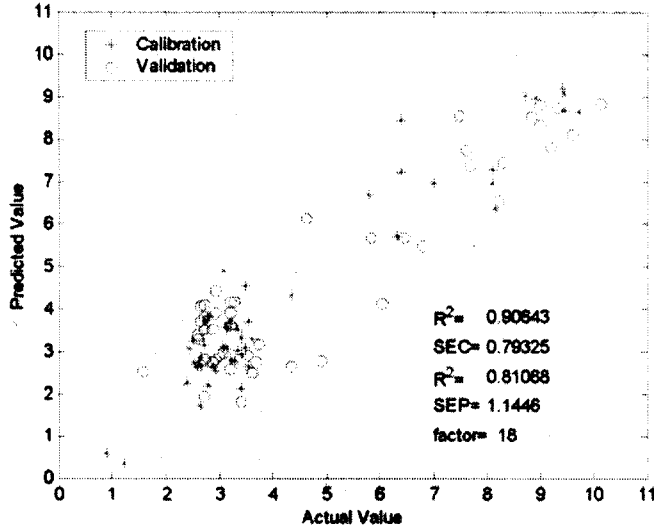


Fig. 2-50 토양 흡광도의 1차 미분 그래프



(a) PLS 분석 방법 이용



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-51 1차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

그림 2-52는 흡광도 스펙트럼 데이터를 2차 미분한 그래프이다. 이 2차 미분된 데이터와 최적인자 5를 이용하여 PLS 통계방법으로 분석된 결과는 그림 2-53의 (a)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.84$, $SEC=1.08$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.83$, $SEP=1.05$ 이었다. 2차 미분된 데이터와 최적인자 18을 이용하여 PCR 방법으로 분석된 결과는 그림 2-53의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.80$, $SEC=1.21$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.80$, $SEP=1.10$ 이었다.

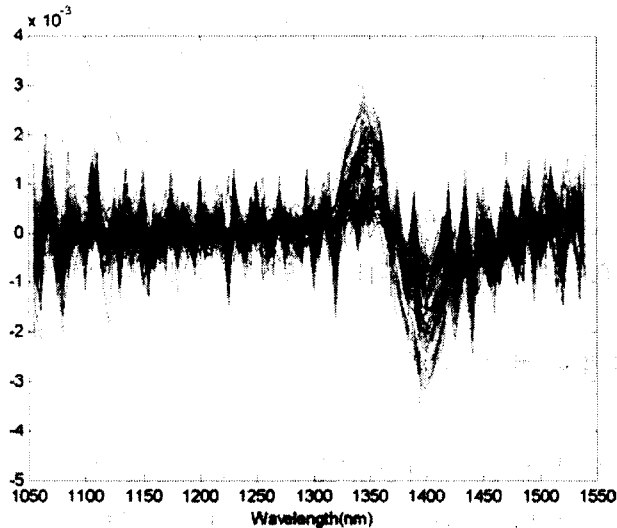
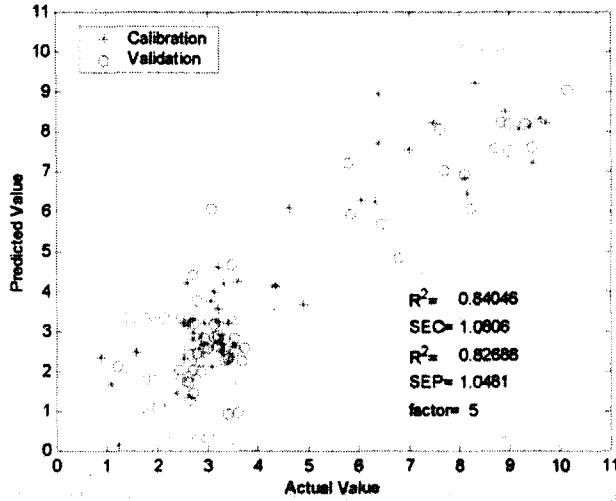
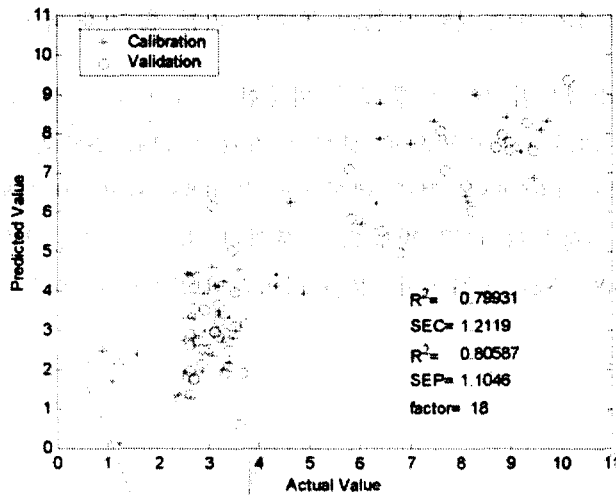


Fig. 2-52 토양 흡광도의 2차 미분 그래프



(a) PLS 분석 방법 이용



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-53 2차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

나. 실시간 토양 유기물 센서 개발

1) 장치 구성

저과장 영역의 근적외선 분광분석기를 이용한 토양 유기물 함량과의 상관관계 분석은 실시간 토양 유기물 함량 측정의 가능성을 보여주고 있다. 그러므로 기초 연구에서 구성된 센서를 기초로 하여 실시간 토양 유기물 함량 측정 센서를 개발하는 것을 목표로 한다.

따라서, 실시간 계측을 probe holder를 그림 2-54와 같이 구성하여 제작하였다. 광은 토양과의 접촉을 피하기 위해 토양으로부터 3cm 높이에서 측정하도록 설계하였다.

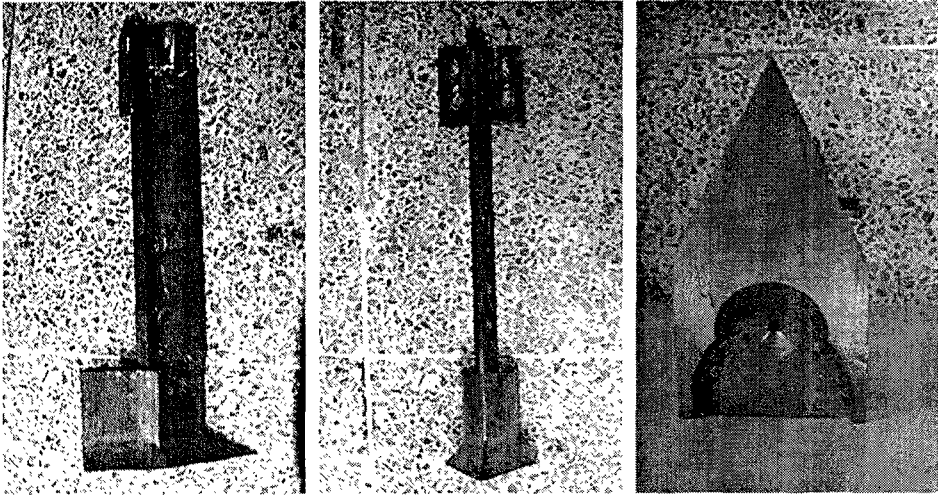


Fig. 2-54 실시간 계측을 위한 probe sample holder의 전체적인 모양

유기물 센서 홀더는 그림 2-55와 같이 이동용 차량에 부착하여, 토양 표면으로부터 15cm 깊이에서 토양 스펙트럼을 측정할 수 있도록 부착하였다.

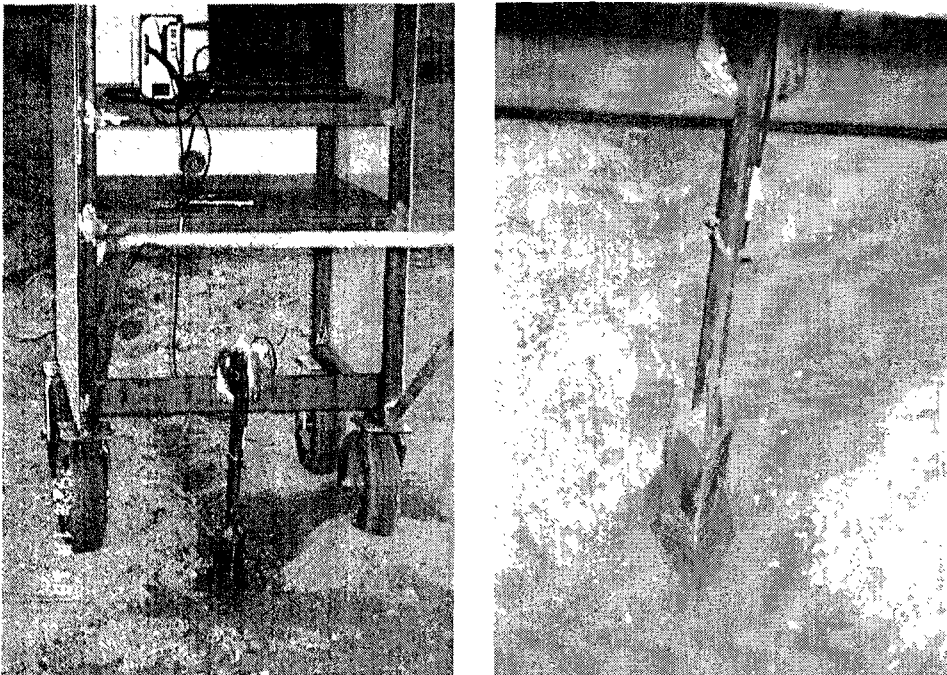


Fig. 2-55 실시간 유기물 센서의 시작기 모습

2) 실험 방법

서울 대학교 부속 농장과 대관령 지역에서 각각 55개, 58개의 토양 반사도를 측정하고 토양 샘플을 채취하였다. Penetrator 형태의 유기물 센서는 그림 2-56과 같이 측정 위치에 멈추어 스펙트럼을 측정하였다. 그리고 토양의 반사도를 측정하면 그곳의 토양을 채취하였으며, Walkley-Black Method를 사용하여 실제 유기물 함량을 측정하였다. 표 2-11은 토양의 유기물 분포를 나타내고 있다.

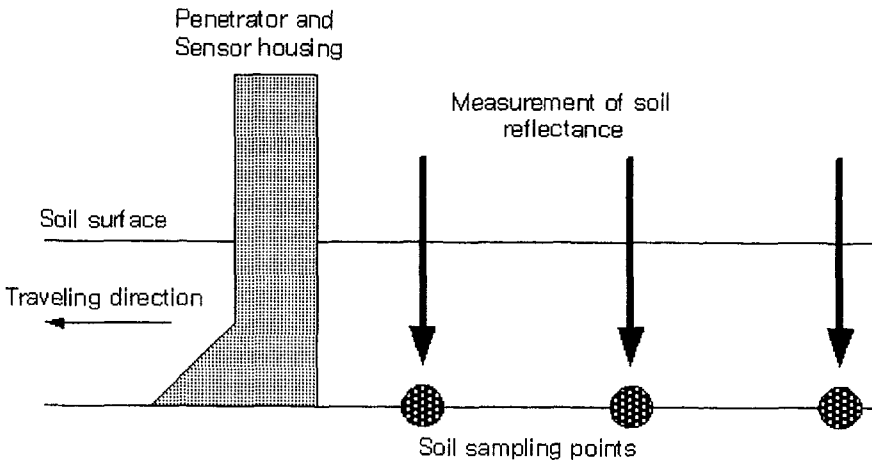


Fig. 2-56 토양 반사도 측정과 토양 샘플링 방법

Table 2-11 토양 시료와 유기물 함량

	수원(서울농대농장)	대관령 지방1	대관령 지방2
시료 수	55	9	49
유기물 분포	1.97~3.33%	0.07~0.75%	4.22~7.96%

3) 데이터 처리

측정된 반사도는 흡광도 데이터로 변환되며, 이 흡광도 데이터를 이용하여 전처리를 하였다. 900nm~1,150nm와 1,600nm~1,700nm 사이의 파장은 산란이 많아, 데이터 분석에 적합하지 않다고 판단하여 제거하였다. 나머지 파장의(1,151nm~1,600nm) 흡광도 값을 5nm 간격으로 추출한 후 평활화(smoothing) 및 일차미분, 이차미분하여 산란 보정하였다. 이러한 데이터를 PLS, PCR 분석방법을 이용하여 분석하였다.

본 연구에서는 Matlab(ver 5.3, Mathwork, USA)을 이용하여 알고리즘을 개발하였으며, PCR, PLS 분석을 위해 PLS_Toolbox(ver 2.0, Eigenvector Research, USA)를 이용하였다.

4) 결과 및 고찰

토양 스펙트럼 데이터로부터 유기물 함량 예측식을 구하고 실제 유기물 함량과 비교 분석하여 유기물 함량 계측 센서를 검증하였다. 전처리 과정을 거친 데이터를 PLS, PCR 통계 분석을 이용하여 토양 유기물 함량에 대한 예측과 검증을 하였다. 이때 예측을 위해 63개의 데이터, 검증에 50개의 데이터를 사용하였다. 예측과 검증에 사용된 데이터들은 Matlab의 랜덤 함수를 이용하여 임의로 선택하였으며, PLS_Toolbox의 PRESS 함수를 이용하여 최소 PRESS값을 보이는 최적인자를 선정하였다.

그림 2-57은 측정된 반사도를 흡광도로 변환하고, 전처리과정을 거친 흡광도 그래프이다. 이 흡광도 데이터와 최적인자 7을 이용하여 PLS 통계방법으로 분석한 결과는 그림 46의 (a)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.88$, $SEC=0.72$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.82$, $SEP=0.82$ 이었다. 그리고 흡광도 데이터와 최적인자 18을 이용하여 PCR 통계방법으로 분석한 결과는 그림 46의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.87$, $SEC=0.71$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.75$, $SEP=0.97$ 이었다.

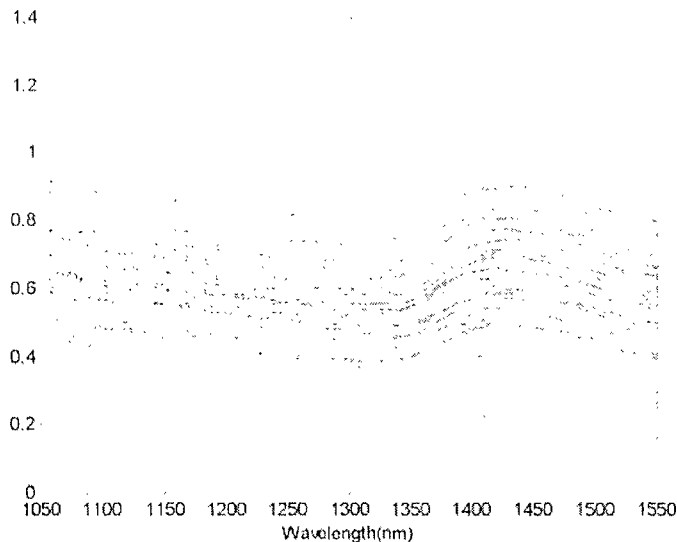
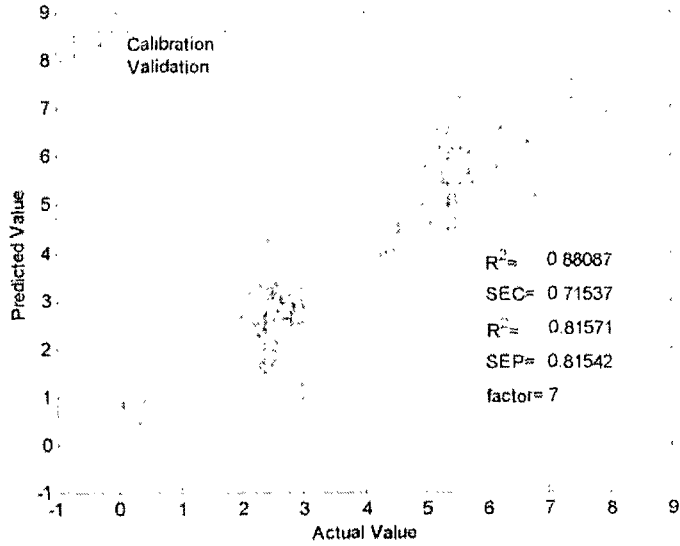
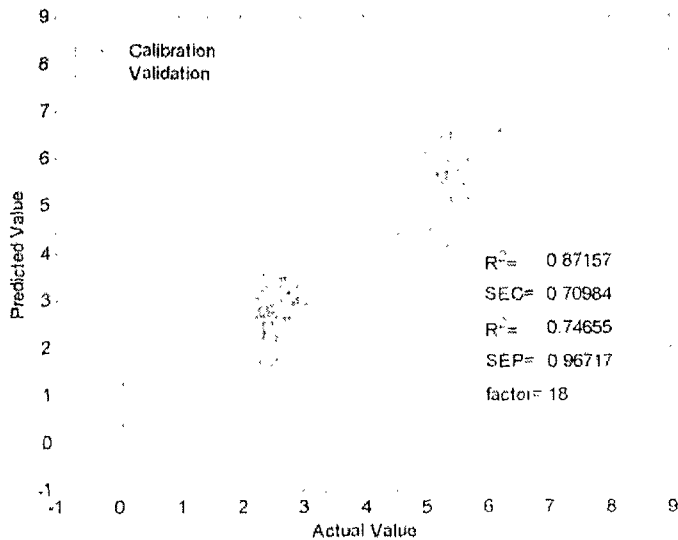


Fig. 2-57 토양 흡광도 스펙트럼 그래프



(a) PLS 분석 방법



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-58 흡광도를 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

그림 2-59는 흡광도 스펙트럼 데이터를 1차 미분한 그래프이다. 이 1차 미분된 데이터와 최적인자 5를 이용하여 PLS 통계방법으로 분석한 결과는 그림 2-60의 (a)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.86$, $SEC=0.77$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.76$, $SEP=0.93$ 이었다. 그리고 1차

미분된 데이터와 최적인자 18을 이용하여 PCR 통계방법으로 분석된 결과는 그림 2-60의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.84$, $SEC=0.72$ 이며, 검증 데이터의 $R^2= 0.78$, $SEP=0.98$ 이었다.

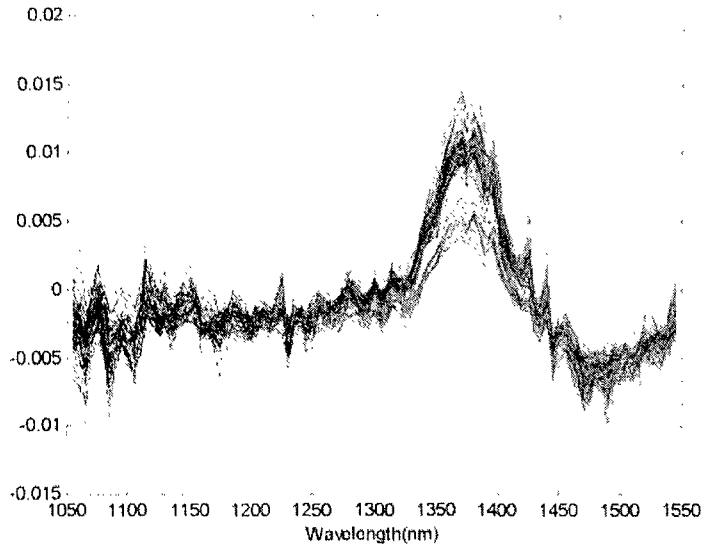
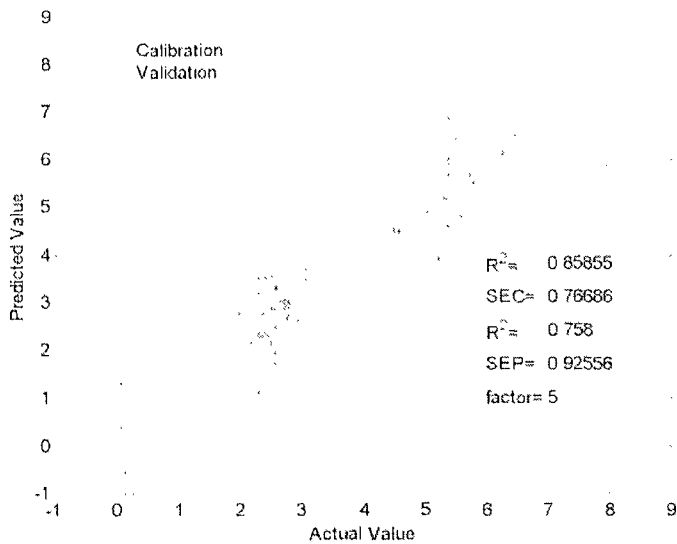
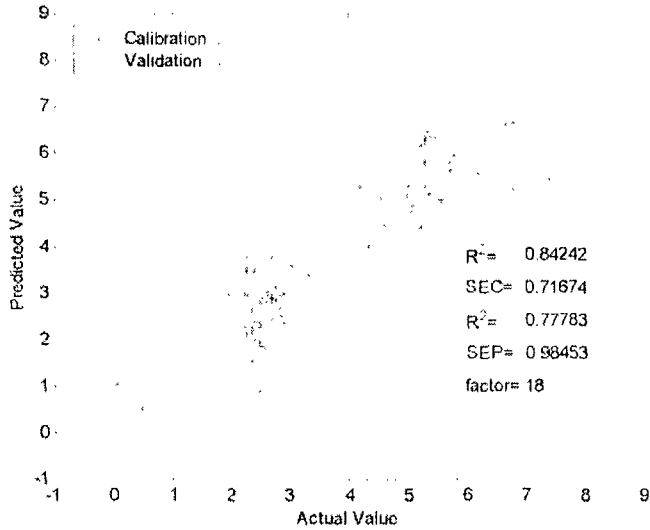


Fig. 2-59 토양 흡광도의 1차 미분 그래프



(a) PLS 분석 방법 이용



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-60 1차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

그림 2-61은 흡광도 스펙트럼 데이터를 2차 미분한 그래프이다. 이 2차 미분된 데이터와 최적인자 13을 이용하여 PLS 통계방법으로 분석된 결과는 그림 2-62의 (a)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.98$, $SEC=0.30$ 이며, 검증 데이터의 $R^2=0.73$, $SEP=1.10$ 이었다. 2차 미분된 데이터와 최적인자 20을 이용하여 PCR 방법으로 분석된 결과는 그림 2-62의 (b)에 나타내었다. 예측 데이터의 $R^2=0.78$, $SEC=0.94$ 이며, 검증 데이터의 $R^2 = 0.64$, $SEP=1.24$ 이었다.

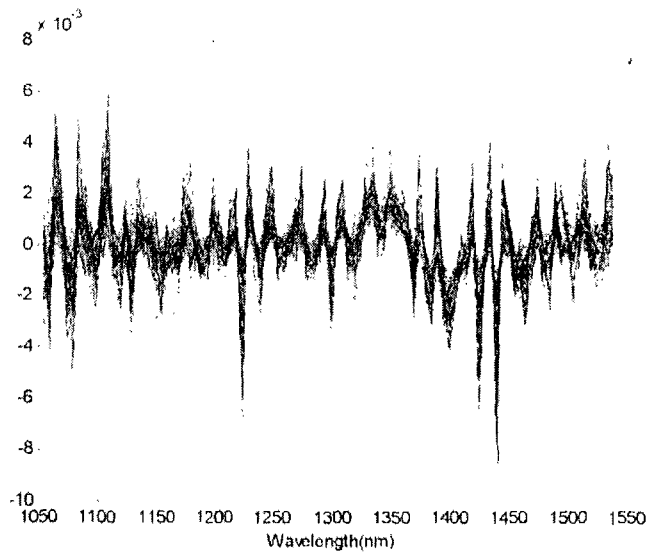
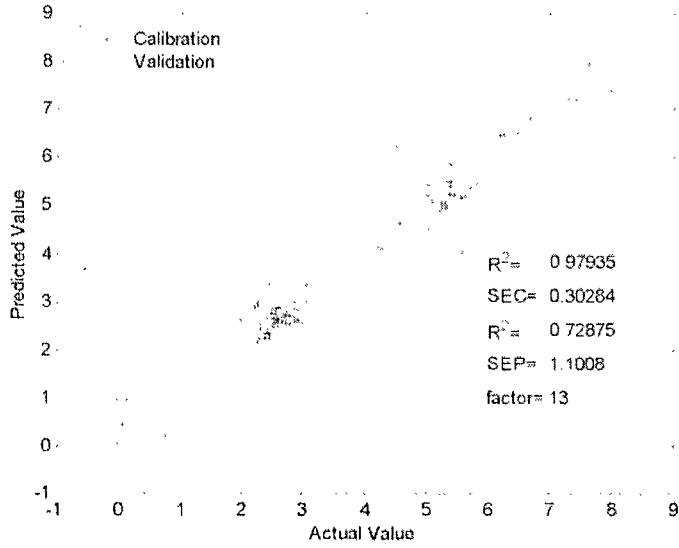
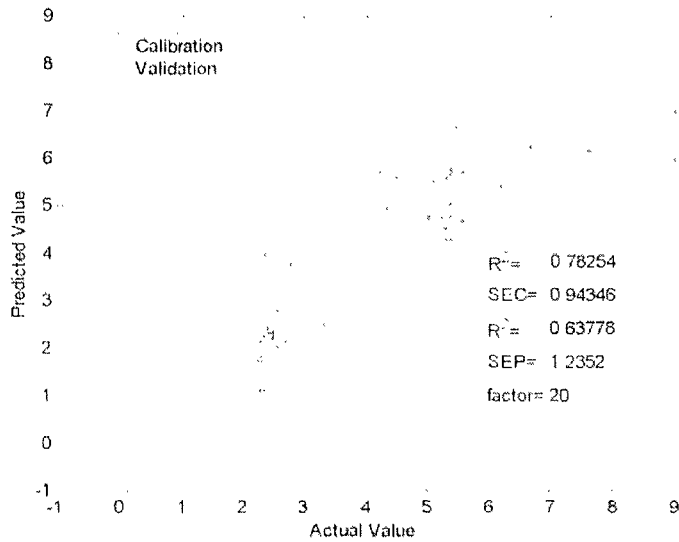


Fig. 2-61 토양 흡광도의 2차 미분 그래프



(a) PLS 분석 방법 이용



(b) PCR 분석 방법 이용

Fig. 2-62 2차 미분값을 이용한 토양 유기물 함량 예측과 검증

다. 실시간 토양 유기물 함량 측정 알고리즘 개발

근적외선 반사도와 토양 유기물 함량과의 상관관계 분석 결과 흡광도 PLS 분석 결과가 $R^2=0.87$, $SEP=0.92$ 로 가장 좋은 결과를 보였다. 일차미분과 이차 미분의 분석 결과는 R^2 가

0.80 이상으로 좋은 상관관계를 보였으나, SEP가 흡광도의 분석 결과보다 증가하였다. 그래서 흡광도 PLS 분석 결과 계산된 파장을 토양 유기물 함량 측정에 사용하기로 한다. 그림 2-63은 분석결과 파장별 계수를 나타내고 있다.

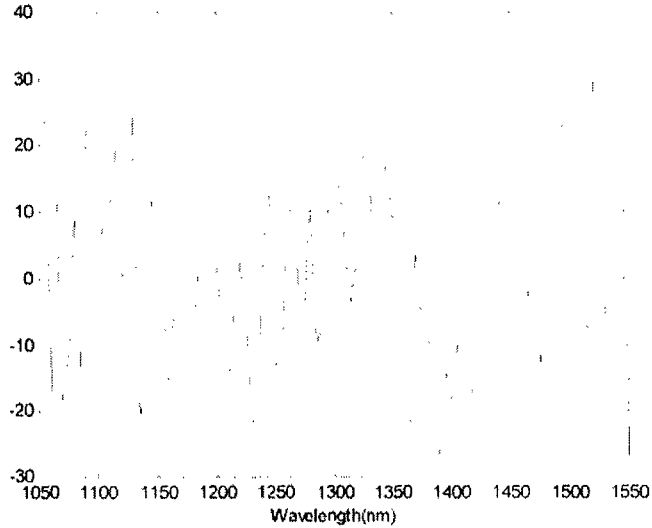


Fig. 2-63 흡광도 PLS 분석의 파장별 계수

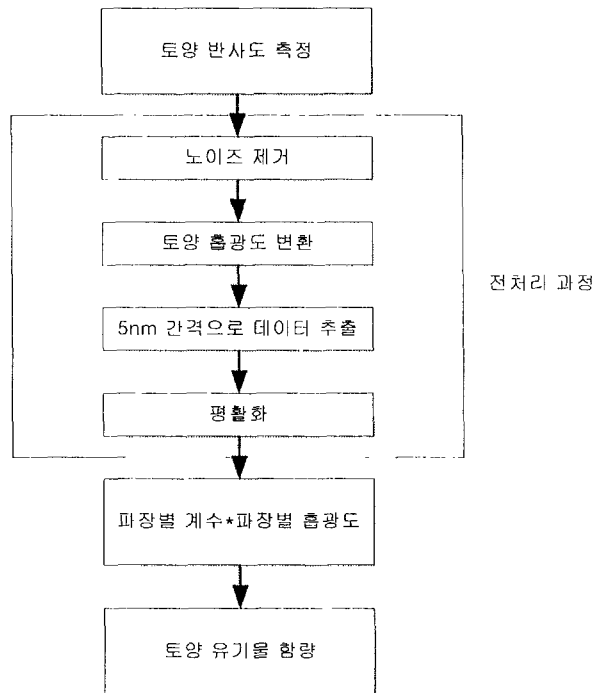


Fig. 2-64 토양 유기물 함량 예측 알고리즘

토양 유기물 함량 측정 알고리즘은 그림 2-64와 같다. 토양 반사도를 측정하여 전처리 과정을 거친다. 전처리 과정은 실시간 토양 유기물 센서 개발에서 했던 전처리 과정과 같다. 전처리 과정이 끝나면 각 파장별 계수와 파장별 흡광도와 곱하여 전체를 합하여 토양 유기물 함량을 계측할 수 있다.

5. 요약 및 결론

700nm~2,500nm의 근적외선 분광분석기를 이용하여 토양 유기물 측정 가능성을 연구하였다. 건조한 토양의 NIR 흡광도를 회귀 분석한 결과는 $R^2=0.984$ 이었고, 그때의 SEC와 SEP는 각각 0.5960, 0.4806이다. 또한 토양의 입자크기에 대한 영향을 평가하기 위해 300 μ m, 500 μ m, 850 μ m 크기의 체를 이용하여 거른 토양과 그리고 거르지 않는 토양 시료를 같이 분석을 하였다. 흡광도는 입자 크기에 따라 수직방향의 바이어스가 발생하였으며, 이는 1차 미분을 통하여 제거할 수 있었다. 또한 표 2-8에서 보는 바와 같이 입자 크기에 관계없이 토양 유기물 함량을 예측할 수 있었다. 반면에, 서로 다른 함수율을 갖는 토양의 NIR 흡광도를 이용하여 유기물 함량을 예측할 경우 상대적으로 상관계수 값이 낮았지만, 흡광도를 1차 미분을 할 경우 $R^2=0.93$ 까지의 검증 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 유의한 파장대만을 선정하여 분석하지 않고 전파장대에 걸쳐서 분석이 행해지는 PLS법을 이용하여 검증 결과를 $R^2=0.95$ 까지 향상시킬 수 있었다. 이는 실제 포장의 토양을 건조시키거나 입자 크기를 조절하지 않고서도 유기물 함량을 계측할 수 있다는 가능성을 보여준다.

900nm~1,700nm 영역의 포터블 근적외선 분광기를 사용하여 토양 유기물 함량과 측정된 반사도와의 상관관계를 분석하였다. 흡광도를 이용한 분석 결과 $R^2=0.87$, SEP=0.92로 유기물 함량 측정 가능성을 보여주고 있다.

이를 바탕으로 900nm~1,700nm 영역의 포터블 근적외선 분광기를 사용하여 실시간 유기물 함량 계측 시스템을 구성하였다. 구성된 실시간 유기물 함량 계측 시스템을 이용하여 토양 반사도를 측정하였으며, 토양 유기물 함량과의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과는 표 12와 같다. 흡광도 PLS 분석은 $R^2=0.82$, SEP=0.82로 가장 좋은 결과를 보였으며, 이 결과를 이용하여 토양 유기물 함량 계측 알고리즘을 개발하였다. 개발된 토양 유기물 함량 계측 시스템은 토양의 속성 정보인 토양 유기물 함량을 측정함으로써 정밀 시비처방을 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

Table 2-12 토양 유기물 함량 계측 센서 예측과 검증 결과

		Calibration		Validation	
		R ²	SEC	R ²	SEP
흡 광 도	PLS	0.88	0.72	0.82	0.82
	PCR	0.87	0.71	0.75	0.97
일차미분	PLS	0.86	0.77	0.76	0.93
	PCR	0.84	0.72	0.78	0.98
이차미분	PLS	0.98	0.30	0.73	1.10
	PCR	0.78	0.94	0.63	1.24

5절. 생육상태 계측 알고리즘 개발

무의 생리 장애, 근중, 근경, 최대 근경, 잎 면적 등은 작물의 생육 상태와 밀접한 관련이 있다. 그러므로 이러한 정보를 계측함으로써 작물의 생육 상태를 알 수 있으며, 작물의 생육 상태가 불량한 곳의 후처리가 가능하다. 이러한 처리는 작물을 균일하고 질 좋은 상태로 생산할 수 있도록 만들어 준다.

본 연구에서는 근적외선 카메라와 CCD 카메라를 이용하여 무의 생육 상태 계측 알고리즘을 개발하는 것이다.

1. 생육상태 계측 시스템을 위한 기초연구

가. 무의 생리적 장애 증상

기존의 연구 및 실제 경작에 의한 자료 조사에 따르면 무의 생리 장애 현상은 다른 작물과 달리 붕소결핍이나 석회결핍을 통해 나타난다. 실제 농가에서도 무 재배 시에 생리장애가 발생하면 이 두 결핍이 주를 이룬다. 본 연구에서는 범위를 붕소와 석회결핍에 관하여 연구를 진행하였다.

1) 붕소 결핍

① 증상

그림 2-65, 2-66, 2-67은 붕소 결핍에 관한 그림이다. 토양 중에 붕소가 0.5ppm 이상 되어야 정상적인 생육 가능하다. 지온이 30°C 이상이거나 10°C 이하면 흡수가 곤란하게 되어 결핍 증상이 발생한다. 봄 또는 여름재배에 주로 발생한다.

- 무의 붕소결핍증은 생육 최성기부터 후반기까지 나타남.
- 잎이 경화되어 부서지기 쉽고 새잎의 선단부가 고사하는 동시에 안으로 말려서 기형화 됨.
- 오래된 잎의 가장자리는 황변하고 엽맥사이가 황백화.
- 잎은 바깥으로 말리고 잎자루에는 부스럼 딱지 같은 상처가 생김.
- 뿌리에서는 위 부분의 표피가 가로로 터지면서 갈색으로 변하거나 심하면 무 육질이 흑색으로 변하고 부가 코르크화하며 속이 비게 됨.



Fig. 2-65 봉소결핍 증상 I

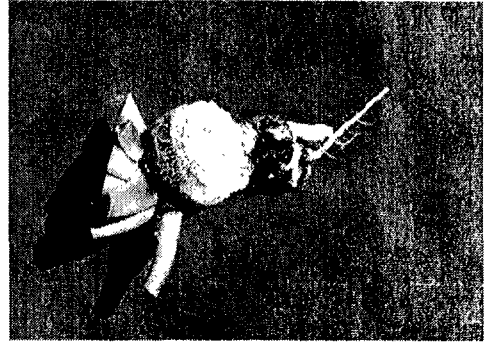


Fig. 2-66 봉소결핍 II

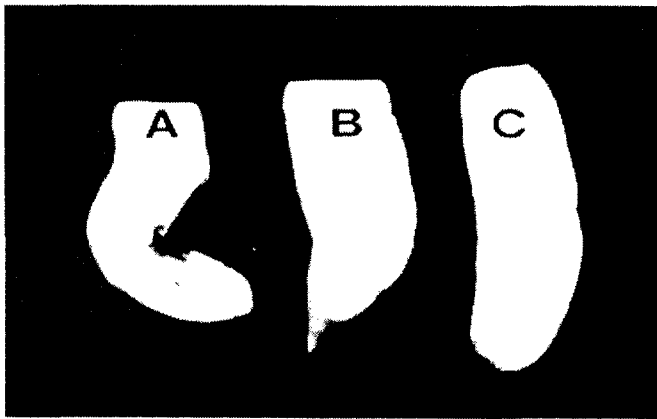


Fig. 2-67 미 봉소 생육 무 (A, B)와 적정 봉소 시비 생육 무(C)의 모습

② 대책

10a당 봉사를 1kg 가량 시비하고, 유기질의 시용이 적을 때는 10a당 1.5~2kg을 사용한다. 결핍증상이 나타날 가능성이 있으면 생육초기에 따뜻한 물에 0.2%의 봉사나 봉산을 녹여 3~4회 잎에 살포한다.

2) 석회 결핍

석회 결핍은 석회 흡수가 저해되면 발생하는 것으로 주로 고온이나 건조 등으로 인한 장애를 받으면 나타날 수 있다. 속잎이 갈색으로 변하거나 물러져서 마른다. 대책은 결구초기에 염화칼슘 0.3%액을 5일 간격으로 3회 정도 엽면 살포한다. 추비는 여러 번에 걸쳐서 소량으로 해서 질소와 석회의 길항 작용이 일어나지 않도록 한다. 표 2-13은 봉소, 석회결핍의 원인과 증상을 나타내고 있다.

Table 2-13 붕소, 석회 결핍

	붕 소 결핍	석 회 결핍
원인	<ul style="list-style-type: none"> · 붕소 함량 부족 · 건조, 과습 또는 고온으로 흡수 저하 · 질소, 칼리 및 석회의 과다로 길항작용 	<ul style="list-style-type: none"> · 퇴비 과다로 인한 석회 흡수 능력 저해 · 고온, 저온, 과습 및 건조 등으로 인한 장애 · 석회 성분 부족
증상	<ul style="list-style-type: none"> · 잎의 경화·기형화 · 잎의 가장자리 황변·황백화 · 뿌리의 윗부분이 가로로 터지면서 갈색으로 변함. 심하면 육질이 흑색으로 변하고 심부가 코르크화 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 속잎이 갈색으로 변하거나 물러져서 마른다.

나. 근적외선 분광기를 이용한 생리 장애 분석

1) 실험 장소

본 실험은 포장과 화분의 두 가지 상태에서 근적외선 영상시스템을 위한 기초 실험으로 시행되었다. 사용된 포장(밭)의 위치는 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과(11동)의 뒤 텃밭과 실험농장으로 하였다. 변적은 뒤 텃밭의 경우 약 13평 정도이며, 실험농장의 경우 약 50평으로 총 60평 정도의 포장에서 실험을 하였다. 또한 상당히 큰 화분을 10개 제작하여 각각의 화분에 2주씩 총 20주를 파종하였다.

2) 실험 조건

무의 붕소 결핍과 석회 결핍을 알아보기 위해 노지 토양에는 붕소와 석회를 지역적으로 차이가 나도록 시비하였다. 그 외의 비료는 일반적인 재배법에 따른 양을 살포하였다. 10개의 화분에는 밭의 토양을 담아서 각각 시비량을 달리 적용하였다. 붕소와 석회를 제외한 다른 성분은 일반 재배에서 적용하는 양을 시비하였으며 붕소와 석회는 일반 재배에서 적용하는 양을 100%로 하여 각각 100%, 70%, 50%, 30, 0%를 시비하였다. 그림 2-68은 화분에 시비한 붕소와 석회량을 보여준다.

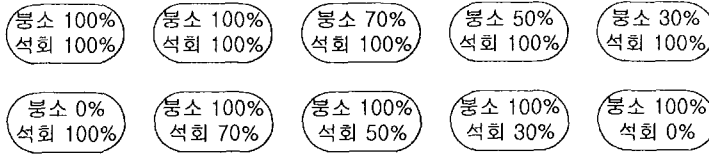


Fig. 2-68 화분의 시비량

3) 무의 근적외선 흡광도 측정

그림 2-69는 본 연구에서 사용한 NIR System이며, 서울대학교 농업생명과학대학 내의 NICEM에 있는 것으로 700~2,500nm 영역에서 흡광도와 투과도를 측정할 수 있는 system이다. 본 연구에서는 이 영역의 흡광도를 측정하였다. NIR System에서 표준 물질은 polystyrene 을 사용하였다.



Fig. 2-69 NIR System

4) 결과 및 고찰

본 실험 분석에 사용한 샘플은 토양과 무의 흡광도를 제외한 다른 모든 분석에는 화분에서 채취한 것을 사용하였다.

① 무 앞의 앞, 뒷면에 따른 생리장애 차이 분석

그림 2-70과 2-71은 화분에서 양분을 달리 시비하였을 때 보이는 각 무 앞의 앞면과 뒷면의 흡광도이다. 각 화분마다 2개씩의 샘플을 채취하였고, 붕소 0% 석회 100% 화분에서는 1개의 샘플만 채취하여 측정하였다. 즉 붕소 0% 석회 100% 화분에서 1개, 붕소, 석회 100% 화분에서 각 2개씩(총 4개), 붕소 70% 석회 100% 화분에서 2개 등 이렇게 총 19개의 샘플을 획득하였다. 이 샘플을 NIR spectrometer로 분석하여 앞면과 뒷면에 대한 생리장애의 차이를 분석하였다.

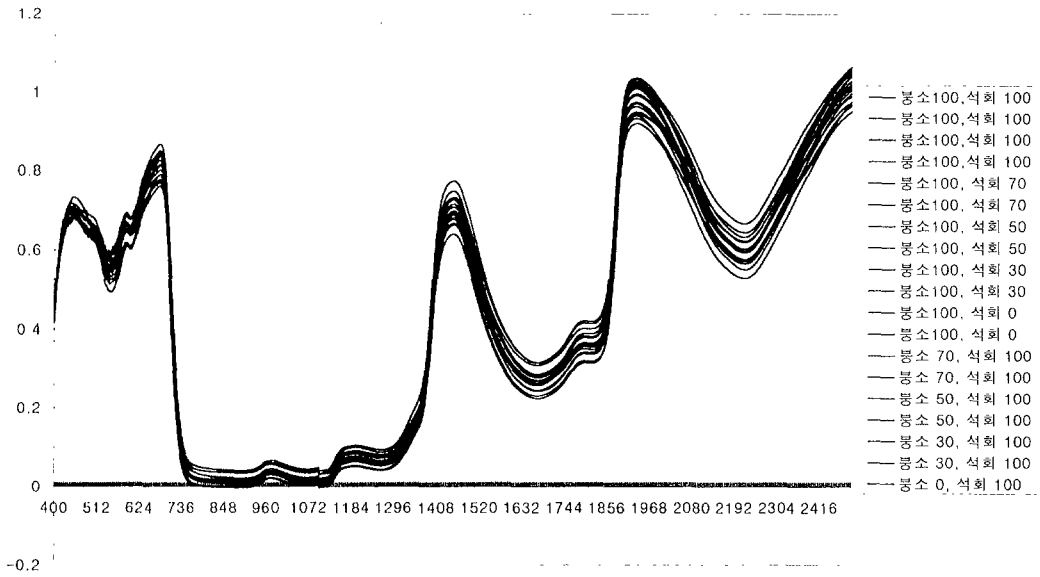


Fig. 2-70 무 앞의 앞면 흡광도

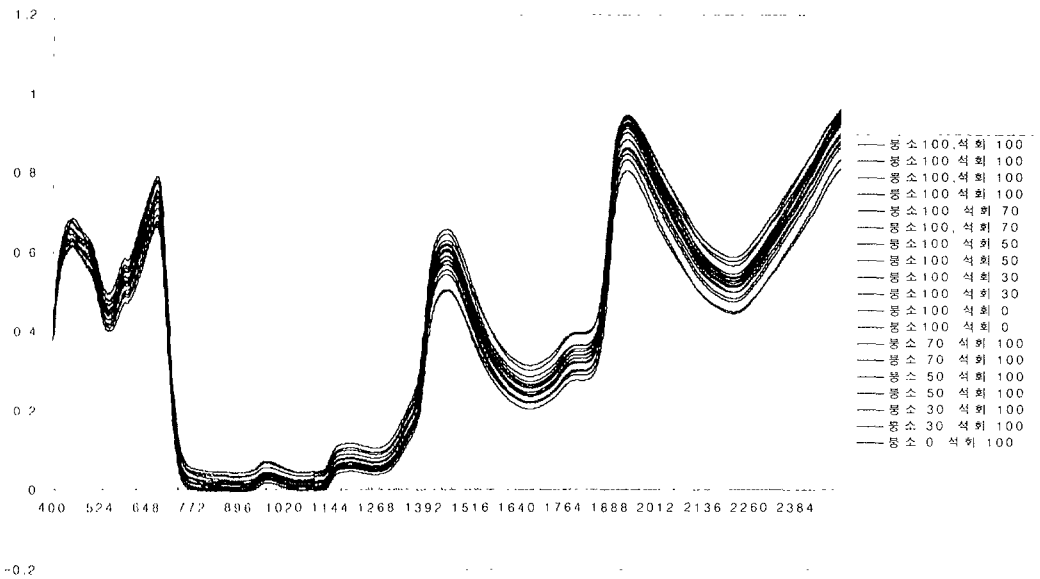


Fig. 2-71 무 앞의 뒷면 흡광도

그림에서 볼 수 있듯이 무 앞의 앞면과 뒷면의 흡광도로는 생리장애를 발견할 수가 없었다. 이는 1차 미분한 그림 2-72에서도 확인할 수 있듯이 각 peak 점들의 파장대역이 같음을 알 수 있다. 따라서 무의 앞, 뒷면의 흡광도를 이용한 생리장애는 밝힐 수가 없었다.

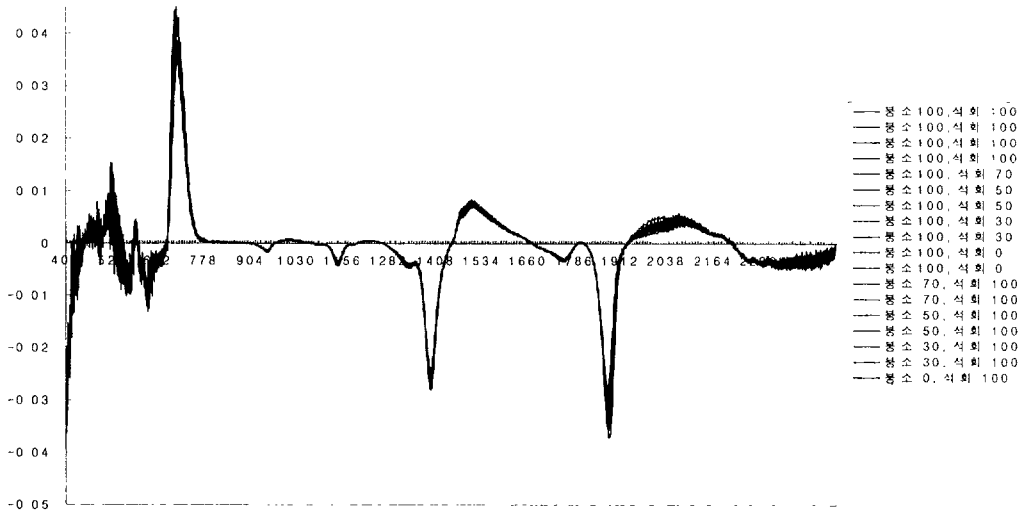


Fig. 2-72 앞면 1차 미분

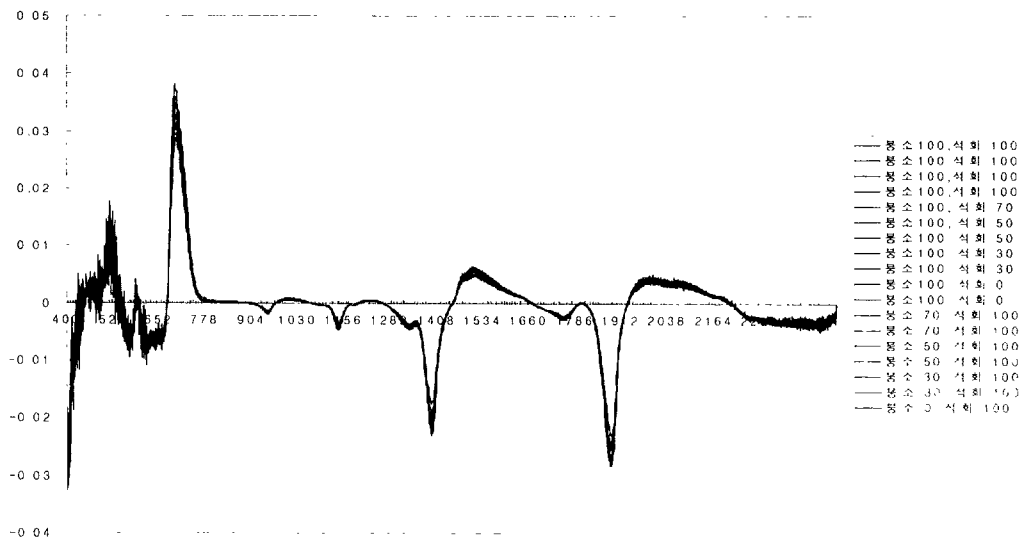


Fig. 2-73 뒷면 1차 미분

② 무 잎의 줄기 위치에 따른 생리장애 차이 분석

무 잎이 줄기의 어느 부분에 위치하느냐에 따라 생리장애의 차이가 나는지에 대해서 분석하였다. 이를 위하여 줄기를 3등분(끝, 중간, 밑)하여 분석하였다. 이에 따른 흡광도와 1차 미분 그래프는 그림 2-74, 2-75와 같다. 앞 실험의 결과 무의 앞, 뒷면에 따른 차이는 없는 것으로 판단하여 앞면에 대한 흡광도만 실험하여 분석하였다. 이후의 분석도 앞면만을 실험하였다.

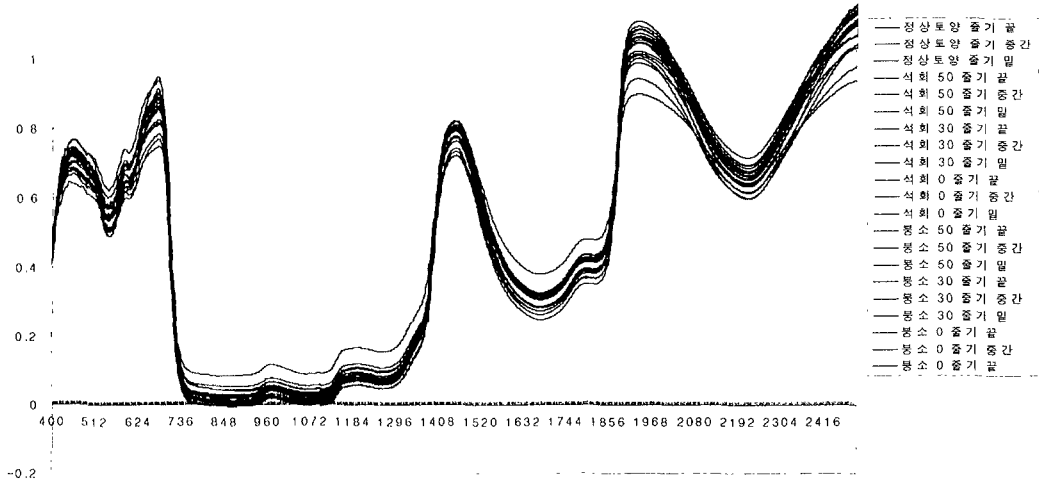


Fig. 2-74 줄기 위치별 흡광도

정상토양, 석회 50%, 30%, 0%, 붕소 50%, 30%, 0% 화분에서 각각 1개씩, 총 7개의 샘플을 획득하여 분석하였다. 그 결과 줄기의 위치에 따른 생리장애 역시 발견할 수 없었다.

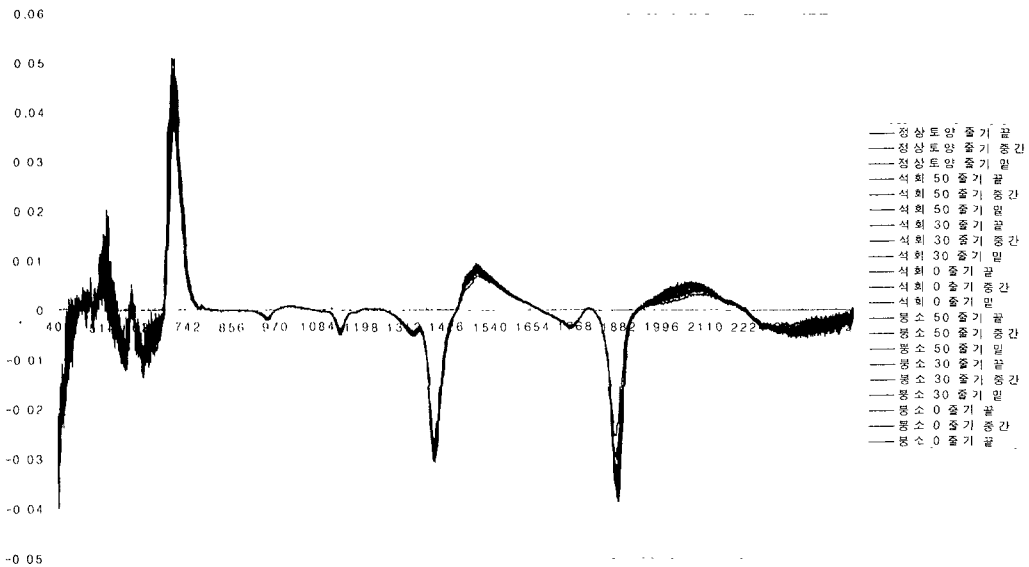


Fig. 2-75 위치별 흡광도의 1차 미분

5) 결과 고찰

본 세부과제에서 초기에 연구 목표로 정한 것은 무의 생리장애 계측을 통한 생육상태 계

측 알고리즘의 개발이었으며 생리장애 중 무에서 특히 발생할 수 있는 봉소, 석회 결핍을 NIR 스펙트럼을 이용하여 측정하는 것을 목표로 하였다. 그러나 실제 토양에서 실험한 결과 봉소, 석회 결핍은 NIR spectrometer로는 확인하기 힘들었다. 이는 무 품종 특성상 실제 토양에서는 이러한 결핍증상들이 잘 나타나지 않기 때문인데, 그 이유는 봉소, 석회 결핍증상들이 토양 속에 존재하는 이들 원소들의 절대적인 양과 꼭 비례하는 것이 아니기 때문이다.

다. 무의 뿌리와 생장일수와의 상관관계 분석

본 실험에서 생육 상태 계측을 위해서 선정된 작물은 무이다. 무 품종은 수원 근교에서 가장 많이 재배되고 있는 대형 봄무로 선정하였다. 재배지역은 서울대학교 농공학관 뒤 텃밭 약 15평과 농생대 농장 밭 약 50여 평이었다. 또한 재배기간은 방제와 시비가 가능한 시기인 40일 정도로 하였다. 측정항목은 표 2-14와 같다.

Table 2-14 무의 생육 상태 계측 항목

근	중	잔뿌리를 없앤 뿌리의 무게
근	장	식용 부위(지름 1cm 이상)의 뿌리 길이
최	대	최대투사직경
직	경	

실험 방법은 무밭을 다섯 구획으로 나누어 그 구획 안의 무에 대해 데이터를 수집하였다. 무를 뽑아서 전자저울, 5m 줄자, 버니어 캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 무의 성장 초기부터 30~40일 까지 무의 뿌리 생육상태와 잎의 면적과는 밀접한 관계를 가지고 있고, 그 이후는 잎의 면적에는 변함이 적고 뿌리가 급격히 성장한다.

총 88개의 실험 데이터에 대해 무의 생육일수에 따른 무 뿌리의 성장 관계를 그림 17, 18, 19에 나타내었다. 이 결과는 무의 생육일수에 비례하여 무의 근중(뿌리 무게), 근장(뿌리 길이), 최대근경(뿌리 지름)이 선형적으로 성장함을 보였다. 그림 2-76, 2-77, 2-78에서 26일 생장한 무가 30일 생장한 무보다 큰 결과를 나타내었는데, 이는 26일 생장한 무를 측정한 구역의 토양유기물 함량 차이에 의한 것으로 보인다. 즉, 11, 22, 26, 30, 42일 측정한 구역에 대한 유기물 함량이 각각 0.7489, 0.885, 1.633, 1.157, 1.429로서 26일째 샘플을 측정한 구간의 유기물 함량이 다른 구역에 비해 최고는 2배 이상 많았기 때문이다. 보다 많은 샘플 채취를 전 구역에 걸쳐 random하게 할 경우 보다 높은 상관관계를 나타낼 것이다.

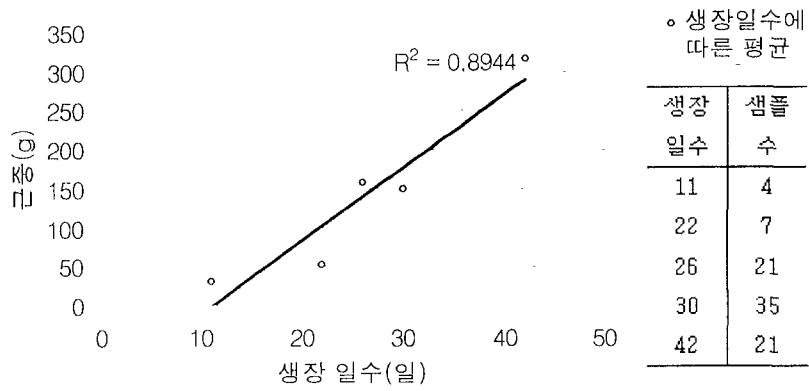


Fig. 2-76 성장 일수에 따른 근중의 변화

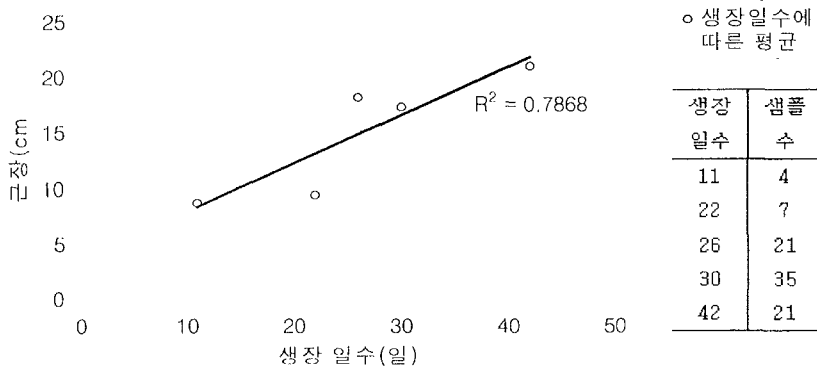


Fig. 2-77 성장 일수에 따른 근장의 변화

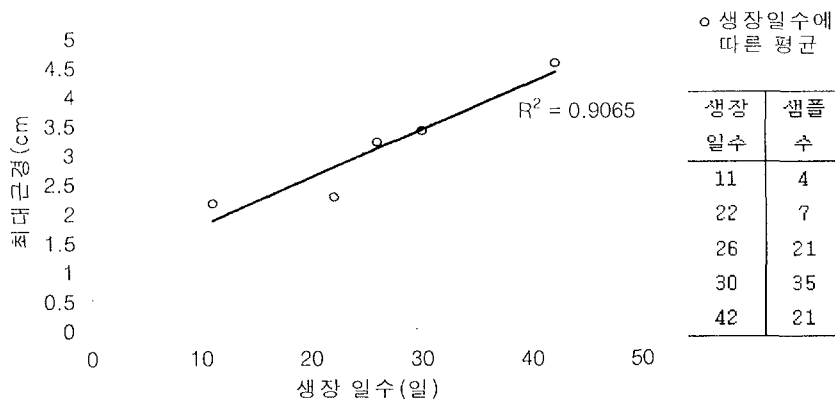


Fig. 2-78 성장 일수에 따른 최대근경의 변화

2. 생육상태 계측 시스템 개발

생육 상태 계측 시스템은 근적외선 카메라와 CCD 카메라를 사용하여 계측하려고 하였다. 그러나 근적외선 분광기를 사용한 봉소 및 석회 결핍 등 생리 장애에 계측을 할 수 없었다. 따라서 측정된 파장의 영상을 검출하는 근적외선 카메라를 이용하여 생리장애를 측정하는 것을 불가능하다고 판단되었다. 그러므로 생육 상태 계측 시스템은 CCD 카메라를 이용하여 구성하였다.

가. 실험 장치 구성

무의 생육 상태의 하나인 무의 잎 면적을 측정하기 위해 그림 2-79와 같이 칼라 CCD 카메라, 조명장치, frame grabber, 중앙연산처리 장치, 데이터 저장장치, 모니터로 이루어진 영상처리 시스템을 구성하였다.

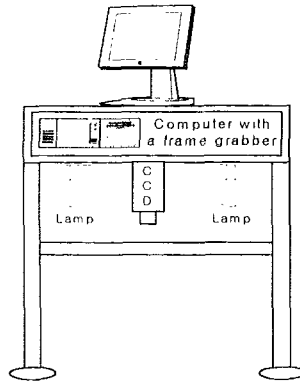


Fig. 2-79 장치 구성도

또한 실험에 사용한 카메라의 높이, 렌즈의 특성에 따른 영상의 보정을 수행하였다. 일정한 카메라 높이와 초점거리에서 640×480의 영상 해상도의 영상의 최대범위에 해당하는 실제 측정된 면적은 94cm×66cm이었다. 따라서 구한 픽셀당 면적은 다음과 같다.

$$\frac{940 \text{ mm} \times 660 \text{ mm}}{640 \times 480 \text{ pixel}} = 2.020 \text{ mm}^2/\text{pixel}$$

나. 생육 상태 계측 알고리즘 개발

구성된 영상처리 시스템을 이용하여 작물의 성장 상태를 계측하기 위한 알고리즘(그림 2-80)은 다음과 같다.

- ① CCD 카메라를 통하여 획득된 영상을 RGB 값으로 frame grabber에 저장한다.

- ② RGB 값으로 저장된 영상 데이터를 중앙연산처리장치에서 L*a*b 값으로 변환하고 데이터 저장장치에 저장한다.
- ③ 중위수 선택방식의 중위수 선택 방법을 적용하여 잡음을 제거하였다.
- ④ 토양과 식물을 구별하기 위해 threshold 기법을 적용하여 이치화한다.
- ⑤ 이치화 된 영상으로부터 8-connectivity chain coding을 적용하여 픽셀의 수를 계산한다.
- ⑥ 계산된 픽셀의 수에 픽셀당 면적을 곱하여 무의 앞면적을 추출한다.
- ⑦ 추출된 앞면적을 데이터베이스에 저장한다.

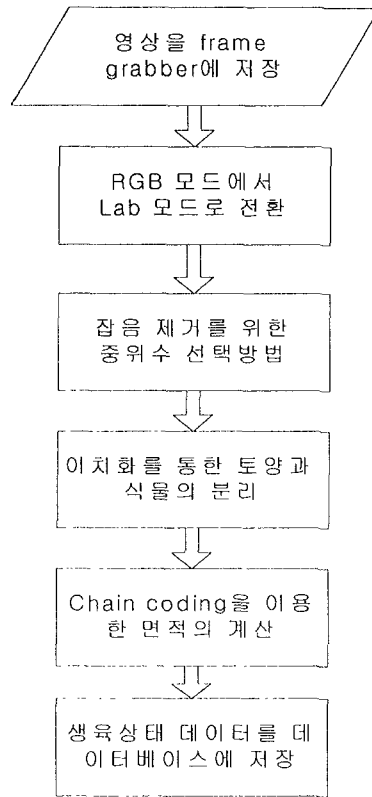
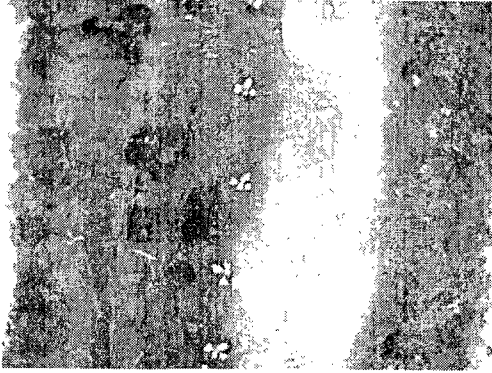


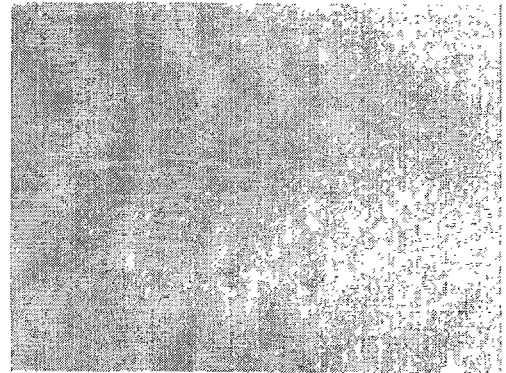
Fig. 2-80 생육상태 계측을 위한 알고리즘

다. 개발된 알고리즘의 검증

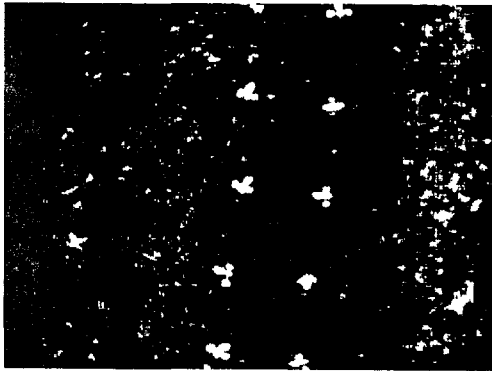
개발된 알고리즘의 성능평가를 위해 서울대 부속농장에 봄무를 심어 영상을 획득하였다. 무는 한 번 채취하면 다시 땅에 심는 것이 불가능하다. 이에 따라 한 무에 대해서 성장단계별로 지속적인 뿌리 생육상태 계측이 불가능한 관계로 밭의 구획을 나누어 각각의 구획 안에서 재배일수별로 무를 채취하여 근중, 근장, 근경을 측정하였다. 총 샘플 수는 29개였다.



(a) 원 영상



(b) L*a*b* 이미지로 변환 후 a채널 추출



(c) 추출된 영상의 이치화



(d) 잡음 제거를 위해 메디안필터 적용



(e) 레이블링을 통한 좌표 및 면적 검출

Fig. 2-81 영상으로부터 앞면적을 추출하는 과정

그림 2-81은 획득된 영상으로부터 앞면적을 추출하는 과정을 나타낸 것이다. 구축된 알고리즘을 이용하여 획득된 앞면적 데이터와 실측된 근중, 근장, 최대근경과의 상관관계를 분석하였다. 분석결과는 그림 2-82, 2-83, 2-84에 나타내었으며, 앞면적과 근중과의 관계($R^2=0.6787$), 앞면적과 근장과의 관계($R^2=0.8426$), 앞면적과 최대근경과의 관계($R^2=0.7484$) 모두에서 만족할 만한 상관성을 나타내었다.

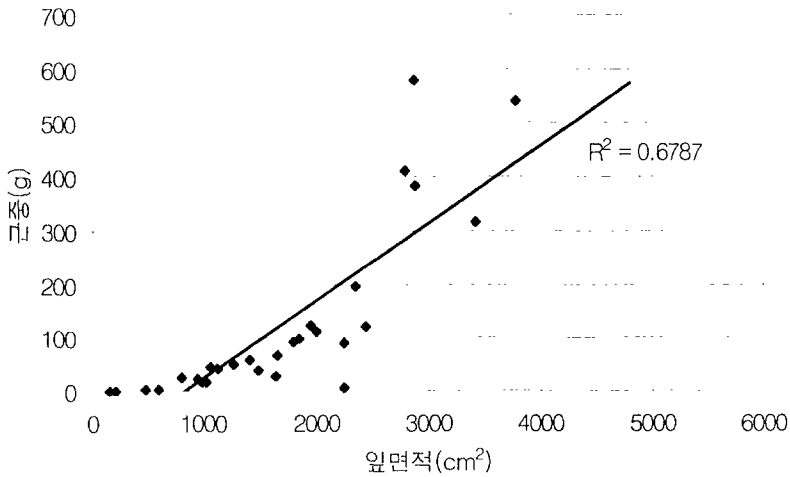


Fig. 2-82 앞면적에 따른 근중의 변화

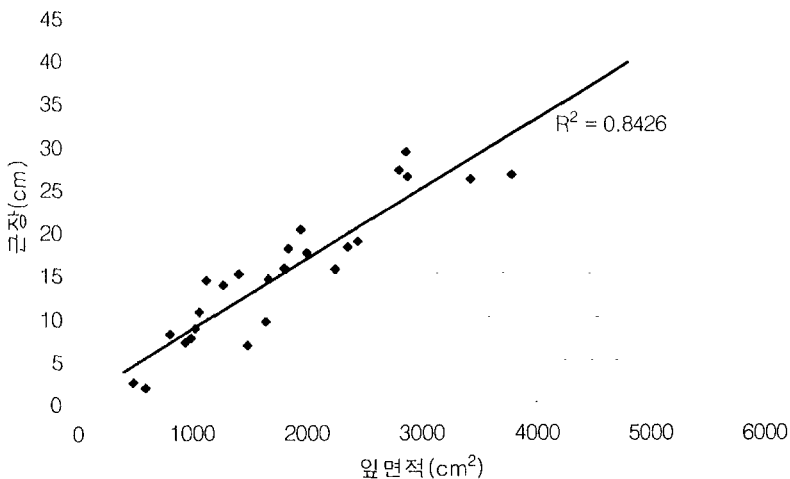


Fig. 2-83 앞면적에 따른 근장의 변화

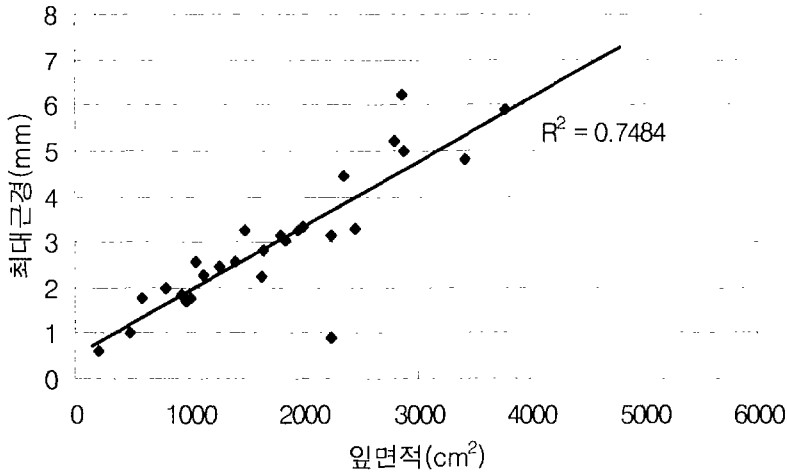


Fig. 2-84 잎면적에 따른 최대근경의 변화

3. 요약 및 결론

근적외선 분광기를 이용하여 무의 생리 장애를 분석하였다. 그러나 실험 결과 생리 장애가 NIR spectrometer로는 확인이 되지 않았다. 이로 인해서 근적외선 영상처리를 이용한 생육 상태 계측 알고리즘 실제 적용의 필요성이 없다고 판단되었다.

근장, 근중, 최대 근경은 생장일수와 높은 상관관계를 보였다. 이는 생육 상태 계측 가능성을 보여주었다. 따라서 CCD 카메라를 사용하여 생육 상태 계측 시스템을 구성하였으며, 잎의 면적을 계산함으로써 생육 상태를 계측할 수 있는 알고리즘을 개발, 검증하였다. 그 결과 잎면적과 근중과의 관계($R^2=0.6787$), 잎면적과 근장과의 관계($R^2=0.8426$), 잎면적과 최대근경과의 관계($R^2=0.7484$) 모두에서 만족할 만한 상관성을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 개발된 알고리즘을 이용하여 생육 상태를 판단하고, 그에 따른 정밀 시비처방을 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

6절. 전자지도 작성 시스템 개발

1. 시스템 통합

전자지도 작성을 위한 시스템의 개념적인 모습은 그림 2-85와 같다. 영상처리 시스템을 이용한 생육 상태 계측 시스템, 근적외선 분광기를 이용한 토양 유기물 함량 계측 시스템, 그리고 DGPS system 부분을 통합 구성된 모습이다.

센서부는 크게 두 부분으로 구성된다. 하나는 토양의 유기물 함량 측정을 통해 시비량을 결정하기 위한 부분이며, 다른 하나는 작물의 생육상태를 계측하는 부분이다. 개발된 알고리즘을 통해 공간적인 토양 유기물 함량과 작물의 생육 정보를 센서를 통해 획득하여 데이터 베이스에 저장한다. 그리고 획득한 정보를 개발된 알고리즘을 통해 전자지도를 작성하게 된다.

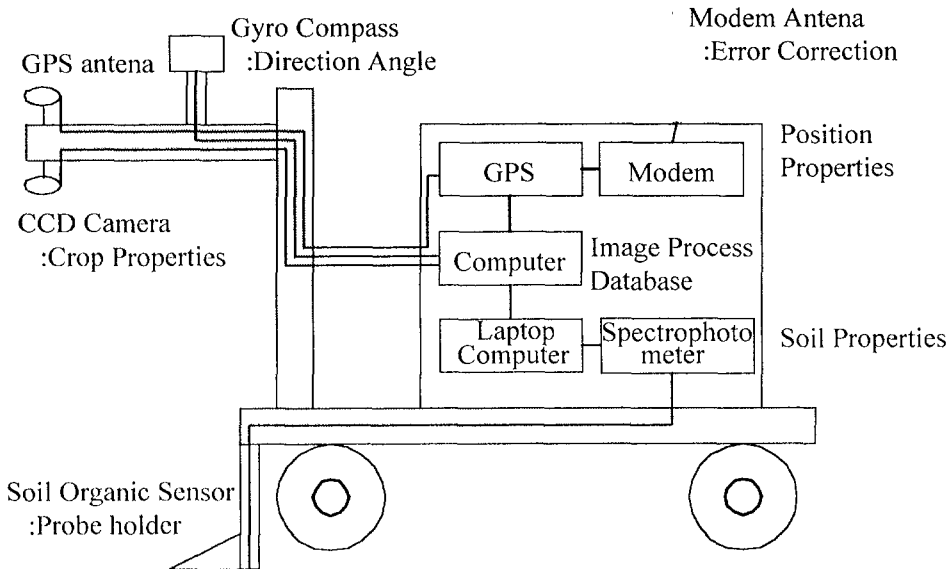


Fig. 2-85 전자지도 작성을 위한 시스템 구성도

토양 유기물 함량 계측 시스템과 작물의 생육 정보 계측 시스템은 동시에 데이터들을 측정하지는 않는다. 그래서 본 연구에서는 통합하지 않고, 두 개의 시스템을 구성하였다. 또한 이러한 통합 시스템이 도달할 수 없는 곳과 위치 데이터만 필요한 곳에는 DGPS 시스템을 사용하여 수동으로 데이터를 입력하였다.

가. 토양 유기물 함량 측정 시스템의 구축

시스템은 크게 데이터베이스와 관계된 중앙 컴퓨터, 유기물 정보를 계측할 수 있는 유기물 센서, 위치 정보를 얻기 위한 DGPS 등으로 구성된다. 이러한 장치를 그림 2-86과 같이 이동용 차량에 탑재하여 위치에 따른 토양 유기물 함량을 측정하게 된다.

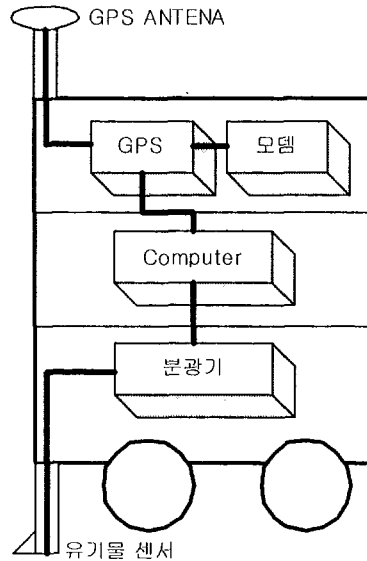


Fig. 2-86 토양 유기물 함량 계측 시스템 구성도

1) 토양 유기물 함량 측정 프로그램 작성

토양 유기물 함량 측정 프로그램은 Visual C++ 6.0을 사용하여 작성하였다. DAQ-DIO-24 PCMCIA card를 사용하여 NIR Optical Spectrograph Card로부터 파장별 반사도 값을 획득하였다. 그리고 이 반사도는 실시간 유기물 함량 계측 알고리즘을 이용하여 실시간으로 토양 유기물 함량을 측정하게 된다. 그리고 동시에 COM1 포트를 이용하여 DGPS와 통신을 하게 된다. 이 두 가지 정보는 구축된 데이터 베이스에 저장된다. 그림 2-87은 토양 유기물 함량 측정 프로그램이다. 왼쪽 화면에 NIR Reflectance를 그래프로 나타내고 있으며, 그 밑에 계산된 유기물 함량 값을 표시하였다. 그리고 오른쪽은 DGPS 데이터 값이다.

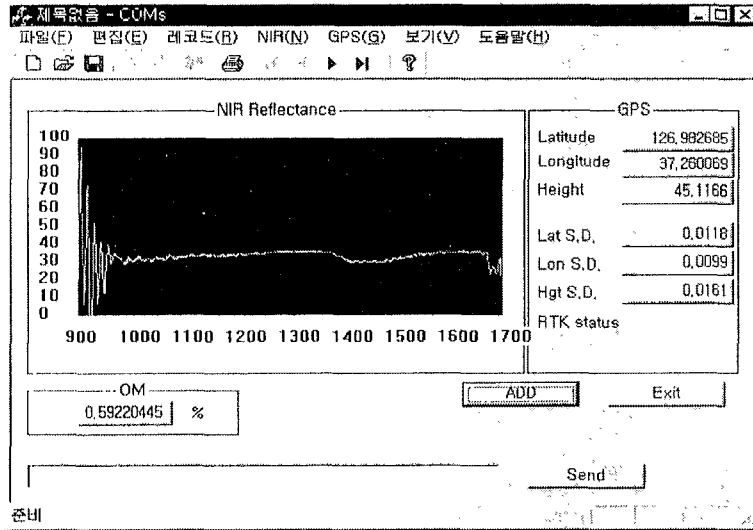


Fig. 2-87 토양 유기물 함량 계측 시스템 프로그램

2) 토양 유기물 함량 계측 시스템을 이용한 데이터 획득

위와 같이 구성된 토양 유기물 함량 계측 시스템을 이용하여 토양 유기물 함량을 측정하였다. 실험 장소는 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장이다. 1.5m 간격으로 50점의 데이터를 획득하였으며, 이 데이터들은 전자지도용 데이터베이스에 저장된다. 그림 2-88은 구성된 토양 유기물 함량 계측 시스템을 이용한 실험 모습이다.

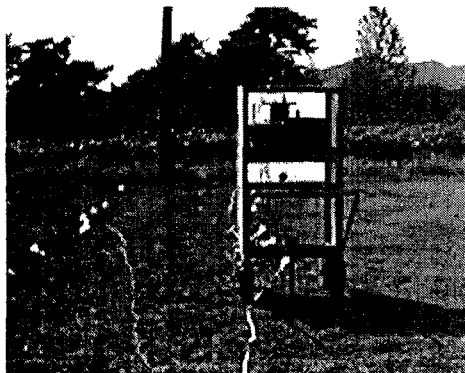


Fig. 2-88 토양 유기물 함량 측정 실험 모습

나. 생육 상태 계측 시스템의 구축

생육 상태 계측 시스템은 비전 시스템, DGPS, Gyro Compass로 구성되어 있다. 비전 시스템은 영상으로부터 녹색 정보를 획득하게 되며, 이는 DGPS를 통해 위치 정보를 획득한다.

그러나 영상은 차량의 방향에 따라 바뀌게 되므로, Gyro Compass를 사용하여 차량의 자세를 보정하게 된다. 그림 2-89는 생육 상태 계측 시스템의 구성도이다.

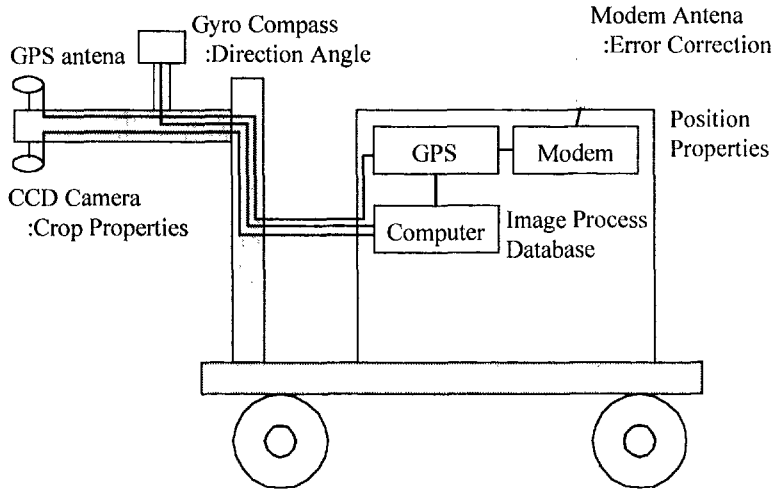


Fig. 2-89 생육 정보 계측 시스템 구성도

1) 생육 상태 계측 프로그램 작성.

생육 상태 계측 프로그램은 Visual C++ 6.0을 이용하여 작성하였다. Vision system으로부터 작물의 영상을 획득한다. 그리고 획득된 영상은 생육상태 계측 알고리즘을 이용하여 이치화를 통해 녹색 정보만을 획득한다. 또한 DGPS와 Gyro Compass는 확장 COM port(시스템베이스(주), Multi-4/PCI)를 통해 통신하여 위치 정보를 획득한다. 그림 2-91과 그림 2-92는 카메라를 이용하여 영상 획득과 이 영상을 이용한 영상처리 프로그램이다. 그림 2-93은 DGPS와 Gyro Compass의 데이터 입력 프로그램이다.

생육 상태 계측 프로그램은 다음과 같다. 먼저 그림 2-91과 같이 CCD 카메라로부터 영상을 얻는다. 그리고 생육 상태 계측 알고리즘을 이용하여 녹색 정보를 얻는다. 그림 2-92는 녹색 정보를 나타내고 있다. 이러한 녹색 정보는 위치 정보를 갖고 있지 않다. 그래서 그림 2-93과 같이 GPS와 Gyro Compass의 데이터를 얻어 획득하고 획득된 위치, 각도, 영상좌표를 결합하여 녹색 정보의 위치를 획득한다. 이렇게 위치 정보와 결합된 녹색 정보는 미리 구축해 놓은 데이터베이스의 작물의 위치 데이터와 비교하여 같으면 그곳에 녹색의 면적 정보를 저장한다.

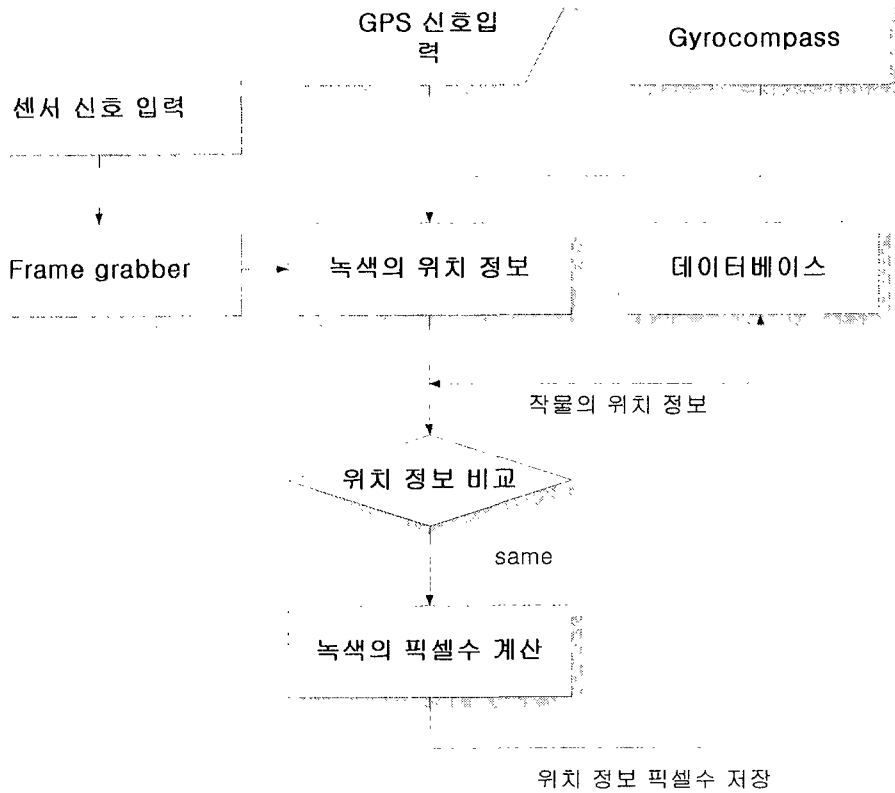


Fig. 2-90 생육 상태 정보 입력 알고리즘

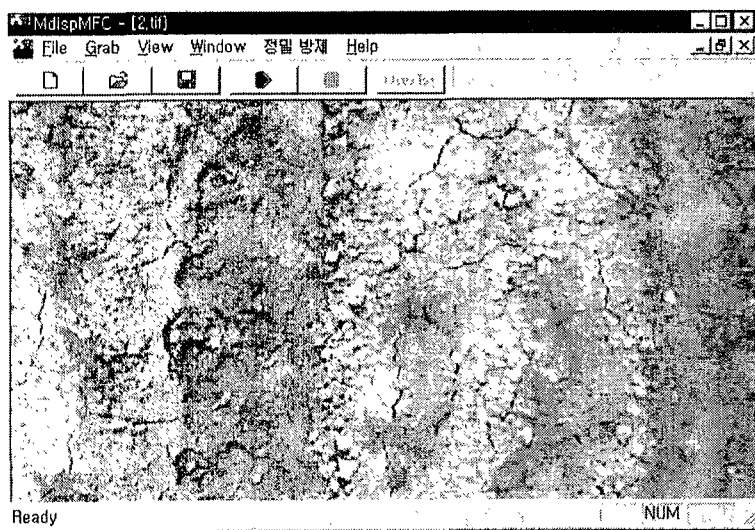


Fig. 2-91 CCD 카메라로부터 영상 획득

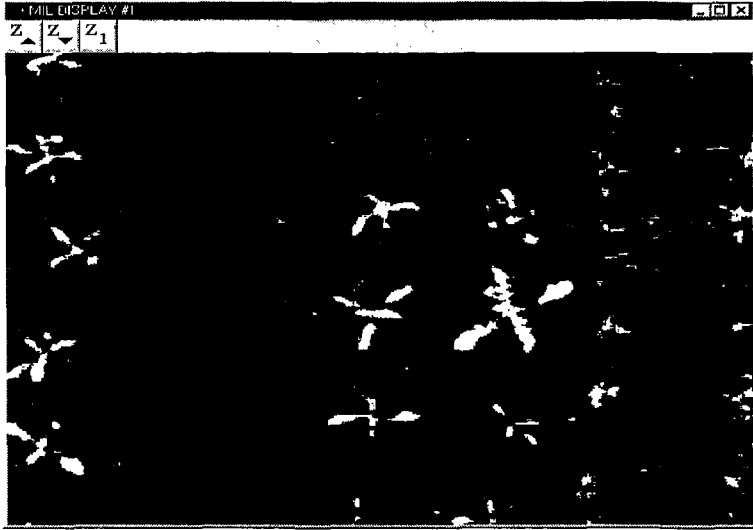


Fig. 2-92 생육 정보 계측 알고리즘에 의한 녹색 정보 추출

센서부 입력 데이터			
DGPS 좌표			
경도	126.9831854	S.D.	0.012
위도	37.2594786	S.D.	0.018
Gyro Sensor 각도		OK	
196.3		Cancel	

Fig. 2-93 DGPS와 Gyro Compass의 데이터 입력 프로그램

2) 생육 상태 계측 시스템을 이용한 데이터 획득

구축한 생육 상태 계측 시스템을 이용하여 무의 생육 상태를 계측하였다. 실험을 위해 서울대학교 농업생명과학대학 부속 수목원에 무를 재배하였다. 그림 2-94는 생육 상태 계측 시스템을 이용하여 무의 앞면적을 획득하는 모습이다. 획득된 앞면적은 전자지도용 데이터 베이스에 저장된 작물의 위치를 검색하여 그곳에 저장한다.

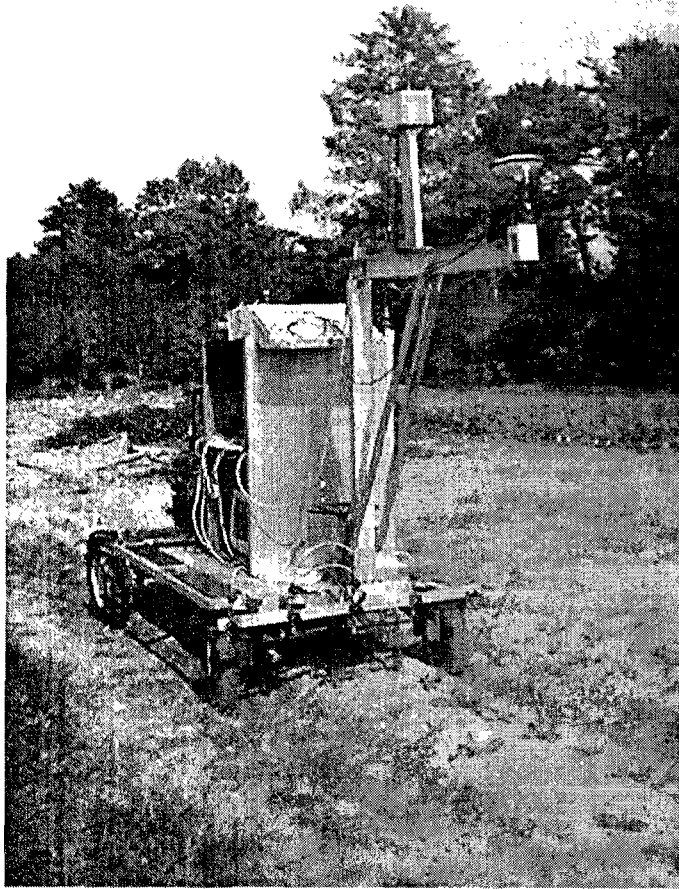


Fig. 2-94 생육 정보 계측 실험 모습

2. 데이터베이스 구축

데이터베이스는 Microsoft Access를 사용하였다. 장점은 Windows OS 기반으로 사용자 인터페이스가 용이하고, 가격이 저렴하며, 가장 널리 사용되고 있는 상용 프로그램으로 DB 작업의 용이성과 커스터마이징을 위한 프로그래밍 언어가 내장돼 있어 우리가 사용하고자 하는 농업분야에의 특화가 가능하기 때문이다.

전자 지도 작성 시스템의 입력된 데이터를 기본으로 하여 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스의 테이블은 표 2-15와 같이 구축하였다. 토양 유기물 함량 계측 시스템에서 유기물 함량과 위치 데이터를 입력받으며, 작물의 생육 상태 계측 시스템에서 작물의 면적 정보와 위치 정보를 입력받는다. 이러한 데이터들은 다른 데이터들과 구별을 위한 고유 ID가 필요하다. 여기에서는 TEST_DATE가 농경지와 시간에 따른 다른 데이터들과의 구별을 한

다. FIELD_NAME는 실제 농경지의 ID라고 할 수 있으며, BOUNDARY_MAP은 그 농경지의 boundary point를 가지고 있다. CROP 테이블은 작물의 파종시 작물의 위치정보를 가지고 있다.

Table 2-15 전자 지도용 데이터베이스

Table	용도
FIELD_NAME	농경지의 ID
BOUNDARY_MAP	농경지의 Boundary map을 위한 각 포인트 저장
TEST_DATE	농경지와 측정 날짜 저장
SOIL_OM	위치 데이터와 토양 유기물 함량 저장
CROP	작물의 위치 데이터
CROP_GROWTH	작물의 위치 데이터에 생육정보 저장
N_FERTILIZER	면적 형태의 시비량 데이터 저장

그림 2-95는 구축된 데이터베이스의 관계를 나타내고 있다.

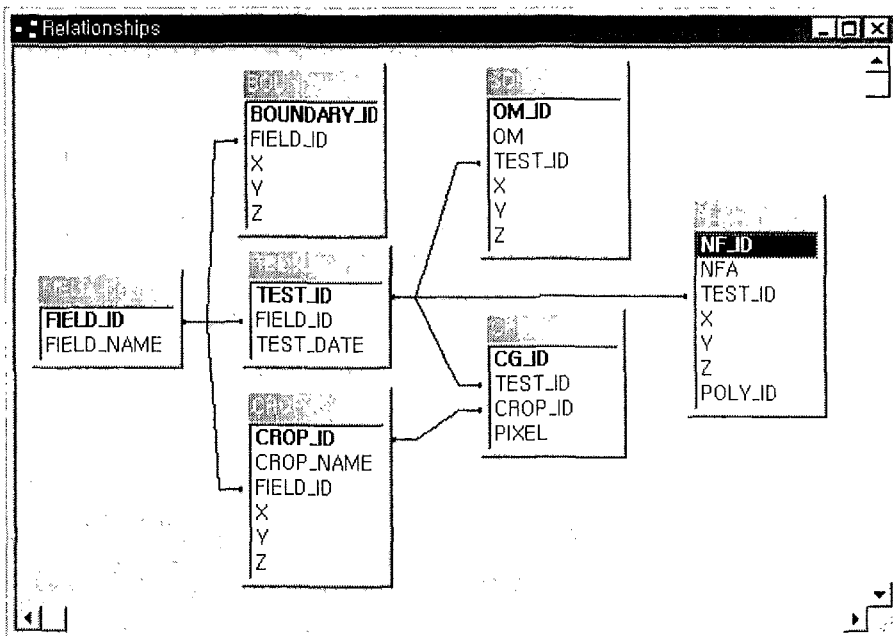


Fig. 2-95 데이터베이스 관계 다이어그램

3. 전자지도 작성

지도 제작은 Visual C++ ver. 6.0 프로그램을 사용하였고 ODBC를 이용하여 구축된 데이터베이스와 연동하였다.

가. Boundary 지도 작성

Boundary 지도는 데이터베이스에 저장되어 있는 BOUNDARY_MAP 테이블에서 각 point를 불러오고 각 포인트를 polygon 데이터로 변환된다. 이 polygon 데이터를 지도상에 나타내었다. 이 Boundary 지도는 유기물 함량 분포도 작성, 시비량 지도 작성 등 각 point들이 내부에 있는지 검사한다. 그림 2-96은 농장의 Boundary 지도이다.

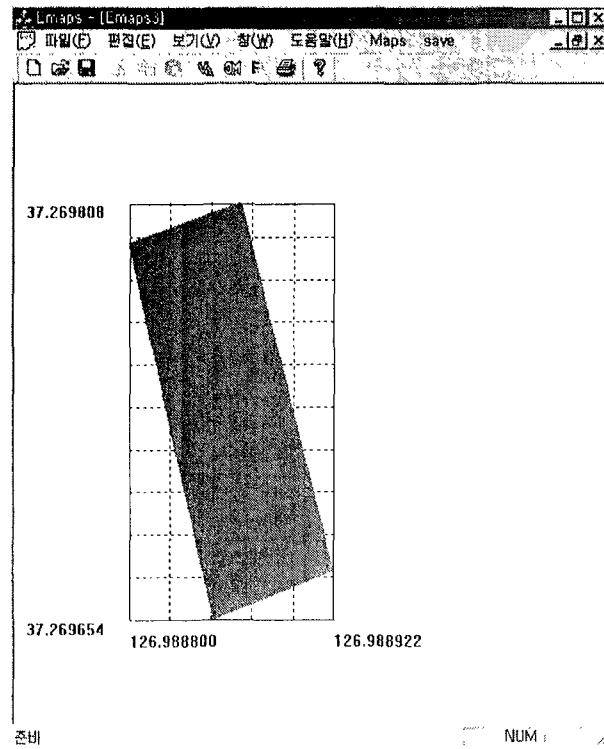


Fig. 2-96 Boundary 지도 작성

나. 토양 유기물 함량 지도 작성

토양 유기물 함량 지도는 토양 유기물 함량 테이블인 SOIL_OM 테이블에서 각 위치 좌표와 유기물 함량을 불러오며, 유기물 함량의 최대값과 최소값을 검색하고, 평균 유기물 함량

을 계산한다. 최대 유기물 함량은 4.45%이며, 최소 유기물 함량은 0.15%이었다. 그리고 평균 유기물 함량은 1.64%이었다. 토양 유기물 함량의 최대값과 최소값을 이용하여 0.86% 간격으로 등급을 나누었고, 각 위치에 대해 유기물 함량의 값을 등급에 따라 다른 색깔과 크기를 이용하여 표시하였다. 그림 2-97은 농장의 토양 유기물 함량 point 지도이다.

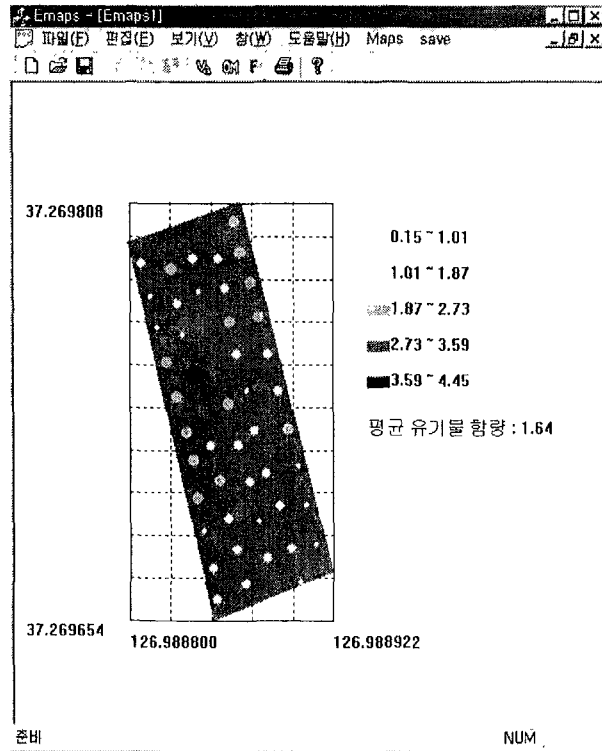


Fig. 2-97 토양 유기물 함량 지도

유기물 함량 분포 지도 작성을 위해 Boundary 지도 안을 30cm 간격의 격자 점으로 나누었다. 각 점들은 inverse distance 보간법을 사용하여 보간된 토양 유기물 함량 값을 갖게 된다. 그림 2-98은 농장의 토양 유기물 함량 포인트 지도를 보간한 토양 유기물 함량 분포 지도이다. 마우스를 사용하여 지도의 특정위치를 클릭하면, 클릭된 곳의 위치 정보와 토양 유기물 함량을 알 수 있도록 하였다.

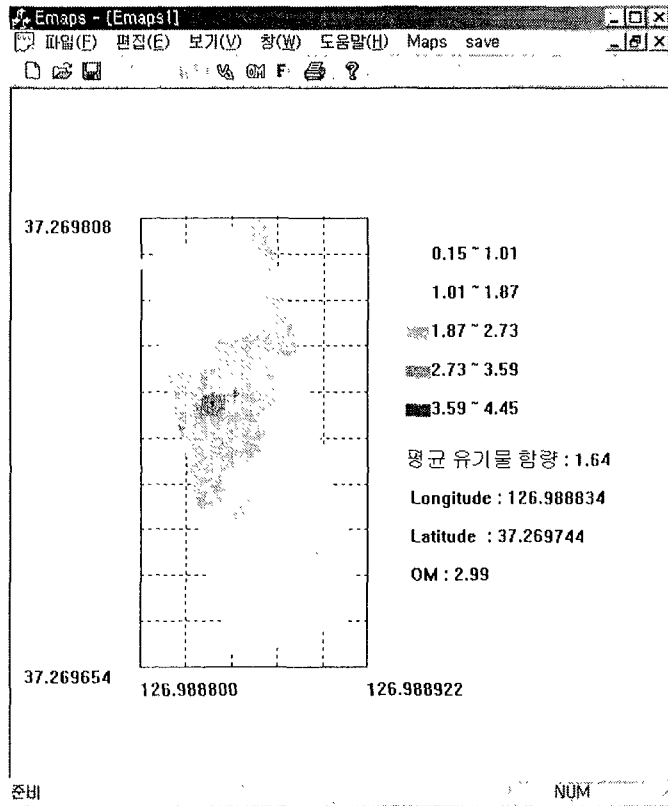


Fig. 2-98 토양 유기물 함량 분포 지도

다. 시비량 지도 작성

격자 크기를 결정하기 위해 공간 통계 분석인 Semivariogram을 계산하였다. 그림 2-99은 Semivariogram 분석 결과이며, 4m까지는 값이 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러므로 격자크기는 농작업기의 폭을 기준으로 2m로 결정하였다. 그림 2-100은 농장의 질소 비료 시비량 지도이다. 무 밭의 표준 질소비료 시비량은 28 kg/10a이며, 계산된 평균 시비량은 30.24 kg/10a이었다. 시비량 지도 또한 마우스를 이용하여 클릭하면 클릭된 위치의 좌표와 시비량을 알 수 있다.

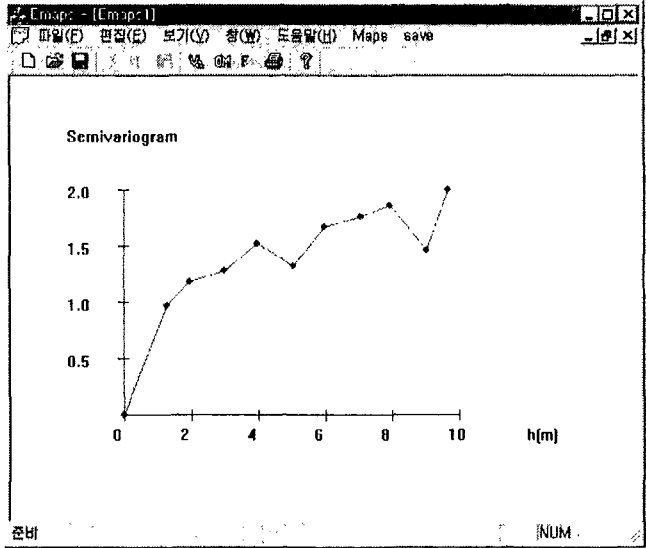


Fig. 2-99 토양 유기물 함량의 Semivariogram

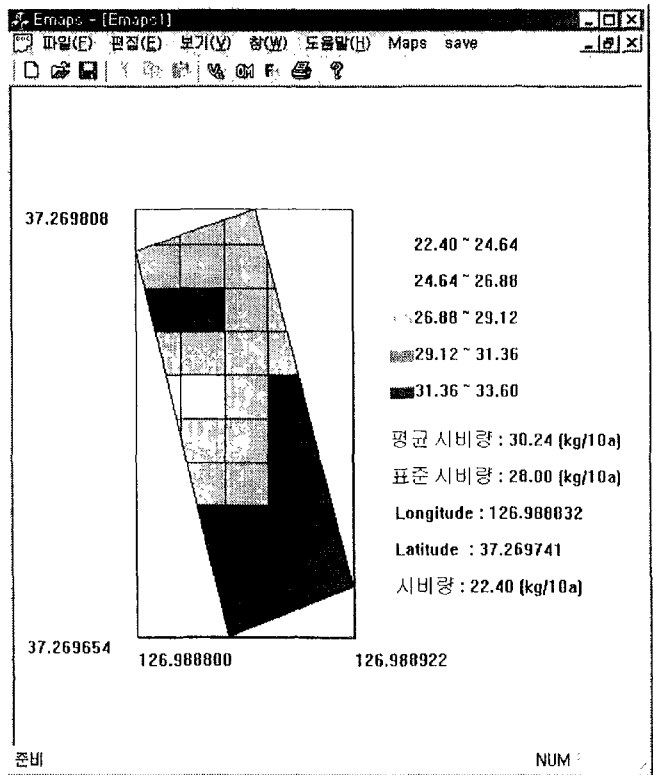


Fig. 2-100 질소 시비량 지도

라. 생육 상태 지도 작성

생육 상태 지도는 작물의 위치와 면적 정보를 가지고 있다. 작물들의 간격이 일정하고 좁은 간격으로 심어져 있어 면적 정보를 색깔을 이용하여 표시하였다. 그림 2-101은 무의 생육 상태 지도이다.

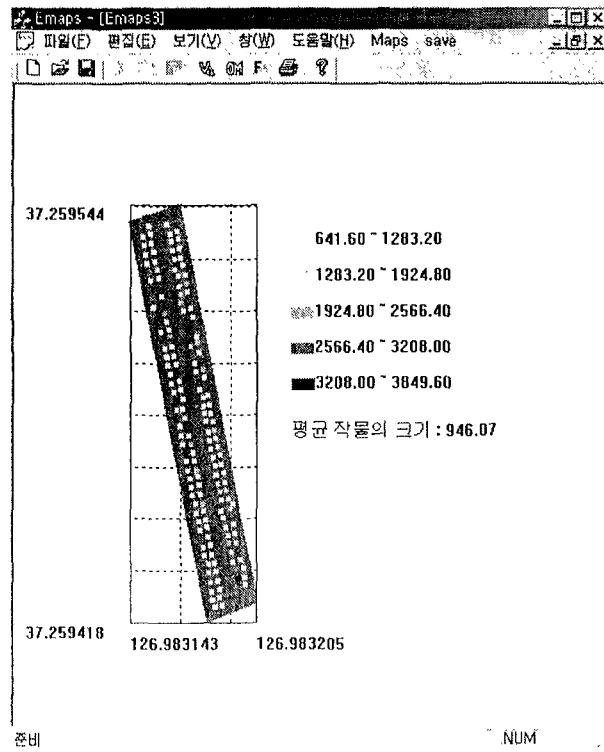


Fig. 2-101 무의 생육 상태 지도

4. 요약 및 결론

데이터베이스에 측정위치와 토양유기물 함량을 저장하는 토양 유기물 함량 계측 시스템, 작물의 잎 면적과 작물의 위치 정보를 데이터베이스에 저장하는 작물의 생육 상태 계측 시스템, 공간의 위치 정보를 추출하는 DGPS, 영상의 위치 정보를 보정하는 Gyro compass, 획득된 정보를 저장하는 데이터베이스로 이루어진 전자지도 작성 시스템을 구성하였다. 작성된 전자지도 작성 시스템을 이용하여 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장과 부속 과수원에서 데이터를 획득 저장하여 토양 유기물 함량 지도, 질소 시비량 지도, 무의 생육 상태 지도를 작성하였다.

7절. 결 론

농업용 전자지도 작성을 위한 연구를 수행하였다.

전자지도 작성을 위해 Microsoft Access를 사용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 전자지도 작성 알고리즘을 개발하였다. DGPS 시스템, 토양 유기물 함량 계측 시스템 그리고 작물의 생육 상태 계측 시스템을 구성하여 데이터를 입력받았다.

DGPS 시스템은 단순히 위치 데이터만을 입력받을 때 사용되며, 농경지의 Boundary 위치, 작물의 위치를 획득 데이터베이스에 저장하였다.

토양 유기물 함량 계측 센서는 근적외선 분광분석법을 이용하여 모델을 개발하였으며, 2%~8%까지의 토양 유기물 함량을 $R^2=0.82$, $SEP=0.82$ 로 계측할 수 있었다. 이 모델을 사용하여 토양 유기물 함량 계측 알고리즘을 개발하였으며, DGPS 시스템과 통합하여 토양 유기물 함량 계측 시스템을 통합 구성하였다.

또한 생육 상태 계측 시스템에 관한 기초 연구를 수행하였다. 수행된 결과에 의하면 근적외선의 반사도를 이용하여 작물의 생리장애는 예측할 수 없었으나, 작물의 잎면적과 근중과의 관계($R^2=0.6787$), 잎면적과 근장과의 관계($R^2=0.8426$), 잎면적과 최대근경과의 관계($R^2=0.7484$) 모두에서 만족할 만한 상관성을 나타내었다. 따라서 근적외선 영상을 이용한 생육 상태 계측은 적합하지 않은 것으로 판단하였고, CCD 카메라와 DGPS, 영상처리 시스템을 통합 구성하여 작물의 잎 면적을 이용한 작물의 생육 상태 계측 알고리즘을 개발하였다. 이렇게 획득한 데이터들은 데이터베이스에 저장된다.

데이터베이스에 저장된 데이터를 이용하여 전자지도를 작성하였다. 측정된 토양 유기물 함량 데이터를 이용하여 유기물 지도를 작성하였으며, 이를 이용하여 시비량 지도를 작성하였다. 또한 측정된 생육정보를 이용하여 작물의 생육 상태 지도를 작성하였다. 이렇게 생성된 전자지도는 농작업의 의사결정에 도움을 주며, 빠른 처방이 가능할 것으로 판단되었으며, 정밀 시비를 통해 환경문제를 줄일 수 있다고 판단된다.

3장 방제요구부위 검출 및 site-specific 방제 기술 개발

1절. 서 언

증가하는 세계 인구와 더불어 식량 문제가 가장 큰 외교문제의 하나로 대두되고 있다. 이러한 이유로 국가적 차원의 식량확보 및 안보 차원의 농업 생산성 증대를 위해 노력해 왔다. 이 과정에서 화학비료와 농약의 사용량의 증가는 불가피하다. 특히 제초제의 판매는 현저히 증가하여 95년도 세계 전체 판매액이 120억 US\$에 이르며, 국내의 경우 96년도 제초제 판매액이 천7백78억 원에 이른다(농약정보, 1997). 1999년 통계청 통계자료에 따르면 농업경영비 중 비료·농약비 항목이 1997년 11.3%, 1998년 13.8%, 그리고 1999년 현재 14%로 증가하는 추세로 나타났다. 특히 농약가격은 6.6% 하락하였음에도 채소류 등의 발작물 재배면적이 4.9% 증가함에 따라 비료·농약의 사용량이 증가하여 전년에 비해 7.1% 증가하였다.

하지만 이러한 농약 사용량의 증가는 경영비 증가에 따른 단위 농업생산성을 저하시키며, 국민의 식생활 증가에 따른 농산물의 품질향상에 대한 기대에 반할 뿐 아니라 국민보건 증진 측면에도 악영향을 미치게 된다. 또한 토양 및 수질오염의 원인이 되기도 한다. 토양오염은 수질 및 대기오염물질, 폐기물, 농약 및 화학비료 등 영농자재 등의 1차 오염물질이 장기간에 걸쳐 토양에 축적되는 축적성 오염이다. 한번 오염된 토양은 자연정화가 불가능하고 반영구적으로 오염물질이 토양 중에 존재하면서 농·축산물을 통해 인체에 쌓여 각종 만성적인 질병을 유발하게 된다. 즉, 오염 토양의 사후처리대책보다는 예방차원에서의 사전 오염방지대책 추진이 더욱 절실하다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 근본적 대책으로서 농약의 사용을 줄이는 것이 필요하며, 농약 사용량 중 큰 부분을 차지하는 제초제의 감소에 관한 연구 역시 절실하다.

관행의 방법은 국부적인 변이에 관계없이 일정량으로 필드 전체에 걸쳐서 제초제를 뿌리는 방식이었다. 이는 국부적으로 농약의 과다사용 및 과부족 현상을 불러 일으킬 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안 중 하나로 경작지 내의 국부적인 생육 환경 변이를 고려하여 작물을 재배하는 정밀 농업(precision farming)의 개념이 강조되기 시작하였다.

경작지 내에서의 국부적인 환경변이를 고려하여 작물을 재배하는 site specific crop management(SSCM)기법은 농약사용의 효과를 유지하면서, 사용되는 농약의 40~80%를 줄일 수 있다.(Heisel, 1997) 미국과 유럽 등 농업선진국에서는 이 목적을 달성하기 위해 점 살포 또는 지능방제를 가능하게 하는 기계시각의 응용에 대한 연구를 진행하고 있다. 대상작물과 잡초를 찾아내고 특징화하고 해석하는 연구를 바탕으로 점 살포방법이 실현되면 잡초가 있는 부분에만 제초제를 살포하여 농약의 총투입량을 크게 줄일 수 있다. 이는 토양·수질오염을 크게 줄일 뿐만 아니라, 농산물의 안정성 역시 향상시킬 수 있다. 이러한 기술에 핵심적인 잡초 검출 인자들의 구명은 대상 작물, 대상 잡초, 대상 식물체의 처리시기에 따라 달라지므로, 국내에서도 적용되어야 할 잡초들의 검출 기술에 대한 연구가 시급한 실정이다. 하지만 국내에서는 잡초 검출과 변량 살포에 대해 거의 연구된 바 없다.

따라서, 본 연구에서는 기계시각과 GPS 및 지자기센서를 이용하여 작물의 위치정보를 이용하여 실시간 적용 가능한 잡초 검출 및 방제 시스템을 개발하고자 하며, 다음과 같은 구체적인 목적을 가진다.

- 1) 잡초 검출 인자 및 검출 알고리즘을 구성한다.
- 2) 이동형 영상획득 장치를 구성하며, 획득한 영상을 통해 잡초 검출 알고리즘을 구현한다.
- 3) 분무 장치를 구성하고 노즐별로 ON/OFF 제어가 가능하도록 컨트롤러를 제작한다.
- 4) 구성된 장치 및 알고리즘을 정밀방제 시스템으로 통합한다.

2절. 관련 기술 동향

잡초의 구분을 위한 특성분석은 대상 식물체에 따라 개별적으로 연구가 진행되고 있다. 각 연구에서, 환경에 따라 복잡하게 변하는 잡초의 식별을 위해서는 식물과 그 이외의 것 사이의 대비가 이루어져야 한다. 이를 위해 색채 정보 분석, 근적외선 영역의 잎의 반사도 등이 그 동안의 연구에서 식물체를 배경과 구분하는 수단으로 제시되었다. 그러나 이러한 정보들은 흙 또는 잎의 독특한 특성, 조명의 특성 등의 영향을 받기 때문에 노지에서 기계시각이 적절히 제어되지 못하면, 변이가 커져 식물의 구분이 어려워진다.

이러한 문제점 해결방향에 따라, 잡초 검출을 위한 최근의 연구방향은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 제한된 조명조건 하에서 잡초와 작물들의 특성을 구명하는 연구방향이다. 이것은 조명조건에 대한 연구와 작물과 잡초간의 명확한 구분을 위한 특성분석의 연구로 이루어진다. 다른 하나는 실시간 적용을 위해 조(條)와 조(條) 사이의 잡초만을 검출 대상으로 하는 연구이다. 이러한 경우 조에 대한 위치 정보를 쉽게 얻을 수 있기 때문에 비교적 해상도가 낮은 영상으로도 잡초 검출이 가능하다. 그러나 같은 조(條) 내에서 작물들 사이에 위치한 잡초와 작물에 근접한 잡초의 검출이 어려운 단점을 가지고 있다.

토양과 식물체의 구분 또는 작물과 잡초의 식별을 위한 기계시각의 응용과 관련한 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Zhang과 Chaisattapagon(1995)은 미국 켄사스의 밭에서 밀과 일반적으로 발견되는 잡초를 구분해 낼 수 있는 기준을 색상, 형태, 질감의 세 측면에서 분석하여 제시하였다. 색상분석에서는 칼라 필터를 통해 얻은 화소의 명암도가 밀잎, 잡초잎, 잡초 줄기, 토양 등으로 구분하는 데 유효함을 밝혔다. 특히 빨간색과 녹색 필터의 짝은 빨간색 줄기를 가진 잡초를 효과적으로 구분함을 알아냈다. 형태분석에서는 중심편이(eccentricity), 단순도(compactness), 세개의 비가변 모멘트(invariant moment)가 넓은 잎을 가진 잡초와 밀을 나누는 데 효과적임을 밝혔다. 질감 분석에서는 잎의 선택된 영역에서 Fourier spectra가 사용되었다. 세밀한 잎맥을 가진 잡초를 이 기준으로 구별하였다.

Woebbecke 등(1995a)은 영상에서 잡초와 배경의 분리를 위하여 색상분석을 수행하였다. 특히 수정 색상, 2g-r-b지수, 녹색 크로마 좌표(chromatic coordinate)가 잡초를 주위환경으로부터 다른 지수들보다 잘 구분함을 보였다.

Mortensen 등(1995b)은 옥수수과 콩밭에서 발견되는 잡초의 구분을 위하여 대상 작물과 잡초 각각의 영상에 대해 형태분석을 수행하였다. 작물 발아 후 45일 동안의 영상에서 원형도,

장단비(aspect), 신장도(elongatedness), 7개의 비가변 중심 모멘트(invariant central moment), 둘레의 길이/두께 등의 특징을 분석하였다. 특히 장단비(aspect)와 1차 비가변 모멘트(first invariant moment)가 쌍떡잎 식물과 외떡잎 식물을 60%에서 90%의 정확도로 구분할 수 있음을 보였다.

Tian 등(1997)은 트랙터에 기계시각시스템을 구축하여, 조(條)를 따라 운행하면서 어린 토마토와 잡초의 영상을 획득하였다. 자연광에서 얻어진 영상에서 네 가지의 형태학적인 특징과 떡잎의 구조적인 특징을 이용하여 토마토를 검출하는 알고리즘을 개발하였다. 이 연구는 떡잎 상태의 토마토를 65%에서 78%에 이르는 정확도로 구분하는 실험결과를 보였다.

Giles 등(1998)은 외떡잎과 잡초 2종과 쌍떡잎과 잡초 2종의 슬라이드 사진을 디지털 영상화하여 영상처리를 수행하였다. Woebbecke(1995a)의 연구에서 밝힌 2g-r-b지수를 이용하여 잡초와 토양을 99%의 정확도로 구분하였다. 이를 이용하여 이치화된 잡초의 이미지에 결분석(Textural analysis)을 하였다. 상용 소프트웨어로 엔트로피, 지엽적 균일성, 관성 등의 통계량을 구하여, 외떡잎과(科) 잡초와 쌍떡잎과(科) 잡초로 각각 93%, 85%의 정확도로 구분하였다. 이는 기존의 형태분석을 통한 분류에 못 미치는 결과이다. 그러나 결분석을 통한 토양과 잡초의 구분은 97%의 높은 정확도를 보였다. 이 연구에서 토양과 잡초의 구분에 총 20~30초 정도가 소요되었다.

Steward 등(1998)은 작물 사이의 잡초를 검출하는 다양한 연구가 이루어졌으나 다양한 외부 조명 조건에서의 연구는 비교적 최근에 진행되어지고 있다는 점을 지적하였다. 이에 따라 실시간 적용 가능한 잡초검출 기계시각에 관한 연구를 행하였다. CCD 카메라를 이용하여 노광 조건에서 영상을 얻어 콩밭에서의 row 사이의 분류 알고리즘을 개발하고자 하였다. 평균적으로 분류에 걸리는 시간은 $0.91 \times 0.76m$ 에 대해 0.034초가 걸렸으며 표준편차는 0.011초였다.

Tian 등(1998)은 인공 조명이 아닌, 노광에서의 작물 구분 알고리즘을 개발하기 위해 EASA(environmentally adaptive segmentation algorithm)을 적용하였다. 맑은 때, 부분적으로 구름이 끼었을 때, 그리고 완전히 구름이 끼었을 때에 대하여 정적 분류 알고리즘에 대한 EASA의 성능개선을 연구하였다. EASA는 정적인 분류 방식에 대해 2.8~32배의 개선된 인식성능을 보였다. 큰 성능 개선에도 불구하고 실제 엽면적의 45~66%만이 인식되었다. 이는 잎의 overlap에 의해 발생하였다.

3절. 방제요구부위 검출을 위한 기초 연구

1. 대상 작물의 선택

일반적인 농약은 처리방법에 따라 토양처리제 또는 경엽처리제로 나눌 수 있다. 전자는 작물과 잡초가 자라나기 전에 토양전면에 살포하는 방식이다. 후자는 잡초가 2~5엽기 이내 일 때 살포하여야 효과를 얻을 수 있는 방식이다. 이 두 가지 처리방법 중 정밀 방제는 경엽처리제를 사용하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 경엽처리제가 뿌러지며 잎의 겹침이 적어 구분이 수월한, 잎이 3 내지 5개일 때로 대상작물의 생장시기를 정하였다.

또 대표적인 밭작물들인 고추, 참외, 수박, 무, 배추에 대해 정밀방제의 효용성을 평가하여 공시재료를 선택했다.

참외, 수박은 시설에서 재배되기 때문에 잡초에 의한 피해가 적을뿐더러 경엽처리제의 사용은 고온, 다습한 환경조건에서 약해가 커지기 때문에 위험하다. 고추의 경우 역시 일반적으로 비닐로 덮어 재배하는 방식이므로 잡초에 의한 피해도 적을뿐더러 방제 역시 어렵다. 그러나 무, 배추는 노지에서 대단위면적으로 재배됨으로 정밀방제의 효용성 면에서 다른 작물에 비해 적합하다.

배추의 경우 뿌리의 활착 능력이 좋지 않기 때문에 육묘한 다음 밭에 옮겨지지만 무는 밭에 직파된다. 육묘로부터 옮겨진 배추는 새로 나는 잡초보다 큰 상태이기 때문에 잡초보다 유리한 성장환경에 있게 되어 피해가 크지 않지만, 그러나 무는 처음부터 잡초와 같이 성장하기 때문에 잡초에 의한 피해가 크다. 따라서 이 연구에서는 우리 나라 밭작물에서의 정밀 방제 가능성과 효용성을 고려하여 무를 대상작물로 선택하였다.

2. 우점 잡초의 종류 및 특성

채소밭에서의 강해충의 정도를 나타내는 우점순위는 표 3-1에 나타난 바와 같으며, 쇠비름(purslane), 명아주(goosefoot), 바랭이(crabgrass) 이었다. 그림 3-1에 쇠비름·명아주·바랭이의 사진을 나타내었다.

Table 3-1 채소밭에서의 우점잡초

우점순위(dominant index)	종(species)	잡초 건조량 (g/m ²)
1	쇠비름(<i>Portuloca oleracea L.</i>)	3.7
2	바랭이(<i>Chenopodium album var.</i>)	2.6
3	명아주(<i>Digitaria sanguinalis Scop.</i>)	1.2

밭작물에 피해를 주는 잡초는 화본과와 광엽과로 크게 나눌 수 있다. 대상으로 하는 잡초 중 바랭이는 화본과의 외떡잎식물이며, 쇠비름·명아주는 광엽잡초로 쌍떡잎식물이다. 대상 작물인 무 역시 광엽식물이다. 현재에는 화본과에만 작용하는 선택성 제초제를 작물 출현 후 밭 전체에 대해 사용할 수 있기 때문에 화본과 잡초와 광엽잡초의 구분이 필요없다. 그러나 정밀방제의 적용에서는 형상인자를 이용한 쌍떡잎 식물간의 구분보다는 쌍떡잎식물과 외떡잎식물간의 구분이 용이하다는 관점에서 화본과 잡초와 광엽잡초의 구분이 중요하다. 현실적으로 타당한 시각센서 고안을 위한 기반조사로 우점잡초에 대한 일반적인 생태특징을 알아보았다. 그림 3-1은 대상으로 택한 잡초들의 사진이다.

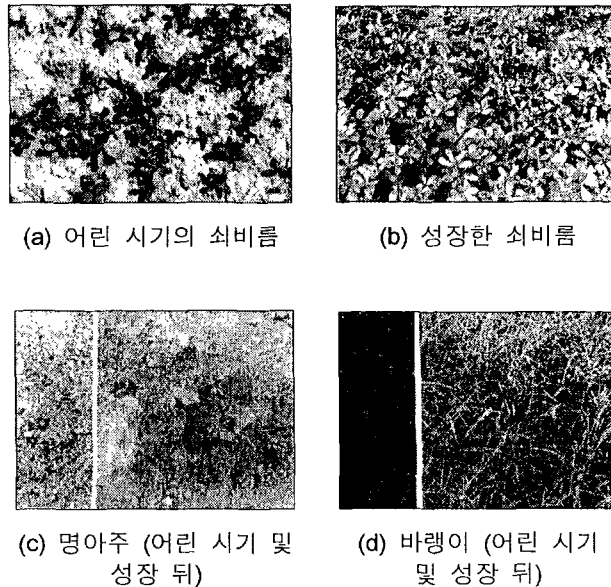


Fig. 3-1 우점 잡초의 칼라 영상

가. 쇠비름

밭이나 길가, 빈터 등 벌이 잘 드는 평지의 거의 어디서나 전국적으로 자라는 1년초이며

범세계적인 잡초이다. 전초가 다육질이고 줄기는 적자색이며 땅을 기나, 때로는 비스듬히 서기도 한다. 가지 밑부분은 땅에 닿으며 평활하고 생활력이 강하다.

잎은 길이 15~25mm 이고 짙은 녹색이며 끝이 둔하고 광택이 있다. 꽃은 황색이고 지름 1cm가량이며 개인 날의 오전 중에만 꽃이 핀다. 꽃받침조각 2개, 꽃잎 5개, 수술 7~12개이고 암술은 1개이다.

열매는 두터운 꽃받침에 싸이고 익으면 상부가 뚜껑모양으로 갈라져 종자를 방출한다. 종자는 찌그러진 원형으로 검은 빛이 돌고 가장자리가 약간 도톨도톨하다. 꽃은 7~8월에 핀다.

나. 명아주

밭이나 인가 주변의 빈터, 길가, 강둑 등에서 전국적으로 흔하게 무리 지어 자라는 1년초이다. 줄기는 높이 1.5~2m에 이르며 굽고 곧게 서며 다수의 녹색줄이 세로로 뻗어 있으며, 전주에 털이 없다. 잎은 부드럽고 삼각상 또는 마름모 모양으로서 길이 10cm이상인 경우도 있으며 가장자리에 물결모양의 둔한 톱니가 있으며, 잎자루가 길다. 어린 잎은 자홍색이나 생장하면 짙은 녹색으로 변한다. 가지 끝에 꽃잎이 없는 작은 황록색 꽃이 조밀하게 이삭모양의 화서를 이룬다. 꽃받침은 깊게 5개로 갈라진다. 5개 수술과 2개 암술대가 있다. 열매는 편원형의 포과이고 꽃받침에 싸인다. 종자는 흑색이고 광채가 있다. 어린 잎이 적색으로 물들지 않는 것이 흰명아주(*C. album* L.)이며 학명상으로 명아주의 기본종이다. 국외는 일본, 중국에 분포한다. 꽃은 6~7월에 핀다.

다. 바랭이

각처의 길가나 밭에서 잡초로서 흔하게 자라는 1년초이다. 줄기부는 땅을 기며 마디에서 뿌리가 나고 상부는 곧게 서며 높이 30~70cm이다. 잎은 길이 8~20cm, 폭 5~15 mm이며 엽초에 엽설이 변한 긴 털이 있다. 줄기 상단에서 3~8개의 가지가 갈라지고 길이 3mm가량인 잔이삭이 2일로 조밀하게 달린다. 포영은 보통 1개이고 잔이삭보다 길다. 호영과 내영은 크기가 같고 까끄라기가 없다. 범세계적인 잡초이다. 꽃은 8~9월에 핀다.

3. 무와 잡초의 광학적 특성 분석

가. 무와 잡초의 엽록소 함량 측정

1) 실험 방법 및 장치

본 연구에서 사용한 엽록소 측정기(Chlorophyll meter, Minolta Co. Ltd., SPAD-502)는 엽 표면에 650nm와 940nm의 빛을 조사하여, 600~700nm의 영역과 엽록소의 흡수가 없는 적외선

영역에서 나오는 반응을 광학 농도차 측정방식에 의해, 엽내 엽록소 함량을 -9.9부터 199 사이의 값으로 나타내 주는 장치이다. 측정값의 단위는 일본 농림수산성에서 제시한 SPAD(soil and plant analyzer development) 값으로 엽록소의 함량을 나타내어 측정 엽간의 상대적인 차이를 알 수 있다. 본 측정기기를 이용하여, 무 잎의 엽록소 함량을 측정하는 모습을 그림 3-2에 나타내었다.

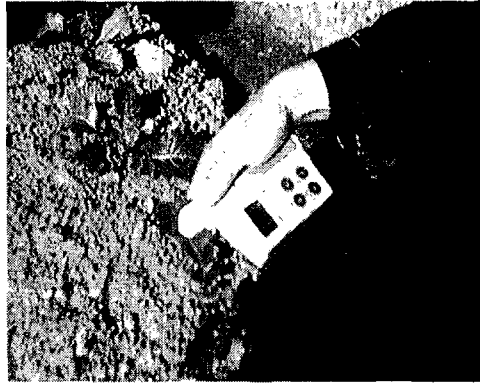
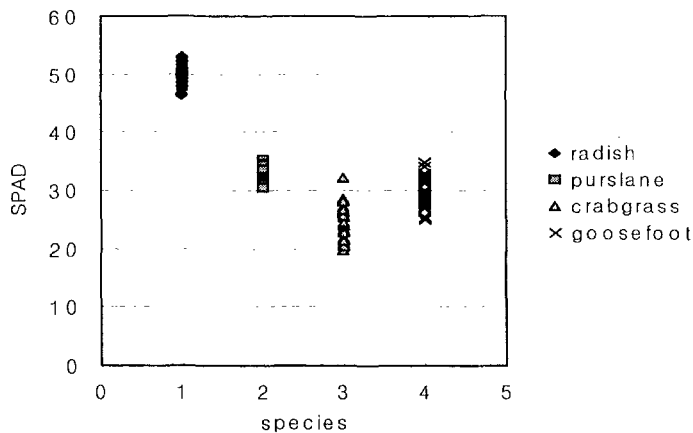


Fig. 3-2 엽록소 측정기

2) 결과 및 고찰

엽록소 측정기를 사용하여 무와 잡초의 엽록소 함유 정도를 측정한 결과를 그림 3-3에 나타내었다. 무와 잡초, 각각 30개의 잎에 대해 측정한 결과이다.



SPAD : soil and plant analyzer development

Fig. 3-3 무와 잡초의 엽록소 함량

측정치에 대한 분산분석 결과를 표 3-2에 나타내었다. F 분포에 있어서 F 이상의 값이 발생할 확률 P 값과 유의수준 $\alpha=0.01$ 을 비교하여 함량이 같다는 귀무가설의 기각여부를 판정하였다. 표 3-2 (a), (b), (c)의 P 값이 유의수준보다 작으므로, 무와 쇠비름, 무와 바랭이, 무와 명아주의 엽록소 함량이 같다는 귀무가설을 기각하였다. 즉 무와 대상잡초는 엽록소 함량이 다르다.

Table 3-2 무와 잡초의 엽록소 함량의 분산분석

(a) 무와 쇠비름의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	4236.961	1	4236.961	1560.311	1.27E-43	7.093
잔 차	157.496	58	2.7156			
계	4394.457	59				

(b) 무와 바랭이의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	9255.384	1	9255.384	1516.662	2.8E-43	7.093
잔 차	353.943	58	6.10271			
계	9609.327	59				

(c) 무와 명아주의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	5898.434	1	5898.434	1117.36	1.36E-39	7.093
잔 차	306.176	58	5.279			
계	6204.61	59				

나. 무와 잡초의 수분 함량 측정

1) 실험방법 및 장치

수분 함량 측정을 위해 오븐법을 사용하였다. 앞만으로 구성된 시료 5g을 오븐 속에 넣고 135°C에서 24시간 건조시켰다. 0.1mg까지 나타낼 수 있는 저울로 무게를 측정하였다. 물질 내에 포함되어 있는 수분을 그 물질의 총무게로 나눈 습량기준함수율로 수분 함량을 표시하였다. 실험 모습을 그림 3-4에 나타내었다.

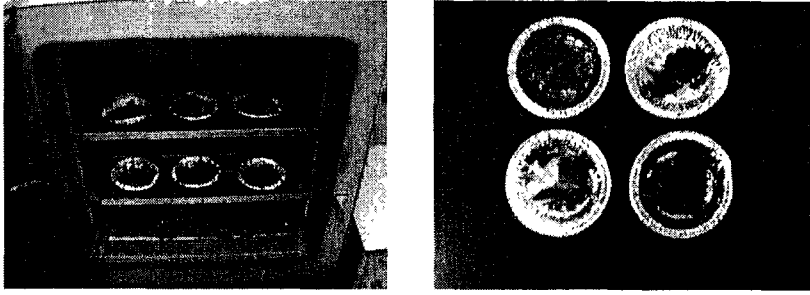


Fig. 3-4 수분 함량 측정을 위한 샘플

2) 결과 및 고찰

오븐법을 사용하여 측정된 무와 잡초의 습량기준 함수율을 그림 3-5에 나타내었으며, 이를 검정한 분산분석 결과를 표 3-3에 나타내었다. 무와 바랭이는 유의수준 $\alpha=0.01$ 로 검정할 때, 수분 함량이 다르나, 무와 쇠비름, 무와 명아주는 유사한 값을 가지므로(유의수준 1% 이상), 결과적으로 수분 함량 차이는 없는 것으로 판단되었다.

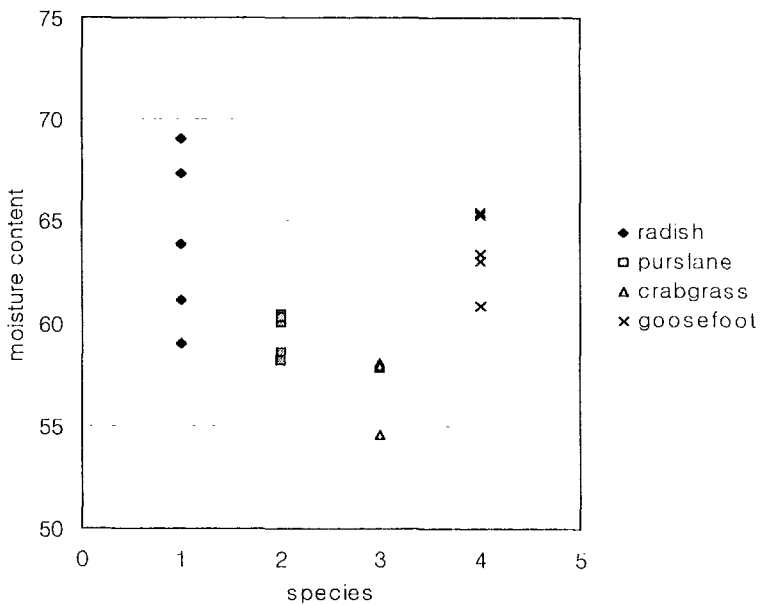


Fig. 3-5 무와 잡초의 수분 함량

Table 3-3 무와 잡초의 수분 함량에 대한 분산분석

(a) 무와 쇠비름의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	52.328	1	52.328	5.668	0.0445	11.259
잔 차	73.862	8	9.233			
계	126.191	9				

(b) 무와 바랭이의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	116.699	1	116.699	11.900	0.00870	11.259
잔 차	78.453	8	9.807			
계	195.152	9				

(c) 무와 명아주의 분산분석

변동의 요인	제 곱 합	자 유 도	제 곱 평균	F 비	P-값	F 기각치
처 리	0.533	1	0.533	0.0511	0.827	11.259
잔 차	83.498	8	10.437			
계	84.031	9				

4. 무와 잡초의 형태학적 특성 분석

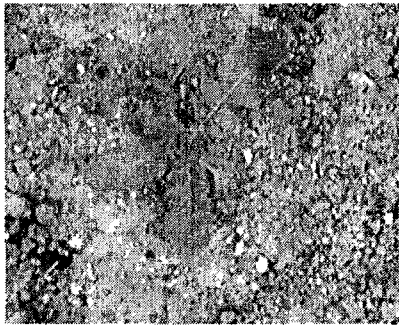
가. 실험재료 및 방법

1) 실험장치 구성

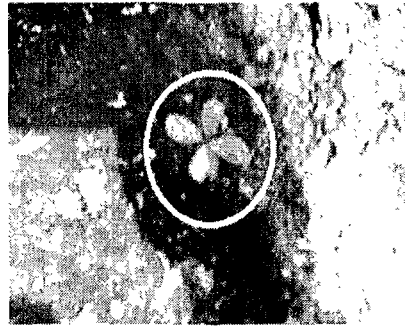
실제 노지에서의 잡초와 무의 영상을 획득하기 위하여 서울대학교 부설 농장에 무를 직접 재배하였으며, 사진을 그림 3-6에 나타내었다. 직접 파종하여 잎이 3 내지 5개가 된, 6월에 디지털 카메라(모델SDC-33, Samsung, Korea)로 무, 쇠비름, 바랭이 명아주 각각에 대해 50, 50, 40, 10개씩의 칼라영상을 얻었다. 영상의 수는 발생빈도에 바탕해 얻었다. 이들에 대한 분석을 바탕으로 잡초 검출 기술의 성능 평가를 위해, 11월에 무와 잡초의 영상을 61개 획득하였다. 6월에 획득한 무·쇠비름·명아주·바랭이의 사진을 그림 3-7에 나타내었다. 11월에 획득한 영상을 그림 3-8에 나타내었다.



Fig. 3-6 서울대학교 부속농장 내의 무농장



(a) 무



(b) 쇠비름



(c) 바랭이



(d) 명아주

Fig. 3-7 무와 다양한 잡초의 칼라 영상



Fig. 3-8 무와 잡초의 칼라 영상

2) 실험 방법

가시광선 영상을 이용한 잡초 인식은 그림 3-9에 나타난 바와 같은 패턴 분류 접근 방법에 기반해 이루어졌다. 무와 잡초를 구분하기 위한 특징으로 무차원 형상인자 값을 추출하였으며, 통계적인 방법을 통해 얻은 결정함수를 이용한 분류를 시도하였다.

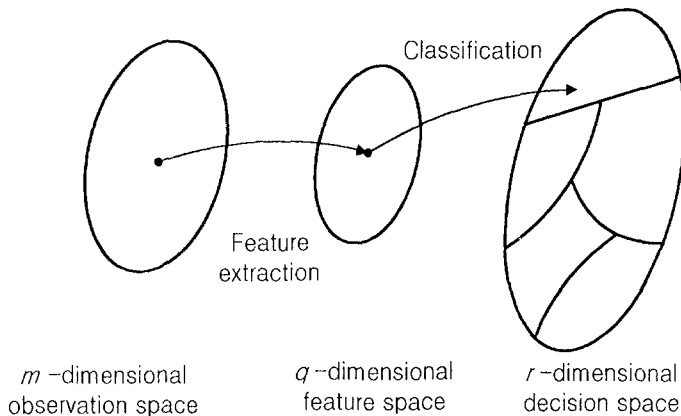


Fig. 3-9 전통적인 패턴 분류법의 예

디지털 카메라(모델SDC-33, Samsung, Korea)로 무, 쇠비름, 바랭이, 명아주 각각에 대해 50, 50, 40, 10개씩의 칼라영상을 획득하여 jpg 형식의 그래픽 파일로 저장하였다.

기하학적 특징 추출 과정은 영상처리 소프트웨어인 Image-Pro Plus(Media Cybernetics, USA)를 통해 전체 영상에서 작물 및 잡초를 분리해 내는 작업과 분리된 영상으로부터 기하학적 특징을 얻어내는 작업을 통해서 이루어졌다. 기본적인 기하학적 특징 값으로 면적, 둘

레길이, 대상체를 둘러싸는 가장 작은 직사각형의 가로와 세로의 길이, 대상체의 주축 방향으로 둘러싸는 가장 작은 직사각형의 두 변의 길이를 추출하였다. 이에 대한 정의를 그림 3-10에 나타내었다. 구해진 기하학적 특징 값을 이용하여, 대상체의 크기나 이동에 영향을 받지 않는 무차원 형상인자 값을 추출하였다. 형상인자의 정의를 표 3-4에 나타내었다.

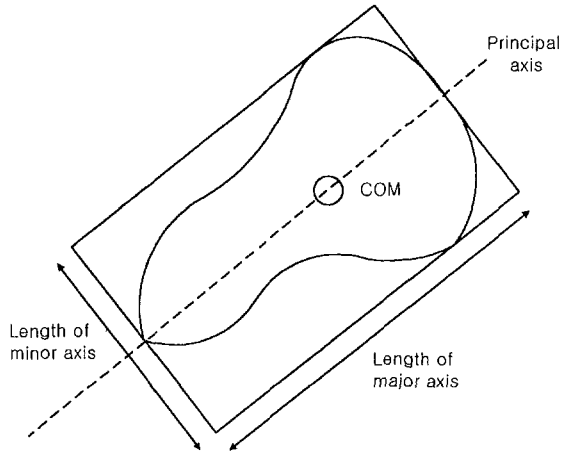


Fig. 3-10 형상인자의 예

Table 3-4 여러 형상 인자의 정의

Shape Features	Definition
Aspect	$\frac{\text{length of major axis}}{\text{length of minor axis}}$
Roundness	$\frac{\text{perimeter}^2}{4 * \pi * \text{area}}$
Compactness	$\frac{100 * \text{area}}{\text{perimeter}^2}$
Elongation	$\frac{\text{length of major axis} - \text{length of minor axis}}{\text{length of major axis} + \text{length of minor axis}}$
PTB (perimeter to broadness)	$\frac{\text{perimeter}}{2(\text{length} + \text{width})}$
LTP (length to perimeter)	$\frac{\text{length}}{\text{perimeter}}$
LTW (length to width)	$\frac{\text{length}}{\text{width}}$
PTAL (cube of perimeter to area by length)	$\frac{\text{perimeter}^3}{100 * \text{area} * (\text{length of major axis})}$

무와 잡초의 구분에 유의한 형상인자들을 선정하기 위하여 통계패키지(SAS version 6.11)의 판별분석 절차 중의 하나인 변수선택법(STEPDISC procedure)을 이용하여 유의한 형상인자들을 선정한 다음, 이들을 판별분석절차(DISCRIM procedure)를 통하여 판별성능이 가장

양호한 결과를 나타내는 형상인자를 선택하였다.

① 변수선택법을 이용한 식별인자 선정

SAS에서 제공되는 변수선택법은 가능한 한 가장 유용하다고 판단되는 변수들의 집합을 선택하는 절차로서, 전방선택법(forward selection), 후방소거법(backward elimination), 단계별 선택법(stepwise selection) 등이 있다. 주어진 기준에 따라 집단간의 차이를 가장 잘 나타내는 변수들을 선택하는 기준으로 (i) 집단내 분산에 대한 집단간의 분산의 증감을 고려하는 F-통계량이나 U-통계량, (ii) 분류방법의 오분류율(misclassification rate)을 고려하였으며 일차적으로 단계별 선택법을 사용하여 선별에 유의한 형상인자를 선택하였다. 단계별 선택법은 가장 큰 판별력을 가지는 변수선택으로부터 시작해서, 나머지 변수들 중에서 처음 선택된 변수와 짝을 이룰 때 가장 좋은 판별력을 가지는 변수를 택한다. 이와 같은 단계를 반복하며, 각 단계마다 이미 앞서 선택된 변수들을 제외하게 된다. 만약 이들 중 판별에 충분한 공헌도가 인정되지 않는 변수들이 있으면 이들은 일단 제거되지만 완전히 고려대상을 벗어나지는 않고 나중 단계에서 다시 선택의 대상이 될 수 있다.

② 판별분석을 이용한 식별능력 분석

상기에서 무와 잡초의 구분에 가장 유의한 것으로 판별된 형상인자들을 이용하여 최대한의 분리를 목적으로 판별분석 절차(DISCRIM procedure)를 이용하였다. 판별분석절차는 임의의 판별기준으로서 일반화된 거리제곱(generalized squared distance)을 구하는 것이다.

어떤 객체 X로부터 부분집단 중심까지의 거리에 따라 객체 X를, 그로부터 가장 가까운 집단에 소속시키는 분류방법은 곧 특정집단에 소속할 확률이 가장 큰 집단에 이를 소속시키는 것과 동일할 것이다.

그러나, 각 객체에 대응되는 소속확률을 이용한다는 것은 단순히 가장 인접된 집단에 소속시키는 것 이상의 어떤 의미를 가지고 있다. 이를테면, 한 객체가 두 개 이상의 집단에 속할 확률이 모두 큰 경우나 또는 모두 작은 경우를 생각하면, 일반화된 거리(generalized distance) $D_i^2(X)$ 를 이용하여 각 객체 X가 집단 G_i 에 속할 사후확률(posterior probability)

$$P_i(X) = \text{Exp}(-0.5D_i^2(X)) / \sum_{j=1}^k \text{Exp}(-0.5D_j^2(X)) \dots\dots\dots (3-1)$$

을 계산하는 것이 바람직하다. SAS DISCRIM은 $P_i(X)$ 가 P_1, \dots, P_k 중에서 최대값일 때 X를 집단 G_i 에 분류하는 방법으로 상대적 의미를 고찰한다.

나. 결과 및 고찰

잡초의 분류특성을 분석하기 위해 디지털 카메라(모델SDC-33, Samsung, Korea)로, 여러 온실에서 3~5엽의 무·쇠비름·명아주·바랭이 각각에 대해 10개씩의 칼라영상을 얻었다. 이것을 TIF 형식의 그래픽 파일로 저장하였다. 기하학적 특징 추출 과정은 전체 영상에서 작물 및 잡초를 분리해 내는 작업과 분리된 영상으로부터 기하학적 특징을 얻어내는 작업을 통해서 이루어졌다. 그래픽 처리 소프트웨어인 photoshop(Adobe System, USA)을 이용하여 영상에서 대상체(작물, 잡초)를 분리하여 색채분석을 수행하였다. 분리된 대상체의 영상으로부터 영상처리 소프트웨어인 Image-Pro Plus4.1(Media Cybernetics, USA)를 통해 기하학적인 특징을 분석하였다.

1) 기하학적 특징 추출

형상인자를 얻기 위해 원래의 영상으로부터 대상식물을 분리하여 흑백 이미지로 저장하여 각 형상인자에 대한 값을 구하였다. 이치화된 흑백 영상을 그림 3-11에, 무와 잡초의 형상인자의 분석 결과를 그림 3-12에 나타내었다. 또한, 무와 잡초의 형상인자에 대한 평균값을 그림 3-13에 나타내었고, 형상인자에 대한 평균값과 분산값을 표 3-5, 3-6에 나타내었다.

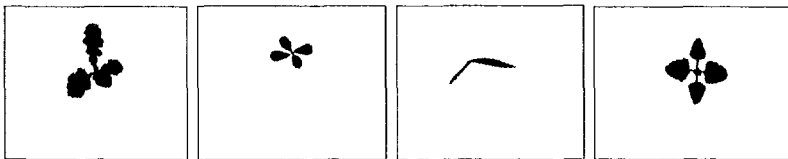
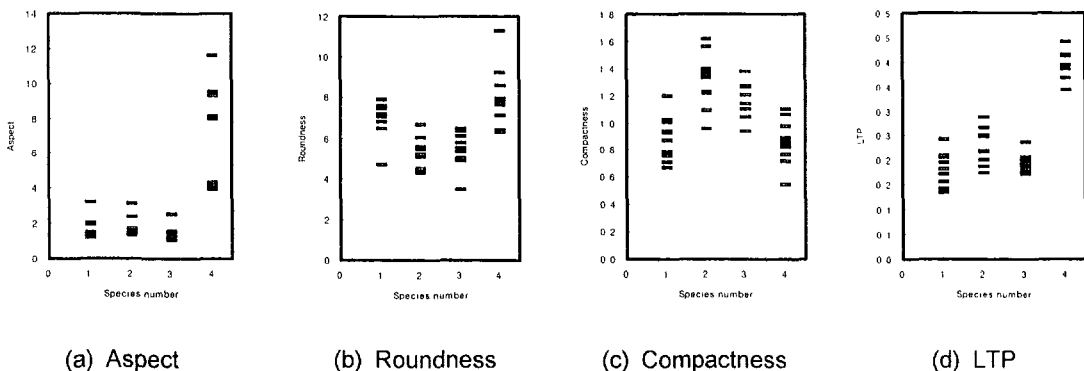
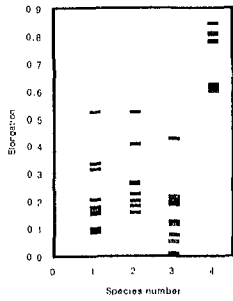
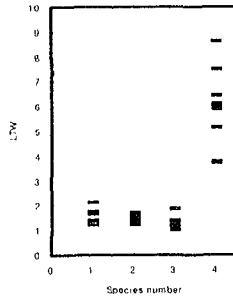


Fig. 3-11 이치화된 영상

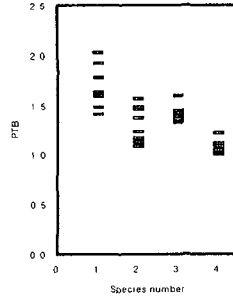




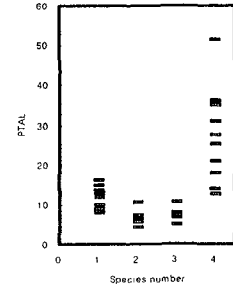
(e) Elongation



(f) LTW



(g) PTB



(h) PTAL

1, 무; 2, 쇠비름; 3, 명아주; 4, 바랭이

Fig. 3-12 다양한 식물체의 형상인자

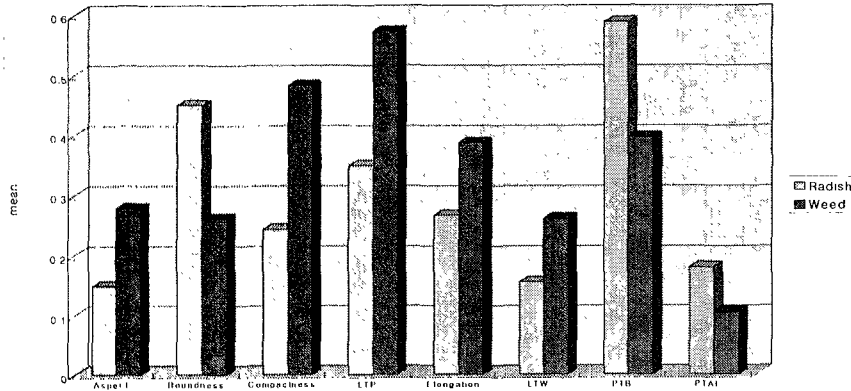


Fig. 3-13 형상인자의 평균값

Table 3-5 무의 형상인자 값 (N=50)

Variable	Mean	Variance	Std Dev
Aspect	0.149	0.0017	0.041
Roundness	0.449	0.0163	0.128
Compactness	0.243	0.0044	0.066
LTP	0.349	0.0027	0.052
Elongation	0.266	0.0102	0.101
LTW	0.155	0.0007	0.026
PTB	0.587	0.0054	0.073
PTAL	0.179	0.0048	0.069

Table 3-6 잡초의 형상인자 값 (N=100)

Variable	Mean	Variance	Std Dev
Aspect	0.278	0.0556	0.236
Roundness	0.260	0.0083	0.091
Compactness	0.482	0.0282	0.168
LTP	0.571	0.0260	0.161
Elongation	0.386	0.0690	0.263
LTW	0.260	0.0406	0.201
PTB	0.396	0.0028	0.053
PTAL	0.105	0.0087	0.093

2) 형상데이터의 판별분석

판별변수의 최적결합을 찾는 데에 매우 논리적이고 효율적인 방법으로 많이 이용되는 변수선택법에 의해 선정된 유의한 형상인자를 표 3-7에 나타내었다.

Table 3-7 SAS 판별분석의 변수선택법 결과

STEP	Parameter	Partial-R ²	F statistics	Probability > F	Wilk's lambda	Average Squared Canonical Correlation
1	PTB	0.6926	333.441	0.0001	0.30741020	0.68258980
2	ELONG	0.0774	12.341	0.0006	0.28360129	0.71639871
3	ASPECT	0.0351	5.310	0.0226	0.27364840	0.72635160

판별변수의 최적결합으로 제시된 형상인자 장단비(aspect), 신장도(elongation), PTB를 이용하여, 판별분석 절차를 수행하였고, 그 결과를 표 3-8에 나타내었다.

Table 3-8 올바르게 분류한 객체 수와 평균 사후확률

TYPE		radish	weed	Total
radish	Hit numbers	46	4	50
	(percent)	92.00	8.00	100.00
	Average posterior probability	0.9631	0.7880	
weed	Hit numbers	2	98	100
	(percent)	2.00	98.00	100.00
	Average posterior probability	0.6083	0.9703	

분류행렬을 나타낸 표 3-8에 의하면 무는 50개 객체 중 46개가 바로 분류되었고, 잡초는 100개 중 98개가 바로 분류되었음을 알 수 있다. 판별분석을 통해 유도된 판별함수를 사용할 경우 전체 150개 무와 잡초의 객체 중에서 6개 즉 4%의 오분류를 범하고 있음을 알 수 있다. 무로 분류될 사후확률과 잡초로 분류될 사후확률의 순서쌍을 이용하여 도시함으로써 판별분석의 결과를 개괄적으로 파악할 수 있도록 그림 3-14에 나타내었다.

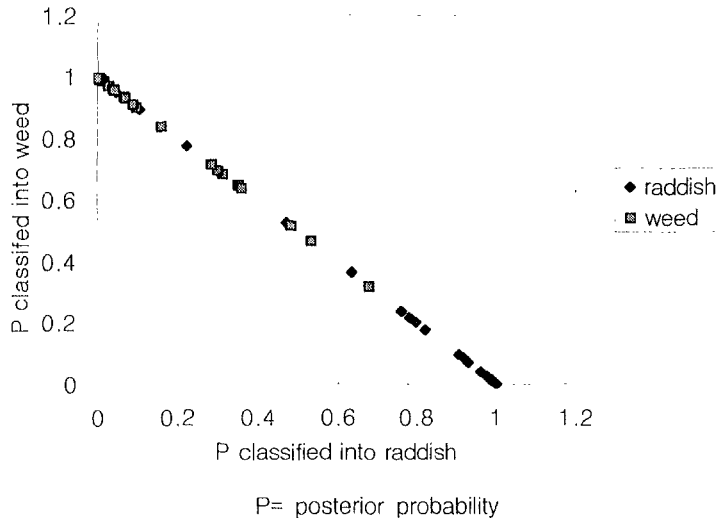


Fig. 3-14 사후확률을 이용한 산포도

위에 나타난 형상인자 결과를 이용하여 잡초 및 작물, 또는 잡초간의 구분 가능성을 알아보기 위하여 판별분석(discriminant analysis)을 수행하였다.

(a) 화본과 식물과 광엽과 식물과의 구분

바랭이(화본과)와 나머지 식물(광엽과)과의 구분은 하나의 형상인자만으로 수행되었다. 바랭이 10개의 이치화된 영상을 X 그룹으로, 나머지 식물의 30개의 영상을 Y 그룹으로 분류하여 입력한 데이터에 대한 결과 값을 표 3-9에 나타내었다. 바랭이의 영상 10개 모두를 바랭이로 옳게 판별한 형상인자 4가지를 표 3-9 (a)로, 그렇지 않은 형상인자를 표 3-9 (b)에 나타내었다.

Table 3-9 바랭이로 분류된 경우의 수와 퍼센트

(a) aspect, elongation, LTP, LTW를 이용한 판별 결과

From \ To	Aspect		Elongation		LTP		LTW	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
Y	93.33% (28)	6.67% (2)	93.33% (28)	6.67% (2)	100.0% (30)	0.00% (0)	100.0% (30)	0.00% (0)
X	0.00% (0)	100.0% (10)	0.00% (0)	100.0% (10)	0.00% (0)	100.0% (10)	0.00% (0)	100.0% (10)

(b) compactness, PTAL, PTB, roundness를 이용한 판별결과

From \ To	Compactness		PTAL		PTB		Roundness	
	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
Y	86.67% (26)	13.33% (4)	96.67% (29)	3.33% (1)	93.33% (28)	6.67% (2)	93.33% (28)	6.67% (2)
X	70.00% (7)	30.00% (3)	20.00% (2)	80.00% (8)	10.00% (1)	90.00% (9)	50.00% (5)	50.00% (5)

* X : 바랭이, Y : 그 외 식물(무, 쇠비름, 명아주)

바랭이의 좁고 긴 잎의 형태특징때문에 큰 값을 보였던 형상인자의 경우 판별분석에서 높은 판별률을 보였다. 특히 LTP, LTW에서는 바랭이와 나머지 식물과의 구분이 정확히 이루어졌다.

(b) 무 · 쇠비름 · 명아주 사이의 구분

무 · 쇠비름 · 명아주의 이치화된 30개 이미지를 형상인자 하나 또는 두 개를 이용하여 판별분석을 시행하였다.

① 형상인자 하나만을 이용한 경우 (일차원 판별)

형상인자 하나만을 이용한 판별분석 결과를 표 3-10에 나타내었다. 무는 상대적으로 둘레의 길이가 길기 때문에 둘레의 길이에 직접적인 영향을 받는 단순도와 원형도의 형상인자에서 판별률이 높게 나타났다. 명아주는 대칭적인 전체형상의 특성 때문에 길이비(aspect, LTW) 또는 가로와 세로 길이의 합(PTB)과 관련한 형상인자로 잘 판별되었다. 이에 비해 쇠비름은 위에서 본 형상에서 잎의 수가 2~4개로 일정치 않아 다른 식물에 비해 판별률이 높지 않았다.

② 형상인자 두 개를 이용한 구분(이차원 판별)

무·쇠비름·명아주에 대한 판별률을 높이기 위해 형상인자 두 개를 이용하는 판별분석을 수행하였다. 여덟가지의 형상인자 중 가능한 두 개의 조합인 24가지의 경우를 조사하여 결과를 표 3-11에 나타내었다.

이차원 판별결과로부터 무는 PTB, LTP, LTW, Elongation과 관련한 형상인자의 조합에서 잘 구분됨을 알 수 있다. 여기서 LTP, LTW, Elongation은 1차원 분석결과에서도 무에 대한 판별률이 높았던 형상인자이다. 쇠비름은 순서쌍 (LTP, PTB)에서, 명아주는 순서쌍 (Compactness, PTB)과 순서쌍 (PTAL, PTB)에서 판별률이 높았다.

이차원 판별결과에서 PTB가 무에서 뿐만 아니라 쇠비름, 명아주에서도 좋은 판별결과를 보이는 형상인자로서 작용함을 알 수 있다. 이러한 경향을 그림 3-15에 나타내었다. 가장 좋은 판별결과를 보인 순서쌍 (LTP, PTB)과 순서쌍 (단순도, PTB)의 이차원 분포도를 그림 3-16과 그림 3-17에 나타내었다. 형상인자의 순서쌍 (LTP, PTB)를 사용한 경우, 각 10개씩의 이미지로부터 무를 9개, 쇠비름을 9개, 명아주를 8개 올바르게 구분하였으며, 순서쌍 (단순도, PTB)의 경우는 무를 9개, 쇠비름 7개, 명아주 9개를 올바르게 판별하였다.

Table 3-10 단일 형상인자로 옳게 판별된 경우의 수

Shape Feature	Percent of Correct Classification		
	Radish	Purslane	Goosefoot
Aspect	0	3	* 9
Compactness	* 9	6	4
Elongation	1	5	6
LTP	6	6	6
LTW	3	3	8
PTAL	7	* 7	3
PTB	7	4	* 9
Roundness	* 9	6	4

* : 무, 쇠비름, 명아주를 가장 잘 분류한 형상인자

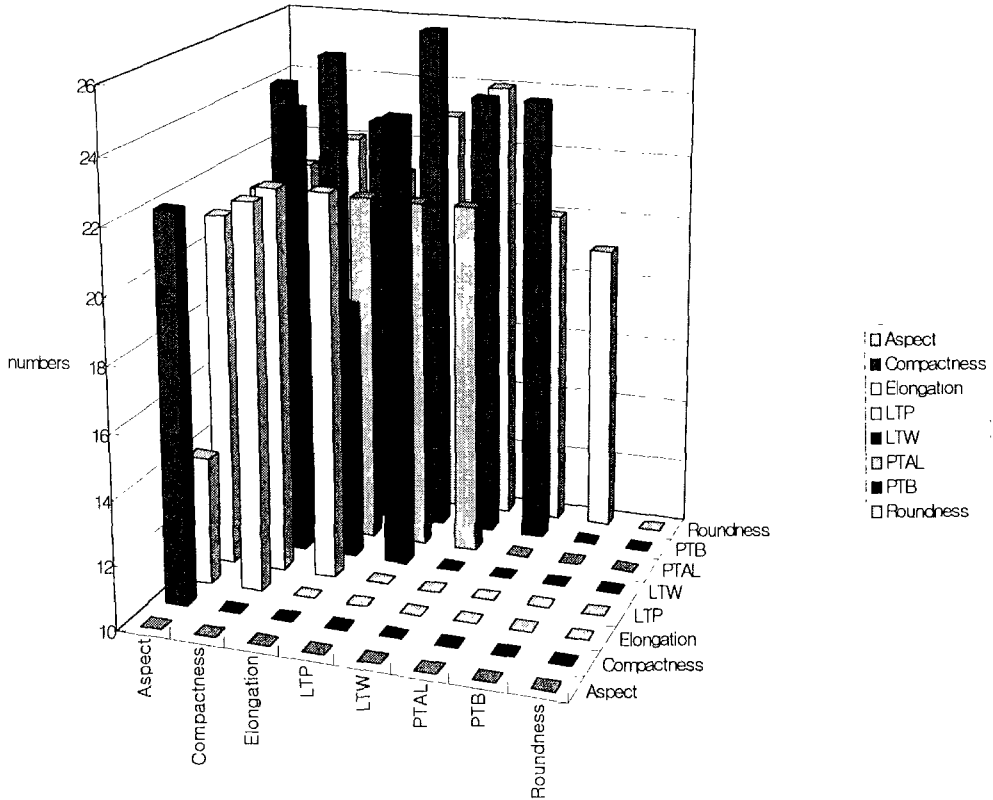


Fig. 3-15 두 개의 형상인자를 사용하여 옳게 판별한 경우

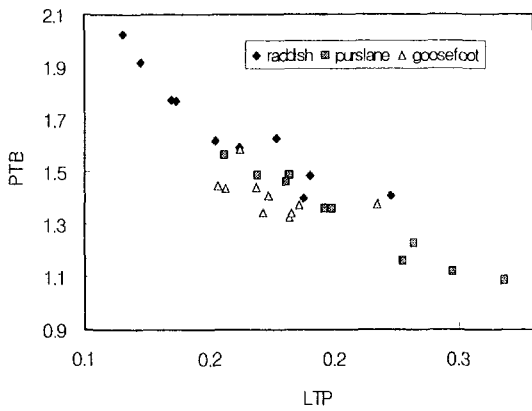


Fig. 3-16 (LTP, PTB) 순서쌍의 그래프

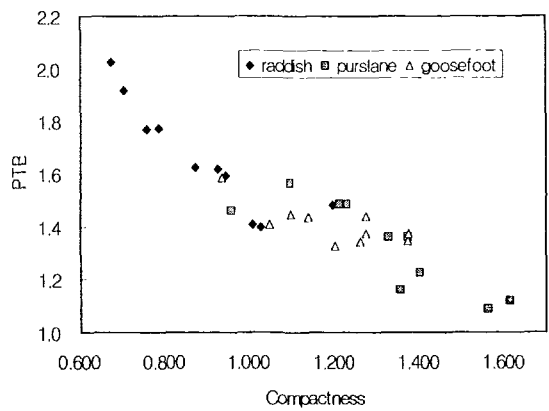


Fig. 3-17 (Compactness, PTB) 순서쌍의 그래프

Table 3-11 두 개의 형상인자를 사용하여 옳게 판별된 경우의 수

Shape Features	Numbers of Correct Classification			
	Radish	Purslane	Goosefoot	Total
(Aspect, Compactness)	8	6	8	22
(Aspect, Elongation)	0	8	6	14
(Aspect, LTP)	7	6	8	21
(Aspect, LTW)	5	4	8	17
(Aspect, PTAL)	7	6	8	21
(Aspect, PTB)	* 9	7	8	24
(Aspect, Roundness)	* 9	4	8	21
(Compactness, Elongation)	* 9	6	7	22
(Compactness, LTP)	* 9	6	7	22
(Compactness, LTW)	* 9	7	8	24
(Compactness, PTAL)	7	6	5	18
(Compactness, PTB)	* 9	7	* 9	25
(Compactness, Roundness)	* 9	8	5	22
(Elongation, LTP)	8	6	8	22
(Elongation, LTW)	4	6	8	18
(Elongation, PTAL)	7	7	7	21
(Elongation, PTB)	* 9	7	7	23
(Elongation, Roundness)	* 9	5	7	21
(LTP, LTW)	* 9	7	8	24
(LTP, PTAL)	7	6	8	21
(LTP, PTB)	* 9	* 9	8	* 26
(LTP, Roundness)	* 9	6	8	23
(LTW, PTAL)	7	7	7	21
(LTW, PTB)	8	8	8	24
(LTW, Roundness)	* 9	7	8	24
(PTAL, PTB)	8	7	* 9	24
(PTAL, Roundness)	8	7	5	20
(PTB, Roundness)	8	4	7	19

* : 무, 쇠비름, 바랭이를 가장 잘 판별한 경우

5. 결 론

방제요구부위 검출을 위한 기초연구로서 무를 대상 작물로 선택하였고, 우점 잡초의 종류와 특성에 대해 분석하였다. 무와 잡초의 식별인자를 찾기 위하여 광학적 특성 및 형태학적 분석을 실시하였다.

무와 작물의 광학적 분석은 대상체의 엽록소 함량 및 수분 함량을 측정하여 식별인자로서

유의한가를 통계적 방법을 이용하여 행하였다. 실험결과 작물과 잡초에 대해 엽록소 함량이 유의한 차이를 나타내었다. 그러나 수분 함량은 무와 잡초가 유의한 차이를 나타내지 않았다. 따라서 엽록소 함량을 무와 잡초의 판별 인자로서 사용 가능할 것으로 판단되었다.

형태학적 분석에서는 작물과 우점 잡초의 칼라영상을 디지털 카메라로 획득하고 영상처리 후 여러 가지 기하학적 특징을 추출하였다. 이 값들을 이용하여 무차원의 여러 형상인자 값을 계산하여 판별분석을 수행하였다.

형태학적 분석을 통한 통계적인 판별분석을 이용한 작물과 잡초의 검출에 관한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 화본과 식물과 광엽과 식물의 이미지 40개 모두가 하나의 형상인자 LPT 또는 LTW를 사용하여 정확히 판별되었다.
2. 형상인자 하나만을 통한 일차원 판별에서 무는 단순도와 원형도에 의해, 쇠비름은 PTAL에 의해, 명아주는 장단비와 PTB에 의해 가장 잘 구분되었다.
3. 형상인자 두 개를 이용한 무·쇠비름·명아주 사이의 이차원 판별에서는 (LTP, PTB)가 각 10개씩의 이미지로부터 무의 이미지를 9개, 쇠비름 9개, 명아주 8개를 올바르게 판별하였다.
4. 형상인자를 사용하여 무와 잡초가 검출 가능할 것으로 판단되었다.

4절. 근적외선 영상 처리에 의한 방제 요구 부위 검출 알고리즘 개발

근적외선 카메라를 이용하여 획득하는 영상은 잎의 근적외선 영역대의 반사특성을 반영한다. 근적외선 영역대에서 잎의 분광반사 특성은 엽록소 함량, 수분 함량, 엽령 및 내부구조의 영향을 받는다(홍석영, 1998). 잎의 경우, 일반적으로 특정 파장대에서 반사율이 높다는 것은 총 엽록소 함량이 낮다는 것이며, 반사율이 낮다는 것은 엽록소 함량이 높다는 것이다. 또한, 1350~2500 nm에서 식물의 잎 반사는 순수한 수분의 흡수와 동일함이 보고된 바 있다(Frank, 1990). 본 연구에서 행한 기초실험 결과에 따르면 무와 잡초간의 엽록소 함량에 유의적인 차이가 있는 것으로 판정됨에 따라 근적외선 영역에서 잡초를 검출할 수 있는 인자가 도출될 것으로 기대하였다. 따라서, 무와 잡초를 구별하는데 있어서 근적외선 영상을 이용하는 것이 타당하다고 판단되어 근적외선 영상을 획득하고자 하였다.

1. 실험 장치

가. 영상처리장치

실제 노지에서 이미지를 획득하기 위해 이동작업대에 영상처리시스템을 구축하였다. 영상처리장치는 영상입력장치, 영상처리장치, 출력장치, 주컴퓨터로 구성된다.

영상입력장치로는 근적외선 카메라(Electrophysics, 7290AX)를 사용하였다. 이 카메라는 산화납과 황화납으로 구성된 광전도성 비디콘(vidicon, 광전도 효과를 이용한 저속형 촬상관의 일종)을 이용한 것으로, 400nm에서 1900nm까지의 영역대에서 영상획득이 가능하다. 구체적인 제원을 표 3-12에, 실제 모습을 그림 3-18에 나타내었다.

Table 3-12 근적외선 카메라의 제원

Spectral Sensitivity	0.4 to 1.9 μ m
Horizontal Resolution	Up to 700 TV lines
Dynamic Range	100 : 1
Scanned Area	9.5 \times 12.7mm ²
Damage Threshold	1mW/cm ² (CW), 10mJ(pulsed)
Decay Lag after 50ms	45~60%
Sweep Rate	RS-170 (60Hz)
Scanning	2 : 1 interlace
Signal-to-Noise Ratio	55db (p-p/rms) or better
Deflection Distortion	Max 1% in circle of picture height Max 2% in circle of picture width

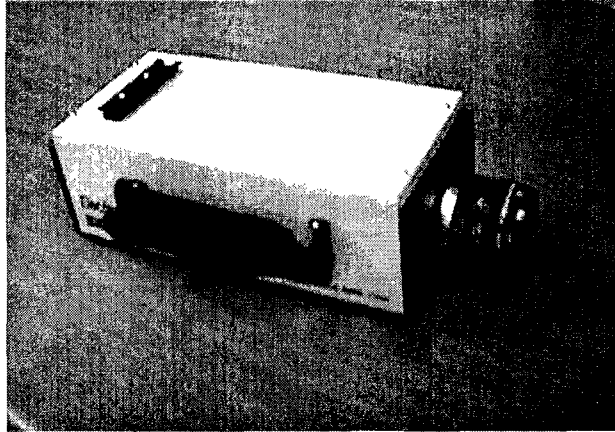


Fig. 3-18 실험용 근적외선 카메라

대상 식물체를 확대하기 위하여 줌렌즈(zoom lens)를 사용하였다.

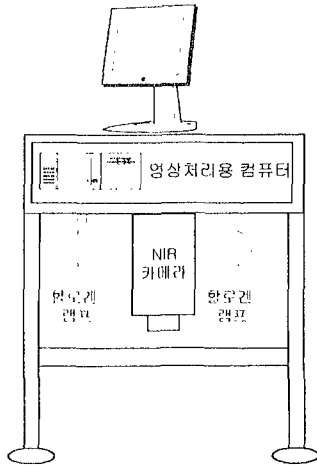
프레임그래버로는 MATROX사의 Genesis-LC를 사용하였다. 또한 고르지 못한 노지 때문에 생기는 진동과 먼지에 의한 하드디스크의 손상 및 시스템의 불안정을 줄이기 위하여 산업용 PC를 사용하였다.

나. 조명장치 및 이동작업대

여러 장소에서 쉽사리 영상을 획득할 수 있도록 이동작업대를 만들어서 영상처리 시스템을 구축하였다. 40mm×40mm 크기의 알루미늄 프로파일과 5mm 두께의 흰색 아크릴판을 이용하였다. 이동작업대의 폭은 무발의 조건 거리인 60 cm로 설정하여 조를 따라 이동할 수 있도록 하였으며, 지상으로부터 카메라 렌즈까지의 지상고는 750mm를 유지하도록 하였다.

근적외선 영상의 경우 근적외선 영역대의 광원이 필요하므로 할로젠램프(할로윈, 50W) 10개로 조명장치를 구성하였다. 할로젠램프의 경우 열 발생량이 많아 내부온도가 과열 상승하여 카메라의 작동에 영향을 미치고 조명장치 역시 자동 소등되므로, 이를 막기 위해 크기가 130mm×130mm 이며, 최대송풍량이 2.0m³/min인 팬(NMB, 4715MS-XXT-B30) 5개를 설치하였다. 3개는 조명장치 안으로, 2개는 조명장치 밖으로 공기를 이동시키도록 설치하였다. 또 식물체의 앞 표면으로부터의 직반사를 방지하고, 밝기가 균일한 확산광을 얻기 위해 조명의 광원과 식물체 사이에 1mm 두께의 흰색 아크릴 판을 사용하였다.

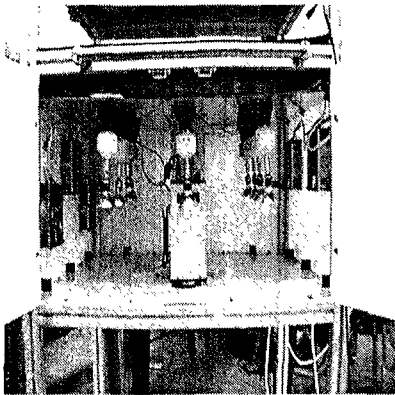
제작한 영상처리 시스템의 개념도와 사진을 그림 3-19 (a)에 나타내었다. 그림 3-19 (b)는 밭에서 획득한 영상처리 시스템의 사진으로, 그림 3-19 (c)에서 보듯 광원으로 할로젠 램프를 사용하였음을 알 수 있다. 또 그림 3-19 (d)는 조명장치로 인한 과열을 막기 위해 설치된 팬을 보여 준다.



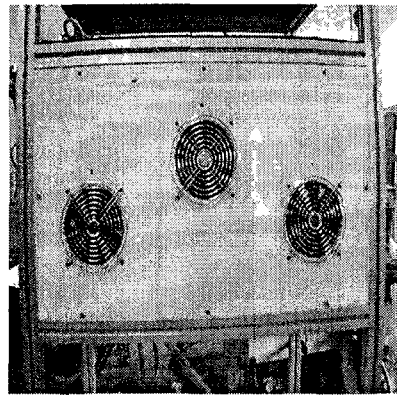
(a) 개념도



(b) 정면의 모습



(c) 할로겐 램프



(d) 옆면의 모습

Fig. 3-19 비전 시스템을 장착한 이동장치

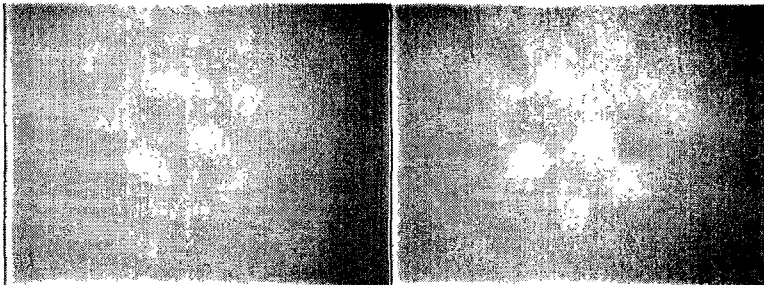
2. 근적외선 영상의 획득

근적외선 카메라 전면부에 1,100nm, 1,300nm, 1,400nm, 1,500nm 영역에서 20nm의 유효밴드 폭을 갖는 대역통과필터를 사용하였다. 일반적으로 CCD 카메라는 최대 1,000nm까지 응답특성이 있어, 본 연구에서는 근적외선 카메라를 이용해 획득할 수 있는 1,100nm부터 대상 근적외선 영역으로 하였다. 1,400nm, 1,500nm 대역통과필터는 1,400nm~1,500nm가 강한 수분흡수 밴드이기 때문에 선정하였다. 특히 Inoue(1994)은 콩과 고구마의 엽수분 함량을 관측한 바, 콩의 경우 유효파장이 1,496nm였고, 고구마의 경우 1,384nm임을 밝힌 바 있다. 따라

서 무와 잡초의 수분 차이가, 강한 수분 흡수 밴드에서 근적외선 영상의 화소치 차이로 나타날 것으로 추정하여 필터를 선정하였다. 카메라 응답 특성과 무와 잡초의 근적외선 영역대의 반사도가 낮아, 이동작업대에 있는 10개의 할로젠 등(50W)에 3개의 텅스텐-할로젠등(500W)을 더하여 조명을 강하게 하였다. 획득한 영상을 그림 3-20에 나타내었다.

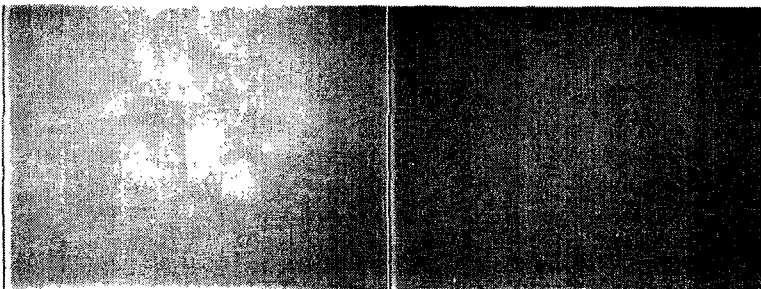


(a) CCD 카메라를 이용한 원 영상



(b) 1,100 nm

(c) 1,300 nm



(d) 1,400 nm

(e) 1,500 nm

Fig. 3-20 근적외선 카메라를 이용하여 획득한 영상

1,500 nm 대역 필터를 사용하여 획득한 영상을 제외한 나머지 영상에서 무의의 일부분과 무가 있는 위치의 윗부분 모양이 약간 밝게 나타났다. 잡초는 모양으로부터 구분될 수 있는 화소치를 갖지 않아, 검출이 힘든 것으로 판정되었다. 조명을 더욱 강하게 하여, 화소치 차이의 변화를 조사하려 하였으나 광원으로부터 발생하는 열에 의해 무와 잡초가 시들어, 광원의 세기를 강하게 할 수 없었다. 잡초로부터 반사되어 유효밴드가 20nm, 투과도가 50%인 대역통과필터를 통과하여 근적외선 카메라로 입사되는 빛이 영상을 획득할 수 있는 입사광의 강도($0.5 \sim 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)에 못 미치는 것으로 추정되었다. 결국, 실험에 사용된 카메라의 응답특성과 무와 잡초의 반사도가 낮아, 무와 잡초의 구분을 위한 정보의 획득이 어려운 것으로 판단되었다.

3. 일관 조명장치 개발

앞서 발생한 조명조건에 의한 문제를 해결하고자 일관 조명장치를 개발하게 되었다. 8개의 500W 텅스텐-할로젠램프, 12개의 환기 팬, 그리고 외부의 빛을 차단하기 위한 암실로 이루어진 일관 조명 시스템을 그림 3-21과 같이 개발하였다.

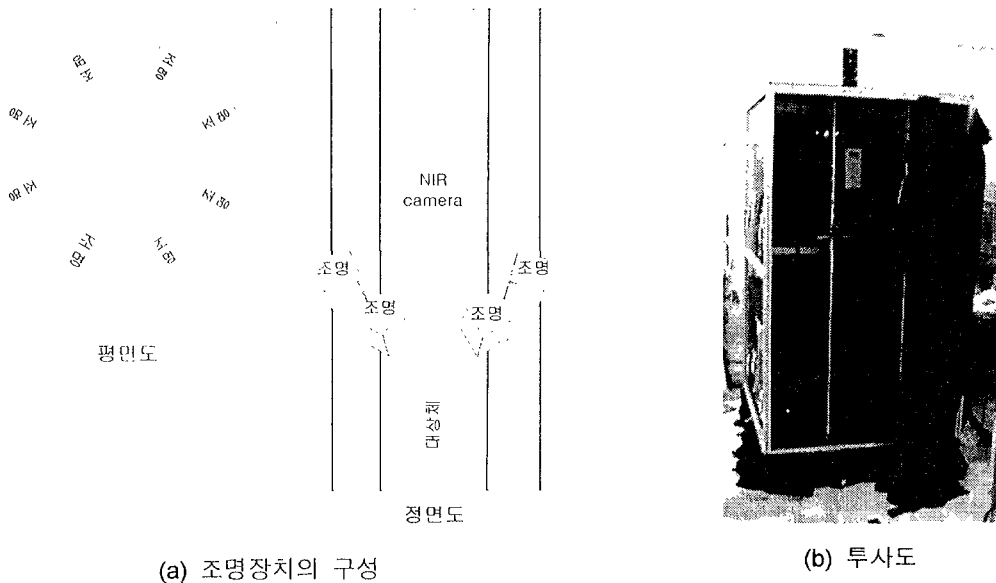


Fig. 3-21 일관 조명 시스템

4. 일관 조명장치 내에서의 영상획득

제작된 조명 시스템에서 콩을 대상으로 영상을 획득하였다. 각각의 파장 대역에서 획득된 영상을 그림 3-22의 (a)~(k)에 나타내었으며, 이치화한 영상을 그림 3-22의 (l)에 나타내었다.

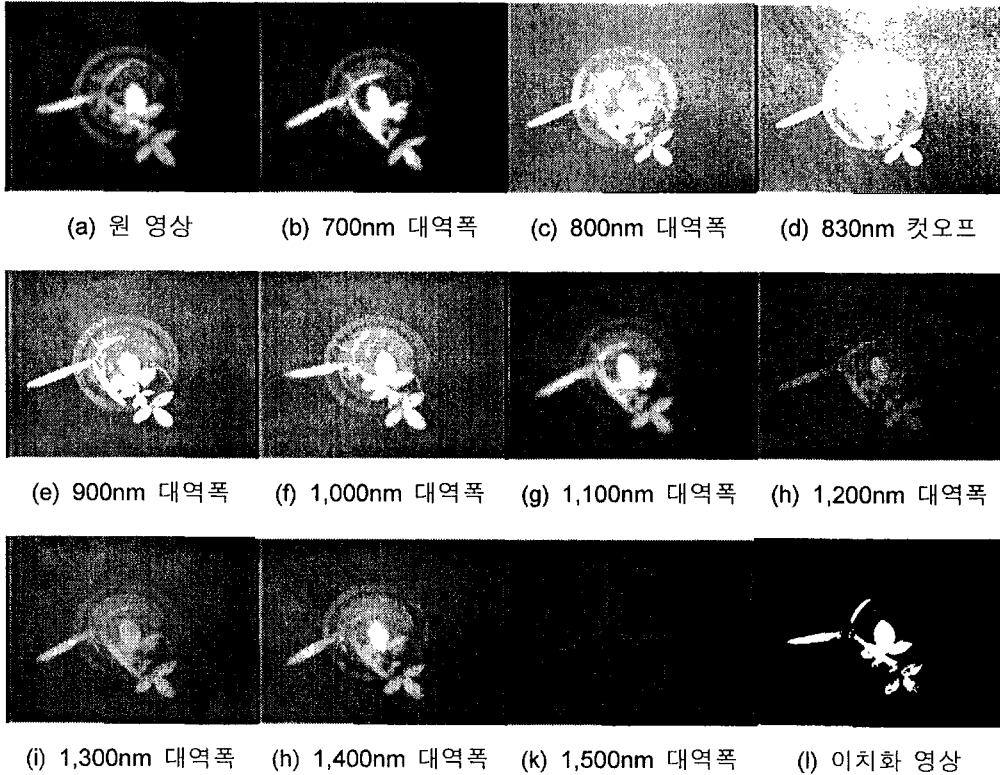


Fig. 3-22 근적외선 영역의 영상

그림 3-22의 (b)~(k)에서 보는바와 같이 이전의 실험에 비해 강한 조명에 의해 반사되는 상이 뚜렷해졌으며, 그림 3-22의 (l)에서 보는바와 같이 이치화 영상에서 흙과 식물의 구별도 뚜렷하였다. 그러나, 특정한 근적외선 영역에서 파장 대역에서 반사특성을 이용한 잡초 검출을 위해 근적외선 카메라를 사용하려고 했던 의도와는 달리 전 파장 영역에 걸쳐 동일한 결과가 나타났다. 결국 근적외선 카메라를 이용한 작물과 잡초와의 구분은 정밀방제 시스템에 적용할 수 없다고 판단되었다.

5. 결 론

방제요구부위를 검출하는데 있어서 근적외선 카메라를 적용하는데 있어서 몇 가지 문제점들이 발견되었다.

먼저 근적외선 영역에서의 영상을 얻기 위해 포장 내에서 조명장치를 구현하는 것이 비경제적이며 비효율적이라는 점이다. 앞의 실험에서 보듯이 선명한 영상을 얻기 위해서는 4kW 이상의 고전력이 필요한데 이동 차량에서 큰 용량의 전력을 얻기 위해서는 많은 비용이 든다. 또한, 조명장치에서 발생하는 강한 열로 인해 식물체에 손상이 발생할 수 있다.

실제 포장에 적용하는데 있어서 가장 큰 문제점은 근적외선 카메라 자체의 반응 특성이다. 즉, 근적외선 카메라는 CCD가 아닌 비디콘으로 이루어져 있는데, 낮은 반응 속도로 인한 극심한 잔상 때문에 실시간으로 이동하면서 영상을 얻는 것이 불가능하다고 판단되었다. 그리고 근적외선 영역에서의 토양과 식물의 구별은 가능하였으나 작물과 잡초의 구별은 불가능하였다.

이와 같은 문제점을 고려할 때 잔상이 거의 없고 고전력이 필요하지 않은 CCD카메라에 의한 방제요구부위 검출이 유용하리라 판단되었다.

5절. CCD 칼라 카메라와 신경회로망을 이용한 방제요구부위 검출 알고리즘 개발

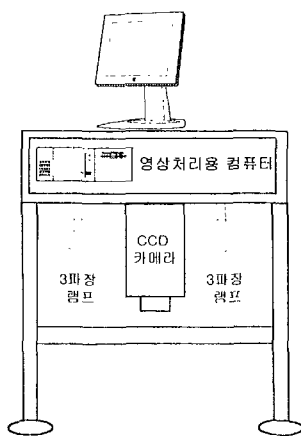
실험을 통해 근적외선 영역의 파장대를 이용한 NIR카메라는 방제요구부위의 검출 시스템에 적합하지 않음을 보였다. 즉, 토양과 식물체의 구별은 일반 CCD 카메라로도 구현이 가능하며 CCD카메라는 NIR카메라와 달리 비디콘의 느린 반응속도에 의한 잔상효과도 나타나지 않았다. 따라서 CCD카메라를 이용해 방제요구부위를 검출하고자 하였다.

기초연구에서 무와 잡초간에 형상인자를 통해 구분할 수 있었으므로 이를 이용하여 알고리즘을 개발하고자 한다. 신경회로망은 그 구조와 학습 방법에 따라 이용되는 분야가 조금씩 다르기는 하지만, 일반적으로 비선형함수의 근사, 최적화 문제, 신호 처리, 데이터 압축 등 다양한 분야에 걸쳐 성공적으로 응용되고 있다. 따라서 본 연구와 같이 비선형적인 판별 분석법이 필요한 알고리즘 개발에 신경회로망을 적용하는 것이 적합하다고 판단하였다.

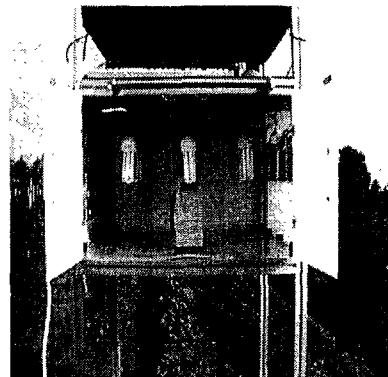
1. 실험 장치의 구성

실험에서 구축한 근적외선 영상 획득장치에서 카메라와 조명을 교체하여 사용하였다. 카메라는 RGB CCD 칼라 카메라(JVC, TK-1070U)를 사용하였으며 삼파장램프(글로벌, 20W) 10개를 이용한 조명상태에서 영상을 획득할 수 있도록 하였다.

제작한 영상처리 시스템의 개념도를 그림 3-23 (a)에 나타내었다. 그림 3-21 (b)에서 광원으로 삼파장 램프를 사용했음을 알 수 있다.



(a) 시스템의 개념도



(b) 삼파장램프를 장착한 모습

Fig. 3-23 포장 실험을 위한 영상처리 시스템

2. 신경회로망에 관한 이론 및 실험 방법

신경회로망이란 생명체의 신경조직인 신경세포에서 착안하여 모델화한 정보처리 시스템으로 단순한 소자들의 병렬, 분산 연결 구조를 가지고 있으며, 외부로부터 받아들이는 입력에 대하여 동적 반응(dynamic state response)을 일으킴으로써 필요한 출력을 생성시키는 것이다. 신경회로망 연구자들은 생체 신경계의 특수한 정보처리 기능을 부분적이거나 모방하고자 하는 의도에서 신경회로망을 개발, 응용하려 하고 있다. 신경회로망은 현재 인간의 학습 능력, 연상 기억 능력 등을 잘 모방하고 있다.

신경회로망의 개념은 인간의 신경조직에서부터 시작했지만, 이후 다양한 구조의 신경회로망이 제안되고 이들의 학습을 위한 방법들이 제시되고 있다. 현재는 단순인식자 (single-layer perceptron), 다층인식자 (multi-layer perceptron)를 비롯하여 Hopfield Network, Kohonen Feature Map 등이 많이 이용되고 있다.

단순인식자는 거의 모든 신경회로망 구조의 가장 기본이 되는 것으로, 1957년에 미국의 Rosenblatt가 패턴 분류를 위해 제안한 것으로 두뇌의 신경세포 1개에 해당한다고 할 수 있다. 단순인식자 구조는 그림 3-24와 같은 구조를 가지며, 수학적 모형은 식 (3-2)과 같이 표현될 수 있다.

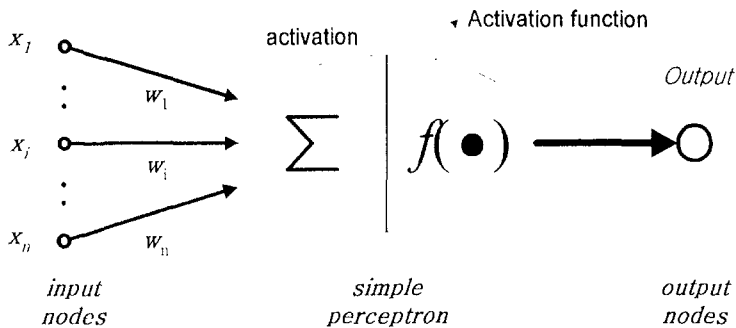


Fig. 3-24 단순 퍼셉트론 모델

$$\text{Activation} = \sum_{i=0}^{i=n} W_i \cdot X_i$$

$$\text{Output} = f(\text{Activation}) \dots\dots\dots (3-2)$$

현재 가장 널리 쓰이는 신경회로망의 구조는 다층인식자 구조로, 이는 단순인식자의 몇 가지 문제점을 해결하기 위해 1986년 Rumelhart에 의해 제안된 계층형 구조의 네트워크 (MLP)이다.

가. 신경회로망을 이용한 학습

널리 쓰이는 기법인 오류역전파(back-propagation, BP) 학습이론을 사용하였다. 은닉층의 수는 1개로 하였다. 가장 좋은 판별결과를 갖는 신경회로망 구조를 찾기 위해 은닉층의 유니트 수를 변화시키며 학습시켰다. 동일한 결과를 출력하였을 때 유니트 수가 가장 적은 신경회로망 구조를 선택하였다.

신경회로망의 입력은 변수선택법에서 유의하다고 선정된 형상인자들의 조합만을 이용하는 경우와 형상인자 8가지를 모두 이용하는 경우로 나누어 학습시켰다. 입력 데이터는 목표출력 데이터가 가지는 범위내에서 존재하도록 0과 1사이의 값들로 조정하였다.

한편, 출력 유니트는 2개로 결정하였다. 무는 [1 0]를 목표값으로, 즉 출력층 첫째 노드의 값을 1, 둘째노드의 값을 0이 되도록, 그리고 잡초는 [0 1]을 목표값으로 학습시켰다.

개발된 각 신경회로망의 학습 횟수는 50,000번이었으며 학습에 사용한 모우멘텀(momentum)은 0.95였고, 학습율(learning rate)은 0.15로 하였다. 또 학습시에 목표값과 계산된 출력값과의 차이를 보여주는 것으로 RMS를 사용하였다. 총 150장(무 50, 잡초 100)의 영상에서 각각에 80%를 학습에 이용하였으며, 나머지 20%는 학습된 신경회로망을 검증하는 데 사용되었다.

나. 신경회로망 성능 개선

오류 역전파 알고리즘에서 일어나는 큰 문제 중 하나가 오버피팅(overfitting or overtraining)이다. 과도한 학습으로, 학습 집단에 대해 아주 작은 오차를 가지고 있다 하더라도 새로운 데이터에 대해 오차가 큰 경우가 그 예이다.

본 연구에서는 오류 역전파 알고리즘에서 식 (3-3)과 같은 오차 대신, 식 (3-4)와 같은 변형된 실행 함수(modified performance function)를 이용하는 조직화(regularization)를 사용하여 성능을 개선하고자 하였다.

$$F = mse = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \dots\dots\dots (3-3)$$

$$msereg = \gamma mse + (1 - \gamma) msw \dots\dots\dots (3-4)$$

γ = performance ratio

$$msw = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N W_j^2$$

다. 신경회로망을 이용한 잡초 검출 성능평가

구축한 영상처리 장치를 이용해 획득한 61개의 영상 중 31개의 영상에 포함되어 있는 무 31개와 잡초 40개의 형상인자 정보로 신경회로망을 구축하였으며, 나머지 30개의 영상에 대해 검출 성능을 평가하였다. 형상인자는 영상처리 소프트웨어, Image-Pro Plus(Media Cybernetics, USA)를 그림 3-25와 같은 알고리즘 순서로 이용하여 추출하였다.

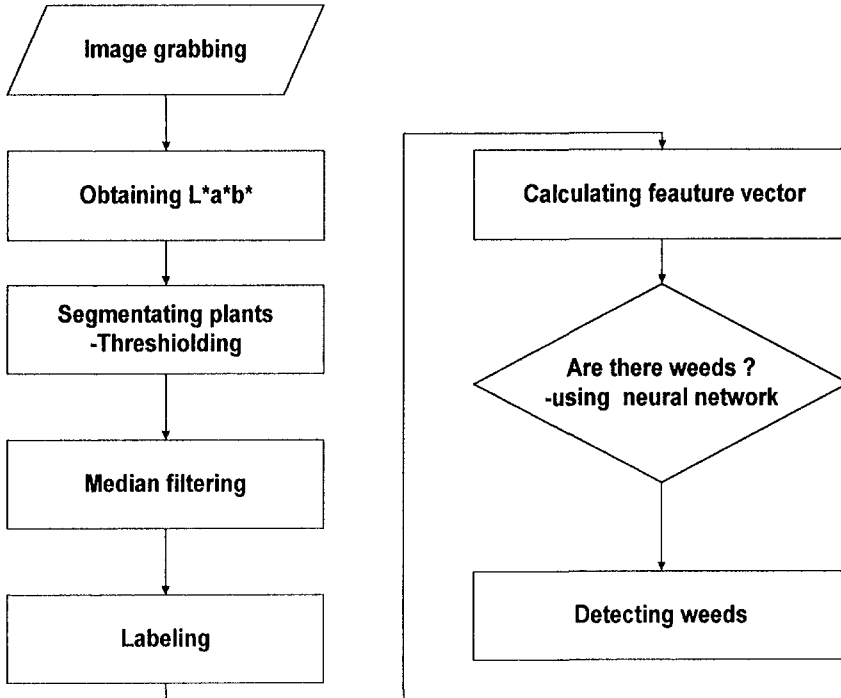


Fig. 3-25 잡초 인식 알고리즘의 순서도

3. 신경회로망을 이용한 잡초 검출

가. 신경회로망의 구축

은닉 유니트의 수를 변화시키며, 입력이 세 가지인 경우와 여덟가지인 경우로 나누어 학습시켰다. 입력 노드 수가 세 개인 것의 신경회로망 구조를 그림 3-26에 나타내었다. 입력층의 노드수가 세 가지인 경우는 SAS의 단계적 판별분석법(stepwise discriminant analysis)을 이용한 결과인 장단비(aspect), 신장도(elongation), PTB를 입력으로 사용한 것이며, 여덟가지인 경우는 여덟 개의 형상인자 값을 모두 입력으로 사용하였다. 다음의 표 3-13에 신경회로망을 이용하여, 학습되지 않은 영상들에 대한 검증 결과를 나타내었다. 10개의 무와 20개의 잡

초 중 옳게 구분된 개수를 나타내었다. 입력층의 노드수가 세 개인 경우 은닉층의 노드수가 두 개와 네 개, 입력층의 노드수가 여덟 개인 경우 은닉층의 노드수가 일곱 개일 때 각각 좋은 결과를 보였다.

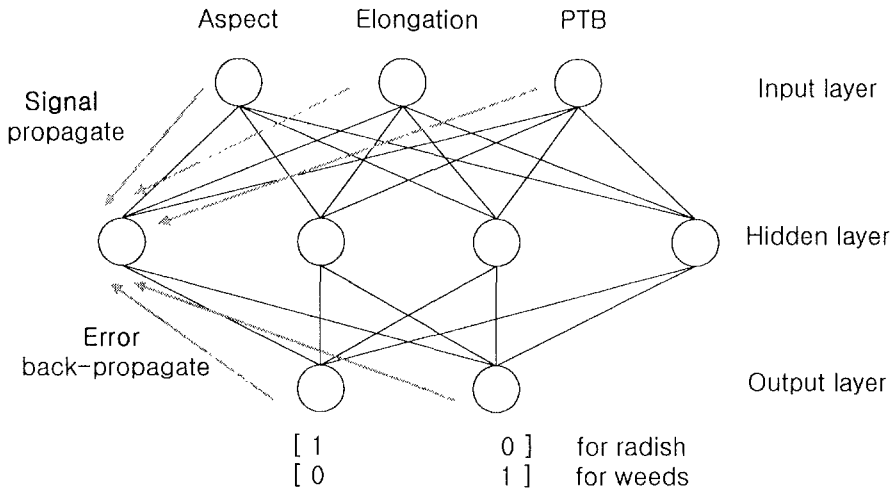


Fig. 3-26 오류역전파 학습을 이용한 신경망의 구조

Table 3-13 은닉층의 노드 수에 따른 신경회로망 검증 결과

(a) 변수선택법에 의해 선택된 세 가지의 형상인자를 입력 데이터로 학습시킨 경우

# hidden nodes \ From Type	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Raddish	10	9	10	10	9	9	9	9	9
Weed	19	19	19	19	19	19	19	19	19

(b) 여덟가지의 형상인자를 입력 데이터로 학습시킨 경우

# hidden nodes \ From Type	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Raddish	10	9	7	10	10	10	9	7	9
Weed	19	19	18	19	18	20	18	17	19

가장 좋은 결과를 보인 신경회로망 구조의 성능에 대해 표 3-14에 보다 자세히 나타내었다. 학습과 검증에 사용된 데이터가 90%에서 100%에 이르는 정확도로 구분됨을 알 수 있

다. 특히 신경회로망 구조가 8-7-2 (입력층 노드 수 - 은닉층 노드 수 - 출력층 노드 수)일 때 검증데이터에 대해 100%의 분류율을 보였다. 가장 잘 학습된 신경회로망 모형의 검증결과인 출력층 노드의 값을 순서쌍으로 구성하여 2차원 면에 도시하였다. 이를 그림 3-27에 나타내었다.

Table 3-14 신경회로망 모형의 검증 결과

From \ To	3-2-2		3-4-2		8-7-2	
	R	W	R	W	R	W
R	100.00% (10)	0.00% (0)	100.0% (10)	0.00% (0)	100.0% (10)	0.00% (0)
W	5.00% (1)	95.0% (19)	5.00% (1)	95.0% (19)	0.00% (0)	100.0% (20)

* R : radish, W : weeds (crabgrass, purslane, goosefoot)

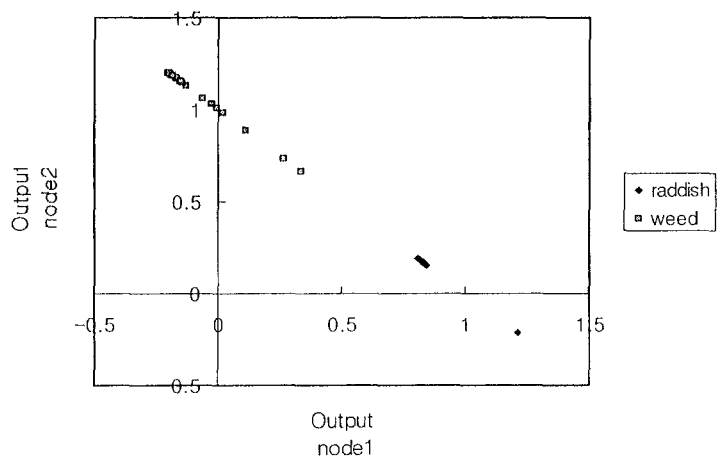


Fig. 3-27 신경회로망의 결과를 도시한 산포도

나. 신경회로망의 성능 개선

오류 역전파 알고리즘에서 은닉 유닛의 수를 변화시키며, 입력이 세 가지인 경우와 여덟가지인 경우로 나누어, 조직화(regularization)를 수행함에 따른 신경회로망의 개선된 성능을 분석하였다. 다음의 표 3-15에 학습되지 않은 10개의 무와 20개의 잡초 영상들에 대한 검증 결과, 즉 옳게 구분된 개수를 나타내었다. 입력층의 노드수가 3개인 경우 은닉층의 노드수가

2개와 7개, 입력층의 노드수가 8개인 경우 은닉층의 노드수가 2개, 3개, 5개일 때 모든 검증 용 영상을 100% 옳게 구분하는, 보다 향상된 결과를 보였다.

검증데이터에 대해 100%의 분류율을 보인 신경회로망 모형 중 3-2-2 구조와 8-2-2의 구조의 출력층 노드의 값을 순서쌍으로 구성하여 2차원 면에 도시하였다. 이를 그림 3-28과 3-29에 각각 나타내었다.

Table 3-15 개선된 신경망의 판별 수

(a) 3개의 형상인자를 사용하였을 때

# hidden nodes From Type	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Raddish	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Weed	20	19	19	19	19	20	19	19	19

(b) 8개의 형상인자를 사용하였을 때

# hidden nodes From Type	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Raddish	10	10	7	10	10	8	7	7	8
Weed	20	20	18	20	19	19	19	19	18

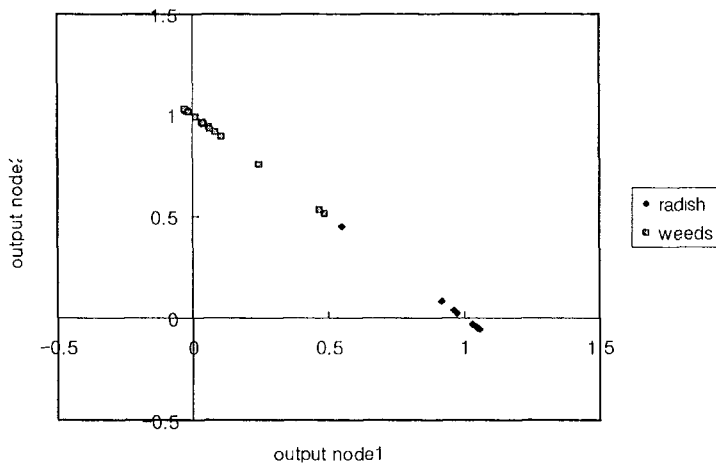


Fig. 3-28 개선된 신경망 모델의 3-2-2 구조의 출력

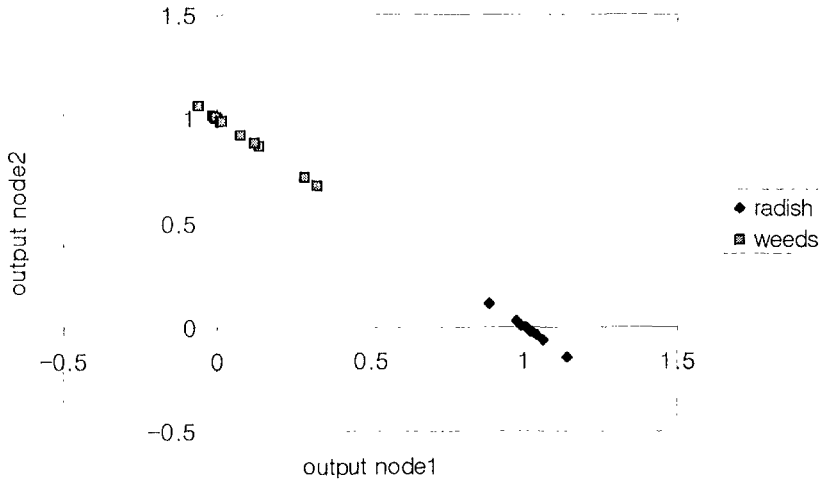
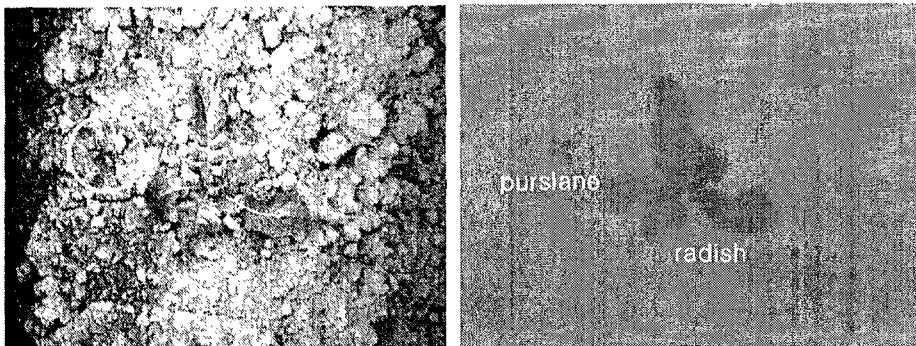


Fig. 3-29 개선된 신경망 모델의 8-2-2 구조의 출력

다. 신경회로망을 이용한 잡초 검출 성능 평가

노지에서 영상처리 시스템을 이용하여 획득한 무와 잡초가 같이 있는 영상 31개로부터 각 개체에 대한 형상인자를 추출하였다. 위의 결과를 바탕으로, 가장 좋은 분류 성능을 보인 모형 중 하나인, 8-2-2 구조로 조직화(regularization)를 이용하여 신경회로망을 구축하였다. 이 모형을 이용하여 나머지 30개의 영상에 있는 무 30개, 쇠비름 12개, 바랭이 15개, 명아주 5개에 대해 검출 성능을 평가하였다. 잡초 검출을 위하여 총 3초의 시간이 소요되었으며, 각 영상처리 단계에서의 이미지를 그림 3-30에 나타내었다. 또, 검출 성능 평가 결과를 표 3-16에 나타내었다. 93% 정도의 정확도로 무와 잡초를 인식할 수 있음을 결과는 보여준다.



(a) 원영상

(b) a* 채널의 영상

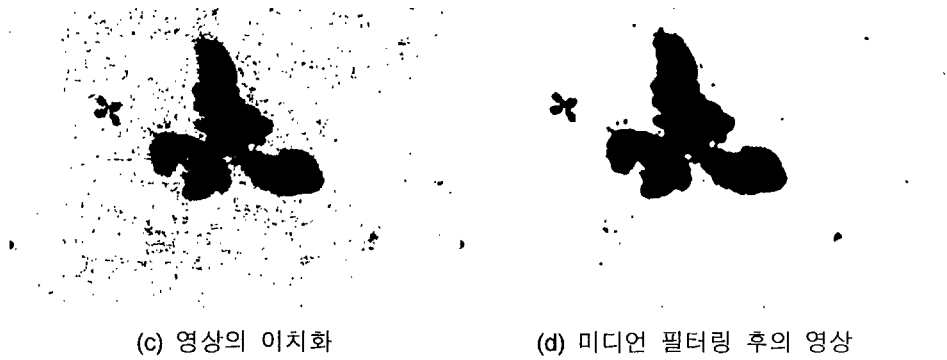


Fig. 3-30 영상 처리 순서

Table 3-16 옳게 판별한 경우의 수

From \ To	8-2-2	
	R	W
R (numbers)	93.33% (28)	6.66% (2)
W (numbers)	6.25% (2)	93.75% (30)

4. 고속화 알고리즘의 개발

기존의 개발한 알고리즘은 작물 하나와 주변의 잡초에 대한 영상정보를 근접촬영을 통해 얻는 방식이었다. 신경회로망을 이용하여 검출력을 높일 수는 있었으나 검출시간이 오래 걸리는 단점이 있었다. 또한 무와 한정된 수의 우점잡초에 대해 구축된 신경회로망을 이용하였으므로 새로운 작물에 대해 정밀방제를 시행하고자 할 때마다 신경회로망을 다시 구축해야 하는 문제점이 있었다. 그리고 필드에서 적용시 방제요구부위에 정밀한 살포를 위한 위치 계측 시스템을 따로 구성하여야 하는 단점이 있었다. 따라서 이를 보완할 실제 적용 가능한 고속화 알고리즘의 개발이 필요하였다.

가. 장치의 구성

새로운 고속화한 알고리즘을 위하여 그림 3-31과 같은 시스템을 구성하였다.

새로운 고속화한 알고리즘은 DGPS, GIS 및 자이로 컴파스와의 연동을 통해 영상처리 위치를 정확하게 검출한다. 작물 식부시 입력된 작물의 위치정보와 촬영시 영상의 녹색정보에 대한 위치정보를 비교하여 잡초와 작물의 판별을 실시한다. 또한 이 방법은 정밀한 위치 측위를 통해 방제 실시 부위에 대한 보다 정밀한 분무액 살포를 가능하게 한다. 적은 개수의 작물만이 아닌 여러 개의 작물을 동시에 촬영하여 처리함으로써 처리속도를 높일 수 있다.

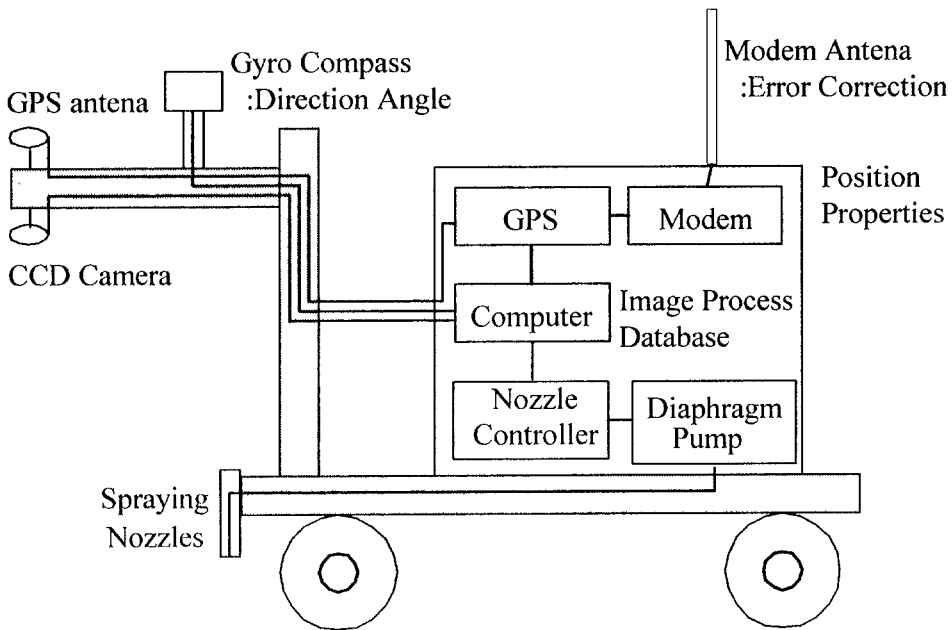


Fig. 3-31 고속화 알고리즘을 위한 시스템 구성도

나. 고속화 영상 처리 알고리즘의 개발

새로 구성된 그림 3-31과 같은 시스템에 적합한 알고리즘의 구성도는 그림 3-32와 같다.

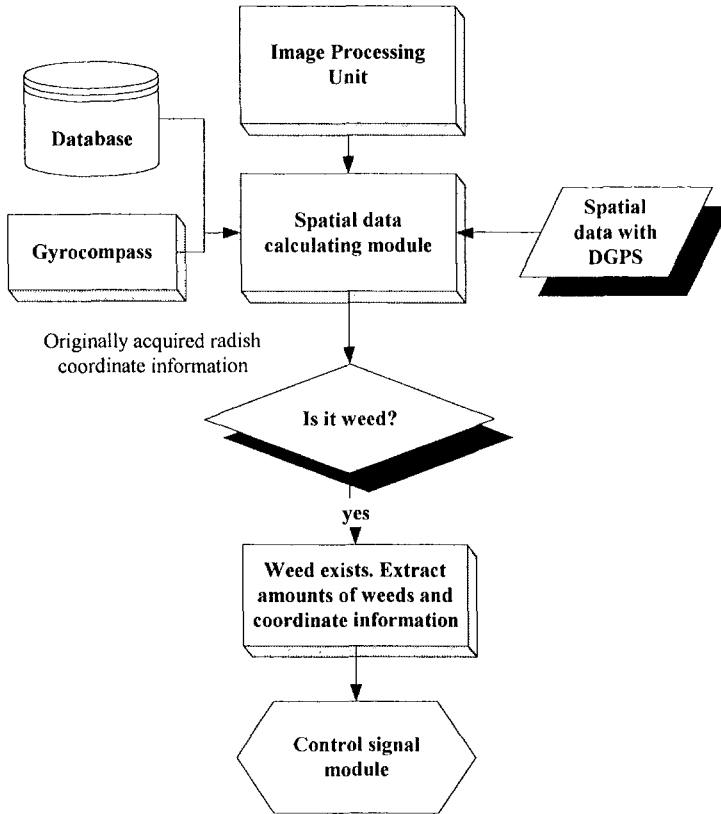


Fig. 3-32 고속화한 알고리즘의 구성도

영상처리부는 크게 두 부분으로 나뉜다.

먼저 영상의 획득을 담당하는 모듈이다. 여기서 이치화 및 레이블링을 통해 영상에서의 녹색정보의 면적 및 위치를 계산하게 된다. 구체적인 알고리즘은 그림 3-33과 같다.

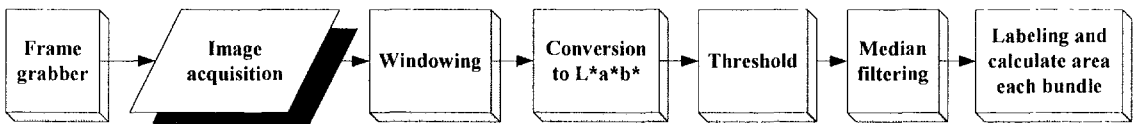


Fig. 3-33 영상정보 획득 알고리즘

새로운 알고리즘은 정밀한 측위 시스템을 통한 위치판별을 핵심으로 한다. 따라서 3차원 DGPS 정보와 2차원 영상정보를 비교할 수 있어야 한다. 3차원 위치정보와 2차원 영상정보를 비교하여 무와 잡초의 좌표를 구분하는 식을 식 (3-5)에 나타내었고 알고리즘 구성을 그

림 3-34에 나타내었다.

$$\begin{pmatrix} X_{rot} \\ Y_{rot} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{crop} - X_{GPS} \\ Y_{CROP} - Y_{GPS} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3-5)$$

X_{rot}, Y_{rot} : 작물의 회전된 가상영상 좌표,
 X_{GPS}, Y_{GPS} : 영상을 얻는 위치에서의 GPS 좌표,
 X_{crop}, Y_{crop} : 데이터베이스에서 로드한 작물의 실좌표

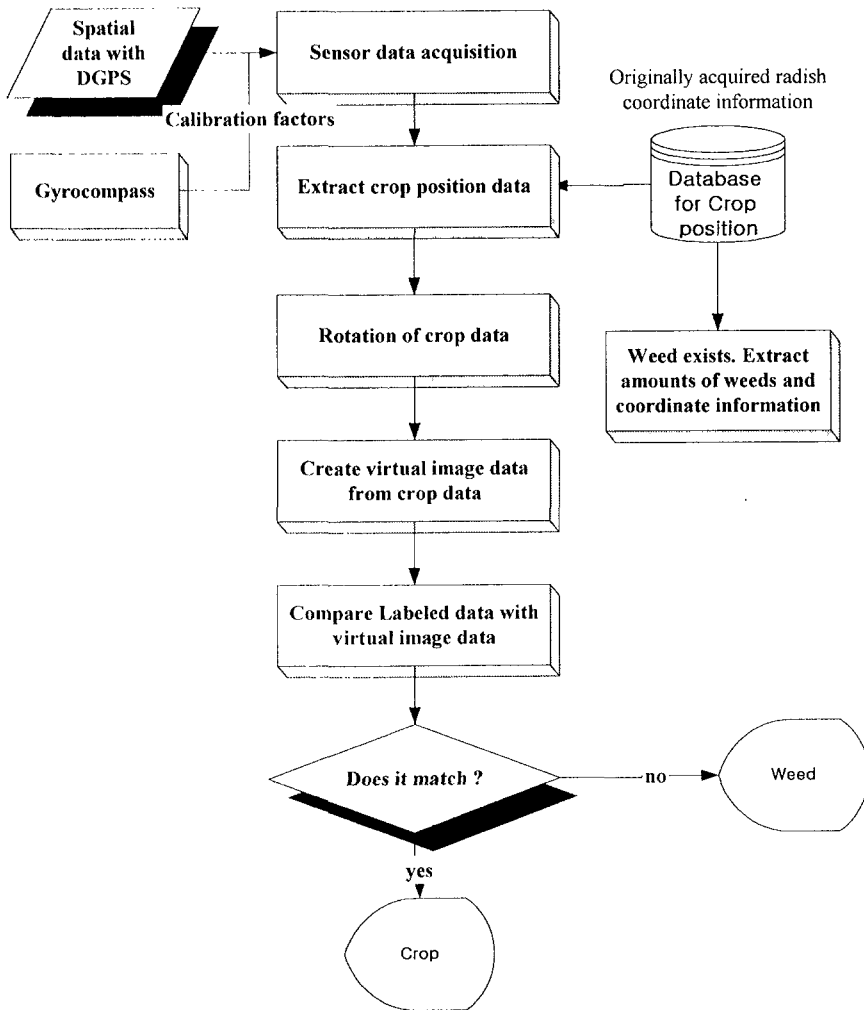


Fig. 3-34 공간정보 처리부의 알고리즘

5. 결 론

CCD 카메라를 이용해 획득한 영상에 대해 통계적 분석 중 하나인 변수선택법을 이용해서 장단비(aspect), 신장도(elongation), PTB가 무와 잡초를 식별하기 위한 가장 유의한 인자의 조합임을 밝혔다. 그리고 판별분석에서는 위의 세 인자를 이용했을 때, 무를 92%, 잡초를 98%의 정확도로 구분해 낼 수 있음을 보였다.

또한 통계적 방법과 비교해서 입력 노드가 세 개인 신경회로망을 이용했을 때, 3-2-2와 3-4-2의 모형에서 30개의 검증용 영상에 대해 무를 100%, 잡초를 95%의 정확도로 식별할 수 있음을 보였다. 그리고 형상인자 여덟 개 모두를 이용한 검증에서는, 8-7-2의 모형에서 무와 잡초를 모두 정확히 구분할 수 있음을 보였다.

하지만 무 한 개와 주변 잡초에 대한 영상(50cm×50cm)에 대해 판별하는데 총 3초의 시간이 필요하였다. 이것은 현재 관리기 또는 트랙터에 부착되어 쓰이는 방제기의 최저 속도 20cm/s의 약 삼 분의 일에 해당하는 속도로, 관리기 또는 트랙터에 부착되어 쓰이는 방식을 전제한다면 영상처리의 고속화가 필요하였다. 이에 따라 DGPS와 자이로 컴파스를 이용한 위치정보를 이용하여 실제 방제 시스템에 적용 가능한 알고리즘을 개발하였다.

6절. 정밀방제 시스템 개발

1. 장치 구성

그림 3-35는 본 연구에서 목표로 하고 있는 site-specific 방제 기술을 탑재한 작업기의 개념적인 모습을 나타내고 있다. 이러한 시스템을 구축하기 위해 영상처리장치와 분무량 제어 가능한 방제기를 제작하고 이를 통합한다.

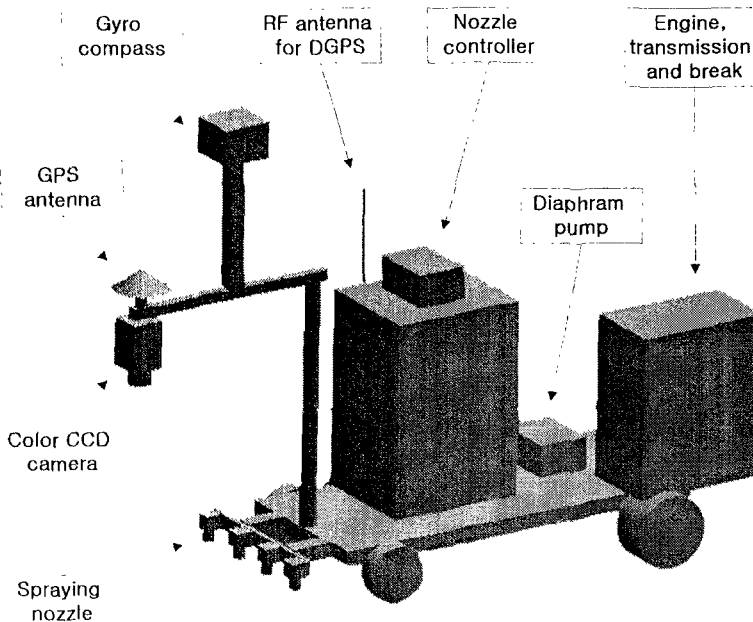


Fig. 3-35 정밀 방제 시스템의 개략도

가. 운반차 및 영상처리부 구성

1) 운반차량

GPS 수신기를 이용하여 작성된 공간정보를 가지고 있는 포장에 대하여 속성정보로 입력하여 수치지도를 제작하고, 제작된 수치지도를 바탕으로 실제 포장에서 방제가 가능한 운반차를 제작 및 성능평가를 하고자 한다. 실제 필드에서의 작업성을 측정하기 위해 엔진을 동력원으로 하고 핸들, 클러치, 브레이크 등의 제어장치가 포함된 운반차를 제작한다. 제작된 운반차에는 vision system, DGPS antenna/RF modem, 분무 시스템, 분무제어기 및 발전기가 통합되어 설치된다.

방제차량의 주요 치수 선정 요인은 다음과 같다.

- ▶ 차폭: 작물의 식부 간격을 고려할 때 그림 3-36과 같이 고랑 2개와 2줄의 식물을 처리하기 위해 100cm로 하였다.



Fig. 3-36 차폭의 선정

- ▶ 카메라 설치 위치: 차량 진행방향으로 150cm의 영상을 얻기 위해 200cm 높이에 하였다. 또한 차량바퀴가 영상에 잡히는 것을 막기 위해 전면으로 130cm 노출시켰다.
- ▶ 자이로 컴파스 설치 위치: 자이로 컴파스는 자계에 매우 민감한 장치이다. 따라서 자계에 영향을 미치는 물체로부터 30cm이상 떨어뜨려야만 한다. 본 연구에 사용하는 차량은 솔레노이드 및 각종 센서류 등 자계에 영향을 미치는 요인이 많다고 판단, 알루미늄 케이스를 이용, 철제류로부터 50cm 떨어뜨렸다.

2) 영상처리장치

실제 노지에서 실시간으로 이미지를 획득 및 분석하기 위하여 영상처리 시스템을 구축한다. 영상입력장치로는 RGB CCD 칼라 카메라(JVC, TK-1070U)를 사용한다. 노광에서의 영상 획득시 발생하는 다양한 광량조건을 일정한 범위 내로 유지하기 위해 auto iris 기능을 장착한 렌즈를 사용한다. 또한 고르지 못한 노지에서 작업조건을 감안하여 발생할 수 있는 시스템 및 저장 데이터의 불안정을 감소시키기 위해 산업용 PC를 사용한다. 영상처리장치의 세부 제원은 다음 표 3-17과 같다.

Table 3-17 영상처리부 제원

Camera	RGC CCD(JVC, TK-1070U)
Lenz	COSMICAR PENTAX, C814E 0.8mm F1.4
Frame grabber	MATROX Genesis-LC
Case and mainboard	Industrial PC
Main CPU	Intel Pentium II 400

3) DGPS System

본 연구에서의 영상처리신호와 GPS신호를 통한 좌표정보의 보정을 통해, 기계작된 수치 지도를 이용하여 방제기를 구동한다. 본 연구에서는 수치지도 제작에 사용되는 2cm 오차의 DGPS(NOVATEL, RT-2)를 사용한다. DGPS 기지국으로는 농촌진흥청 농업기계화연구소의 기지국을 사용하였다.

4) 자이로 컴파스

GPS를 통해 dudt아 좌표를 얻을 경우 작업기의 현재 자세에 대한 보정이 필요하다. 지구의 자극(magnetic pole)에 의한 절대적인 방위값을 얻기 위해 자이로 컴파스(C-100)를 사용하였다. 자이로 컴파스의 모습을 그림 3-37에 나타내었으며 세부제원을 표 3-18에 나타내었다.

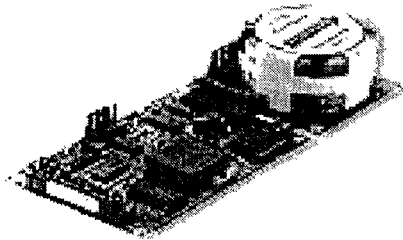


Fig. 3-37 자이로 컴파스(C-100)

Table 3-18 자이로 컴파스 제원

Input	8-18V
Size	80×75×57mm
Accuracy	±0.5° or ±10mils RMS
Repeatability	±0.2° or ±5mils RMS
Resolution	0.1°
Dip & Tilt Angle	±80° /±16 or ±45°
Sensor Output	RS232, 0-5V logic level
Operating Temperature	-40°C to +75°C
Shock	90G

한편, 지구자기장은 크기와 방향을 갖는 물리량이므로 지구표면에서 지구자기장을 규정하는 3가지 요소, 즉 편각·북각·전자기력의 벡터로 표현된다. 지구자기의 요소를 그림 3-38

에 나타내었다. 지구자기의 극은 정확하게 지구의 북극과 남극에는 없고, 각각 북위 78.30°, 서경 69°(자북극)와 남위 78.30°, 동경 111°(자남극)에 있고, 이 둘을 잇는 축은 지구의 회전축에서 약 11.30° 기울어져 있다. 그 때문에 자석의 바늘은 정확하게 남북의 방향을 가리키지 않는다. 따라서 지구자기의 3요소라 불리는 수평분력·북각·편각을 고려하여 자이로 컴파스에서 발생하는 신호를 보정하였다.

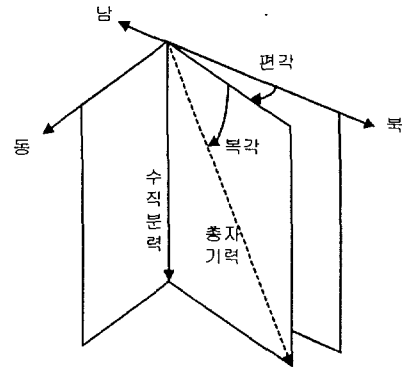


Fig. 3-38 지구자기의 요소

5) 확장 시리얼 포트

실험에 사용할 장치는 DGPS, 자이로 센서, 자이로 컴파스 각각에서 신호를 받아들이고 최종적으로 분무장치에 제어신호를 전달하여야 한다. 이와 같이 다양한 장치에서의 데이터 전송은 시리얼 통신을 통해 이루어지는데 컴퓨터에 장착된 기본 시리얼 통신 포트는 2개이다. 따라서, 이를 확장하기 위해 슬롯형 확장 시리얼 포트(Systembase, MULTI-4/PCI)를 사용하며, 데이터 전송이 단거리 상에서 이루어지므로 RS-232통신 규약을 사용한다.

나. 살포기 제작 및 분무 ON/OFF 컨트롤러 구성

앞서 구축된 시스템을 이용하여 실제 방제액 통, 솔레노이드 밸브, 모터, 펌프 및 노즐로 이루어진 살포기를 제작하여 제어하고자 한다. 기존의 일관적인 노즐분무가 아닌 노즐별로 변량제어가 가능하도록 분무 시스템을 구성하기 위해, 필드의 면적과 작업 속도에 따른 제초량을 계산하여 펌프를 선정한다. 선정된 펌프의 유량에 따른 노즐을 선정하고, 전체 압력을 일정 한도 내로 유지시키기 위해 압력 레귤레이터를 사용한다. 압력 레귤레이터를 거친 제초액을 필터를 통해 각각의 노즐로 공급되며, 컴퓨터에서 보내지는 제어 신호를 통해 분무가 이루어지도록 한다. 변량 제어를 가능하게 하기 위해 여러 개의 노즐별로 각각 솔레노이드 밸브 및 레귤레이터를 설치하여 각각에 대한 ON/OFF 제어를 가능하게 한다. 이 때 농약 살포량을 제어하기 위해 각각의 노즐별로 ON/OFF 시간을 다르게 하는 기준으로서 잡초의 면적을 택한다. 본 연구에 사용한 시스템의 구성도는 그림 3-39와 같다.

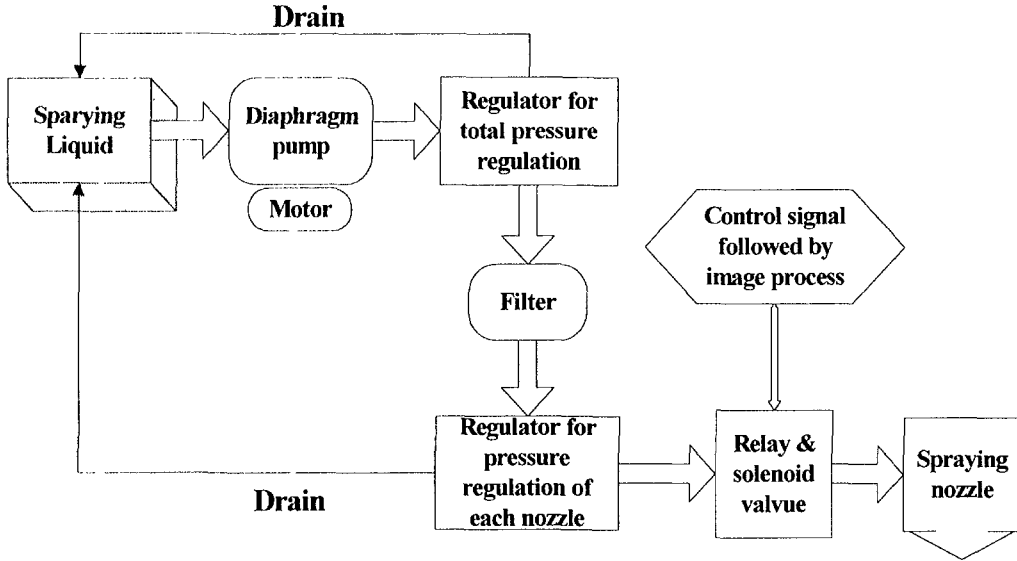


Fig. 3-39 변량 제어형 분무 시스템 구성도

1) HYDRA-CELL PUMP

제조액통으로부터 제조액을 공급하기 위해 다이어프램형 펌프를 사용한다. 펌프의 세부 제원은 표 3-19와 같으며 실제 모습은 그림 3-40과 같다.

Table 3-19 펌프의 제원

Pump model	G-03 PUMP
- Head material	brass
- Diaphragm material	BUNA-N
VALVE MATERIAL	SST 17-4

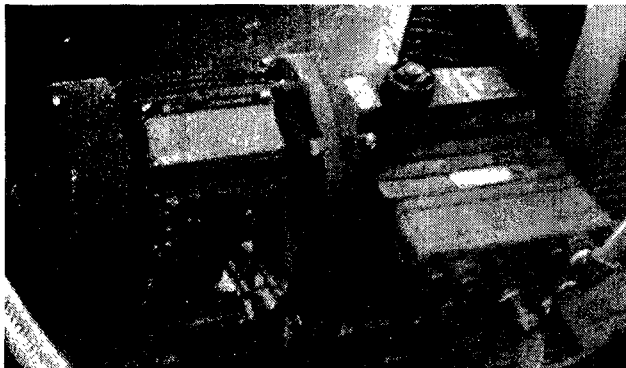


Fig. 3-40 방제기용 펌프의 외관

2) 레귤레이터

레귤레이터는 크게 두 부분에 사용된다. 먼저 펌프에서 최초로 나오는 제초액의 압력을 일정하게 유지시키기 위해 여수관이 장착된 레귤레이터를 사용하였다. 토출부에 사용되는 최대 압력은 $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 토출부에 사용하는 레귤레이터의 모습 및 구조는 그림 3-41과 같다.

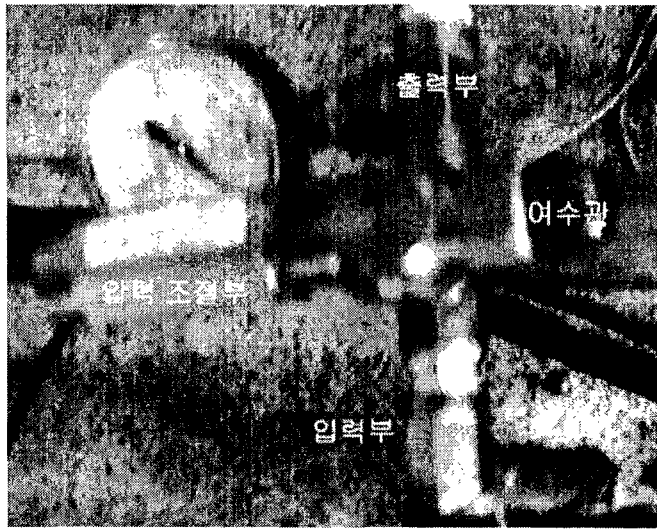


Fig. 3-41 토출밸브용 레귤레이터의 구조

다음으로 최종 노즐 앞에 장치하여 각각의 노즐이 빈번한 ON/OFF시에 발생할 수 있는 시스템의 불안정성을 줄이기 위해 다이어프램식 레귤레이터를 노즐별로 부착하였다. 노즐별 레귤레이터의 제원은 표 3-20과 같다.

Table 3-20 레귤레이터의 제원

Maker	WATTS PLASTIC REGULATOR
Model	P50
Maximum supply pressure	300psi($21\text{kg}/\text{cm}^2$)
Resuced pressure ranges available	0~125psi($0\sim 8.8\text{kg}/\text{cm}^2$)
Operating temperature range	0~150°F
Weight	1/4 lb.
Height	2 1/2 " to 2 3/4 " (varies)
Width	1 1/2 "

3) UniJet Nozzle(tip 교환식 spray nozzle)

방제액이 직접적으로 분사되는 노즐의 선정에는 여러 가지를 고려하여야 한다. 분사각, 분

사높이, 분사압력 및 량, 중첩률 등을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 다음의 과정을 통하여 적절하다고 판단되는 분사노즐을 선정하였다. 실제 작물 식부시 두둑과 이랑, 예상 분무 높이 등의 고려사항을 그림 3-42에 나타내었다.

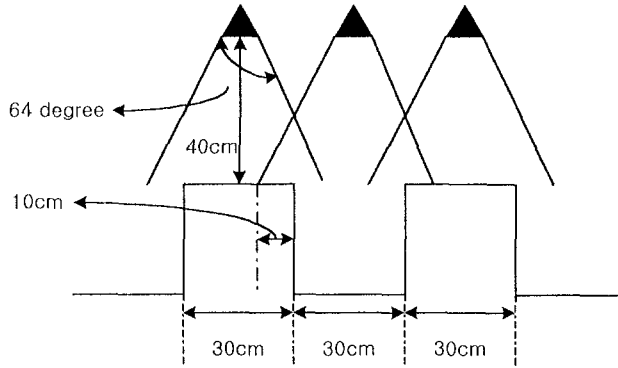


Fig. 3-42 방제 노즐의 분사각

노즐의 개수, 분사 높이, 중첩률 등을 고려하여 표 3-21과 같은 계산과정을 걸쳐 8004 tip 을 선정하였다. 8004 노즐은 1kg/cm² 시 0.90 L/min 의 유량과 1.5kg/cm² 시 71° 의 분사각, 0.85~1kg/cm²의 분사압력시 분사각 65°로 추정되는 분사 특성을 가지므로 본 연구에 적합하다고 판단하였다.

Table 3-21 노즐 선정에 고려한 사항 및 계산 과정

Nozzle 개수	4개(두둑 2, 이랑 2)
분사높이	40cm
중첩률	33 %
분사각	$2 \times \tan^{-1} \frac{25}{40} = 64^\circ$
중첩률	제초제의 균량 살포를 위해 1/3로 결정
희석배수	400
일반 농약 살포량	300 ml/10a(원예용 제초제)
살포량	300 ml × 400 = 120 L
살포폭	0.3 m × 4 = 1.2 m
주행거리	300 (평) × 3.3 (m ² /평) / 1.8 m = 367m
주행속도	0.3 m/s
살포시간	367 m / 0.3(m/s) = 1220s = 20min
1 min 당 살포량	120 L / 20 min = 6 L/min
노즐 1개당 살포유량	6 / 4 = 1.5 (리터 / 노즐 1개)

선정된 노즐의 세부 제원을 표 3-22에 나타내었다.

Table 3-22 UniJet nozzle의 제원

Nozzle	B1/4T-SS(PT나사, 1/4inch, 암나사, 스테인레스강)
Nozzle tip	8004-SS(오리피스직경 1.3mm, 분사각도 1.5kg/cm ² 시 71°)
분사형태	부채꼴형(flat spray nozzle)
제작사	spraying systems, USA
예상분사압력	0.85~1 (kg/cm ²)
분사폭	30cm
분사각	약 64° (1/3 중첩)
분사속도 효율	90%~97%

앞서 선정된 노즐, 레귤레이터 등의 분무부위를 결합하여 차량에 장착하였다. 시스템의 모습을 그림 3-43에 나타내었다.

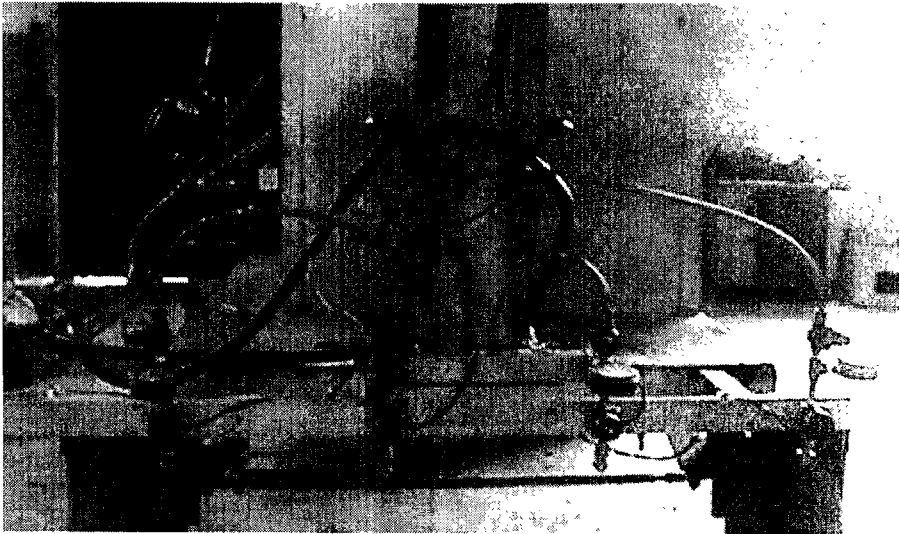


Fig. 3-43 분무 시스템을 차량에 장착한 모습

4) 분무 ON/OFF 제어부 설계

분무노즐 제어를 위해 마이크로 컴퓨터의 한 종류인 PICBASIC-1B(Compile technology)를 사용하였다. 마이크로 컴퓨터는 주컴퓨터에서 RS-232C 통신을 통해 전송되는 노즐 ON/OFF 및 개폐지속시간에 관한 정보를 받아들이고 해당하는 노즐의 솔레노이드 밸브를 각각 제어하는 역할을 한다. 노즐제어부를 노즐부와 결합하기 이전에 각 노즐별로 정확한 동작여부를 확인하기 위하여 lock switch를 장착하였다. 또한 마이크로 컴퓨터의 5V 제어신호와 솔레노

이드 구동부의 12V의 전압차가 존재하므로 포토커플러를 사용하였다. 제어부의 블록선도를 그림 3-44에 나타내었으며, 이에 해당하는 회로를 실제 제작하여 그림 3-45에 나타내었다. 제작된 제어부의 모습은 그림 3-46과 같다.

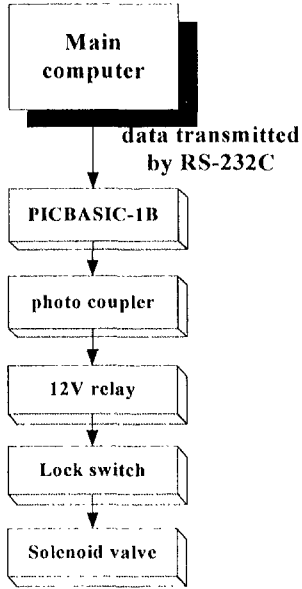


Fig. 3-44 노즐 컨트롤 순서도

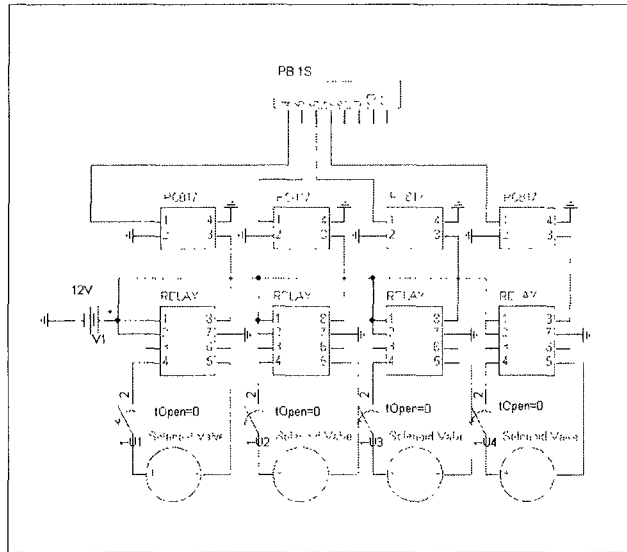


Fig. 3-45 컨트롤러의 회로도

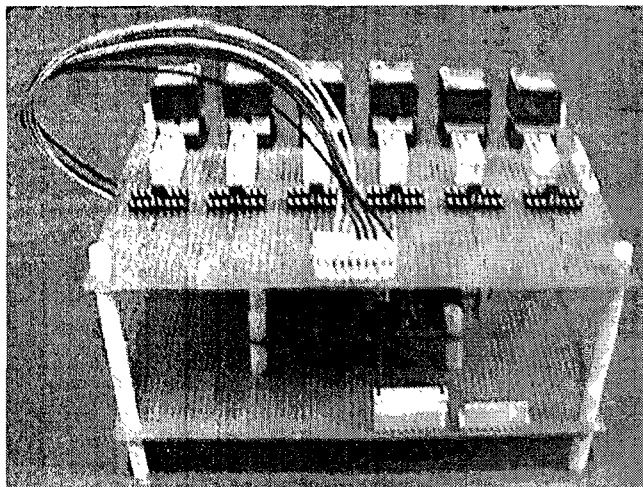


Fig. 3-46 분무 노즐 제어부

2. 장치의 성능 검증

가. 노즐 분무량 및 안정성 테스트

노즐의 분무량을 조절하는데는 크게 두 가지 방법이 있다. 하나는 유량제어밸브를 부착하는 방식이며 다른 하나는 분무시간을 조절하는 방식이다. 본 연구에서는 분무시간을 간격을 두어 지속적인 ON/OFF 신호를 반복하여 적용하는 방식을 택하였다. 이 경우 크게 세 가지 사항을 점검하여야만 한다.

첫째, 노즐 ON 시간에 따른 분무량이 일정한가를 살펴야 한다. 동일 시간간격에 대한 유량의 편차가 크다면 변량살포기로서의 역할을 하지 못하기 때문이다. 따라서 노즐의 ON 시간을 변경해가면서 분무량의 표준편차가 평균에 비해 작은 값을 유지하는지를 측정하였다.

둘째, 상호 노즐간의 간섭을 받지 않는지 살펴보아야 한다. 본 실험에서 사용하는 시스템은 각각의 노즐에 대해 상호 독립적으로 분무량 제어가 가능하도록 해야 한다. 따라서 한 노즐이 작동시 다른 노즐의 작동에 대해 영향을 받는지를 측정하였다.

셋째, 앞의 두 가지 사항이 만족된다 하더라도 반응속도가 느리다면 실시간 적용시 문제가 발생할 수 있다. 따라서 호스트 컴퓨터 측에서의 출력 신호에 대해 얼마나 빠른 응답속도를 보이는가를 측정하였다.

앞의 세 가지 고려사항을 살펴보기 위하여 앞서 제작한 노즐 제어 컨트롤러와 IO보드, 압력 센서를 이용하여 계측 시스템을 구성하였다.

본 실험에 사용한 압력 센서는 히스코사의 최대입력 범위가 2kgf/cm^2 인 센서를 사용하였으며 사양은 표 3-23과 같다.

Table 3-23 압력센서의 제원

Model	P200C042KGM
Capacity	$0\sim 2\text{kgf/cm}^2$
Output	$0\sim 5\text{ VDC}$
Powwer	$18\sim 33\text{ VDC}$

계측 시스템 내의 PIC 컨트롤러에 호스트 컴퓨터와 RS-232C 통신이 가능하도록 프로그램하였으며, PC측에서 노즐 ON시간을 ms단위로 제어할 수 있도록 Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그램을 작성하였다. PC측에서 프로그램의 실행 화면은 그림 3-47와 같다.

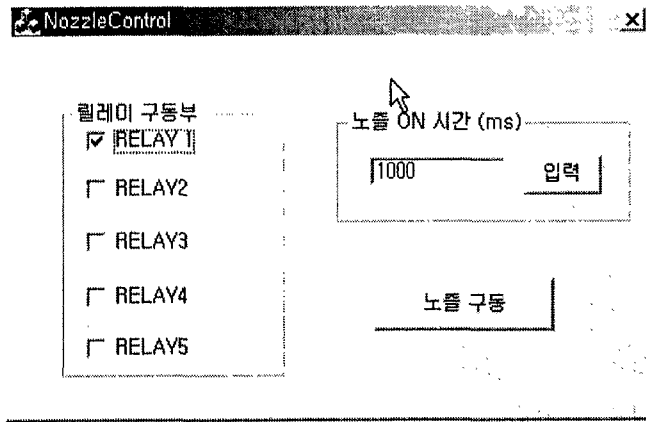


Fig. 3-47 호스트 컴퓨터용 노즐 제어 프로그램 실행도

계측 시스템을 그림 3-48과 같이 구성하여 노즐 분무 테스트를 실행하였다.

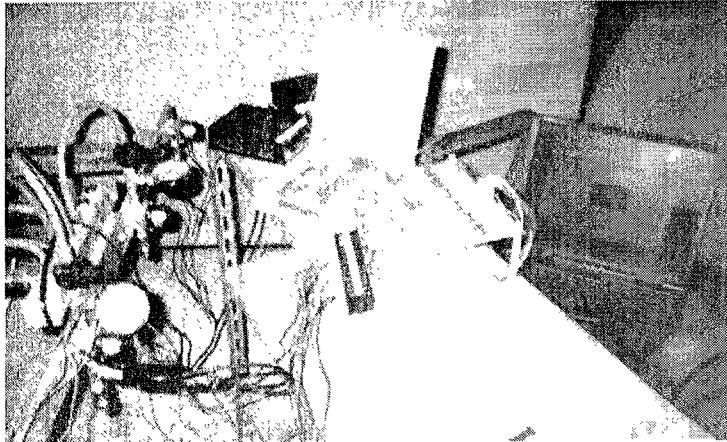


Fig. 3-48 계측 시스템을 이용한 노즐 테스트

1) 노즐의 개폐시간에 따른 분무량 측정

노즐의 지속시간을 100ms, 1,000ms, 3,000ms로 바꾸어가면서 각각 10회에 걸쳐 노즐 분무량을 측정하여 표 3-24에 나타내었다. 분무액은 물을 사용하였으며 계측은 0.005g 오차한계의 전자저울을 이용하여 측정하였다.

Table 3-24 노즐의 분무량 측정

ON 지속 시간	평균 (g)	표준편차 (g)
0.1초	6.784	0.06867
1 초	24.957	0.1037
3 초	63.305	0.2787

실험 결과에서 ON 지속 시간을 0.1초로 했을 때 표준편차가 1%였고 보다 긴 지속시간에 대해서는 1%보다 작은 오차를 보였다. 이는 0.1초대의 짧은 ON 시간에 대해 솔레노이드 밸브 자체의 관성에 의해 반응이 느려진 결과로 판단된다. 추후보다 빠른 반응속도의 솔레노이드 밸브를 사용할 경우 정밀한 분무량의 제어가 가능할 것이다.

2) 노즐 안정성 테스트

노즐2가 동작하고 있는 중 노즐 1을 구동하였을 때의 압력변화 정도를 계측하고자 하였다. 실험 결과를 그림 3-49에 나타내었다. 그림 3-49에서 보듯 압력의 차이가 나타나지 않아 실제 방제에 적용시 문제가 없는 것으로 판단되었다. 이는 압력에 따른 변화를 최소화하기 위하여 전체 압력 레귤레이터와 각각의 노즐에 대해 레귤레이터를 부착하여 압력의 큰 유동이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

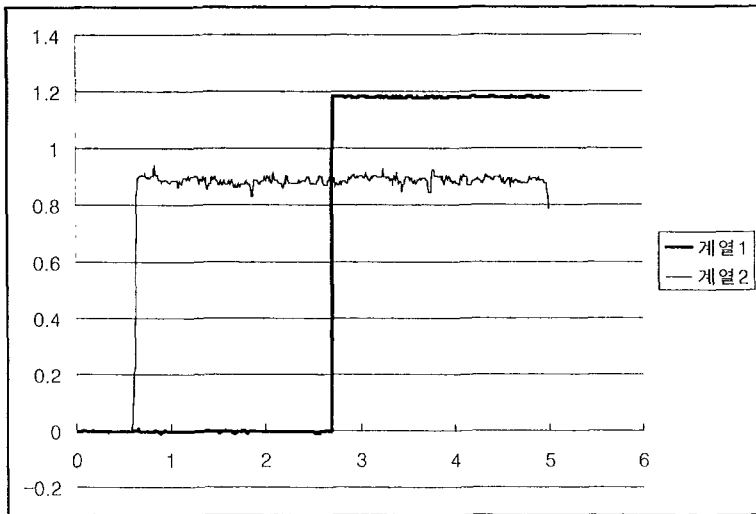


Fig. 3-49 노즐 안정성 테스트

3) 노즐의 반응속도 테스트

호스트 PC에서 출력하는 신호에 대해 노즐이 얼마나 빨리 반응하는지를 관측하기 위해 입력신호에 대한 노즐 분사 압력을 측정하였다. 반응 속도 측정 결과를 그림 3-50에 나타내었다. 실험 결과 입력에 대해 압력이 일정하게 안정되는데 0.1초가 걸렸다. 앞의 실험 결과에서 0.1초 개폐시 분무량 측정 결과 오차가 1% 내외였다. 따라서 분무 개폐간격을 0.1초로 선택하여 방제 시스템에 적용하는데 문제가 없다고 판단되었다.

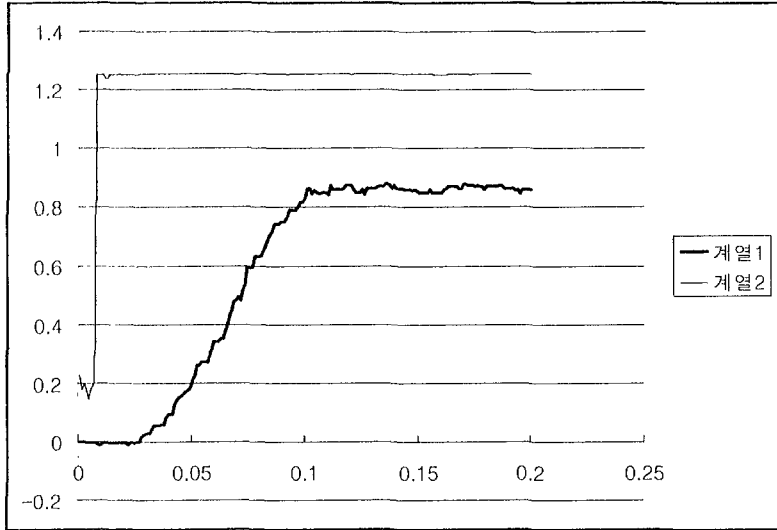


Fig. 3-50 노즐의 반응속도 테스트

나. 실내 영상 테스트

구성된 시스템에서 영상정보를 정확히 추출하는지 성능을 평가하기 위한 기초실험으로서 실내실험을 행하였다. 비교적 평평한 위치에서 대상체를 배치시키고 DGPS 좌표 및 자이로 컴파스의 회전각을 측정한 다음 영상처리에 의한 오차를 구하였다. 실험하는 모습을 그림 3-51에, 영상좌표 판별을 위해 레이블링한 영상을 그림 3-52에 나타내었다.

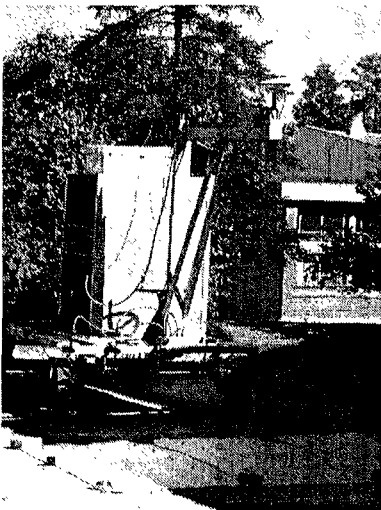


Fig. 3-51 작물의 위치정보 검출을 위한 기초실험

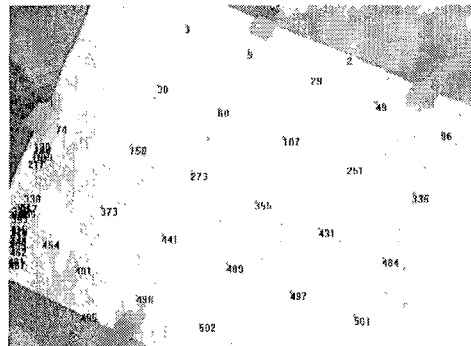


Fig. 3-52 레이블링한 영상

실제 측정된 대상체의 DGPS 좌표와 영상에서 획득한 좌표를 비교하여 오차를 측정하였다. 대상체의 좌표를 영상에서 추출한 결과를 그림 3-53에 나타내었으며, 회전변환을 통해 계산된 결과를 그림 3-54에 나타내었다. 좌표는 일반적으로 Y축 방향이 반대이고 원점이 화면 좌측 상단에 있으므로 이를 일반좌표를 기준으로 화면의 중앙을 원점으로 변환시켜 비교하였다. 오차는 두 좌표간의 차이로 하여 실험결과를 표 3-25에 나타내었다.

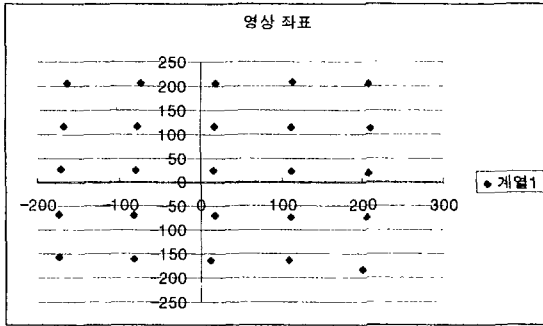


Fig. 3-53 대상체의 좌표를 영상에서 추출

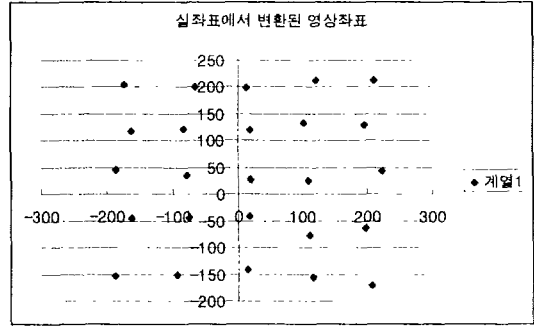


Fig. 3-54 회전변환을 통해 추출

Table 3-25 좌표 추출의 오차 측정

영상 좌표		실좌표에서 변환된 영상좌표		영상에서의 오차	
x	y	x	y	x좌표 오차	y좌표 오차
-164	205	-173	204	-9	-2
-73	207	-65	201	8	-6
18	207	13	198	-5	-9
114	208	121	213	7	5
207	205	211	213	4	8
-167	117	-162	119	5	1
-77	117	-82	123	-5	5
17	117	19	121	2	4
112	115	103	134	-9	19
209	113	197	129	-12	16
-171	27	-186	46	-15	19
-79	26	-78	36	1	10
16	24	19	28	4	4
112	22	108	25	-3	3
207	19	224	44	17	25
-174	-66	-162	-45	12	20
-82	-69	-75	-43	7	26
17	-70	17	-42	1	28
110	-73	111	-76	1	-3
204	-74	198	-63	-6	11
-174	-157	-187	-152	-13	4
-83	-161	-93	-150	-10	11
12	-164	15	-140	3	23
108	-164	116	-155	8	9
-62	182	-54	193	7	12

실험장치의 카메라 렌즈 및 위치정보로부터 영상에서 1cm/3pixel의 해상도를 가지므로 측정된 오차가 평균 13pixel이었다. 이는 영상촬영시 작물의 크기를 감안할 때 5cm이내의 범위에 있으므로 시스템에의 적용이 가능하였다. 몇몇 지점에서는 최대오차가 10cm가 되었는데 이는 대상체 위치 추출시 GPS좌표 측정에서 오차로 인한 것으로 판단된다. 작물좌표 측정시 식부시에 기계를 이용한 GPS좌표를 이용하면 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

다. 통합 테스트

통합된 정밀방제 시스템을 이용하여 영상을 획득하고 위치정보 획득을 통한 방제요구부위 검출 및 방제 효율을 평가하고자 하였다. 서울대학교 농업생명과학대학의 과수원 내의 토양에 무를 심고 방제성능을 테스트하였다. 필드에서 실험중인 장치의 모습을 그림 3-55에 나타내었다.

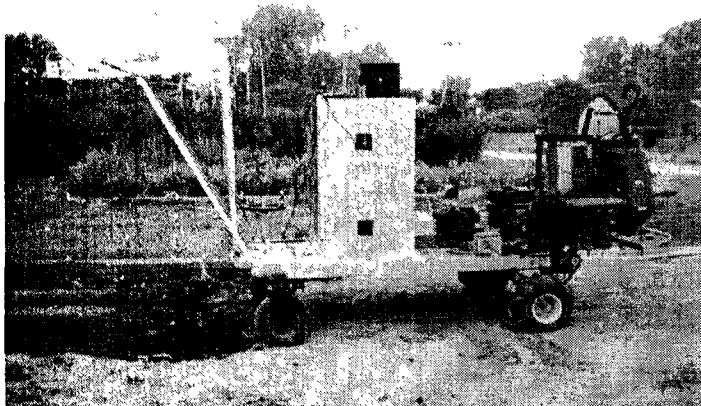
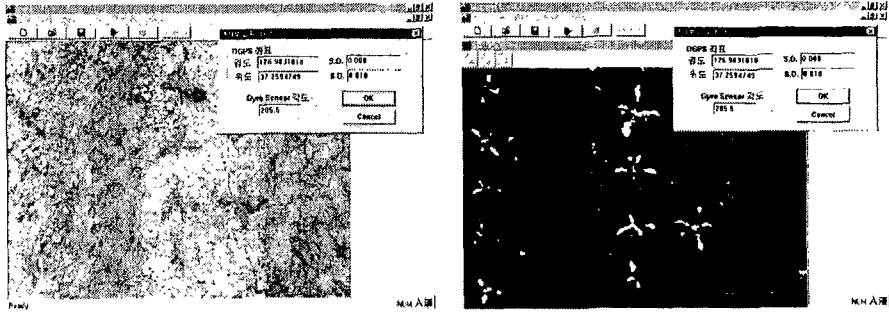


Fig. 3-55 필드에서 실험중인 정밀방제기

개발된 알고리즘과 실험장치를 통합하여 구동하기 위한 통합 프로그램을 개발하였다. 프로그래밍 환경은 Visual C++ 6.0을 이용하였으며 영상처리 라이브러리는 MIL Lite 6.1을 사용하였다. 그림 3-56 (a)는 GPS 좌표와 자이로 컴퍼스의 각도를 계측하고 화면 영상을 잡는 모습을 나타내었으며 그림 3-56 (b)는 영상처리를 통해 방제요구부위를 검출하는 모습을 나타내었다.



(a) (b)
Fig. 3-56 통합 프로그램의 실행 화면

무에 대한 영상을 획득시 DGPS에서 발생하는 좌표정보와 지자기 컴파스와 자이로 센서를 이용한 위치 보정 정보를 함께 저장한다. 작물 식부시 미리 database에 입력된 위치정보를 영상에서 얻어진 식물의 정보와 비교한다. 영상에서의 위치정보가 기존의 작물의 위치정보와 일치하지 않으면 잡초로 판단한다. 영상에서 얻어진 잡초정보를 통해 잡초방제부위를 설정하여 실제 분무기가 작동하는 모습을 그림 3-57에 나타내었으며, 방제 후 토양 및 식물체의 영상을 그림 3-58에 나타내었다.



Fig. 3-57 실제 분무기가 작동하는 모습



Fig. 3-58 방제 후 토양 및 식물체

7절. 결 론

방제요구부위 검출 및 site-specific 방제 기술을 개발하기 위하여 방제요구부위를 검출하기 위한 기초 연구를 행하였다. 그 결과 광학적 특성 및 형태학적 특성을 이용하여 작물과 잡초를 판별할 수 있다고 판단되었다.

엽록소의 함량에 식물의 광학적 특성이 다르므로 근적외선 카메라를 사용한 영상처리 기법을 통하여 식물과 잡초의 구별을 시도하였다. 그러나 과도한 조명의 필요성 및 근적외선 카메라의 특성에 따른 반응 속도 등의 문제로 정밀방제 시스템에 적용하기가 어려웠다.

작물과 잡초의 형태학적 특성이 다르다는 점에 착안하여 CCD 카메라와 신경회로망을 이용한 잡초 검출 알고리즘을 개발하였다. 검출력은 높았으나 제한된 대상체에만 적용할 수 있고 검출에 소요되는 시간이 많아 실시간 방제에 적합하지 않았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 DGPS와 자이로센서 및 GIS를 이용한 전자지도상에 기획득된 작물좌표를 이용하여 좌표변환을 통해 잡초와 작물을 판별하는 고속화 알고리즘을 개발하였다.

정밀 방제용 이동식 차량을 제작하고 노즐별로 ON-OFF 제어가 가능한 살포장치를 부착하였으며, 고속화 알고리즘을 통합하여 정밀방제 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템은 영상 획득 → DGPS 좌표 획득 → 자이로 컴파스 데이터 획득 → 데이터베이스로부터 작물의 위치정보 획득 → 영상처리를 이용한 방제요구부위 검출 → 노즐별 개별 방제 작업이 순서적으로 반복해서 진행된다. 완성된 시스템의 성능 및 안정성을 평가하기 위해서 서울대학교 부속 과수원에서 무릎 대상으로 개발된 시스템을 검증하였다.

개발된 시스템은 RS-232C 통신을 이용하여 데이터의 전송을 수행할 수 있었으며, 순차적인 진행이 가능하도록 통합 프로그램을 제작하였으며, 검증 결과 정밀방제의 가능성을 보였다.

참 고 문 헌

- Adamchuk, V. I. and Morgan, M. T. 1999. Evaluation of Automated Soil pH Mapping. Paper No. 991100 An ASAE Meeting Presentation.
- Anom S. W., S. Shibusawa, A. Sasao, K. Sakai, H. Sato, S. Hirako, S. Blackmore. 2000. Moisture, Soil Organic Matter and Nitrate Nitrogen Content Maps Using The Real-Time Soil Spectrophotometer. *Bio-Robotics II*. 305-310.
- Aronoff, Stan. 1995. *Geographic information systems: A management perspective*, WDL Publications Ottawa, Canada.
- Baumgardner, M. F., L. F. Silva, L. L. Biehl and E. R. Stoner. 1985. Reflectance properties of soils. In *Advances in Agronomy*, Vol. 38. Orlando, Fla: Academic Press.
- Benlloch, J. V., T. Heisel, S. Christensen, A. Roads. 1997. Image processing techniques for determination of weeds in cereal. *BIO-ROBERTICS'97 international workshop on robotics and automated machinery for bio-products*:195-199.
- Carol. A. Gotway, Richard B. Ferguson, Gary W. Hergert, and Todd A. Peterson. 1996. Division S-8 Nutrient Management & Soil & Plant Analysis. *Soil.SCI. SOC. AM. J.* 60: 1237-1247.
- Chen, Feng, David E. Kissel, Larry T. West, Wayne Adkins. 2000. Field-Scale Mapping of Surface Soil Organic Carbon Using Remotely Sensed Imagery, *Soil. Soc. Am. J.* 64 : 746-753.
- Franz, E., M. R. Gebhardt, K. B. Unklesbay. 1995. Algorithms for extracting leaf boundary information from digital images of plant foliage. *Transactions of the ASAE* 38(2):625-633.
- Hans Delcourt, Josse De Baerdemaeker. 1994. Soil nutrient mapping implication using GPS. *Computers and Electronics in Agriculture* 11:37-51.
- Haykin, S., 1994. *Neural networks*. Prentice-Hall.
- Heisel, T., S. Christensen, A. M. Walter. 1997. Validation of weed patch spraying in spring barley preliminary trial. *Proceedings of the First European Conference on Precision Agriculture*. Vol II:879-886.
- L. Tian, D. C. Slaughter, R. F. Norris. 1997. Outdoor field machine vision identification of tomato seedlings for automated weed control, *Transaction of ASAE*, Vol. 40(6):1761-1768.
- Logsdon, Tom, 1992, *The navstar global positioning system*, Van Nostrand reinhold, New York
- Meyer, G. E., T. Mehta, M. F. Kocher, D. A. Mortensen, A. Samal. 1998. Textural imaging and

- discriminant analysis for distinguishing weeds for spot spraying. *Transactions of the ASAE* 41(4):1189-1197.
- Shearer, S. A., J. A. Thomasson, S. G. McNeill. 1996. Filter selection for NIR sensing of plant and soil materials. *Transactions of the ASAE* 39(3):1209-1214.
- Shibusawa, S. 1999. Environment-Friendly Agriculture and Mechanization Trend in Japan. *Proceedings of international Symposium on Farm Mechanization for Environment-Friendly Agriculture*: 53-80.
- Shibusawa, S., H. Sato, S. Hirako, A. Otomo, A. Sasao. 2000. A Revised Soil Spectrophotometer. *Bio-Robotics II*. 225-230.
- Shimizu, H., R. D. Heins. 1995. Computer-vision-based system for plant growth analysis. *Transactions of the ASAE* 38(3):959-964.
- Stafford, J. V., B. Amler, R. M. Lark, and J. Catt, Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops, *Computers and Electronics in Agriculture* 14(1996):101-119.
- Sudduth, K. A., J. W. Hummel. 1991. Evaluation of reflectance methods for soil organic matter sensing, *Transaction of ASAE*, Vol. 34(4):1900-1909.
- Sudduth, K. A., J. W. Hummel. 1993. Portable, near-infrared spectrophotometer for rapid soil analysis, *Transaction of ASAE*, Vol. 36(1):185-193.
- Sudduth, K. A., J. W. Hummel. 1996. Geographic operating range evaluation of a NIR soil sensor, *Transaction of ASAE*, Vol.39(5):1599-1604.
- Tian, L., D. C. Slaughter, R. F. Norris. 1997. Outdoor field vision identification of tomato seedlings for automated weed control. *Transactions of the ASAE* 40(6):1761-1768.
- Valiente, J. M., V. Atienza, J. V. Belloch. 1997. Image processing techniques for determination of weeds in cereal. *BIO-ROBOTICS'97 international workshop on robotics and automated machinery for bio-products* :217-222.
- Wobbecke D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen, D. A. Mortensen. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions, *Transactions of the ASAE* Vol.38(1):259-269.
- Wobbecke D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen, D. A. Mortensen. 1995. Shape features for identifying young weeds using image analysis, *Transactions of the ASAE* Vol.38(1):271-281.
- Wobbecke, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen, D. A. Mortensen. 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE* 38(1):259-269.
- Wobbecke, D. M., G. E. Meyer, K. Von Bargen, D. A. Mortensen. 1995. Shape features for

- identifying young weeds using image analysis. Transactions of the ASAE 38(1):271-281.
- Yamamoto, H., Y. Suzuki, T. Kojima, S. Hayakawa, Y. Inoue, and M. Tanaka. 1994. Estimation of leaf water content of plants by spectral reflectance of near infrared range, Jpn. J. Photogrammetry and Remote Sensing, 14(4):9-17.
- Yule, I. J., P. J. Cain, E. J. Evans, and C. Venus. 1992. A spartial inventory approach to farm planning, Computers and Electronics in Agriculture 14(1992):151-161.
- Zhang N., C. Chaisattapagon. 1995. Effective criteria for weed identifying in wheat fields using machine vision, Transactions of the ASAE Vol. 38(3):965-974.
- Zhang, N., c. Chaisattapagon. 1995. Effective criteria for weed identifying in wheat fields using machine vision. Transactions of the ASAE 38(3):965-974.
- 강우묵, 박춘주. 1994. 토질역학, 형설출판사, 서울.
- 고경식. 1991. 한국식물검색도감. 아카데미서적.
- 농촌진흥청. 1992. 한국의 밭 잡초. 농촌진흥청.
- 박백균. 1998. 토양검정에 의한 시비량 조절. 농업기술 8월호: 3-5.
- 박정화. 1995. 질소 비료 사용과 미질. 농업기술지 2월호: 1-2.
- 손상목, 정길생. 1997. 한국 환경 농업의 성공적 정착을 위한 기술적 및 정책적 접근과제. 유기 농업학회지 동계학술대회. 5(2):13-36.
- 송주택. 1993. 식물학대사전. 한국도서출판중앙회.
- 신영오, 1985. 토양미생물학개론, 대광문화사, 서울
- 심상철, 1995. 토양비료개론, 선진문화사, 서울
- 연상호, 이상석 편역. 1994. GIS 개론 및 실습, 한울 아카데미, 서울
- 이종환. 1992. 농산물 및 미립자의 기하학적 특성 분석을 위한 컴퓨터 비전 시스템. 박사학위논문. 서울대학교.
- 정선옥, 박원규, 장영창, 이동현, 박우풍. 1999. 소구획 경작지에서의 벼 수확량 지도 작성. 한국 농업기계학회지 Vol. 24(2):135-144.
- 조한근, 송현갑. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 잎담배의 외형 및 색 특징 추출. 한국농업기계학회지 19(4):380-396.
- 홍석영. 1998. 원격탐사 자료를 이용한 벼 생육정보 분석 및 재배 면적 추정. 박사학위논문. 경북대학교.