

최 종
연구보고서

비파괴 측정법을 이용한 퇴비
품질 자동측정기 개발

Development of Compost Quality
Autoanalyzer using nondestructive method

연구기관
경북대학교

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “비파괴 측정법을 이용한 퇴비 품질 자동 측정기 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 5월 24일

주관연구기관명 : 경북대학교

총괄연구책임자 : 박 우 철

세부연구책임자 : 조 래 광

연구 원 : 서 상 현

연구 원 : 강 연 복

연구 원 : 윤 연

연구 원 : 홍 파

연구 원 : 김 효 현

요 약 문

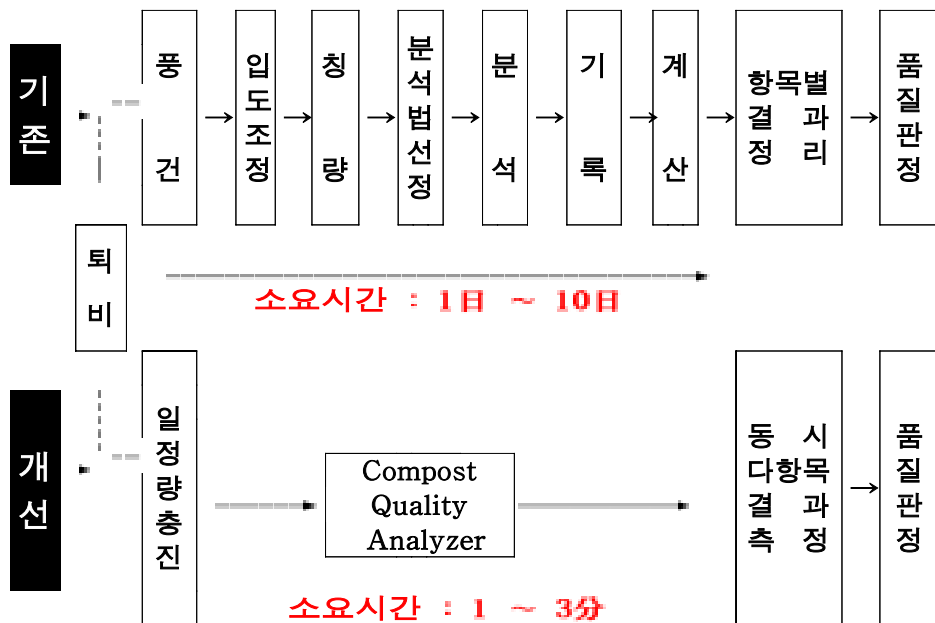
I. 제 목

비파괴 측정법을 이용한 퇴비 품질 자동측정기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

비료공정규격상 퇴비(부산물비료 포함, 이하 퇴비라 함)의 품질 판정은 장시간, 고경비, 전문인력 소요 등의 단점이 있으며 또한, 부숙정도 판정 및 양분함량 표시는 공정규격상 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 퇴비내의 양분함량을 빠른 시간 내에 측정할 수 있을 뿐만 아니라 부식질 함량에 근거한 부숙정도를 판정할 수 있는 비파괴 퇴비 품질 자동 측정 장치(Compost Quality Autoanalyzer)를 개발하고자 한다.



본 연구를 통해 개발될 Compost Quality Autoanalyzer는 퇴비 생산업체에서는 양질의 퇴비 생산을 유도하며, 고품질 농산물 생산을 희망하는 재배농가들이 양질의 퇴비의 선별적 사용으로 인한 생산업체 및 재배농민 모두가 고부가가치를 얻을 수 있게 하고, 또한 퇴비의 양분함량을 파악함으로써 생산이력제 및 정밀농업 구현에도 일조를 할 수 있을 것이며 환경보전형 농업의 구현에 기여할 수 있을 것이다

2. 연구개발의 필요성

최근 웰빙바람을 타고 농산물 소비자들은 화학비료를 사용해 재배한 농산물에 대해 강한 거부감을 갖고 있어, 일부 농민들은 이와 같은 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 화학비료를 대체하는 유기농업 또는 친환경농업을 시행하고 있는 실정이며 점차 이에 대한 관심이 커져가고 있다.

농가에서는 토양비옥도 관리를 위해 기존의 화학비료에서 유기질비료 및 퇴비 등의 사용량이 점차 늘어나고 있는 실정이나 농업여건상 퇴비를 직접 농가에서 제조하는 경우는 아주 적은 실정이며 대부분이 제조공장에서 생산된 제품을 구입하여 사용하고 있는 실정이다.

국내의 퇴비 제조 시설은 대부분이 영세한 편이며 퇴비제조기술은 각 업체마다 상이하며 제조기술이 오랫동안 축적된 일부 업체를 제외하고는 대부분 설비제작업체가 경험을 바탕으로 시공한 시설조건에 따라 퇴비를 제조하고 있는 실정이다. 한편 각기 다른 업체에서 제조한 퇴비라도 원료가 동일하면 최종제품의 이화학성이 비슷하도록 생산되어야 하나 현실적으로 사용원료 및 제조공법이 다양하며 일련의 공정에 따라 제조되는 공산품처럼 생산하기 어려운 점이 많으므로 표준화된 일정 품질기준을 갖춘 퇴비를 생산관리하기에는 실제로 어려움이 적지 않다. 또한 퇴비생산업체가 품목을 등록할 때 한번만 검사하고 3개월에 1회씩 제품분석을 통한 품질관리를 하도록 되어 있어, 제품 생산 때마다 원료는 물론 그 생산조건이 매번 동일하지 않는 점을 고려한다면 현행 품질관리의 실효성이 의심스럽다 하겠다. 그러므로 이에 대한 대안으로 생산되는 제품마다 지속적인 품질 분석을 통해 제품을 관리하는 시스템이 필요할 것으로 생각되며 현행 이화학적 분석법을 적용하기는 불가능하므로, 짧은 시간 내에 정확히 품질 검

사를 할 수 있는 방법 및 장치의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 기존의 화학적인 퇴비분석방법이 가진 단점을 보완하여 퇴비 제조 현장과 유통 검사 기관에서 신속·정확하게 객관적으로 품질을 평가할 수 있는 새로운 장치를 개발하고자하며 이 장치에는 퇴비의 이화학성 뿐만 아니라 부식질과 같은 내부품질인자에 근거한 퇴비의 품질 판정을 할 수 있도록 하고자 한다.

본 연구를 통해 개발된 비과괴 퇴비 품질 측정 장치(Compost Quality Autoanalyzer)는 퇴비 생산업체 뿐만 아니라 고품질 생산을 희망하는 재배농가들이 양질 퇴비를 선별하여 사용할 수 있게 도와 줄 뿐만 아니라 퇴비의 양분 함량을 정확히 알고 사용함으로써 정밀시비를 할 수 있게 하는 등의 친환경 농업 구현에 일조를 할 수 있을 것으로 기대된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (2004)	<p>퇴비 품질 자동 측정기 개발을 위한 다변량 해석 및 검량식의 정확도 향상</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 시판퇴비의 품질 평가 요인(수분, 유기물, 전질소, 인산, pH, 부식질 등)의 분석 데이터와 근적외 스펙트럼 데이터 간의 다변량 해석 - 비파괴 측정 정확도 향상을 위해 상이한 원료로 제조한 퇴비의 자동 품질 측정 요인 분석 및 퇴비 품질 측정 요인별로 작성된 검량식의 미지시료에 대한 검증 -퇴비의 품질 측정 요인에 대한 근적외 스펙트럼 특성 해석 및 귀속 연구 -퇴비시료의 근적외 측정시 정확도 향상을 위해 Smoothing, Normalization, 미분 등의 데이터 처리 등 다양한 chemometrics를 통한 정확도 향상 연구
	<p>현장용 퇴비 품질 자동 측정기 개발을 위한 설계 및 시험 제작</p>	<ul style="list-style-type: none"> -측정 정확도 향상을 위한 연구용 비파괴 검량식의 현장용 비파괴 장치에 적용시 변이 요인 분석 연구 -퇴비의 현장용 품질 자동 측정 장치의 시험제작을 위한 문제점 해결 및 필요한 요소 기술 확립 -제작될 현장용 비파괴 측정기의 각 장치 요소별 경제성 검토를 통해 최적화 모델 구축 및 실용성 향상 -현장용 비파괴 퇴비 품질 측정기의 제작을 위한 시제품의 설계·제작 및 첨단 요소 기술의 장치화

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
2차년도 (2005)	<p>다양한 재료로 제조한 시판퇴비에 맞는 현장 및 범용 비파괴 검량식 작성 및 정확도 향상시험</p>	<p>-다양한 재료 및 제조방법으로 제조된 퇴비에 적용할 수 있는 현장용 universal calibration의 작성</p> <p>-현장용 비파괴 측정기의 측정 정확도 향상을 위해 작성된 범용검량식 제작 및 현장 적용성 개선 연구</p> <p>-현장용 비파괴 퇴비 품질 측정에서 복수의 다변량 해석법을 통한 비파괴 측정 정확도 향상 연구</p>
	<p>퇴비의 현장용 비파괴 이화학성 자동 측정기의 개발 및 현장 적용성 개선</p>	<p>-다양한 원료 및 제조공법을 통해 제조된 퇴비에 응용 가능한 현장용 검량식 작성을 위한 전용 소프트웨어 작성을 통한 비파괴 측정 정확도 향상 연구</p> <p>- 근적외 분광분석법을 응용한 퇴비 품질 자동 측정기의 범용성 및 현장성 확보 연구</p> <p>-시판퇴비에 직접 응용 가능한 고성능, 소형, 저가 및 compact화된 현장용 근적외 퇴비 품질 자동 측정기 개발</p>

IV. 연구개발결과 및 활용에 관한 건의

1. 연구개발결과

1) 본 연구를 위해 다양한 원료로 제조된 시판 퇴비를 수집하여 그 특성 및 이화학을 조사한 결과 퇴비의 제조 원료로는 여러 가지 가축분(우분, 돈분, 계분)이 주로 사용되며 기타 식품 제조 업체의 슬러지(어류슬러지, 식물성 슬러지, 음식물 슬러지 등)들도 사용되고 있었는데 그 원료의 조합비율은 제조공장마다 원료수급 사정에 따라 조정되고 있어 일률적인 종류로 분류시킬 수는 없었다.

2) 시판되는 퇴비 시료의 이화학적 분석결과 퇴비의 전질소함량은 0.41~2.88%, 유기물 함량은 24.29~89.21%, pH는 4.3~9.7, K₂O는 0.06~2.42%, P₂O₅는 0.01~2.01%, CaO는 0.03~20.03%, MgO는 0.02~3.04%, 염분은 0.00~3.78%, EC는 1.04~13.89dS/m, humic acid함량은 0.67~9.02%로 다양한 분포를 나타냄을 알 수 있었다.

3) 연구용 근적외 분석기 및 현장용 분석기에 의한 1100~2500nm의 전영역 스펙트럼 중 1450nm, 1940nm 그리고 2200nm 부근의 영역에서 뚜렷한 흡수피크를 나타내는데 1450nm와 1940nm는 물분자의 O-H기에 기인한 흡수영역으로 잘 알려져 있어 퇴비 중의 수분에 의한 흡수피크임을 알 수 있다. 2200nm 부근의 흡수피크는 퇴비 중에 함유된 단백질에 의한 흡수피크가 겹쳐서 나타나는데 변화를 보이는 영역을 보다 세분화하기 위해 미분처리 한 뒤 스펙트럼의 특징해석을 통하여 부숙정도 수분함량 등의 유용한 품질 정보를 발견할 수 있었다.

4) 퇴비시료의 비파괴 측정 검량식 제작에 있어 다양한 회귀분석법 적용 및 스펙트럼 데이터의 전처리를 행한 결과 측정 정확도가 향상되었으며 퇴비의 이화학 측정용 검량식은 전반적으로 상관계수가 0.9이상의 높은 정확도로 비파괴 측정이 가능하였다.

5) 본 연구에서 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 비파괴 측정 기법을 도입한 자동 분석 시스템으로 근적외 분광 센서를 탑재한 측정부에 개방된 시료컵, 즉 회전판을 밀착시킨 시료컵이 연속 공급 가능한 구조로서 시료 충전, 폐기 등 전처리과정이 필요 없으며, 고속화된 분석 속도에 종래의 분석시간을 95%이상 절감이 가능하고, 시료 당 1분 이내에 분석결과가 출력되며, 한번에 여러 성분이 동시에 측정되며 소견도 덧붙여 인쇄할 수 있다.

2. 활용에 관한 건의

가. 본 연구에서 조사된 바와 같이 시판퇴비의 각종 이화학 성분 함량은 상당한 범위의 차이가 있어서 퇴비의 시용시에 각 포장단위마다 품질관정 결과, 즉 성분 함량 등을 표시하여 사용하는 농가 또는 농민단체의 정밀시비에 기초 자료를 제공 및 활용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

나. 현행 품질관리 및 품질기준으로는 본 연구 결과의 현장적용성은 낮다고 생각되어진다. 즉 다양한 원료로 제조된 퇴비는 그 양분함량도 천차만별로 다르고 같은 제조공장에서 생산된 제품도 그 양분함량이 상당수 다를 것으로 생각되므로 정밀농업의 수행을 위해서는 포장마다 일률적으로 퇴비 시용량을 결정하는 것은 정밀농업의 수행방향과도 불일치 한다고 생각되므로 퇴비의 양분함량에 기초하여 양분이 많은 퇴비의 시용시에는 그에 따른 토양관리를 수행하여야 할 것으로 판단된다. 그러므로 퇴비의 양분함량 수준파악에 현행의 이화학적 방법은 장시간이 소요되어 현장에 바로바로 적용하기 어려우므로 비파괴 측정법을 활용하여 빠른 시간내에 양분 수준을 결정하여 정밀농업 수행의 자료로 활용하여야 할 것이다.

다. 퇴비 제조공장에서 출하되는 제품은 본 연구에서 조사된 퇴비의 이화학성분은 다양한 함량을 나타내어 이를 일률적으로 토양에 시용하는 것은 토양 양분 불균형을 초래할 수 있을 것이며, 작물 재배를 위해 기비로 사용하는 퇴비의 양분 함량 수준을 충분히 고려하고 퇴비에서 모자라는 성분량을 시비하여야만 토양양분 집적해소 및 현대농업이 추구하는 정밀농업을 실현할 수 있을 것으로 생각된다. 그러므로 퇴비제조업체에서 생산된 퇴비를 상품으로 출시할 때에는 한포대마다 성분분석표를 부착하여 양분수준을 표시할 수 있는 방안을 추진하여야 할 것으로 생각된다.

라. 본 연구에서 개발된 퇴비 품질 자동 측정 장치(Compost Quality Autoanalyzer)를 활용하면 현행 시판퇴비 품질 현황을 쉽게 파악할 수 있을 것이

며 제도적으로 정확한 분석을 요구하는 경우에는 기존의 이화학적 분석 방법을 이용하도록 하되 주요 품질 함량의 양분의 높고 낮은 정도의 파악을 위한 자료가 필요할 경우에는 본 연구를 통해 개발된 Compost Quality Autoanalyzer를 사용함으로써 1-2분내에 퇴비 이화학성의 분석이 가능하여 현장에서 양분 함량과 다 퇴비의 시용으로 인한 토양 양분 불균형을 해소 할 수 있을 것으로 생각되며 친환경 농업(정밀농업)의 구현에 일조를 할 것이다.

마. 상기와 같은 응용성과를 얻기 위해 필요성에 의해 본 연구진이 개발한 근적외 분광분석법을 이용한 퇴비품질 자동 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)는 1-2분 이내에 퇴비의 이화학적 및 부식함량을 측정할 수 있으므로 각 시군의 농협이나 농업기술센터 등 유관단체에서 설치하여 품질 평가 목적으로 활용함이 좋을 것이다.

SUMMARY

I . Theme

Development of Compost Quality Autoanalyzer using nondestructive method

II. Purpose and its Importance

The traditional chemical analysis method is still the most widely used for determining the physico-chemical properties of the compost. It should be remembered that the NIRS approach will never replace the traditional chemical analysis. However, NIRS technique may be an effective method for rapid and nondestructive measurements of a large number of samples. Many researchers were concerned to develop a rapid analytical method and instrument for measuring method of physico-chemical properties in compost. The NIR spectroscopy could be used as a commercial compost analysis method in estimating physico-chemical properties in compost samples simultaneously.

NIR spectroscopy was used to develop nondestructive quality evaluation system for measuring the physico-chemical properties in compost. Applicability of NIR spectroscopy may allow for the analysis of several compost components simultaneously within a few times. So we were develop the nondestructive analyzing instrument(Compost Quality Autoanalyzer) using NIR spectroscopy, newly developed the Compost Quality Autoanalyzer showed good accuracy and rapid analysis to estimate the compost quality.

III. Result and discussion

The 103 commercial compost samples (cattle, pig, chicken and industrial waste composts) produced in Korea were air dried and then ground to pass through a 2mm sieve for analyzing the physico-chemical properties and measuring spectroscopic of compost samples.

The range of physico-chemical properties in commercial composts was following ;

T-N : 0.41~2.88%, OM : 24.29~89.21%, pH : 4.3~9.7, K₂O : 0.06~2.42%, P₂O₅ : 0.01~2.01%, CaO : 0.03~20.03%, MgO : 0.02~3.04%, NaCl : 0.00~3.78%, EC : 1.04~13.89dS/m and humic acid content : 0.67~9.02%.

This study were carried out to develop the rapid estimation method of the quality of various compost made from in cattle, pig, chicken excrement and sludge using near infrared reflectance spectroscopy(NIRS).

Near infrared reflectance spectra of composts was obtained by InfraAlyzer 500 scanning spectrophotometer at 2nm intervals from 1100 to 2500nm. Multiple linear regression(MLR) or partial least square regression (PLSR) was used to develop a calibration tool for the rapid and nondestructive determination of physico-chemical properties and humic acid contents in composts.

PLSR showed better accuracy comparing to MLR for the rapid and nondestructive quality determination of the compost samples.

Compost Quality Autoanalyzer were configured with sample inlet wheel, NIR optic part, system control board and STA software.

Newly developed the nondestructive analyzing instrument (Compost Quality Autoanalyzer) showed the good accuracy and it can be used as a routine compost analyzing method of the physico-chemical properties in the compost samples nondestructively.

Generally, we should select a simple calibration and prediction method for determining physico-chemical properties in compost with proper accuracy. It should be remembered that the NIRS approach will never replace the

traditional methods. However, NIRS technique may be an effective method for rapid and nondestructive measurements of a large number of compost samples.

CONTENTS

Abstract	2
Summary	13
Contents	17
Chapter 1.	21
Section 1. Trends of the study	23
Section 2. Purpose and contest of the study	25
Chapter 2.	29
Chapter 3.	35
Section 1. Background of the study	37
Section 2. Materials and Methods	38
Section 3. Results and discussion	40
Chapter 4.	79
Chapter 5.	83
Chapter 6.	89
Reference	93

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
SUMMARY	13
CONTENTS	17
목 차	19
제 1장 연구개발과제의 개요	21
제 1절 연구개발의 목적	23
제 2절 연구개발의 필요성 및 목표	25
제 2장 국내외 기술개발 현황	29
제 3장 연구 개발 수행 내용 및 결과	35
제 1절 서 설	37
제 2절 재료 및 방법	38
제 3절 연구수행내용 및 결과	40
제 4장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도	79
제 5장 연구개발 결과의 활용 계획	83

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보	89
제 7장 참고문헌	93

제 1 장
연구개발과제의 개요

제 1 장 연구개발과제의 개요

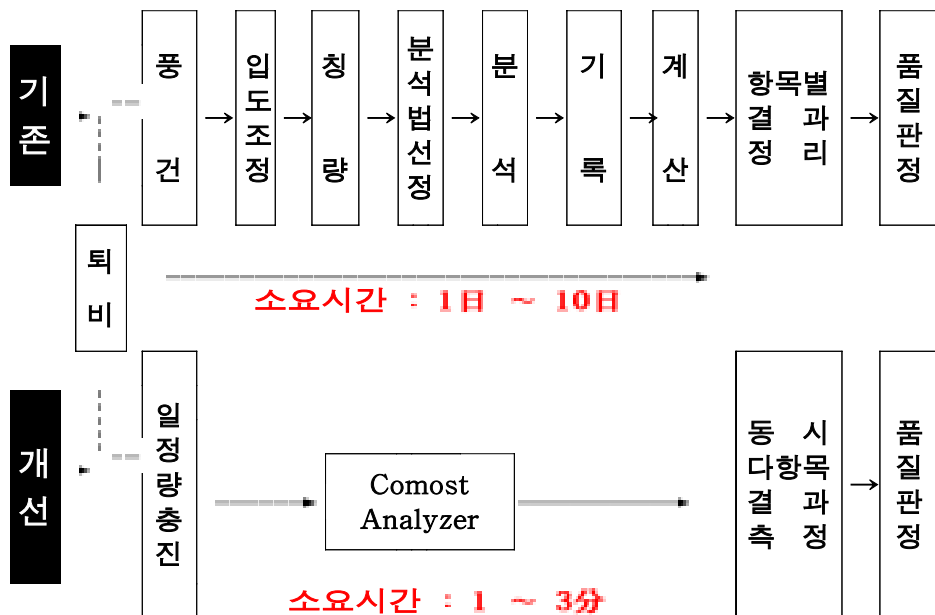
제 1 절 연구개발의 목적

국내 퇴비 제조 시설은 대부분이 영세한 편이며, 퇴비제조기술은 각 업체마다 상이하며 제조기술이 오랫동안 축적된 일부 업체를 제외하고는 대부분 설비 제작업체의 경험을 바탕으로 퇴비를 제조하고 있는 형편이다.

퇴비 시용시 나타나는 문제점을 해결하기 위해서는 각기 다른 업체에서 제조한 퇴비라도 원료가 동일하면 최종제품의 이화학성이 비슷하도록 생산되어야 하나 현실적으로 사용원료 및 제조공법이 다양하며 일련의 공법에 따른 공산품처럼 생산하기 어려운 점이 많으므로 표준화된 일정한 품질의 퇴비를 생산관리하기에는 실제로 어려움이 적지 않다. 또한 퇴비생산업체가 품목을 등록할 때에 한번만 검사하고 3개월에 1회씩 제품분석을 통한 품질관리를 하도록 되어 있어, 제품 생산 시마다 원료는 물론 그 생산조건이 매번 동일하지 않는 점을 고려한다면 현행 품질관리의 실효성이 의심스럽다 하겠다.

그러므로 이에 대한 대안으로 생산되는 제품마다 지속적인 분석을 통해 제품을 관리하는 품질 관리 시스템이 바람직할 것으로 생각되며 이를 위해 현행의 품질분석방법이 가진 장시간 소요라는 단점을 개선하기 위해 수분 내에 정확한 품질 검사를 할 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

비료공정규격상의 퇴비 품질 판정은 장시간, 고경비, 전문인력 소요 등의 단점이 있고 또한, 부속정도 판정 및 주요 품질 성분 표시는 공정규격상에 아직 의무화된 기재사항이 아니다. 느리고 복잡한 분석조작을 거쳐야 하는 현행판정법을 벗어나 분석 결과를 단시간에 동시에 알 수 있는 퇴비 품질 평가 방법이 필요하다. 위와 같은 요구에 만족을 줄 수 있는 방법을 개발하기 위하여 근적외 분광법을 이용하는 비파괴 측정기술을 도입하여 이러한 문제점을 개선하고자 하였다.



비파괴 측정법의 하나인 근적외 분석법이 사용된 것은 미국의 K. Norris(1963)가 곡류나 유량종자의 수분 측정을 위해 특별히 설계한 근적외 분석계를 사용하여 700-2400nm 영역에서 투과 스펙트럼을 측정하는 것을 시초로 하여, 근적외선을 이용한 비파괴 측정은 식품이나 농산물을 구성하는 성분들의 관능기인 CH, OH, NH 등이 근적외 영역에서 나타내는 흡수를 이용한 것으로 각종 이화학 성분뿐만 아니라 경도와 같은 물리적 특성의 계측에도 사용되고 있으며 곡류(Hwang 등 1994, Amari 등 1991, Kim 등 1996, Kays 등 1996), 육류(Oh 등 1992, Kim 등 1994, Hildrum 등 1995), 청과물(Cho 등 1995, Kawano 등 1991, Ootake 1992, Guthrie 1998, McGlone 등 1997), 등의 농산물뿐만 아니라 식품(Iwamoto 등 1984, Bae 등 1998, Ozaki 등 1992, Cho 등 1991), 토양(Ryu 등 1998, Ben-Dor 등 1995, Kano 등 1985, Morra 1991), 사료(Lee 등 1998, Wilkin 등 1986) 등에도 널리 적용되고 있다.

이에 본 연구에서는 시판되고 있는 퇴비제품을 대상으로 하여 비파괴 측정법을 응용한 퇴비 품질 비파괴 측정장치를 개발하고자 하였으며 이를 통해 개발될 Compost Quality Autoanalyzer는 퇴비 생산업체에서는 양질의 퇴비 생산을 유도하며, 고품질 농산물 생산을 희망하는 재배농가들이 양질의 퇴비의 선별적 사용

으로 인한 생산업체 및 재배농민 모두가 고부가가치를 얻을 수 있게 하고 생산 이력제를 도입한 GAP 생산단체 영농기술의 과학화와 시군농업기술센터의 대농민 지도사업을 신속·정확하게 수행함에 있어 활용가능하다고 판단되며 종합적으로는 국제 수준의 정밀 농업 경쟁력 강대국으로 성장하게 할 수 있을 것이다.

제 2 절 연구개발의 필요성 및 목표

1. 연구개발의 필요성

1) 기술적 측면

1980년대부터 우리 농업은 양적 생산보다 내용 품질을 중요시 여기게 되었으며 소위 유기 농법을 통해 생산된 농산물이 고가로 팔리고 있는 실정이어서 재배농가에서는 양질의 퇴비시용을 통해 고품질 농산물을 생산하고자 하지만 현행 공정규격상 퇴비의 품질측정법은 양질의 퇴비를 가려내기 어려운데, 이화학 분석법은 측정 항목마다 전문 분석기술이 요구되고, 많은 인력과 긴 조작시간이 소요되어 쉽게 사용하지 못하고 있는데 이를 대폭 개선하여 신속 정확히 분석할 수 있는 측정 기술의 자동화가 요구되고 있다.

또한 퇴비의 부숙정도 판정 및 양질의 퇴비를 선별하기 위해 부식질 함량에 근거한 판정법이 필요하다고 판단되지만 현행 이화학적 부식질 분석방법은 약 5일 정도의 시간과 전문인력 및 경비가 소요되어 현실적으로 시판퇴비에 적용하기가 거의 불가능하다고 할 수 있어 이를 빠른 시간 내에 측정 가능한 새로운 측정 기술의 도입이 절실히 요망되고 있는 실정이다.

비파괴 측정법이 기존의 화학분석법에 비해 일부 무기원소의 측정시 그 측정 정확도가 낮아서 채택하기 곤란한 것으로 지적되고 있으나 이러한 문제점은 본 연구에서 정확도 향상을 위한 다양하며 심도 있는 최신 연구 기법을 도입함으로써 충분히 극복이 가능할 것으로 생각되며, 또한 주성분이 무기물로 구성된 시료에 비해 유기물이 주성분으로 된 퇴비시료는 비파괴 측정시 그 정확도가 상당히 높아 기존방법의 대체수단으로 기대할 만큼 매우 높은 수준일 것으로 판단된다.

본 연구진은 사과의 품질평가, 토양이화학성 측정, 퇴비의 비파괴 분석 등의

연구를 통해 다양한 기술이 축적되어 있으며 이와 같은 노하우를 바탕으로 퇴비의 비파괴 품질 평가 장치의 개발을 단기간 내에 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 경제·산업적 측면

퇴비의 품질을 판단하는 것은 농가 및 생산단체가 직접 수행하기에는 현행의 품질 측정 방법으로는 어려운 일로서 생산단계에서부터 농가에서 직접 사용하는 단계까지 직접 퇴비의 품질 상태를 평가하여 양질의 퇴비 생산 및 시용을 통해 생산단체는 양질의 퇴비를 생산하고, 농가는 고품질 농산물 생산 환경 조건을 확보하기 위한 방편으로 비파괴 측정법을 응용한 퇴비 품질 자동 측정 장치를 개발할 필요성이 크다고 할 수 있다.

본 연구를 통해 개발하고자 하는 비파괴 측정 장치는 기존의 퇴비품질 측정방법인 화학분석 과정에서 배출되는 유해물질을 발생시키지 않고 저렴하게 측정할 수 있으며 특히 부식질에 근거한 퇴비 부숙정도 판정을 통해 미부숙 퇴비의 유통을 차단할 수 있을 것으로 판단되어 이를 위해 첨단광학, 전자공학, 통계기술을 합병시킨 비파괴 장치를 개발하여 보급해야할 현실이다.

또한 본 연구를 통해 비파괴 품질 측정 장치가 개발되었을 경우 그 장비의 가격이 고가라는 점이 있으나 이는 기존의 이화학성 분석법으로 연간 1만점 분석한다고 보면 소모성 경비인 인건비, 시약, 소모품 등으로 소요되는 비용이 연간 10억원(10,000원×10성분×1만점=10억원)에 이를 것으로 추정되며 이를 감안한다면 비파괴 분석 장비는 처음에 약 1억원의 비용이 소요되지만 하루 100점씩 10일만 분석(10,000원×10성분×100점/일×10일)하여도 소요경비를 충당할 수 있으며, 또한 추가 소요경비 발생이 거의 없어 오히려 비용절감효과가 발생할 것으로 판단되고 또한, 유해 화학물질의 사용이 전혀 없어 환경오염문제를 발생시킬 가능성이 없다는 점에서 적극적으로 개발을 하여 보급하여야 할 것임.

3) 사회 문화적 측면

퇴비의 양분함량 수준이 현실적으로 높은 점 또한 시판퇴비 한포 한포마다 양분 함량이 상당부분 다른 점을 감안한다면 이화학성을 수시로 진단하여 시용하게 함으로서 유기농업 현장에서 발생하는 양분 집적 현상을 해결하여 수질오염

등 환경 부하를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

현재 시판되고 있는 퇴비는 같은 제조공장에서 만든 것이라도 그 양분함량 및 성상에 큰 차이를 나타내기 쉬운 관계로 시판퇴비의 품질이 균일하지 않아 정밀 농업 구현에 애로사항으로 지적되고 있으며 또한, 현재의 작부 체계는 연속적으로 집약적 재배를 실시함에 따라 재배때 마다 일률적으로 고농도의 퇴비가 다량 사용되고 있어 특정양분의 집적 현상이 심화되고 있는 실정으로 본 연구를 통해 개발될 장치를 활용한다면 사용하는 퇴비의 양분 상태를 빠른 시간 내에 파악하여 합리적인 시비를 하여 환경보전형 농업의 발전에 일조를 할 수 있을 것이다.

한편 이와 같은 퇴비 유통 기술의 정립은 양질의 비료 생산 및 사용을 촉진시켜 환경친화형 농업을 건전하게 추구하게 될 것이며, 이로 인한 고품질의 식량 생산은 국민들의 건전한 건강을 유지할 수 있고, 퇴비사용시에도 양분함량에 근거한 사용을 통해 정밀농업에 기여하게 되어 이로 인한 환경부하의 경감을 통해 환경오염을 줄일 수 있을 것이며 결론적으로 쾌적한 생활환경을 창출케 하여 건전한 사회·문화생활 유지에 그 기여도가 클 것으로 사료된다.

2. 연구개발 목표

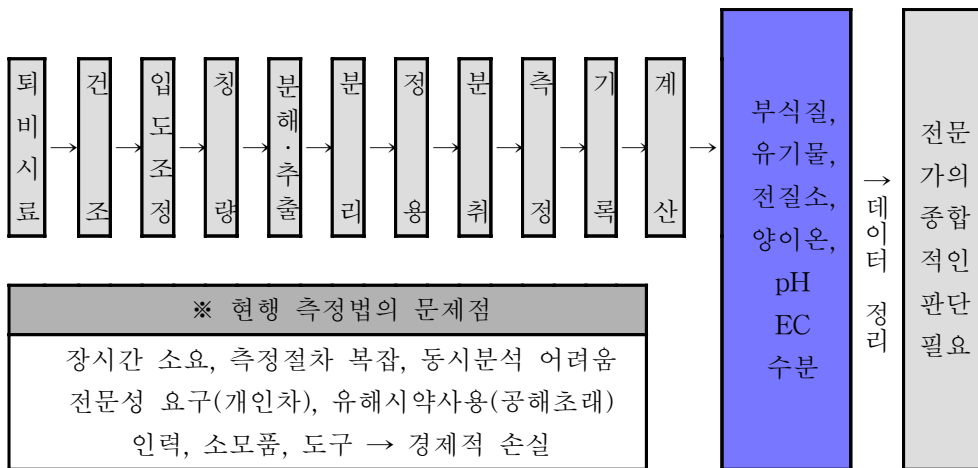
현행 공정규격상의 퇴비의 품질 판정은 아래의 그림처럼 장시간, 고경비, 전문인력소요 등의 단점이 있고 퇴비의 양분함량을 고려한 판정기준이 없으며 또한, 부숙정도 판정은 공정규격상에 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 근적외 분광법을 응용하여 비파괴 수법으로 퇴비의 양분함량을 빠른 시간 내에 측정할 수 있고 부숙정도 판정도 할 수 있는 퇴비 품질 자동 측정 장치를 개발하고자 아래와 같은 목표를 설정하여 본 연구를 추진하고자 한다.

- 퇴비 품질 자동 측정기를 위한 다변량 해석 및 검량식의 정확도 향상
- 현장용 퇴비 품질 자동 측정기 개발을 위한 설계 및 시험 제작
- 다양한 재료로 제조한 시판퇴비에 맞는 현장 및 범용 비파괴 검량식 작성 및 정확도 향상시험

- 퇴비의 현장용 비파괴 이화학성 자동 측정기의 개발 및 현장 적용성 개선

본 연구를 통해 개발될 Compost Quality Autoanalyzer는 퇴비 생산업체에서는 양질의 퇴비 생산을 유도하며, 고품질 친환경 농산물 생산을 희망하는 재배농가 단체(농협) 양질의 퇴비사용으로 인한 생산업체 및 재배농민 모두가 고부가가치를 얻을 수 있게 하고 또한, 환경보전형 농업의 구현에 일조를 할 수 있을 것이다.



제 2 장
국내외 기술개발 현황

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 비파괴 분석법의 개념

농산물 품질 평가에 있어서 기술상의 개발목표는, 검출한계를 높여, 측정 정확도를 높이는 것에 중점을 두고, 분석에 필요한 시간이나 비용은 2차적인 것으로 여겨져 왔다. 그러나, 오늘날과 같이 생산 및 출하과정에서 품질관리가 중시되고, 원료에서 가공품에 이르기까지 철저한 품질관리가 요구될 때, 품질관리의 정확도를 높이기 위해서는, 단시간에 대량의 시료를 신속하게 분석할 수 있는 분석법이 필요하다.

비파괴 분석법은, 대상물에 전처리를 전혀하지 않은 상태로 분석하므로써 생길 수 있는 신속성을 최대로 중요시하는 측정법인데 대상물에 입력한 에너지가 출력되는 과정 중에 영향 받은 정도 즉, 입력과 출력의 에너지 차이로부터 대상물의 이화학적 특성에 관한 정보를 알아내는 방법이다. 한편, 에너지의 입력을 필요로 하지 않고 대상물 자신이 발하는 에너지를 이용하는 적외방사나 화학발광 분석법(chemiluminescence)과 같은 것도 있다.

비파괴법은 사용되는 에너지의 종류에 따라 광학적 방법, 전자기학적 방법, 역학적 방법, 방사선법, 바이오센서 등으로 분류된다.

2. 비파괴 분석법의 국내외 기술 개발 현황

비파괴 분석법 중에 하나인 근적외 분석법은 광학적 분석법으로 가시광선과 적외 영역의 중간에 위치하는 700nm에서 2,500nm의 파장영역을 사용하는 분석법이다.

자외선과 가시광선은 200nm에서 800nm에서의 흡수에 의한 분자내의 전자 구조에 대한 분석을 주로 하는 반면, 농산물의 성분을 구성하는 O-H, N-H, C-H 등의 관능기는 그림 2와 같이 중적외 영역에 신축 또는 변각진동(그림2)의 1차배음은 1.1-1.8 μ m에, 2차배음은 0.7-1.1 μ m, 이들의 서로 겹쳐진 결합음은 1.8-2.5 μ m에 압축되어(그림1) 나타나므로 근적외영역의 스펙트럼을 한번 측정하므로써 식품중

의 수분, 단백질, 전분, 지방 등 복수의 품질성분이 동시에 신속하게 측정되는 것이다.

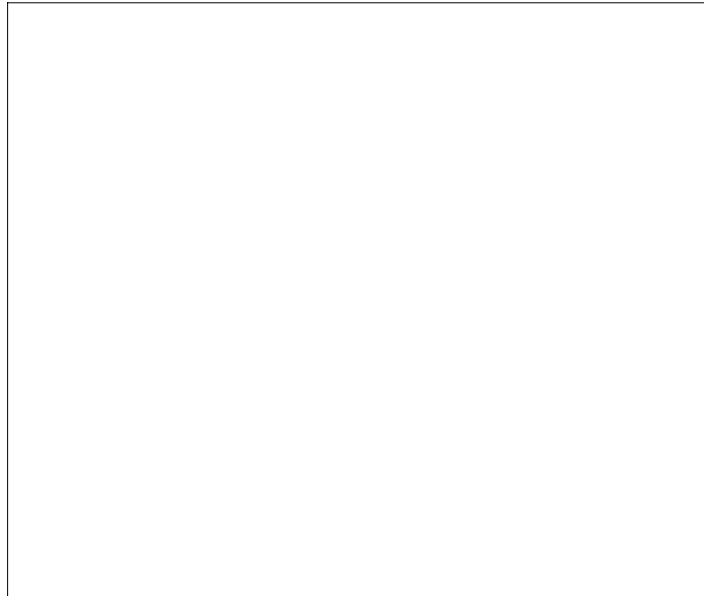


Fig. 1. Spectra-structure correlations in the NIR region

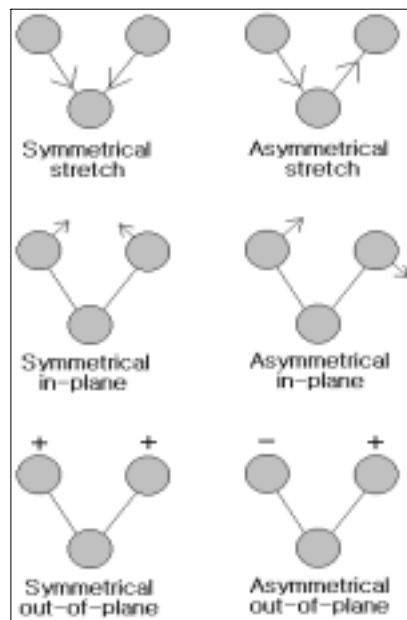


Fig. 2. Typical vibrations of a non-linear tri-atomic molecule.

광학적 에너지를 구사하는 농산물의 비파괴법 중 가시광선에 관해서는 1960년대에 기초연구가 끝나고, 1970년대 이후는 가공식품과 같은 혼합체를 대상으로 한 개발과 선별공정 등 실용화를 위한 연구가 주로 많았다. 적외광선 및 근적외광선에 대해서는 가시광선 보다 10년 정도 늦게 연구가 시작되었지만 급속히 진보되어 1970년대 전반에는 수분, 단백질, 지질 등 주요성분의 분석법이 확립되었다.

전자기학적 에너지를 이용하는 핵자기공명(NMR) 이나 전자스핀공명(ESR) 등의 분석법은 1970년대 이후에 나타난 비교적 새로운 분석 방법이다. 이에 속하는 생체전기현상이나 인피턴스도, 과실이나 야채 등의 품질평가에 많이 활용되고 있어 앞으로도 기대되는 분야이다.

일본에서 비파괴법의 연구는 1970년 이후에 시작되어 역사가 짧기 때문에 당초에는 미국과의 사이에 기술적으로 상당한 차이가 있었지만, 최근에는 연구 및 실용의 양면에 있어서 일본 독자적인 기술도 상당히 보유하고 있으며, 근적외법에 관해서는 1978년에 대두의 단백질을 측정하는 보고가 보이지만 본격적인 연구는 1980년 이후부터 이루어졌다.

비파괴법이 주목받게 됨으로서 학회 활동도 활발해져 비파괴법을 동물, 식물, 미생물 등 생물체의 생명현상을 해명하기 위한 새로운 계측기술로써 위치를 잡고 학술적인 정보교환의 장을 제공하기 위해 1987년 연구회가 조직된 이래, 일본 과학기술청 주최로 심포지움이 매년 개최되고 있다. 이 심포지움에서는 NMR, 초음파, 가시광선, 근적외 광선 등을 사용한 in vivo 및 in site에서의 계측기술에 관해 각각 전문분야의 입장에서 발표를 하고, 대상물도 세포레벨에서 조직·생체레벨까지 광범위하다.

또한, 일본식품공업학회에서는 1985년부터 매년 "식품공업에 있어서 비파괴 계측법에 관한 심포지움" 을 개최하고 있다.

근적외법에 관해서는 세계적으로도 활발한 활동이 계속되고 있는데 1980년 이래, 2년마다 미국 펜실베니아주 챔버스버그 월슨칼리지에서 개최되는 국제 확산분광 근적외 회의(IDRC, 국제확산분광분석대회)를 비롯해 세계 각국의 학회나 기기 회사가 주최하는 사용자 회의도 빈번히 개최되고 있다. 더욱이 1986년에는 국제근적외분광위원회(ICNIRS)가 조직되어, 제2회 대회는 ICNIRS와 일본식품공

업학회가 공동 주최하여 1989년 5월 츠쿠바에서 열렸으며, 벨기에, 스코트랜드, 노르웨이, 호주, 캐나다, 독일, 이탈리아에 이어 2001년 6월에는 한국 경주에서 제 10차 국제대회가 개최되었으며 이 대회를 계기로 한국 근적외분광분석학회가 창립하여 비파괴 측정분야에 대한 연구를 활발히 수행하여 왔으며 5년이 경과된 2006년 6월 서울에서 아시아 지역 근적외 분광 분석 학술대회가 다시 개최된다.

한편 본 연구에서 비파괴 측정의 대상으로 하고 있는 퇴비에 대해서, 특히 부식질에 근거한 비파괴 분석에 대해 연구 발표된 자료가 거의 없는 실정으로 본 연구결과를 통해 양질의 퇴비선별에서 비파괴 분석 기술의 활용도를 높이는 데 일조를 할 것으로 판단된다.

제 3 장
연구 개발 수행 내용 및 결과

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 서 설

농산물(곡물, 청과물 등)을 구성하는 유기물의 원자단은 적외영역에 흡수를 가진다. 적외영역은 근적외(0.7-2.5 μm), 중적외(2.5-50 μm), 원적외로 나눌 수 있는데, 종래 화학물질의 구조해석에는 거의 중적외영역의 분석정보를 그대로 이용할 수가 없다.

첫째로, 측정 대상물이 곡물이나 유량종자와 같은 농산물의 경우 건조물 또는 반건조물로서 대단히 고농도 상태이므로 중적외 영역에서는 입사광이 거의 흡수되어져 출력이 되지 않으므로 측정할 때 마다 희석하여 측정해야 하기 때문에 비파괴 분석법으로서의 의의가 없어져 버리게 되지만 근적외 영역에서는 중적외 흡수 강도가 수십분의 일정도로 약하기 때문에 희석치 않고도 바로 측정 할 수 있다.

둘째는, 곡물의 경우 건조물이면 수분함량이 10-15%정도이며, 반 건조품이라도 약 50%, 청과물이면 약 85%이상의 수분을 함유하고 있어 중적외영역에서 수분에 의한 흡수가 너무 커서 타 성분 유래의 정보는 거의 얻어질 수가 없기 때문이다. 반면 근적외 영역에서는 수분유래의 흡수가 중적외 영역에 비해 아주 미약하며 단백질, 지방, 전분 등에 의한 흡수도 약하므로 시료의 건조 조작을 필요로 하지 않는 비파괴 측정이 가능하게 된다.

이렇게 근적외분석법은 각종 농산물을 구성하는 성분의 분자구조에 유래되는 흡수스펙트럼을 이용하는 측정방법이기 때문에, 가시광선을 이용하여 청과물의 당, 산 함량을 색소함량과의 상관으로부터 산출하는 간접적 측정방법과는 달리, 구성성분을 측정하는 방법이라고 할 수 있다.

다른 예로서, 부패된 계란이나 미생물에 오염된 곡물에 자외선을 조사하면 형광을 발하는 원리를 이용하는 비파괴 분석법도 있으나, 식용에 적합한지의 불가를 판정하는 경우가 아닌, 내용물의 성분함량을 직접 측정하거나 성분에 근거하여 종합적으로 등급을 분류하고자 할 때에는 적합한 비파괴 측정법이 될 수 없

다.

그러므로 이러한 사실에 근거하여 본 연구에서의 대상시료인 퇴비는 비과과 측정시 중적외보다는 근적외를 이용하는 것이 타당할 것으로 판단하였으며 근적외 분석법을 응용한 비과과 퇴비 품질 평가를 위한 장치 개발(Compost Quality Autoanalyzer)의 개발을 시도하였다.

제 2절 재료 및 방법

1. 재료

본 연구에 사용한 퇴비시료는 전국적으로 퇴비 제조 공장의 시제품 및 퇴비판매처에서 판매되고 있는 제품 및 퇴비제조 공정단계별로 채취한 시료를 본 연구의 시료(103점)로 사용하였다. 각 시료는 채취 당시 그대로의 수분함량을 생시료 수분으로 하고 이것을 다시 열풍건조기로 60℃에서 24시간 건조한 것을 건조시료로 하였으며 각 시료는 저온(0℃)에서 보관해 시료의 변화를 최소화하면서 연구재료로 사용하였다.

2. 퇴비시료의 이화학성 분석

퇴비의 외적 품질관정 인자 및 이·화학성분석은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 고시한 비료의 품질검사 방법 및 시료채취 기준에 준하여 실험을 수행하였다.

수분함량은 가열 감량법 및 적외선수분측정기(Denver instrument, IR-200)를 이용해 측정하였으며, 입도는 건조시료가 2mm 표준체를 통과한 백분율로 환산하여 측정하였다. 부숙된 퇴비의 착색도는 색차계(Minolta, CR-310)로 L(명암), a(붉은색), b(노란색) 값을 측정하여 나타내었다.

전질소함량은 auto-Kjeldahl장치(Büchi, 323)에 의해 Kjeldahl법으로 수행하였다. 유기물 함량은 회화법에 의해 600℃에서 3시간 회화시켜서 측정하였다. pH는 시료에 증류수를 5배 첨가하여 30분간 진탕한 후 여과하여 pH-meter (Orion, 410A)로 측정하였다.

부식질 정량은 농촌진흥청에서 고시한 토양화학분석법의 부식의 분별정량방법

및 IHSS(International Humic Substance Society)에서 고시한 부식질의 분별정량 방법에 준하여 분별하고 동결건조한 후 그 무게를 정량하여 부식산(humic acid) 함량을 측정하였다.

3. 비파괴 측정

2mm 체를 통과시켜 입도를 조정된 퇴비시료를 연구용 및 현장용 기기를 사용하여 근적외 스펙트럼 측정하였다. 연구용 측정기는 정형화 된 밀폐용 시료컵(closed cup)에 충전한 후 1100~2500nm까지 2nm간격으로 확산반사방식(reflectance mode)으로 측정하는 연구용 근적외 분광분석기(InfraAlyzer 500)와 19개의 파장만을 사용하는 필터형 방식으로서 현장에서 사용할 수 있도록 제작된 현장용 퇴비 품질 비파괴 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)를 각각 사용하여 측정하였다. 얻어진 근적외 원 스펙트럼(raw spectrum)은 SESAME 및 Unscrambler 6.01 program을 이용하여 absorbance, smoothing, normalization, derivative 등 다양한 데이터 전처리를 행하였다. 비파괴 검량식 작성은 근적외 스펙트럼 데이터와 이화학 분석에 의해 얻어진 데이터 간에 중회귀분석(Multiple linear regression) 및 최소부분자승회귀분석(Partial Least Squares Regression)을 행하여 검량식을 작성하였으며, 검량식의 정확도는 중상관계수(R), RMSEC(Root Mean Standard Error of Calibration) 및 RMSEP(Root Mean Standard Error of Prediction)로 검정하였다.

제 3 절 연구수행 내용 및 결과

1. 상이한 퇴비시료의 제조원료

본 연구에 사용된 퇴비시료의 제조 원료를 요약해 보면 주원료를 기준으로 우분, 돈분, 계분, 기타비료로 분류하여 표 3-1 과 표 3-2에 나타내었다. 퇴비 제조원료는 가축분, 도축폐기물, 톱밥, 깻묵, 대두박 원두박, 과당박, 제오라이트 등 다양한 형태로 첨가된 것임을 알 수 있었다.

Table 3-1. The classification of compost by their sources

Excrement	Main material
Cow	Cow manure, Saw dust, Rice bark, Peat
	Cow manure, Saw dust, Zeolite
	Cow manure, Saw dust, Zeolite, Peat
Pig	Pig manure, Saw dust, Soybean bark, microbes
	Pig manure, Saw dust, Zeolite
	Pig manure, Saw dust, Wood bark
	Pig manure, Saw dust, Bean bark, Microbial
	Pig manure, Saw dust, Animal waste
	Pig manure, Saw dust, soybean bark
Chicken	Chicken manure, Saw dust
	Chicken manure, Saw dust, Oilseed bark, Zeolite
	Chicken manure, Saw dust, Peat moss, Animal waste
	Chicken manure, Saw dust, Microbial
	Chicken manure, Saw dust, Zeolite
Others	Animal waste, Blood, Saw dust
	Animal waste Saw dust, Peat
	Plant compost, Sea food waste, Saw dust, microbes
	Food waste, Food sludge, Saw dust, Plant compost
	Food waste, Saw dust, Peat

Table 3-2. The classification of compost by main source

	Main source of excrement				Total
	Chicken	Pig	Cow	Others	
No. of Compost	38	45	1	19	103

2. 퇴비시료의 이화학성 분포

본 연구에 사용된 퇴비시료의 이화학성 분포는 다음과 같다. 전질소는 0.41~2.88%, 유기물은 약 24.29~89.21%, pH는 4.3~9.7, K₂O는 0.06~2.42%, P₂O₅는 0.01~2.01%, CaO는 0.03~20.03%, MgO는 0.02~3.04%, 염분은 0.00~3.78%, EC는 1.04~13.89dS/m, humic acid함량은 0.67~9.02%까지 조사되었다. 이와 같이 시판퇴비의 이화학성은 제품에 따라 다양하게 분포하는 것으로 조사되어 정밀농업 구현을 위해서는 시판퇴비의 양분 함량을 알고 이를 감안한 시용이 되어야 할 것으로 생각된다.

3. 비파괴 퇴비 품질 측정을 위한 비파괴 검량식 작성

연구용 근적외 분석기(InfraAlyzer 500) 및 현장용 비파괴 퇴비 품질 자동 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)를 사용하여 퇴비 중 부식산(humic acid), 전질소, 유기물, pH, 양이온(K, Mg, Ca) 성분 등을 비파괴 분석 한 후 상호 비교하였다. 데이터의 다변량 해석기법으로는 PLSR을 기본으로 수행하였으며 정확도 향상을 위해 다양한 chemometrics를 적용하여 최적의 비파괴 검량식의 도출을 시도하였으며 그 결과는 아래와 같다.

1) 부식산(humic acid)의 비파괴 분석 결과

퇴비시료 103점 중 83점으로 검량식을 작성하고 20점의 미지시료를 대입하여 비파괴 측정 정확도를 조사한 결과는 표 3-3와 같다. 현장용 근적외 분석기(Compost Quality Autoanalyzer)의 경우 중상관계수(R)가 0.751로 낮고 측정오차

(SEP)는 높아 정확도는 조금 낮은 편이었다. 또한 연구용 근적외 분석기 (InfraAlyzer 500)의 경우 0.893의 상관계수와 0.905의 측정오차를 나타내어 비교적 높은 정확도를 나타내어 humic acid 함량을 비파괴 측정하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

Table 3-3. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and humic acid content of compost

Instrument	Data pre-treatment	No. of Samples	R	SEP(%)
Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing	83(20)	0.751	1.156
InfraAlyzer 500	smoothing, 1nd Derivative	83(20)	0.893	0.905

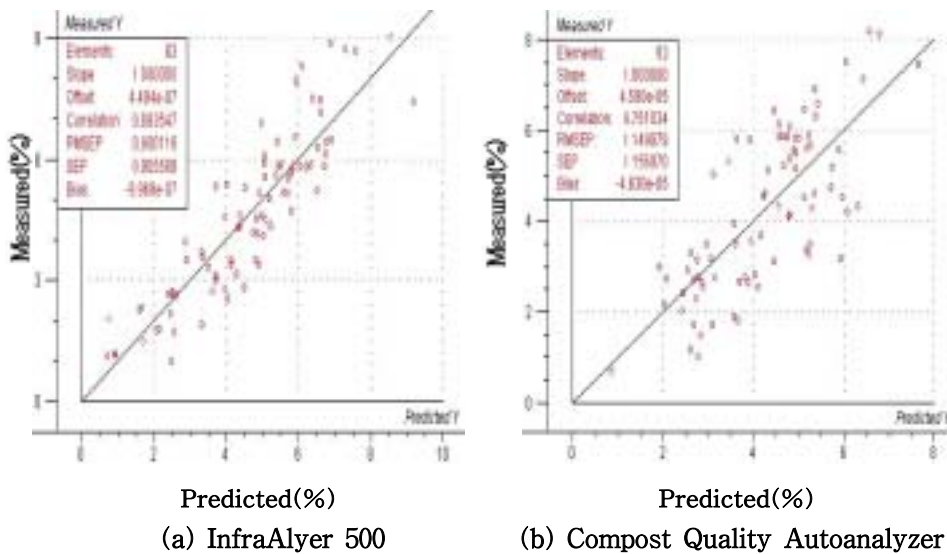


Fig. 3-1. NIR predicted versus measured humic acid content in compost

현장용 근적외 분석기의 경우 연구용에 비해 그 정확도를 조금 떨어지지만 비파괴 측정이 가능한 것으로 판단되어 비파괴 측정에 의한 퇴비중의 humic acid 함량 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계를 그림 3-1에 나타내었다.

2) 유기물(OM) 함량의 비파괴분석 결과

퇴비 중의 유기물 함량을 비파괴 분석한 결과는 표 3-4에 나타내었다. 현장용 분석기의 경우, 10과장으로 구성된 검량식에서 중상관계수(R)는 0.855, 측정오차는 8.498이었으며 연구용 분석기의 경우 중상관계수(R)는 0.905, 측정오차는 6.937로 각각 가장 정확한 검량식이 작성되었다. 측정정확도는 연구용 분석기의 경우 현장용 분석기 보다 좀 더 높았으나 함량의 많고 적음을 대별하기 위한 용도로는 현장용 분석기로도 충분히 판별 가능할 것으로 판단된다. 퇴비 중 유기물 함량의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계는 그림 3-2에 나타내었다.

Table 3-4. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and OM content of compost

Instrument	Data pretreatment	No of samples	R	SEP(%)
Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	83(20)	0.855	8.498
InfraAlyzer 500	smoothing, normalization 1nd Derivative	83(20)	0.905	6.937

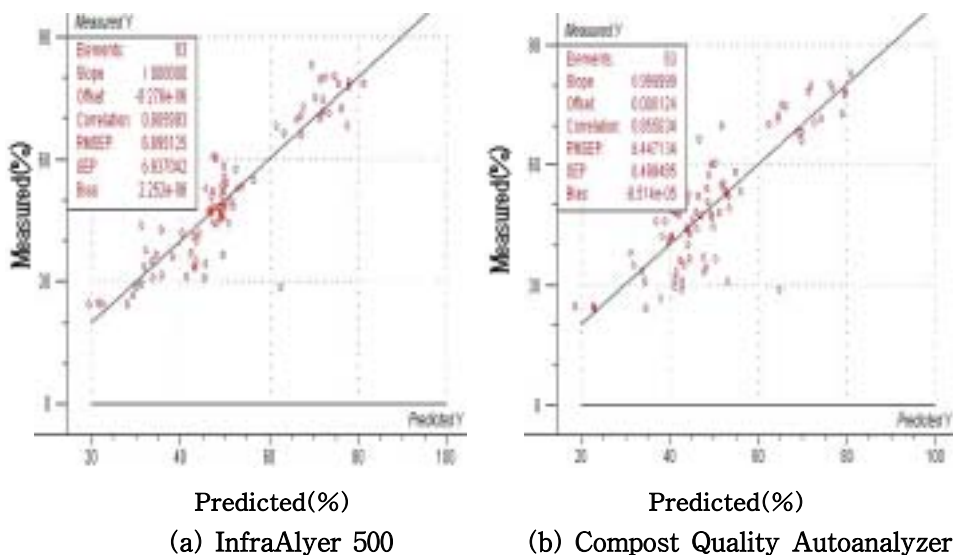


Fig. 3-2. NIR predicted versus measured OM content in compost

3) 전질소 함량의 비파괴분석 결과

퇴비중의 전질소 함량을 비파괴 분석한 결과는 표 3-5에 나타내었다. 현장용 분석기의 경우 비파괴 검량식에서 중상관계수(R)는 0.848, 측정오차는 0.294이었으며 연구용 분석기의 경우 중상관계수(R)는 0.936, 측정오차는 0.172로 각각 비교적 정확한 검량식이 작성되었다. 전질소의 비파괴 측정 정확도가 연구용 분석기의 경우 현장용 분석기 보다 좀 더 높았으나 현장용 분석기에서도 0.85 정도의 중상관계수(R)를 나타내어 현장용 분석기로도 퇴비 중의 전질소 함량을 측정하는 것이 가능한 것으로 판단되며 전반적으로 다른 성분보다는 전질소 함량의 비파괴 측정이 높은 정확도로 측정 가능한 것으로 나타났다. 퇴비 중 전질소 함량의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계는 그림 3-3에 나타내었다.

Table 3-5. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and T-N content of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of samples	R	SEP(%)
Compost Quality Autoanalyzer	smoothing, normalization 2nd Derivative	83(20)	0.848	0.294
InfarAlyzer 500	smoothing, normalization 1nd Derivative	83(20)	0.936	0.172

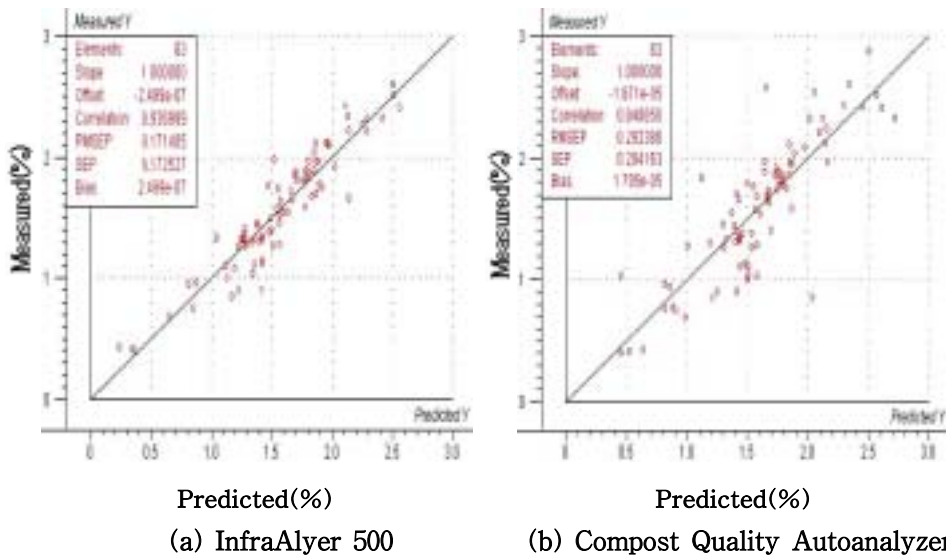


Fig. 3-3. NIR predicted versus measured T-N content in compost

4) pH의 비파괴분석 결과

퇴비 중 pH는 총 103점의 pH 실측치를 구한 후 83점으로 검량식을 작성하고 미지시료 53점에 대입하여 검정한 결과는 표 3-6과 같다. 현장용 근적외 분석기(Compost Quality Autoanalyzer)의 경우 중상관계수(R)가 0.824로 비교적 높은 상관을 나타내었으며, 연구용 근적외 분석기(InfraAlyzer 500)로 비파괴 측정한 결과, 중상관계수(R)는 0.891, 측정오차(SEP)는 0.453으로서 상당히 높은 정확도를 나타내었다. 현장용 분석기의 경우 연구용 분석기보다 중상관계수는 다소 낮지만 측정오차는 0.57로 비교적 좋은 결과를 나타내므로 비파괴 측정이 가능함을 알 수 있었다. 퇴비 중 pH의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계를 그림 3-4에 나타내었다.

Table 3-6. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and pH of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of samples	R	SEP
Compost Quality Analyzer	absorbance, smoothing, Normalization	83(20)	0.824	0.570
InfraAlyzer 500	smoothing, normalization 1nd Derivative	83(20)	0.891	0.453

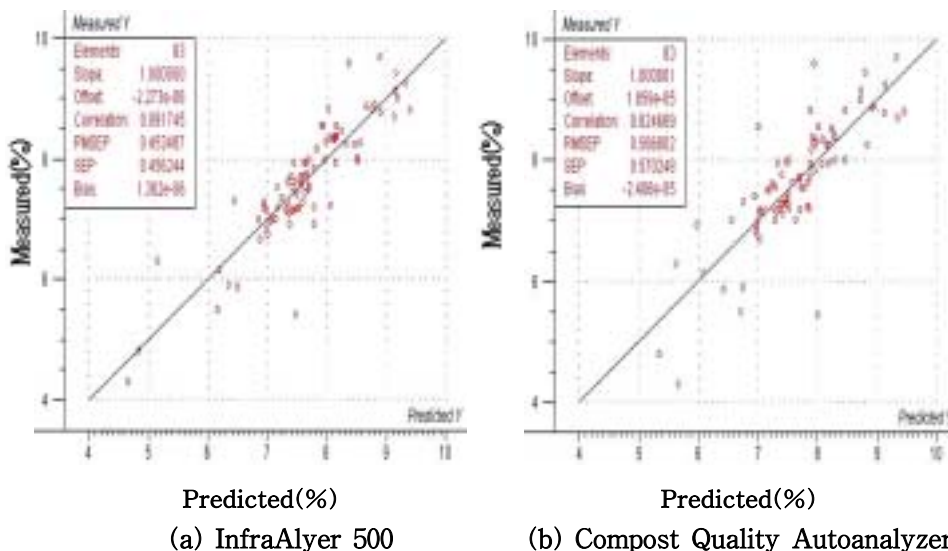


Fig. 3-4. NIR predicted versus measured humic acid content in compost

5) 전기전도도(EC)의 비파괴분석 결과

퇴비시료내의 전기전도도(EC)의 비파괴 분석 결과를 표 3-7에 나타내었다. 현장용 분석기의 경우 10파장을 사용하여 작성한 검량식에서 중상관계수(R)는 0.717, 측정오차(SEP)는 1.501이었으며 연구용 분석기의 경우 검량식의 중상관계수는 0.928, 측정오차는 0.918로 각각 가장 정확한 검량식으로 선택되었다. 연구용 분석기에 의한 정확도가 현장용 분석기보다 더 높았으나 EC 함량의 높고 낮음을 판단하기 위한 척도로는 현장용 분석기도 사용 가능함을 알 수 있었다. 퇴비 중 EC의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계를 그림 3-5에 나타내었다.

Table 3-7. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and EC of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of samples	R	SEP(dS/m)
Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	83(20)	0.731	1.470
InfraAlyzer 500	smoothing, 1nd Derivative	83(20)	0.928	0.918

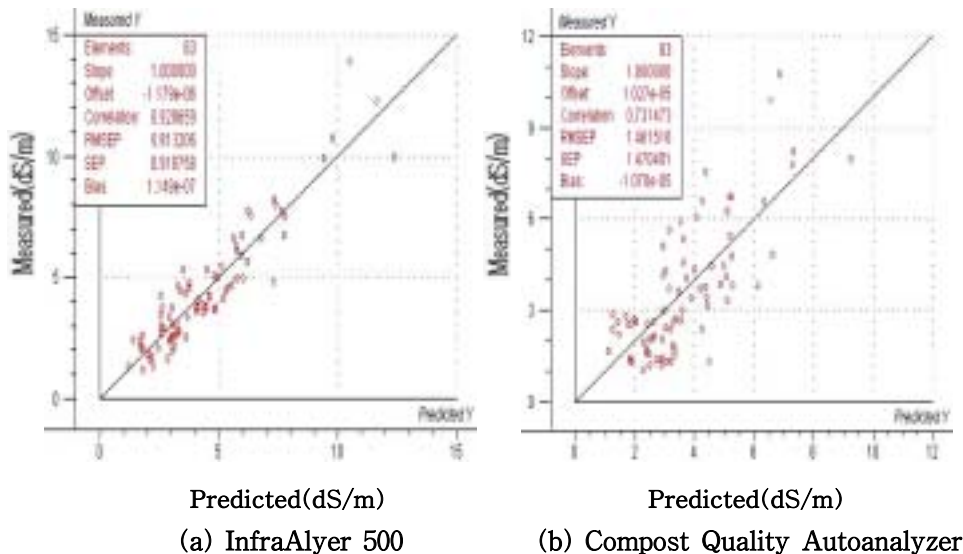


Fig. 3-5. NIR predicted versus measured EC in compost

6) 칼리(K₂O) 함량의 비파괴분석 결과

퇴비시료 103점 중 83점을 검량식으로 20점을 검정용으로 사용하여 비파괴 분석한 결과를 표 3-8에 나타내었다. 현장용 분석기의 경우 데이터 전처리(absorbance, smoothing, Normalization)후 10과장을 사용하여 작성한 검량식에서 중상관계수는 0.807, 측정오차는 0.342이었으며 연구용 분석기의 경우 중상관계수는 0.926, 측정오차는 0.218로 우수한 비파괴 검량식이 작성되어 본 검량식을 기초로 K₂O 함량의 높고 낮음을 판단하는 것이 가능함을 알 수 있다. 퇴비 중의 K₂O함량의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계를 그림 3-6에 나타내었다.

Table 3-8. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and K₂O content of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of samples	R	SEP(%)
Compost Quality Analyzer	absorbance, smoothing,	83(20)	0.807	0.342
InfraAlyzer 500	smoothing, normalization 1nd Derivative	83(20)	0.926	0.218

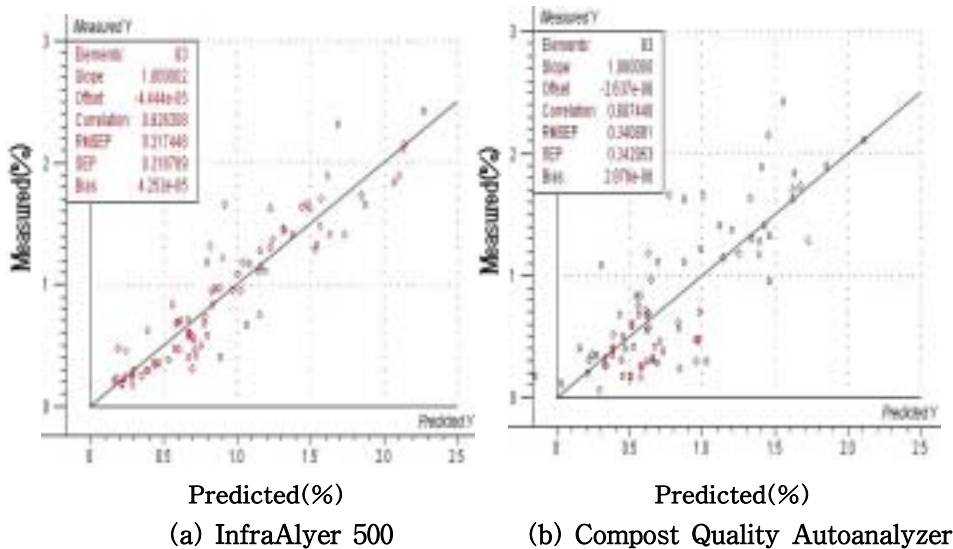


Fig. 3-6. NIR predicted versus measured K₂O content in compost

7) 마그네슘(MgO) 함량의 비파괴분석 결과

마그네슘함량의 비파괴 분석을 위해 비파괴 측정 후 회귀분석 결과를 표 3-9에 나타내었다. 현장용 분석기를 사용하여 측정한 결과 중상관계수(R)는 0.813, 측정오차는 0.241이었으며 연구용 분석기로 회귀분석한 결과 중상관계수는 0.854이었으며 측정오차는 0.280를 나타내어 현장용 분석기도 연구용과 비슷한 결과를 나타내어 현장용 분석기에 의한 퇴비 중 MgO 함량의 비파괴측정이 가능함을 알 수 있다. Mg함량의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계를 그림 3-7에 나타내었다.

Table 3-9. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and MgO content of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of Samples	R	SEP(%)
Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	83(20)	0.813	0.241
InfraAlyzer 500	smoothing, normalization 1nd Derivative	83(20)	0.854	0.280

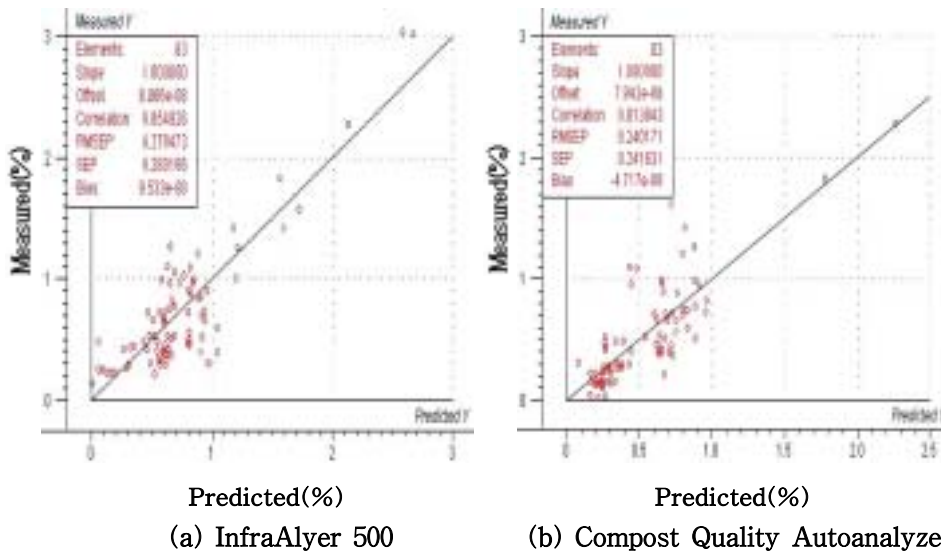


Fig. 3-7. NIR predicted versus measured MgO content in compost

8) 칼슘(CaO) 함량의 비파괴분석 결과

퇴비시료 중 칼슘(CaO) 함량을 비파괴 측정된 결과를 표 3-10에 나타내었다. 현장용 분석기를 사용한 경우 10과장으로 구성된 검량식에서 중상관계수(R)는 0.819, 측정오차는 3.197이었으며 연구용 분석기의 경우 역시 6과장으로 구성된 검량식에서 중상관계수(R)는 0.858, 측정오차는 2.858로 나타났다. 연구용 분석기에 의해 보다 높은 정확도를 얻을 수 있었으나 현장용 분석기도 Ca함량의 높고 낮음을 대별하기 위한 용도로는 사용이 가능할 것으로 보인다. 퇴비 중 Ca함량의 실측치 및 근적외 예측치 간의 상관관계는 그림 3-8에 나타내었다.

Table 3-10. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and CaO content of compost

Instrument	Data pretreatment	No. of samples	R	SEP(%)
Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	83(20)	0.819	3.197
InfraAlyzer 500	smoothing, normalization, 2nd Derivative	83(20)	0.858	2.858

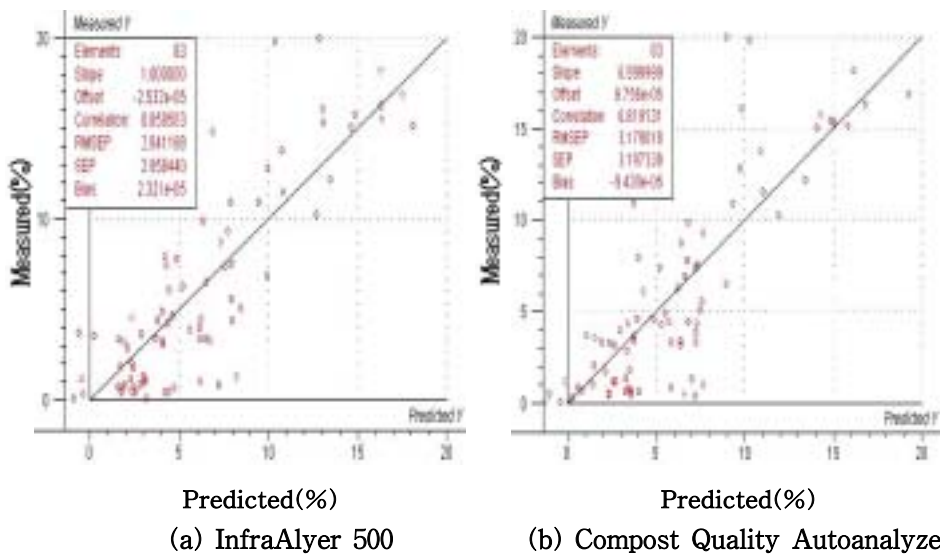


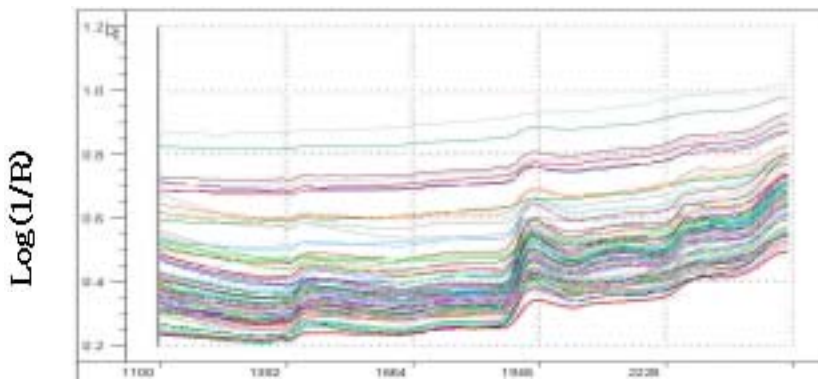
Fig. 3-8. NIR predicted versus measured CaO content in compost

4. 퇴비 이화학성의 근적외 스펙트럼 특성 해석

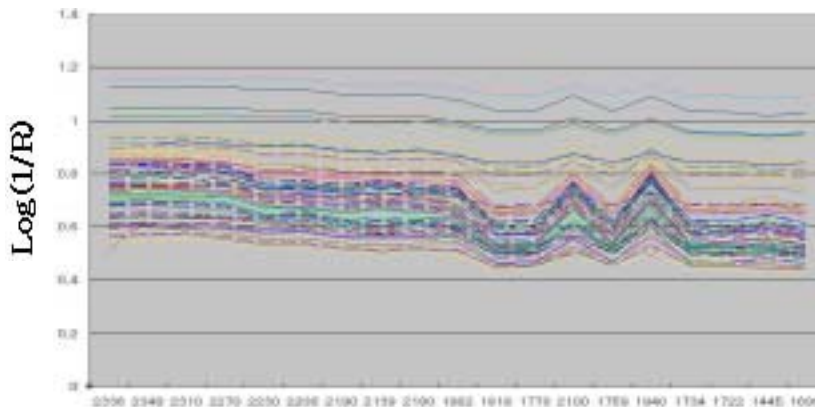
본 연구에서는 퇴비 시료의 근적외 스펙트럼을 분석하여 퇴비 이화학성에 대한 스펙트럼의 특성을 해석하고 검량식 작성 모델에 사용된 파장들의 근거를 고찰하였다..

1) 퇴비시료의 근적외 스펙트럼

퇴비시료의 연구용 분석기 및 현장용 분석기에 의한 근적외 스펙트럼을 그림 3-9에 나타내었다.



Wavelength(nm)
(a) InfraAlyzer 500



Wavelength(nm)
(b) Compost Quality Autoanalyzer

Fig 3-9. Near infrared spectra of the compost

연구용 분석기에 의한 1100~2500nm의 전영역 스펙트럼 중 1450nm, 1940nm 그리고 2250nm 부근의 영역에서 뚜렷한 흡수피크를 나타내는데 1450nm와 1940nm 영역은 물분자의 O-H기에 기인한 흡수영역으로 잘 알려져 있어 퇴비중의 수분에 의한 흡수피크임을 알 수 있었다.

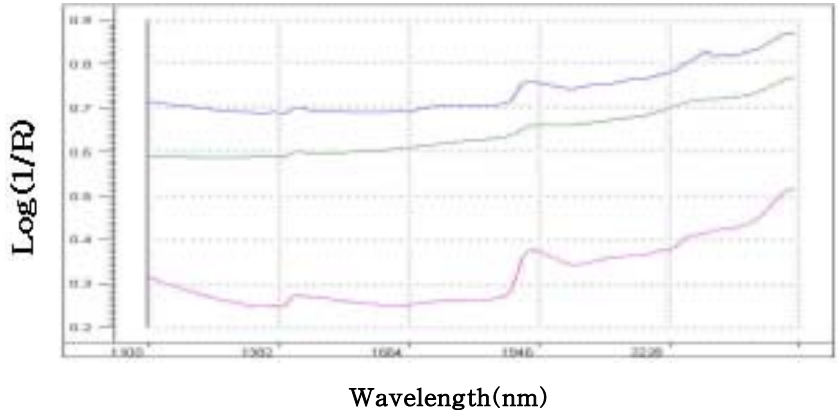
그림 3-9의 근적외 스펙트럼에서 2200nm 부근의 흡수영역은 퇴비 중에 함유된 단백질이나 섬유소 등에 의한 흡수피크가 겹쳐서 나타나는데 영역을 보다 세분화하고 미분처리 함으로써 스펙트럼의 특징해석을 위한 유용한 정보를 발견할 수 있을 것으로 판단된다. 현장용 분석기는 사용된 파장수가 19개인 필터타입이므로 19개 파장에 대한 각각의 흡광도 값이 연결되어 스펙트럼으로 표시되었다.

2) 퇴비 중 humic acid 관련 스펙트럼 및 파장근거 고찰

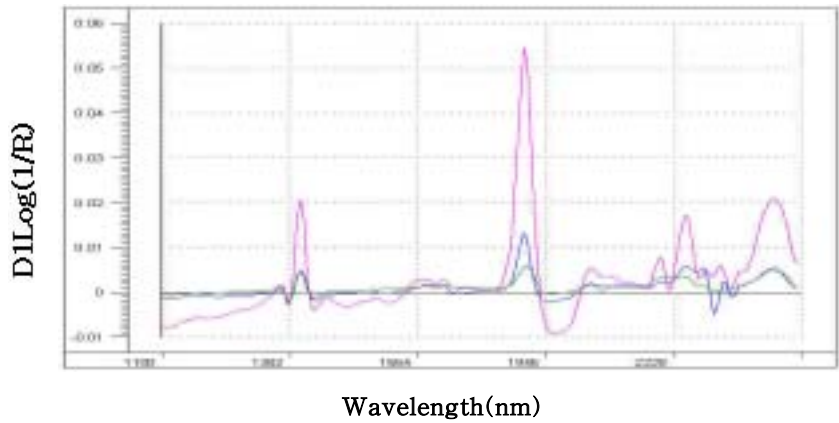
퇴비시료 중 humic acid 함량이 비교적 높은 시료와 낮은 시료 그리고 중간정도의 시료를 각각 3개씩 선택하여 평균한 후 이들의 원 스펙트럼(a)과 미분 스펙트럼(b)을 그림 3-10에 나타내었다. 원 스펙트럼에서는 시료들의 입자차이 등 시료상태에 따른 스펙트럼 차이로 인해 실제 성분차이에 의한 파장을 관찰하기 힘들지만 2차미분한 경우 시료간의 흡수차이를 보다 쉽게 관찰할 수 있다.

Humic acid 함량에 따른 퇴비시료간의 흡수차이를 나타내는 파장은 주로 2000nm 이상의 영역인데 이 영역은 일반적인 생물의 구성물질인 cellulose, starch, protein 등의 관능기에 근거한 흡수파장이지만 퇴비에서는 유기물 총체가 부식화된 상태의 물질 구조에 의한 흡수로 추정되지만 부식질의 구조가 아직 명확히 판명되지 못한 상태이어서 구체적인 해석에는 어려운 점이 있는 실정이다.

퇴비시료내의 Humic acid의 분광 스펙트럼에서 그 흡수의 차이를 나타내는 파장은 주로 2000nm 이상의 영역인데 이 영역은 일반적인 생물의 구성물질인 cellulose, starch, protein 등의 관능기에 근거한 흡수파장이지만 퇴비에서는 유기물 총체가 부식화된 상태의 물질 구조에 의한 흡수로 추정되지만 부식질의 구조가 아직 명확히 판명되지 못한 상태이어서 구체적인 해석에는 어려운 점이 있는 실정이다.



(a) raw spectra

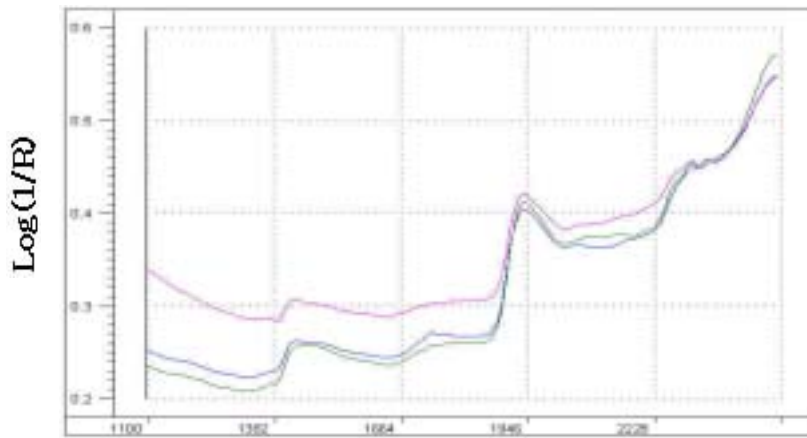


(b) Derivative spectra

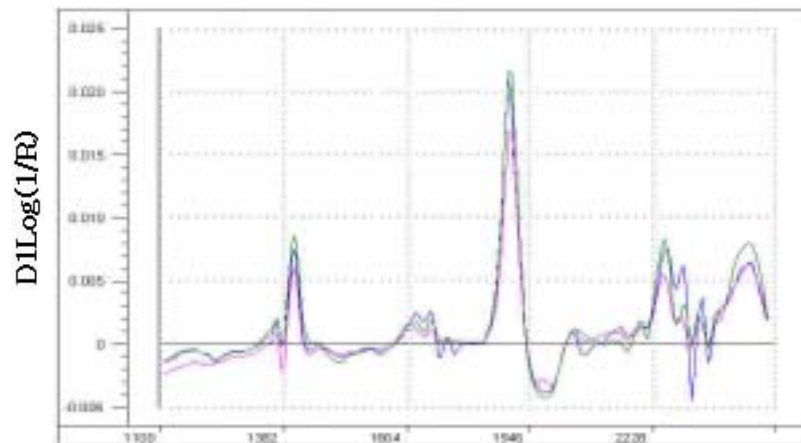
Fig. 3-10. The derivative NIR spectra of compost according to humic acid content(— : high content, - - : medium content, - - : low content)

3) 퇴비 중 양이온(K) 관련 스펙트럼 및 파장근거 고찰

퇴비내의 양이온(K) 함량이 차이 나는 시료들의 스펙트럼을 그림 3-11에 비교하였다. K 함량이 차이 나는 시료들의 평균스펙트럼을 그림 10에 비교하였다. 미분 스펙트럼의 경우 2000nm, 2150nm, 2250nm 및 2350nm 영역에서 K 함량에 따른 스펙트럼 차이를 나타내었는데 이 영역은 모두 starch, cellulose, protein에 근거한 흡수파장들인데 퇴비 중에서 이들 유기물과 결합된 형태로 존재할 가능성이 크므로 K가 결합한 유기물의 관능기에 의한 광 흡수가 K 함량의 측정을 가능케 한 것으로 추정된다.



Wavelength(nm)
 (a) raw spectra



Wavelength(nm)
 (b) Derivative spectra

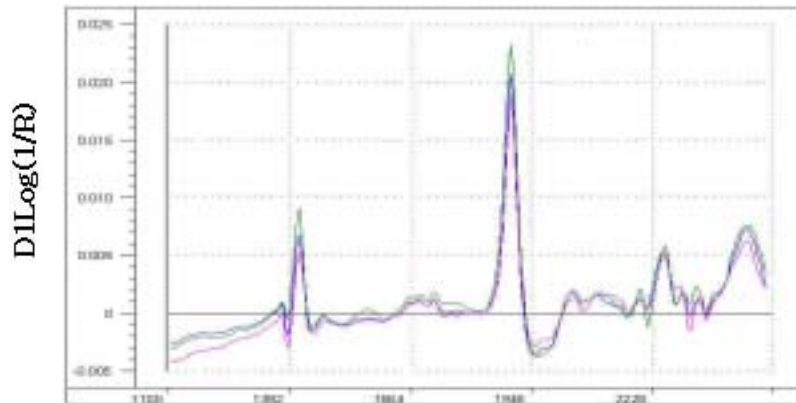
Fig. 3-11. The derivative NIR spectra of compost according to K₂O content(--- : high content, --- : medium content, --- : low content)

4) 퇴비 중 질소 관련 스펙트럼 및 파장근거 고찰

질소 함량이 높은 시료와 낮은 시료의 근적외 스펙트럼을 그림 3-12에 나타내었다. 미분 스펙트럼 중 함량에 따른 스펙트럼 흡수차이를 나타낸 파장들은 주로 2050nm, 2150nm 및 2240nm인데 이 영역은 모두 protein, CONH₂ 그리고 amino acid 구조의 N-H 혹은 C=O기에 관련된 흡수파장들이다.



Wavelength(nm)
(a) raw spectra



Wavelength(nm)
(b) Derivative spectra

Fig. 3-12. The derivative NIR spectra of compost according to T-N content (--- : high content, --- : medium content, --- : low content)

5. 현장용 퇴비 품질 비파괴 측정기의 정확도 향상을 위한 시도

비파괴 퇴비 품질 측정을 위해 개발된 검량식의 정확도를 보다 향상시키기 위하여 퇴비의 스펙트럼을 측정 후 smoothing, normalization, absorbance, 1차 혹은 2차 미분처리 등 다양한 전처리를 행하여 재 작성한 후 측정 정확도를 상호 비교하였다.

근적외 분석기로 측정된 스펙트럼에는 노이즈 성분이 많이 포함되어 있으므로 보다 정확한 검량식 작성을 위해서는 분석에 앞서 스펙트럼의 전처리 과정이 필수적일 것으로 판단된다. 또한 토양성분의 이화학 분석치와 근적외 스펙트럼 데이터간의 회귀분석을 최소부분자승회귀분석(PLSR) 뿐만 아니라 중회귀분석(MLR)을 행하여 비교함으로써 검량식의 안정화와 측정 정확도를 향상시키고자 노력하였다.

1) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 pH 비파괴 측정 정확도 향상 시도

보다 정확한 pH 측정 비파괴 검량식 작성을 위해 다양한 데이터 전처리 및 회귀분석을 적용하여 그 변이요인을 분석한 결과는 표 3-11과 같다.

Table 3-11. The result of chemometrics between NIR spectra data and pH of compost

Instruments	chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Absorbance	7	0.81	0.64
		Normalization	8	0.79	0.68
		Smoothing	9	0.85	0.51
		Smoothing + Normalization+ 1st Derivative	9	0.89	0.45
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Absorbance	10	0.79	0.65
		Smoothing	10	0.82	0.57
	MLR	Smoothing + Normalization	10	0.80	0.60

현장용 근적외 분광기의 경우 데이터 전처리로 smoothing처리한 후 PLSR로 회귀분석한 경우 중상관계수(R)은 0.82, SEP는 0.57로 가장 좋은 결과를 나타내었으며 연구용의 경우 10개의 factor를 사용하여 중상관계수(R)은 0.89, 측정오차(SEP)는 0.45으로 나타나 현장용 및 연구용 모두 비슷한 상관성을 나타내었다. 따라서 현장용 비파괴 측정장치를 사용해 비교적 높은 정확도로 퇴비내의 pH의 예측이 가능함을 알 수 있다.

2) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 humci acid의 비파괴 측정 정확도 향상 시도

퇴비 중의 humic acid 측정 정확도 향상을 위해 다양한 데이터 전처리 조작과 회귀분석법을 적용하여 변이요인을 검토한 결과는 표 3-12에 나타내었다. 연구용 분석기를 사용하여 PLSR 회귀분석을 행한 결과, 스펙트럼의 전처리에 따라 상관계수와 측정오차가 조금 차이가 있기는 하나 큰 변화는 나타나지 않았다.

Table 3-12. The result of chemometrics between NIR spectra data and humic acid content of compost

Instrument	Chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Smoothing	8	0.84	1.04
		Normalization	9	0.83	1.12
		1st Deriv.	9	0.87	0.97
		1nd Deriv. + Smoothing	10	0.89	0.90
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Absorbance	10	0.74	1.19
		Normalization	10	0.71	1.26
		Absorbance + Smoothing	10	0.75	1.15

다양한 전처리 방법 중 1차미분과 smoothing을 병행하여 처리한 후 작성된 검량식에서 중상관계수는 0.89, 측정오차(RMSEP)는 0.90로 가장 낮아 다양한 측정 모델 중 가장 정확도가 높은 검량식으로 채택되었다. 현장용 분석기는 상관계수

가 0.75이하로 연구용에 비해 낮아지는 경향이 있음을 알 수 있었으나 측정오차는 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다.

또한 선택파장의 수를 점차 늘려나가는 step up search 방식에 의한 MLR 회귀분석한 결과를 표 3-13에 나타내었다. 검량식 작성에 사용된 주된 파장은 2304, 2314, 2050, 2268, 2350nm 등이었으며 2파장에서 9파장으로 구성된 검량식 중 1894, 1932, 2050, 2268, 2302, 2318, 2474의 7파장으로 구성된 검량식에서 중상관계수(R)는 0.86, 미지시료에 대한 측정오차(SEP)는 1.27%로 비교적 정확하였다.

Table 3-13. The result of MLR analysis between NIR spectra data and humic acid content of compost

Used wavelength(nm)	R	SEC (%)	SEP (%)
2304, 2314	0.66	1.70	1.78
2304, 2314, 2454	0.69	1.64	1.80
1932, 2014, 2302, 2314	0.75	1.51	1.83
1896, 1924, 2302, 2314, 1474	0.79	1.40	1.54
1896, 1926, 2048, 2302, 2312, 2470	0.81	1.33	1.56
1894, 1932, 2050, 2268, 2302, 2318, 2474	0.86	1.15	1.27
1888, 1936, 2060, 2268, 2302, 2318, 2360, 2470	0.87	1.13	1.55
1616, 1722, 1960, 2044, 2278, 2304, 2324, 2356, 2470	0.90	1.01	1.60

Humic acid 실측치와 근적외 예측치 간의 상관관계는 비교적 높은 정확도로 퇴비중의 humic acid 함량을 비파괴 측정하는 것이 가능하였다. Humic acid는 퇴비의 품질을 좌우하는 중요한 성분으로서 부숙기간이 증가할수록 함량이 증가하므로 퇴비의 품질을 판정하는 중요한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

3) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 EC의 비파괴 측정 정확도 향상 시도

퇴비 중 EC 비파괴 측정검량식의 변이요인을 조사하기 위해 다양한 데이터 전처리 조작을 통해 변이요인을 검토한 결과는 표 3-14에 나타내었다. EC 측정용

검량식에서 연구용 분석기를 사용한 경우 미분처리와 smoothing을 병행하여 처리한 모델의 중상관계수가 0.92, 측정오차가 0.91로 다른 검량식에 비해 아주 높은 상관성을 나타내었다.

두 측정기기 사이의 측정오차는 전반적으로 smoothing 처리를 한 경우 검량식의 정확도가 더 향상됨을 확인할 수 있다. 현장용 분석기의 경우 역시 smoothing 처리한 경우가 전반적으로 검량식의 정확도가 더 높았다.

Table 3-14. The result of chemometrics between NIR spectra data and EC of compost

Instrument	Chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Smoothing	8	0.88	1.02
		Normalization	9	0.87	1.01
		1st Deriv.	9	0.90	0.94
		1nd Deriv. + Smoothing	9	0.92	0.91
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Normalization	10	0.69	1.63
		Smoothing	10	0.72	1.50

4) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 전질소의 비파괴 측정 정확도 향상 시도

퇴비 중 전질소의 비파괴 측정 정확도 향상을 위해 다양한 데이터 전처리 조작 통한 변이요인을 검토한 결과는 표 3-15에 나타내었다. 전질소 측정용 검량식에서 연구용 분석기를 사용한 경우 미분처리와 smoothing 및 normalization을 병행하여 처리한 모델의 중상관계수가 0.93으로 다른 검량식에 비해 상당히 높은 상관성을 나타내었다. 현장용 분석기를 사용하여 PLSR 분석을 행한 경우 smoothing과 normalization 및 2차 미분 처리한 경우 그 상관계수가 0.85, 측정오차가 0.29로 비교적 높게 나타났다.

Table 3-15. The result of chemometrics between NIR spectra data and T-N content of compost

Instrument	Chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Absorbance	7	0.86	0.27
		Normalization	7	0.86	0.23
		1st Derivative	7	0.85	0.26
		Smoothing	8	0.89	0.19
		Normalization + Smoothing+ 1st Derivative	9	0.93	0.17
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Absorbance	10	0.81	0.32
		Normalization	10	0.81	0.33
		Normalization + Smoothing + 2nd Derivative	10	0.85	0.29

5) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 K₂O의 비파괴 측정 정확도 향상 시도

퇴비 중의 K₂O 함량 측정 정확도 변이 요인 분석을 위해 다양한 데이터 전처리 조작과 회귀분석법을 검토한 결과는 표 3-16에 나타내었다.

Table 3-16. The result of chemometrics between NIR spectra data and K₂O content of compost

Instrument	Chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Smoothing	8	0.83	0.35
		Normalization	7	0.80	0.40
		1st Deriv.	7	0.84	0.31
		1st Deriv. + Smoothing + Normalization	9	0.92	0.21
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Normalization	10	0.79	0.36
		Smoothing	10	0.80	0.34

K₂O 함량 측정용 검량식은 비교적 높은 정확도를 나타내었다. 연구용 분석기에 의한 PLSR 분석모델에 있어서 1차 미분, normalization, smoothing을 병행처리한 경우 중상관계수가 각각 0.92로 높았으며 측정오차는 0.28을 나타내었다. 이는 1차 미분처리에 의해 비파괴 측정 정확도에 영향을 나타내며 smoothing 처리도 비교적 데이터 전처리 효과가 좋음을 알 수 있다. 현장용 분석기에 의한 PLSR 모델에 있어서 smoothing 처리한 경우 normalization 보다 약간 향상된 결과를 나타내었다.

6) 데이터 전처리 및 회귀분석법의 검토를 통한 유기물의 비파괴 측정 정확도 향상 시도

유기물 함량 측정 정확도 향상을 위해 다양한 데이터 전처리 조작과 회귀분석법을 검토한 결과는 표 3-17에 나타내었다. 유기물 함량 측정용 검량식은 다양한 처리모델에 있어서 모두 중상관계수가 0.85이상으로 높은 정확도를 나타내었다. 연구용 분석기에 의한 PLSR 분석모델 중 가장 정확도가 높은 검량식은 1차 미분, normalization, smoothing을 병행 처리한 경우이었으며 이때의 중상관계수는 0.90이었다. 현장용 분석기의 경우 연구용 분석기보다 정확도가 다소 낮으나 smoothing 처리시 0.85로 비교적 높은 값을 나타내었다.

Table 3-17. The result of chemometrics between NIR spectra data and OM content of compost

Instrument	Chemometrics	Data Pretreatment	Factor Number	R	RMSEP
InfraAlyzer 500	PLSR	Absorbance	9	0.85	8.11
		Smoothing	8	0.87	7.43
		Normalization	9	0.86	7.93
		1st Derivative + Smoothing + Normalization	9	0.90	6.93
Compost Quality Autoanalyzer	PLSR	Absorbance	10	0.83	8.60
		Smoothing	10	0.85	8.49

6. 비파괴 퇴비 품질 자동 측정 장치 개발을 위한 시제품 제작

1) 비파괴 퇴비 품질 자동 측정기의 설계를 위한 구성도와 제어 흐름도

비파괴 퇴비 품질 자동 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)는 컴퓨터와 I/O Interface를 이용하여 신호를 교환하게 함으로서 간단한 컴퓨터의 조작만으로 비파괴 측정 시스템간의 운영 및 제어를 가능하게 할 예정이며, RS-232C Serial Interface를 사용하여 NIR 광센서가 측정한 스펙트럼 데이터의 획득 및 전송처리가 가능하도록 설계하였다.

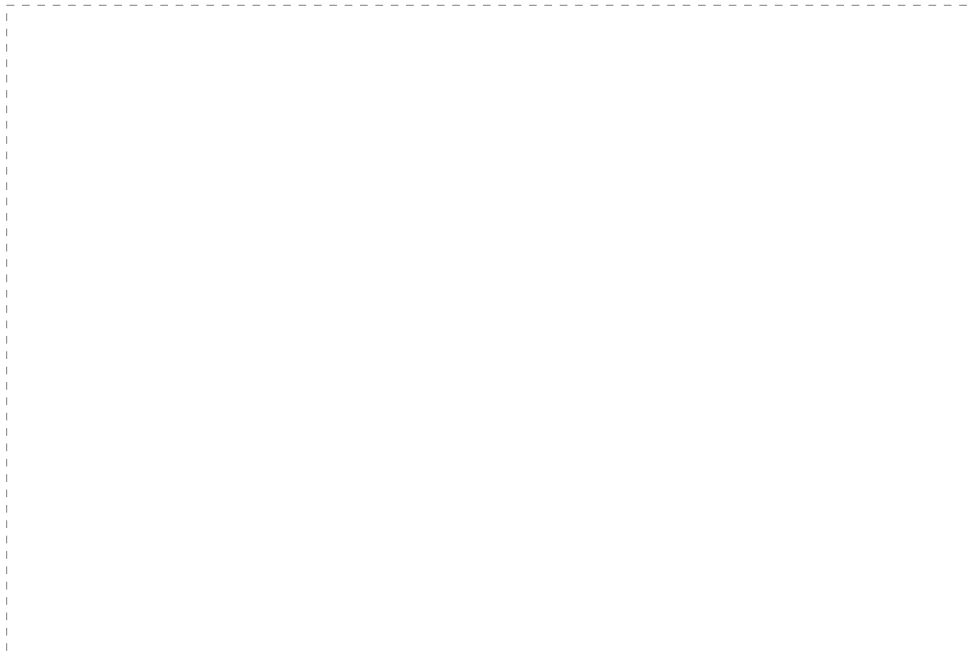


Fig. 3-13. The flowchart of data treatment on the Compost Quality Autoanalyzer

Compost Quality Autoanalyzer의 시스템 구성을 개략적으로 살펴보면 전체 시스템을 제어할 연산 및 제어 컴퓨터부, 시료의 로딩 및 이송을 담당할 이송 및 투입부, 근적외 분광기의 신호를 검출할 데이터 검출부, 시료실, 제어조작판부, 비파괴 측정 후 퇴비시료를 반출 받는 시료회수부등으로 구성되어 있다.

본 시스템의 제어신호 흐름을 살펴보면 제어조작부(Control part)에서 시동 스위치를 누르게 되면 전체 시스템에 전원이 공급되면서 작동하게 되며, 전원 공급

이 된 컴퓨터로부터 시스템에 대한 제어신호(Computing)가 발생하게 되고 컨베이어(Conveyor)에 탑재된 시료컵(Sample cup)을 회전 구동시켜 시료 측정부 쪽으로 측정대상 퇴비시료를 이송시키게 된다. 이송이 완료되면 근적외 분광기(NIR)가 측정을 시작하며 측정된 근적외 스펙트럼 데이터가 컴퓨터(Computing)로 전송되어 퇴비 품질 측정 결과를 출력(Monitor, Printer)하게 하게 된다.

한편 측정이 끝난 퇴비시료는 간편하게 실험자에 의해 시료컵에 있는 시료를 회수할 수 있으며 시스템에 장착된 측광창은 시료와의 접촉이 없어 측광창의 오염을 최소화 할 수 있으며 시료컵에 부착된 측광창은 실험자에 의해 간단히 세척이 가능하므로 비파괴 시스템의 정확도 향상을 꾀하였다. 이와 같은 일련의 과정은 자동화가 되어 하나의 시료가 측정이 완료되고 자동으로 다음 시료가 담겨진 시료컵으로 자동회전한 후 비파괴 측정이 수행되게 설계하였다.

2) 비파괴 퇴비 품질 자동 측정기 제작을 위한 시제품 제작

아래의 그림 3-14 및 3-15은 비파괴 퇴비 품질 자동 측정 장치 시제품으로 1차년도 연구의 결과물로서 제시된 그림과 같이 기본 프레임, 광센서부, 제어부만을 제작하였다.

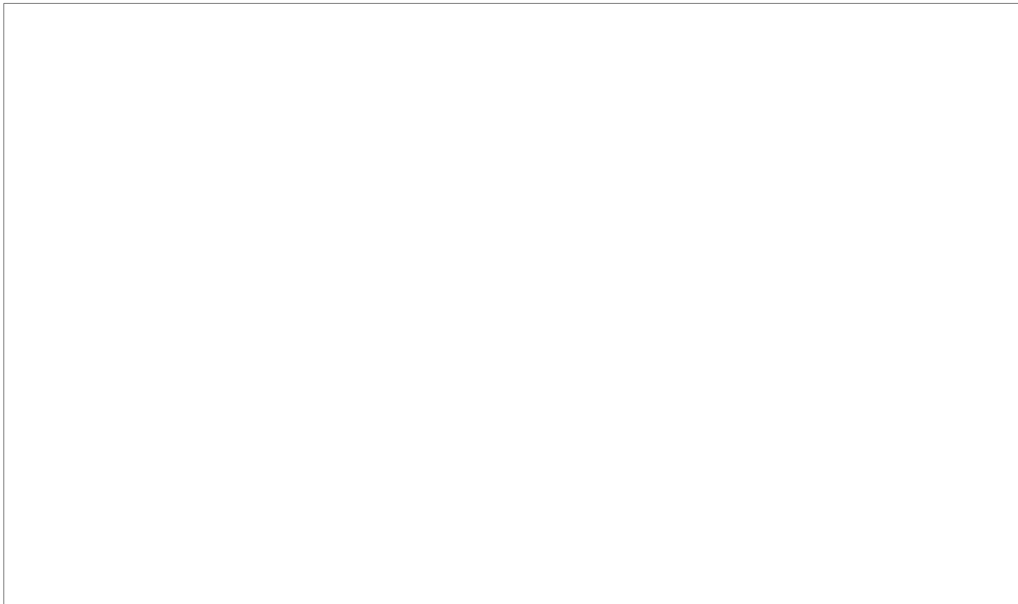


Fig 3-14. The Prototype for development of Compost Quality Autoanalyzer

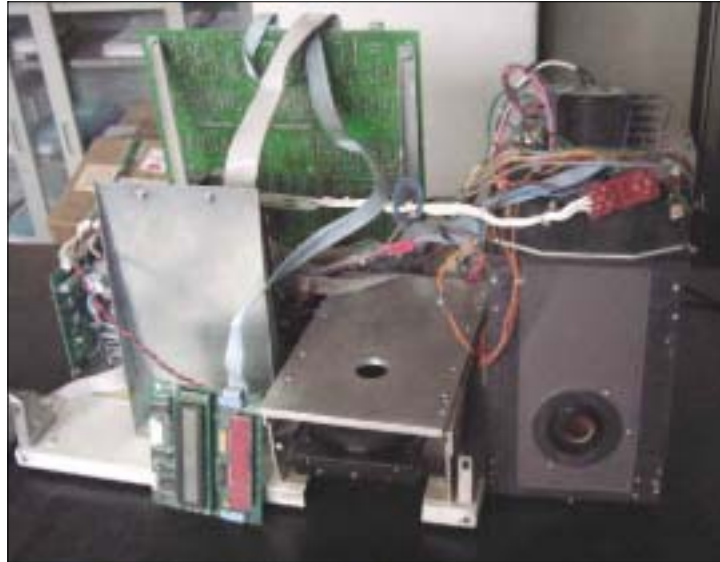


Fig. 3-15. The prototype of photo sensor and control part

제시된 그림과 같이 비파괴 퇴비 품질 측정 장치 시제품의 중요 구성 요소 부분을 구성하여 제작하여 비파괴 측정을 시도한 결과 다양한 결과 및 비파괴 측정 장치의 일부 문제점이 도출되어 이를 개선하기 위한 연구를 추가로 진행하였다. 특히, 퇴비시료를 건조하여 입도를 조정한 후 시료 측정부에 도입한 결과 발생하는 분진에 의한 측광창의 오염으로 비파괴 측정 정확도가 일정부분 떨어지는 문제점이 발생하여 비파괴 측정 정확도를 향상하기 위해서는 측광창의 오염을 최소화 할 수 있는 방향으로 개선할 필요성이 있음을 알 수 있었으며, 2차년도 연구에서는 이러한 문제점 들을 개선하기 위해 회전형이면서 노출형의 시료 측광부를 자체 제작하여 시료 측광창의 오염을 최소화 하고 장비 운영의 효율성을 제고하여 비파괴 측정 정확도 향상을 꾀하였으며 더욱 콤팩트한 장치 개발을 시도하였다.

7. Compost Quality Autoanalyzer의 개발

1) System 운영을 위한 소프트웨어(STA program)

Compost Quality Autoanalyzer를 운영하기 위해 제작된 STA 프로그램은 퇴비의 성분을 비파괴 적으로 측정하기 위한 장치의 제어와 근적외 분광 센서로부터 취득된 스펙트럼 데이터를 이용하여 퇴비내의 양분함량의 수치 데이터를 얻기 위해 제작된 프로그램이다.

본 프로그램은 보편적으로 사용되고 있는 IBM 호환 컴퓨터의 운영체제인 Windows를 기반으로 제작되어 기기운영자의 사용 편의성과 범용성을 고려하여 제작되었다. 비파괴 측정시 퇴비시료의 분광 데이터를 기초로 하여 입력한 calibration에 해당하는 결과 값을 얻을 수 있으며, 한편 제어신호의 입출력을 위한 I/O board는 direct memory access 방식으로 제작되었다.

본 프로그램(STA program)은 별다른 도움말 기능이 없어도 사용자가 쉽게 system의 운영이 가능하도록 구성되었다.

아래의 그림 3-16은 비파괴 퇴비 품질 자동 측정장치(Compost Quality Autoanalyzer)의 기본적인 제어 프로그램인 STA 프로그램의 알고리즘에 대해 flow-chart로 예시하였다.

(1) Software Installation

- STA는 하드디스크에 세팅되므로, 제공된 CD로부터 하드디스크에 소프트웨어를 Install 하여 주어야 한다.

(2) Install Procedure

- STA program CD를 CD-ROM에 삽입
- Setup 파일 Double Click
- 이후의 Install 과정은 자동으로 이루어지고, Install이 완료되고 난 뒤 Rebooting 하여 Window Registry에 STA를 등록하는 과정이 수행됨

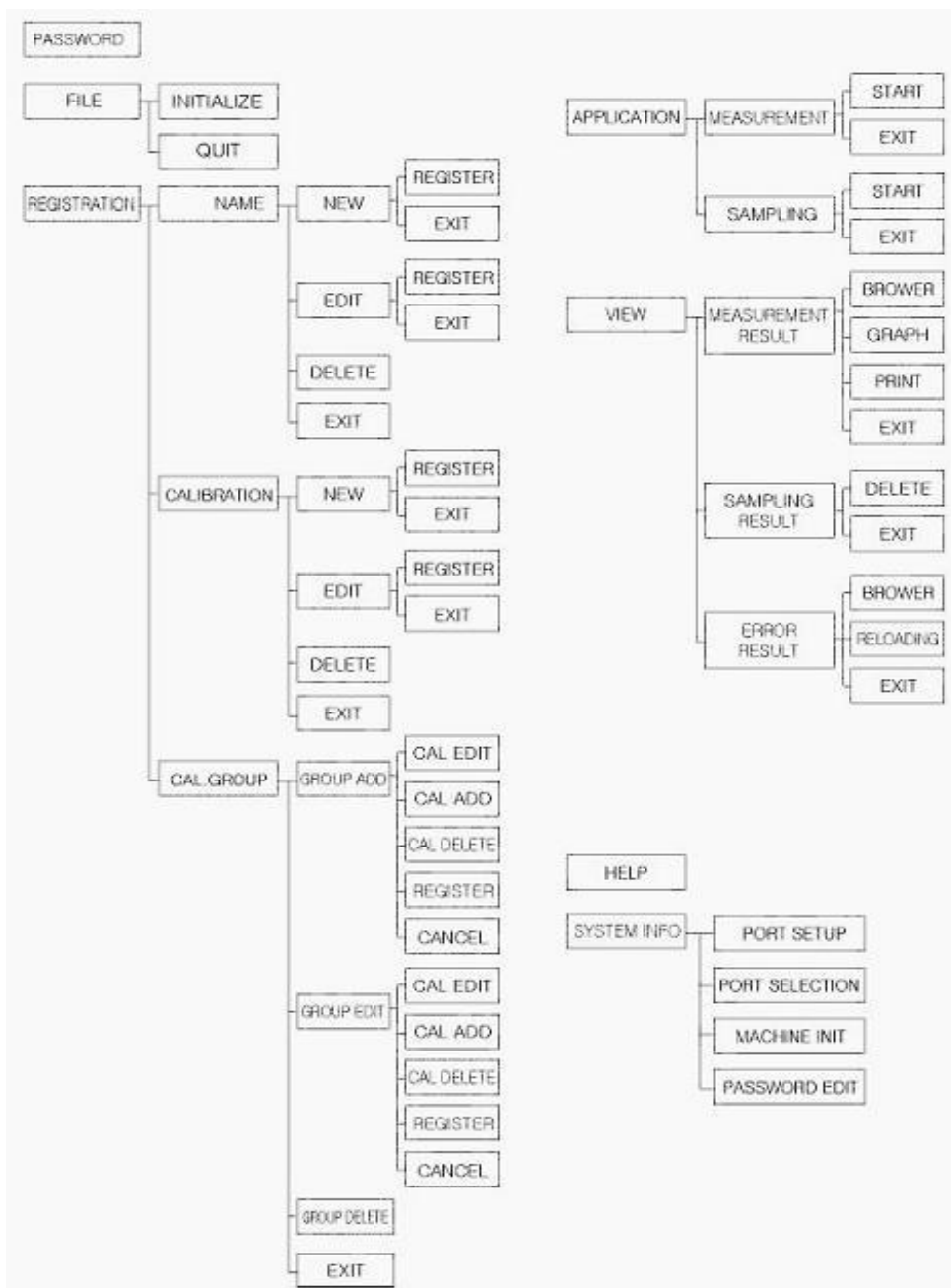


Fig. 3-16. The flowchart of the STA program for control on the Compost Quality Autoanalyzer

(3) OPERATING PROCEDURES

초기 “STA” 아이콘을 DOUBLE CLICK 하면 PASSWORD 입력 화면이 나오며 PASSWORD 확인 과정을 거쳐 <FIG.2>의 MAIN 화면이 DISPLAY 된다.

본 STA 프로그램은 VISUAL C++(VER 6.0) MFC로 제작되었으며, DIALOG BASED로 제작되어 “메뉴” 탭에서 동시에 두 가지의 DIALOG를 DISPLAY 할 수는 없게 설계되었다.

“ 메뉴” 탭에 정의된 각 FUNCTION의 기능에 대해 설명하면 다음과 같다.

① PASSWORD INPUT DIALOG

PASSWORD INPUT DIALOG는 “STA” ICON을 DOUBLE CLICK 할 시 처음으로 나타나는 것으로, 등록된 SYSTEM PASSWORD가 일치해야만 STA 프로그램을 사용할 수 있도록 하는 권한이 부여된다. 만일 이 패스워드가 일치하지 않을시 프로그램은 메인 화면으로 전개되지 않는다.

SYSTEM PASSWORD DIALOG의 화면 구성은 아래 그림 Fig 3-17과 같다.



FIG. 3-17. System password input dialog

PASSWORD은 영문과 숫자 모두 가능하고, 영문의 경우 대/소문자 구분은 하지 않는다. 단 8자 이내이어야 한다.

PASSWORD 입력후 <OK> BUTTON CLICK 하면 등록된 PASSWORD와 확인후 일치하면 다음으로 전개되고, 일치하지 않으면 에러 메시지를 발생시킨다.

<CANCEL> BUTTON은 PASSWORD STA 프로그램을 종료하는 기능을 수행한다.

② FILE MENU

- INITIALIZE

INITIALIZE 는 시스템의 전체적인 초기화 작업을 수행하는 기능을 하게 되며, 화면은 아래 그림 3-18과 같이 구성되어 있다.



Fig 3-18 The view of program loading

이 과정은 시스템에서 STA 프로그램이 비정상적인 작동이 이루어지는 경우 STA 프로그램의 초기화를 위한 과정이며 일반적인 상황에서는 이 operation을 수행할 필요성은 없다.

- QUIT

QUIT 는 STA 프로그램을 종료하는 기능을 수행한다.

(4) CALIBRATION

CALIBRATION은 입력하고자 하는 CALIBRATION이 있는 경우 수행하며 기존에 등록되어 있는 CALIBRATION이 있는 경우 화면에 보여진다.

CALIBRAION DIALOG의 각 BUTTON에 대한 기능 정의는 아래와 같다.

① NEW

- 새로운 CALIBRATION을 등록하는 경우 <NEW> 버튼을 CLICK 하면 아래 그림과 같은 화면이 보여진다.

-CALIBRATION 등록 화면에서 CALIBRATION을 등록하는 방법은 첫째, 직접 입력 하거나 둘째, CALIBRATION을 EXCEL 파일로 만들어 이 파일을 LOADING 해서 입력가능하다.

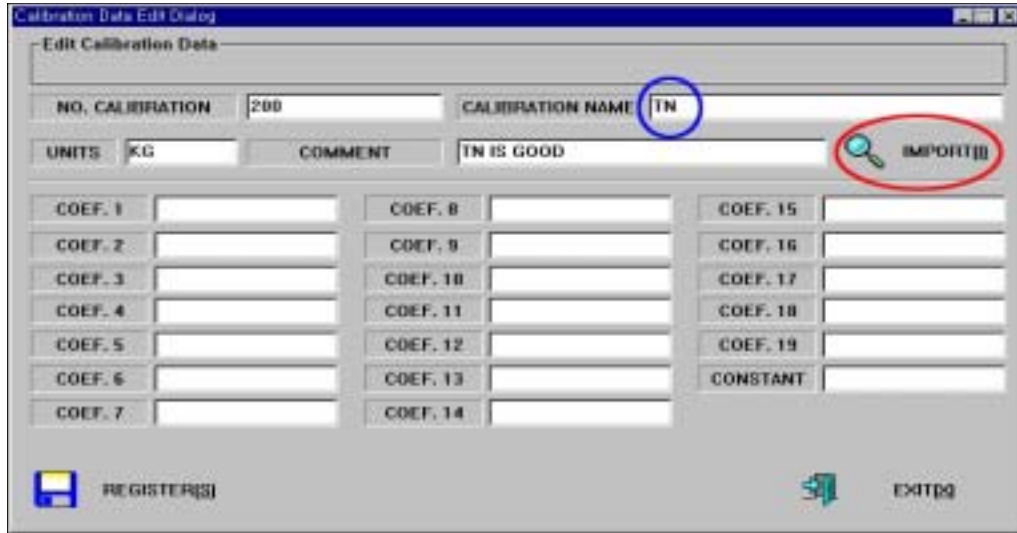


Fig 3-19 The view of calibration data edit menu

CALIBRATION NAME에서 입력하고자 하는 CALIBRATION NAME을 입력한 뒤, <IMPORT> 버튼을 CLICK 하면 아래의 화면이 나타난다.



Fig 3-20 The view of the file menu

그림 3-20에서 사용자가 직접 작성한 EXCEL 파일을 선택하면, CALIBRATION NAME에서 입력한 CALIBRATION이 파일에 존재하는 경우 해당 CALIBRATION 값들이 DIALOG의 각 COEF 번호에 자동 입력된다.

EXCEL 파일에 CALIBRATION NAME에 해당하는 내용이 없는 경우 에러 메시지가 나타나게 된다.

사용자가 EXCEL PROGRAM을 이용하여 CALIBRATION 의 각 원소 값을 입력하는 경우 아래의 포맷을 유지해 주어야 하며, 만약, 포맷 형태가 다를 경우 잘못된 값이 입력되어 결과 값이 다르게 나올 수 있으며, 파일에서 DATA를 읽을 수 없는 오류가 발생할 수 있다.

Calibration name	F2	F3	...	F20
Total Nitrogen	1.0	2.0	...	3.0

입력이 완료되면 <REGISTER> 버튼을 CLICK 하여 등록하고, <EXIT>를 CLICK 하면 DIALOG가 종료된다.

② EDIT

기존에 입력된 CALIBRATION 에서 수정사항이 있는 경우 <EDIT> 버튼을 클릭하여 수정하고자 하는 내용을 수정한 뒤 재 등록 할 수 있으며, 원하는 CALIBRATION 을 마우스로 클릭한뒤, <EDIT> 버튼을 CLICK 하면 아래의 그림 3-21처럼 DIALOG가 DISPLAY 된다.

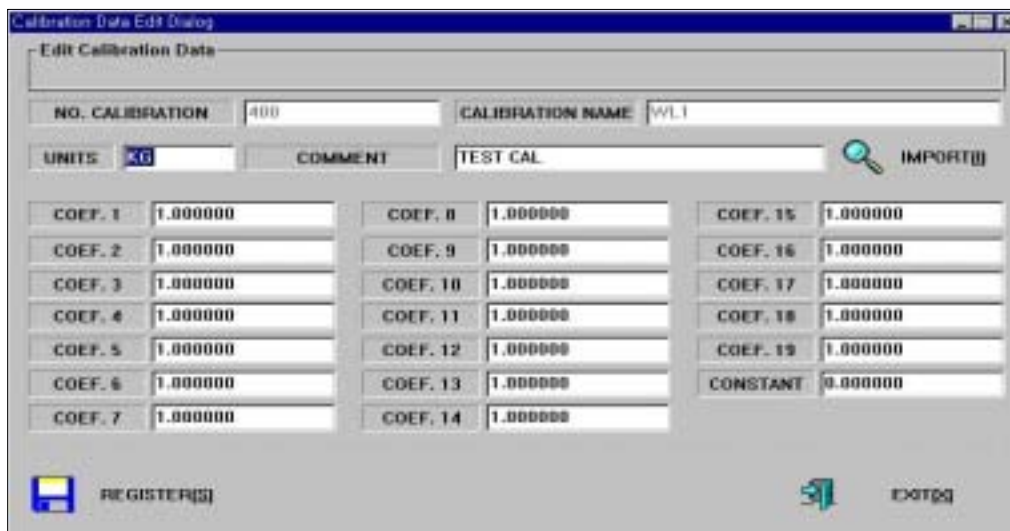


Fig 3-21 The view of the Edit Calibration Data menu

위의 그림에서 원하는 원소 값을 수정한 뒤 <REGISTER> 버튼을 CLICK 하고, <EXIT> 버튼을 CLICK 하면 DIALOG 가 종료된다.

③ DELETE

<DELETE> 버튼은 등록된 CALIBRATION에서 삭제하고자 하는 CALIBRATION 이 있는 경우 삭제하는 기능을 수행한다. 이 버튼을 이용하여 CALIBRATION 을 삭제하는 경우 CALIBRATION 은 영구 삭제된다.

단지 주의할 점은 CALIBRATION 은 NAME 과 CALIBRATION GROUP 과 연계되어 있으며, 한 번 삭제시 영구 삭제 되므로 주의 해야 한다.

④ EXIT

<EXIT> 버튼은 CALIBRATION DIALOG를 종료하는 기능을 수행한다.

(5) CALIBRATION GROUP(CAL.GROUP)

CAL.GROUP 은 새로운 CAL.GROUP을 등록하고, 기존의 CAL.GROUP 에 대해 수정/보완할 수 있는 기능을 제공한다. CAL.GROUP DIALOG 의 화면 구성은 아래 그림 과 같으며, 각 BUTTON 의 기능들에 대해 아래에 설명하였다.

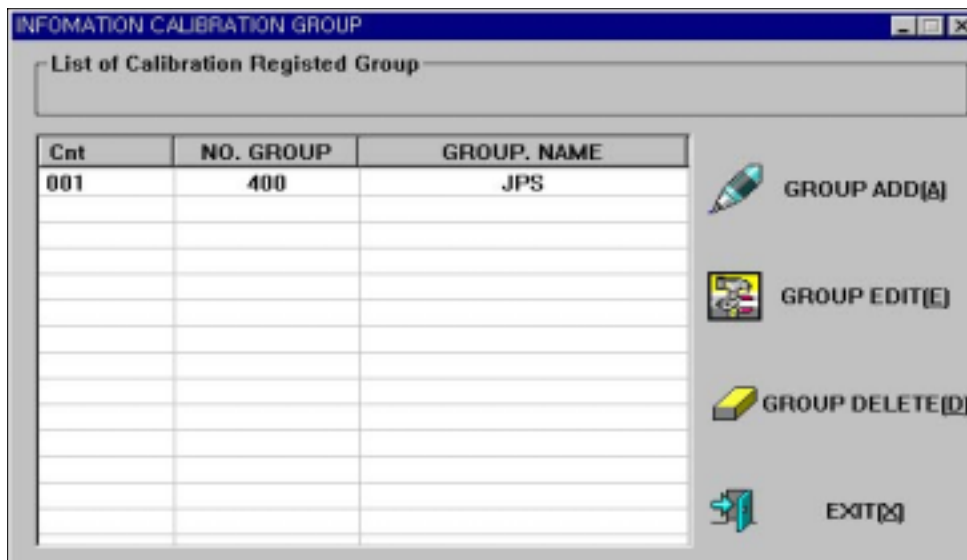


Fig 3-22 The view of the Calibration Group Dialog menu

메인화면에서는 기존에 등록된 CALIBRATION GROUP 들이 보여지고, 등록된 CALIBRATION GROUP을 수정/삭제/추가가 가능하며, 각 기능들에 대해 설명한다.

① GROUP ADD

<GROUP ADD>는 새로운 CALIBRATION GROUP을 등록하는 경우 사용할 수 있다. 화면의 구성은 아래 그림 3-23과 같다.

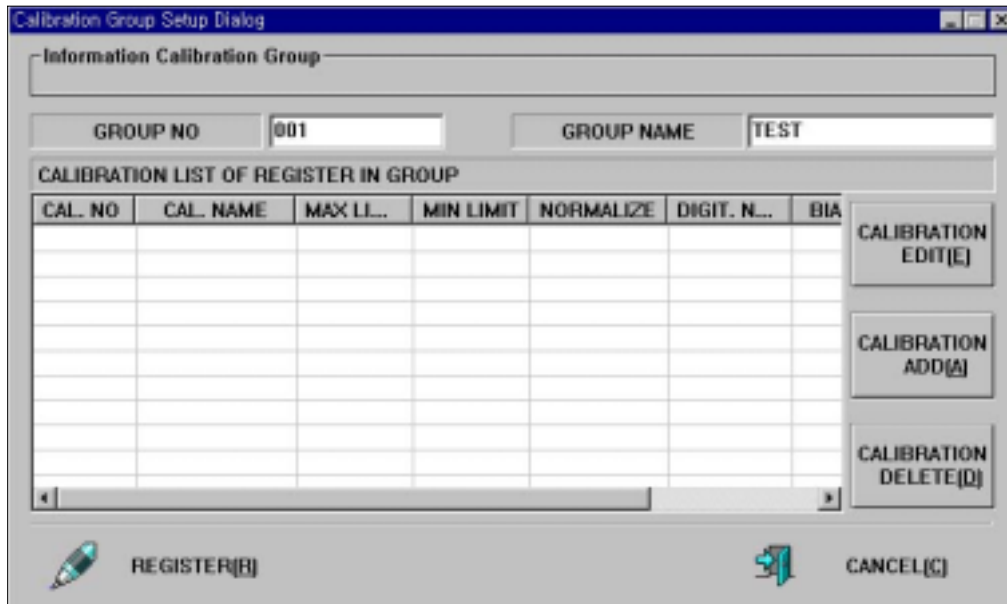


Fig 3-23 The view of the Calibration Group Add menu

- 새로운 CAL. GROUP의 NUMBER를 GROUP. NO 에 지정한다.
- CAL. GROUP의 NAME을 GROUP NAME란에 지정한다.
- 우측의 <CALIBRATION ADD> BUTTON을 CLICK 하여 원하는 CALIBRATION을 추가한다.

CALIBRATION 등록이 완료되면 <REGISTER> BUTTON을 CLICK 하여 저장하고, <EXIT> BUTTON을 CLICK하여 DIALOG를 종료한다.

② GROUP EDIT

- <GROUP EDIT>는 등록된 CALIBRATION GROUP에서 CALIBRATION을 새롭게 추가 하거나, 기존에 등록된 CALIBRATION을 수정하는 경우 또는 CALIBRATION을 삭제하는 기능이 있다. 화면 구성은 아래 그림 Fig 3-24, Fig 3-25와 같다.

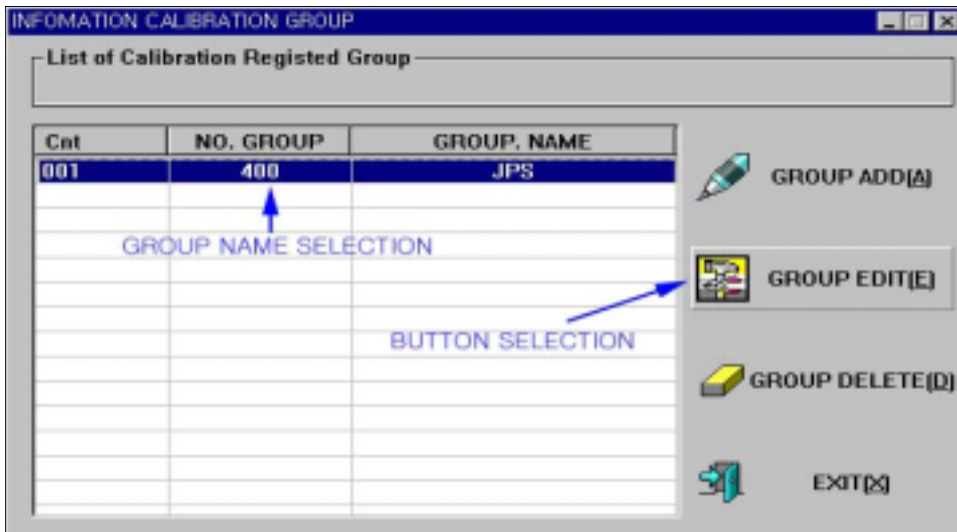


Fig 3-24 The view of the Calibration Group Edit menu

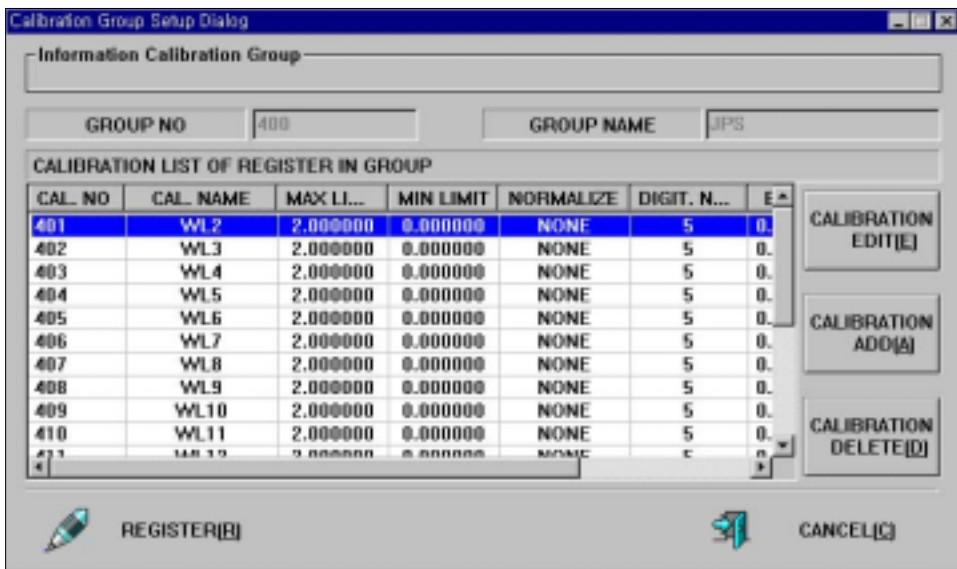


Fig 3-25 The view of the Calibration Group Edit menu

Fig 3-25의 화면에서 새로운 CALIBRATION을 등록하고자 하는 경우 <CALIBRATION ADD> BUTTON을 CLICK 하여 등록할 수 있고, 기존의 CALIBRATION을 수정하기 원하는 경우는 <CALIBRATION EDIT> BUTTON을 CLICK 하여 원하는 값을 수정할 수 있다. 또한, 기존 등록된 CALIBRATION을 삭제하는 경우 <CALIBRATION DELETE> BUTTON을 이용할 수 있다.

③ GROUP DELETE

<GROUP DELETE> BUTTON은 등록된 CALIBRATION GROUP을 삭제하는 경우 사용한다. 삭제된 CALIBRATION GROUP은 다시 복구가 불가능하며, CALIBRATION GROUP 내에 있는 CALIBRATION은 영구히 삭제되는 것은 아니다. 또한, CALIBRATION GROUP을 삭제하는 경우 포함된 CALIBRATION을 삭제하고 CALIBRATION GROUP을 삭제할 필요는 없으며, 메인 화면에서 CALIBRATION GROUP을 삭제하면 포함된 CALIBRATION은 자동으로 삭제된다. 조작방법은 아래 그림 3-26과 같다.

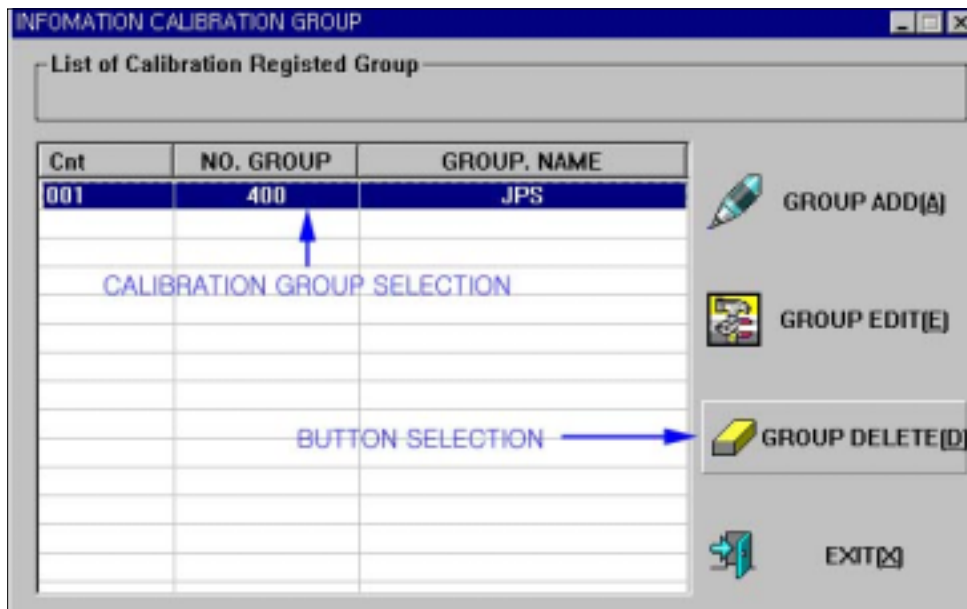


Fig 3-26 The view of the Calibration Group Delete menu

정상적인 상태로 되면 자동으로 "OK" 메시지와 함께 초기 상태로 복귀한다.

TOTAL.CNT 는 측정 당일의 총 누적 COUNT 이며, 날짜가 바뀌면 자동으로 "0"으로 SETTING 된다.

CUR.CNT 는 측정 모드 상태에서의 측정 횟수를 나타내며, <RESET> BUTTON 은 COUNT를 "0"으로 SETTING 한다.

아래의 CALIBRATION DISPLAY 화면은 사용자가 NAME을 선택시, 해당 NAME 에 포함된 CALIBRATION 이 동적으로 표현되어 지며, 분광기로부터 측정 결과값이 수신되면 CALIBRAION 의 각 COEF 값과 연산된 결과값들이 보여 진다.

<START>버튼은 PC에서 설비를 START 할 수 있게 되어 있으며, <EXIT> BUTTON은 MEASUREMENT DIALOG를 종료하는 기능을 수행한다.

② 에러 메시지별 조치 요령

- Alert Switch Operation : All System Stop

사용자가 비상 스위치를 PUSH 한 경우이다. 이 경우 설비의 EMERGENCY SWITCH를 해제 하면 에러 메시지는 자동으로 복귀한다.

- Motor System Alert : All System Stop

SAMPLE CUP POSITION 오류 등으로 인해 컨베이어가 멈춘상태에서 모터가 계속 작동하는 경우 발생하며, 이 경우 모터는 자동으로 정지를 시킨다. 설비의 모터 과부하 버튼 조작으로 에러 처리 가능하다.

- Compost Insufficiency : All System Stop

이 메시지는 분광기에서 Compost를 측정하기 위한 최소한의 퇴비 요구량에 미치지 못하는 경우 발생된다. 이러한 메시지가 발생한 경우 해당 퇴비에 대한 측정은 불가능하며, 분광기에서 Compost을 빼내야 한다. 설비 패널의 실린더 조작 스위치를 우측(실린더 부분)으로 돌리고, 만약 바로 에러 해제가 안되는 경우 원위치 한뒤 다시 한번 우측으로 돌리면 자동으로 해제 된다

- **Spectra Not Empty**

분광기에서 분석이 완료된 뒤 퇴비가 완전히 제거 되지 못한 상태이거나, 비산 먼지로 인해 분광기의 PHOTO SENSE에 이물질이 끼어 있는 경우이다. 프로그램에서 자동으로 5회 까지 분광기 실린더 CLEAR를 시도하지만 만약, CLEAR 가 안되는 경우는 위 3번과 같이 실린더 조작 스위치를 조작해 보고, 이러한 조작에도 불구하고 CLEAR 가 되지 않는다면 측정 모드를 탈출하여 MACHINE INIT MODE에서 설비를 조작해 보기 바란다.

- **Serial Receive Data Incorrect : All System Stop**

분광기로부터 수신된 측정 DATA 가 정확하지 않는 경우이다. 이 경우 해당 퇴비에 대한 측정 결과치는 무효가 되며, 사용자는 3번에서 설명한 방법으로 실린더 조작 스위치를 조작하여 분광기로부터 퇴비를 제거하고 CLEAR 해 주어야 한다.

③ **SAMPLING**

- SAMPLING DIALOG는 SAMPLING 하는 경우 의 측정 모드이며, DIALOG에서는 수치 데이터로 표현 되지는 않으며, GRAPH 로 측정 결과 값이 보여지게 된다.

GRAPH에서 그려질 수 있는 GRAPH LINE의 최대 개수는 100개이며, 100개 이상의 측정시는 <DELETE> BUTTON을 CLICK 하여 기존의 GRAPH LINE을 삭제하여야 한다.

우측의 SPEC SAVE CHECK BOX는 측정시 기존의 파형을 보존할것인지 여부를 결정한다. 만약, 체크 하면 기존 파형을 보존한 상태에서 새로운 파형을 그려주고, 반대의 경우 기존 파형을 삭제하고 새로운 파형을 그려준다.

<START> BUTTON 은 PC에서 설비를 START 하기 위한 기능을 제공하고, <DELETE> BUTTON은 기존에 DISPLAY 된 파형을 모두 삭제하기 위한 기능을 제공한다. <EXIT> BUTTON은 SAMPLING DIALOG를 종료하기 위한 기능을 제공한다.

(7) VIEW DIALOG

VIEW MENU는 MEASUREMENT RESULT 와 SAMPLING RESULT 그리고, ERROR RESULT 로 구성되어 있으며, 각 메뉴에 대한 기능은 아래와 같다.

① MEASUREMENT RESULT

MEASUREMENT RESULT는 APPLICATION 메뉴의 MEASUREMENT MODE에서 측정된 DATA에 대한 통계치를 보여주기 위한 기능을 제공한다.

MEASUREMENT RESULT 에 대한 화면 구성은 아래 그림과 같다.

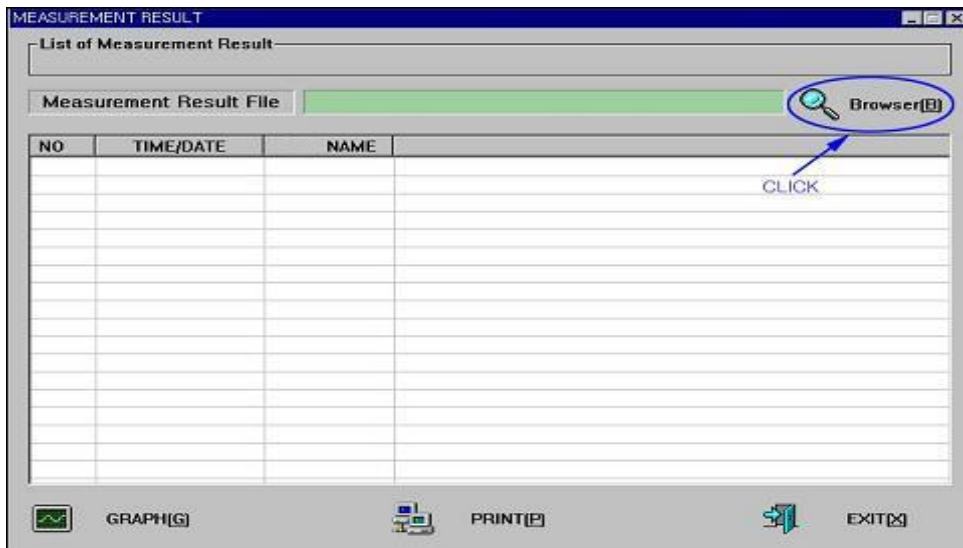


Fig 3-28 The view of the Measurement Result menu

Fig. 3-28에서 <BROWSER> BUTTON을 CLICK 하면 파일을 선택할 수 있는 아래 그림 Fig. 3-29과 같은 DIALOG 가 나타난다.

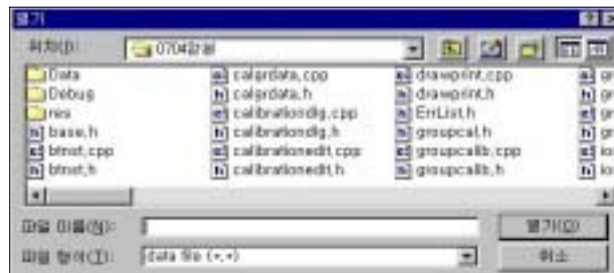


Fig 3-29 The view of the Measurement Dialog

이 DIALOG에서 DATA 폴더의 MEASUREMENT 폴더를 보면 당일 날짜의 파일이 존재한다. 예를 들어 D010706.MRF 파일이 존재하며, 이 파일을 선택한 뒤 <OPEN>을 CLICK 하면 해당 내용이 LIST에 보여지게 된다.

② GRAPH

<GRAPH> BUTTON은 측정된 DATA에 대한 평균, 분산에 대한 값을 그래프로 보기 위한 것이다. 화면 구성은 아래 그림과 같다.

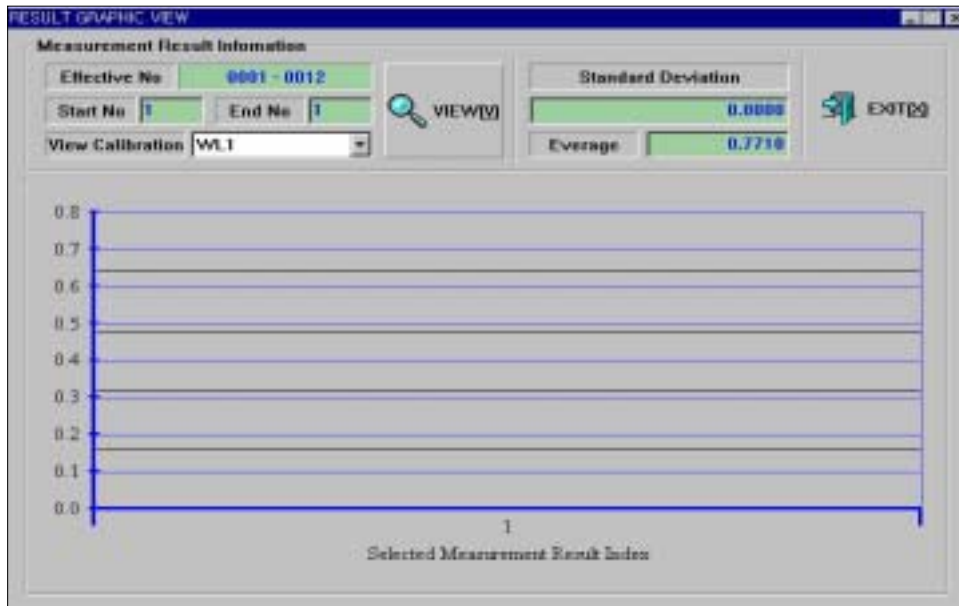


Fig 3-30 The view of the Measurement Dialog

Fig 3-30에서 각 컨트롤에 대한 의미는 아래와 같다.

- EFFECTIVE NO : 측정된 시료의 개수
- START NO : GRAPH 로 그리기 위한 범위 지정(최대 20개)
- VIEW CALIBRATION : GRAPH 로 그리기 위한 CALIBRATION 선택
- VIEW BUTTON : GRAPH 그리는 명령 수행
- STANDARD DEVIATION : 표준편차
- EVERAGE : 평균
- EXIT : DIALOG 종료 기능 수행

(8) SYSTEM INFO

SYSTEM INFO MENU는 PC 시스템 환경 설정 및 Compost Quality Autoanalyzer의 INITIALIZING 기능을 수행하며, 다음의 4가지 메뉴로 구성된다.

① PORT SETUP

PORT SETUP은 통신 PORT의 환경설정을 변경하는 기능을 수행하며, 화면 구성은 아래와 같다.

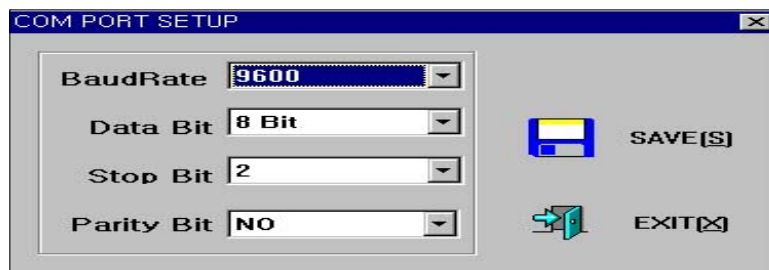


Fig 3-31 The view of the Port Setup menu

통신 PORT의 세팅은 테스트를 수행하는 경우 마다 설정할 필요는 없으며, 한번 설정하면 설정 내용을 변경하지 않는 한 동일 컴퓨터에서 설정 내용을 계속 유지하게 된다. 설정 내용 입력이 완료 된 경우 <SAVE> BUTTON을 CLICK 하며 저장하고, <EXIT> BUTTON을 CLICK 하여 DIALOG를 종료할 수 있다.

② PORT SELECTION

PORT SELECTION은 컴퓨터와 Compost Quality Autoanalyzer의 신호교환에 사용할 SERIAL PORT를 선택하는 기능을 수행하며 그 화면 구성은 아래와 같다.

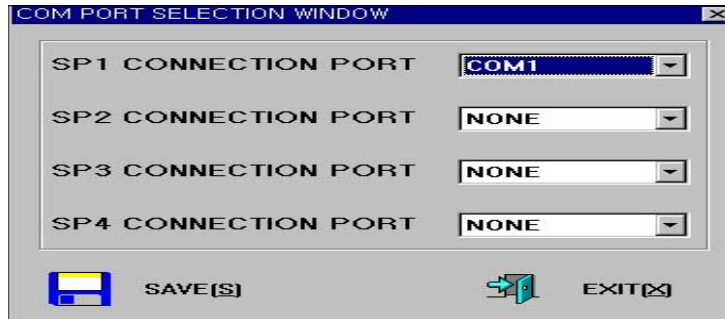


Fig 3-32 The view of the Port Selection menue

PORT SELECTION DIALOG 한 번 설정한 내용은 재설정하기 이전까지 계속 동일한 환경 설정을 유지하므로, 테스트 하는 경우마다 PORT SELECTION을 수행할 필요는 없다. <SAVE> BUTTON을 CLICK 하여 변경한 환경을 SAVE 하고 <EXIT> BUTTON 을 CLICK 하여 DIALOG를 종료 할 수 있다.

③ PASSWORD EDIT

PASSWORD EDIT는 기존의 PASSWORD를 EDIT 하기 위한 기능을 제공 하며, 화면 구성은 아래와 같다.



Fig 3-33 The view of the Password Edit menue

현재 패스워드가 상단 CUR. PS에 나타나고 아래의 LATER. PS 는 새롭게 적용하기 위한 PASSWORD를 입력하기 위한 것이다. 패스워드는 영문과 숫자 모두 가능하며, TEXT SIZE는 8자 이내이어야 하며, 만약, 8자가 넘을 경우 에러 메시지가 나타나게 된다. 또한, 특수 문자는 사용 될 수 없다.

2) Compost Quality Autoanalyzer 의 개요

본 연구에 의해 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 퇴비의 이화학성 및 부식질(humic acid)함량의 측정이 가능하며 기존 분석방법에 비해 화학약품을 일절 사용하지 않으며 신속하게 자동 분석하는 장치로서 아래와 같은 특징이 있다.

① 자동화된 시스템 구성으로 빠른 시간내에 분석이 가능하며 기존의 이화학적 분석방법에 비해 분석시간이 95%이상 절감되며 분석결과는 시료당 1분 이내로 그 결과를 도출할 수 있다.

② 한번에 여러 성분(전질소, 유기물, 양이온, pH, EC, 부식질 등)을 동시에 측정이 가능해 장비의 효율성과 응용성이 뛰어나다.

③ NIR sensor에 의해 비파괴적인 분석 방법을 이용하므로 분석을 위한 시료의 전처리(산에 의한 분해조작 등)가 필요치 않아 환경오염이 없을 뿐만 아니라 실험자의 안전성 확보 용이하다.

④ 몇 개의 버튼 또는 마우스 조작으로 시스템의 운영이 가능해 초보자도 쉽게 시스템의 운영이 가능하다.

⑤ 본 연구를 통해 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 기존의 화학적인 분석방법에 비해 아래와 같은 장점이외에도 동시에 여러 성분을 몇 분 이내에 비파괴 적으로 분석이 가능한 특징이 있다.

	풍건	입도 조정	청량	추출	분리	정용	분취	측정	기록	계산	소요 시간	항목별 결과
화학적 분석법	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1-5일	1성분 순차분석
Compost Analyzer	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	1-2분	다성분 동시분석

3) Compost Quality Autoanalyzer 시스템의 외관 구성 및 특징

Compost Quality Autoanalyzer의 전체적인 시스템 외부와 내부 모식도는 아래 그림 3-34, 그림 3-35와 같다. 그림에서 보듯이 전체적으로 콤팩트한 구성으로 되어 있으며 시스템의 위쪽부분에는 sample cup, rotating plate 및 디스플레이장치 등이 위치하고 있다. 시스템의 아래쪽에는 광센서부분, 시스템 제어부 및 제어와 연산을 담당하는 컴퓨터가 탑재되어 있다.

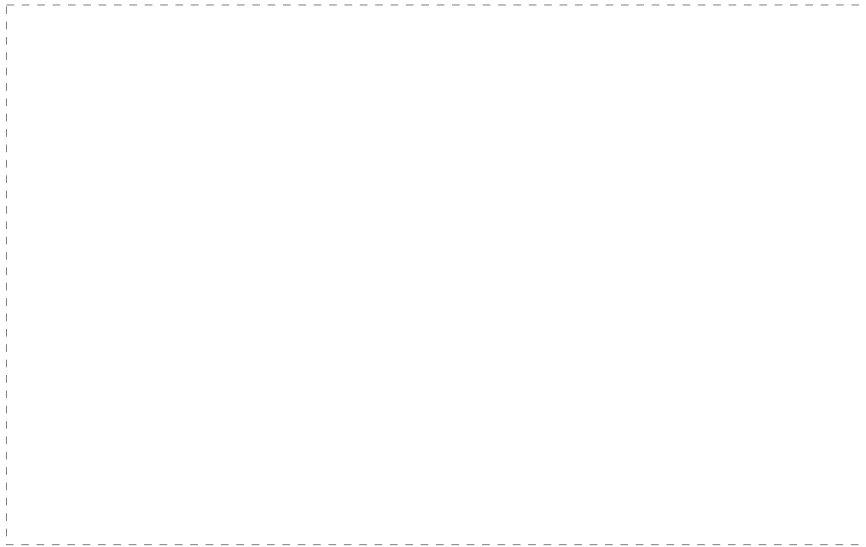


Fig 3-34 The view of Compost Quality Autoanalyzer

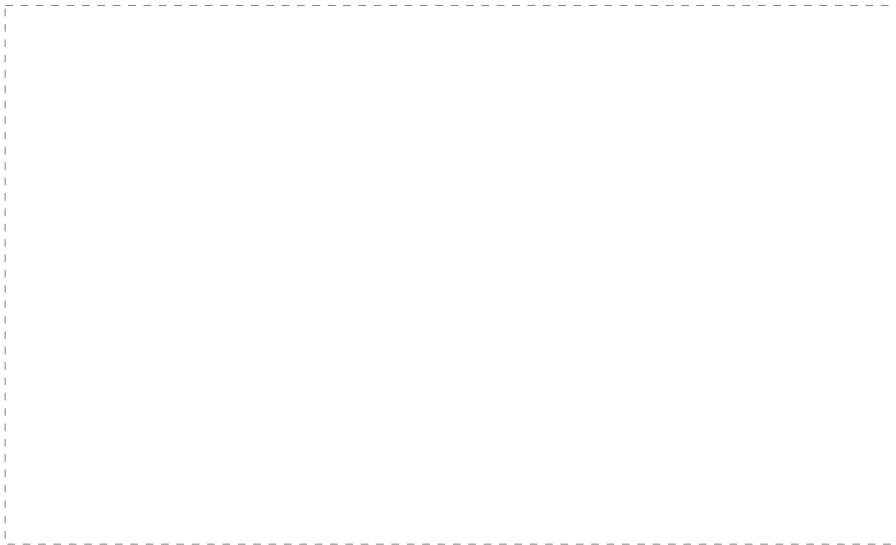


Fig 3-35 The view of inside on Compost Quality Autoanalyzer

본 Compost Quality Autoanalyzer는 시스템 구성은 아래와 같다.

첫째, 시스템 전반을 제어하고 측정된 데이터를 처리하여 디스플레이 부분으로 신호를 보내주는 컴퓨터 부분이 있다.

둘째, 시료컵 홀더부분이 회전형 플레이트(rotating plate)에 있어 이 홀더부분에 퇴비시료를 충전한 시료컵이 탑재되며, 하나의 시료가 측정되면 회전형 플레이트가 자체 모터의 회전력에 의해 다음 시료컵이 있는 부분으로 자동 회전하여 다음 시료의 측정이 가능하도록 되어 있다.

셋째, 광원부에는 NIR 분광기가 위치해 있어 본 장비의 핵심부분으로 회전형 플레이트가 시스템의 내부에 위치한 구동 모터(Fig 3-36) 회전하여 시료컵이 측정부위로 loading 되면 광센서가 작동하여 분광 스펙트럼을 취득하도록 되어 있다.

넷째, 측정이 완료되면 검출된 신호가 system control board 쪽으로 신호를 보내게 되어 스펙트럼이 컴퓨터 내에 분광 데이터로서 기록되게 되며 제어 컴퓨터가 근적외 분광기에서 검출된 신호를 분석하여 수분 내에 그 결과 값을 출력 또는 화면에 디스플레이하게 된다.

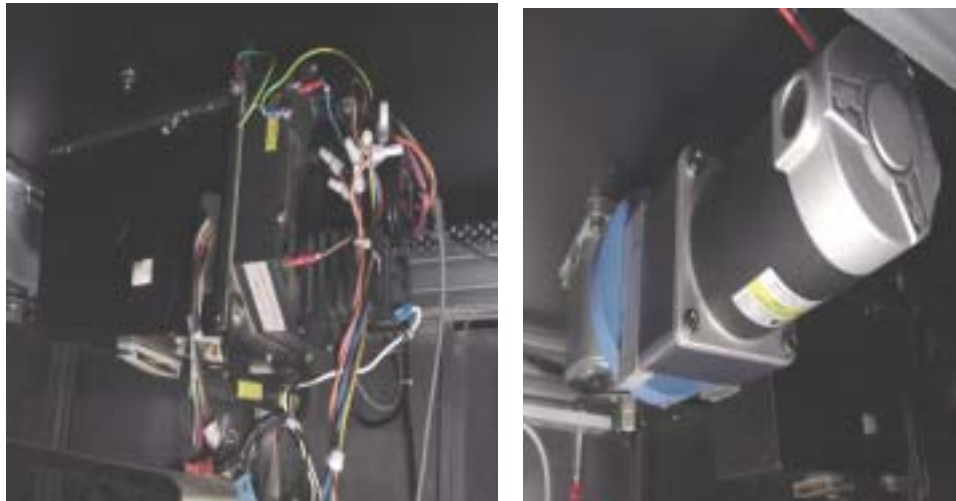


Fig 3-36 The view of photometer and motor of Compost Quality Autoanalyzer

앞에서도 언급한 바와 같이 퇴비시료를 건조하여 입도를 조정한 후 시료 측정부에 도입한 결과 발생하는 분진에 의한 측광창의 오염으로 비파괴 측정 정확도가 일정부분 떨어지는 문제점이 발생하여 비파괴 측정 정확도를 향상하기 위해서는 측광창의 오염을 최소화 할 수 있는 방향으로 시스템을 개선할 필요성이 있어 회전형이면서 노출형의 시료 측광부를 자체 제작하여 시료 측광창의 오염을 최소화 하고 장비 운영의 효율성을 제고하여 비파괴 측정 정확도 향상을 꾀하기 위해 다음과 같이 퇴비시료가 충전되는 시료컵과 그 측광 부위(Fig 3-37)를 개선하여 새로운 퇴비 품질 자동 측정 장치(New Compost Quality Autoanalyzer)를 제작하였다.



Fig 3-37 The view of rotating plate and photosensor window of Compost Quality Autoanalyzer

또한, 비파괴 측정 정확도의 향상을 위해서 시료컵은 아래 그림 3-38처럼 개선하였으며 시료컵의 아래 부분에 석영창을 붙여 광센서 신호가 조사되도록 하였다. 또한 이와 같이 시료컵 및 광센서 측광창을 개선한 후 퇴비중의 각 성분 에 대한 비파괴 측정 정확도의 향상에 대해 연구하였다.

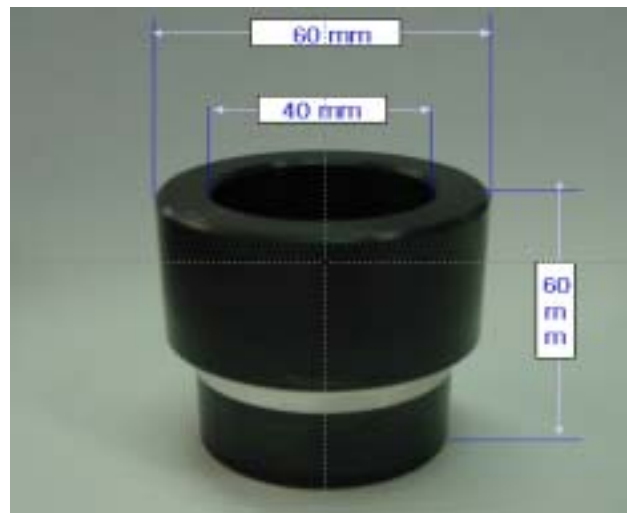


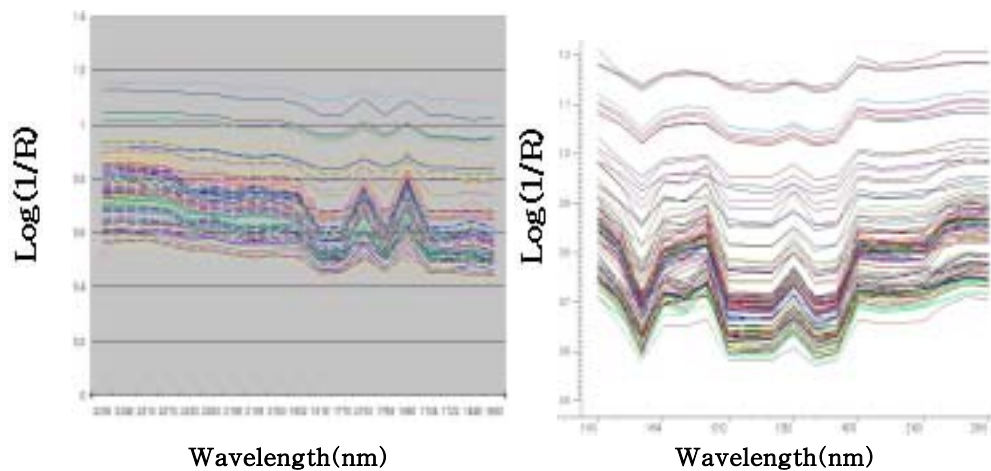
Fig 3-38 The view sample cup of Compost Quality Autoanalyzer

8. 광센서 측광 부분을 개선한 New Compost Quality Autoanalyzer의 비파괴 퇴비 품질 측정 정확도 변화

위에서도 언급한 바와 같이 비파괴 측정 정확도 향상을 위해 기존 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old compost Quality Autoanalyzer)에서 시료컵 및 광센서 측광창 등의 비파괴 측광에 관련 부분에 대해 개선한 새로운 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)를 제작하였으며 이 장치를 이용해 퇴비 품질에 대한 비파괴 측정 정확도의 향상에 대해 연구하였다.

1) 퇴비시료의 근적외 스펙트럼

퇴비시료로부터 기존의 Old compost Quality Autoanalyzer를 새롭게 개선한 New Compost Quality Autoanalyzer에 의한 근적외 스펙트럼을 그림 3-39에 나타내었다.



(a) Old Compost Quality Autoanalyzer (b) New Compost Quality Autoanalyzer

Fig 3-39. Near infrared spectra of the compost

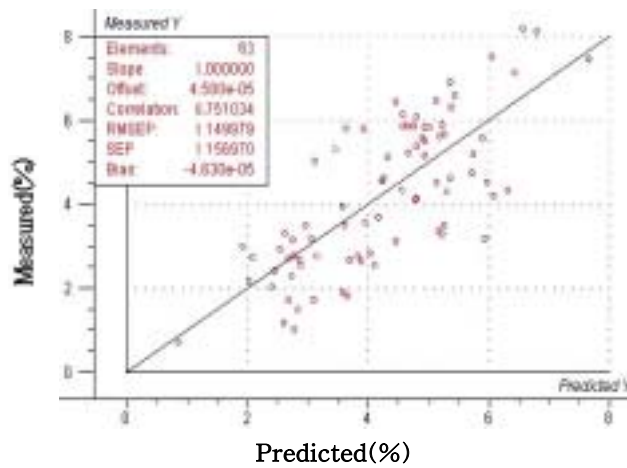
2) New Compost Quality Autoanalyzer의 부식산(humic acid)에 대한 비파괴 정확도

개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과 표 3-18 및 그림 3-40과 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.803으로 약간 높아져 상관정도

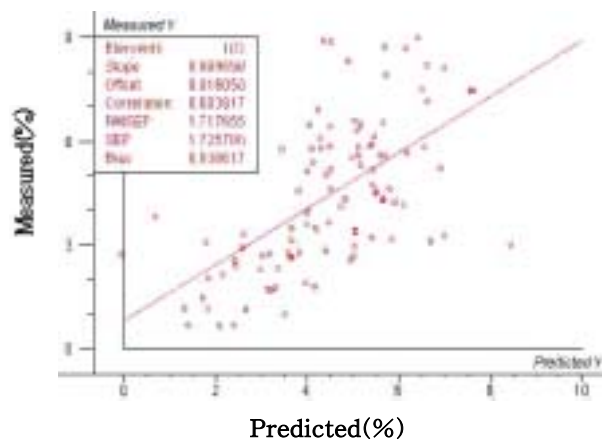
는 높아 졌으나 측정오차(SEP)는 1.717로 커져 비파괴 측정 정확도가 크게 향상 되지는 않았다.

Table 3-18. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and humic acid content of compost

Instrument	Data pre-treatment	R	SEP(%)
Old Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing	0.751	1.156
New Compost Quality Autoanalyzer		0.803	1.717



(a) Old Compost Quality Autoanalyzer



(b) New Compost Quality Autoanalyzer

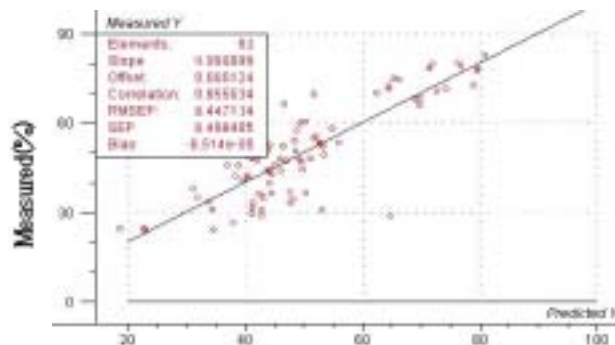
Fig. 3-40. NIR predicted versus measured humic acid content in compost

6) 유기물(OM) 함량의 비파괴분석 결과

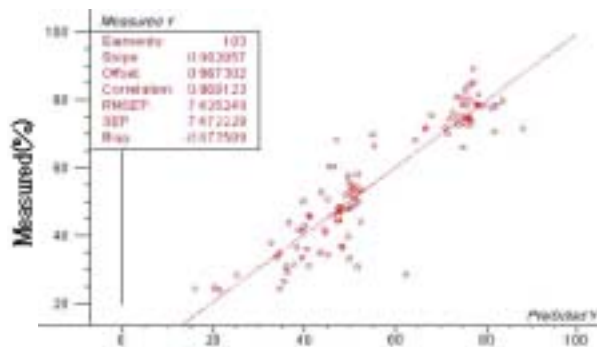
개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과는 표 3-19 및 그림 3-41과 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.849, 측정오차(SEP)가 7.672로 비파괴 측정 정확도가 크게 향상되었다. .

Table 3-19. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and OM content of compost

Instrument	Data pretreatment	R	SEP(%)
Old Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	0.849	8.498
New Compost Quality Autoanalyzer		0.908	7.672



(a) Old Compost Quality Autoanalyzer



(b) New Compost Quality Autoanalyzer

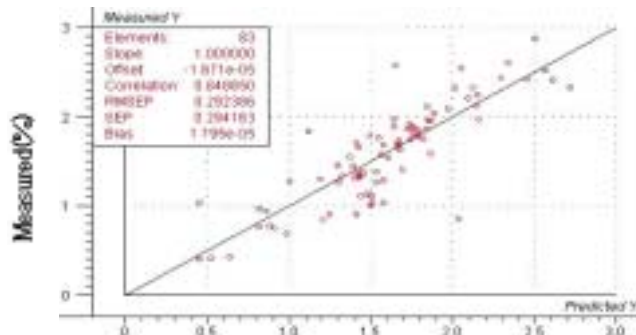
Fig. 3-41. NIR predicted versus measured OM content in compost

7) 전질소 함량의 비파괴분석 결과

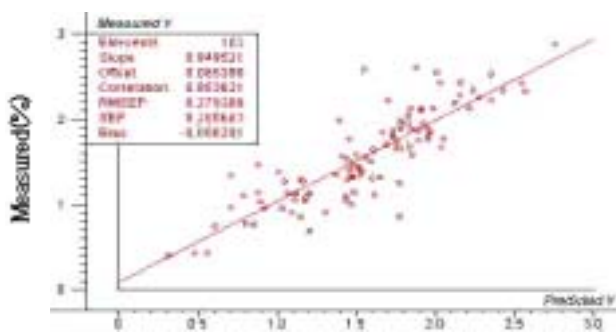
개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과는 표 3-23 및 그림 3-29와 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.853, 측정오차(SEP)가 0.280으로 비파괴 측정 정확도가 약간 향상되었다.

Table 3-23. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and T-N content of compost

Instrument	Data pretreatment	R	SEP(%)
Old Compost Quality Autoanalyzer	smoothing, normalization	0.848	0.294
New Compost Quality Autoanalyzer		0.853	0.280



(b) New Compost Quality Autoanalyzer



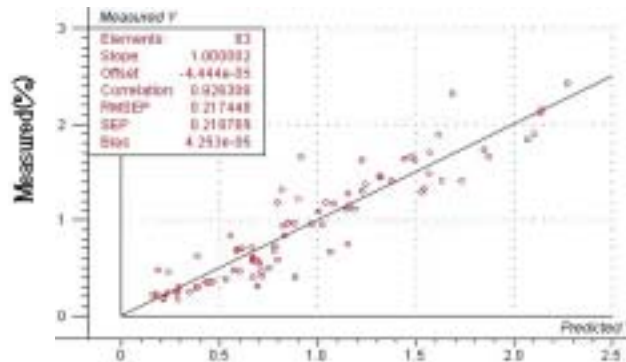
(b) New Compost Quality Autoanalyzer

Fig. 3-29. NIR predicted versus measured T-N content in compost

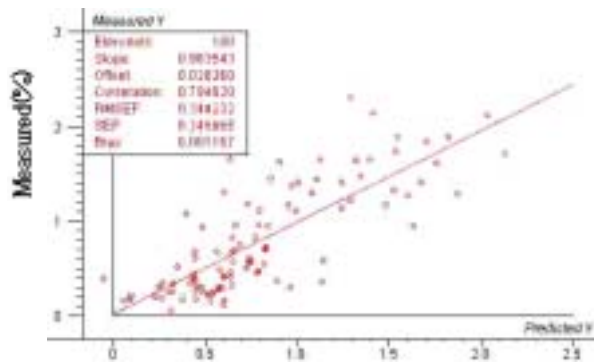
3) New Compost Quality Autoanalyzer의 K₂O에 대한 비파괴 정확도향상 개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과는 표 3-19 및 그림 3-25와 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.794 측정오차(SEP)가 0.345로 비파괴 측정 정확도에 큰 변화는 없었다.

Table 3-19. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and K₂O content of compost

Instrument	Data pretreatment	R	SEP(%)
Old Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	0.807	0.342
New Compost Quality Autoanalyzer		0.794	0.345



(b) Old Compost Quality Autoanalyzer



(b) New Compost Quality Autoanalyzer

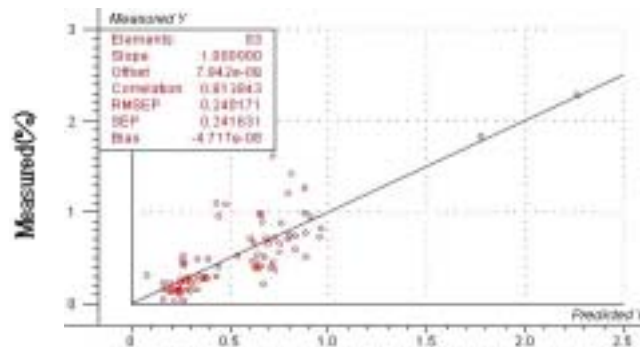
Fig. 3-25. NIR predicted versus measured K₂O content in compost

4) 마그네슘(MgO) 함량의 비파괴분석 결과

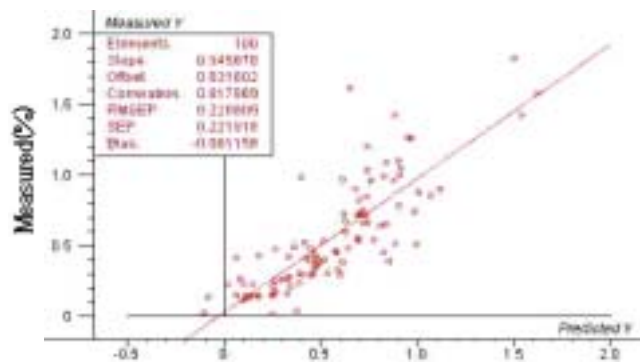
개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과는 표 3-20 및 그림 3-26과 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.817 측정오차(SEP)가 0.221로 비파괴 측정 정확도가 약간 향상되었다.

Table 3-20. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and MgO content of compost

Instrument	Data pretreatment	R	SEP
Old Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	0.813	0.241
New Compost Quality Autoanalyzer		0.817	0.221



(b) Old Compost Quality Autoanalyzer



(b) New Compost Quality Autoanalyzer

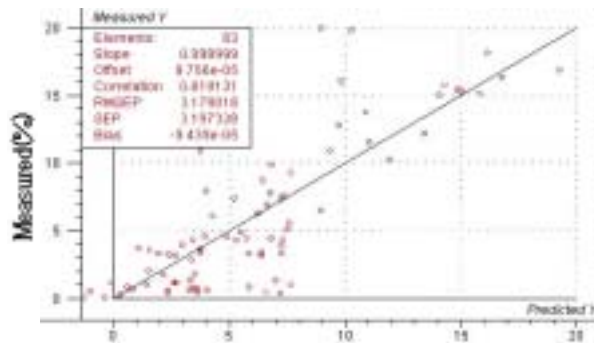
Fig. 3-26. NIR predicted versus measured MgO content in compost

5) 칼슘(CaO) 함량의 비파괴분석 결과

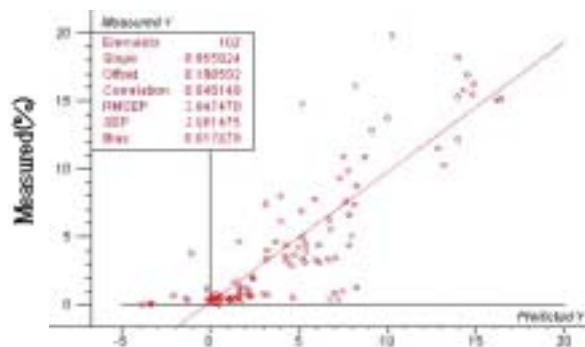
개선된 비파괴 퇴비 품질 측정기(New Compost Quality Autoanalyzer)와 기존의 비파괴 퇴비 품질 측정기(Old Compost Quality Autoanalyzer)의 비파괴 측정 정확도를 조사해 본 결과는 표 3-21 및 그림 3-27와 같다. New Compost Quality Autoanalyzer의 경우 중상관계수(R)가 0.840, 측정오차(SEP)가 2.851로 비파괴 측정 정확도가 향상됨을 알 수 있었다.

Table 3-21. The result of PLSR analysis between NIR spectra data and CaO content of compost

Instrument	Data pretreatment	R	SEP(%)
Old Compost Quality Autoanalyzer	absorbance, smoothing,	0.819	3.197
New Compost Quality Autoanalyzer		0.840	2.851



(b) Old Compost Quality Autoanalyzer



(b) New Compost Quality Autoanalyzer

Fig. 3-27. NIR predicted versus measured CaO content in compost

8. 연구결과의 활용 예

Compost Quality Autoanalyzer를 사용하여 측정된 퇴비 품질은 아래와 같은 퇴비 품질 처방서를 발행하여 퇴비 사용농가에서 양질의 퇴비를 선별적으로 사용하게 하여 토양비옥도 관리에 도움이 될 수 있게 한다.

퇴비 품질 처방서(예)

I 퇴비 분석 의뢰자 현황

조사 번호	592	경작자명	홍길동	면적	2,096.0 m ²
경작지	대구시 북구 산격동 경북대학교 실습포장			작물명	참외(시설)
경작자 주소	대구시 북구 산격동 경북대학교			토양종류	
토양 유형		토성		배수	

II. 의뢰 퇴비 분석 결과

구분	pH (1: 5)	유기물 (%)	질소 (%)	칼리 (%)	칼슘 (%)	부식질 (%)	염분 (%)
적정 범위	6.5~7.5	40~50	2~3%	1~2	1~3	3.0~4.0	1.0이하
분석치	많음						
	적정						
	적음						

III. 담당자 의견

- (홍길동)님이 의뢰하신 퇴비의 분석결과는 아래와 같습니다.
- 의뢰퇴비의 화학성은 전반적으로 (불량한) 편이며 유기물, 질소, 부식질 함량이 (낮은) 제품입니다.
- 특히, 분석 의뢰하신 퇴비는 염분함량이 (높아) 과량 시용시에는 작물의 생육에 (악영향)을 나타낼 수 있습니다.
- 의뢰하신 제품은 전반적으로 (불량) 한 제품입니다.

제 4 장

목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구 목표 달성도

본 연구는 아래의 표와 같은 년차별 연구 목표를 설정하여 연구개발을 수행하였으며 각 년차별 연구목표에 대해 계획된 바와 같이 소기의 연구성과를 도출하였으며 최종 연구 목표인 비파괴 퇴비 품질 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)의 개발에 성공하였다.

구 분	연 구 목 표	달성도 (%)
1차년도 (2004)	○ 퇴비의 품질 자동 측정을 위한 다변량 해석	20
	○ 퇴비의 품질 측정 자동 검정식의 정확도 향상	30
	○ 현장용 퇴비 품질 자동 측정기 개발을 위한 설계 및 시험 제작	50
소계		100
2차년도 (2005)	○ 다양한 재료로 제조한 시판퇴비에 맞는 범용 및 현장용 비파괴 검량식 작성	30
	○ 상이한 원료로 제조한 퇴비의 현장용 품질 자동 측정식의 정확도 확인	20
	○ 현장용 퇴비의 비파괴 이화학성 자동 측정기의 개발 및 현장 적용성 개선	50
소계		100

2. 관련 분야에의 기여도

본 연구는 비파괴 측정법의 하나인 근적외 분광법을 응용하여 퇴비의 품질 성분을 신속히 측정하기 위한 장치를 개발한 것으로 본 연구결과 및 연구성과물은 2001년도 연구 완료된 토양의 자동 분석 장치(농림기술연구개발과제)를 사용함으로써 재배토양의 비옥도 측정하여 제시된 시비 추천서를 근거로 유기질 비료를 시비하고자 할 때 순도나 품질(부숙정도)을 체크 할 수 있는 판정기로서 활용할 수 있다고 본다. 또한 퇴비 제품의 품질 양부를 간단히 공인단체가 판정할 수 있는 장치로서도 사용가능하다고 생각된다. 현재 액비의 품질 양부를 판단할 수 있는 실용적인 장치가 없는 실정인데 본 연구에서 개발한 퇴비 품질 자동 측정기는 액비의 품질 진단에도 적용 가능한 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 축적된 기술은 전통적인 분석기술의 적용이 매우 곤란한 대상인 유기 농산물의 진위 판정, 품질기준이나 조성이 애매한 전통발효식품(젓갈류, 조미료) 등의 종합적이고도 신속한 품질 판정이 필요한 분야에 새로운 품질 평가 기술의 개발 및 현장 적용을 가능케 할 수 있다는 잠재기술로 기여될 것이다.

제 5 장
연구개발결과의 활용계획

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

1. 추가연구의 필요성

본 연구를 통해 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 비과과 측정법 중 근적외 분광법에 기초하고 있으므로 비과과 측정의 특성상 측정대상인 퇴비 종류나 성분 범위의 변화에 적용 가능하도록 검량식의 보완은 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 그리고 성분 측정을 위한 기본적인 요소기술 및 장치화 등 핵심 기술은 완성되어 있는 상태라서 비과과 검량식의 보완은 산업화 및 보급화를 추진하면서 참여기업 및 본 연구진에 의해서 지속적으로 보완 되어 질 수 있을 것으로 판단되어 별도의 과다한 추가연구의 필요성은 없는 것으로 판단된다.

2. 타 연구에의 응용

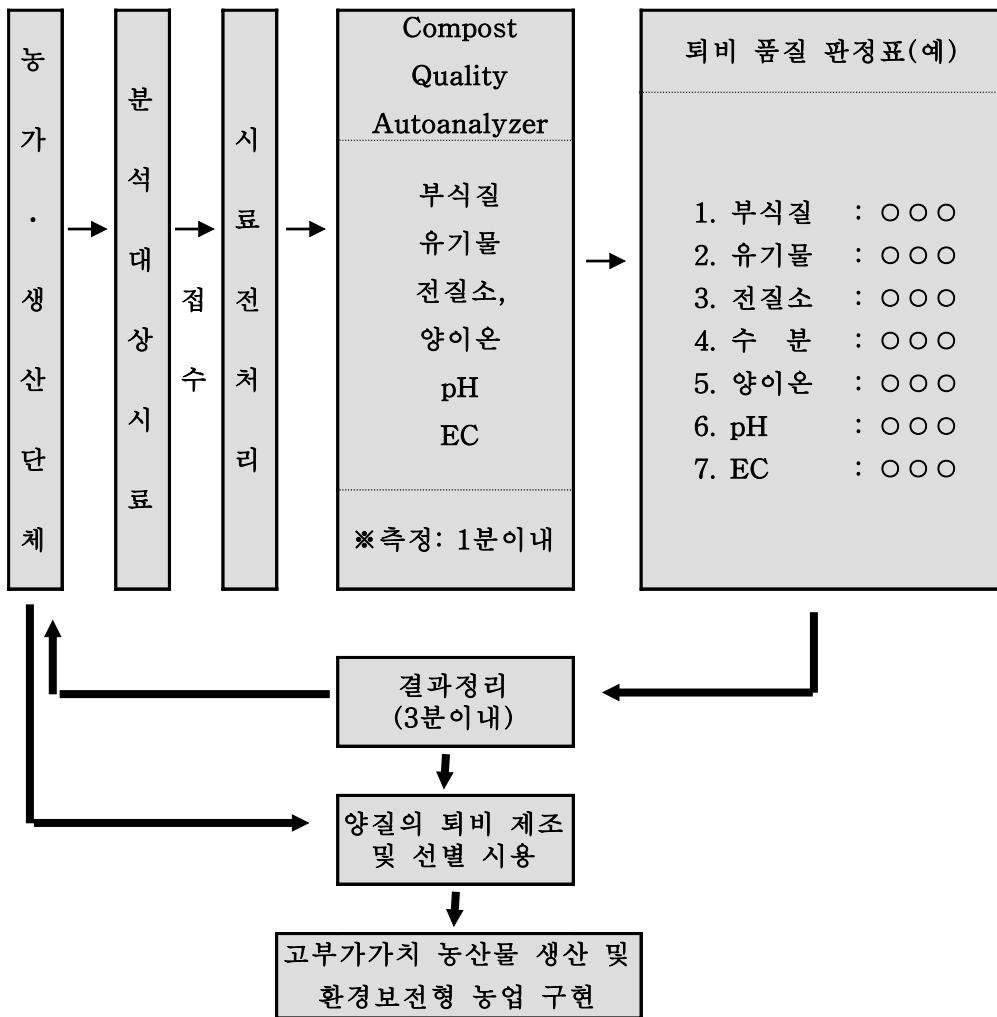
개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 직접적으로는 퇴비 전용 품질 측정기이지만 일부 장치의 일부분을 개조하거나 소프트웨어를 추가함으로써 작물생장과 밀접한 관련이 있는 농자재인 상토나 액비의 품질성분을 비과과 측정할 수 있을 것으로 보며 액비와 유사한 발효식품 또는 천연물 제재의 품질평가기술 개발에도 응용가능하다고 본다. 또한 다른 비과과 측정분야에서 본 연구를 통해 축적된 노하우는 비과과 측정법을 활용한 새로운 기술 개발 분야에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

3. 기업화 추진방향

본 연구개발은 중소기업의 참여로 이루어진 연구 개발 과제로 연구성과물인 Compost Quality Autoanalyzer는 참여기업이 산업화 및 보급의 추진에 일차적인 책임과 권리를 가지며, 금번 연구에 참여한 연구진들도 연구 성과물이 국내뿐만 아니라 국외까지도 보급 될 수 있도록 홍보에 주력할 계획이다. 본 연구에 재원을 마련한 농림부 및 관련 정부 단체의 적극적인 협조가 요망된다.

4. 연구개발결과의 활용

본 연구를 통해 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 아래의 모식도와 같이 각 농가나 생산단체에서 분석 의뢰한 시료를 1-2분 이내에 비파괴 측정을 통해 퇴비 품질 판정표를 발부하여 누구나 쉽게 퇴비의 품질정도를 파악하여 토양 관리 및 정밀 농업 구현에 사용하게 할 수 있을 것이다.



또한 이를 위해서는 다음과 같은 점에 중점을 두어 그 활용성에 대해 제고해 보아야 할 것으로 판단된다.

1) 현행 퇴비 이화학성의 분석은 측정 항목마다 전문 분석기술이 요구되고 많은 인력과 긴 조작시간이 소요될 뿐만 아니라 분석 약품에 의한 심각한 환경오염이 우려되고 있어 이러한 단점을 보완할 수 있는 새로운 이화학성 분석방법의 보급 필요성이 고조되고 있음.

2) 농민 및 퇴비제조업체들이 퇴비품질을 신속 정확하게 측정할 수 있는 자동화 기술이 십분 활용될 수 있도록 특허출원 등의 다양한 경로로 개발된 장치를 홍보할 계획이며 국내외 학술 대회에서 관련 성과를 발표하여 널리 보급되도록 할 계획이며 이를 통해 친환경 농업 및 선진농업 구현을 위해 개발된 장치 활용도를 높일 수 있도록 유관단체 및 농업협동조합 등이 적극적으로 활용해 나가도록 협조 요청할 계획임

3) 개발된 퇴비 품질 자동 측정기는 퇴비분석(humic acid, 유기물, 질소, 수분, pH, EC, 기타양이온 등)에 활용하여 연간 1만점 분석시 10억원 절감(10,000원×10 성분×1만점=10억원)하는 효과를 거둘 수 있을 것임.

4) 개발된 Compost Quality Autoanalyzer는 특허 출원을 추진하고 있으며 본 장치를 십분 활용한다면 생산이력제를 도입한 GAP 생산단체 영농기술의 과학화와 시군농업기술센터의 대농민 지도사업을 신속·정확하게 수행함에 있어 활용가능하다고 판단되며 종합적으로는 국제 수준의 정밀 농업 경쟁력 강대국으로 성장하게 할 수 있을 것임.

5) 현재 대부분의 농가는 퇴비 제조업체에서 생산 판매되는 것을 구입하여 사용하고 있는 실정이어서 이에 대한 명확한 품질관리가 필수적이라 생각되며 만약 잘못된 퇴비 품질관리를 방치하거나 시기를 놓친다면 각 제조업체에서 생산된 퇴비에 우리나라의 토양환경 개선 및 비옥도는 중대한 타격을 입을 것이며 그 결과나 영향은 단순히 금전적으로나 산술적으로 표현할 수 없으리 만큼 중요하다고 판단된다. 이에 본 연구에서 개발된 Compost Quality Autoanalyzer를 시판되고 있는 퇴비에 대해 적용해 품질 관리를 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

제 6 장
연구개발과정에서 수집한
해외과학기술정보

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

비파괴 측정법의 하나인 근적외 분석법은 미국의 K. Norris(1963)가 곡류나 유량종자의 수분 측정을 위해 특별히 설계한 근적외 분석계를 사용하여 700-2400nm 영역에서 투과 스펙트럼을 측정할 것을 시초로 하며, 근적외선을 이용한 비파괴 측정은 식품이나 농산물을 구성하는 성분들의 관능기인 CH, OH, NH 등이 근적외 영역에서 나타내는 흡수를 이용한 것으로 각종 이화학 성분뿐만 아니라 경도 등의 물리적 특성의 계측에도 사용되고 있다.

현재까지 해외에서는 다양한 분야 즉, 곡류(Hwang 등 1994, Amari 등 1991, Kim 등 1996, Kays 등 1996), 육류(Oh 등 1992, Kim 등 1994, Hildrum 등 1995), 청과물(Cho 등 1995, Kawano 등 1991, Ootake 1992, Guthrie 1998, McGlone 등 1997), 등의 농산물뿐만 아니라 식품(Iwamoto 등 1984, Bae 등 1998, Ozaki 등 1992, Cho 등 1991), 토양(Ryu 등 1998, Ben-Dor 등 1995, Kano 등 1985, Morra 1991), 사료(Lee 등 1998, Wilkin 등 1986) 등에도 널리 적용되고 있는 실정이다.

밀 수출대국인 선진국인 캐나다의 경우 밀 단백질 측정에 있어 유독 약품의 소모가 많은 켈달법의 사용을 금지시켰고 그 대안으로 근적외법을 공인법으로 채택하였으며 내수면 퇴적지의 토양 이화학성을 근적외 분광법으로 측정하는 등 환경지도 분야에 활용하고 있다.

미국의 경우 인공위성에 탑재한 근적외 분광기를 응용하여 토양 이화학성 관리 및 수확잔여 농작물에 의한 오차를 검토하고 있다.

스웨덴도 농작업기와 연계시켜 작업 중 최적 시비를 할 수 있는 현장실험이 진행되고 있다.

일본의 경우 근적외 분광법으로 토양 이화학성 분석성적을 생산농가의 지도용으로 활용할 준비단계에 있으며 일본 전체를 관리할 수 있는 검량식과 실용화

비파괴장치 개발을 정책 수립기관과 일선 지도기관이 희망하고 있는 실정이다.

이러한 국제 정세에 비추어 볼 때 우리나라도 농업 현장에 응용될 수 있는 본 연구 산물인 비파괴 퇴비 품질 자동 측정기(Compost Quality Autoanalyzer)의 보급에 박차를 가해야 할 절실한 실정이다.

장치를 휴대하기 쉽게 하여 퇴비 제조업체들이나 검사기관들이 활용하기 쉽게 하는 것이 바람직하나 장치를 소형화, 휴대용으로 만드는 것 자체가 무수히 시험 제작변경과정을 거쳐야 하므로 정부 연구비로 개발된 성과물을 보다 실용화 될 수 있도록 장려할 대책이나 제도가 조기에 수립되어야 할 것으로 기대된다.

제 7 장
참 고 문 헌

제 7 장 참고문헌

- Amari, M., A. Abe, S. Kawano, and R. K. Cho. 1991. Near infrared reflectance spectra of fibrous constituents in forages and rice straw, Rep. Natl. Inst. Anim. Indust., Japan, 51 : 17-27
- Bae, M. J., E. S. Han, and S. H. Hong. 1998. Use of NIRS in quality control of red pepper powder, J. Near Infrared Spectrosc., 6 : A333-A335
- Ben-Dor, E. and A. Banin. 1995. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties, Soil Sci. Soc. Am. J., 59(2) : 364-372
- Bernstein L. 1975. Effect of salinity and sodicity on plant growth, Ann. Rev. Phytopathol. 13 : 295-312
- Bertoldi, M. D., Citemesi, U. and Griselli, M. 1980. Bulking agent in sludge composting. Compost Science, 21 : 32-36.
- Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: P. MacCarty, C. E. Clapp, R. L. Malcolm and P. R. Bloom (eds.). Humic Substances in Soil and Crop Sciences : Selected Readings. Proceedings of a symposium cosponsored by the International Humic Substances Society, Chicago, IL, 161-186.
- Chen, Y., H. Magen, J. Riov. 1994. Humic Substances Originating from rapidly decomposition organic matter : properties and effects on plant growth. In: N. Senesi, and T. M. Miano (eds.), Humic Substances in the Global Environment and Implication on Human Health. Elsevier Science B.V., London, pp. 427-445.
- Chen, K. S., Lo, Y. G., Chang, C. H. and Yang, S. S. 1997. Utilization of thermophilic actinomycetes in agricultural waste treatment. In: Abstracts of the 2nd International Conference on Environmental Chemistry and Geochemistry in the Tropics. p.24. Ed. by Tahir, N. M. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Cheng, R. S. 1990. Effect of organic fertilizers on the yield and quality of bean. In:

- Experiment Report of Soil and Fertilizer, pp. 208-222. Department of Agriculture and Forest, Taiwan Provincial Government, Nan-tou, Taiwan, ROC.
- Cho, R. K., Y. K. Kwon, and K. H. Lee. 1995. Application of near infrared spectroscopy for quality evaluation of an intact apple, Proc. 7th Inter. NIRS Conf., pp. 629-631
- Cho, R. K., M. R. Sohn, and J. J. Ann. 1991. Rapid determination of seed and stem content in red pepper powder by near-infrared reflectance spectroscopic analysis, Korean J. Food Sci. Technol., 23(4) : 447-451
- Choi, C. H., K. J. Lee, and B. S. Park. 1997. Prediction of soluble solid and firmness in apple by visible/near-infrared spectroscopy, J. Korean Soc. Agric. Machi., 22(2) : 256-265
- Chung, Y. R., H. A. J. Hoitnik, W. A. Dick, L. J. Herr. 1988. Effects of organic matter decomposition level and cellulose amendment on the inoculum potential of *Thizoctonia solani* in hard wood bark media. Phytopathology. 78 : 836-840
- De Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A. 1985. Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In. Composting of Agricultural and Other Wastes, pp. 27-41 Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Daudin, D. and Michelot, p. 1985. Experimental use of organic by-products as culture substrates. In: Composting of Agricultural and Other Wastes, pp. 216-226. Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Finstein, M. S. and F. C. Miller. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. In: Composting of Agricultural and Other Wastes, pp. 13-26. Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Finstein, M. S. and Morris, M. L. 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. Advances in Applied Microbiology, 19 : 113-151
- Green way H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:149-190

- Guthrie, J. B., 1998. Wedding, and K. Walsh, Robustness of NIR calibrations for soluble solids in intact melon and pineapple, *J. Near Infrared Spectrosc.*, 6 : 259-265
- Hänninen, K. I., J. T. Kovalainen, J. Korvola. 1995. Carbohydrates as chemical constituents of biowaste compost and their humic and fulvic acids. *Compost Science & Utilization*, 3(4):51-68
- Hadar, Y., Y. Inbar, Y. chen. 1985. Effect of compost maturity on tomato seedling growth. *Scientia Horticulturae* 27 : 199-208
- Hara, M. (1991) Simple method for estimating the maturity of swine waste composts by detection of free amino acids. *New Technologies of Agriculture in Kanto and Tokai region*. 93-97 (in Japanese)
- Harada, Y. 1995. Practical aspects of animal waste composting. In: *International Training Course on Microbial fertilizers and Composting*, pp. 67-89 Rural Development Administration and food and Fertilizer Technology Center, Suwon, Korea.
- Harada, Y. and Haga, K. 1983. Maturity of cattle waste compost – Decomposition of organic matter during the composting. In: *Proceedings of the 5th World Conference on Animal Production*. pp.833-834.
- Hayes M. H. B. 1985. Extraction of Humic Substances from Soil, in G.R. Alken, D.M. McKnight, R.L. Wershaw, and P. MacCarthy, Eds., *Humic substances in soil, sediment and water*, Wiley, New York, pp. 329-362
- Hildrum, K. I., T. Isaksoonn, T. Næs, B. N. Nilson, M. Rodbotten, and P. Lea. 1995. Near infrared reflectance spectroscopy in the prediction of sensory properties of beef, *J. Near Infrared Spectrosc.*, 3 : 81-87
- Hoitinik, H. A. J., and P. C. Fahy. 1986 Basis for control soilborne plant pathogens with composts, *Ann. Rev. Phytopathol.* 24 : 93-114
- Hwang, H. G., R. K. Cho, J. K. Sohn, and S. K. Lee. 1994. Rapid evaluation of chemical components of rice grain using near infrared spectroscopy, *J. Crop Sci.*, 39(1) : 7-14

- Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar. 1990a. Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 : 1316-1323
- Inbar, Y., Y. Chen, Y. Hadar, H. A. J. Hoitink 1990b. New approaches to compost maturity, *BioCycle*, 64-68
- Iwamoto, M., R. K. Cho, J. Uozumi, and K. Iino. 1984. Near infrared reflectance spectrum of red pepper and its application to determination of capsaicin content, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 31(2) : 120-125
- Kano, Y., W. F. McClure, R. W. Skaggs. 1985. A near infrared reflectance soil moisture meter, *Transactions of ASAE*, pp.1852-1855
- Kawano, S., T. Sato, and M. Iwamoto. 1991. Determination of sugars in satsuma orange using NIR transmittance, *Proc. 4th Inter. NIRS Conf.*, pp.387-393
- Kays, S. E., W. R. Windham, and F. E. Barton. 1996. Prediction of total dietary fiber in cereal products using near-infrared reflectance spectroscopy, *J. Agric. Food Chem.*, 44(8) : 2266-2271
- Kim, B. J., E. H. Park, and C. S. Jung. 1996. Effects of chemical contents variation in covered barley seed on near infrared reflectance spectroscopy, *Korean J. Corp Sci.*, 41(1) : 354-361
- Kim, Y. B. and I. J. Yoo. 1994. Non-destructive measurement of protein and moisture content of beef by NIR spectroscopy, *Proc. 4th Inter. NIRS Conf.*, pp.296-299
- Lee, N. J. 1998. Application of near infrared spectroscopy in feed industry, *International symposium of the Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol. and Kor. Soc. Environ. Agric.*, pp. 222-226
- McGlone, V. A., H. Abe, and S. Kawano. 1997. Kiwi fruit firmness by near infrared light scattering, *J. Near Infrared Spectrosc.*, 5 : 83-89
- Morra, M. J., M. H. Hall, and L. L. Freeborn. 1991. Carbon and nitrogen analysis of soil fractions using near-infrared reflectance spectroscopy, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55(1) : 288-291
- Morel, J. L., Colin F., Germon, J. C., Godin, p. and Juste, C. 1985. Methods for the

- evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: *Composting of Agricultural and Other Wastes*, pp. 56-72. Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Oh, E. K. and D. Grossklaus. 1992. Studies on the near infrared diffuse reflection spectroscopy for meat components, *Korean J. Food Sci. Technol.*, 24(5) : 404-407
- Ootake, Y. 1992. The applicability for measurement of japanese apicot of organic acid by NIRS, Abstract of the 7th symposium on NIRS, Tokyo, pp.37-41
- Ozaki, Y., R. K. Cho, K. Ikegaya, S. Muraishi, and K. Kawauchi. 1992. Potential of near-infrared fourier transform raman spectroscopy in food analysis, *Applied Spectroscopy*, 46(10) : 1503-1507
- Parson, J. W. 1988. Isolation of Humic Substances from Soils and Sediments, in F. H. Frimmel and R.F. Christman, Eds., *Humic substances and their role in the environment*, Wiley, New York, 1988, pp. 3-14
- Paul, E. A. and F. E. Clark 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic press. N.Y.
- Poincelot, R. P. 1975. The biochemistry and methodology of composting, Connecticut Agr. Exper. Station, Bulletin. 754
- Richard, T. and M. Chadsay. 1990. environmental impact of yard waste composting. *BioCycle* 31 : 42-46
- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, A. Pera. 1983. Humic fraction of organic wastes. *Agric. Ecosyst.* 10(4) : 353-359
- Ryu, K. S.. 1998. Application of NIR Spectroscopy in measurement of soil characteristics, International symposium of the Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol. and Kor. Soc. Environ. Agric., pp.227-233
- Saviozzi, A., R. Levi-Minzi, R. Riffaldi, 1988. Maturity evaluation of organic waste. *BioCycle* 29 : 54-56
- Shannon, M. 1997. Adaptation of Plants to salinity. *Adv. in Agron.* 60: 75-120
- Stevenson, F. J. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, composition and reactions*. John Wiley & Sons, New York.

- Stevenson, F. J. 1965. Gross Chemical Fractionation of Organic Matter, in C.A. Black et al., Methods of soil analysis, American Society of Agronomy, Madison, pp. 1409-1421
- Sugahara, K., S. Koga, A. Inoko. 1984 Color change of straw during composting. Soil Sci. Plant Nutr. 30(2) : 163-173
- Sugahara, K., Y. Harada, A. Inoko. 1984 Color change of city refuse during composting. Soil Sci. Plant Nutr. 25 : 197-208
- Wilkin, D. R., I. A. Cowe, B. B. Thind, J. W. McNicol, and D. C. Cuthbertson. 1986. The detection and measurement of mite infestation in animal feed using near infrared reflectance, J. Agric. Sci., 107 : 439-448
- Zucconi, F., Monaco, A. and Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In. Composting of Agricultural and Other Wastes, pp.73-86. Ed. by Gasser, J. K. R., Elsevier Applied Science Publishers, London.

- 김복진. 2001. 비과과 측정법을 응용한 토양이화학성 자동측정기 개발. 농림기술연구개발과제 보고서
- 고병구. 1997. 가축분 퇴비 제조를 위한 톱밥대체물질 선별. 농업과학논문집. 39(1):37-42.
- 권순익, 정광용. 1998. 유기성 폐기물 장기 연용 토양의 오염도 해석. 농업과학기술원 시험 연구보고서(농업환경부편)
- 권순익, 정광용, 정구복, 박백균. 2000. 피혁폐기물 연용에 따른 토양 및 식물체내 크롬 분포. 한국환경농학회지. 19(1) : 20-25.
- 남궁완, 정준교, 황의영. 1996. 음식쓰레기 퇴비의 숙성도 평가를 위한 물리화학적 지표의 적합성 연구. 한국폐기물학회지. 13(6) : 793-799.
- 남궁완, 김정대, 박준석. 1997. 난지도 퇴비화 시변시설에서의 퇴비화 과정 검토. 유기성 폐기물자원화학회지. 5(2) : 7-16.
- 농업과학기술원. 1996. 비료의 품질 검사 방법 및 시료 채취 기준
- 농촌진흥청 농업기술연구소. 토양화학 분석법 pp. 51-55
- 민경범, 조현숙 이진일, 남윤규, 1995. 톱밥 돈분 발효 퇴비가 하우스 재배 토마토의 수량 및 양분 흡수에 미치는 영향. 한토비지, 28(1) : 88-94
- 비료연감. 2000. 비료공업협회
- 서명철, 黒田和孝, 花島大. 1998. 돈분 퇴비화 과정에서 악취물질에 대한 고온성 암모니움 내성균 집중 효과. 한토비지. 31(1):77-84.
- 서명철, 소규호, 박원목. 1999. 가축분 퇴비화 과정에서 부숙도 및 퇴비의 항균활성 검정. 한토비지. 32(3):285-294.
- 손보균 홍지영, 박금주 1996. 우분뇨와 왕겨 혼합물의 퇴비화에서 정치식과 통기퇴적식의 비교 연구. I. 퇴비 재료의 이화학적 환경변화. 한국토양비료학회지 29(4) : 403-410.
- 신제성, 임동규 1983. 산업폐기물의 비료화에 관한 연구. II. 수도에 대한 주정오니비료 시험. 한토비지. 16(3):256-259
- 신제성 1984. 산업폐기물의 비료화에 관한 연구. III. 전작물에 대한 석탄첨가의 비효시험. 한토비지. 17(1):51-54.
- 양재의. 1998. 농업부산물 비료의 품질 판정을 위한 기준설정. 한국과학재단 보고서

- 엄대익, 한강완. 1983. 미원유기질비료(아미노산발효부산비료박) 시용에 의한 인삼 재배에 관한 연구 I. 미원유기질비료 시용이 인삼의 발아와 생육 및 토양의 이화학적 성질에 끼치는 영향. 한토비지. 16(3):274-279.
- 엄대익, 한강완, 안병구. 1985. 미원유기질비료(아미노산발효부산비료박) 시용에 의한 인삼 재배에 관한 연구. I. 미원유기질비료 시용이 인삼예정지 토양의 이화학적 성질 및 인삼생육에 끼치는 영향. 한토비지. 18(4):392-406.
- 오왕근, 조병련, 이기의, 1971. 토양의 첨가가 부숙 및 비효에 미치는 영향에 관하여, 한토비지. 4(2):137-141.
- 오왕근, 오재섭, 이규하. 1975. 아미노산 발효 부산물의 농업적 이용에 관한 연구. 한토비지. 8(2):97-103.
- 오왕근, 이춘수, 곽한강. 1984. 답토양에서 부숙오니시용이 벼 수량성에 미치는 영향. 한토비지. 17(2):134-140.
- 육창수, 조성진. 1985. 고추에 대한 맥류오니 시용과 시험(제1보). 한토비지. 18(2):113-120
- 윤정희, 정병간, 김유학. 1997. 밭토양에서 시용 가축분중 무기성분 유효도 평가방법 연구. 농업과학기술원 시험연구보고서(농업환경부편). 652-659
- 이상민, 유인수, 이춘수, 박양호, 엄명호. 1999. 논토양에서 돈분 톱밥 퇴비 시용량 결정에 관한 연구. 한토비지. 32(2):182-191.
- 이주삼, 장기운, 조성현, 김종윤. 1996. 유기농산물 생산을 위한 퇴비시용이 배추의 수량과 무기성분 및 토양의 이화학성에 미치는 영향. 한토비지. 29(4) 365-370.
- 임동규, 신제성 1991. 우분의 유기질 비료화 연구. I. 부숙조건에 관한 연구. 한토비지. 24(2):130-136.
- 임동규, 문윤호, 신제성, 우기대. 1991a. 우분의 유기질 비료화 연구. II. 속성 부숙 방법. 한토비지. 24(3):192-199.
- 임동규, 정이근, 신제성, 한기. 1991b. 우분의 유기질 비료화 연구. III. 부숙도 기준설정. 한토비지. 24(4):278-285
- 장기운 1995. 부산물비료 품질 고급화를 위한 금후 발전방안. p.70-112. 유기성 폐기물 비료의 문제점과 대책 심포지움 자료집
- 장기운, 이인복, 임재신, 임현택 1996. 부숙과정중 음식물찌꺼기의 식물 독성 평가. 한토

- 비지. 29:312-320.
- 정갑영, 신제성, 한기. 1981. 산업폐기물의 비료화에 관한 연구 I. 자원조사. 한토비지, 14(2): 83-87.
- 정광용. 1995. 유기질 및 부산물 비료 활용상의 실제. 유기성 폐기물 비료화의 문제점과 대책 심포지엄. 한국토양비료학회. P17-45
- 정광용. 1996. 퇴비공장 운영실태 분석. 농업과학기술원. 농업환경부 시험연구 보고서. 53-65
- 정광용. 1998. 유기성 폐기물 비료화 한토비지. 31(S.I) : 113-120.
- 정광용, 엄명호, 1999. 유기질 퇴비 시용기준과 금후 발전 방향, 유기질비료의 품질 및 시비관리의 문제점과 대책 심포지엄, 한국토양비료학회, 23-51.
- 정이근. 1995. 유기성 폐기물 퇴비화 정책의 문제점과 대책. 유기성 폐기물 비료화의 문제점과 대책 심포지엄. 한국토양비료학회. P46-69.
- 정준교, 황의영, 최정영, 남궁완. 1996. 물용출성분 분석에 의한 음식쓰레기 퇴비의 숙성도 평가. 유기성폐기물자원화학회지 4(1):43-51
- 정연구, 김진수. 2000. 음식물쓰레기 퇴비의 숙성 특성, 한국폐기물학회지 17(4) 438-446.
- 河田 弘. 1981 樹皮堆肥, 博友社
- 한기. 1978. 유기질 비료 자원으로서의 산업폐기물. 한토비지. 11(3):195-206.
- 환경부. 1996. 전국폐기물발생 및 처리현황 환경부
- 환경부. 1996. 전국폐기물발생 및 처리현황
- 홍종운, 정이근, 박천서, 김영섭, 1973a 구르타민산 발효잔사 첨가물의 성질과 비효. I. 그 성질과 옥수수에 대한 비효. 한토비지. 6(3):159-163.
- 홍종운, 정이근, 박천서, 김영섭, 1973b, 구르타민산 발효잔사 첨가물의 성질과 비효. II. 토양의 이화학적 성질 개량. 한토비지. 6(4):227-230.
- 황경숙, 장기운. 1996. 축산폐기물의 퇴비화 과정중 미생물상의 변동. 한토비지. 29(3):303-311.