

발간등록번호

11-1541000-000477-01

퇴비부숙도와 토양활성 측정기 개발

(Development of measuring system of compost maturity and soil microbial activity)

농자재 가스 측정기 실용화 기술개발

(Development of measuring system of agricultural gases)

측정기 모듈개발 및 기능 검정

(Development of gas detecting module and Efficiency verification of measuring system)

주식회사 소일테크

농림수산식품자료실



0004650

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “퇴비부숙도와 토양활성 측정기 개발”의 보고서로 제출합니다.

2010년 8월 10일

주관연구기관명 : (주)소일테크

주관연구책임자 : 현 해 남

세부연구책임자 : 유 영 훈

세부연구책임자 : 강 창 희

연 구 원 : 강 법 세

연 구 원 : 오 상 민

연 구 원 : 조 형 준

연 구 원 : 현 영 훈

연 구 원 : 박 원 표

연 구 원 : 고 희 정

연 구 원 : 이 동 은

연 구 원 : 조 은 경

연 구 원 : 이 순 봉

연 구 보 조 원 : 현 중 우

연 구 보 조 원 : 강 윤 석

연 구 보 조 원 : 고 건 희

연 구 보 조 원 : 고 현 미

연 구 보 조 원 : 조 은 경

연 구 보 조 원 : 신 혜 정

요 약 문

I. 제 목

퇴비부속도와 토양활성 측정기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

본 기술개발의 목적은 퇴비 부속기간 또는 시판되는 퇴비의 암모니아와 이산화탄소가 누적된 양을 패들을 이용하여 흡착시키고 흡착에 의해 변색된 패들을 광학적으로 측정하여 퇴비의 부속도를 판정하는 측정기를 개발하는 것이다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 기술개발은 3개의 세부과제로 이루어졌으며, 제1세부과제는 농자재 가스 측정기 실용화 기술(주관기관), 제2세부과제는 측정기 모듈개발(협동과제), 제3세부과제는 측정기 기능검정(협동과제)로 구성되었다.

제1세부과제는 제2세부과제에서 제공하는 측정기 회로도와 프로그램을 이용하여 1차 테스트용(개발 가능성을 확인하기 위한 테스트용), 2차 시제품용(테스트용 측정기의 기능을 높인 것) 및 3차 상품용 측정기(시제품 및 상품화를 위한 측정기)를 개발하여 테스트를 거친 후에 최종 개발을 완료하였다. 측정기 개발에 이용된 기술은 측정기 구동용 main PCB, sub PCB 등을 제작하고 광학 가이드, 케이스, 암모니아와 이산화탄소 누적 흡착용 패들과 패들 틀, 제3세부과제의 측정기 기능 검정 후 수정 프로그램, 기기 구성 등을 수정하여 최종 개발을 완료하였다.

제2세부과제는 퇴비부속도 측정기의 주요부품인 패들 측정의 이론적 근거를 확립하고 색변화 측정 개발 방향, 패들의 색변화를 측정할 수 있는 광학부, 수광소자의 특성, 광학부 설계를 위한 이론, 회로제어부 및 구동 프로그램을 개발하였다. 이 과정에서 제1세부과제와 제2세부과제는 공동으로 수십 차례의 수정과정을 거쳐 제1세부과제가 측정기 개발을 완료할 수 있는 모듈을 개발하여 제공하였다.

제3세부과제는 제1세부과제에서 제공하는 개발된 1, 2, 3차 부속도 측정기의 기능을 검정하고 성능을 향상시키기 위한 연구를 담당하였다. 이 과제에서는 제1세부과제에서 제공하는 테스트용 측정기와 가스 정량 분석기를 이용하여 퇴비 제조과정에서 발생하는 암모니아, 이산화탄소, 황화물 가스 등을 측정하여 부속기간의 유해가스의 발생량을 조사했으며, 측정기에 이용할 수 있는 패들의 매질 시약의 개발, 퇴비 제조기간 동안의 부속도 변화 등을 조사하였다. 또한 제1세부과제에서 제공하는 최종 개발된 측정기를 이용하여 시판하고 있는 퇴비의 부속도를 측정하여 측정기의 성능을 최종 점검하였다.

IV. 연구개발결과

제1세부과제는 제2세부과제에서 제공하는 회로도와 프로그램을 검토하고 수정과정을 거쳐서 테스트용 측정기와 상품화를 위한 시제품을 개발하였고, 이를 보완 수정하여 상품용 부속도 측정기 개발을 완료하였다. 테스트용 측정기는 소형으로 과제 발표시 선행연구의 일부로 보고한 것으로 주관기관이 보유하고 있는 금형을 이용하여 제작하였다. 시제품과 상품용으로 개발한 측정기는 수차례 수정과정을 거친 회로도를 이용하여 main PCB를 제작하였으며, 감도를 높이기 위해 sub PCB를 제작하였다. 암모니아와 이산화탄소의 누적량을 흡착시키기 위한 패들은 2차에 걸쳐 개발하여 실험용기 뚜껑에 장착할 수 있는 형태로 제작하였다. Main PCB 전면부에는 광학대 연결, LCD 표시창, 전자회로 구동 칩셋을 전면부에 연결할 수 있도록 하고 후면부에는 start 키, 방향키, stop키, 모드키, 인쇄, 날짜, 확인, 측정 버튼 등 기기 작동에 관련된 부품이 조립되도록 구성하였다. 이와 같은 구성은 제조과정의 단순화 및 불량률을 낮추기 위한 것이다. 본 기술개발의 결과로 1개의 특허와 2개의 실용신안을 출원하였다.

제2세부과제는 광학기술을 이용한 부속도 측정기 이론적 근거, 회로도 및 프로그램을 설계하여 제1세부과제에게 이전하였다. 회로도와 프로그램 설계할 때는 제1세부과제와 수차례의 검토와 수정과정을 거쳐서 완성하였다. 퇴비에서 발생하는 암모니아와 이산화탄소를 흡착한 패들 매질의 색은 비색방법을 이용하여 부속도를 판정할 수 있도록 프로그램화하였으며, 컬러 센서의 특성을 조사하여 패들 매질의 색변화를 측정할 수 있는 광학부 회로도를 개발하였다. 개발된 광학부는 R, G, B, X, Y를 측정하여 측정기의 재현성을 검사하였으며, 최적의 조건을 검색하였다. 또한 제2세부과제에서 개발된 회로도와 프로그램을 이용하여 제1세부과제가 제작한 테스트용 시제품에 대한 기기 성능을 검사하여 측정 감도를 높이고 재현성을 높일 수 있도록 수십 차례의 수정과정을 거쳐서 완성하였다.

제3세부과제는 제1세부과제에서 제공하는 시제품을 이용하여 측정기의 성능을 검증하였다. 가축분을 이용한 퇴비화 과정에서 암모니아, 이산화탄소, 항화화물 등의 농도를 측정하여 부속기간이 진행됨에 따라 주요 가스의 농도변화를 조사하였다. 제1세부과제에서 개발한 패들 틀에 이용할 수 있는 암모니아와 이산화탄소 가스 누적 흡착 매질을 개발하였으며, 기존 회사에서 사용하는 한천 대신에 PVA, 젤라이트 등을 혼합하여 변색이 명확하고 항균성이 높고 패들에 첨가하는데 좋은 물성 조건을 구명하였다. 또한 개발 완료된 부속도 측정기를 사용하여 시판되고 있는 퇴비의 부속도를 측정하여 부속도 측정기 기능을 검증하고 성능향상을 위한 자료를 제공하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

본 기술개발은 상품화를 목적으로 개발한 것으로 1건의 특허, 2건의 실용신안을 출원했으며, 향후 패들 매질 시약 제조기술에 대해 1건의 특허를 출원할 계획이다. 개발된 부속도 측정기는 현장 선호도 조사를 수행한 후에 상품화할 예정이다.

SUMMARY

This study is to develop measuring system for detecting the harmful ammonia gas which is emitted from compost, and carbon dioxide gas which is related to microbial activity. The aims of research group I are to focused on the commercialization of compost maturity measuring system in laboratory and compost company. The aims of research group II are to develop the detecting module and circuit of the equipment, and those of research group III are to examine the precision and functionality measuring system developed by research group I.

The research group I has developed the test type, trial type and prototype measuring system using circuit and operation program provided from research group II, for the commercial production through repeated examinations and revisions. The test type measuring system is a compact size which was reported as a part of precedent study in project presentation using a mold. The prototype measuring system was made of main PCB(printed circuit board) and circuit and added sub-PCB to improve measuring sensitivity. Paddle fitted with two holders inside bottle cap was manufactured in order to absorb the amounts of ammonia and carbon dioxide gases emitted from compost. Front part of the PCB was composed of optical mount, LCD, electronic circuit, and microcontroller. On the other hand, components related with instrumental operation, such as start, indicating, stop, mode, printing, date, enter, and measuring buttons, were located at its rear part, in order to simplify the manufacturing process. Based on the study results, three patents were applied at this point.

Theoretical basis, circuit diagram, and operation program were designed through the collaboration works between research group I and research group II. The sensing circuit was designed to detect the color change of paddle media by the investigation of specific properties of color sensor. The operation program was fitted with evaluation of compost maturity to be able to measure the color of paddle media absorbing ammonia and carbon dioxide gases. The reproducibility and optical instrumental conditions were examined by the way of R(red), G(green), B(blue) intensity measurement and X, Y account of newly developed optical mount.

The research group III has verified the measuring efficiency of prototype detector manufactured by research group I. We determined the concentration of gaseous ammonia, carbon dioxide, and sulfur compounds produced during the process of composting using pig manure. In the investigation by composting duration, the amount of ammonia gas was highest after about 2 days passed. The sulfur compounds as CH_3SH , DMS and DMDS were produced in the highest quantity after about 14 hours. The gas-absorbing media was developed to be able to fit the paddle manufactured by research group I. The commercialized gas-absorbing agar media were replaced with the mixtures of gelrite, PVA, and/or agar, in order to improve the physical properties during the manufacturing process of the ammonia and carbon dioxide detection paddle kits. In the results, the mixture media showed better physical and antibiotic properties, and were more available than the case of only using agar medium. The compost maturity were investigated for the total 38 commercial composts in domestic market. Among them, 37 composts were found to be completely matured (stage of complete-matured I or stage of complete-matured II) and only one was matured incompletely. By the comparison results of the commercial compost samples, we could successfully verify that the functionality of the newly developed prototype measuring system was satisfactorily available.

CONTENTS

summary	4
Chapter 1 Outline of the research	9
1. Purpose of the research	9
2. Necessity of the research	9
3. Scope of research	10
Chapter 2 The status of domestic and abroad technology	11
1. Status of domestic technology	11
2. Level of research in the domestic and foreign country	12
Chapter 3 Contents and results	13
Section 1 Development of measuring system of agricultural gases	14
1. Collaboration between research groups	14
2. Research contents and results	15
Section 2 Development of gas detecting module	37
1. Theoretical basis of technology	37
2. Research contents and results	40
Section 3 Efficiency verification of measuring system	61
1. Materials and methods	61
2. Research contents and results	83
Chapter 4 Achievement of research goal and contribution to the related technology	118
1. Achievement of research goals	118
2. Contribution to the related technology	118
Chapter 5 Plans for applications	119
Chapter 6 Informations of foreign scientific technology	122
Chapter 7 References	123
(Appendix)	125
1. Research group II result: Programming code	125
2. Research group III result: Efficiency verification	149

목 차

요약문	2
제 1 장 연구개발과제의 개요	9
1. 연구개발의 목적	9
2. 연구개발의 필요성	9
3. 연구개발의 범위	10
제 2 장 국내외 기술개발 현황	11
1. 국내외 관련분야 기술개발 현황	11
2. 연구결과가 국내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치	12
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	13
제 1 절 제1세부: 농자재 가스 측정기 실용화 기술개발(주관기관)	14
1. 기술개발 흐름도 및 과제간 협조	14
2. 기술개발 내용 및 결과	15
가. 테스트용 부숙도 측정기 제작	15
나. 시제품용 부숙도 측정기 제작	21
다. 상품용 부숙도 측정기 제작	25
라. 부숙도 측정기 상품화를 위한 홍보자료	35
제 2 절 제2세부: 다용도 가스측정기의 모듈 개발(협동과제)	37
1. 기술개발의 이론적 근거	37
2. 기술개발 내용 및 결과	40
가. 가스흡착용 패들의 색변화 측정기 광학부 개발	40
나. 테스트용 부숙도 측정기 개발	43
다. 시제품용 부숙도 측정기 개발	50
라. 상품용 부숙도 측정기 개발	57
제 3 절 제3세부: 측정기 기능 검정(협동과제)	61
1. 재료 및 방법	61
가. 가스 누적 흡착용 패들매질 제조	61
나. 가스흡착용 패들 및 부숙도 측정기의 기능 점검	65
다. 전도성 폴리머를 이용한 비색법 측정 모듈 개발	66
라. 퇴비의 부숙도 측정	67
마. 퇴비 부숙기간 가스 정량 분석	72
바. 시판 퇴비의 부숙도 측정 및 측정기 기능 검정	75
2. 결과 및 고찰	83

가. 가스 누적 흡착용 패들매질 제조법 비교	83
나. 가스흡착용 패들 및 부속도 측정기의 기능 점검 결과	85
다. 전도성 폴리머에 의한 비색법 측정 모듈개발	92
라. 퇴비의 부속도 측정결과	92
마. 시판 퇴비의 부속도 측정 및 측정기 기능 검정	104
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	118
1. 연도별 연구목표 및 평가 착안점에 입각한 연구개발 목표 달성도	118
2. 관련분야의 기술발전예의 기여도	118
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	119
1. 실용화·산업화 계획	119
2. 교육지도·홍보 등 기술확산 계획	119
3. 특허, 논문 등 지식재산권 확보계획	119
4. 추가연구, 타연구 활용계획 등	121
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	122
제 7 장 참고문헌	123
부록	125
1. 제2세부: 다용도 가스측정기의 모듈 개발	125
가. 테스트용 부속도 측정기 프로그램	125
나. 시제품용 부속도 측정기 프로그램	132
다. 상품용 부속도 측정기 프로그램	138
2. 제3세부: 측정기 기능 검정	149
가. 가스흡착용 패들 및 부속도 측정기의 기능 점검 결과	149
나. 돈분 퇴비의 황화합물 가스 분석 결과	169
다. 돈분 퇴비의 부속도 측정 과정	173

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목적

본 기술개발은 퇴비 등에서 발생하는 가스를 간편하게 측정하여 작물의 피해를 줄일 수 있는 기술과 측정기를 개발하여 농가 현장에 적용함으로써 퇴비에서 발생하는 작물 유해가스에 의한 작물의 피해를 줄이기 위한 것이다.

본 기술은 미부숙 퇴비에서 발생하여 작물에 피해를 주는 암모니아 가스와 퇴비 부숙과정의 미생물 활성을 이용하여 부숙 진행정도를 예측할 수 있는 이산화탄소를 측정하여 부숙도를 판정하기 위한 것이다. 이를 위해 암모니아와 이산화탄소를 누적 흡착할 수 있는 매질과 매질의 변색을 측정하는 기술을 개발하여 현장에서 사용할 수 있는 부숙도 측정기를 개발하기 위한 것이다.

2. 연구개발의 필요성

퇴비 제조업체(부산물비료 제조업체로 분류된 업체)는 '96년 이전에는 500개 이하였으나 최근에는 1,000개 이상으로 증가하였으며, 정부와 지자체의 보조사업으로 제조회사는 계속 증가할 것으로 예상하고 있다. 퇴비 시장은 매년 12% 성장하고 있으며, '08년도 판매된 퇴비의 양은 2,205천 톤으로 20kg 포대 기준으로 110,250천 포대에 이른다.

정부에서는 가축분 퇴비에 대해 등급을 정하고 1등급 1,200원, 2등급 1,100원, 3등급 900원으로 차등지원하고 있으며, 중금속 규격을 강화시키고 부숙도, 유해미생물 등을 포함시켜 퇴비품질을 높일 계획을 갖고 있다. '00년 이전에는 중금속 과다함유 퇴비에 의한 피해가 많았으나 최근에는 정부와 지자체의 보조가 많아지면서 농가의 퇴비 요구량이 많아지고 미부숙된 퇴비가 유통되어 농가에 피해를 주는 예가 많이 발생하고 있다.



경기 하남 부추 경남 밀양 시설 딸기 경북 안동 수박 접목묘 경기 파주 부추
그림 1. 미부숙퇴비 암모니아 가스 피해의 예(농촌진흥청 국립농업과학원 조사자료).

퇴비 부숙도 기존 방법은 퇴비의 색깔, 탄력성, 악취, 손촉감, 손으로 비틀 때 강도 등을 측정하는 관능검사, 퇴비에 함유된 돈모의 장력을 측정하는 돈모 장력법, 질산태 질소 간이시험법, 퇴비제조기간의 온도 측정법, pH 측정법, 탄질률(C/N)에 의한 방법, 지렁이법, 종자 발아법 등이 농촌진흥청 퇴비 부숙도 측정법으로 이용되고 있다. 그러나 이들 측정법은 퇴비원료에 따라 측정되는 수치가 다르며, 주관적인 판단이 포함되어 있으며, 시간이 많이 소요되기 때문에 현장에서 사용하는 것은 불가능하다.

따라서 본 기술개발은 객관적인 방법으로 퇴비에서 발생하는 암모니아와 이산화탄소를 누적시켜 측정할 수 있는 기술을 개발하고 상품화하기 위해 연구되었다.

3. 연구개발의 범위

본 연구의 범위는 NDIR(nondistructive infrared), 광학기술 등을 이용하여 퇴비에서 발생하는 암모니아와 이산화탄소를 측정하여 부숙여부를 판정할 수 있는 부숙도 측정기 개발과 상품화를 연구범위로 하고 있다.

본 기술개발은 3개의 연구과제로 구성되었는데 협동과제인 제2세부과제는 기술개발의 이론적 근거를 제시하며, 회로도 설계, 광학부 설계, 수평소자 특성, 회로 제어부, 프로그램 등을 개발한다. 주관기관인 제1세부과제는 제2세부과제와 협조하여 Main PCB 및 sub-PCB, 광학 가이드 및 케이스 등을 제작한다. 협동과제인 제3세부과제는 제1세부과제에서 제공하는 시제품을 이용하여 퇴비부숙 기간의 가스 정량, 가스 흡착용 패들 매질 제조, 패들의 항균성, 측정기 기능 검정, 시판퇴비의 부숙도 측정 및 개발 측정기의 현장적용을 연구범위로 하였다.

측정기 개발에 시도된 연구 중에 연차평가에서 NDIR 기술은 연구기간 내에 개발하여 상품화하는데 어려움이 있으며, 토양활성 측정은 퇴비 부숙도에 비해 중요성이 낮아 제외되어 퇴비 부숙도 측정기 상품화에 초점을 맞추어 개발하는 것을 연구범위로 하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 관련분야 기술개발 현황

퇴비에서 발생할 수 있는 주요 가스인 암모니아와 이산화탄소를 측정하는 방법은 다양하게 제시되어 있다. 대기오염 측정용으로 multi-gas monitor가 상품화되어 있으며, 정밀 측정용으로 Gas chromatography가 일반화되어 있다. 또한 EP-IR(Encoded Photometric InfraRed) 분광광도계가 광을 이용한 측정기 개발에 응용되고 있다. 그 외에 NDIR(Nondispersive InfraRed) 측정법이 비분산적외선을 이용하여 가스측정에 이용되고 있으며, FT-IR 측정법에서 Fourier Transform 및 적외선을 이용한 측정기 개발에 응용하고 있다.

그러나 상기에 열거한 측정기술과 측정기는 실험실에서 정밀하게 측정하는데 이용할 수 있도록 개발되었으며, 매우 고가이기 때문에 퇴비 부숙도와 같이 현장에서 간편하게 사용하는 데는 한계가 있다. 또한 퇴비의 특성이 토양수분, 퇴비 수분함량, 온도 등의 주변 환경조건에 따라 발생량이 달라지며 작물에 미치는 영향도 암모니아 가스의 누적에 의해 나타나므로 순간적인 농도를 측정하는 기존의 방법으로는 부숙도를 측정하는데 한계가 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 일본의 堆肥熟度判定機(COMPOTEST, FHK사)는 항온 조건에서 일정기간 퇴비에서 발생하는 이산화탄소를 측정하여 미생물 활성을 측정하여 부숙도를 판정하는 측정기가 상품화되고 있다(그림의 왼쪽). 미국에서는 Woods End사가 Solvita(가스 누적 흡착 매질 상표명 Solvita, 측정기기 DCR)가 개발되었으며, 육안으로 판정하는 방법이 세계적으로 공통으로 사용하고 있다. 그러나 육안으로 판정하는 Solvita 방법이 측정인의 주관적인 판단에 의해 부숙도 판정의 오차 때문에 기기로 측정할 수 있는 DCR을 개발하여 공급하고 있는데, DCR은 본 연구가 시작된 후에 개발된 것으로 거의 같은 시기에 개발을 시작한 것으로 생각된다. 본 기술개발의 결과와 DCR의 차이는 DCR은 단순하게 육안으로 측정치를 읽도록 설계되었으나, 본 기술개발의 제품은 프린팅 기능과 데이터의 저장기능을 포함시켰다.

국내에서는 퇴비 부숙과 관련된 연구는 강원대학교의 학위논문에서 패들을 이용하여 암모니아와 이산화탄소를 누적 흡착시켜 변색된 패들의 색을 육안으로 판정하는 방법이 제시되었다. 또한 본 주관기관은 강원대와 공동으로 선행연구로 가스 누적 흡착에 의한 변색된 패들을 기계적으로 측정하는 방법의 기초기술을 선행연구로 진행시킨 바 있다. 그 과정에서 패들 색의 불안정과 측정의 어려움, 패들 형태의 기계적 이용 어려움 등의 난제가 있어서 실험실적으로 가스를 측정하는 NDIR 방법과 광학 측정법을 동시에 이용할 수 있는 본 기술개발을 진행시켰다.



일본 FHK사에서 개발한 누적 이산화탄소 측정을 이용한 부숙도 측정기(COMPOTEST)



Woods End사에서 개발한 암모니아와 이산화탄소를 매질에 흡착시켜 비색법으로 측정하는 부숙도 측정기(Solvita, DCR)



강원대에서 개발한 암모니아와 이산화탄소를 누적 흡착시킨 매질의 색을 육안으로 판정하는 부숙도 측정기

그림 2. 국내외에서 개발된 부숙도 측정기.

2. 연구결과가 국내외 기술개발 현황에서 차지하는 위치

본 기술개발의 퇴비부숙도 측정기는 일본에서 이산화탄소 누적함량을 이용하여 측정하고 있는 堆肥熟度判定機(COMPOTEST, FHK사)에 비해 우수하다고 생각되며, 미국의 암모니아와 이산화탄소의 누적흡착을 이용한 Solvita와 DCR 세트와는 경쟁할만 하다고 판단된다. 또한 강원대에서 개발된 육안으로 암모니아와 이산화탄소 누적함량을 이용하는 방법을 한 단계 업그레이드 시킨 기술이라고 생각된다. 가격적인 측면에서는 COMPOTEST에 비해 현저하게 경쟁력이 있으며, Solvita와 비교해서는 가격 경쟁력이 높을 수 있으나 DCR에 비해서는 약할 것으로 예상하고 있다. 부숙도 판정 측면에서 본 기술의 퇴비부숙도 측정기술은 COMPOTEST에 비해 월등히 우수하며, Solvita+DCR과는 경쟁할만한 수준으로 생각된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

본 기술개발은 실용화 및 상품화를 위해 기술개발 흐름도 계획하고 과제 간 협력 체계를 구축하였다. 상품화를 위한 기술개발 절차는 NDIR, 광학기술 등을 이용하여 기술 검색과 부속 과정에서 발생할 수 있는 암모니아, 이산화탄소, 기타 황화물 가스 등을 측정할 수 있는지를 검토하고 광학 cavity 등 관련 기술을 적용하며, 부속과정에서 최적의 가스를 측정할 수 있는 방법을 모색하였다. 제1세부와 제2세부에서 개발된 부속도 측정기는 제3세부과제에서 기능검증을 실시하였다. 이 과정에서 농림수산식품기술기획평가원의 연차평가와 과제 관리에 따라 초기 연구계획의 농자재에서 발생하는 다양한 가스를 측정하는 것보다 퇴비의 부속 과정에서 주요 발생가스인 암모니아와 이산화탄소 중심의 가스를 측정하여 부속도를 판정할 수 있도록 기술 개발 방향이 수정되었다.

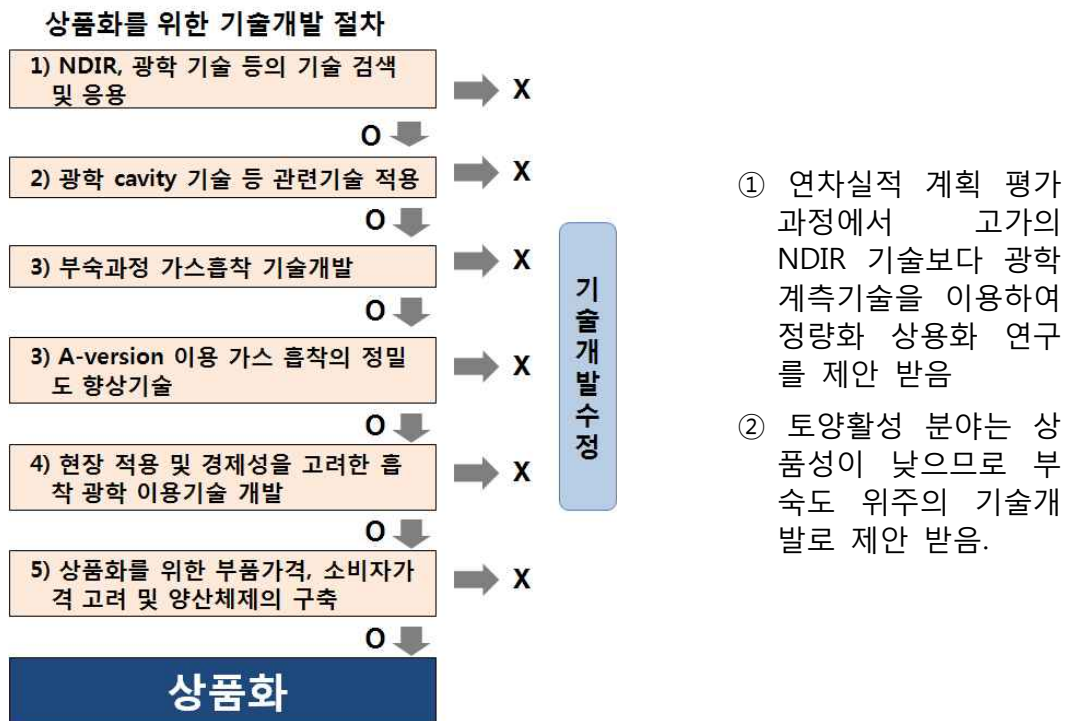


그림 3. 실용화를 위한 기술개발 절차.

따라서 본 기술개발의 추진은 3개의 세부과제로 구성되어 제1세부과제(주관기관)의 상품화를 위해 제2세부과제(협동과제)가 모듈 및 회로디자인을 개발하며, 이 기술을 주관기관이 응용하여 시제품을 개발하고 개발된 시제품을 이용하여 제3세부과제(협동과제)에서 정밀도 등 제품 품질을 높이기 위한 제안을 통해 개발을 완료하는 것으로 과제별 기술개발 역할을 분담하였다.



- ① 본 기술개발은 제1세부 측정기 실용화기술(주관기관), 제2세부 측정기 모듈개발(협동과제), 제3세부 측정기 기능검정(협동과제)로 구성됨
- ② 제2세부과제는 측정기 관련 프로그램, 회로도 등 개발하여 제1세부과제에 이전하고 제1세부과제는 프로그램 및 회로도에 따라 최적의 측정기 제작을 위한 시제품 제작
- ③ 제3세부과제는 제1세부과제가 제공하는 시제품과 정밀분석법으로 퇴비에서 발생하는 가스 측정 및 부속기간별 가스 측정결과를 이용하여 부속 여부 판정
- ④ 제3세부과제에서 얻은 결과는 제2세부 및 제3세부과제에 전달하여 측정기 성능 향상에 이용
- ⑤ 최종 개발된 측정기를 이용하여 시판되는 퇴비의 부속정도 평가 및 성능 검정

그림 4. 전체 과제에서 본 각 세부과제의 역할과 연구 흐름도.

제1절 제1세부: 농자재 가스 측정기 실용화 기술개발(주관기관)

1. 기술개발 흐름도 및 과제간 협조

주관기관은 제2세부과제와 공동으로 실험실을 사용하면서 기술개발을 추진하였다. 주관기관은 기술개발 방향과 필요한 모듈 및 회로도를 제2세부에 요청하고 제2세부과제는 주관기관의 기술개발 방향에 따라 회로도를 설계하면 주관기관은 회로도를 전문제작 업체에 의뢰하여 시험용 기판을 제작하고 제작된 기판을 이용하여 기기 성능을 높이기 위한 실험설계를 수정하였다.

부속도 측정기는 수작업을 통해 모형을 제작하고 제작된 모형을 근거로 설계도를 제작하고 전문제작업체에 금형 등을 의뢰하여 시제품을 제작하였다. 제작과정에서는 실용화를 감안하여 사용이 편리하고 현장에서 사용하더라도 측정기에 손상이 가지 않도록 휴대형 가방 형태로 제작하였다. 시제품은 3가지 형태로 제작한 후에 여러 테스트를 거쳐서 최종 결정하였다.

측정기의 성능은 제3세부과제에서 수행했으며, 제3세부과제의 성능 검사에 따라 측정기의 외형, 작동 과정 등을 수정하여 최종 상품화를 위한 제품의 기술개발을 완료하였다. 선행기술 개발과 기술개발기간 동안 3개 모형의 부속도 측정기(보고서에는 1, 2, 3차 부속도 측정기로 테스트용, 시제품용, 상품용 부속도 측정기로 기술) 개발을 시도하였으며, 제3세부과제와 현장

적용성과 기능 검정을 통해 실용성이 높은 제품을 출시할 계획이다.

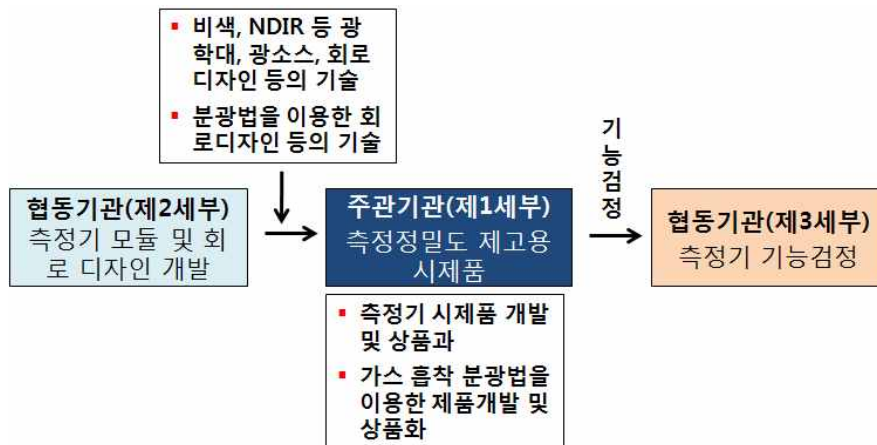


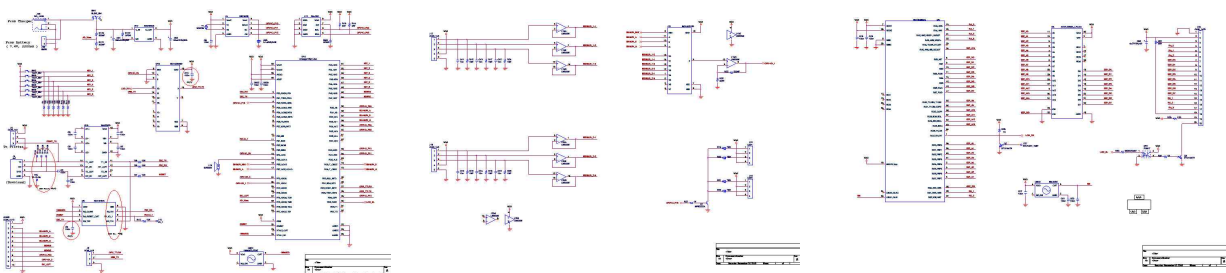
그림 1-1. 전체 과제에서 본 각 세부과제간 역할 및 협조체계.

2. 기술개발 내용 및 결과

가. 테스트용 부속도 측정기 제작

테스트용 측정기(자체 시험용 부속도 측정기)의 Main PCB 회로도와 Main PCB의 Sensor part, Micro controller part 회로도는 그림 1-2와 같으며, 제2세부과제의 협조를 받아 회로도를 설계하였다. 설계된 회로도는 회로도 전문업체인 (주)리버테크(경기도 시흥시 소재)에서 주문 제작하였으며, 수차례의 검증과정을 거쳐서 확정하였다. 1차 테스트용 부속도 측정기는 소형으로 제작하였으나 제3세부과제의 검증과정에서 사용의 불편성이 제시되어 수정한 것이다.

회로도는 연구 분담상 제2세부과제에서 개발하도록 되어 있으며, 개발과정에서는 제1세부과제와 협력하여 개발하였다. 본 보고서에서 이용하는 회로도는 제2세부과제(측정기 모듈개발)에서 이루어진 것으로 제1세부과제의 Main PCB 제작을 위한 보고서 내용 전개상 제시하였다.



<Main-PCB 회로도>

<Sensor Part>

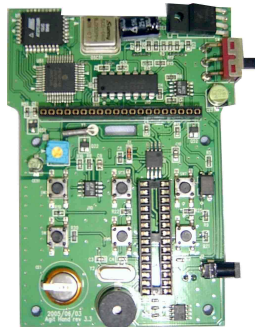
<Micro controller Part>

그림 1-2. 1차 테스트용 부속도 측정기 1차 Main-PCB, Main-PCB Sensor Part, Main-PCB Micro controller Part 회로도(제2세부에서 개발된 것을 제1세부과제가 리버테크에 개발 의뢰하고 제1세부과제에서 테스트하여 최종 완료한 회로도임).

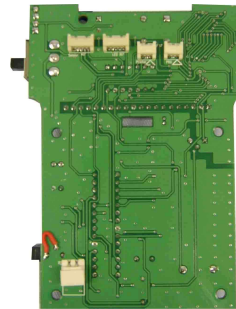
2) 테스트용 부속도 측정기 Main PCB 개발

제2세부과제와 공동으로 설계한 회로도를 이용하여 제작한 Main PCB의 전면부는 광학대 센싱 연결 커넥터, LCD 표시창 연결 커넥터, 메인칩, 전자회로 구동 칩셋이 연결될 수 있도록 제작하였다. 회로도에 따라 PCB의 제작은 초기에는 제2세부과제 연구실에서 실크스크린을 이용하여 수작업으로 진행시켜 개발하였으며, 수차례의 기능 검정 등을 통해 에러를 줄이기 위한 작업을 완료하여 PCB 전문생산업체에 생산을 의뢰하였다.

수작업으로 제작한 PCB를 근거로 청풍테크(대표: 권효숙, 사업자번호: 134-05-45120, 경기도 군포시 소재)에 의뢰하여 제작하였으며, 시제품의 기능검정 과정을 거치면서 문제점을 도출하고 수정한 후에 시제품 제작에 이용할 계획이었다.



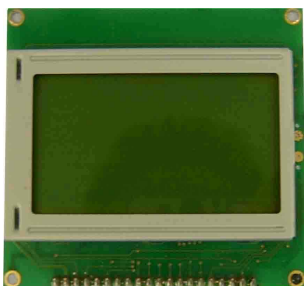
<전 면>



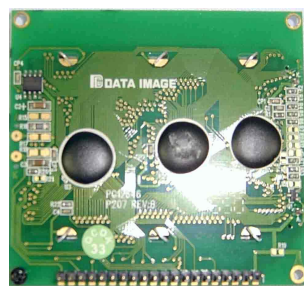
<뒷 면>

그림 1-3. 테스트용 부속도 측정기 Main-PCB.

테스트용 부속도 측정기에 사용할 LCD 모듈은 LCD 모듈 전문업체인 (주)옵티마이엔씨(서울시 구로구 소재)에 11 by 4 한글 모듈로 주문하여 테스트하였다. 테스트용 부속도 측정기가 소형이므로 소형 LCD를 이용했으며, 최종 상품에는 대형 LCD를 이용하였다.



<전 면>



<뒷 면>

그림 1-4. 테스트용 부속도 측정기 제작용 LCD모듈

3) 테스트용 부속도 측정기 광학가이드 및 케이스 개발

광학 가이드는 가공 전문업체인 도원테크(경기도 부천시 소재)에 의뢰하여 제작하였으며, 1차 테스트용 부속도 측정기의 케이스는 기존에 주관기관이 보유하고 있는 금형을 이용하였다.

시제품과 상품용 부속도 측정기는 현장에서 사용할 수 있도록 가방형으로 제작하였다.



<광학가이드>



<케이스>

그림 1-5. 테스트용 부속도 측정기 제작용 광학가이드 및 케이스.

4) 테스트용 부속도 측정기 개발

앞에서 제작한 Main PCB를 이용하여 1차 테스트용 부속도 측정기를 그림과 같이 하네스를 이용하여 Main PCB와 작동에 필요한 기구들을 연결하여 조립하였다. 1차 부속도 측정기는 시제품이라기보다는 제2세부 및 제3세부과제에서 실험에 이용하기 위해 제작한 것이다.



그림 1-6. 테스트용 부속도 측정기 Main-PCB 및 기구 조립.



<부속도 측정기 완제품>



<부속도 측정기 내용 설명>

그림 1-7. 테스트용 부속도 측정기 완제품.

5) 가스 흡착용 패들 개발

퇴비에서 발생하는 암모니아, 이산화탄소 가스를 흡착할 수 있는 패들을 그림 1-8과 같이 제작하였다. 패들은 기술개발 진행용으로 제작하였기 때문에 아크릴판을 이용하여 커팅한 후에 양면을 접착시키고 흡에 암모니아, 이산화탄소를 흡착시킬 수 있는 매질을 충전시킬 수 있도록 하였다.

그림 1-9는 위의 설계도를 바탕으로 양산 이전단계에서 아크릴을 이용하여 제작한 것이며, 흡에 패들 매질을 충전한 사진이다.

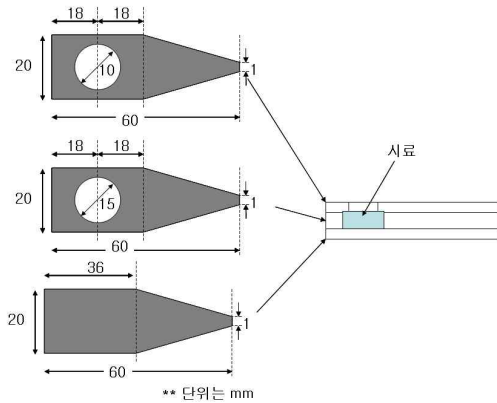


그림 1-8. 가스 흡착용 패들 설계도.



그림 1-9 아크릴을 이용하여 제작한 가스 흡착용 패들.

위의 개발한 1차 테스트용 부숙도 측정기와 가스 흡착용 패들을 이용하여 아래 그림과 같이 테스트용 부숙도 측정기 세트를 구성하였다. 측정하고자 하는 퇴비와 패들을 유리병에 넣고 일정 시간이 지난 후에 패들에 흡착된 암모니아와 이산화탄소 양에 따라 변한 색을 측정기로 측정하도록 구성되었다.



그림 1-10. 테스트용 부숙도 측정기 세트.

그러나 제3세부과제에서 기능검정을 하는 과정에서 패들의 오염, 오염된 패들로 인한 측정기의 내부 오염 등의 문제점이 발생하였으며, 용기의 크기가 많은 오차를 발생하게 하여 테스트용으로만 사용하였다.

6) NDIR을 이용한 부속도 측정기 개발

NDIR을 이용한 부속도 측정기 개발은 연착실적계획서 평가과정에서 연구내용과 범위에서 제외되었다. 제외된 이유는 1) 이론적으로는 기술개발이 가능하지만 고가이므로 농업현장에서 이용하기가 어려우며, 2) 제작과정의 복잡성 때문에 중소기업으로서 개발할 기술의 범위를 벗어나며, 3) 폐들의 매질을 이용한 가스 흡착 후 광학적으로 측정하는 것이 실용화에 유리하기 때문이었다.

그러나 기술개발 기간 동안 시도했던 기술개발 내용은 다음과 같다. 일반적인 NDIR 센서는 한 가지 가스만 측정하게 되어있다(그림 위). 이로 인해 다수의 가스를 측정하기 위해서는 다수의 NDIR 센서가 필요하며, 센서 모듈의 가격이 높아지는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 다수 가스의 흡수 파장을 고려하여 한 개의 NDIR 센서를 이용하여 여러 가스를 측정할 수 있도록, 즉 흡수 파장을 선택할 수 있도록 filter set를 구성 하였다.

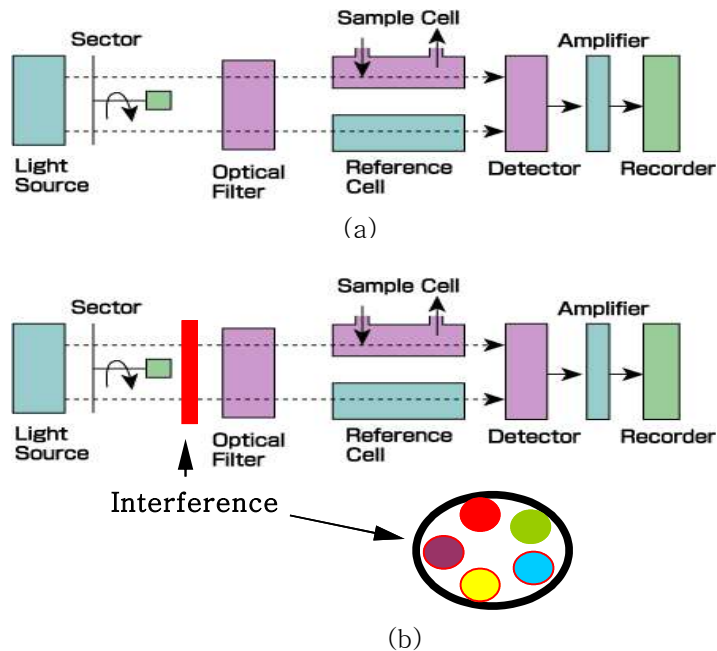


그림 1-11. (a) 기존의 NDIR 계, (b) 본 기술개발에서 적용하고자 하는 Interference Filter를 채택한 NDIR.

이산화탄소의 흡수 파장은 이산화탄소 가스 분자의 진동 모드에 따라 여러 개 존재하나 본 개발에서는 현재 일반적으로 제작할 수 있는 간섭 필터를 위하여 흡수파장인 $1.57 \mu\text{m}$ 와 $1.96 \mu\text{m}$ 를 선택하였고 암모니아 측정을 위하여 $1.510 \mu\text{m}$ 와 $1.544 \mu\text{m}$ 를 선택하였다. 이를 위해 간섭 필터는 CFHT 사의 간섭 필터를 이용하여 제작한 간섭 필터 세트는 그림1-12와 같다.

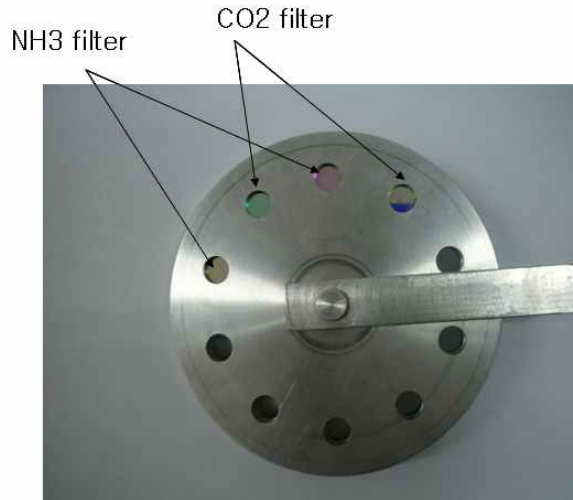


그림 1-12. CFHT 사의 간섭 휠터를 이용하여 제작한 간섭 휠터 set.

NDIR 광학계는 광원과 측정기의 synchronize기술, 저 진동 간섭 휠터 회전 시스템, cell 온도 제어 시스템을 개발하며 측정기가 안정적이며, 신뢰성을 가지는 회로 디자인 및 전기 회로와 광학계를 연계하여 제어할 수 있는 마이크로 프로세스를 이용한 제어시스템 개발하여 현장성이 높은 광학 시스템을 적용시키고자 하였다. 이를 위하여 디자인 한 광학계는 다음 그림과 같다. 제어부(controller)에서 모든 장치, 즉 IR 광원, 온도 제어, filter set 선정, 데이터 획득을 관장한다. 그리고 기준 cell은 센서의 안정성을 조사하기 위하여 가스 농도를 측정 할때 기준 작용을 하여, 온도와 환경에 따라 센서의 측정가스 농도 값의 변화를 최소화 하게 해줄 것으로 예상하였다.

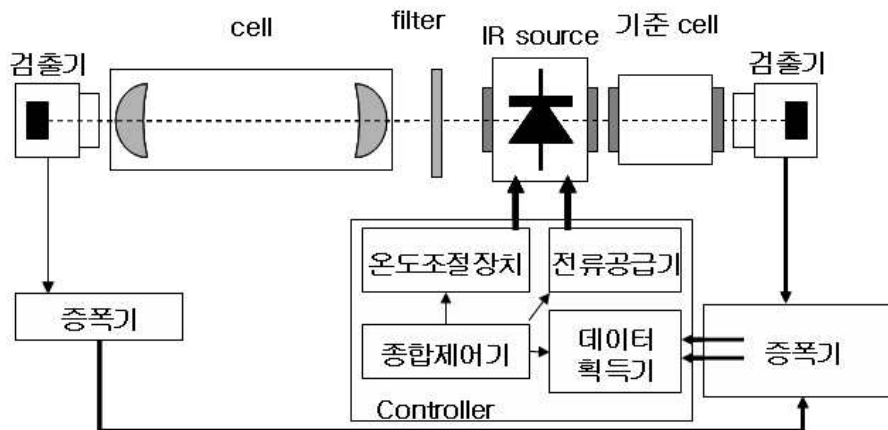


그림 1-13. 암모니아, 이산화탄소 측정을 위한 센서 디자인.

그리고 적외선 측정기 경우에는 전자가 이동하는 에너지 준위 차이가 상온 보다 조금 크거나 유사하기 때문에 온도 잡음이 심하다. 그러므로 이러한 잡음을 제거 할 수 있는 전기 회로

의 개발이 필요하다. 가장 많이 사용하는 방법 중 하나는 수동적 방법(passive method)으로 냉각제를 이용하여 측정기의 온도를 내려주면 되나, 이 방법은 측정기의 크기가 커지고 현장에서 사용하기에는 매우 불편하다. 그러므로 수동적 방법인 아닌 능동적방법(Active method) 중 하나인 신호를 동기화 시키는 PLL(Phase Lock Loop) 기술을 도입하여 신호 대 잡음비가 큰 회로를 디자인을 그림 1-14와 같이 하였다.

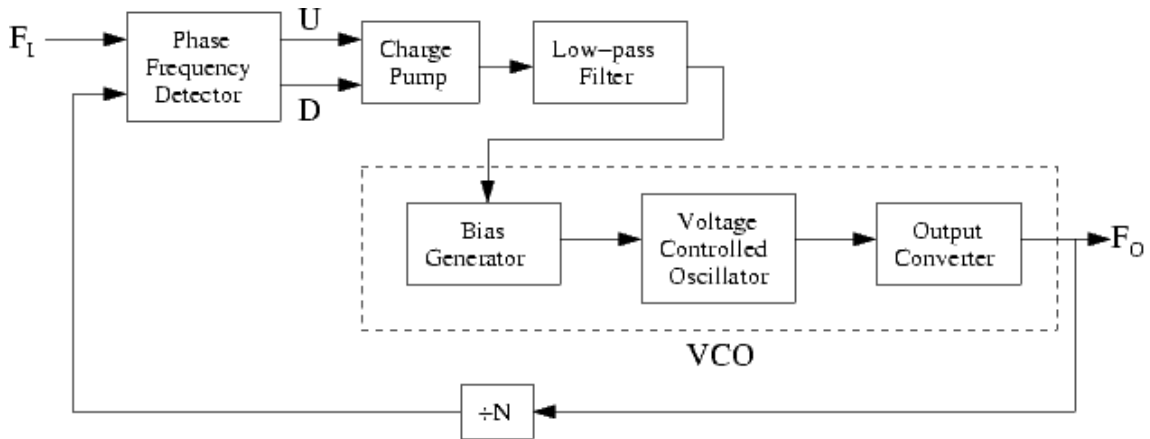


그림 1-14. 신호 대 잡음비가 큰 회로도.

나. 시제품용 부속도 측정기 제작

1차 개발된 테스트용 부속도 측정기는 제3세부과제와 현장 적용성을 검토한 결과 소비자에게 판매하기에는 제품의 완성도가 낮으며, 부속도를 측정하는데 소요되는 기구들이 불편하여 2차 부속도 측정기 개발을 시도하였다. 1, 2차 부속도 측정기에 사용된 기술의 일부는 연구과제 계획서 평가발표에서 제시된 선행기술이며, 선행기술의 일부와 테스트용 부속도 측정기의 측정 메커니즘을 이용하여 부속도 측정기의 정확성, 재현성을 높이고 소비자가 선택하여 구매할 수 있도록 디자인 및 기능성을 보장하여 2차 부속도 측정기 시제품을 제작하였다.

1) 회로도 설계

회로도는 1차 개발된 테스트용 부속도 측정기의 Main-PCB 회로도를 기반으로 일부 수정하여 이용하였다. 측정간 오차율을 줄이고 측정 결과의 정밀도를 높이기 위하여 회로도를 수정하여 2차 부속도 측정기 Main-PCB 회로도를 개발하였다. 또한, 1차 개발된 부속도 측정기에 비해 센싱 감도를 높이기 위하여 추가적으로 Sub-PCB를 개발하여 측정 정밀도를 높였다.

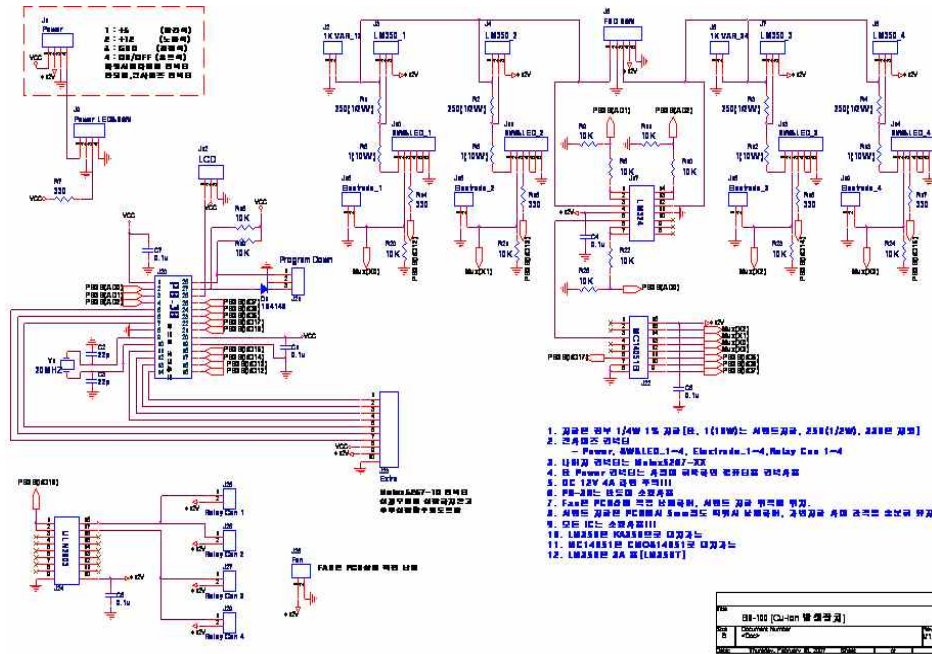


그림 1-15. 시제품용 부속도 측정기 Main-PCB 회로도 (제2세부에서 개발된 것을 제1세부과제가 리버테크에 개발 의뢰하고 제1세부과제에서 테스트하여 최종 완료한 회로도임).

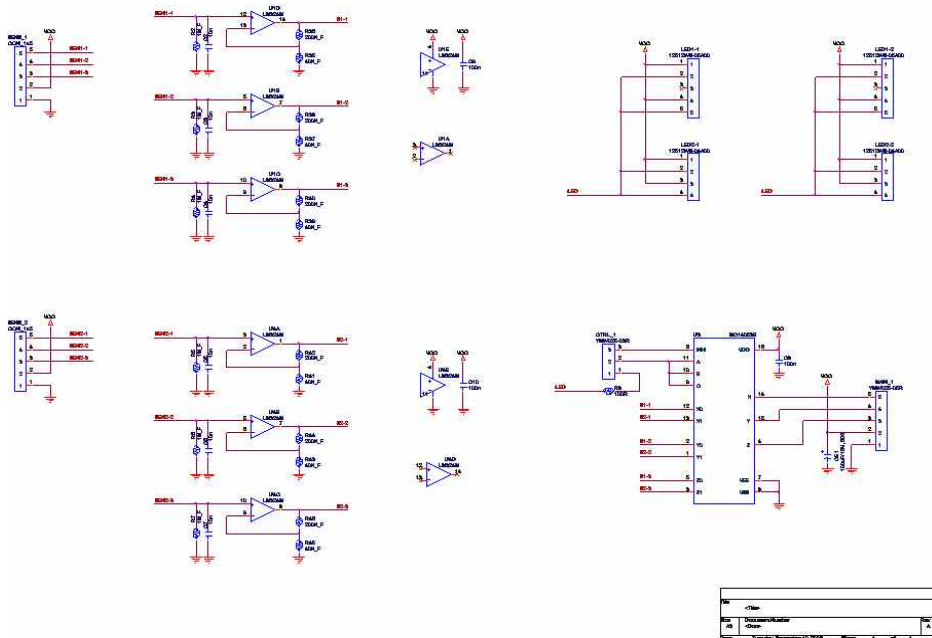
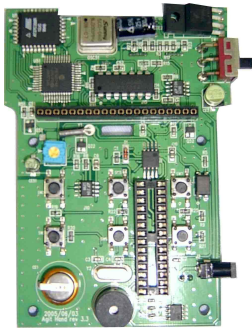


그림 1-16. 시제품용 부속도 측정기 Sub-PCB 회로도 (제2세부에서 개발된 것을 제1세부과제가 리버테크에 개발 의뢰하고 제1세부과제에서 테스트하여 최종 완료한 회로도임).

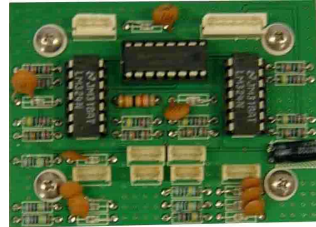
2) 시제품용 부속도 측정기 Main-PCB 및 Sub-PCB 개발

Main PCB와 sub PCB는 테스트용 부속도 측정기의 PCB를 개발한 청풍테크(경기도 안산시

소재)에 의뢰하여 제작하였다. 제작된 PCB는 몇 차례의 테스트 과정을 거쳐서 문제점을 수정하였다. sub PCB는 1차 개발한 측정기의 단점을 수정하기 위해 제작한 것이며 그림 1-17과 같다.



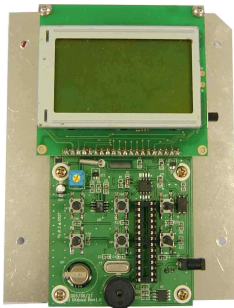
<Main-PCB>



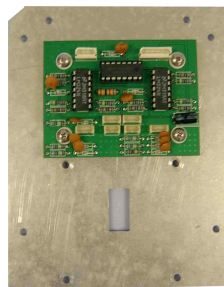
<Sub-PCB>

그림 1-17. 시제품용 부속도 측정기 제작용 Main-PCB 및 Sub-PCB.

위의 Main PCB와 Sub-PCB 는 중간 가이드를 이용하여 전면부와 후면부가 일체형으로 조립할 수 있도록 하였으며, LCD 표시창을 연결할 수 있도록 하였다.



<Main-PCB>



<Sub-PCB>

그림 1-18. 시제품용 부속도 측정기 Main-PCB와 Sub-PCB 조립.



그림 1-19. 시제품용 부속도 측정기 내부 조립도.

3) 시제품용 부속도 측정기 개발

2차 개발된 시제품용 부속도 측정기는 그림 1-20과 같으며, 이를 이용하여 제3세부과제에서

측정기 기능 검정에 사용하였다. 제3세부과제와의 기능검정에서 지적된 내용은 기능이 사용이 불편하였고, 표시창이 적어 충분한 결과를 보여줄 수 없었으며, 광학대와 시료 투입구의 문제점으로 오염이 쉽게 발생하는 단점을 발견하였다.

또한 측정과정의 에러를 발견할 수 있는 R, G, B 표시 기능이 없어서 문제가 발생했을 때 문제점을 찾기 위한 작업 시간이 많이 소요되는 단점을 갖고 있었다. 이에 대한 문제점은 3차 상품용 부숙도 측정기 개발에 적용하고자 했으며, 전체적으로 기기의 안정성이 불안하였다.



<2차 부숙도 측정기 완제품>

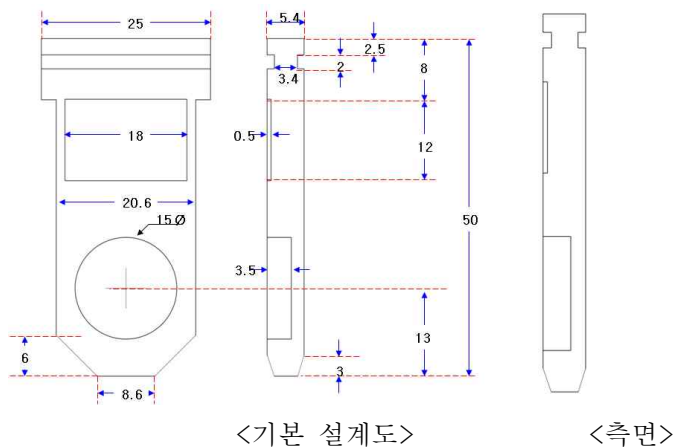
<2차 부숙도 측정기 내용 설명>

그림 1-20. 2차 개발된 시제품용 부숙도 측정기 완제품.

4) 가스 흡착용 패들 틀 개발

1차 테스트용 부숙도 측정기에 사용한 패들은 2개의 아크릴 판을 접착시켜 사용했는데, 흡착 매질 첨가량이 부정확하며, 오차가 발생하고 퇴비가 첨가된 실험 용기에 장착할 때 오염이 되는 불편함이 지적되었었다. 이에 퇴비 첨가 실험용기의 뚜껑 부분에 장착할 수 있도록 패들 틀을 설계하고 재현정밀(경기도 의왕시 소재)에 의뢰하여 금형을 만들고 제작하였다.

가스 흡착 패들 틀은 그림과 같이 상단부에 용기의 뚜껑에 장착할 수 있도록 홈을 만들었으며, 가스 흡착 매질을 넣을 수 있는 홈과 라벨을 붙일 수 있는 홈을 만들었다.



<기본 설계도>

<측면>

그림 1-21. 가스 흡착용 패들 도안.

위의 설계를 바탕으로 제작한 패들과 가스 흡착 매질을 첨가한 상태는 그림 1-22와 같다.

퇴비의 주요 발생 가스인 암모니아와 이산화탄소 가스를 흡착하는 2개의 패들을 제작하였으며, 개발된 측정기에서는 암모니아와 이산화탄소 가스를 흡착에 의한 변색을 측정하여 부숙도를 판정할 수 있도록 하였다.



- ▶ KIT-A : 암모니아 가스 측정용
- ▶ KIT-B : 이산화탄소 가스 측정용

그림 1-22. 가스 흡작용 패들.



그림 1-23. 2차 개발된 시제품용 부숙도 측정기 세트.

다. 상품용 부숙도 측정기 제작

3차 상품용 부숙도 측정기는 1차, 2차 부숙도 측정기를 제3세부에서 기능을 검증한 후에 제기된 문제점을 해소시킬 목적으로 개발되었다. 3차 상품용 부숙도 측정기에서 추구하는 목적은 기존에 개발한 측정기보다 정확도, 정밀도, 재현성 등을 더욱 높이고 오차율을 최대한 줄이고, 디자인 및 기능성 확대, 현장성용이 등 소비자의 입장에서 사용상 편리한 부숙도 측정기 개발에 초점을 두었다.

1) 상품용 부숙도 측정기 회로도

3차 상품용 부숙도 측정기의 회로도는 1차, 2차 측정기 회로도를 참고로 제작하였다. 그림 1-24는 테스트용으로 자체 제작한 회로도이며, 센싱 파트의 정밀도를 높이기 위해 그림 1-25와 같이 수정하였다. 회로도는 주관기관의 분광학 기술을 감안하여 제2세부과제에서 회로디자이너를 설계하고 주관기관이 결과를 받아 회로도 전문개발업체에 주문·위탁하였다.

회로도 디자인, 프로그램과 관련된 내용은 제2세부과제에서 자세하게 기술하였으며, 시제품의 Main PCB 회로도는 회로도 전문업체인 (주)에스엠티(경기도 안산시 소재)에 주문하여 완성하였으며, 수차례의 검증과정을 거쳤다.

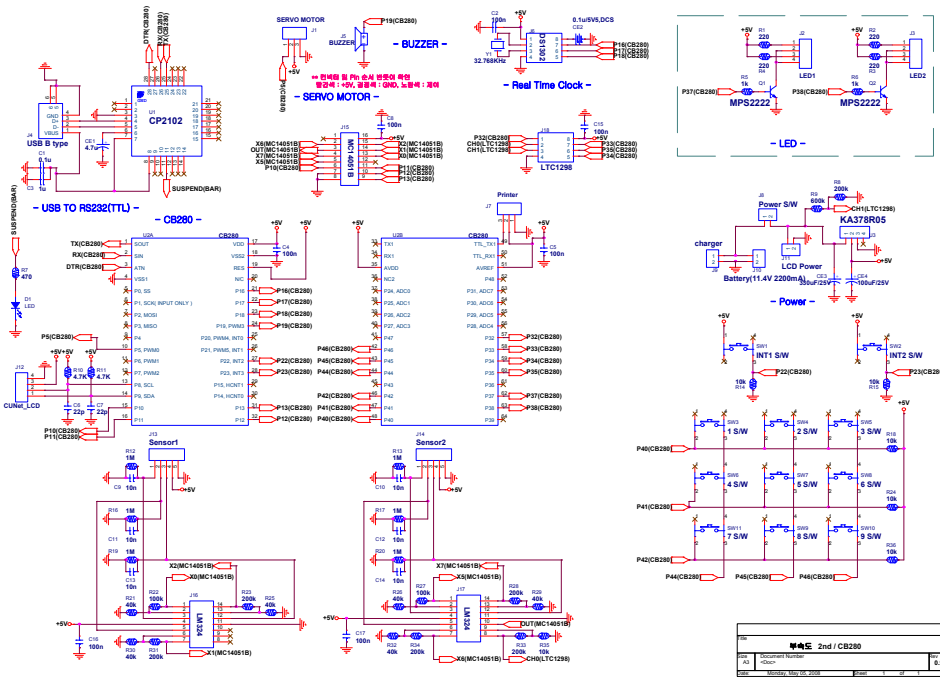


그림 1-24. 테스트용 자체 제작용 회로도 (제2세부에서 개발된 것을 제1세부과제가 에스앤티에 개발 의뢰하고 제1세부과제에서 테스트하여 최종 완료한 회로도임).

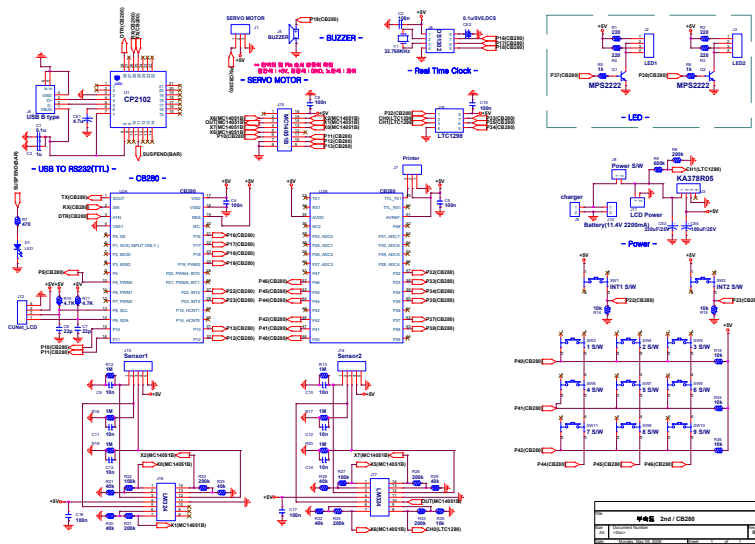


그림 1-25. 센싱 부분을 개선한 Main PCB 회로도(제2세부에서 개발된 것을 제1세부과제가 에스앤티에 개발 의뢰하고 제1세부과제에서 테스트하여 최종 완료한 회로도임).

2) 상품용 부속도 측정기 Main PCB 개발

위의 회로도의 수정 사항을 체크하여 이상 없음을 확인하고 PCB Art-work 작업 뒤 회로 점검용 지그를 통하여 또다시 수정사항을 체크하고 Main PCB 양산화할 수 있도록 하였다. 회

로도를 이용하여 제작한 Main PCB의 전면부는 광학대 센싱 연결 커넥터, LCD 표시창 연결 커넥터, 메인칩, 전자회로 구동 칩셋이 연결될 수 있도록 설계하고 제작하였다.

회로도에 따라 PCB의 제작은 초기에는 수작업으로 진행시켜 개발하였으며, 수차례의 기능 검정 등을 통해 에러를 줄이기 위한 작업을 완료하여 PCB 전문생산업체에 생산을 의뢰하였다. PCB는 리버테크(경기도 시흥시 소재)에 의뢰하여 제작하였으며, 시제품의 기능검정을 끝낸 후 제작하였다.

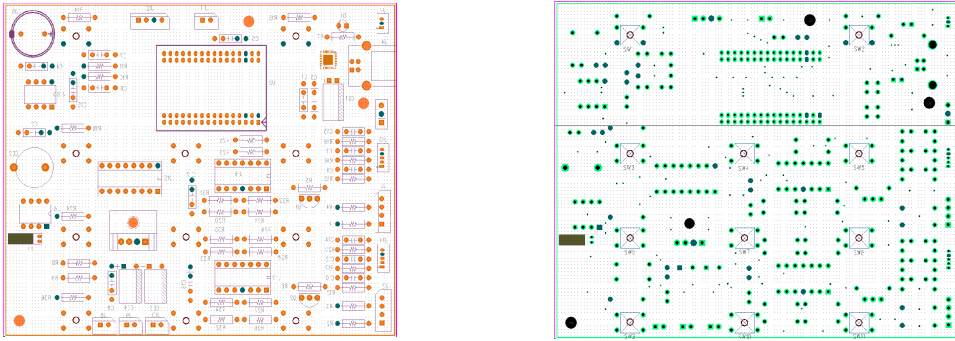
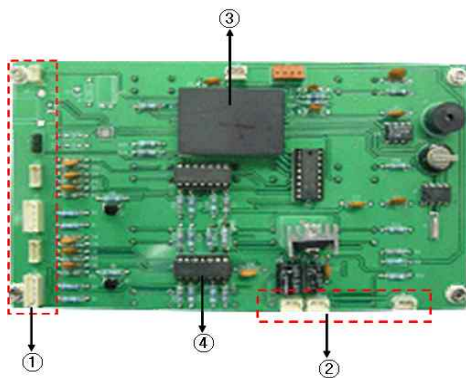


그림 1-26. Main PCB Art-Work 작업.

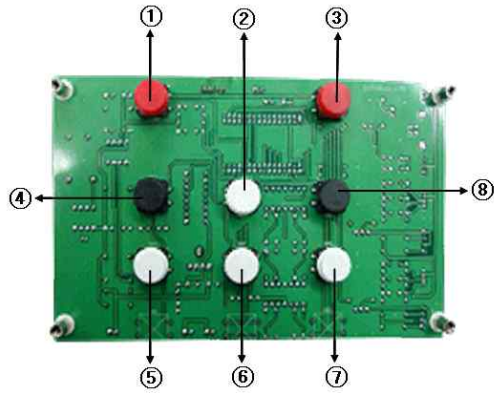
Main PCB의 전면부는 ① 광학대 센싱 연결 컨넥터, ② LCD표시창 연결 컨넥터, ③ 메인칩 ④ 전자회로 구동 칩셋이 연결될 수 있도록 하였으며, 후면부는 시제품의 기기를 작동할 수 있는 ① START 버튼, ② 방향키 버튼, ③ STOP 버튼, ④ 모드 버튼, ⑤ 인쇄 버튼, ⑥ 날짜 버튼, ⑦ 확인 버튼, ⑧ 측정 버튼 등으로 구성하였다.



<Main PCB 전면부 설명>

- ① 광학대 센싱 연결 컨넥터
- ② LCD표시창 연결 컨넥터
- ③ 메인칩
- ④ 전자회로 구동 칩셋

그림 1-27. Main PCB의 전면부 사진.



<Main PCB 후면부 설명>

- ① START 버튼
- ② 방향키 버튼
- ③ STOP 버튼
- ④ 모드 버튼
- ⑤ 인쇄 버튼
- ⑥ 날짜 버튼
- ⑦ 확인 버튼
- ⑧ 측정 버튼

그림 1-28. Main PCB의 후면부 사진.

3) 상품용 부속도 측정기 LCD 개발

LCD는 암모니아와 이산화탄소의 농도에 따라 측정된 색의 변화를 사용자가 확인하고 기기 오작동이 문제점을 찾는 프로그램을 운영하기 위해 5 inch LCD를 이용하였다. LCD의 구입은 PROCELL(서울시 구로구 소재)에서 구입하여 시제품 개발에 이용하였다. LCD 모듈은 제2세 부과제에서 개발한 것을 이용하였다.



그림 1-29. LCD 전면부.

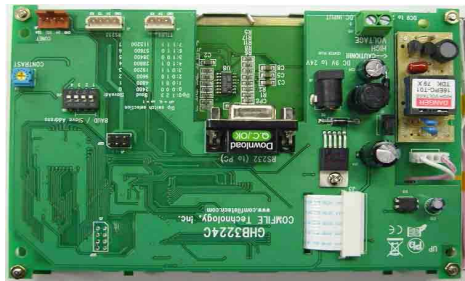


그림 1-30. LCD 모듈.

4) 상품용 부속도 측정기 센서 PCB 개발

센서 PCB를 개발하기 위한 회로도도 제2세 부과제에서 설계하였으며, 회로도에 따른 생산은 PCB 전문업체인 청풍테크(경기도 군포시 소재)에 의뢰하였다. 센서 PCB가 시제품에 탑재할 위치 등은 주관기관에서 시제품 설계하는 과정에 적용시켰다. 시제품 개발에 사용된 센서 PCB는 그림과 같으며, Si-Photodiode S7505-01를 이용하였다.

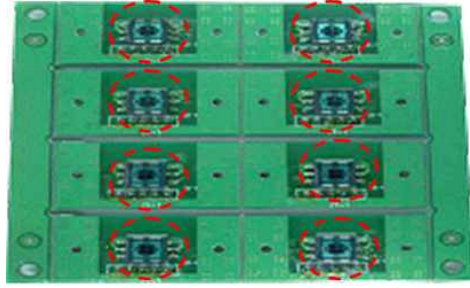


그림 1-31. Si-Photodiode S7505-01를 이용한 센서 PCB.

5) 상품용 부속도 측정기 광학대 제작

광학대는 주관기관에서 시제품의 형태 및 크기를 감안하여 설계하였으며, 측정 정밀도 및 제작 편이성을 높이기 위해 제2세부과제와 공동으로 진행시켰다. 주관기관의 설계에 따라 제작은 도원테크(경기도 부천시 소재)에서 가공 및 사출하였으며, 설계도면 및 사출 형태는 그림과 같다. 이는 1차, 2차 측정기에서 사용한 것을 개선한 것이다.

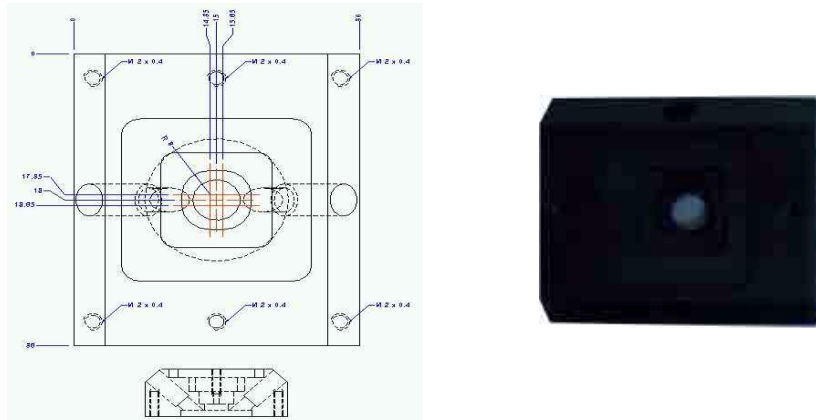


그림 1-32. 메인 광학대 설계도안 및 사출한 모양.

6) 상품용 부속도 측정기 패들 가이드

패들 가이드 후면부는 제1, 2세부과제와 협의하면서 최적의 정밀도를 높일 수 있도록 가스 흡착량을 감안하여 크기 및 형태를 설정하였다. 제1세부과제에서 요구하는 조건에 따라 도원테크(경기도 부천시 소재)에서 가공 및 사출하였으며, 설계도면 및 사출 형태는 그림과 같으며, 1, 2차 측정기에서 사용했던 틀을 개선한 것이다.

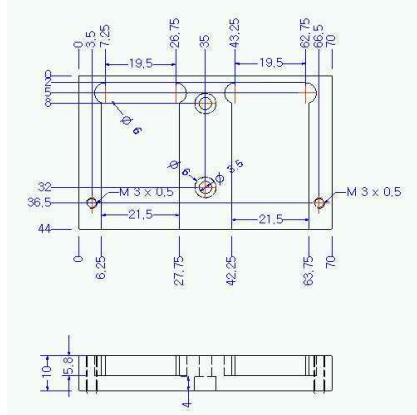


그림 1-33. 패들 가이드 후면부 설계도안 및 사출한 모양.

패들 가이드 전면부는 광학적인 특성을 감안하여 제2세부과제와 협의하면서 최적의 정밀도를 높일 수 있도록 광학대와의 거리, 잡광에 의한 측정정밀도를 낮추는 문제점을 감안하여 크기 및 형태를 설정하였다.

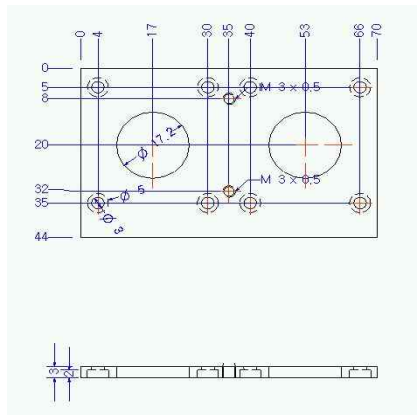


그림 1-34. 패들 가이드 전면부 설계도안 및 사출한 모양

7) 상품용 부속도 측정기 시료 삽입구

시료 삽입구는 측정버튼을 이용하여 자동으로 열리고 닫힐 수 있도록 회전형으로 고안하였다. 이는 측정하지 않는 기간 동안에 이물질이 측정기 내부로 유입되는 것을 막기 위한 것으로 밀어 올리는 방식, 뚜껑 오픈식 등 다양한 시도 끝에 제작이 편리하고, 사용하기 쉬우며, 디자인 측면에서 원형의 모양으로 설정하였다. 설계 디자인 및 사출 모양은 그림과 같다.

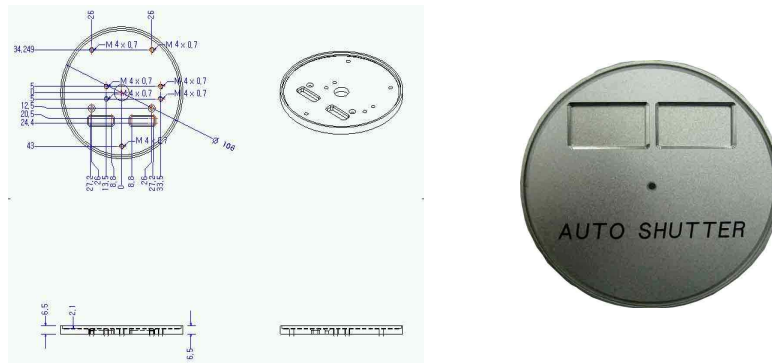


그림 1-35. 시료 사입구 설계도안 및 가공한 모양.

8) 상품용 부속도 측정기 부품의 조립

광학대와 센서 PCB의 조립: 광학대와 센서 PCB는 생산과정에서 작업의 편리성을 감안하여 설계하였는데, 광학대 구성품 조립한 상태는 그림과 같다. 이 그림은 기존 시제품의 조립의 까다로움을 개선한 것이다.

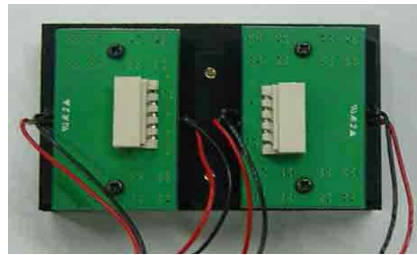


그림 1-36. 광학대 구성품 조립.

광학대 조립 완성품: 광학대는 시료와 근접한 상태에 있어야 오차를 줄일 수 있기 때문에 시료삽입구와 접촉된 상태로 시제품을 제작할 수 있도록 하였다. 또한, 시료가 광학대를 오염시키지 않도록 감안하였으나, 오래 사용하는 경우에 광학대를 오염시킬 위험이 높아 광학대의 구성 또는 시료 사입 형태를 개선하기 위한 것이다.

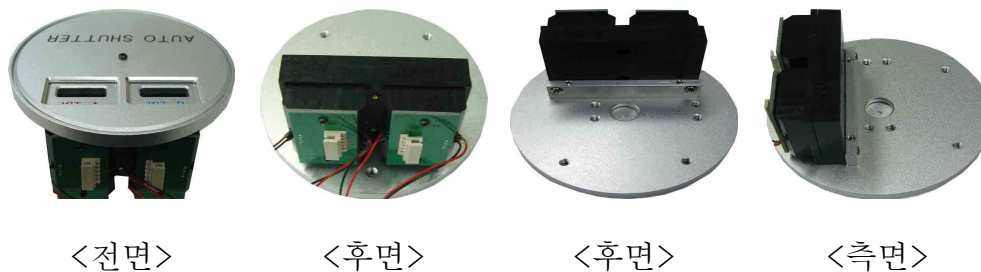


그림1-37. 광학대와 시료삽입구를 조립한 모양.

9) 상품용 부속도 측정기 외형

전면부 디자인 및 가공: 상품용 부속도 측정기 전면부는 여러 번의 가공을 통해 디자인하였으며, 사용자의 편의성, 오작동을 줄이기 위해 진행되었다. 시작모드와 측정모드에서 LCD 창을 통해 정보를 알 수 있도록 하였으며, 측정 모드에서는 시료삽입구가 자동으로 열리도록 하였다.



<시작모드>



<측정모드>

그림 1-38. 전면부의 시작모드와 측정모드의 모양.

시제품의 전면부 내용 설명: 상품용 부속도 측정기 전면부에는 기능키, 광학대, 프린터, 파워스위치, LCD 표시창, 충전커넥터로 구성되어 있으며, 데이터의 저장 기능을 포함시켰다.



<내용 설명>

- ① 기능키
- ② 광학대
- ③ 프린터
- ④ 파워 스위치
- ⑤ LCD 표시창
- ⑥ 충전컨넥터

그림 1-39. 전면부의 내용 설명.

기능키 설명: 기능키는 제3세부과제의 측정기 성능검정에서 사용자 편의성과 디자인에 따라 6개의 기능키로 구성하였다. 이 내용은 추가로 기술개발 과정을 거치면서 수정 또는 개선될 내용이다.

기능키의 각 구성은 다음과 같이 ① START: 측정 모드 시작버튼, ② STOP: 측정모드 종료 버튼, ③ 모드 : 모드 설정 버튼, ④ 측정 : 샘플 측정 버튼, ⑤ 인쇄 : 측정 결과 인쇄 버튼, ⑥ 날짜 : 날짜 설정 버튼, ⑦ 확인 : 확인 설정 모드로 설정했으며, 추후 변경될 수 있다.

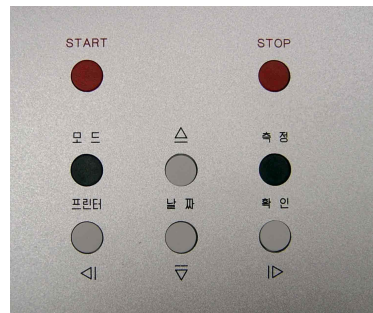


그림 1-40. 기능키의 내용 설명.

10) 상품용 부속도 측정기 최종 조립과정

중간 판넬: 앞에서 설명한 PCB, LCD, 광학대, 센서PCB 외 기구들을 이용하여 상품화 부속도 측정기를 제작하였다.



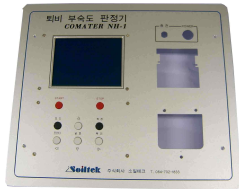
- Main-PCB외 기구들의 사이즈에 맞게 알루미늄으로 위치를 잡고서 가공하였다.
- 화림박스조각(서울 종로 소재) 개발 의뢰하여 제작하였다.

그림 1-41. 조립 1단계 : 중간판넬 준비.

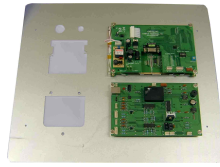


- 개발된 LCD표시창과 LCD구동모듈을 중간판넬에 고정시킨다.

그림 1-42. 조립 2단계 : LCD 조립.



<전 면>



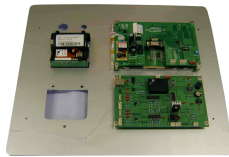
<뒷 면>

그림 1-43. 조립 3단계 : Main PCB 조립.

- 개발된 Main-PCB를 중간판넬에 고정시킨다.



<전 면>



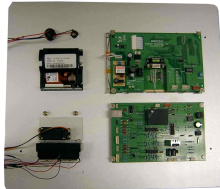
<뒷 면>

그림 1-44. 조립 4단계 : 프린터 조립

- 프린터를 중간판넬에 고정시킨다.
- 프린터는 기성품으로 (주)옵티마이엔씨(서울 구로구 소재)에서 구입하였다.



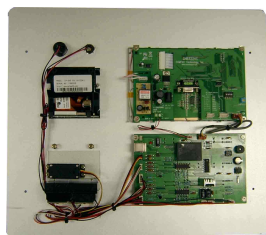
<전 면>



<뒷 면>

그림 1-45. 조립 5단계 : 광학대 조립.

- 개발한 광학대를 중간판넬에 조립한다.
- 파워 스위치 및 충전컨넥터도 조립한다.



- 중간 판넬에 조립된 PCB, LCD, 프린터, 광학대를 정해진 위치에 하네스를 각각 구동될 수 있도록 연결한다.

그림 1-46. 조립 6단계 : 하네스 연결.



- 중간판넬 조립이 끝난 뒤 외부 케이스를 준비하고 배터리를 고정한다.

그림 1-47. 조립 7단계 : 배터리 고정.



- 외부케이스 와 조립된 중간판넬을 조립한다.

그림 1-48. 조립 8단계 : 케이스와 중간판넬 조립.

상품화 부속도 측정기를 조립하는데 있어서 PCB를 양면으로 제작하고, 광학대 및 LCD모듈이 일체형으로 조립하여 기존 부속도 측정기 시제품보다 많은 시간이 단축이 되고, 제품 QC 과정도 쉽게 진행이 되었다.

라. 부속도 측정기 상품화를 위한 홍보자료

퇴비 부속도 상품화를 위한 홍보자료와 사용설명서는 그림과 같이 구성하였으며, 과제가 완료되는 시점에 상품화와 양산체계를 구축할 예정이다.



그림 1-49. 퇴비 부속도 측정기 카달로그.

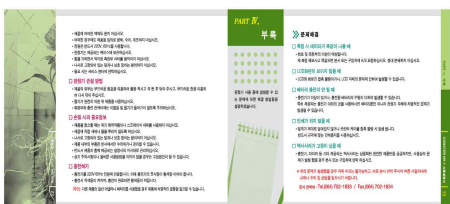


그림 1-50. 퇴비 부숙도 측정기 사용설명서.

제 2 절 제2세부: 다용도 가스측정기의 모듈 개발(협동과제)

1. 기술개발의 이론적 근거

가. 부속도 패들 측정 개념

퇴비 등에서 발생하는 가스를 흡착시켰을 때 패들의 색상 변화는 그림 2-1과 같다. 그림 2-1(a)는 암모니아 가스 흡착에 의한 색상변화로 농도가 높아질수록 적색에서 녹색으로 변색되어 간다. (b)는 이산화탄소 가스 흡착에 의한 색상변화로 농도가 높아질수록 녹색에서 적색으로 변색되어진다.

본 연구에서 개발된 패들의 색상 변화를 판독하는 방법은 크게 2가지의 방법으로 구분된다. 첫째 회절격자 등을 이용한 분광광도법으로 그 정확도가 뛰어나지만, 공간적으로 제약이 따르며 고가이다. 둘째 방법은 컬러센서를 이용한 분광광도법으로, 공간적 제약을 배제 할 수 있고, 저렴한 비용으로 구성할 수 있으나 그 정확도가 뛰어나지 않다.

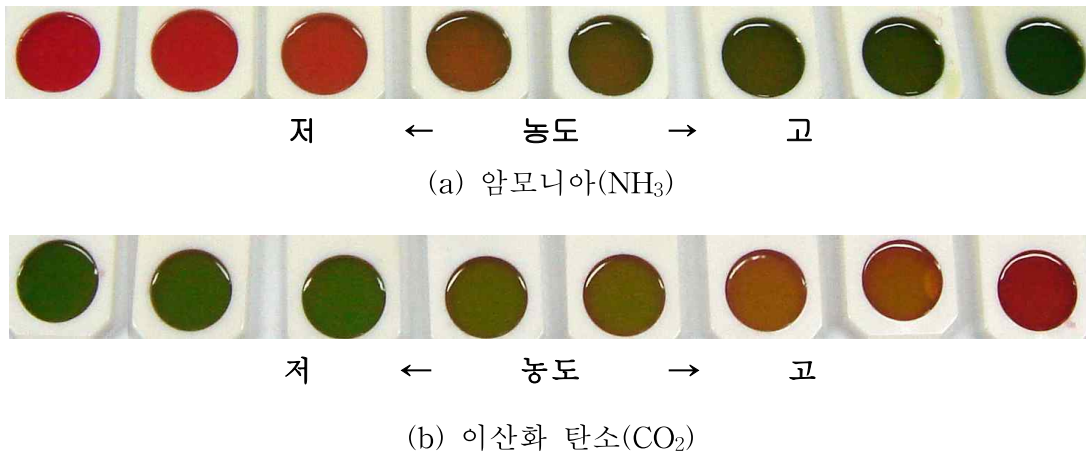


그림 2-1. 가스흡착용 패들의 농도에 따른 색상 변화(제1, 제2 세부과제에서 개발하고 제공한 패들의 색상).

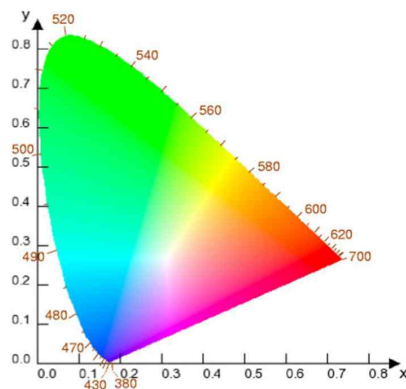


그림 2-2. CIE에서 정한 방법에 따른 색 측정 자료.

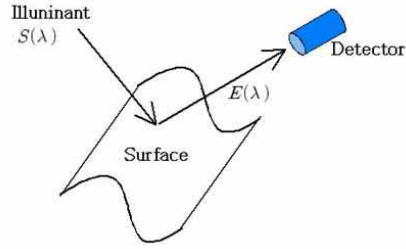


그림 2-3. 반사에 의한 분광법 모식도.

본 연구의 목적이 ‘농가 현장에 적용할 수 있는 장치’를 개발하는 것으로 공간적, 비용적 제약이 많은 회절격자를 이용한 분광광도법은 적절치 않다.

컬러센서를 이용하여 색변화를 측정하기 위하여 국제 조명위원회(CIE: Commission International de l’Eclairage)에서 정한 RGB(Red, Green, Blue) 값을 이용하여 컬러를 측정한다. 이 방법은 측정된 RGB의 출력 값을 이용하여 식(1)을 이용하여 X-Y 축 값을 계산하여 색변화 정도를 판단하는 방법으로 그림 2-2와 같다.

$$x = R / (R + G + B) \quad (1)$$

$$y = G / (R + G + B)$$

여기서 x 는 X축의 세기가 되며, y 는 Y축의 세기이다. RGB를 세기를 이용한 측정법은 그림 2-3과 같이 조사 광원이 피사체에 조사되고, 반사되어 나오는 빛을 검출하는 과정에서 유용하게 사용된다. 이는 (1)식의 결과로 RGB에 의한 색상의 분류 뿐 아니라, 측정 정밀도 및 재현성 향상에도 기여하게 된다.

임의의 면에 조사되는 빛의 파장에 따른 빛의 세기 분포를 $S(\lambda)$, 반사된 빛의 파장에 따른 빛의 세기 분포를 $E(\lambda)$, 검출기의 파장에 따른 민감도를 $\delta(\lambda)$ 라 하면, 검출기에서 검출되는 빛의 세기 $I(\lambda)$ 는 (2)식과 같다.

$$I(\lambda) = \int \delta(\lambda) E(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

$S(\lambda)$ 와 $E(\lambda)$ 사이에는 표면을 구성하는 물질과 그 구조에 의존하는 비례관계가 성립되며, 이러한 관계는 표면에서의 분광 알베도(Spectral albedo) $\rho(\lambda)$ 를 적용하여,

$$E(\lambda) = \rho(\lambda) S(\lambda) \quad (3)$$

로 표현 할 수 있다. 즉 검출된 빛 세기 $I(\lambda)$ 는

$$I(\lambda) = \int \delta(\lambda) \rho(\lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

가 되고, 일반적인 경우 백색광원이 조사되고 있을때, 물체 표면의 색은 분광 알베도에 의해서 주어지게 된다. 만약 검출기가 적색, 녹색 그리고 청색의 3가지 영역의 빛의 세기를 독립적으로 측정 할 수 있고, 그 영역별 빛의 세기를 I_r , I_g 그리고 I_b 라 하면,

$$\begin{aligned} I_r(\lambda) &= \int \delta_r(\lambda)\rho(\lambda)S(\lambda)d\lambda \\ I_g(\lambda) &= \int \delta_g(\lambda)\rho(\lambda)S(\lambda)d\lambda \\ I_b(\lambda) &= \int \delta_b(\lambda)\rho(\lambda)S(\lambda)d\lambda \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다. 조사 광원이 항상 일정하여 S_0 라 하면, 검출되는 빛의 세기 변화는 $\delta(\lambda)\rho(\lambda)$ 에 의하여 결정된다. 즉 각 영역별 빛의 세기는

$$\begin{aligned} I_r(\lambda) &= S_0\mathfrak{J}_r(\lambda) \\ I_g(\lambda) &= S_0\mathfrak{J}_g(\lambda) \\ I_b(\lambda) &= S_0\mathfrak{J}_b(\lambda) \end{aligned} \quad (6)$$

로 표현 할 수 있다. 여기서 $\mathfrak{J}_i(\lambda) = \int \delta_i(\lambda)\rho(\lambda)d\lambda$ 이다. 즉 조사 광원에 대한 컬러 센서의 빛 세기 변화는 측정체의 분광 알베도와 컬러 센서의 영역별 파장에 의해 결정된다. 또한 컬러 센서에서 받아들인 모든 파장에 대한 빛의 세기는 $I_r + I_g + I_b$ 이므로, 모든 파장에 대한 임의의 파장 영역(i)의 빛의 세기 비율 R_i 는

$$R_i = \frac{\mathfrak{J}_i(\lambda)}{\mathfrak{J}_r(\lambda) + \mathfrak{J}_g(\lambda) + \mathfrak{J}_b(\lambda)} \quad (7)$$

이다. 측정 체 표면의 $i(i=r, g, b)$ 파장에 대한 비율은 조사 광원의 세기 S_0 에 대해서 무관하다. 즉 조사 광원이 열 및 수명, 잡음 등의 문제로 빛의 세기가 변하더라도, R_i 는 변하지 않는다.

또한 본 연구에서 개발된 부속도 측정용 패들의 경우 표면이 수막과 같은 투과막을 형성하는 경우가 대부분이며, 이는 주변 환경에 따라 매우 불규칙하다. 빛의 세기 변화는 $\delta(\lambda)\rho(\lambda)$ 에 의하여 결정된다. 여기서 $\delta(\lambda)$ 는 칼라 센서에 의해 결정되는 고유한 값으로 변하지 않고, 분광 알베도 $\rho(\lambda)$ 에 만 영향을 미친다. 만약 형성된 투과막이 매우 투명하여 빛의 세기가 모든 파장 영역에서 비례적으로 작용 할 때 빛 세기 비율 R 에는 큰 영향을 주지 않는다. 만약 색을 갖는 투과막이 형성된 경우 이에 따른 특정 영역 색의 변화를 τ 라 하고, 영향을 미치는 영역이 녹색 영역이라고 하면,

$$R_b = \frac{I_b}{I_r + I_g(1 + \tau) + I_b} \quad (8)$$

가 된다. 실제 본 연구에서 개발된 부속도 측정용 패들의 경우 그 표면에 수막이 형성되어 있고 이는 거의 투명하여, $\tau \approx 0$ 라 할 수 있다.

즉 $I_r + I_g(1 + \tau) + I_b \approx I_r + I_g + I_b$ 가 되고, 즉

$$\frac{I_b}{I_r + I_g(1 + \tau) + I_b} \approx \frac{I_b}{I_r + I_g + I_b} = R_b \quad (9)$$

가 되어, 투과막의 영향을 감소시킬 수 있으며, 다른 파장 영역에도 적용 될 수 있다.

이와 같은 컬러 센서를 통하여 각각의 파장영역(컬러센서의 RGB 각각의 영역)에 대한 빛의 세기를 높은 재현성을 갖고 측정할 수 있으며, RGB비율을 통한 연산을 수행하여 줌으로서, 조사 광원의 세기 변화와 수막 등의 투과막 형성에 따른 오차를 감소시킬 수 있다.

나. 색변화 측정 개발 방향

퇴비 등으로부터 발생한 가스를 패들의 흡착제에 흡착시켜 변색된 색을 측정하기 위한 시스템의 개념도는 그림 2-4와 같다. 그림에서 컬러센서(color sensor)는 색감응 반도체 광센서이고, 제어부(controller)에는 마이크로프로세서 및 측정회로, 제어회로, 표시기가 포함되어 있으며, 미리 프로그램된 프로그램에 의해 가스 농도를 표시기에 표시하도록 구성하였다. 또한 조리개(aperture)는 조사광원(incident light)로부터 시료(sample)에 조사되지 않고 직접입사 되거나, 시료 이외의 영역에서 반사된 입이 직접적으로 입사되는 것을 최소화시키기 위한 것이다.

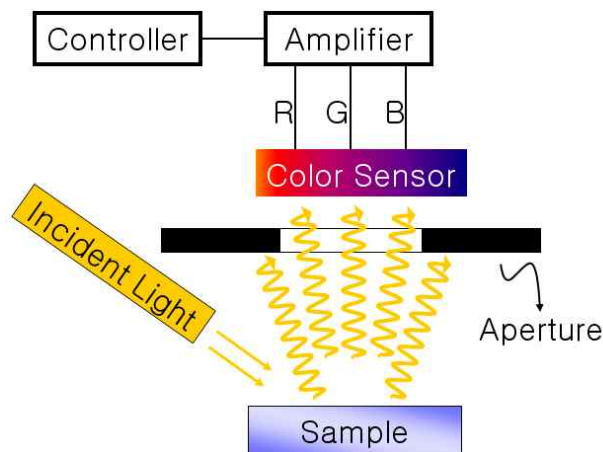


그림 2-4. 색측정 시스템 개략도.

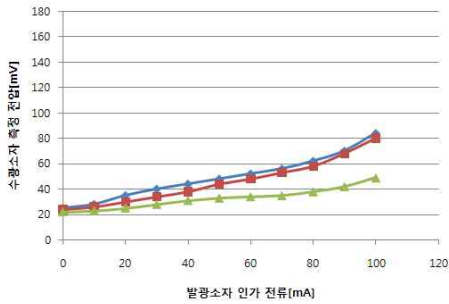
2. 기술개발 내용 및 결과

가. 가스흡착용 패들의 색변화 측정기 광학부 개발

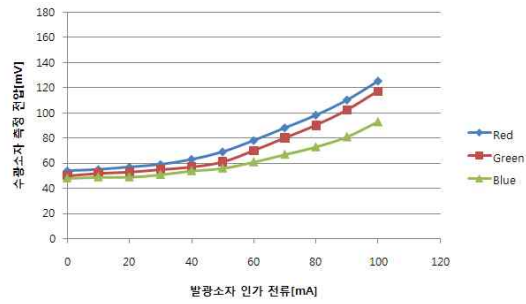
1) 컬러센서의 특성 조사

본 연구 목적에 타당한 컬러센서를 선정하기 위하여 그림 2-5와 같은 센서의 특성 조사를

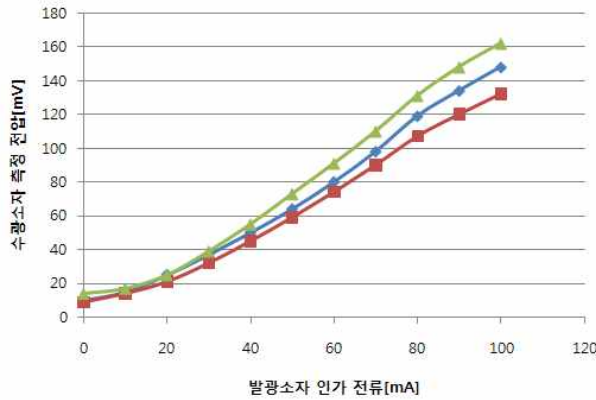
하였다. 그림 2-5(a), (b), (c)는 밝기에 따른 컬러센서 민감도이고, 사용된 광원은 백색 LED(IWV-UW5A2T, itswell, 대한민국)에 전류를 0 ~ 120 mA 까지 10 mA 단위로 인가하며, 3종류의 컬러센서 각각의 출력전압을 측정한 결과이다. (컬러센서 A는 미국제품이며, 칼라센서 B는 일본에서 여러 테스트를 거쳐서 구입하여 사용하였으며, 구체적인 제조회사와 모델을 기술하는 것은 주요 부품의 성능이 그대로 표시되기 때문에 본 보고서에서는 생략하였음)



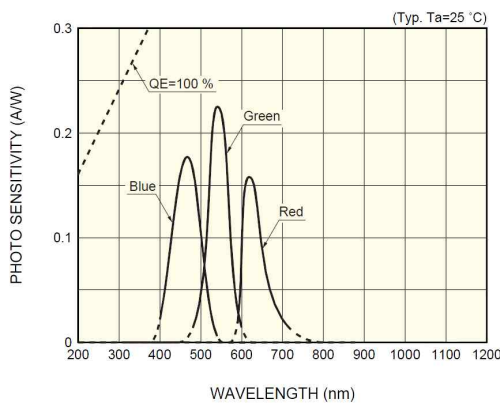
(a) 컬러센서 A



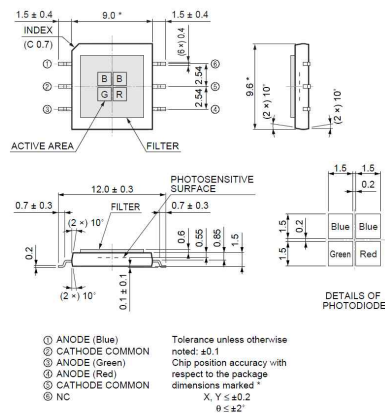
(b) 컬러센서 B



(c) 컬러센서 C (S7505-01, Hmamatsu, 일본)



(d) S7505-01의 파장에 따른 측정 민감도



(e) S7505-01 외형크기 및 특성

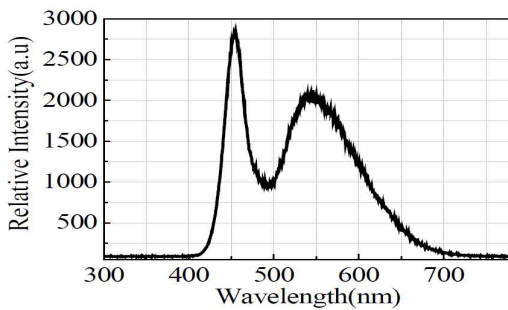
그림 2-5. 컬러센서 민감도 및 선택 센서의 특성

이상의 측정결과에서 컬러센서 A와 B에 비하여 반응의 민감도가 높은 컬러센서 C (S7505-01, Hmamatsu, 일본)를 선택하였다. 그림 2-5(d)는 컬러센서 C의 파장에 따른 측정 민

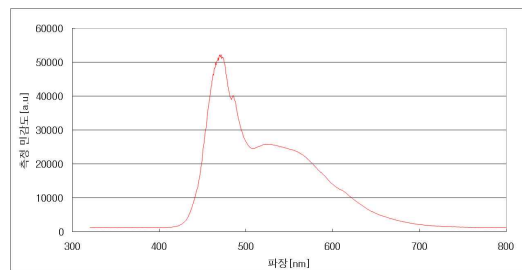
감도를 표현한 것으로 파란색 영역이 400 ~ 520 nm, 녹색영역이 480 ~ 590 nm, 적색영역이 580 ~ 730 nm 까지 측정된다. 그림 2-6(e)는 센서의 외형크기가 1 cm × 1 cm 이내이며, 파란색을 측정하는 영역을 2개 갖고 있다. 컬러센서 A와 B에서 파란색 영역의 측정 민감도가 현저함에 반해 C의 경우는 다른 영역과 비슷한 민감도를 갖고 있음을 알 수 있었다.

2) 수광소자의 특성 조사

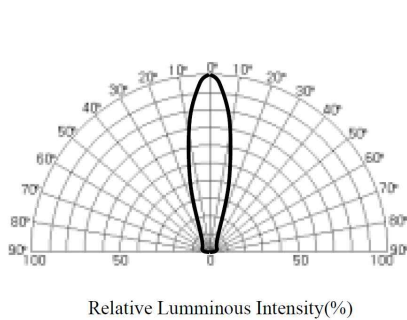
연구 측정기에 사용한 발광소자는 백색 LED(IWV-UW5A2T, itswell, 대한민국)로 그림 2-6과 같은 특성을 갖는다. 그림 2-6(a)는 파장에 따른 빛의 세기이다. 그림 2-6(b)는 IWV-UW5A2T를 흰색 종이에 반사시킨 후 분광광도계(SM-240, Korea Spectral Products, 대한민국) 측정한 것이다. 그림 2-6(a)와 (b)가 차이를 보이는 것은 산란(scattering) 세기는 파장에 반비례하는 것에 기인한 것이다. 그림 2-6(c)는 방사각에 따른 빛의 세기분포를 나타낸 것으로 일반적인 LED가 30도 이상 임에 반해 IWV-UW5A2T는 15도 이내인 특징을 갖는다. 이는 측정 영역의 조광 효율을 높이고, 그 외의 영역에서 발생하는 잡음(noise)을 최소화 할 수 있다. 그림 2-6(d)는 IWV-UW5A2T의 외형 크기이며, 이는 일반적인 5φ 고휘도 LED의 일반적인 크기이다.



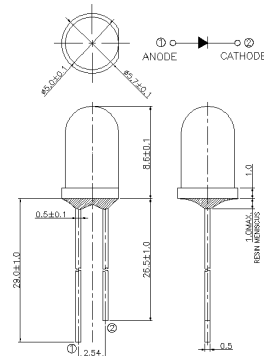
(a) 파장에 따른 빛의 세기



(b) 백색종이 산란에 의한 파장에 따른 빛의 세기



(c) 방사각에 따른 빛의 세기분포

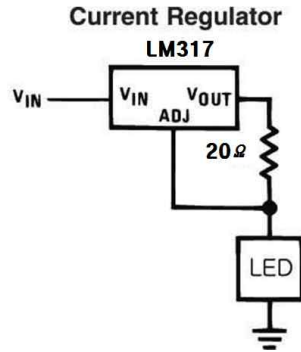


(d) 외형치수

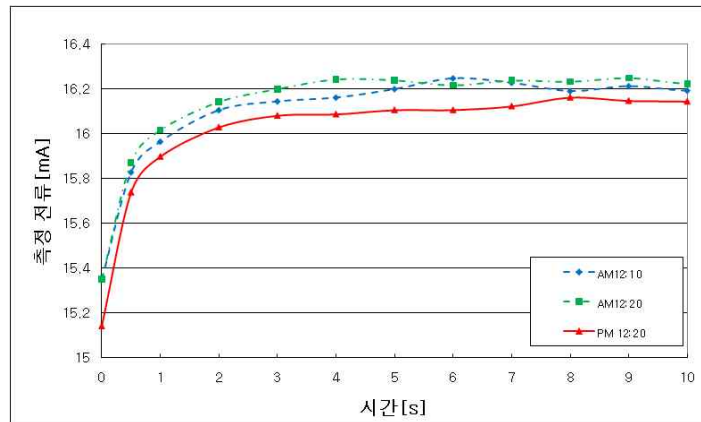
그림 2-6. 발광소자의 특성.

그림 2-7은 발광소자 인가 전류에 따른 컬러센서 측정전압 및 선택 센서의 특성이다. 시간에 따른 발광소자의 전류특성을 나타낸 그림이다. 그림 2-7(a)는 발광소자에 전원을 안정적으로 인가하기 위한 회로이다. 여기서 V_{in} 은 5V이고, LM317은 전류안정소자로 일반적인 LED 전원인가 시 가용되는 소자이다. 그림 2-7(b)는 V_{in} 에 전원을 인가 후, 시간에 따른 시간에 따

큰 빛의 밝기를 감광소자(photo diode) SP-1KL(Kodenshi, 일본)을 이용하여 전기신호로 전환 후, 오실로스코프(oscilloscope)를 통하여 측정한 결과이다. 측정결과 발광소자는 전원인가 4초 후 안정화됨을 확인하였고, 본 연구에서는 이 결과를 바탕으로 전원인가 10초 후 측정하도록 프로그램을 작성하였다.



(a) 발광소자 전원공급 회로



(b) 시간에 따른 발광소자 측정전류세기

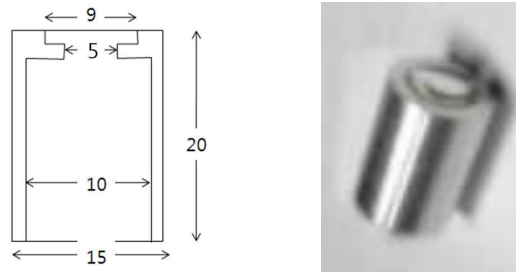
그림 2-7. 시간에 따른 발광소자의 전류특성.

나. 테스트용 부속도 측정기 개발

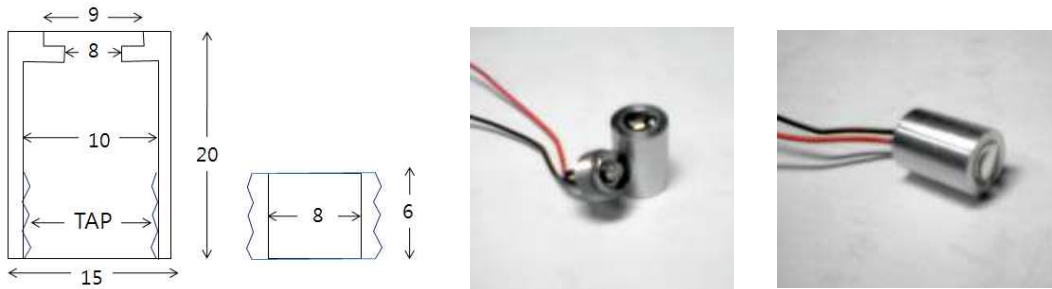
1) 광학부 개발

본 기술개발에서 제작된 가스흡착용 색변화 측정기 개발을 위하여 그림 2-8과 같은 실험을 진행 하였다. 그림 2-8(c)는 측정기의 광학부 설계를 위한 이미지 형성 실험이고, 그림 2-8(d)는 LED의 조광 각에 따른 변화를 측정하기 위한 실험이며, 그림 2-8(a)와 (b)는 (c)와 (d)에 사용된 렌즈와 LED의 마운트이다. 렌즈 마운트는 렌즈를 고정시키고 미세하게 위치를 변화시켜 초점거리를 맞출 수 있도록 제작되었고, 사용된 렌즈는 초점거리 6 mm이고, 지름이 9 mm이며, 렌즈 마운트 상단의 6 mm 홈에 에폭시를 이용하여 고정하였다. LED 마운트는 그림과 같이 2개로 구성 되어있다. 하나는 렌즈를 고정시키기 위한 것이며, 나머지 하나는 LED를 고정시키기 위한 것이다. 또한 LED 마운트는 내부에 나사산을 가공하여, LED를 고정시킨 너트를 움직여 LED와 렌즈 사이의 거리를 미세하게 조정할 수 있도록 하였고, LED와 렌즈가 결합된 렌즈 마운트 자체도 미세하게 위치를 변화시켜 조광 거리를 변경할 수 있도록 제작하였

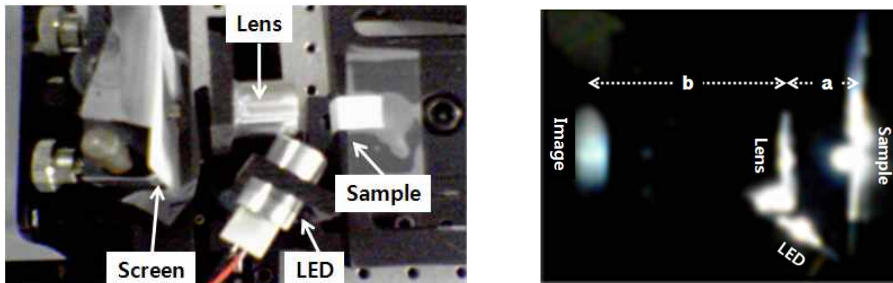
다. LED 집광을 위한 렌즈는 보다 많은 집광을 위해 초점거리 9 mm, 지름이 9mm 인 렌즈를 사용하였고, 렌즈에서 LED 까지의 거리를 초점거리보다 가까운 5 ~ 6 mm 설정하여 LED에서 발생된 빛이 시료에 평행빔에 근접한 형태로 조사되도록 구성하였다.



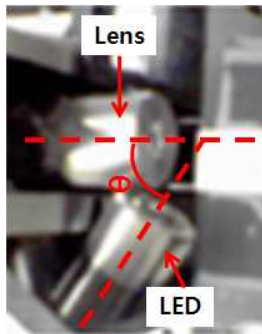
(a) 렌즈 마운트



(b) LED 마운트



(c) 광학부 설계를 위한 이미지 형성 기초실험



(d) 광학부 설계를 위한 조광 각 실험

그림 2-8. 광학부 설계를 위한 이미지 형성 실험 및 조광 각 실험.

그림 2-8(c)의 이미지 형성 실험은 초거거리 공식 (10)식에 의해 렌즈에서 시료까지의 거리 a 는 7 ~ 8 mm, 렌즈에서 이미지 까지의 거리는 30 ~ 31 mm 로 설정 후, 렌즈를 미세조정하여 초점 f 을 맞췄다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (10)$$

그림 2-9는 LED의 조사광원의 각 θ 를 변경하며(2-8(d)), 실험한 결과이고, 색상 점유율은 (11)식과 같다.

$$\text{색상점유율} = \frac{i_x}{i_R + i_G + i_B} \quad (11)$$

여기서 i_R, i_G, i_B 는 칼라센서의 적색, 녹색, 청색 각각의 영역에서 측정된 세기이며, i_x 는 해당 색지와 같은 영역으로 적색 색지의 경우 i_x 는 i_R 의 세기이며, 녹색 색지의 경우 i_G , 청색 색지의 경우 i_B 에 해당한다. 즉 센서 전체의 영역에서의 세기에 대한 해당 색상 영역에서 측정된 세기의 비율이다. 색상 점유율은 측정된 색상을 분별해내는 것으로 45° 이상의 각에서 상대적으로 높은 결과를 얻었다. 그러나 45° 이하의 각에서는 표준편차가 5% 미만임에 반해 45° 초과각에서는 표준편차가 15% 이상으로 급격하게 증가하였다. 이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서 개발한 측정기의 조사 각도는 45° 로 구성하였다.

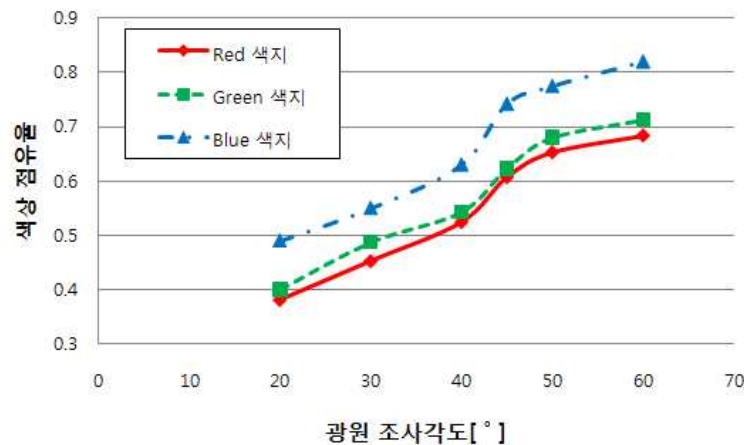
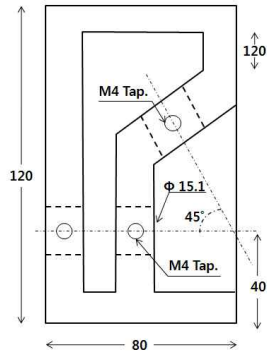


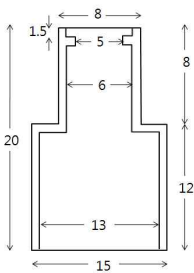
그림 2-9. 조사광원 각도에 따른 색상 점유율.

이상의 결과를 바탕으로 그림 2-10의 광학대를 제작하였다. 그림 2-10(a)는 이상의 측정결과(그림 2-8, 9)를 바탕으로 렌즈마운트(b)와 LED 마운트(c)를 배치할 수 있는 광학대이다. 또한 렌즈마운트와 LED는 외부의 빛에 대한 잡음을 최소화 하기 위하여 무광 검정색 ABS로 제작되었다. 렌즈마운트(그림 2-10(b)는 그림 2-8(a)의 렌즈마운트의 크기를 작게 제작함에 따라 결합 렌즈를 초점거리 6mm, 지름 6mm 로 변경하였다. 그 이유는 그림 2-8(c)와 (d)에서 렌즈마운트와 LED 마운트가 겹치는 문제를 해결하기 위한 것이다.

그림 2-10(E)는 본 연구에서 제작된 패들을 삽입하기 위한 패들 가이드이다. 그림 2-10(f)는 (a)와 (b), (c)를 결합한 그림으로, LED의 조광 각도가 45° 가 되게 설정 하였다. 또한 그림 2-10(g)는 외부에서 유입되는 빛을 차단하기 위한 광학대의 상부 덮개를 결합한 그림이고 그림 상 흰색 점선은 컬러센서가 결합되는 위치이다.



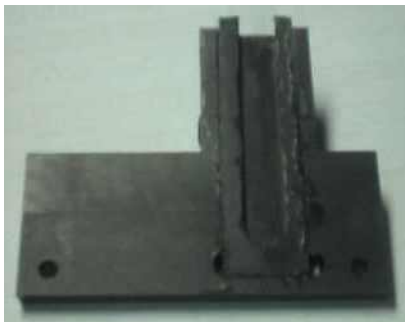
(a) 광학대



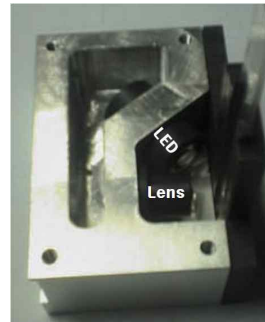
(b) 렌즈 마운트



(c) LED 마운트



(E) 패들 가이드



(f) 광학대 결합



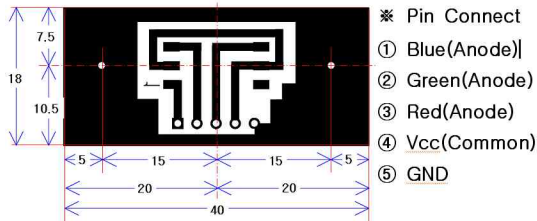
(g) 광학대 상부 덮개 결합(CSP : 센서 결합 위치)

그림 2-10. 테스트용 부속도 측정기 광학대 제작

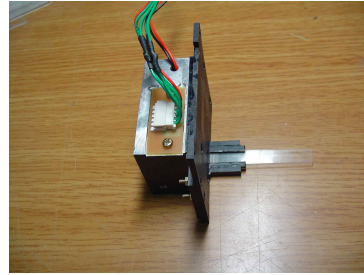
2) 회로 제어부 개발

그림 2-11(a)는 그림 2-5에서 선택한 컬러센서를 고정하기 위한 PCB(printed circuit board

: 인쇄 회로 기판)의 디자인이고, (b)는 컬러센서를 고정한 PCB를 광학대에 결합한 그림이다. 그림 2-12(a)는 표시장치 HLCD114A(comfile, 대한민국)로, RS232C 통신을 하며, 한글의 표현이 가능하고, LED 백라이트를 사용하며, 가로 11자 세로 4줄의 문자 표현이 가능하다.



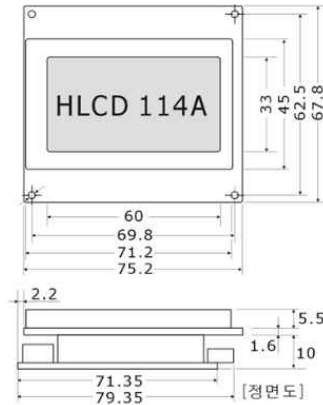
(a) 회로 설계 및 핀 배치



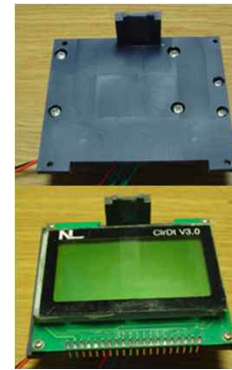
(b) 센서와 광학부 결합

그림 2-11. 테스트용 부속도 측정기 센서회로

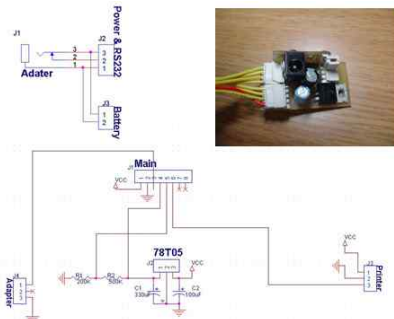
그림 2-12(b)는 표시장치와 광학대를 결합한 그림이다. 그림 2-12(c)는 전원회로이다. 전원회로는 정전압 레귤레이터 7805를 사용하여 5V의 전압을 안정적으로 공급할 수 있고, 배터리를 충전하는 역할을 한다. 그림 2-12는 광학대에 전원회로와 프린터를 결합한 그림이다. 프린터는 CP-500(옵티마전자, 대한민국)을 장착하여 측정결과를 출력할 수 있도록 구성하였다.



(a) 표시장치



(b) 광학대와 표시장치 결합



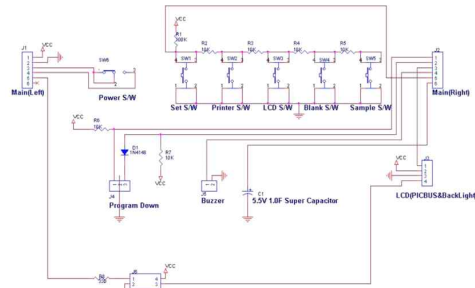
(c) 전원회로



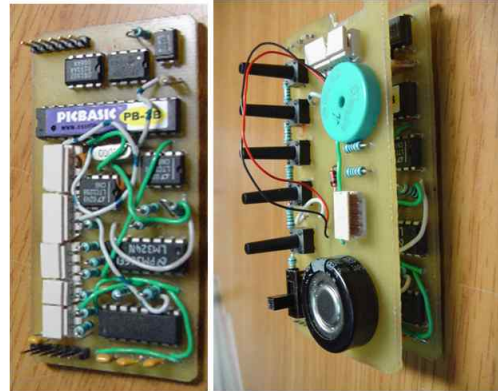
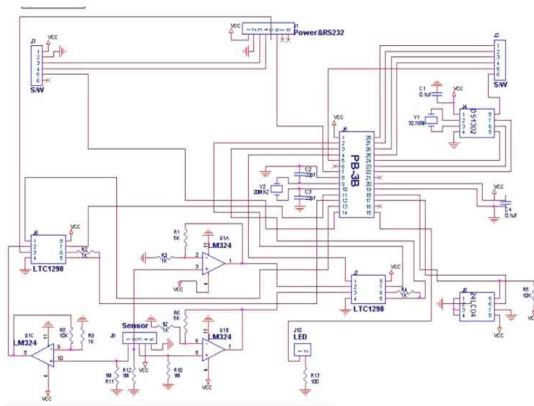
(d) 광학대와 전원회로 프린터 결합

그림 2-12. 테스트용 부속도 측정기 표시장치 및 프린터.

그림 2-13(a)는 회로의 스위치 부로 장치의 설정 및 프리트, 표시창 백라이트 On/Off, 측정, 정지의 5개의 스위치로 구성되었고, 부저를 추가 하여 버튼 조작음 및 동작 수행에 필요한 소리를 발생하도록 하였고, 대용량 캐패시터를 추가하여 갑작스런 전원 이상 시 마이크로프로세서를 보호 및 이상 동작을 방지하고, 전원 종료 시 RTC(real time clock) 소자에 전원을 공급하는 역할을 수행한다. 그림 2-13(b)는 주 회로로 마이크로프로세서 PB-3B(comfile, 대한민국)를 통하여 측정결과의 연산 및 동작제어 등의 동작을 수행 하도록 구성되어있고, 컬러센서에서 측정된 신호를 증폭하는 증폭회로가 구성되어있다. 또한 PB-3B의 10 bit ADC(analog to digital conversion)를 보완하기 위하여 LTC1298을 추가로 장착하여 12 bit ADC를 구성하였다. 그림 2-13(c)는 광학대에 리튬이온 배터리를 결합한 것으로, 리튬이온 배터리 3개의 셀을 직렬 연결하여 11.1 V, 2200 mA의 용량을 갖도록 구성하였다. 그림 2-13(d)는 (c)에 주 회로와 스위치 회로를 결합하고, 케이스를 고정시킨 것으로 전체의 크기는 90 × 195 × 30 mm 이다.



(a) 스위치 회로



(b) 주 회로

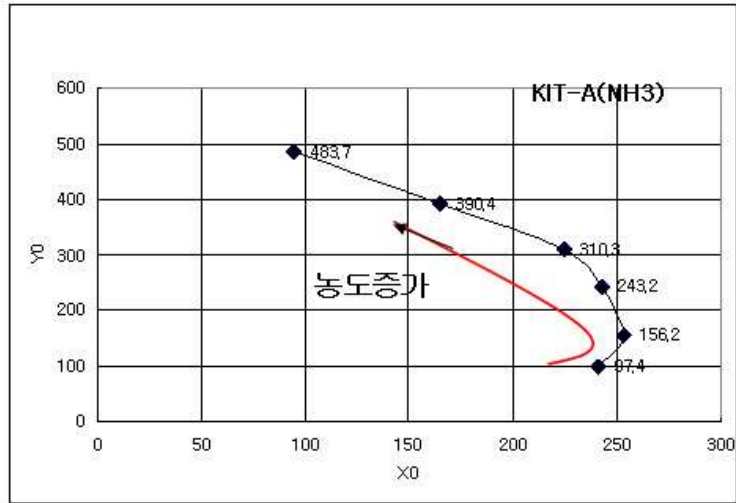


(c) 리튬이온 배터리 결합

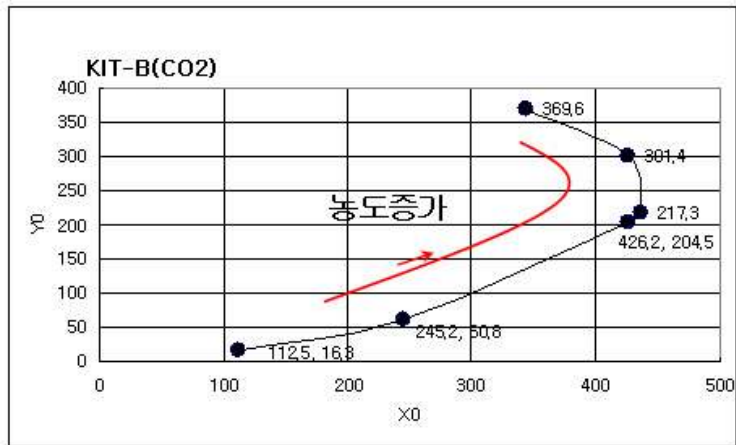


(d) 완성된 테스트용 개발품

그림 2-13. 테스트용 부속도 측정기.



(a) 암모니아 농도에 따른 패들 색 변화 측정



(b) 이산화탄소 농도에 따른 패들 색 변화

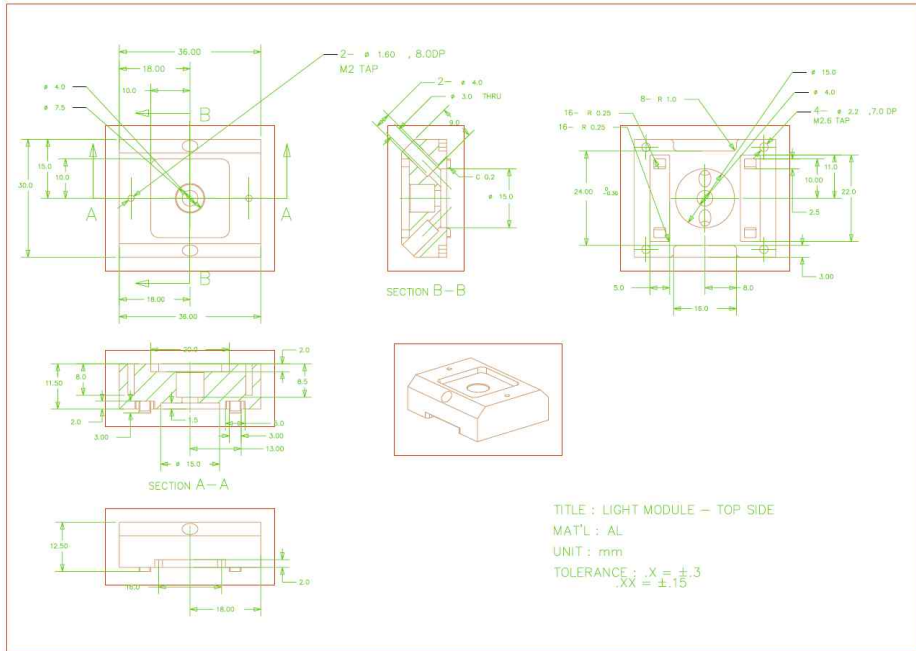
그림 2-15. 테스트용 부속도 측정기를 이용한 측정(암모니아, 이산화탄소 농도별 테스트 결과이며, 많은 결과 중에 대표적인 내용만 제시함).

다. 시제품용 부속도 측정기 개발

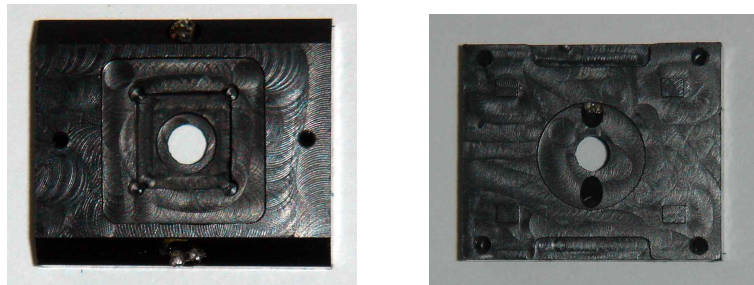
1) 광학부 개발

1차 테스트용 부속도 측정기의 개발을 기반으로 2차 시제품용 부속도 측정기 광학부를 제작하였다. 그림 2-16(a)가 시제품용 광학대의 설계도이고 그림 2-16(b)가 시제품용 부속도 측정기 광학대 제작 사진이다. 시제품용 개발 내용은 광학 등 전문적인 내용은 제2세부과제에서 설계하고 일반 부품은 주요 부품 설계도에 적합하도록 제1세부과제에서 설계하고 가공하여 조립할 수 있도록 진행시켰다.

따라서 본 보고서에는 광학과 관련된 전문 주요 부품에 대한 내용은 제2세부과제 보고서에 기재하였으며, 일반 부품의 내용은 제1세부과제에 기재하였다. 2차 시제품용 부속도 측정기 광학대는 검정색 무광 ABS로 제작되었으며, 1차 테스트용에 비해 그 크기를 대폭 줄이고 조립 또한 간편하도록 제작하였다. LED의 경우 1차 테스트용과 같은 소자를 사용하였으나, 렌즈의 경우 광학대의 크기를 줄이기 위해 휴대폰 카메라에 사용되는 초점거리가 2 mm 인 렌즈를 사용하였다.



(a) 설계도



(b) 제작된 광학대

그림2-16. 2차 시제품용 부속도 측정기 광학대(제2세부과제가 설계하고 제1세부과제가 금형제작함).



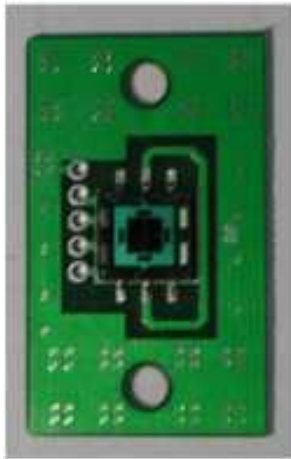
(a) 렌즈



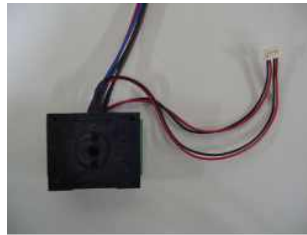
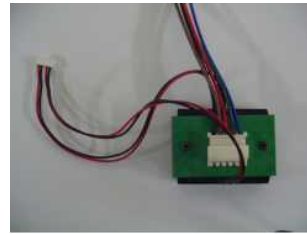
(b) 렌즈가 조립된 광학대

그림 2-17. 2차 시제품용 부속도 측정기 광학대 렌즈.

제2세부과제의 설계도에 따라 제1세부과제가 제작한 광학대에 칼라센서회로, 광학대가 조립된 형태는 그림2-18과 같다. 광원과 센서가 결합된 광학대는 제조상의 편리성을 감안하여 제작하였다. 그림2-18(a)은 1차 테스트용 부속도 측정기의 회로(그림 2-18(a))를 양산용으로 제작한 회로이며, 그림 2-18(b)은 광학대와 결합한 사진이다.



(a) 컬러센서 회로

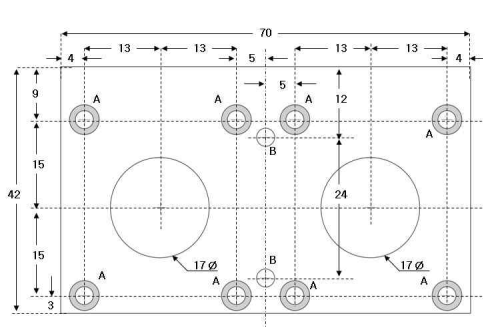


(b) 광학대와 결합

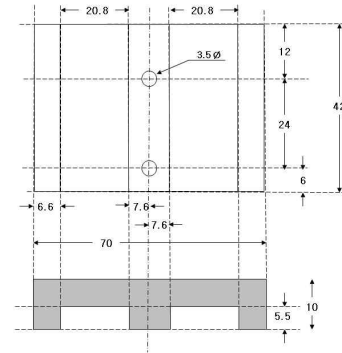
<그림2-18> 광원과 센서가 결합된 광학대

테스트 버전에서 하나의 광학대로 Kit A와 Kit B를 순차적으로 처리하는 번거로움과 측정 시간의 단축을 위해 2차 시제품용 부속도 측정기에서는 두 개의 광학대를 동시에 연결하여 Kit A와 Kit B를 동시에 측정할 수 있도록 2개의 광학대가 동시에 부착 가능한 패들 가이드를 제작하였다(그림2-19). 그림2-19(a)는 렌즈의 초점거리를 맞추기 위한 스페이서로 2mm 두께로 제작되어 렌즈에서 패들의 측정 면까지 2.8mm를 유지하게였다. 그림 2-19(b)는 스페이서와 결합하여 패들이 정확하게 위치할 수 있도록 제작하였으며, 스페이서와 패들 가이드를 결합한 것이 그림 2-19(c)이다. 결합된 패들 가이드와 광학대 두 개를 결합한 것이 그림 2-19(d)이다.

1차 테스트용 부속도 측정기의 광학대에서 발생했던 가장 큰 문제점의 하나가 바로 패들 가이드 틈으로 유입된 이물질에 의한 측정 오차였다. 2차 시제품용 부속도 측정기에서는 이를 해결하기 위해 먼지 덮개를 설치하였으며, 슬라이드 방식으로 측정 후 덮개를 덮어 이물질의 유입을 차단하도록 하였다. 2차 시제품용 부속도 측정기의 광학대는 광학대의 크기를 줄이고 양산성을 높이기 위하여 조립의 간편함을 취하였으며, 두 개의 광학대를 적용하여 측정의 시간 및 번거로움을 최소화 하였다.



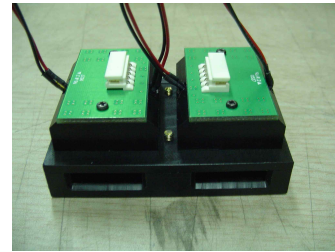
(a) 스페이서



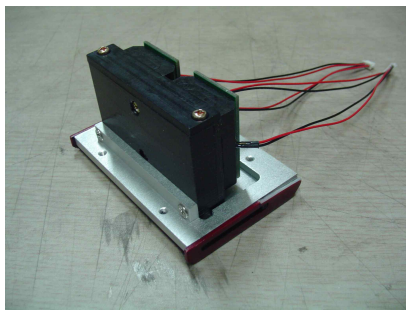
(b) 패들 가이드



(c) 결합된 패들 가이드



(d) 광학대와 결합된 패들 가이드



(e) 먼지 덮개와 결합된 광학대

그림2-19. 패들 가이드가 결합된 광학대.

2) 회로제어부 개발

1차 테스트용 부속도 측정기에서 제작된 회로는 양산이 힘든 연구실 단위에 실용적인 방법에 의해 제작된 PCB이다. 2차 시제품용 부속도 측정기에서는 양산이 가능하도록 회로를 설계하였다. 또한 1차 테스트용 부속도 측정기에서는 상용되는 LCD(표시창) 모듈(LCD 제어회로)을 사용함에 반해, 2차 시제품용 부속도 측정기에서는 PIC16C65/74와 AT27LV256R-J의 프로세서를 실장하여 LCD 제어회로를 완성하여 그 크기를 줄이고, 전체의 회로를 컨트롤함에 따라 최적화를 꾀하였다(그림 2-20). 또한 기존의 정전압 레귤레이터인 7805를 대신 KA378R05를 사용함으로써, 보다 낮은 전압에서 출력을 얻으므로, 1차 테스트용 부속도 측정기에서 리튬이온 배터리 3개를 직렬 연결하여 5V / 1A 출력을 얻은 반면 리튬이온 배터리 2개로 5V / 3A 출력을 얻을 수 있다. 이는 비교적 고가인 리튬이온 배터리 사용을 줄이고, 전체의 크기를 작게 할 뿐만 아니라, 출력 안정성이 향상되어 프린터 동작 중에도 측정을 가능이 성능을 보였다.

2차 시제품용은 1차 테스트용 부속도 측정기와 달리 2개의 광학대를 동시에 측정하므로 이를 충족시킬 수 있는 회로가 필요하며, 그림 2-20은 2차 시제품용 부속도 측정기의 측정 회로도이다. 앞에서 언급한바와 같이 2개의 광학대를 동시에 측정하기 위하여 컬러센서 2개에서 입력된 측정신호를 증폭하고, 12bit ADC를 수행하는 LTC1298을 추가로 구성하여 Kit A와 B를 동시에 측정하도록 추가 구성하였다.

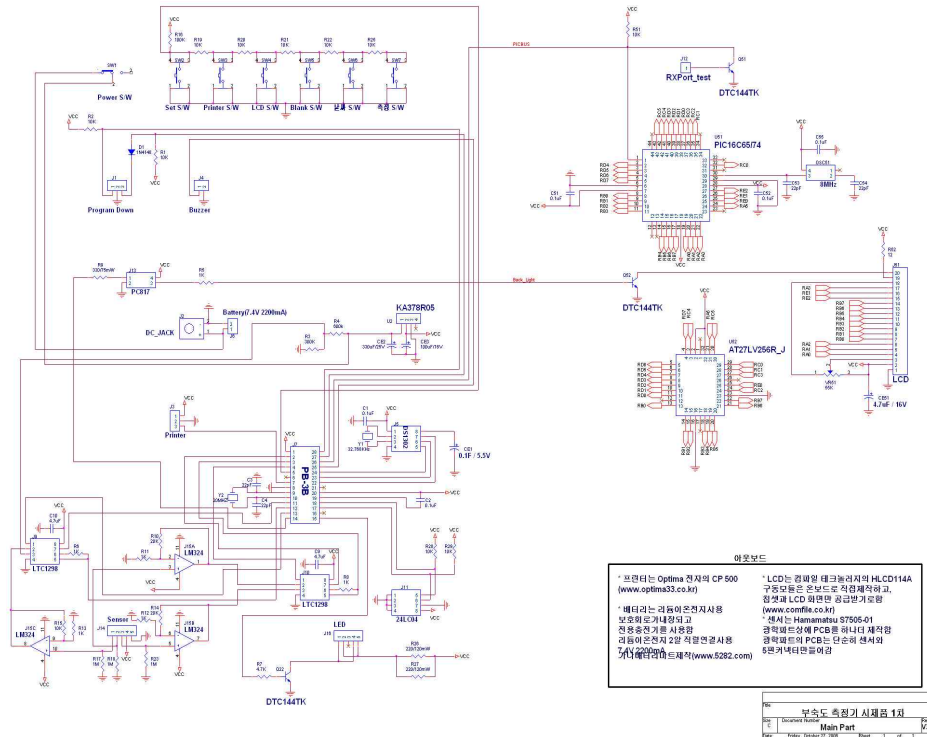


그림 2-20. 2차 시제품용 부속도 측정기 주 회로도(제1세부과제 보고서에도 내용 전개상 기술하였음).

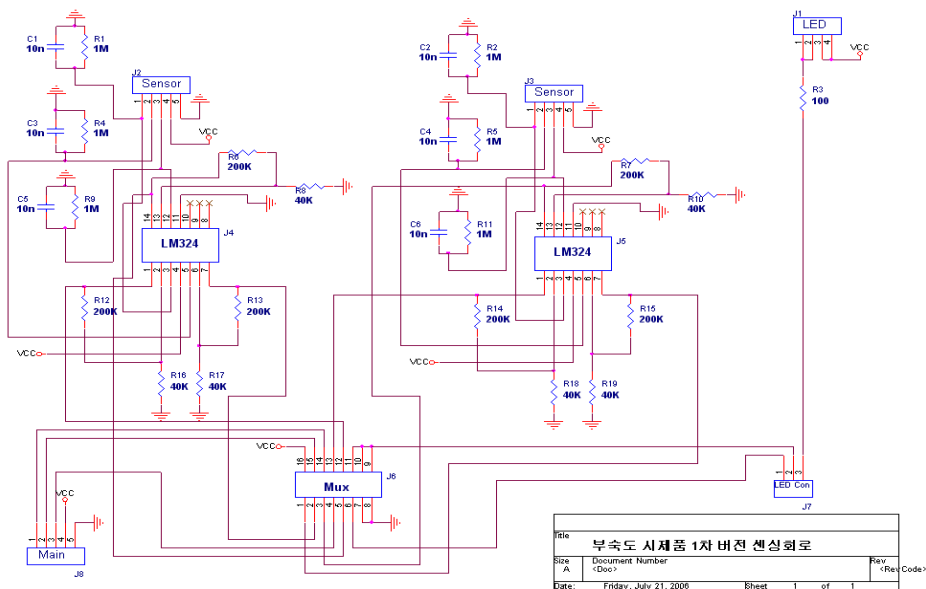
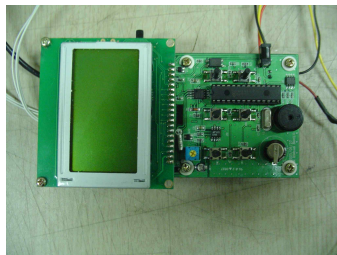
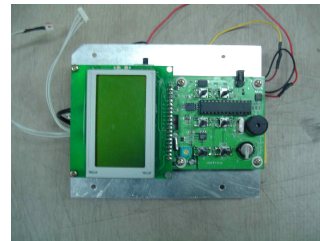


그림 2-21. 2차 시제품용 부속도 측정기 센싱 회로도(제1세부과제 보고서에도 내용 전개상 기술하였음).

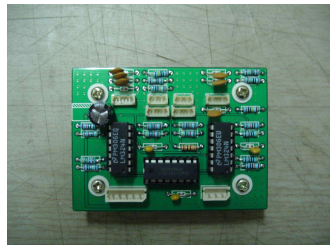
그림 2-22는 2차 시제품용 부속도 측정기를 제작하는 과정이다. 그림 2-22(a)는 그림 2-20의 회로도를 제작한 것으로 LCD 제어 모듈을 실장하므로, 주 회로에 LCD를 직접 연결한 것을 확인할 수 있으며, 이는 단가 절감 및 양산성 향상, 회로 최적화 이점을 취할 수 있었다. 또한 주 회로를 그림 2-22(b)와 같이 알루미늄 받침대에 연결하여 전기적 잡음을 줄일 수 있도록 하였다. 그림 2-22(c)는 그림 2-21의 회로도를 제작한 것이다. 이는 그림 2-22(b)위 뒷면에 부착한다(그림 2-22(c)). 또한 알루미늄 받침대에, 리튬이온 2셀을 직렬연결하여 7.4 V, 2200 mAh 출력을 갖는 배터리를 장착하였다. 알루미늄 받침대는 잡음의 차단 효과와 더불어 그림 2-22(c)에서 제작된 회로들을 케이스에 한 번에 부착 할 수 있는 이점이 있다. 이와 같이 알루미늄 받침대를 사용하여 케이스에 부착된 것이 그림 2-22(e)이고, 그 위에 제품의 보호 및 시각 효과를 위하여 명판을 붙이고(그림 2-22(g)), 프린터를 장착하고, 그림 2-19에서 완성된 광학대를 설치하였다. (그림 2-22(h)).



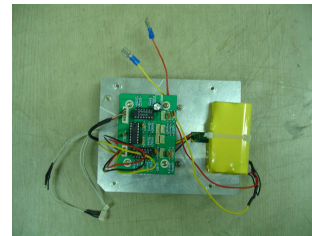
(a) 주회로



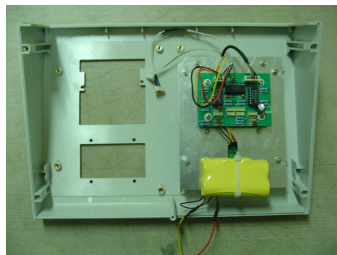
(b) 알미늄 받침대에 주 회로 결합



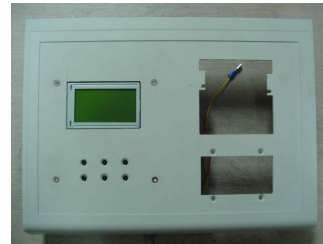
(c) 측정회로



(d) 측정회로 및 배터리 결합



(e) 케이스에 주회로 결합



(g) 케이스에 명판 부착

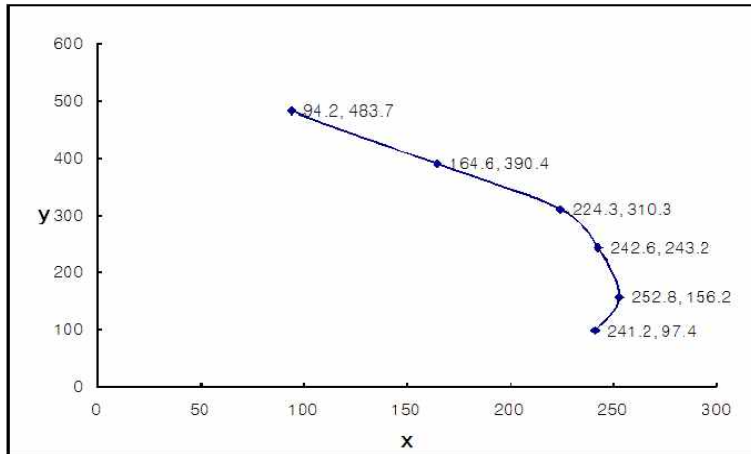


(h) 프린터 및 광학대 부착

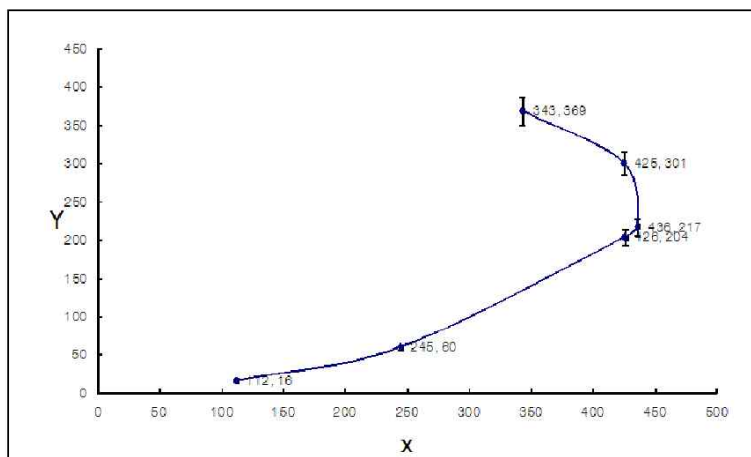
그림 2-22. 2차 시제품용 부속도 측정기 제작 과정.

3) 프로그램 개발

개발되어진 2차 시제품용 부속도 측정기는 프로그래밍 관점에서 볼 때 동시에 Kit A와 B를 측정한다는 점을 제외하고 동일하나 측정결과를 종합하여 측정결과에 대한 판정을 해야 한다는 점에서 큰 차이를 보인다. 측정결과에 대한 판정은 제3세부과제에서 시행한 퇴비의 부속 단계별 암모니아 가스(Kit A)와 이산화탄소 가스(Kit B)의 측정결과를 기준으로 각각 가스의 발생량별 실험을 통하여 측정기의 판정의 기준 값을 측정한 결과이고, 그에 따른 프로그램의 조건문이 표 2-1이다. 또한 조건문 이외의 범위에서는 프로그램 상에 '잘못된 측정' 임을 표시하도록 프로그램 되어 있으며, 프로그램 전문을 부록에 첨부 하였다.



(a) Kit A(NH₃)



(b) Kit B(CO₂)

그림 2-23. 측정 결과의 판정을 위한 표준화 실험.

표 2-1. 측정결과의 판정을 위한 조건문

	x	y
1	-	$437 \leq y$
2	$x < 300$	$350 \leq y < 437$
3	$100 < x$	$277 \leq y < 350$
4		$200 \leq y < 277$
5	$x < 400$	$127 \leq y < 200$
6		$y < 127$

(a) Kit A(NH3)

	x	y
1	$x < 178$	$y \leq 200$
2	$178 \leq x < 336$	
3	$336 \leq x$	$y \leq 211$
4		$211 \leq y < 259$
5		$259 \leq y < 336$
6		$336 \leq y$

(b) Kit B(CO2)

라. 상품용 부속도 측정기 개발

2차 시제품의 주 회로와 측정회로가 분리 되어있던 것을 하나로 통합한 3차 상품용 부속도 측정기의 회로도도 그림 2-24과 같다. 주 회로와 측정회로를 통합함으로써, 양산성을 극대화 시켰으며, 회로의 통합으로 불필요한 회로도 제거 시킬 수 있었다. 또한 1차, 2차 부속도 측정기에서 사용하였던 마이크로 컨트롤러 PB-3B를 CB280(comfile, 대한민국)으로 업그레이드 시켜 계산 능력은 물론 많은 입출력 포트의 지원으로 1, 2차 부속도 측정기에서 기대할 수 없었던 많은 부가 기능을 추가 할 수 있었다. 우선 1차, 2차 부속도 측정기에서 사용하였던 ADC 소자인 고가의 LTC1298을 제거하면서도 CB280 자체의 10bit ADC를 사용하므로 측정 정밀도의 저하를 최소화 하면서 측정시의 생산 비용을 절감 할 수 있다. 또한 하드웨어를 지원하는 rs232c 통신을 이용하여 통신방식변환소자(cp2102)을 추가하여 컴퓨터와 USB 통신을 구현 할 수 있도록 회로를 구성 하였으며, 측정된 data를 컴퓨터로 손쉽게 전송할 수 있게 되었다. CB280에 내장되어있는 EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)을 이용하여 측정된 측정결과를 영구보관 할 수 있도록 프로그램 하였다.

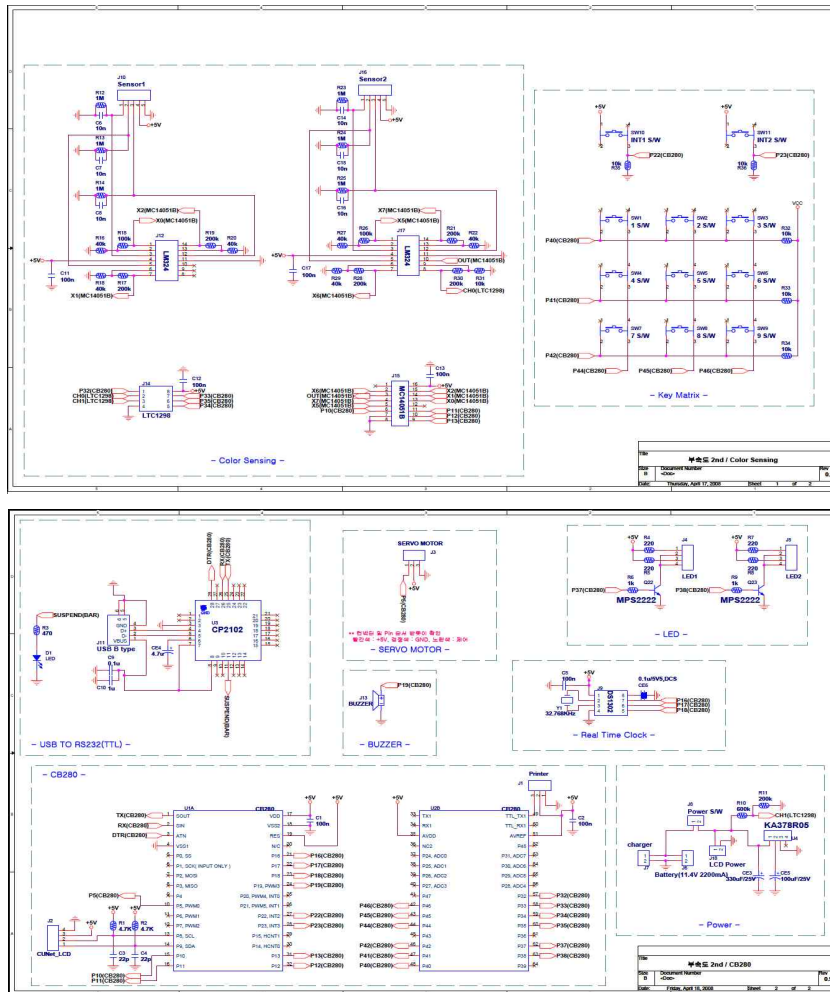
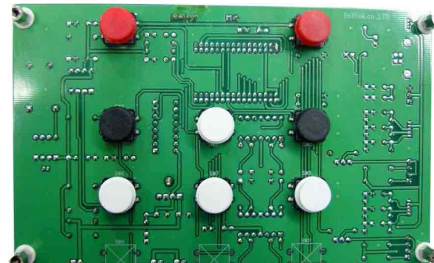


그림 2-24. 3차 상품용 부속도 측정기 회로도.

그림 2-25는 3차 상품용 부속도 측정기 회로이고, 앞에서 언급한 바와 마찬가지로 주 회로 및 측정회로를 내장하고 있다. 또한 컬러센서의 측정에 있어서 R, G, B 각각의 영역에서 얻어진 측정 결과는 같은 조건의 회로에 한하여 (1) ~ (9)식에 기술한 이점을 최대한 살릴 수 있다. 이러한 이점을 최대한 발현하기 위하여 컬러센서에를 통하여 들어온 신호를 멀티플렉서(multiplex)이용하여, 각각의 측정단에 대하여 하나의 회로를 통하여 측정되도록 설정하여 회로 간에 발생하는 차이를 최소화 할 수 있도록 구성하였다.



(a) 전면



(b) 후면

그림 2-25. 3차 상품용 부속도 측정기 회로.

그림 2-26는 2차 시제품용 부속도 측정기에 수동으로 닫히도록 설정되어 있던 광학부 덮개를 마이크로 프로세서에서 RC-servomotor를 구동하여 자동으로 닫히도록 설정하여, 사용자의 실수로 광학부 내로 이 물질이 유입되는 것을 최소화 하였다.

또한 측정의 편의와 시인성 향상을 위하여 표시창을 GHB-224C(comfile, 대한민국)으로 변경하였다.

그림 2-28은 3차 상품용 부속도 측정기의 제작이 완료된 상태이다. 전체 케이스를 알루미늄으로 구성하여 전자적 차폐 효과를 한층 강화 시켰으며, 광학대 내부에 패들이 삽입 여부를 켈리센서를 통해 확인하여, 자동으로 광학대 덮개를 닫도록 설정하였다(그림 2-28(a)). 또한 대화형 프로그램을 표시창의 하단에 표시하여 별도의 교육을 받지 않고도 누구나 손쉽게 측정 할 수 있도록 프로그램 하였다. 3차 상품용 부속도 측정기의 프로그램 전체를 부록에 첨부하였다.



그림 2-26. 3차 상품용 부속도 측정기의 광학부 자동 덮개.



그림 2-27. 3차 상품용 부속도 측정기의 표시창(GHB-224C).



(a) 패들이 삽입되지 않은 경우



(b) 패들이 삽입된 경우

그림 2-28. 3차 상품용 부속도 측정기.

표 2-2은 3차 상품용 부속도 측정기를 사용하여 반복하며 측정한 결과이다. Kit A의 경우 x 값이 101 ± 1.25 , y 값이 567 ± 2.47 이었으며, Kit B의 경우 x 값이 71 ± 1.25 , y 값이 647 ± 1.89 로 표준편차가 1% 미만으로 좋은 재현성을 나타내고 있다.

표 2-2. 3차 상품용 부속도 측정기의 재현성 측정

KitA						KitB					
번호	R	G	B	X	Y	번호	R	G	B	X	Y
1	89	509	291	100	572	1	70	626	269	72	648
2	91	506	293	102	568	2	67	624	269	69	650
3	89	507	294	100	569	3	70	624	273	72	645
4	88	505	295	99	568	4	69	624	273	71	645
5	92	506	296	102	565	5	70	625	273	72	645
6	90	507	296	100	567	6	70	625	273	72	645
7	91	504	297	102	565	7	70	626	273	72	646
8	90	506	295	101	567	8	69	625	272	71	646
9	90	506	295	101	567	9	67	626	271	69	649
10	93	507	299	103	563	10	68	625	271	70	648
평균	90.3	506.3	295.1	101	567	평균	69	625	271.7	71	647
표준편차	1.494	1.337	2.183	1.25	2.47	표준편차	1.247	0.816	1.636	1.25	1.89

제 3절 제3세부 측정기 기능 검증(협동과제)

본 세부과제는 제1세부과제의 상품화를 위한 제품개발과 제2세부과제의 측정기 모듈 및 디자인의 결과로 제작한 시제품을 이용하여 농자재 발생 가스 측정의 정밀도를 개선시키기 위한 것이다. 전체적인 기술개발의 흐름이 협동기관 회로디자인(제2세부) → 주관기관 제품화(제1세부) → 기능검정 및 정밀도 향상을 위한 문제점 파악 및 제품 적용의 과정을 거쳐서 수행하였다.

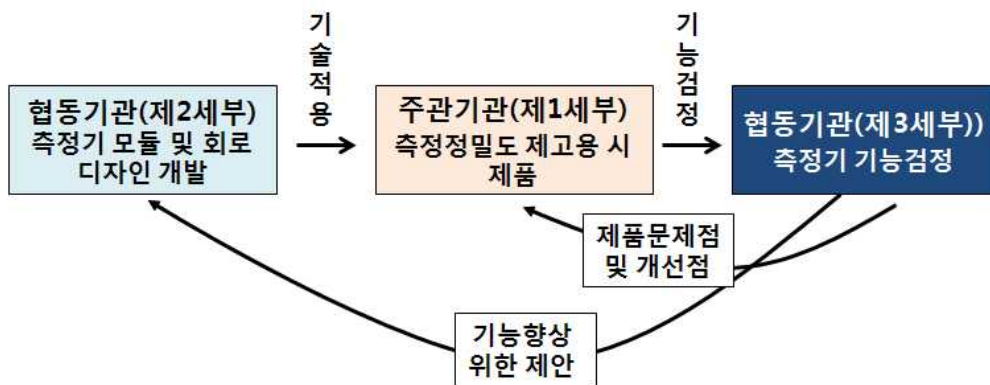


그림 3-1. 전체 과제에서 본 제3세부과제의 역할과 연구 흐름도.

1. 재료 및 방법

가. 가스 누적 흡착용 패들 매질 제조

암모니아와 이산화탄소 가스 흡착제는 기존의 국내 자료(이숙현, 강원대 학위석사논문, 2003), SOLVITA[®] 자료 등을 기초로 여기서 사용한 지시약 및 방법을 벤치마킹하여 제조하였다. 이와 SOLVITA[®]에서 패들제조에 사용하는 방법은 매질로 한천(agar)을 사용하고 있다. 그러나 한천 매질은 천연물질이라서 곰팡이 균에 약하여 쉽게 부패되기 때문에 유효기간이 짧고, 또 흡습율이 낮아 쉽게 건조되는 단점이 있다. 이러한 단점들을 개선, 보완하기 위하여 패들의 매질을 새로운 물질로 대체할 필요가 있다. 본 연구에서는 패들의 유효기간이 짧고 곰팡이에 의한 부패를 방지하기 위하여 화학적으로 합성한 폴리머를 사용하여 이러한 패들의 단점을 보완하기 위한 실험을 수행하였다.

또한 암모니아와 이산화탄소 측정용 패들 제조를 위해 매질과 발색지시약, 용매 등이 비율과 온도를 조절하면서 혼합하여 가스 누적 흡착용 패들매질을 제조하였고, 제1세부과제에서 개발된 가스 흡착용 패들 틀에 첨가하여 부속도 측정기용 패들을 제조하였다.

제조된 패들이 검증을 위해 제1세부와 제2세부과제에서 개발된 부속도 측정기와 가스 정량 분석을 수행하였다.

1) 가스흡착용 매질 선정

가스흡착용 패들의 매질 개선을 위해 부패율이 낮고 흡습도가 높은 물성을 나타내는 폴리머로는 여러 자료들을 검토한 결과, A폴리머, B폴리머(회사의 Know-How)등이 적합함을 확인하

였다.

폴리머 조성비 비교 실험을 거쳐 한천 대신에 폴리머를 매질로 사용한 새로운 패들을 제작하였고, 최적 조건을 실험한 결과는 다음과 같다(표 3-1). A폴리머는 분자량이 70,00~100,000인 Sigma-Aldrich 제품과 국내에서 생산되고 있는 분자량 4,000 (pH 5~7)의 동양제철화학 제품을 사용하여 물성을 상호 비교하였다.

표 3-1. 패들 키트의 조성비와 물성 비교

순위	A폴리머	B폴리머	Boric acid	H ₂ O	비 고
1				25 mL	점도 낮음
2				25 mL	점도 높음 균질성 불량
3				25 mL	점도 높음 gelation 불량
4				25 mL	점도 높음 gelation 불량
5				25 mL	점도 낮음
6				25 mL	점도 적합
7				25 mL	점도 적합 발색 양호

* 매질시약 제조과정을 주관기관이 특허 출원예정이므로 본 보고서에는 상세내용을 제외하였음

2) 가스흡착용 매질의 항균성 실험

위와 같은 방법으로 새로운 폴리머 매질을 사용하여 제조한 암모니아 측정용 키트를 제조하고, 이를 사용하여 암모니아가스의 농도를 측정하였다. 시료로는 비교적 암모니아 발생량이 많은 돈분을 사용하여 그 유효성을 검증하였다. 그림 3-2와 같이 유리접시에 돈분과 기존의 암모니아 측정용 키트, 그리고 새롭게 제조한 키트를 4종을 사용하여 그 성능을 비교하였다.

암모니아 농도 및 경과 시간별로 구분하여 성능 비교실험을 수행한 결과, 기존 제품과 매질을 바꾼 시제품 간에는 동일한 발색 및 농도를 나타내고, 한천 매질을 A폴리머와 B폴리머 매질로 교체하는 것이 바람직한 것으로 확인되었다. 한천 대신 폴리머 매질로 교체하였을 때 항균성이 향상되는지 그 효능을 확인하기 위하여 항균성 실험을 수행하였다. 항균성 실험은 키트의 발색제 부분에 바실러스(bacillus) 곰팡이 균을 점적한 후 온도 37°C, 습도 약 90~95%의 인큐베이터에서 곰팡이 균의 번식 여부를 상대 비교하는 방법으로 수행하였다. 이러한 방법으로 항균성을 상호 비교한 실험에서 두 매질은 약 2주가 경과된 후부터 차이를 보이기 시작했고, 한천 매질을 A폴리머와 B폴리머 매질로 교체할 경우, 항균성이 개선되는 것으로 확인되었다.



(암모니아가스 흡수 전)

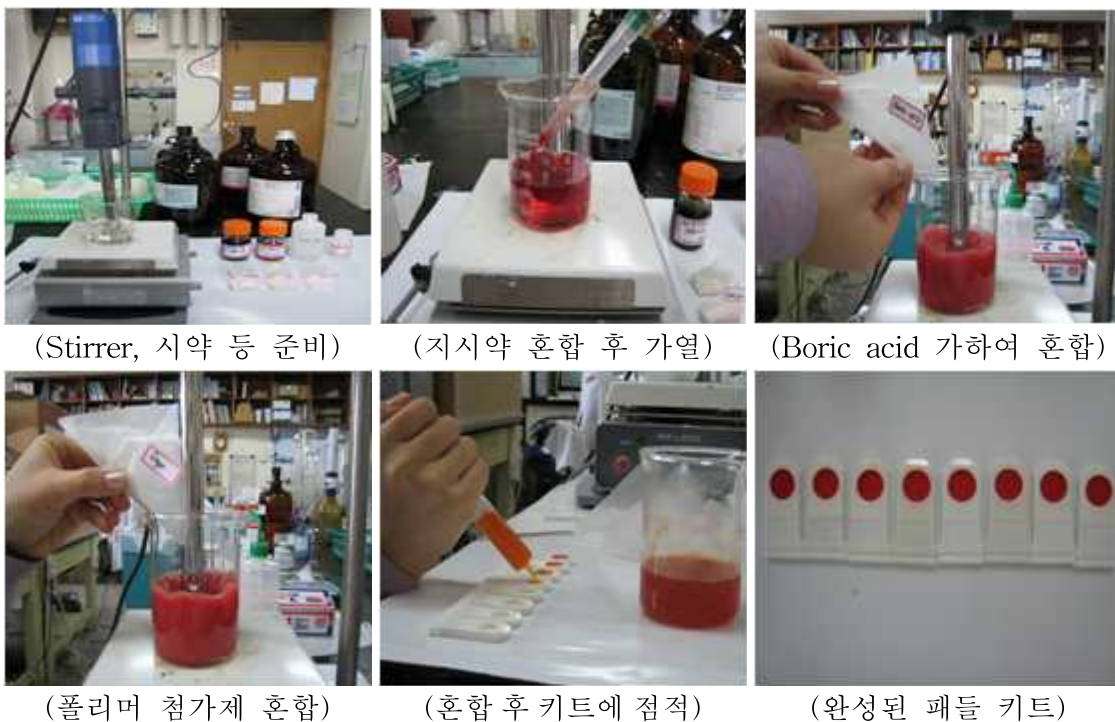
(암모니아가스 흡수 후 변색)

그림 3-2. 퇴비 발생 암모니아가스 측정 실험

3) 암모니아 및 이산화탄소 측정용 패들 제조

패들 매질제조는 핵심기술로 주관기관의 know-how이며, 향후 특허출원 예정이므로 주관기관의 요청으로 본 보고서에서는 상세내용을 생략하였다. 암모니아 측정용 패들은 한천, B폴리머 매질로 사용하였고, 암모니아 측정을 위해 5종의 발색시약(주관기관의 know-how로 상세기술 생략함)을 선정하였다. 혼합 지시약 제조를 위해 각각의 발색지시약의 양을 조절하면서, 에탄올과 증류수의 비율을 조절하여 최적의 지시약 조제 조건을 선정하였다.

그림 3-3은 암모니아 측정용 패들의 제조과정을 나타낸 것으로 100 ml 증류수에 일정량의 혼합지시약을 70~80℃로 가열하면서 넣고, Boric acid를 넣고 한천과 B폴리머 양을 조절하여 넣고, 매질이 잘 녹으면서 섞이도록 온도와 속도를 조절하여 측정용 패들을 제조하였다.



(Stirrer, 시약 등 준비)

(지시약 혼합 후 가열)

(Boric acid 가하여 혼합)

(폴리머 첨가제 혼합)

(혼합 후 키트에 점적)

(완성된 패들 키트)

그림 3-3. 암모니아 측정 패들 제조 과정.

이산화탄소 측정용 패들은 암모니아 측정용 패들 제조에 사용된 폴리머로 사용하였고, 이산화탄소 측정을 위해 5종의 발색지시약을 선정하였다. 각각의 발색지시약을 달리하여 에탄올에 녹이고 NaOH용액을 소량씩 첨가하여 녹색을 띠도록 한 다음 증류수를 첨가하여 혼합 지시약을 조제하였다.

그림 3-4는 이산화탄소 측정용 패들의 제조과정을 나타낸 것으로 100 ml 증류수에 혼합 지시약, 산용액을 첨가한 다음 NaOH용액을 소량씩 가하여 노랑색이 주황색, 연녹색, 진녹색으로 변할 때 까지 추가하였고, 한천과 B폴리머를 첨가하여 잘 녹으면서 섞이도록 온도와 속도를 조절하여 측정용 패들을 제조하였다. 그리고 이산화탄소 측정용 패들 검증 시 NaOH용액 첨가량에 따라 측정값이 반복 간에 편차가 너무 커서, 색의 변화를 일정하게 하기위해 NaOH 용액의 양을 100 ml의 패들을 제조할 경우 일정량 첨가하도록 하였다.

제조된 암모니아, 이산화탄소 측정용 패들은 매질을 굳힌 후 밀봉하여 냉장 보관하여 사용하였다.

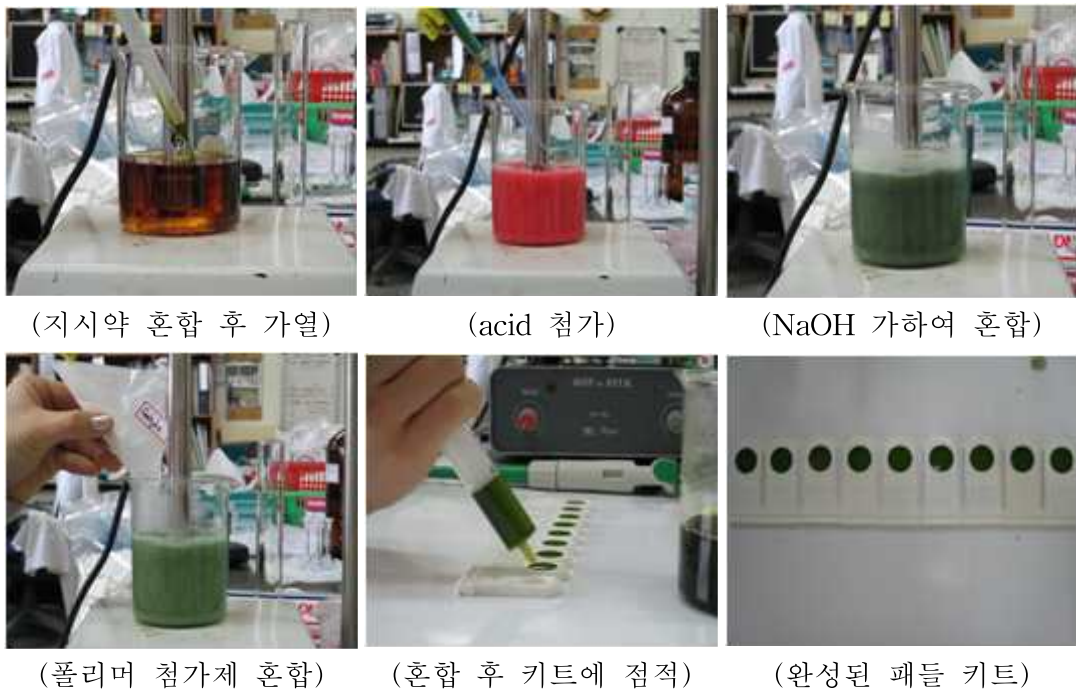


그림 3-4. 이산화탄소 측정 패들 제조 과정.

제조된 암모니아와 이산화탄소 측정용 패들은 시약비율을 결정하기 위해 제1세부과제에서 제공한 한천으로 제조된 표준키트와 B폴리머를 매질을 사용한 실험용 키트, 한천과 B폴리머를 혼합한 실험용 키트, 작업성, 경도, 색상을 검토하였다.

나. 가스흡착용 패들 및 부속도 측정기의 기능 검정

제1세부과제와 제2세부과제에서 개발한 부속도 측정기를 이용하여 패들의 매질 및 혼합지시약 배합비를 변화시키면서 패들의 성능 개선 실험 및 기능 검정을 동시에 실시하였다.

반복 실험에서 나타나는 문제점들을 제1, 2 세부과제와 협의하여 측정기의 기능을 개선하였고, 측정 정밀도 개선을 위해 수차례의 반복 실험 데이터를 각 연구팀에 제공하고, 각 연구팀에서 문제점들을 보완한 후, 재차 반복하여 교정하는 단계별 실험과정을 거쳐 정밀도를 개선하였다.

1) 암모니아 측정용 패들의 가스 흡착 실험

암모니아 측정용 패들의 매질 및 혼합지시약의 조성을 변화시켜 제작한 실험용 키트-A와 제1세부과제에서 제공한 한천으로 제조된 표준키트-A를 비교분석하였다.

암모니아 가스 발생은 농도별로 조제한 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10~2000 ppm 용액 10ml를 포집용기에 넣고 포집용기의 뚜껑에 부착된 패들 홀더에 패들(Kit-A)를 고정시킨 다음, NaOH 용액 주입에 의한 암모니아 가스의 휘발을 방지하기 위하여 뚜껑을 닫았다. 주사기를 이용하여 NaOH용액 10 ml를 주입하고 교반기에서 30분간 반응시킨 후 암모니아 가스를 발생시켰다.

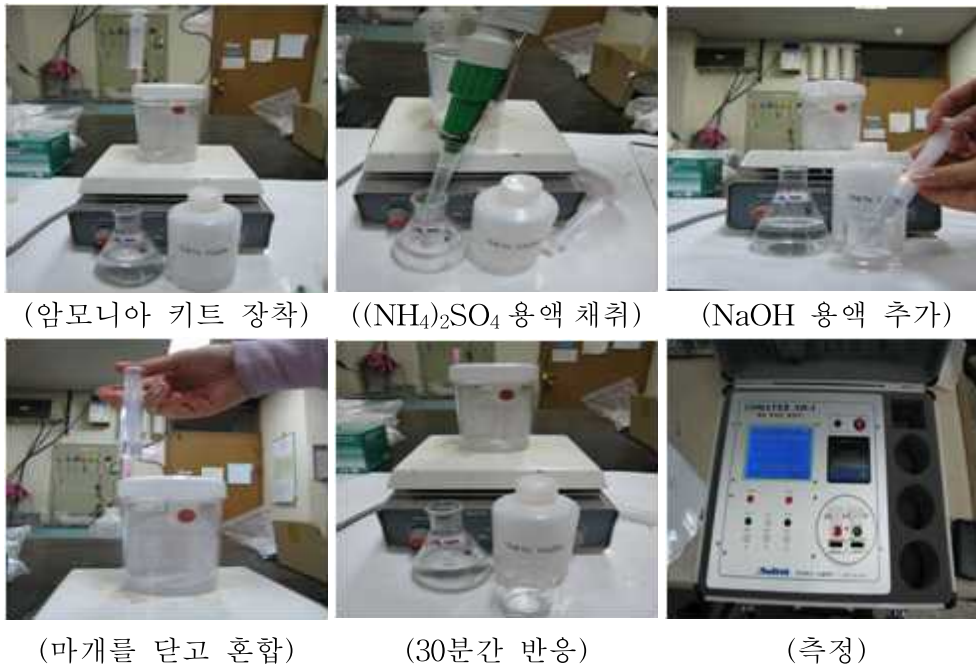


그림 3-5. 암모니아 측정용 패들의 가스 흡착 실험과정.

2) 이산화탄소 측정용 패들의 가스 흡착 실험

이산화탄소 측정용 패들의 매질 및 혼합지시약의 조성을 변화시켜 제작한 실험용 키트-B와 제1세부과제에서 제공한 한천으로 제조된 표준키트-B를 비교분석하였다.

이산화탄소 가스 발생은 CaCO_3 일정량을 가지달린 플라스크에 넣고 지달린 플라스크와 부속도판정용기는 실리콘 튜브로 연결하여 밀폐시켰다. 패들(Kit-B)는 부속도판정용기의 뚜껑에 부착된 패들 홀더에 고정시켰다. HCl 용액은 공기의 유입을 방지하기 위하여 HCl용액 100mL

를 주사기로 주입하였고 교반기에서 30분간 반응시킨 후 이산화탄소를 발생시켰다.

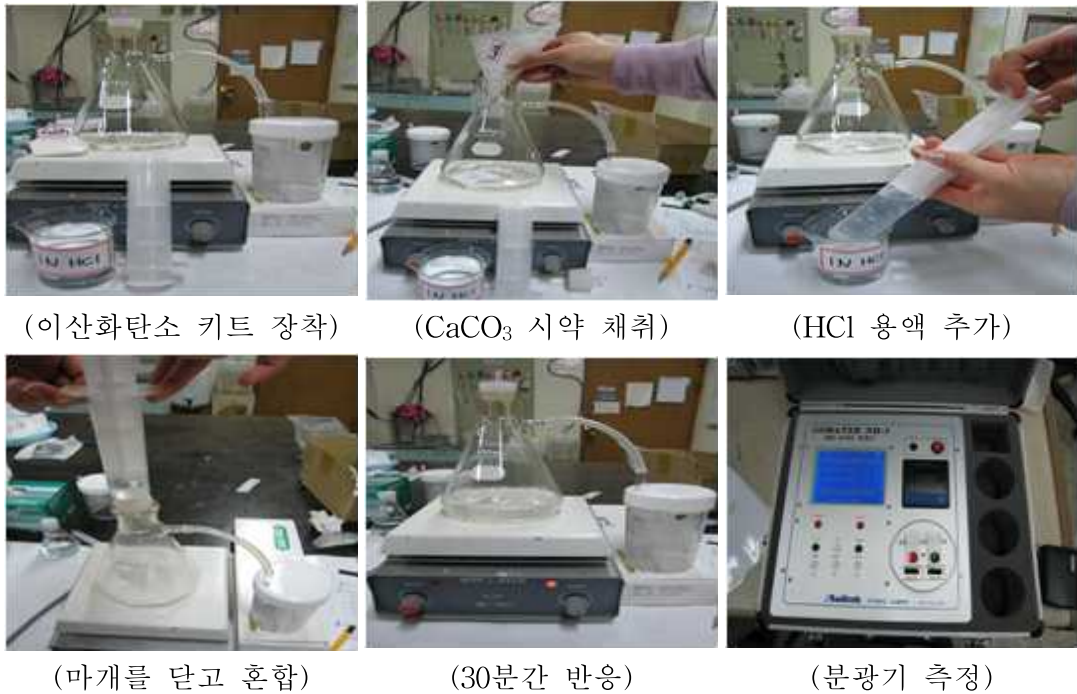


그림 3-6. 이산화탄소 측정용 패들의 가스 흡착 실험 과정.

3) 가스 흡착실험을 이용한 패들 및 측정기 기능 검정

제1세부과제와 제2세부과제에서 개발한 부속도 측정기를 이용하여 매질 및 혼합지약의 조성을 변화시켜 제작한 실험용 패들(Kit A, B)와 제1세부과제에서 제공한 한천으로 제조된 표준키트(Kit A, B)를 가스 흡착실험에 이용한 패들을 이용하여 측정하였다.

측정방법은 부속도 측정기를 부속 판정 모드에서 R, G, B 출력모드로 설정한 다음 X, Y축 값이 결과값을 확인하여, 패들의 매질효과, 발색시약 비율 등을 정립하였고, 측정기의 재현성등 기능을 검정을 하였다.

다. 전도성 폴리머를 이용한 비색법 측정 모듈 개발

본 연구는 연구범위에는 포함되어 있지 않으나 개발과정에서 도출한 아이디어로 전도성 폴리머인 C폴리머 film을 트랜스듀서로 이용하면 암모니아 가스 검출용 화학센서를 제조할 수 있다. C폴리머는 비교적 값싼 모노머로부터 높은 수율로 편리하게 합성될 수 있고, 그의 전도성 형태가 우수한 화학적 안정성과 비교적 높은 전기 전도성을 갖는다. 그리고 용액으로 가공된 C폴리머를 얇은 필름형태로 코팅할 수 있어서 용이하게 암모니아 가스 검출용 센서로 활용할 수 있다.

농자재 발생 암모니아 가스의 측정에 C폴리머를 적용하기 위한 가능성을 탐색하였다. 분자량이 다른 emeraldine base의 C폴리머3종 (Aldrich co., Mw 20,000, 10,000, 5,000)을 이용하여 C폴리머 필름을 제작하였다.

C폴리머 필름은 C폴리머분말 chloroform에 녹이고, 초음파분쇄기에서 용해시킨 후 여기에

도데실벤젠술포산 (Aldrich co., 70% solution in 2-propanol)을 가하여 용액으로 만든 후, 이를 얇은 유리판에 코팅하여 암모니아 가스의 농도에 따른 검출감도를 조사하였다.

라. 퇴비의 부숙도 측정

1) 퇴비 부숙도 측정 시료채취

퇴비 부숙 기간 동안의 가스 정량은 제1세부과제에 퇴비제조공장에서 채취한 시료를 지원 받아 진행하였다. 퇴비 부숙 단계별 시료 채취를 위한 퇴비는 제주도 한림읍 금악리에 소재한 퇴비 제조 공장(삼다비료)의 강제송풍 교반식 발효시스템을 활용하여 스크루 교반기 및 에스켈 레이터식 교반기를 이용하여 교반하면서 퇴비화하는 과정에서 부숙 단계별 시료를 채취하였다



그림 3-7. 실험에 사용된 퇴비 제조과정

① 퇴비 부숙기간별 암모니아 가스 측정용 시료

그림 3-7의 퇴비 제조과정에서 부숙단계별 시료를 채취하였다(표 3-2).

표 3-2. 퇴비 부숙단계별 시료의 종류

재료	자재	비고
돈분	돈분	
혼합발효	6개월~12개월 자연발효	돈분+식물박+동물성유기질 +토양개량제
교반기-1	1일~5일	
교반기-2	5일~10일	
교반기-3	10일~15일	
교반기-4	15일~20일	
제품	완제품	

② 부숙도 측정기 및 정량분석을 위한 시료

그림 3-7의 퇴비 제조과정에서 부숙단계별 시료를 1차 돈분퇴비 시료는 부숙 경과일에 따라 각각 15일 경과, 45일 경과, 60일 경과한 3 종류 시료를 채취하였다. 그리고 2차 시료는 당일, 15일 경과, 45일 경과, 60일 경과한 4 종류 시료를 채취하였다.

2) 퇴비 부숙기간별 암모니아 가스 정량

퇴비 부숙과정에서 발생하는 가스는 가스를 포집한 후에 측정기기를 이용하여 측정하였다. 그 중에 작물에 피해가 가장 큰 암모니아 가스의 포집과정과 측정과정을 설명하면 다음과 같다. 퇴비의 부숙 과정에서 배출한 암모니아 가스의 양을 측정하기 위하여 Handy Air Sampler (Kimoto, Model HS-7)와 배출가스 검출용 콘웨이(cone way)를 이용하여 인도페놀 발색제와 산성 용매에 흡수시킨 후, 이 용액을 사용하여 정량분석하였다. Handy Air Sampler포집용 용액은 소량의 붕산을 증류수에 녹여 사용하였다. Handy Air Sampler법에서는 붕산용액이 담긴 2개의 임핀저(impinger)를 퇴비가 들어있는 용기에 연결하여 약 0.5 L/min의 유속으로 퇴비 발생 가스를 흡입하여 포집하였다. 콘웨이용 인도페놀 발색제는 페놀-니트로프로시드 나트륨 혼합 용액과 차아염소산 나트륨 용액을 사용하였다. 콘웨이법의 경우, 암모니아 가스는페놀-니트로프로시드 나트륨 용액 2 mL, 차아염소산 나트륨 용액 2 mL로 15분간 포집하였다(그림 3-2).



(Handy Air Sampler 포집)



(퇴비시료 1.0~2.0 g 정취)



(인도페놀 발색제 정취)



(콘웨이 암모니아가스 포집)

그림 3-8. Handy Air Sampler와 콘웨이에 의한 암모니아 포집.

이러한 방법으로 퇴비에서 배출된 암모니아 가스를 포집한 용액을 사용하여 UV-Visible Spectrophotometry와 Ion Chromatography법으로 NH_4^+ 농도를 분석하였다. Indophenol법에 의한 암모니아 가스의 정량분석은 Handy Air Sampler에 의해 채취한 암모니아를 pheol-nitroprusside 및 sodium hypochlorite로 발색시켜, UV-Visible spectrophotometer를 사용하여 640 nm 파장으로 흡광도를 측정하여 흡광도를 비교하는 방법으로 정량분석하였다. 또

Ion Chromatography법에 의한 암모니아의 정량분석은 Handy Air Sampler에 의해 채취한 암모니아를 NH_4^+ 양이온으로 전환시킨 후 ion chromatograph (Metrohm Modula IC, 907 IC pump, 732 IC detector)를 사용하여, Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 column, 1.0 mL/min flow rate, 20 μL injection volume, 4.0 mM tartaric acid / 1.0 mM pyridine-2,6-dicarboxylic acid eluent의 조건으로 분석하였다. 이 때 정량분석용 검정곡선은 NH_4^+ 농도가 서로 다른 7개의 표준용액을 사용하여 작성하였다(표 3-3~4, 그림 3-9~10).

표 3-3. 암모니아 분석을 위한 UV-Visible Spectrophotometer와 Ion Chromatograph의 기기조건

기기	제작사 / 모델	분석 조건
UV-Visible Spectrophotometer	Biochrom / Libra S22	$\lambda = 400 \sim 900 \text{ nm}$ $\lambda_{\text{mix}} = 640 \text{ nm}$
Ion Chromatograph	DIONEX / DX-500	컬럼: Ionpac CS12 유속: 1.3 mL/min 용리액: 20 mM MSA 검출기: Conductivity

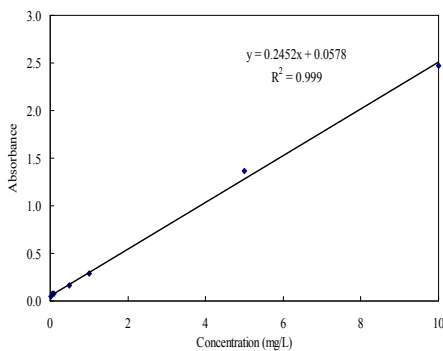


그림 3-9. NH_4^+ 분석 검정곡선

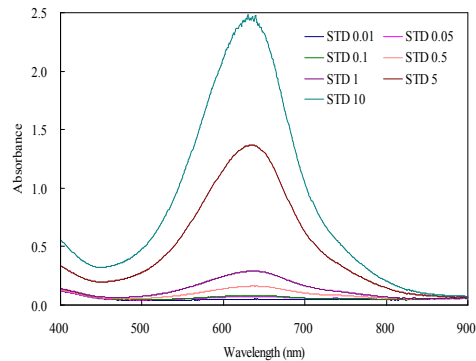


그림 3-10. 표준용액의 Visible spectra

표 3-4. NH_4^+ 표준용액 농도의 흡광도 ($\lambda_{\text{max}} = 640\text{nm}$)

표준용액 농도 (mg/L)	0.01	0.05	0.1	0.5	1	5	10
흡광도	0.05	0.07	0.08	0.16	0.29	1.36	2.47

3) 퇴비 부숙기간별 암모니아 및 이산화탄소 변화(1차)

1차 돈분 퇴비 시료는 퇴비 약 500g을 트레이에 넣고 가스 발생량을 증가시키기 위해 샘플에 물 500mL를 추가하여 밀폐된 챔버(40×40×60cm)에 넣은 후 암모니아 및 이산화탄소 발생

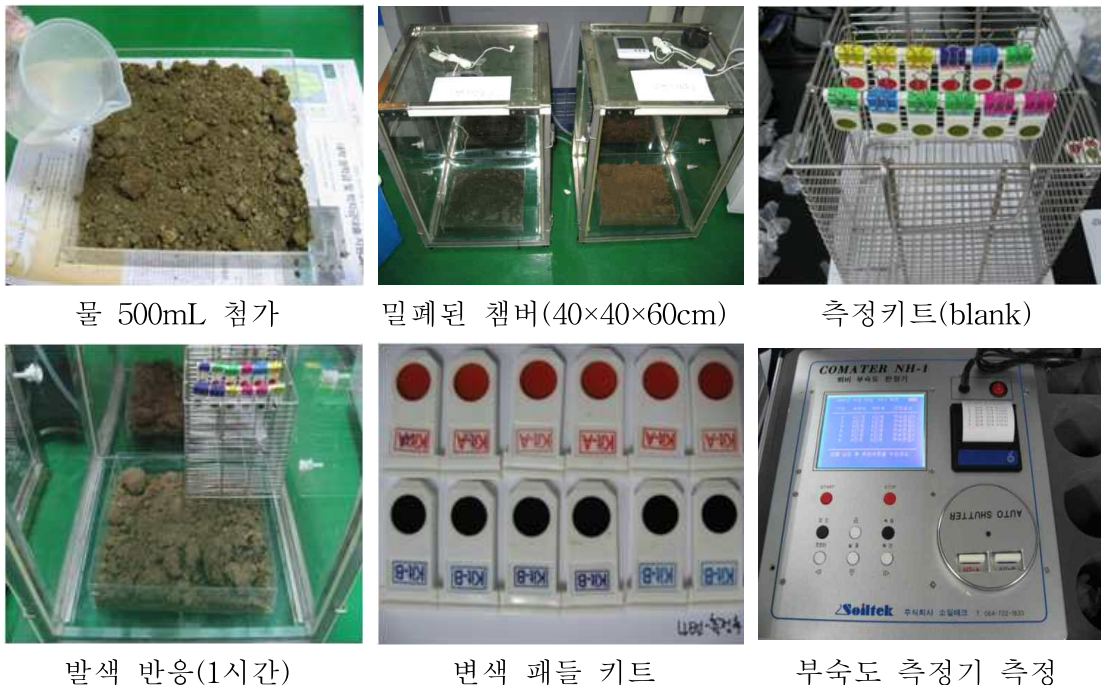
량을 측정하였다. 이 때 챔버의 내부 온도는 $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 정도로 유지하였고, 1시간 동안 방치하여 충분히 가스가 발생한 후, 암모니아(Kit-A), 이산화탄소(Kit-B) 측정용 키트를 챔버 내부에 넣어 다시 1시간 방치한 후 부속도 측정기를 사용하여 변색된 패들의 RGB 값을 측정하였다

암모니아 발생량은 정밀분석을 위하여 암모니아용 Kit-A 외에 인도페놀법으로 동시에 측정하였다. 인도페놀법에 의한 암모니아 측정용 시료는 10% boric acid 용액이 담긴 임핀저(SIVATA, 모델 KP-10 low air sampler)를 챔버에 연결하여 챔버 내부의 암모니아 기체를 10mL/min 유속으로 5분간 흡입, 포집하여 이 용액을 인도페놀법으로 정량분석하였다.

Indophenol법에 의한 암모니아 가스의 정량분석은 임핀저의 암모니아 흡수용액 일정량에 phenol-nitroprusside, sodium hypochlorite 용액을 가하여 1시간 동안 발색시킨 후, UV-Visible spectrophotometer (Biochrom, 모델 Libra S22)를 사용하여 640nm 파장에서 흡광도를 측정하여 정량분석하였다.

또한 이산화탄소 발생량 역시 정밀분석을 위하여 Kit-B 외에 GC/TCD로 분석을 병행하였다. GC/TCD 분석을 위한 이산화탄소 시료는 테들러백(타트레이딩이엔지, polyester aluminum bag, 5L)을 사용하여 채취하였고, 시료는 3L/min 유속으로 약 5분 동안 채취하였다

테들러백으로 채취한 이산화탄소는 GC(HP, 모델 5890)에 TCD 검출기를 연결한 GC/TCD를 사용하여 정량분석하였다. 이 때 GC 분석은 80 mesh charcoal 충전 column(SUS, 2.4mm, length 2.0m), oven 및 detector temperature 180°C , injection temperature 110°C , He carrier gas, injection volume 1.0mL, flow rate 30mL/min의 기기조건으로 분석하였다.



물 500mL 첨가

밀폐된 챔버(40×40×60cm)

측정키트(blank)

발색 반응(1시간)

변색 패들 키트

부속도 측정기 측정

그림 3-11. 돈분퇴비의 부속도 판정 시험 과정 (1차 실험)



이산화탄소 채취(테들리백) GC/TCD 분석기기 이산화탄소 분석 결과

그림 3-12. 암모니아와 이산화탄소 채취 및 분석 (1차 실험)

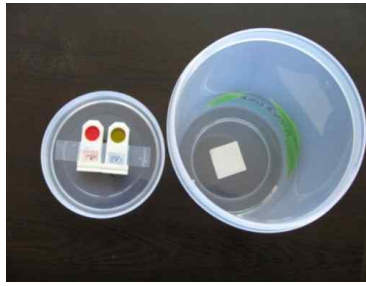
4) 퇴비 부숙기간별 암모니아 및 이산화탄소 변화(2차)

2차 돈분 퇴비 시료는 당일 돈분 슬러지(1번~2번), 15일 경과 퇴비(3번~4번), 45일 경과 퇴비(5번~6번), 60일 경과한 퇴비(7번~8번)로 분류하여 채취하였다. 돈분 퇴비 시료는 플라스틱 용기(1380mL 부피) 8개에 각각 퇴비 256.3~333.6g을 분취하여 두경에 암모니아 측정용 Kit-A와 이산화탄소 측정용 Kit-B를 장착하여 1시간 동안 반응시킨 후, 부속도 측정기를 사용하여 RGB 값을 측정하였다.

2차 돈분퇴비 시료에서 발생하는 이산화탄소의 농도는 밀폐된 플라스틱 용기에서 1시간 동안 방치한 후, 1mL 주사기를 이용하여 채취한 이산화탄소 시료를 GC/TCD를 사용하여 분석하였다. 이 때 GC/TCD 분석은 1차 실험에서와 동일한 기기조건으로 수행하였다

퇴비부숙도 측정기의 정밀도 측정: 시험분석 결과의 반복 재현성을 평가하는 방법으로 반복 시험 결과로부터 얻은 표준편차나 %상대표준편차, 변동계수(CV, coefficient of variation)를 주로 이용하고 있다. 본 연구에서는 가스 농도를 연속적으로 측정된 결과($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$)로부터 평균값(\bar{x}), 표준편차(S), 변동계수(CV)를 구하였고, 이로부터 분석 정밀도를 확인하였다. 즉, 주관기관인 (주)소일테크에서 제작한 퇴비부숙도 측정기(모델 COMATOR NH-1)로 변색반응을 일으키기 전 패들의 RGB 값을 측정하고 여러 패들의 RGB 값에 대한 표준편차(S)와 변동계수(CV)를 구하여 비교함으로써 측정기의 정밀도를 확인하였다.

$$\text{표준편차(S)} \quad s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad \text{변동계수(CV)} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \%$$



퇴비시료 채취 용기



밀봉 후 1시간 반응



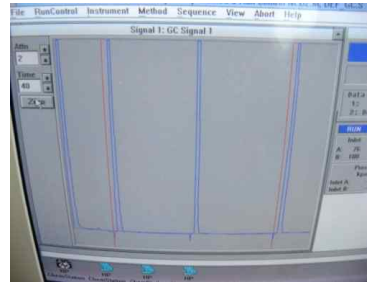
변색반응 키트



측정기로 부숙도 측정



이산화탄소 GC 분석



GC 분석 결과

그림 3-13. 돈분퇴비의 부숙도 판정 시험 및 이산화탄소 분석 과정 (2차 실험)

마. 퇴비 부숙기간 가스 정량 분석

1) 측정 대상 가스의 종류 및 시료

퇴비 부숙 과정에서 발생하는 농자재 가스 중 악취물질이 암모니아(NH_3), 황화수소 (H_2S), 메틸메르캅탄(CH_3SH), 디메틸설파이드(DMS, CH_3SCH_3), 디메틸디설파이드 (DMDS, $\text{CH}_3\text{S}_2\text{CH}_3$) 등 주요 악취물질을 대상으로 측정하였다.

농자재 가스의 정량분석 조건 확립을 위한 실험에서는 상대적으로 가스 발생량이 많은 돈분을 시료로 사용하였다. 퇴비 부숙 가스의 발생량 측정은 이러한 돈분 시료 분석에서 확립한 조건을 기초로 이를 퇴비시료에 적용할 수 있다

2) 분뇨시료의 채취 및 처리 방법

예비실험에 사용된 분뇨는 돈 분뇨를 전일 19시부터 당일 10시까지 모은 것을 양돈장에서 수거하여 사용하였다. 이 때 분뇨는 환경부 고시 조성 근거자료에 따라 슬러리 상태로 만들어 측정하였으며, 분뇨와 세정수를 4.2와 4.4의 비율로 섞고 교반기로 잘 혼합한 후 측정용 시료로 사용하였다 (그림 3-14 참조).

분뇨 시료를 자체적으로 제작한 아크릴 재질의 챔버에 넣어 온도와 습도를 조절한 후 NH_3 는 24시간 간격으로, 황화합물 4종은 2시간 간격으로 부숙 가스의 발생량을 측정하였다.



돈분 200g 칭량 돈뇨 325g 칭량 물 550g 칭량 시료 혼합

그림 3-14. 부속가스 분석을 위한 돈분뇨 시료 전처리 과정.

3) 암모니아 가스의 정량분석 조건 방법

챔버를 이용한 실험에서 돈분뇨에서 발생한 NH_3 는 Air Sampler (Sibata, Model KP-100, Japan)를 이용하여 임핀저(impinger)에서 산성 용액에 흡수시킨 후, 인도페놀법으로 정량분석하였다.

인도페놀법에서 발색제는 페놀-니트로프로시드나트륨 용액과 차아염소산 나트륨 용액을 사용하였다. 임핀저의 산성 용액은 0.5% boric acid를 증류수에 녹여 사용하였다. 붕산용액이 담긴 2개의 임핀저를 분뇨가 들어있는 챔버 용기에 연결하여 약 5 L/min의 유속으로 10분간 발생 가스를 흡입하여 포집하였다. 암모니아 가스의 발색은 측정 시료 10 mL에 페놀-니트로프로시드나트륨 용액 5 mL, 차아염소산나트륨 용액 5 mL를 가하고, 1시간 동안 25°C 인큐베이터에서 반응시켰다. 발색반응이 끝난 시료용액에 대해 UV-Visible Spectrophotometry법으로 표 3-20의 조건으로 NH_4^+ 농도를 분석하였고, 이 때 정량분석용 검정곡선은 NH_4^+ 농도가 서로 다른 7개의 표준용액을 사용하여 작성하였다.

표 3-5. NH_4^+ 분석을 위한 UV-Visible Spectrophotometer의 기기조건

Instrument	Maker / Model	Analytical Condition
UV-Visible Spectrophotometer	Biochrom / Libra S22	$\lambda = 400 \sim 900 \text{ nm}$ $\lambda_{\text{mix}} = 640 \text{ nm}$



암모니아 가스 흡수용 임핀저의 구성

부속가스 측정용 챔버

그림 3-15. 암모니아 및 부속가스 측정장비 구성

4) 황화합물 가스의 정량분석 방법

퇴비 부숙 시에 발생하는 대표적인 황화합물 4종 (H_2S , CH_3SH , DMS, DMDS)에 대해 슬러리 상태의 돈분 시료 1,075g을 채취하여 자체적으로 제작한 챔버 (40×40×60 cm)에 넣은 후 황화합물의 발생량을 측정하였다. 챔버의 구조는 그림 3-28과 같고, 챔버의 내부 온도를 $25\pm 5^\circ C$ 정도로 유지한 상태에서 2시간 간격으로 총 44~76시간 동안 측정하였다. 챔버는 열탈착장치 (TD, Thermal Desorption, Marks, UK)에 직접 연결하여 기화된 황화합물들이 열탈착장치에서 농축되도록 하였고, $250^\circ C$ 에서 1분 동안 열탈착시킨 후 바로 GC/FPD (Gas Chromatography with Flame Photometric Detector, Shimadzu, GC-2010, Japan)의 injection port로 주입되도록 시스템을 구성하여 측정하였다. 이 때 황화합물은 부숙 시 경시 발생량을 확인하기 위하여 경과시간에 따라 2시간 간격으로 실시간 측정하였다.

표 3-6. 열탈착장치(TD) 및 GC/FPD 분석 조건

Thermal Desorber	Markes Ltd., UK
Sampling Flow	50 mL/min
Sampling Time	10 min
Coldtrap	Hydrophobic trap
Coldtrap Low Temp	$-15^\circ C$
Coldtrap High Temp	$250^\circ C$
Coldtrap Hold Time	5min
Flow path Temp	$80-15^\circ C$
GC/FPD	Simadzu, model GC-2010
Column	CP-SIL 5CB(60m×0.32mm×5 μ m)
Column Flow	20 mL/min
Initial Temp	$70^\circ C$
Temp. Rate	10/min to $200^\circ C$
Final Temp	$200^\circ C$ (5min)
H ₂ Flow	60 mL/min
Air Flow	80 mL/min
Detector Temp	$250^\circ C$



돈분뇨 슬러리 조제 부숙가스 측정 챔버 가스흡착장치 GC/FPD 장치

그림 3-16. 황화합물 발생량 정량분석 시스템

바. 시판 퇴비의 부숙도 측정 및 측정기 기능 검증

1) 측정 시료

본 연구에서 자체적으로 제작한 부숙도 측정용 패들과 퇴비부숙도 측정기를 사용하여 시판 중인 각종 퇴비의 부숙도를 측정함으로써 부숙도 측정기의 상용화를 위한 기능성 검증 시험을 수행하였다.

부숙도 측정 시료는 국내에서 제조, 판매 중인 퇴비를 구입하여 사용하였다. 시료 퇴비는 비료회사에서 상품으로 제조한 37종과 가정에서 제조한 1종을 합쳐 총 38종을 구입하여 사용하였다. 시료로 사용한 퇴비의 종류는 부산물비료 26종, 유기질 비료 7종, 상토비료 5종이며, 이 중 제주도 내에서 제조한 퇴비는 부산물 비료 6종과 유기질 비료 6종이고 나머지는 모두 타 지역에서 생산한 품목들이다. 또한 시료로 사용한 퇴비를 배합 원료별로 분류하면, 혈분 및 축분 17종, 수산물분 9종, 식물 및 부엽토 12종 등이었다.

표 3-7. 부속도 평가용 시판 퇴비시료의 제조사 및 원료 배합

번호	회사명	주소지	퇴비 종류 및 명칭	보증 성분량	원료명 및 배합비율
1	(주)화인	경기도 안성시 죽산면 두교리 136번지	부산물비료[그린1급]/헤모자임 땅맛	유기물60%이상, 수분함량30%이하	혈분5%, 버섯배지39%, 파마자박50%, 고추씨박1%, 고토석회5%
2	(주)삼화질석	전북 익산시 왕궁면 구덕리 506번지	부산물비료(그린1급퇴비) VK 발효그린	유기물40%이상, 유기물대질소비 40이하, 염분1.0%이하, 수분45%이하	부속유기질25%, 식물성유박25%, 미강30%, 수산부산물(해초박)10%, 부식산5%, 미생물5%
3	(주)제농유기질비료	경북 고령군 쌍림면 백산리 9-3	부산물비료퇴비	유기물25%이상, 수분50%이하, 염분1.0%	축분50%, 톱밥30%, 아미노산분말10%, 유박10%
4	별량농협공동퇴비제조장	전남 순천시 별량면 대곡리 380	부산물비료[그린(1급)퇴비] EM 그린 1급 퇴비	유기물40%이상, 유기물대질소비 40이하, 수분 45%이하, 염분2.0%이하	미강25%, 유박20%, 계분25%, 토탄15%, 패화석5%
5	(주)삼화질석	충남 청양군 비봉면 양사리 산 106번지	부산물비료(퇴비) VK 퇴비	유기물25%이상, 유기물대질소비 50이하, 염분1.0%이하, 수분50%이하	돈분15%, 우분15%, 톱밥/수피25%, 한약재20%, 혼합유박15%, 질석10%
6	맛미유기비료	제주특별자치도 서귀포시 대정읍 동일리	부산물비료(퇴비)맛미 퇴비	유기물30%이상	축분50%, 버섯배지20%, 톱밥20%, 폐사료5%, 콩비지5%
7	농업회사법인 아쿠엑스환경	제주특별자치도 서귀포시 안덕면 동광리 산83-7	돈분한라 그린퇴비	유기물25%, 유기물대질소의비 50%이하, 염분1%이하	돈분55%, 계분50%, 톱밥15%
8	(주)삼다비료	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 49-1	그린[1급]퇴비 탐이나 퇴비	유기물40%, 유기물대질소의비 40이하, 염분1.0이하, 수분45%이하	축분50%, 식물박35%, 동물성유기질15%
9	제주축협-삼다한라	제주특별자치도 제주시 애월읍 봉성리 228번지	부산물비료 퇴비	유기물25%이상, 유기물 대 질소의비 50%이하	가축분, 오니 및 동물성잔재물70%, 톱밥30%

번호	회사명	주소지	퇴비 종류 및 명칭	보증 성분량	원료명 및 배합비율
10	(주)상림	전북 김제시 용지면 장신리 383-2	사슴표 부산물비료퇴비	유기물25%, 유기물대 질소비50%이하, 염분1.0%이하, 수분 50%이하	축분45%, 수피20%, 팽연왕겨20%, 톱밥10%, 곡물박5%
11	(주)로파스코	서울시 강남구 논현동 234-8 석상빌딩 3층	바다 비료 친환경유기질 비료(혼합유기질)	질소, 인산, 가리합이 7%이상	참치어박40%, 아주가리박 40%, 미강박20%
12	홍창비료공업사	경남 남해군 남해읍 평리 1043-3	부산물비료퇴비	유기물25%이상 인 것, 유기물대 질소비50이하	채종유박70%, 아마박20%, 미강유박10%
13	미농 휴머스	강원도 철원군 갈말읍 지포리 369-1	부산물비료(퇴비)	유기물2%이상, 유기물대 질소비50%이하, 염분 1%이하, 수분 55%이하	축분55%, 톱밥(수피)40%, 발효축진제5%
14	승진비료	경기도 포천시 소흘읍 초가팔리 110	상토(식생토) 잔디정원수용		
15	신기산업		분가리용상토		톱밥, 부엽토, 바크
16	승진비료	경기도 포천시 소흘읍 초가팔리 110	부산물비료		계분20%, 돈분20%, 우분10%, 톱밥수피50%
17	신농비료	경기도 포천시 가산면 우금리 639-6	부속 비료 퇴비	유기물25%이상, 유기물대 질소비 50이하, 건물 중 에 대하여 염분 2.0%이하, 수분 55%이하	계분55%, 톱밥 35%, 유박5%, 이탄5%
18	승진비료	경기도 포천시 소흘읍 초가팔리 110	퇴비 상토 분갈이용 상토	-	톱밥수피,질석, 돈분, 낙엽
19	태농비료산업사	경기도 이천시 모가면 소고리 121	태농 원두막 친환경퇴비 부속비료(퇴비)	-	계분45%, 돈분10%, 우분15%, 왕겨축분5%, 톱밥및 수피25%
20	제주비료주식회사	제주특별자치도제주시조천읍 와흘리720	유기질비료-혼합유박	질소4.5%, 인산 1.5%, 가리1%	채종박30%, 피마자박70%

번호	회사명	주소지	퇴비종류 및 명칭	보증 성분량	원료명 및 배합비율
21	제주비료주식회사	제주특별자치도제주시조천읍와흘리 720번지	혼합유기질비료-유기농-특호	질소5%, 인산6%	육골분22%, 골분15%, 어분20%, 계껍질 3%, 채종박15%, 피마자박 25%
22	제주비료주식회사	제주특별자치도제주시조천읍와흘리 720번지	혼합유기질비료-웰빙유기농	질소3%, 인산3.5%, 가리0.5%	골분14%, 어분4%, 채종박20%, 피마자박62%
23	제주비료주식회사	제주특별자치도 제주시조천읍와흘리 720번지	유기질비료(어분)	질소6%, 인산4%	어분100%
24	제주비료주식회사	제주특별자치도 제주시조천읍와흘리 720번지	유기질비료(골분)	질소3%, 인산17%	골분100%
25	제주비료주식회사	제주특별자치도 제주시조천읍와흘리 720번지	제3종 복합비료달콤한라-특호	질소5%, 인산 7%, 가리4%, 유기물40%	골분25%, 어분20%, 계껍질5%, 미강5%, 피마자박24%
26	비료마을	제주특별자치도 제주시구좌읍세화리1819-2	부산물비료-발효100	유기물25%이상, 유기물 대 질소비 50이하인것, 염분 1.0%이하, 수분50%이하	계분50%, 마분30%, 식물박20%
27	농업회사법인금강에코너지	제주특별자치도서귀포시안덕면동광리 산83-7	탐라그린퇴비	유기물25%, 유기물대 질소의비 50%이하, 염분2%이하, 수분55%이하	돈분45%, 계분15%, 우분10%, 톱밥 30%
28	초원	-	상토-화훼용	-	-
29	청농	-	슈퍼그린파크 부산물 퇴비비료	-	-
30	땅심 바이오 상토	창원시대산면가솔리600	땅심 바이오 상토	pH6.5, ECO. 45, CEC 75me/100g, 유기물 90%	국내산 발표 수피와 질석
31	청록산업	경기도평택시 평성읍노양 102-1	부산물비료(부엽토)(그린월드)	염산불용해물30%이하, 유기물 대질소비50이하	부엽토30%, 피토모스20%, 펄라이트 25%, 골분 10%, 목탄 10%, 기타5%

번호	회사명	주소지	퇴비종류 및 명칭	보증 성분량	원료명 및 배합비율
32	(주)삼화그린텍 (주)태홍	충남 청양군 비봉면 양사 리 106번지	바이오 테크 부엽토 천연 부엽토	유기물대질소비 50이하, 염산불 용해물30%이하, 유해성분기준치 이하	부엽토70%, 초탄(이탄)10%, 피트모스10%이 하, 질석5%, 미생물제 5%
33	(주)대지 개발	충남 천안시 성환읍 우신 리 103-8	대지 생명분부 산물비료퇴비	유기물 25%이 상, 유기물대질 소의비50%이하, 염분 1.0%이하, 수분 50%이하	이탄40%, 부엽토 20%, 목탄 20%, 갯목류 10%, 한약재 10%
34	(주)바이 오콤	경남 밀양시 초동면 검암 리 83번지	부산물비료퇴비	유기물 25%이 상, 염분1.0%이 하, 유기물대질 소비 50이하	수산식품폐수오 니 30%, 맥주 폐수처리오니 35%, 톱밥 25 %, 부엽토 10%
35	청록산업	경기도평택 시팽성읍 노 양리 102-1	자연부엽토부 산물비료 부엽 토	염산불용분 30 %이하, 유기물대 질소의비 50 이 하	부엽토 100%
36	태성유기 산업	-	입자송이	유기물25%이상, 유기물대질소의 비 50%이하, 염 분 1.0%이하	축분(돈,계,우분) 40%, 동식물 성잔재물30%, 톱밥 20%, 수피 10%
37	홍전농산	-	알송이	유기물25%이상, 유기물대질소의 비 50%이하, 염 분 1.0%이하	축분(돈,계,우분) 40%, 동식물성 잔재물30%, 톱밥 20%, 수피 10%

2) 측정방법

부숙도 측정은 부숙도판정용기(400mL 용량)에 퇴비시료 약 200mL를 채우고, 여기에 분무기를 사용하여 수분 7.5 mL와 15 mL를 가하여 흡습시킨 후 용기 뚜껑을 닫아 밀폐시킨 상태에서 2시간 동안 상온에서 방치하였다. 그리고 수분을 7.5 mL 가한 시료에 대해 각각 오전과 오후 2차례에 걸쳐 실험을 반복하였고, 수분 15 mL를 가한 시료에 대해서도 마찬가지로 오전과 오후에 걸쳐 2차례의 측정을 반복, 실시하였다.

2시간 동안 수분을 흡습시킨 퇴비의 부숙도는 사전에 바탕(blank) 값을 측정된 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트를 사용하여 측정하였다. 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트를 부숙도판정용기 뚜껑에 부착된 키트 홀더에 고정시키고 약 30분 동안 변색 반응을 시킨 후 더 이상 색깔 변화가 거의 없을 때 측정을 실시하였다. 이 때 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트는 사용 전에 먼저 제1세부과제에서 제공한 부숙도 측정기를 사용하여 반응전 페들의 RGB 값을 측

정하였고, 이 측정 결과를 바탕(blank) 값으로 이용하였다.

변색이 완료된 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트는 가능한 한 빨리 부숙도측정기를 사용하여 반응 후 패들의 RGB 값을 측정하였다. 그리고 최종적으로 퇴비부숙도 측정기의 RGB 수치를 이용하여 퇴비 부숙도를 평가하였다.

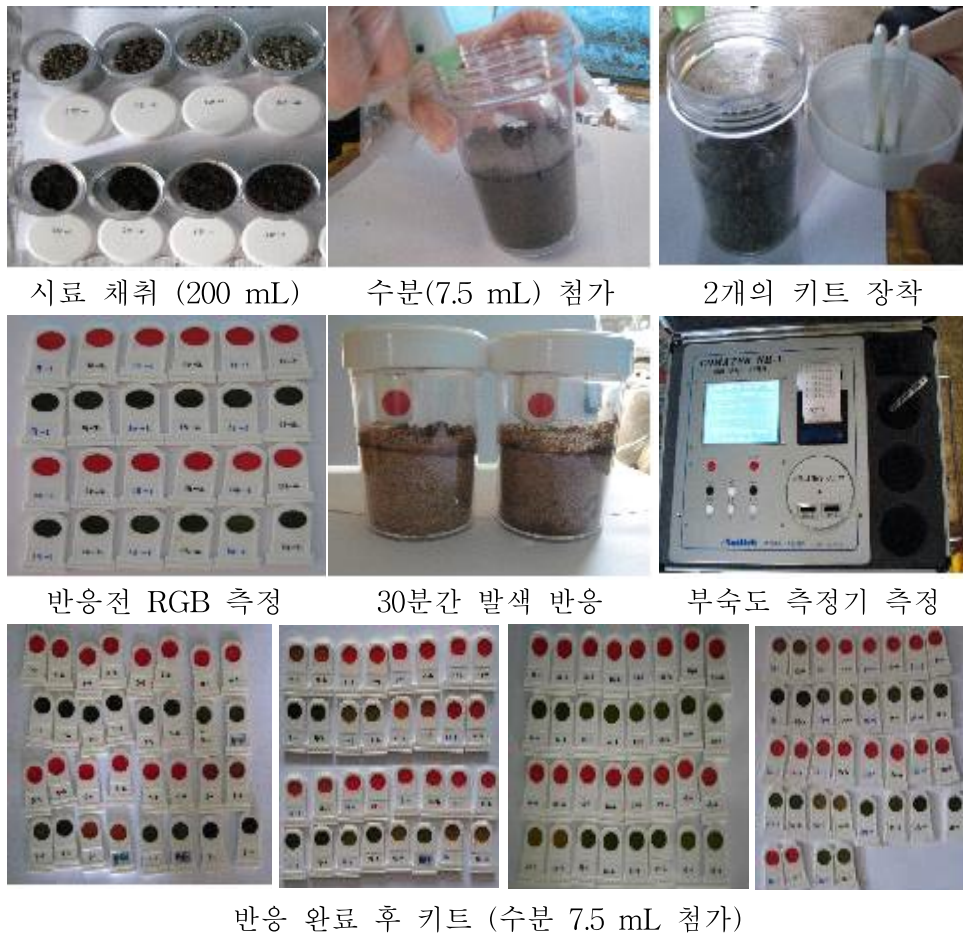
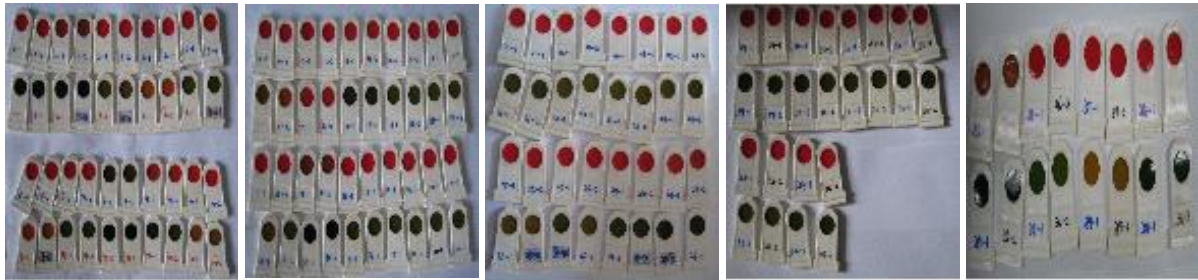


그림 3-18. 시판 퇴비의 부숙도 측정 과정



시료 채취 (200mL) 수분(15mL) 첨가 30분 상온 방치 부숙도 측정기 측정



반응 완료 후 키트 (수분 15mL 첨가, 시료수 38종)

그림 3-19. 시판 퇴비의 부숙도 측정 과정.

2. 결과 및 고찰

가. 가스 누적 흡착용 패들매질 제조법 비교

1) 암모니아 측정용 패들

표 3-8. 암모니아 측정용 패들 비교

	표준키트	실험키트 -A-1	실험키트 -A-2	실험키트 -A-3	실험키트 -A-4	실험키트 -A-5
H ₂ O	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL
혼합지시약						
Boric acid						
Agar		×	×			
B폴리머	×					
작업성	하	상	중하	중	중상	중상
경도	상	하	하	중상	상	상
색(빨강)	중	하	상	중상	중상	상
사진						
* 주관기관의 요청으로 상세내용을 생략하였으며, 향후 특허출원 예정임						

- * 작업성 : 용액을 제조한 후 얼마나 많은 양의 키트를 제조할 수 있는지, 작업하는 동안 굳는 시간. 작업성이 상일수록 굳는 시간이 오래 걸림 즉, 작업시간이 길어짐을 뜻함.
- * 경도 : 용액을 키트 틀에 넣었을 때 굳는지 아니면 잘 굳지 않아 흘러내리는지를 뜻함.
- * 색(빨강) : 기존 키트와 비교했을 때 붉은색의 정도를 나타냄.








○ 키트 물성 특징:

- 실험키트-A-1 : 표준키트제조 방법과 달리 Agar를 대신해 B폴리머를 넣었지만, 그 농도를 줄임. 결과, 작업성은 표준키트보다 좋으나 키트 자체가 잘 굳지 않고, 색 또한 기존 키트보다 연함.
- 실험키트-A-2 : 실험키트-A-1을 보완하여, B폴리머의 농도를 표준키트의 Agar와 같은 양을 넣음. 결과, 작업성은 실험키트-A-1보다는 약간 떨어지기는 하지만, 굳는 면에서는 나은 결과를 보였고, 색 또한 표준키트와 비슷하게 관찰됨. 하지만, 냉장보관 후 사용 시 물기가 소량 생기는 것이 관찰됨.
- 실험키트-A-3 : 실험키트-A-1, 실험키트-A-2의 공통적인 문제점인 경도를 보완하기 위해서는 B폴리머만을 사용하는 것이 아니라 Agar를 넣어서 보완. 결과, B폴리머만 넣었을 때 보다는 작업성이 떨어지는 면이 있음.

- 실험키트-A-3부터는 믹서를 호모믹서를 사용함으로써 B폴리머가 잘 녹고 용액이 잘 섞이도록 함. (균질성 향상)
- 실험키트-A-4 : 실험키트-A-3가 색이 잘 나오고 잘 굳기는 하나, Agar가 들어가 작업성이 약간 떨어지기 때문에 이를 보완하기 위해 Agar의 함량을 줄임. 결과, Agar와 B폴리머를 1:1로 넣었을 경우보다 작업성이 나아짐.
- 실험키트-A-5 : 실험키트-A-4에서 색을 좀 더 진하고 색의 변화를 명확하게 해보기 위해, 만능지시약의 농도를 높임. 결과, 색은 좀 더 붉게 나와 표준키트 색으로 나왔지만 색의 변화 비교 시 잘 구분이 되지 않음.

2) 이산화탄소 측정용 패들

표 3-9. 이산화탄소 측정용 패들 비교

	표준키트	실험키트 -B-1	실험키트 -B-2	실험키트 -B-3	실험키트 -B-4	실험키트 -B-5	실험키트 -B-6
H ₂ O	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL	100 mL
혼합지시약							
산용액							
Agar		×	×				
B폴리머	×						
NaOH	미정 (파란색)	미정 (파란색)	미정 (파란색)	5.5 mL	5.5 mL	5.5 mL	5.5 mL
작업성	하	상	중하	중	중상	중상	중상
색(녹색)	중	하	중하	중하	중	상	중상
사진							
* 주관기관의 요청으로 상세내용을 생략하였으며, 향후 특허출원 예정임							

- * 실험키트-B-1,2,3,4는 실험키트-A-1,2,3,4와 같은 현상을 보임.
- * 실험키트-B-5 : 실험키트-B-4에서 색을 좀 더 진하고 색의 변화를 명확하고 좀 더 뚜렷하게 하기 위해 만능지시약의 양을 조절함. 하지만, 색의 변화가 뚜렷해지기는 보다는 더 진해지기만 함.
- * 실험키트-B-6 : 실험키트-B-5의 문제를 보완해서 지시약양을 반으로 줄임. 결과, 색의 변화가 실험키트-B의 1~6중 가장 색의 변화가 좋음.

나. 가스흡착용 패들 및 부속도 측정기의 기능 점검 결과

제1세부과제와 제2세부과제에서 개발한 부속도 측정기를 이용하여 패들의 매질 및 혼합지 시약 배합비를 변화시키면서 패들의 성능 개선 실험 및 기능 검정을 동시에 실시하였다.

반복 실험에서 나타나는 문제점들을 제1, 2 세부과제와 협의하여 측정기의 기능을 개선하였고, 측정 정밀도 개선을 위해 수차례의 반복 실험 데이터를 각 연구팀에 제공하고, 각 연구팀에서 문제점들을 보완한 후, 재차 반복하여 교정하는 단계별 실험과정을 거쳐 정밀도를 개선하였다.

이 결과는 패들의 매질과 지시약 혼합비를 다양하게 조절하여 최적의 조건을 찾기 위한 것으로 시험결과는 모두 제1세부과제, 제2세부과제, 제3세부과제에서 개선작업을 거친 후 최종적으로 얻어진 결과를 종합하여 정리하였고, 본 보고서에서 명시한 일자는 최종 시험일자이다. 이렇게 진행된 측정 결과들은 모두 '부록'에 수록하였고, 이 중 초기단계, 중간단계, 최종단계의 세 가지 결과만을 발췌한 결과이다.

1) 퇴비 부속도 측정기의 암모니아 측정 기능 점검

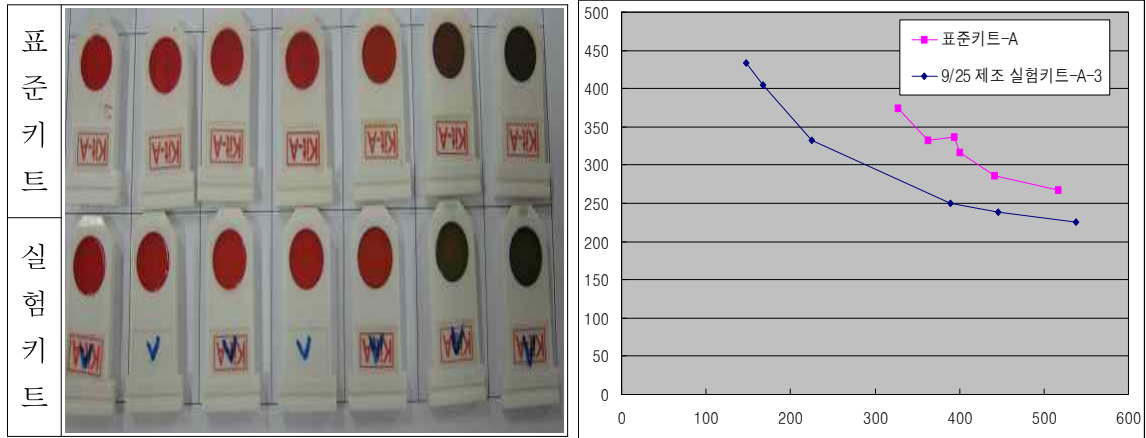
암모니아 측정 결과(초기단계): Kit-A-3(2008년 9월 25일 제조)와 표준 Kit-A (2008년 8월 제조)의 R, G, B, X, Y 값을 측정하여 비교한 결과, 반응 전과 반응 후에 차이가 있었으며 제조 시간과 측정 조건에 따라 차이가 있었다. 그림은 표의 측정결과를 비교한 것으로 표준키트와 제조키트와의 차이가 커 정밀도가 불량한 것으로 판정되었다.

(반응 전 측정 결과)

구분	9/25 제조 실험키트-A-3					표준키트-A				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	725	293	250	571	231	670	382	219	527	300
2	774	321	263	569	236	644	352	185	545	298
3	766	302	280	568	224	677	341	201	555	279
4	764	296	278	571	221	669	396	185	535	316
5	773	303	278	570	223	722	379	216	548	287
6	749	314	243	573	240	661	345	183	555	290
평균	758.5	304.8	265.3	570.3	229.2	673.8	365.8	198.2	544.2	295.0
표준편차	18.7	10.7	16.0	1.8	7.7	26.2	22.7	16.4	11.2	12.8

(반응 후 측정 결과)

구분	9/25 제조 실험키트-A-3					표준키트-A				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	767	322	336	538	225	664	345	275	517	268
2	751	401	530	446	238	556	360	342	441	286
3	677	436	625	389	250	519	410	367	400	316
4	291	429	569	225	332	511	435	348	394	336
5	201	486	511	167	405	491	449	412	363	332
6	159	468	451	147	434	360	412	326	327	375



(표준키트와 실험키트의 발색 및 측정 결과)
그림 3-20. 부숙도 측정기를 암모니아 측정 결과(초기단계).

암모니아 측정 결과(중기단계): 2008년 10월 27일의 측정결과에서 500 부근에 오차가 발생하였고, 이 오차를 최소화시키기 위해 패들 제조과정의 일부 조건을 변경하였다. 이를 보완한 측정 결과는 표와 같이 기존의 방법에 비해서 품질이 개선되었으며, 1차적으로 측정기 이용이 가능할 것으로 판단되어 반복오차를 줄이기 위한 실험을 계속 진행시켰다.

(반응 전 측정 결과)

구분	11/12 제조 실험키트-A-4-a					11/12 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	824	294	255	600	214	829	307	248	598	221
2	793	285	207	617	221	815	270	201	633	209
3	793	280	220	613	216	795	265	209	626	208
4	784	275	212	616	216	829	283	232	616	210
5	799	277	231	611	211	801	309	221	601	232
6	811	262	220	627	202	778	266	209	620	212
평균	800.7	278.8	224.2	614.0	213.3	807.8	283.3	220.0	615.7	215.3
표준편차	14.5	10.7	17.2	8.8	6.4	20.2	20.2	17.5	13.8	9.4

(반응 후 측정 결과)

구분	11/12 제조 실험키트-A-4-a					11/12 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	867	358	364	545	225	866	374	329	551	238
2	753	310	451	497	204	760	310	476	491	200
3	666	355	518	432	230	666	344	551	426	220
4	353	408	623	255	294	368	380	649	263	272
5	238	447	552	192	361	239	464	538	192	373
6	174	448	475	158	408	166	431	466	156	405

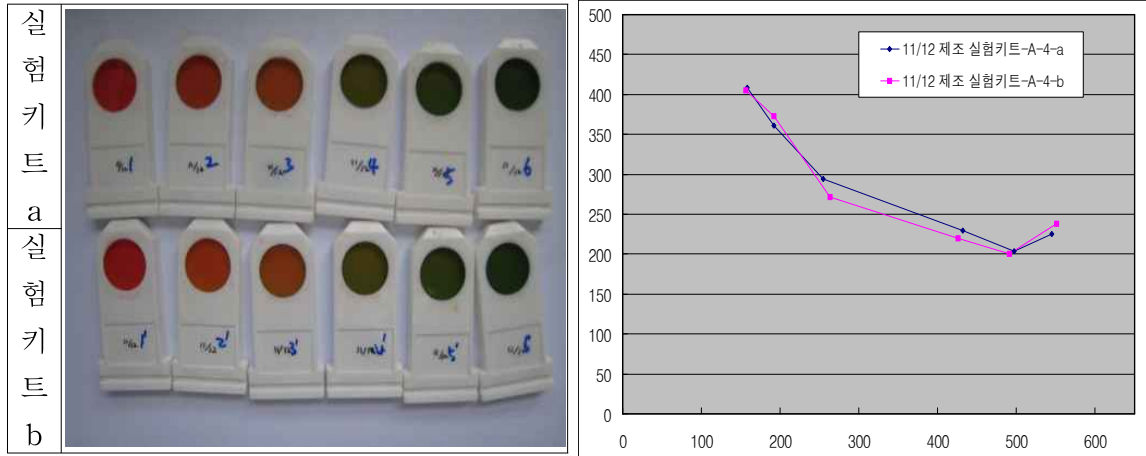


그림 3-21. 부속도 측정기를 이용한 암모니아 측정 결과(중기단계)

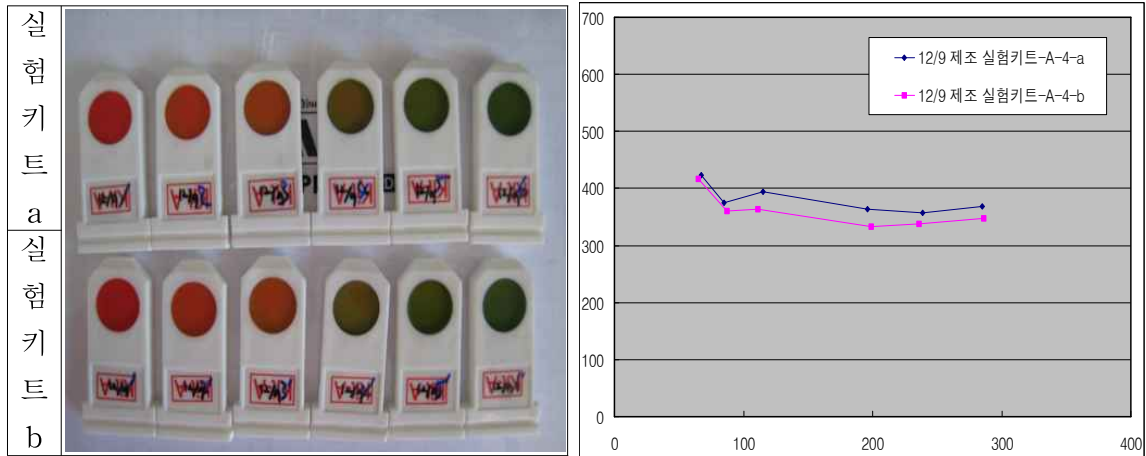
암모니아 측정 결과(최종단계): 주관기관에서 제공한 시제품의 프로그램을 바꾼 후 측정된 결과는 2008년 12월 4일 측정된 결과와 비슷한 결과를 얻었으며, 이를 기초로 최종적인 기기개선 및 프로그램 개발을 제안하였다.

(반응 전 측정 결과)

구분	12/9 제조 실험키트-A-4-a					12/9 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	683	812	669	315	375	660	769	644	318	370
2	672	787	633	321	376	649	804	647	309	382
3	681	769	678	320	361	651	739	642	320	363
4	648	838	669	300	388	692	691	667	337	337
5	693	691	722	329	328	650	812	669	305	381
6	680	814	678	313	374	650	739	664	316	359
평균	676.2	785.2	674.8	316.3	367.0	658.7	759.0	655.5	317.5	365.3
표준 편차	15.4	51.9	28.5	9.8	20.9	16.8	45.5	12.4	11.1	16.7

(반응 후 측정 결과)

구분	12/9 제조 실험키트-A-4-a					12/9 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	711	919	864	285	368	695	844	886	286	348
2	693	1039	1164	239	358	665	954	1198	236	338
3	632	1168	1409	196	363	613	1023	1434	199	333
4	344	1171	1451	115	394	357	1165	1687	111	363
5	255	1120	1609	85	375	270	1114	1695	87	361
6	195	1235	1476	67	424	192	1232	1529	65	417



(실험키트a와 실험키트b의 발색 및 측정 결과)

그림 3-22. 부숙도 측정기를 이용한 암모니아 측정 결과(최종단계)

2) 퇴비 부숙도 측정기의 이산화탄소 측정 기능 검토

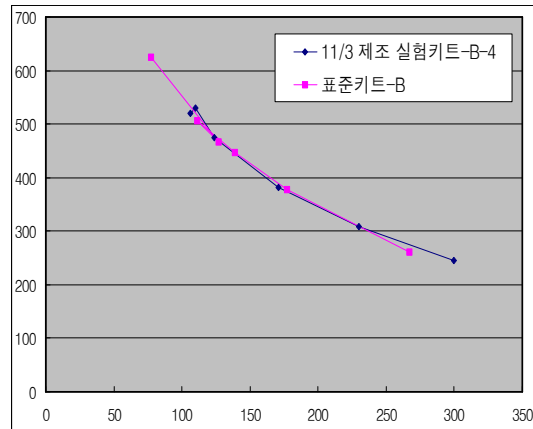
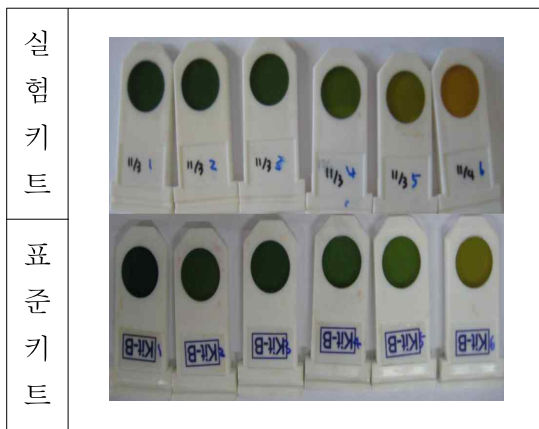
이산화탄소 측정 결과(초기단계): 2008년 9월 25일에 Kit-A-3(2008년 9월 25일 제조)와 Standard Kit-A (2008년 8월 제조)의 R, G, B, X, Y를 측정하여 비교한 결과, 반응 전과 반응 후에 차이가 매우 컸으며, 제조 시간과 측정 조건에 따라 차이가 있었다. 그리고 표준키트와는 전혀 다른 범위이지만 직선성은 양호한 것으로 확인되었다. 그러나 측정결과가 표준키트와 제조키트 사이에 편차가 커서 기기 사용에 불편함이 따를 것으로 판단되어 일부 프로그램 변경 및 기기조건 개선을 주관기관에 제안하였다. 그리고 프로그램 변경 및 일부 이산화탄소 발색시약 배합비 변경 조작(티몰블루 양을 증가시킴으로써 변색이 표준키트보다 훨씬 우수한 결과를 얻음)을 거쳐 2008년 11월 3일에 측정한 결과, 그래프로 비교한 두 시료 간에 거의 일치하는 결과를 얻었다. 따라서 추가 시험을 통해 재현성이 확인될 경우에는 부숙도 측정기의 프로그램을 확정하도록 주관기관에 제안할 수 있을 것으로 판단되어 유사한 조건의 실험을 반복하였다.

(반응 전 측정 결과)

구분	11/3 제조 실험키트-B-4					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	106	649	368	94	577	69	614	270	72	644
2	105	660	351	94	591	102	551	384	98	531
3	110	630	382	98	561	71	611	293	72	626
4	108	642	383	95	566	74	555	303	79	595
5	109	666	373	94	580	60	666	250	61	682
6	107	615	372	97	562	64	668	258	64	674
평균	107.5	643.7	371.5	95.3	572.8	73.3	610.8	293.0	74.3	625.3
표준편차	1.9	19.0	11.6	1.8	11.9	14.9	51.0	49.0	13.2	56.1

(반응 후 측정 결과)

구분	11/3 제조 실험키트-B-4					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	130	633	453	106	520	75	608	289	77	625
2	147	703	478	110	529	147	538	469	127	466
3	160	610	514	124	475	116	526	394	111	507
4	254	563	660	171	381	157	504	468	139	446
5	414	555	831	230	308	231	492	581	177	377
6	636	519	962	300	245	435	427	766	267	262



(실험키트와 표준키트의 발색 및 측정 결과)

그림 3-23. 부숙도 측정기를 이산화탄소 측정 결과(초기단계)

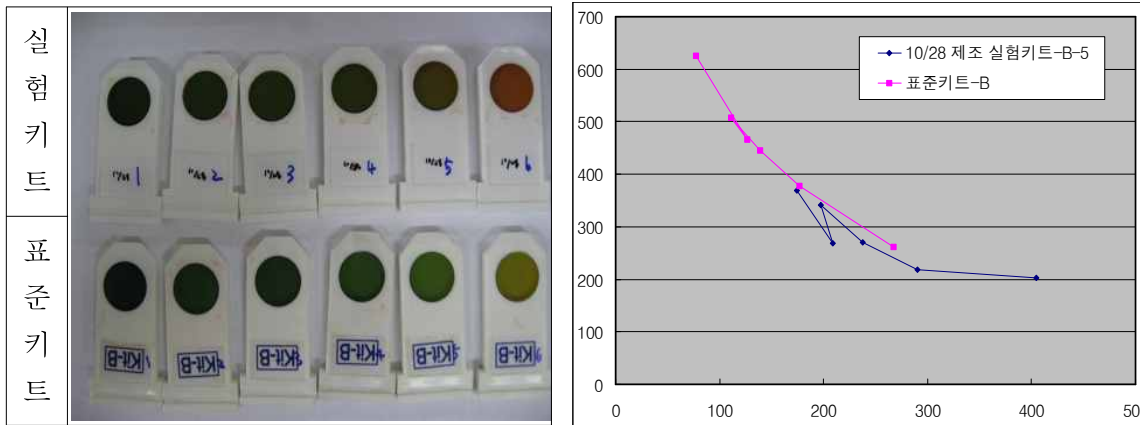
이산화탄소 측정 결과(중기단계): 2008년 10월 28일에 메틸레드의 양을 약간 변화시켜 측정한 결과, 10월 15일 분석결과에 비해 흡광 파장 범위가 넓고 반복성이 더 우수한 결과를 얻었다. 그러나 변색의 폭이 다소 좁아지는 결과를 나타내어 6회에 걸쳐 지시약의 양을 조정하였고, 프로그램의 확정을 위해 추가 재시험을 진행시켰으며 유사한 방법으로 시험을 반복할 좀 더 필요가 있음을 확인하였다.

(반응 전 측정 결과)

구분	10/28 제조 실험키트-B-5					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	93	209	231	174	392	69	614	270	72	644
2	89	160	245	180	323	102	551	384	98	531
3	92	208	248	167	379	71	611	293	72	626
4	88	216	236	162	400	74	555	303	79	595
5	93	212	252	166	380	60	666	250	61	682
6	94	199	249	173	367	64	668	258	64	674
평균	91.5	200.7	243.5	170.3	373.5	73.3	610.8	293.0	74.3	625.3
표준편차	2.4	20.7	8.2	6.5	27.2	14.9	51.0	49.0	13.2	56.1

(반응 후 측정 결과)

구분	10/28 제조 실험키트-B-5					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	108	229	283	174	369	75	608	289	77	625
2	134	173	334	209	269	147	538	469	127	466
3	151	261	352	197	341	116	526	394	111	507
4	194	220	399	238	270	157	504	468	139	446
5	295	223	497	290	219	231	492	581	177	377
6	487	244	471	405	202	435	427	766	267	262



(실험키트와 표준키트의 발색 및 측정 결과)

그림 3-23. 부숙도 측정기를 이산화탄소 측정 결과(중기단계).

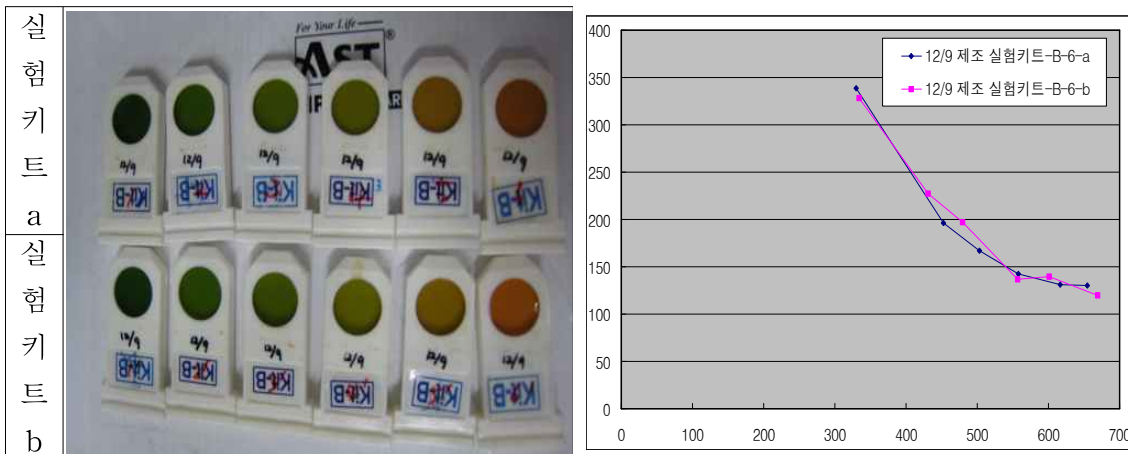
이산화탄소 측정 결과(최종단계): 2008년 12월 4일 측정 결과: 반복 재현성을 높이기 위해 프로그램을 수정하여 측정하였으나 측정범위가 매우 차이가 컸으며, 육안으로 보기에 색갈의 차이가 너무 커서 프로그램의 수정이 필요한 것으로 제안하였다. 그리고 프로그램을 보완한 2008년 12월 9일의 최종 결과에서는 표준키트는 물론 그림에서 보는 바와 같이 제조키트 간에 반복 재현성도 우수한 측정결과를 얻을 수 있었다.

(반응 전 측정 결과)

구분	12/9 제조 실험키트-B-6-a					12/9 제조 실험키트-B-6-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	592	632	616	321	343	563	548	570	334	325
2	602	552	623	338	310	543	693	565	301	384
3	548	593	600	314	340	568	691	602	305	371
4	573	634	607	315	349	548	669	593	302	369
5	592	550	617	336	312	563	546	581	333	323
6	568	644	582	316	358	498	679	544	289	394
평균	579.2	600.8	607.5	323.3	335.3	547.2	637.7	575.8	310.7	361.0
표준 편차	19.9	42.3	14.9	10.9	19.8	26.0	70.8	20.8	18.5	30.1

(반응 후 측정 결과)

구분	12/9 제조 실험키트-B-6-a					12/9 제조 실험키트-B-6-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	676	695	677	330	339	661	650	668	334	328
2	1353	585	1044	453	196	1205	636	950	431	227
3	1738	577	1137	503	167	1640	677	1104	479	197
4	2346	599	1254	558	142	2257	558	1235	557	137
5	2988	636	1219	616	131	2771	648	1186	601	140
6	3290	654	1074	655	130	3378	609	1058	669	120



(실험키트a와 실험키트b의 발색 및 측정 결과)

그림 3-24. 부속도 측정기를 이용한 이산화탄소 측정 결과(최종단계).

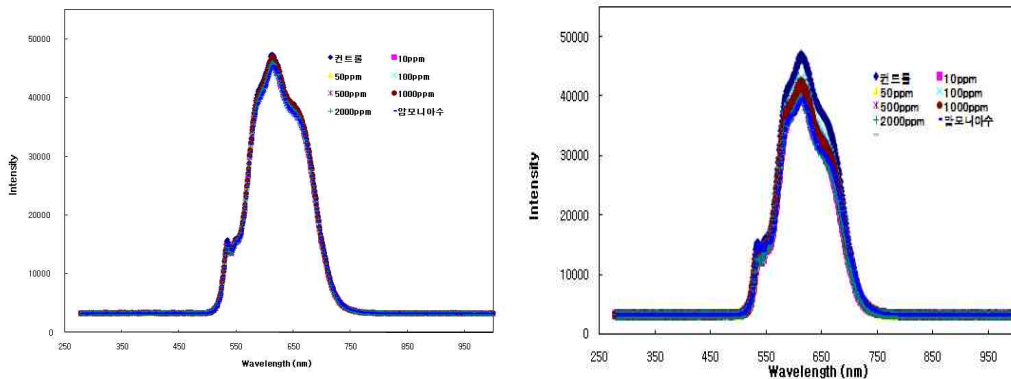
이상과 같은 방법으로 제1세부과제에서 제작한 부속도 측정기와 제2세부과제에서 제공하는 프로그램을 이용하여, 농자재 발생 암모니아가스와 이산화탄소가스를 비색법으로 측정하였다. 그리고 시각적인 방법만으로는 식별이 어려운 극미한 변색상태를 부속도 측정기를 사용하여 확인함으로써 패들의 매질 효과는 물론 적절한 발색시약 배합비 조건을 정립할 수 있었다. 또

한 수차례의 반복 시험을 통한 프로그램 및 흡착제 개선으로 퇴비부숙도 측정기의 기능을 검증하고, 시판 중인 기존 제품들에 비해 향상된 감도와 정확도를 갖춘 패들을 제작할 수 있었다.

다. 전도성 폴리머에 의한 비색법 측정 모듈개발

본 기술개발은 당초 계획에는 없으나 보다 정밀도가 높은 측정기를 개발하는 과정에서 시도한 것으로 전도성 폴리머인 C폴리머 film을 트랜스듀서로 이용하는 방법으로 실용화 단계에서 제조단가 등을 감안하여 주관기관에 제안할 내용이다.

그림 3-25의 결과는 분자량이 다른 C폴리머 필름을 이용하여 농도가 다른 암모니아 용액에서 발색도를 비교한 결과로, 대체적으로 폴리머 분자량이 클수록 농도별 흡광도 차이가 크게 나타나는 결과를 보이고 있다. 그리고 이를 활용하면 암모니아 측정 패들의 매질 개선에 효과가 있을 것으로 기대된다.



C폴리머 (Mw 5,000)의 흡광도

C폴리머 (Mw 10,000)의 흡광도

그림3-25. C폴리머 film에 의한 암모니아 비색법 측정 결과.

라. 퇴비의 부숙도 측정결과

1) 퇴비 부숙기간에 따른 암모니아 가스 농도

돈분을 포함한 퇴비시료 7종에서 암모니아가스 발생량을 정량분석결과를 표 3-10와 그림 3-26~29에 나타내었다. 암모니아 가스는 7종의 시료 중 돈분에서 가장 높은 농도를 보였고, 혼합발효와 최종 제품에서 가장 낮은 농도를 나타내었다. 반면에 교반기-1 ~ 교반기-4 시료에서는 대체적으로 ‘교반기-4 > 교반기-3 > 교반기-2 > 교반기-1’의 순으로 높은 농도를 나타내었다.

표 3-10. 퇴비 시료의 암모니아 발생량 비교

퇴비	농도 (mg/L)			
	10일 부숙	15일 부숙	20일 부숙	평균
돈 분	8.74	5.94	3.57	6.08
혼합발효	0.04	ND	0.02	0.03
교반기-1	0.41	0.12	0.35	0.29
교반기-2	2.42	0.14	0.06	0.87
교반기-3	3.56	0.41	0.27	1.41
교반기-4	0.33	5.36	8.60	4.76
제품	0.09	0.10	0.08	0.09

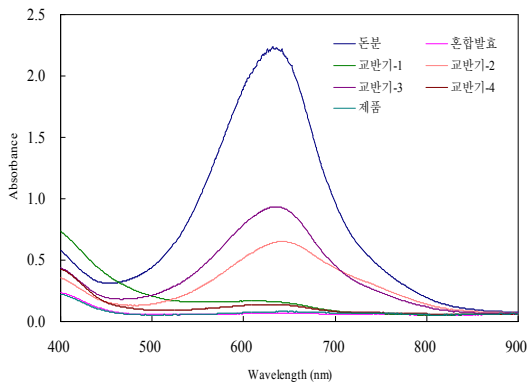


그림 3-26. 10일 부숙 시료의 흡광도

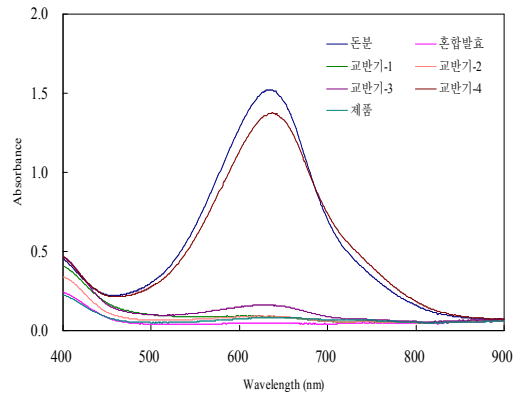


그림 3-27. 15일 부숙 시료의 흡광도

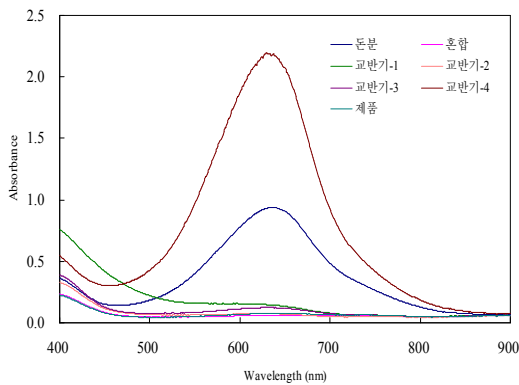


그림 3-28. 20일 부숙 시료의 흡광도

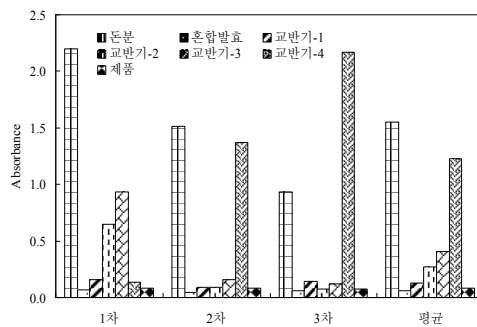


그림 3-29. 부숙기간 및 퇴비종류별 흡광도 비교

2) 부숙 기간별 퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차 실험)

본 기술의 패들을 이용한 부숙도: (주)삼다비료에서 채취한 1차 돈분퇴비 시료의 부숙도를 암모니아(Kit-A), 이산화탄소(Kit-B) 측정용 키트, (주)소일테크 제작 퇴비부숙도측정기를 사용하여 조사하였다. 15일 경과 시료에서 30분 후부터 Kit-A는 붉은 색에서 테두리부터 점차 녹색으로 변화하였고, 시간이 경과함에 따라 진한 녹색으로 변화하였다. Kit-B의 경우, 반응 챔버에 넣고 2분 정도 지난 후부터 바로 연한 녹색에서 진한 녹색으로 변하기 시작했고, 최종적으로

진한 보라색을 나타내었다. 이러한 경향은 45일 경과 퇴비와 60일 경과 퇴비에서도 동일한 결과를 나타내었고, 단지 속도만 다소 차이를 보였다. 측정횟수는 모두 6회 반복 시험하였고, 최종적으로 3종의 시료 중에서 15일 경과 및 45일 경과 퇴비는 ‘부숙후기’의 부숙도를 나타내었고, 60일이 경과한 퇴비는 모두 ‘부숙완료Ⅱ’의 부숙도를 나타내어 60일 정도가 지난 다음에 완전한 부숙 단계에 다다른 것으로 확인되었다.

정밀분석법을 이용한 암모니아와 이산화탄소 농도: Indophenol법에 의한 암모니아 가스의 정량분석에서는 챔버에 넣어 30분 정도 경과한 후의 공기에서는 암모니아 농도가 14.1ppm을 나타내었다. 그러나 2시간이 경과한 후에 측정한 결과에서는 15일 경과 퇴비에서 729.6ppm, 45일 경과한 퇴비에서 177.4ppm, 60일 경과한 퇴비에서 28.6ppm 정도의 암모니아 농도를 나타내었다. 이산화탄소 발생량을 테들러백으로 채취하여 GC/TCD로 정밀분석한 결과, 퇴비를 챔버에 넣어 30분 정도 경과한 후에 공기를 채취한 초기측정 결과에서는 0.134~0.143ppm 정도의 농도를 나타내었다. 그러나 2시간이 경과한 후에는 15일 경과 퇴비에서는 0.012~0.025ppm, 45일 경과한 퇴비에서는 0.018~0.031ppm, 60일 경과한 퇴비에서는 0.020~0.030ppm 정도의 이산화탄소 농도를 나타내었다.

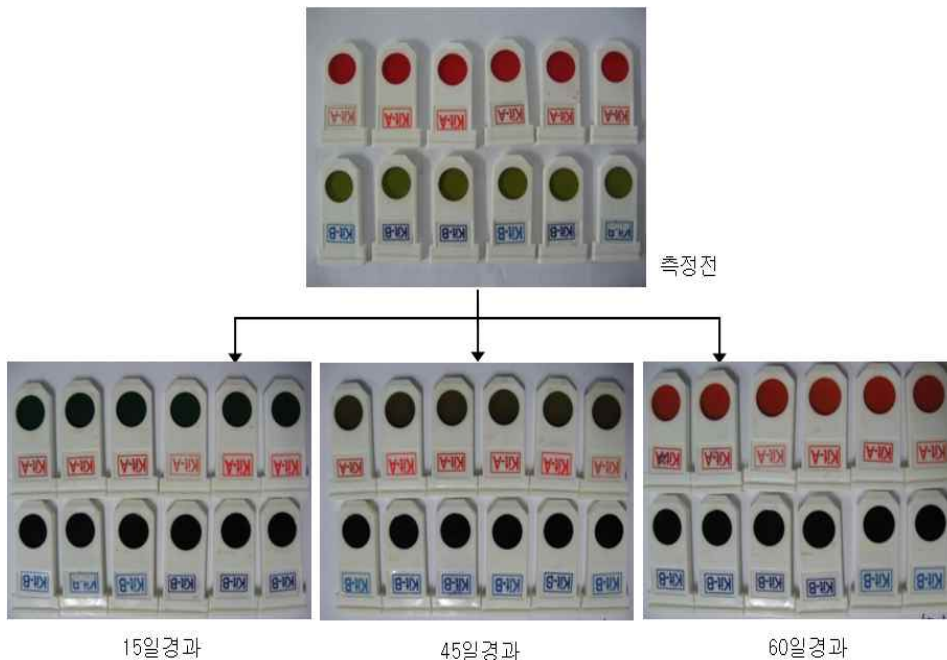


그림 3-30. 돈분퇴비 발생가스의 키트실험 결과 (1차 실험).

표 3-11. 돈분퇴비의 암모니아 측정 결과 (1차실험, 15일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	617	644	531	344	359	50	1051	903	24	524
2	588	673	474	338	387	45	958	792	25	533
3	622	621	564	344	343	50	852	821	29	494
4	626	773	478	333	411	43	955	831	23	522
5	607	720	560	321	381	48	999	878	24	518
6	615	837	492	316	430	47	999	846	24	528
평균	613	711	517	333	385	-	-	-	-	-
표준편차	13.6	82.3	40.6	11.8	32.1	-	-	-	-	-
변동계수	2.2	11.6	7.9	3.6	8.3	-	-	-	-	-

표 3-12. 돈분퇴비의 이산화탄소 측정 결과 (1차실험, 15일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	1818	647	1055	516	183	326	453	124	361	501
2	1797	502	1043	537	150	378	832	161	275	606
3	1797	673	1050	510	191	290	483	94	334	557
4	1911	587	1100	531	163	264	521	90	301	595
5	1833	615	1039	525	176	269	523	99	301	586
6	1823	628	1062	518	178	450	856	194	300	570
평균	1830	609	1058	522.8	174	-	-	-	-	-
표준편차	42.3	59.8	22.1	10.1	14.7	-	-	-	-	-
변동계수	2.3	9.8	2.1	1.9	8.5	-	-	-	-	-

표 3-13. 돈분퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차실험, 15일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)			변색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B		
1	1	3	5	1		부숙후기
2	1	2	5	1		부숙후기
3	1	3	5	1		부숙후기
4	1	3	5	1		부숙후기
5	1	3	5	1		부숙후기
6	1	2	5	1		부숙후기

표 3-14. 돈분퇴비의 암모니아 측정 결과 (1차실험, 45일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	602	764	599	306	388	212	811	928	108	415
2	616	779	528	320	405	226	852	953	111	419
3	607	714	589	317	373	220	943	1024	100	431
4	635	729	649	315	362	247	864	1092	112	392
5	638	709	549	336	373	258	753	1124	120	352
6	608	788	546	313	405	265	817	1106	121	373
평균	618	747	577	318	384	-	-	-	-	-
표준편차	15.3	34.2	44.6	10.1	18.0	-	-	-	-	-
변동계수	2.5	4.6	7.7	3.2	4.7	-	-	-	-	-

표 3-15. 돈분퇴비의 이산화탄소 측정 결과 (1차실험, 45일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	1740	568	1078	513	167	341	555	121	335	545
2	1714	643	1069	500	187	326	630	126	301	582
3	1636	664	1016	493	200	315	641	103	297	605
4	1610	822	995	469	239	362	722	137	296	591
5	1693	681	1032	497	199	336	643	122	305	584
6	1626	781	1018	474	228	352	690	135	299	586
평균	1670	693	1035	491	203	-	-	-	-	-
표준편차	53.0	93.3	32.4	16.6	26.4	-	-	-	-	-
변동계수	3.2	13.5	3.1	3.4	13.0	-	-	-	-	-

표 3-16. 돈분퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차실험, 45일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)			변색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B		
1	1	2	3	1	부숙후기	
2	1	3	3	1	부숙후기	
3	1	3	3	1	부숙후기	
4	1	3	3	1	부숙후기	
5	1	2	3	1	부숙후기	
6	1	3	3	1	부숙후기	

표 3-17. 돈분퇴비의 암모니아 측정 결과 (1차실험, 60일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	627	846	510	316	426	601	829	1049	242	334
2	632	688	610	327	356	586	902	996	235	363
3	644	905	514	312	438	604	952	985	237	374
4	619	632	528	347	355	583	870	981	239	357
5	619	811	535	315	412	589	876	967	242	360
6	644	961	478	309	461	615	1034	935	238	400
평균	631	807	529	321	408	-	-	-	-	-
표준편차	11.3	126.2	44.2	14.1	43.7	-	-	-	-	-
변동계수	1.8	15.6	8.4	4.4	10.7	-	-	-	-	-

표 3-18. 돈분퇴비의 이산화탄소 측정 결과 (1차실험, 60일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	1771	619	1068	512	179	352	611	133	321	557
2	1807	541	1107	523	156	388	628	170	327	529
3	1766	513	1069	527	153	315	560	115	318	565
4	1714	645	1048	503	189	347	639	144	307	565
5	1730	692	1050	498	199	372	653	178	309	542
6	1766	607	1087	510	175	372	587	160	332	524
평균	1759	603	1072	512	175	-	-	-	-	-
표준편차	32.9	66.2	22.5	11.2	18.1	-	-	-	-	-
변동계수	1.9	11.0	2.1	2.2	10.3	-	-	-	-	-

표 3-19. 돈분퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차실험, 60일 경과)

Kit No.	변색반응전 (blank)			변색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B		
1	1	2	4	1		부숙완료Ⅱ
2	1	3	4	1		부숙완료Ⅱ
3	1	2	4	1		부숙완료Ⅱ
4	1	3	4	1		부숙완료Ⅱ
5	1	2	4	1		부숙완료Ⅱ
6	1	3	4	1		부숙완료Ⅱ

표 3-20. GC/TCD 및 indophenol법에 의한 CO₂, NH₃ 측정 결과 (1차 실험)

부숙기간	CO ₂ 농도 (ppm)			NH ₃ 농도 (ppm)
	1회	2회	3회	
초기(30분)측정	0.143	0.181	0.134	14.1
15일 경과 퇴비	0.012	0.025	0.023	729.6
45일 경과 퇴비	0.018	0.019	0.031	177.4
60일 경과 퇴비	0.020	0.030	0.024	28.6

3) 부숙기간별 퇴비의 부숙도 판정 결과 (2차 실험)

(주)삼다비료에서 채취한 2차 돈분퇴비 시료를 플라스틱 용기에 넣어 1시간 동안 방치한 후, 부숙도를 암모니아(Kit-A) 및 이산화탄소(Kit-B) 측정용 키트, (주)소일테크 제작 퇴비부숙도측정기를 사용하여 조사하였다. 2차 돈분 퇴비 시료는 당일 돈분 슬러지(1번~2번), 15일 경과 퇴비(3번~4번), 45일 경과 퇴비(5번~6번), 60일 경과한 퇴비(7번~8번)로 분류하여 측정을 실시하였고, 그 결과를 표 3-16~표 3-18에 수록하였다. 당일퇴비인 1번과 2번의 경우, Kit-A는 10분 정도 경과 시부터 테두리에 진한 녹색으로 변하기 시작하여 조금 후에 전체적으로 진한 녹색으로 변했고, Kit-B는 진한 보라색으로 변색되었다. 15일 경과 퇴비인 3번과 4번의 경우, Kit-A는 테두리 부분만 약간 녹색을 띠고, Kit-B는 진한 보라색을 나타내었다. 반면에 45일 경과 퇴비인 5번과 6번, 그리고 50일 경과 퇴비인 7번과 8번은 시간이 지나도 Kit-A가 빨간색을 나타내어 암모니아가 상대적으로 적게 발생하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과를 기초로 최종적으로 판정한 부숙도는 당일 및 15일 경과 퇴비는 ‘부숙후기’의 결과를 나타내었고, 45일과 60일이 경과된 퇴비는 모두 ‘부숙완료Ⅱ’의 부숙도를 나타내어 45일에서 60일 정도에 돈분퇴비가 완전한 부숙 단계에 이르는 것으로 조사되었다.

플라스틱 용기(1380mL 부피) 8개 각각에 퇴비를 넣어 이산화탄소 발생량을 GC/TCD로 정밀 분석한 결과, 0.0871ppm 이하를 나타내었고 일부를 제외한 대부분의 시료에서 외부 공기조건(0.03ppm)보다도 낮은 결과를 나타내었다. 이처럼 플라스틱 용기에서 1시간이 경과한 후에 이산화탄소 농도가 낮은 농도를 나타내는 것은 공기 중의 이산화탄소가 퇴비에 분무한 수분에 흡수된 원인으로 추정된다.

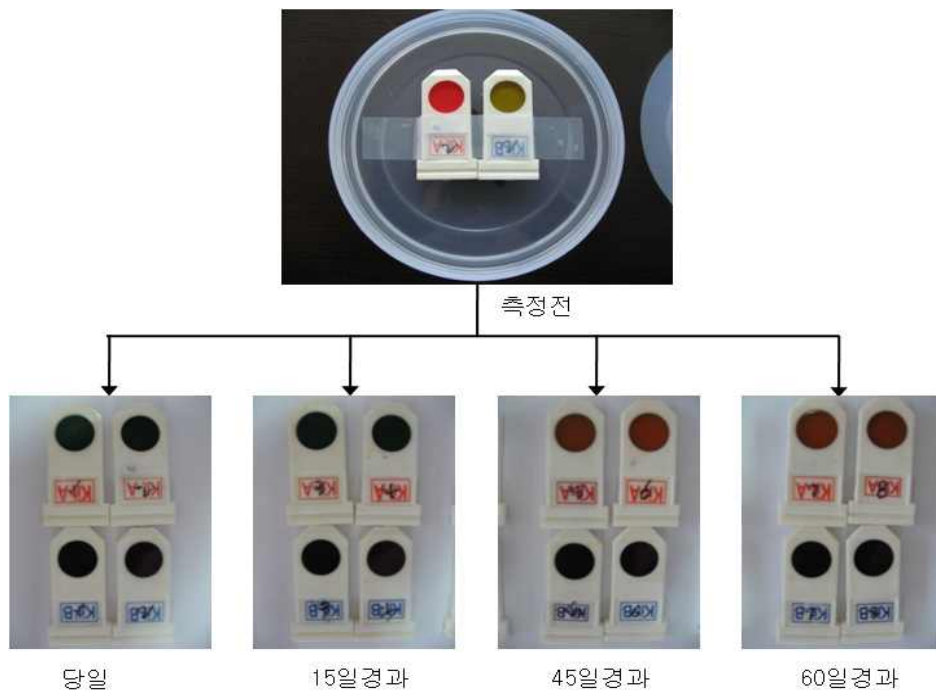


그림 3-31. 돈분퇴비 발생가스의 키트실험 결과 (2차 실험).

표 3-21. 돈분퇴비의 암모니아 측정 결과 (2차실험)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1 (당일)	615	688	564	329	368	51	920	796	28	520
2 (당일)	665	694	560	346	361	48	890	788	27	515
3 (15일)	611	665	506	342	373	41	925	735	24	543
4 (15일)	635	706	631	322	358	50	864	792	29	506
5 (45일)	604	761	546	316	398	365	688	1231	159	301
6 (45일)	652	767	617	320	376	475	747	1335	185	292
7 (60일)	610	744	581	315	384	433	665	1345	177	272
8 (60일)	628	735	599	320	374	392	717	1217	168	308
평균	628	720	576	326	374					
표준편차	21.9	37.1	40.5	11.8	12.8					
변동계수	3.5	5.1	7.0	3.6	3.4					

표 3-22. 돈분퇴비의 이산화탄소 측정 결과 (2차실험)

Kit No.	변색반응전 (blank)					변색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1 (당일)	1906	645	1130	517	175	341	519	126	345	526
2 (당일)	1709	619	1060	504	182	290	543	101	310	581
3 (15일)	1740	604	1068	509	177	284	656	108	270	625
4 (15일)	1756	690	1059	500	196	274	560	97	294	601
5 (45일)	1559	690	989	481	213	300	681	105	276	627
6 (45일)	1844	694	1089	508	191	326	660	122	294	595
7 (60일)	1818	632	1092	513	178	347	602	140	318	552
8 (60일)	1890	685	1130	510	184	305	639	133	283	593
평균	1778	657	1077	505	187					
표준편차	113.1	36.6	45.4	11.1	12.7					
변동계수	6.4	5.6	4.2	2.2	6.8					

표 3-23. 돈분퇴비의 부숙도 판정 결과 (2차실험)

Kit No.	변색반응전 (blank)			변색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B		
1 (당일)	1	3	5	1		부숙후기
2 (당일)	1	3	5	1		부숙후기
3 (15일)	1	2	4	1		부숙후기
4 (15일)	1	3	5	1		부숙후기
5 (45일)	1	3	3	1		부숙완료Ⅱ
6 (45일)	1	2	3	1		부숙완료Ⅱ
7 (60일)	1	3	3	1		부숙완료Ⅱ
8 (60일)	1	3	3	1		부숙완료Ⅱ

표 3-24. GC/TCD에 의한 CO₂ 농도 분석 결과

Kit No.	총질량 (g)	용기질량 (g)	시료질량 (g)	1차분석 (ppm)	2차분석 (ppm)
1 (당일)	381.5	125.2	256.3	0.0027	0.0059
2 (당일)	414.6	125.2	289.4	0.0048	0.0091
3 (15일)	412.1	125.2	286.9	0.0040	0.0049
4 (15일)	418.4	125.2	293.2	-	0.0092
5 (45일)	419.8	125.2	294.6	0.0070	0.0099
6 (45일)	448.5	125.2	323.3	-	0.0100
7 (60일)	425.0	125.2	299.8	0.0080	0.0089
8 (60일)	458.8	125.2	333.6	-	0.0871

3) 퇴비의 황화합물 가스 정량분석

① 암모니아 가스 분석결과

돈분뇨 3종(A, B, C) 시료에 대해 암모니아가스 발생량을 측정된 정량분석결과를 표 3-22에 수록하였다. 그리고 암모니아 가스 발생량의 일별 경시변화를 그림 3-29에 비교하였다. 표 및 그림의 결과와 같이, A 시료는 1일, 2일, 3일 차에 각각 24.7, 74.4, 39.4 ppm의 농도를 나타내었다. 그리고 B 시료는 1일, 2일, 3일 차에 각각 5.6, 38.8, 22.7 ppm의 농도변화를 보였고, C 시료는 각각 16.9, 54.1, 29.1 ppm의 농도변화를 보였다.

부숙 시간에 따라서 돈분뇨의 암모니아 가스 발생량을 측정된 결과, 평균적으로 1일 경과 후 16.9 ppm, 2일 경과 후 54.1 ppm, 3일 경과 후 29.7 ppm을 보였다. 이러한 결과로 보아 대체적으로 2일이 경과된 후에 가장 많은 양의 암모니아 가스를 발생함을 확인 할 수 있었다.

표 3-25. 돈분뇨 암모니아 가스의 발생량 측정 결과

Sample	Day	Concentration (ppm)
A	1-day	24.7
	2-day	74.4
	3-day	39.4
B	1-day	5.6
	2-day	38.8
	3-day	22.7
C	1-day	20.6
	2-day	49.1
	3-day	27.0
Mean	1-day	16.9
	2-day	54.1
	3-day	29.7

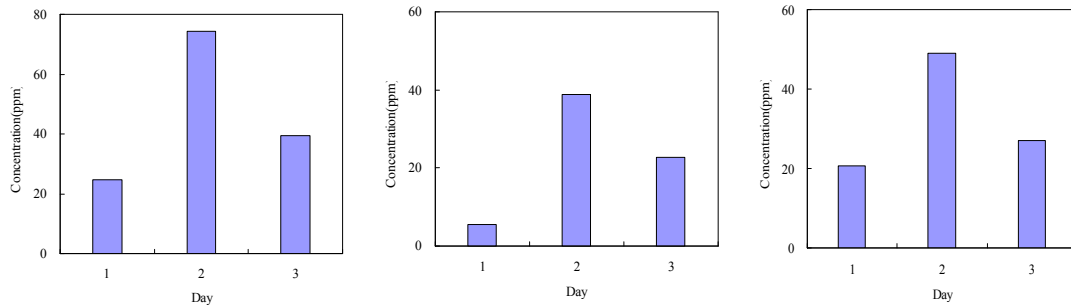


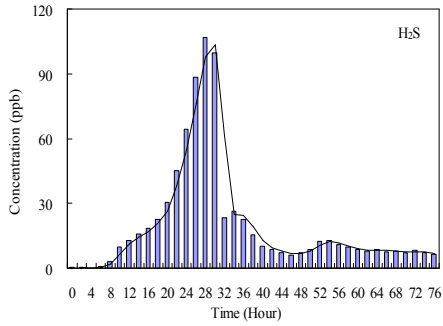
그림 3-31. 암모니아 가스 발생량 일별 비교.

② 돈분뇨의 황화합물 분석 결과

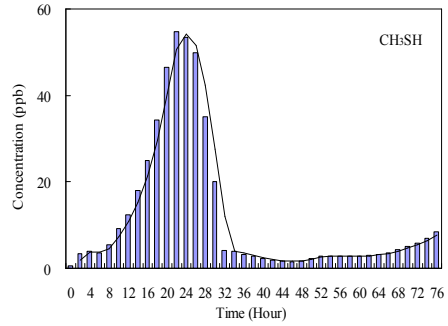
돈분뇨에서 발생하는 부속 가스 중 대표적인 악취 황화합물인 H_2S , CH_3SH , DMS, DMDS의 농도 변화를 그림 3-32~35에 나타내었다. 이 결과는 돈분뇨를 슬러리 상태로 만들어 챔버 내부 넣고 발생량을 2시간 단위로 총 76시간 동안 측정된 결과이다. H_2S 농도변화를 총 76시간 동안 측정된 결과, 28~30시간 경과 후에 가장 많은 발생량을 나타내었다. 또한 CH_3SH 의 경우 20~26시간 지나서 가장 높은 농도를 나타내었고, DMS는 40~44시간, DMDS 성분은 CH_3SH 의 경우와 마찬가지로 18~28시간이 경과 후에 가장 많은 발생량을 보였다.

황화합물 종류별 농도 변화는 H_2S 가 28시간 경과 후에 107.01 ppb, CH_3SH 는 22시간 경과 후에 54.82 ppb, DMS는 42시간 후에 19.27 ppb, DMDS는 24시간 후에 1.97 ppb로 최고의 농도를 나타내었다. 또한 채취 후 1일이 경과한 돈분뇨 시료 3종 (D, E, F)을 대상으로 황화합물 발생량을 2시간 간격으로 측정하였다. 그리고 그 결과를 그림 3-31~그림 3-33에 나타내었다. 표 및 그림의 결과와 같이 채취 후 1일이 경과된 돈분뇨에서는 H_2S 가 거의 검출되지 않았고, 주로 CH_3SH , DMS, DMDS 세 성분만이 발생되었다.

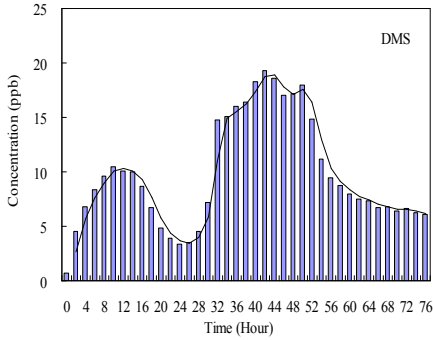
3종의 시료 중 첫 번째 시료(D)는 CH_3SH 가 6시간 경과 후에 110.09 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었다. 그리고 DMS는 20시간 경과 후에 68.50 ppb, DMDS는 CH_3SH 성분과 유사하게 6시간 경과 후에 5.84 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었다. 두 번째 시료(E)에서는, CH_3SH , DMS, DMDS 세 성분의 농도가 각각 14시간 경과 후 169.46 ppb, 34시간 경과 후 14.55 ppb, 14시간 경과 후 3.51 ppb로 가장 높은 농도를 나타내었다. 세 번째 시료(F)의 분석 농도는 CH_3SH , DMS, DMDS 세 성분들이 각각 14시간 경과후 152.23 ppb, 28시간 경과후 52.77 ppb, 14시간 경과 후 2.66 ppb로 가장 많은 발생량을 나타내었다.



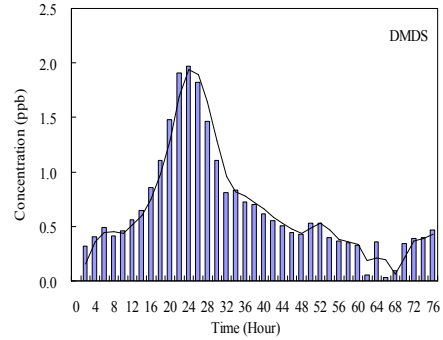
H₂S 가스 발생량 변화



CH₃SH 가스 발생량 변화

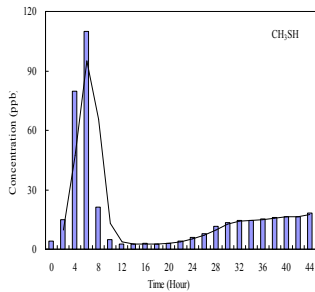


DMS 가스 발생량 변화

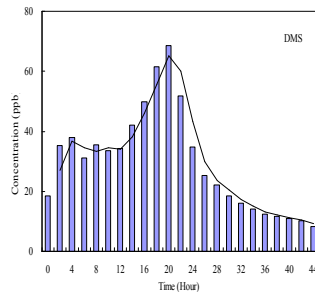


DMDS 가스 발생량 변화

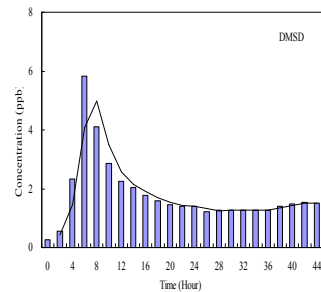
그림 3-32. 돈분뇨(D시료)의 황화합물 발생량 변화



돈분뇨(D시료)의 CH₃SH 발생량 변화

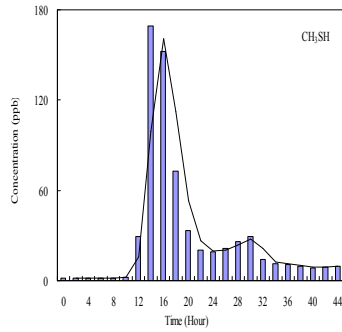


돈분뇨(D시료)의 DMS 발생량 변화

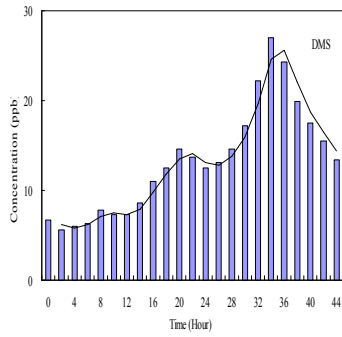


돈분뇨(D시료)의 DMDS 발생량 변화

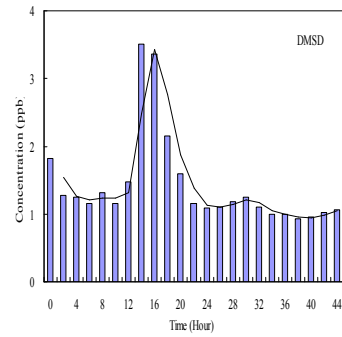
그림 3-33. 돈분뇨(D시료)의 황화합물 발생량 변화



돈분뇨(E시료)의 CH₃SH 발생량 변화

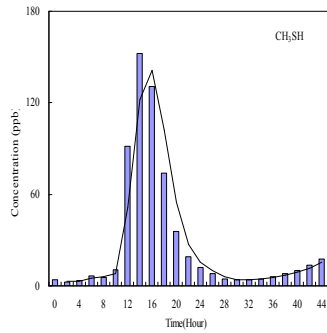


돈분뇨(E시료)의 DMS 발생량 변화

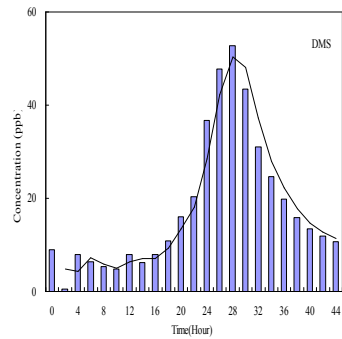


돈분뇨(E시료)의 DMDS 발생량 변화

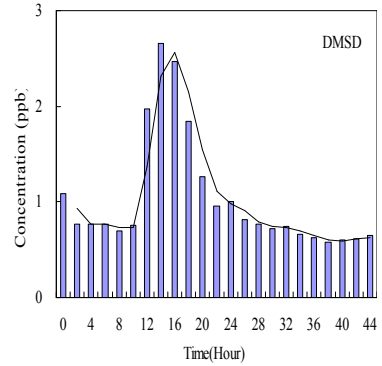
그림 3-34. 돈분뇨(E시료)의 황화합물 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 CH₃SH 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 DMS 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 DMDS 발생량 변화

그림 3-35. 돈분뇨(F시료)의 황화합물 발생량 변화

마. 시판 퇴비의 부숙도 측정 및 측정기 기능 검증

1) 1단계 측정결과

1단계 측정에서는 부숙도판정용기(400mL 용량)에 퇴비시료 약 200mL를 채우고, 여기에 수분 7.5 mL를 분무하여 퇴비와 수분의 부피비를 200:7.5로 조절하였다. 그리고 수분을 흡습시킨 상태에서 2시간 상온에서 방치한 후, 각각 오전과 오후에 2차례에 걸쳐 부숙도 측정을 반복하였고, 그 결과를 표 3-24~3-29에 나타내었다. 이 결과는 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트를 부숙도판정용기 뚜껑에 부착된 키트 홀더에 고정시키고 약 30분 동안 변색 반응을 시킨 후 더 이상 색깔 변화가 거의 없을 때 측정한 결과이다.

표에서 ‘발색반응전(blank)’ 데이터는 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트에 대해 사용 전에 미리 제1세부과제에서 제작한 퇴비 부숙도 측정기를 사용하여 반응전 패들의 RGB 값을 측정 한 바탕(blank) 값이다.

시판 중인 상품용 퇴비 36종을 대상으로 부숙도를 판정한 1차 실험 결과를 보면, 표 3-28의 결과와 같이, 수분을 7.5 mL 첨가하여 2시간 경과한 후에 총 36개의 퇴비 중에 26개는 ‘부숙완료 I’ (72.2%), 8개는 ‘부숙완료 II’ (22.2%), 그리고 1개는 ‘부숙후기’ (5.6%)의 판정결과를 나타내었다.

2차 실험 결과에서 역시 총 36개의 퇴비 중 26개는 ‘부숙완료 I’(72.2%), 8개는 ‘부숙완료 II’(22.2%), 1개는 ‘부숙후기’(5.6%)로 판정결과를 보였다. 그러나 1차 실험과 비교해 보면, 암모니아와 이산화탄소 측정 키트의 결과에서 퇴비2의 암모니아 키트가 발색단계 1에서 2로 변화하였다. 또한 퇴비5, 퇴비10, 퇴비15, 퇴비 34에서도 이산화탄소 키트의 발색단계가 1에서 2로 변화하였다. 하지만 최종 부숙도 판정에서는 모두 ‘부숙완료 I’의 결과를 나타내었다.

퇴비와 수분의 부피비를 200:7.5로 조절한 1단계 실험에서 1차와 2차 실험 결과는 암모니아와 이산화탄소 측정 키트에서 약간의 발색도 차이를 보였지만 최종 결과에서는 총 36개 중 1개를 제외한 나머지 35개 시료가 ‘부숙완료 I’과 ‘부숙완료 II’의 부숙도를 나타내는 것으로 조사되었다.

표 3-26. 시판 퇴비의 암모니아 키트 측정 결과 (1차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	615	697	574	326	369	615	706	603	319	366
퇴비2	609	624	503	350	359	589	779	614	297	393
퇴비3	632	852	556	309	417	616	799	603	305	395
퇴비4	667	896	535	317	427	665	805	567	326	395
퇴비5	636	720	628	320	362	634	849	1120	243	326
퇴비6	655	729	635	324	361	685	764	746	312	348
퇴비7	596	635	492	345	368	596	612	524	344	353
퇴비8	639	750	564	327	384	446	905	988	190	386
퇴비9	629	741	542	328	387	392	679	1363	161	278
퇴비10	622	732	581	321	378	626	726	742	298	346
퇴비11	666	744	581	334	373	662	741	624	326	365
퇴비12	642	744	678	311	360	623	832	556	309	413
퇴비13	656	714	581	336	365	586	732	1213	231	289
퇴비14	664	735	631	327	362	659	767	681	312	364
퇴비15	681	779	664	320	366	668	817	696	306	374
퇴비16	667	753	667	319	360	659	849	646	305	394
퇴비17	671	691	656	332	342	255	826	1460	100	325
퇴비18	639	691	606	330	356	656	779	631	317	377
퇴비19	629	691	539	338	371	579	697	1085	245	295
퇴비20	672	902	667	299	402	695	1043	689	286	429
퇴비21	656	717	546	341	373	656	662	621	338	341
퇴비22	634	711	542	335	376	626	735	589	321	376
퇴비23	641	729	585	327	372	637	779	664	306	374
퇴비24	657	808	499	334	411	629	732	571	325	378
퇴비25	674	776	521	341	393	649	750	553	332	384
퇴비26	665	808	524	332	404	644	829	549	318	409
퇴비27	609	653	521	341	366	603	694	699	302	347
퇴비28	644	820	681	300	382	642	826	831	279	359
퇴비29	647	738	610	324	369	659	794	639	315	379
퇴비30	639	750	492	339	398	656	621	631	343	325
퇴비31	646	709	614	328	360	677	729	628	332	358
퇴비32	614	714	531	330	384	619	735	531	328	389
퇴비33	656	861	549	317	416	657	767	585	327	381
퇴비34	647	697	614	330	355	640	876	542	310	425
퇴비35	616	644	524	345	360	596	688	771	290	334
퇴비36	654	1016	585	290	450	648	940	646	290	420
평균	644	739	578	327	379					
표준편차	21.1	67.6	56.8	13.3	23.5					
변동계수	3.3.	9.1	9.8	4.1	6.2					

표 3-27. 시판 퇴비의 이산화탄소 키트 측정 결과 (1차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	590	613	498	346	360	409	611	231	326	488
퇴비2	450	587	416	309	403	352	579	242	300	493
퇴비3	388	568	316	305	446	626	562	514	367	330
퇴비4	362	575	316	288	458	771	581	571	400	302
퇴비5	383	649	366	273	464	1429	719	922	465	234
퇴비6	398	534	375	304	408	3527	545	768	728	112
퇴비7	372	694	299	272	508	963	687	662	416	297
퇴비8	393	572	345	300	436	35	470	103	354	529
퇴비9	362	641	343	268	476	326	594	236	282	513
퇴비10	398	581	350	299	437	1921	562	1051	543	159
퇴비11	362	558	315	293	451	2817	621	795	665	146
퇴비12	419	670	405	280	448	2968	1318	398	633	281
퇴비13	699	598	656	357	306	528	551	507	332	347
퇴비14	699	607	651	357	310	1206	585	900	448	217
퇴비15	704	455	623	395	255	1491	634	916	490	208
퇴비16	481	590	471	311	382	1367	583	781	500	213
퇴비17	673	639	608	350	332	305	645	176	270	572
퇴비18	704	639	623	358	325	1046	670	809	414	265
퇴비19	528	681	501	308	398	631	664	578	336	354
퇴비20	683	536	639	367	288	1911	570	1064	539	160
퇴비21	528	555	525	328	345	709	534	644	375	282
퇴비22	585	555	548	346	328	1077	600	802	434	242
퇴비23	735	536	646	383	279	1144	660	822	435	251
퇴비24	704	506	612	386	277	859	687	692	383	306
퇴비25	637	685	594	332	357	2056	694	950	555	187
퇴비26	523	611	521	316	369	994	651	768	411	269
퇴비27	714	492	637	387	266	906	570	736	409	257
퇴비28	621	619	590	339	338	1735	649	996	513	192
퇴비29	600	400	598	375	250	870	400	754	429	197
퇴비30	518	532	512	331	340	916	530	735	419	243
퇴비31	518	506	505	338	330	927	541	740	419	245
퇴비32	678	536	614	370	293	792	545	678	393	270
퇴비33	657	583	589	359	318	2118	611	998	568	163
퇴비34	497	570	462	325	372	668	558	580	369	308
퇴비35	523	598	528	317	362	533	602	528	320	361
퇴비36	512	598	501	317	371	875	583	715	402	268
평균	544	574	503	330	360					
표준편차	123.1	63.7	115.5	33.6	66.1					
변동계수	22.5	11.0	22.9	10.1	18.4					

표 3-28. 시판 퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차 실험)

퇴비시료	발색반응전(blank)		발색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B	
퇴비1	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비2	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비3	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비4	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비5	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비6	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비7	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비8	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비9	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비10	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비11	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비12	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비13	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비14	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비15	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비16	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비17	1	1	4	1	부숙후기
퇴비18	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비19	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비20	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비21	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비22	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비23	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비24	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비25	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비26	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비27	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비28	1	1	2	2	부숙완료 I
퇴비29	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비30	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비31	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비32	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비33	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비34	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비35	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비36	1	1	1	1	부숙완료 I

표 3-27. 시판 퇴비의 암모니아 키트 측정 결과 (2차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	610	735	496	331	399	599	802	499	315	422
퇴비2	657	922	531	311	436	601	946	838	251	396
퇴비3	600	700	474	338	394	605	741	481	331	405
퇴비4	611	676	499	342	378	608	676	499	340	379
퇴비5	684	794	664	319	370	613	928	1263	218	330
퇴비6	640	670	610	333	348	647	767	756	298	353
퇴비7	606	717	535	326	385	605	709	589	317	372
퇴비8	616	709	499	337	388	457	732	881	220	353
퇴비9	605	600	553	344	341	501	685	1188	211	288
퇴비10	604	670	592	323	359	605	709	767	290	340
퇴비11	617	594	528	354	341	614	638	531	344	357
퇴비12	654	700	599	334	358	636	700	599	328	361
퇴비13	642	632	589	344	339	569	750	1256	220	291
퇴비14	678	764	678	319	360	689	782	738	311	354
퇴비15	611	615	564	341	343	608	635	564	336	351
퇴비16	648	744	592	326	375	645	770	596	320	382
퇴비17	673	755	631	326	366	291	993	1495	104	357
퇴비18	669	761	664	319	363	684	914	696	298	398
퇴비19	635	726	614	321	367	604	946	1046	232	364
퇴비20	597	723	535	321	389	608	755	592	310	386
퇴비21	646	861	567	311	415	626	820	603	305	400
퇴비22	640	662	556	344	356	634	761	542	327	3992
퇴비23	662	676	589	343	350	632	735	571	326	379
퇴비24	642	788	539	326	400	615	720	614	315	369
퇴비25	669	750	617	328	368	640	794	614	312	387
퇴비26	625	770	446	339	418	663	673	528	337	371
퇴비27	645	873	474	323	438	638	747	710	304	356
퇴비28	611	659	492	346	374	613	735	571	319	383
퇴비29	628	794	528	322	407	638	829	521	320	417
퇴비30	649	676	556	345	359	649	644	592	344	341
퇴비31	677	726	553	346	371	670	706	564	345	363
퇴비32	629	700	535	337	375	626	714	546	331	378
퇴비33	658	714	553	341	370	678	794	581	330	386
퇴비34	621	758	524	326	398	619	773	539	320	400
퇴비35	677	714	567	345	364	635	723	749	301	343
퇴비36	610	594	517	354	345	608	612	514	350	352
평균	637	719	553	334	376	-	-	-	-	-
표준편차	25.0	73.1	51.6	11.4	25.5	-	-	-	-	-
변동계수	3.9	10.2	9.3	3.4	6.8	-	-	-	-	-

표 3-28. 시판 퇴비의 이산화탄소 키트 측정 결과 (2차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	518	617	450	326	389	372	609	238	305	499
퇴비2	388	587	327	298	450	352	607	211	300	518
퇴비3	424	417	361	352	346	720	436	585	413	250
퇴비4	383	636	316	286	476	833	596	589	412	295
퇴비5	414	617	384	292	436	1279	621	875	460	223
퇴비6	398	621	375	285	445	3284	611	907	683	127
퇴비7	367	590	315	288	463	1010	594	694	439	258
퇴비8	404	626	327	297	461	310	594	103	307	589
퇴비9	533	602	505	325	367	507	619	489	313	383
퇴비10	414	660	391	282	450	1471	660	945	478	214
퇴비11	378	558	338	296	437	1916	577	761	588	177
퇴비12	383	639	372	274	458	2952	1606	443	590	321
퇴비13	393	647	361	280	461	543	685	509	312	394
퇴비14	388	634	370	278	455	600	656	558	330	361
퇴비15	393	624	384	280	445	865	709	701	380	311
퇴비16	745	487	669	391	256	1662	509	957	531	162
퇴비17	388	645	388	273	453	315	607	194	282	543
퇴비18	383	538	341	303	426	600	594	544	345	341
퇴비19	372	594	350	282	451	725	653	635	360	324
퇴비20	419	705	382	278	468	984	745	760	395	299
퇴비21	549	634	517	322	372	725	64	644	351	336
퇴비22	518	639	509	310	383	989	626	802	409	258
퇴비23	694	607	630	359	314	1067	598	784	435	244
퇴비24	538	511	541	338	321	709	570	640	369	297
퇴비25	688	568	644	362	298	2097	611	1014	563	164
퇴비26	559	504	528	351	316	849	602	715	391	277
퇴비27	585	656	548	326	366	1015	643	756	420	266
퇴비28	688	643	640	349	326	1579	749	971	478	227
퇴비29	709	517	642	379	276	994	509	768	437	224
퇴비30	668	583	598	361	315	1113	583	818	442	231
퇴비31	528	668	491	312	395	1004	668	735	417	277
퇴비32	533	651	494	317	387	621	656	551	339	358
퇴비33	777	415	685	413	221	2408	526	1057	603	131
퇴비34	694	496	623	382	273	953	511	751	430	230
퇴비35	642	530	599	362	299	771	538	660	391	273
퇴비36	688	423	624	396	243	1129	530	815	456	214
평균	515	586	470	322	381	-	-	-	-	-
표준편차	132.8	74.0	125.1	39.9	75.9	-	-	-	-	-
변동계수	25.8	12.6	26.6	12.4	20.0	-	-	-	-	-

표 3-29. 시판 퇴비의 부숙도 판정 결과 (2차 실험)

퇴비시료	발색반응전(blank)		발색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B	
퇴비1	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비2	1	1	2	1	부숙완료 I
퇴비3	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비4	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비5	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비6	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비7	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비8	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비9	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비10	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비11	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비12	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비13	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비14	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비15	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비16	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비17	1	1	4	1	부숙후기
퇴비18	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비19	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비20	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비21	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비22	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비23	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비24	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비25	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비26	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비27	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비28	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비29	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비30	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비31	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비32	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비33	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비34	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비35	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비36	1	1	1	1	부숙완료 I

2) 2단계 측정 결과

2단계 측정에서는 부숙도판정용기(400mL 용량)에 퇴비시료 약 200mL를 채우고, 여기에 수분 15 mL를 분무하여 퇴비와 수분의 부피비를 200:15가 되도록 조절하였다. 그리고 수분을 흡습시킨 상태에서 상온에서 2시간 방치 후, 각각 오전과 오후 2차례에 걸쳐 실험을 반복하였고, 그 결과를 표 3-30~표 3-35에 나타내었다. 이 결과는 암모니아와 이산화탄소 측정용 키트를 부숙도판정용기 두경에 부착된 키트 홀더에 고정시키고 약 30분 동안 변색 반응을 시킨 후 더

이상 색깔 변화가 거의 없을 때 측정된 결과이다.

시판 중인 상품용 퇴비 38종을 대상으로 부숙도를 판정한 1차 실험 결과를 보면, 표 3-32의 결과와 같이 수분 15mL 첨가하여 2시간 경과한 후에 총 38개의 퇴비 중에 29개는 ‘부숙완료 I’ (76.3%), 8개는 ‘부숙완료Ⅱ’ (21.1%), 그리고 1개는 ‘부숙후기’ (2.6%)의 판정결과를 나타내어 전체적으로 97.4%가 ‘부숙완료’의 단계를 나타내었다.

반나절이 경과한 후에 재측정한 2차 실험 결과에서는 총 38개의 퇴비 중 ‘부숙완료 I’(76.3%) 29개, ‘부숙완료Ⅱ’(21.1%) 8개, ‘부숙후기’(2.6%) 1개로, 1차와 마찬가지로 전체적으로 97.4%가 ‘부숙완료’의 단계를 나타내었다(표 3-35). 그러나 1차 실험 결과와 달리 퇴비8에서 암모니아 키트의 발색단계가 5에서 4로 변화(‘부숙완료 I’ 단계)하였다. 그리고 퇴비5, 퇴비15, 퇴비23와 퇴비 26에서도 이산화탄소 키트의 발색단계가 1에서 2로 변화되었다. 하지만 최종 부숙도 판정에서는 이들 모두 ‘부숙완료 I’과 ‘부숙완료Ⅱ’의 단계를 나타내어 1차와 2차 실험에서 약간의 발색 차이를 보였으나 최종 부숙도 판정 결과는 동일한 것으로 조사되었다.

퇴비와 수분의 부피비를 200:15로 조절한 2단계 실험에서 1차와 2차 두 번에 걸친 실험 결과는 암모니아와 이산화탄소 측정 키트에서 약간의 발색도 차이를 보였다. 그러나 최종 부숙도 판정 결과에서는 총 38개 중 ‘부숙후기’(2.6%) 1개 제외한 나머지 37개 시료가 ‘부숙완료 I’과 ‘부숙완료Ⅱ’의 부숙도를 나타내었다.

표 3-30. 시판 퇴비의 암모니아 키트 측정 결과 (1차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	637	676	517	348	369	634	753	639	312	371
퇴비2	633	814	564	314	404	486	829	921	217	370
퇴비3	649	703	599	332	360	645	808	649	306	384
퇴비4	663	755	578	332	378	666	761	631	323	369
퇴비5	639	685	606	331	354	650	755	767	299	347
퇴비6	630	703	496	344	384	626	738	492	337	397
퇴비7	629	562	542	362	324	638	688	738	309	333
퇴비8	606	685	499	338	382	169	697	871	97	401
퇴비9	616	729	531	328	388	582	881	885	247	375
퇴비10	641	735	531	336	385	642	802	535	324	405
퇴비11	630	621	610	338	333	630	641	592	338	344
퇴비12	607	688	581	323	366	591	697	567	318	375
퇴비13	609	764	549	316	397	601	870	799	264	383
퇴비14	659	846	574	316	406	667	779	635	320	374
퇴비15	630	761	453	341	412	622	627	535	348	351
퇴비16	645	852	535	317	419	637	753	614	317	375
퇴비17	627	656	517	348	364	405	711	1021	189	332
퇴비18	626	767	496	331	406	609	735	506	329	397
퇴비19	638	668	549	343	360	637	835	699	293	384
퇴비20	612	770	514	322	406	606	726	556	320	384
퇴비21	613	673	542	335	368	619	726	539	328	385
퇴비22	610	635	535	342	356	621	670	535	340	366
퇴비23	634	627	592	342	338	632	717	560	331	375
퇴비24	615	670	535	337	368	619	758	535	323	396
퇴비25	618	627	581	338	343	626	688	585	329	362
퇴비26	656	670	564	347	354	645	700	617	328	356
퇴비27	610	583	506	359	343	619	609	614	336	330
퇴비28	658	703	506	352	376	424	794	1063	185	348
퇴비29	641	673	571	340	357	640	703	578	333	365
퇴비30	620	670	546	337	364	606	665	567	329	361
퇴비31	618	670	542	337	366	622	682	549	335	368
퇴비32	645	647	539	352	353	641	650	539	350	355
퇴비33	646	846	578	312	408	637	826	581	311	404
퇴비34	643	829	528	321	414	646	747	560	330	382
퇴비35	677	782	556	335	388	588	776	1217	227	300
퇴비36	644	753	585	324	379	642	761	581	323	383
퇴비37	645	747	556	331	383	621	788	560	315	400
퇴비38	680	832	603	321	393	657	829	678	303	383
평균	634	713	548	334	375					
표준편차	19.0	74.7	35.0	12.2	24.3					
변동계수	3.0	10.5	6.4	3.7	6.5					

표 3-31. 시판 퇴비의 이산화탄소 키트 측정 결과 (1차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	704	511	619	383	278	321	549	199	300	513
퇴비2	688	562	614	369	301	347	549	236	306	484
퇴비3	497	649	459	309	404	1315	619	776	485	228
퇴비4	699	566	639	367	297	3335	553	884	698	115
퇴비5	673	519	615	372	287	1517	543	943	505	180
퇴비6	740	587	655	373	296	3703	558	583	764	115
퇴비7	637	768	560	324	390	1320	754	831	454	259
퇴비8	683	645	599	354	334	284	598	101	288	608
퇴비9	657	611	580	355	330	611	617	537	346	349
퇴비10	673	645	583	354	339	2854	619	927	648	140
퇴비11	315	598	279	264	501	1533	621	719	533	216
퇴비12	429	643	380	295	442	2812	1456	334	611	316
퇴비13	668	592	601	358	318	663	617	583	355	331
퇴비14	668	632	587	354	334	953	647	735	408	277
퇴비15	663	590	599	357	318	1232	602	834	461	225
퇴비16	709	485	628	389	266	1579	609	875	515	198
퇴비17	725	590	628	373	303	300	585	140	292	570
퇴비18	538	575	528	327	350	782	604	674	379	293
퇴비19	554	572	512	338	349	1124	585	806	446	232
퇴비20	538	564	507	334	350	1030	587	772	431	245
퇴비21	647	617	50	350	334	1067	653	779	426	261
퇴비22	600	568	551	349	330	1357	619	808	487	222
퇴비23	688	519	626	375	283	1263	590	850	467	218
퇴비24	725	617	639	365	311	1144	647	802	441	249
퇴비25	549	519	503	349	330	1699	555	891	540	176
퇴비26	398	530	386	300	403	911	538	706	422	249
퇴비27	611	658	546	336	362	854	651	669	392	299
퇴비28	523	577	496	327	361	315	498	144	329	520
퇴비29	518	626	510	313	378	761	506	667	393	261
퇴비30	507	619	477	316	386	761	615	644	376	304
퇴비31	538	617	510	323	370	937	617	731	410	270
퇴비32	554	560	526	337	341	642	568	599	354	313
퇴비33	559	651	512	324	378	1517	653	929	489	210
퇴비34	564	502	534	352	313	740	413	653	409	228
퇴비35	538	396	544	364	267	341	404	291	329	389
퇴비36	543	577	521	330	351	916	590	745	406	262
퇴비37	668	626	603	352	329	2812	647	1039	625	143
퇴비38	663	734	583	334	370	492	766	452	287	447
평균	601	590	531	336	342					
표준편차	98.2	67.1	114.9	57.0	48.0					
변동계수	16.3	11.4	21.6	17.0	14.1					

표 3-32. 시판 퇴비의 부숙도 판정 결과 (1차 실험)

퇴비시료	발색반응전(blank)		발색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B	
퇴비1	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비2	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비3	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비4	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비5	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비6	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비7	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비8	1	1	5	1	부숙후기
퇴비9	1	1	2	1	부숙완료 I
퇴비10	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비11	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비12	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비13	1	1	2	1	부숙완료 I
퇴비14	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비15	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비16	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비17	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비18	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비19	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비20	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비21	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비22	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비23	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비24	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비25	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비26	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비27	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비28	1	1	2	2	부숙완료 I
퇴비29	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비30	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비31	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비32	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비33	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비34	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비35	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비36	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비37	1	1	1	4	부숙완료 II
퇴비38	1	1	1	1	부숙완료 I

표 3-33. 시판 퇴비의 암모니아 키트 측정 결과 (2차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	629	676	581	333	358	621	779	710	294	369
퇴비2	626	612	564	347	339	477	753	1031	210	333
퇴비3	637	779	556	323	395	639	788	628	310	383
퇴비4	680	744	610	334	365	678	788	639	322	374
퇴비5	654	691	606	335	354	649	735	828	293	332
퇴비6	630	864	503	315	432	632	791	564	318	398
퇴비7	647	732	571	331	375	639	755	742	299	353
퇴비8	630	659	539	344	360	196	779	1003	99	393
퇴비9	634	726	524	336	385	630	811	771	284	366
퇴비10	666	738	560	339	375	660	796	681	308	372
퇴비11	633	788	564	318	396	635	829	549	315	411
퇴비12	625	688	553	334	368	605	711	542	325	382
퇴비13	639	764	581	322	385	626	794	835	277	352
퇴비14	638	840	535	316	417	626	732	581	322	377
퇴비15	639	738	556	330	381	626	711	606	322	365
퇴비16	600	723	556	319	384	604	799	556	308	407
퇴비17	649	688	585	337	357	418	767	963	194	357
퇴비18	644	750	567	328	382	640	750	610	320	375
퇴비19	622	644	517	348	361	616	706	735	299	343
퇴비20	633	586	574	353	326	620	624	549	345	348
퇴비21	647	703	571	336	365	660	741	614	327	367
퇴비22	626	647	50	351	362	626	632	542	347	351
퇴비23	648	876	485	322	436	622	884	564	300	427
퇴비24	652	914	524	311	437	647	905	556	306	429
퇴비25	643	703	610	328	359	633	764	621	313	378
퇴비26	662	688	514	355	369	665	700	542	348	367
퇴비27	605	644	560	334	355	595	650	642	315	344
퇴비28	642	849	531	317	419	424	890	1021	181	381
퇴비29	657	835	628	309	393	656	843	639	306	394
퇴비30	678	794	585	329	385	669	796	592	325	386
퇴비31	657	753	614	324	372	647	832	585	313	403
퇴비32	636	697	524	342	375	632	852	474	322	435
퇴비33	681	764	603	332	373	667	911	574	309	423
퇴비34	654	741	571	332	376	630	630	571	330	369
퇴비35	678	697	621	339	349	528	922	1335	189	331
퇴비36	621	679	531	339	370	630	770	503	331	404
퇴비37	638	673	542	344	363	637	799	517	326	409
퇴비38	650	729	506	344	386	630	755	546	326	390
평균	643	732	547	332	377					
표준편차	18.8	74.3	89.9	11.7	25.0					
변동계수	2.9	10.2	16.4	3.5	6.6					

표 3-34. 시판 퇴비의 이산화탄소 키트 측정 결과 (2차 실험)

퇴비 시료	발색반응전(blank)					발색반응후				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
퇴비1	751	570	656	379	288	347	587	236	296	501
퇴비2	518	485	507	343	321	290	492	178	302	512
퇴비3	533	568	496	333	355	1476	592	813	512	205
퇴비4	673	653	571	354	344	3361	555	635	738	121
퇴비5	543	632	512	321	374	1367	651	902	468	222
퇴비6	569	398	564	371	259	3693	362	720	773	75
퇴비7	740	530	658	383	274	1320	575	897	472	205
퇴비8	528	596	507	323	365	264	562	89	288	614
퇴비9	688	581	599	368	311	958	581	722	423	256
퇴비10	626	677	558	336	363	2444	656	952	603	161
퇴비11	383	570	348	294	438	1756	698	640	567	225
퇴비12	694	564	610	371	301	2999	1105	380	668	246
퇴비13	668	621	587	356	331	787	545	665	394	272
퇴비14	673	602	606	357	320	979	583	768	420	250
퇴비15	652	681	571	342	357	1238	692	809	451	252
퇴비16	673	549	599	369	301	1139	555	788	458	223
퇴비17	590	609	537	339	350	295	621	144	278	585
퇴비18	657	498	585	377	286	901	528	713	420	246
퇴비19	549	609	510	329	365	1357	647	890	468	223
퇴비20	512	547	477	333	356	1072	596	767	440	244
퇴비21	569	587	519	339	350	932	634	715	408	277
퇴비22	678	579	606	363	310	1351	602	879	477	212
퇴비23	621	575	558	354	327	1222	555	795	475	215
퇴비24	549	613	537	323	360	906	562	724	413	256
퇴비25	688	575	623	364	304	2051	594	946	571	165
퇴비26	652	611	590	351	329	1626	664	907	508	207
퇴비27	569	624	489	338	370	714	653	583	366	334
퇴비28	507	692	473	303	413	300	636	131	281	596
퇴비29	533	615	510	321	370	787	611	669	380	295
퇴비30	616	647	557	338	355	932	585	704	419	341
퇴비31	512	530	489	334	346	890	534	710	417	363
퇴비32	497	604	471	316	384	585	632	548	331	378
퇴비33	497	626	487	308	388	1403	630	890	479	386
퇴비34	559	592	523	333	353	745	596	640	376	400
퇴비35	533	528	514	338	335	326	528	238	298	343
퇴비36	538	541	512	338	340	1118	551	809	451	352
퇴비37	606	553	539	356	325	2185	581	914	593	143
퇴비38	585	575	557	340	334	440	592	418	303	447
평균	593	584	542	343	341					
표준편차	80.0	56.4	59.7	21.5	36.7					
변동계수	13.5	9.7	11.0	6.3	10.8					

표 3-35. 시판 퇴비의 부숙도 판정 결과 (2차 실험)

퇴비시료	발색반응전(blank)		발색반응후		판정결과
	Kit-A	Kit-B	Kit-A	Kit-B	
퇴비1	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비2	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비3	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비4	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비5	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비6	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비7	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비8	1	1	4	1	부숙후기
퇴비9	1	1	2	1	부숙완료 I
퇴비10	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비11	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비12	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비13	1	1	2	1	부숙완료 I
퇴비14	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비15	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비16	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비17	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비18	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비19	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비20	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비21	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비22	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비23	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비24	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비25	1	1	1	3	부숙완료 I
퇴비26	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비27	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비28	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비29	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비30	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비31	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비32	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비33	1	1	1	2	부숙완료 I
퇴비34	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비35	1	1	3	1	부숙완료 II
퇴비36	1	1	1	1	부숙완료 I
퇴비37	1	1	1	5	부숙완료 II
퇴비38	1	1	1	1	부숙완료 I

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연도별 연구목표 및 평가 착안점에 입각한 연구개발 목표 달성도

본 기술개발은 퇴비 부숙도를 판정할 수 있는 측정기를 개발하기 위한 것으로 개발기간 동안 선행연구의 기술과 금형을 이용한 소형 테스트용 부숙도 측정기를 개발하였으며, 이를 기반으로 회로도, 프로그램, 외부 모형, 사용자 편리성, 측정기 기능을 향상시킨 시제품 및 상품용 부숙도 측정기 개발을 완료하였음.

상품용 부숙도 측정기는 재현성이 높으며, 현장 적용 시험을 완료하였기 때문에 과제 종료와 동시에 시장에 출시하기 위한 계획을 세울 것임.

2. 관련분야의 기술발전예의 기여도

부숙도 측정기 개발에 사용한 광학기술은 일반화된 기술이지만 적용범위를 확대시켰으며, 부숙도 측정기술은 기존의 퇴비의 색깔, 탄력성, 악취, 손촉감, 손으로 비틀 때 강도 등을 측정하는 관능검사, 퇴비에 함유된 돈모의 장력을 측정하는 돈모 장력법, 질산태 질소 간이시험법, 퇴비제조기간의 온도 측정법, pH 측정법, 탄질물(C/N)에 의한 방법, 지렁이법, 종자 발아법 등에 비해 객관적이며, 측정 시간을 단축시키는 장점이 있으므로 부숙도 측정에 큰 기여를 한 것으로 평가됨.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화 · 산업화 계획

- 유통되는 퇴비 중에 많은 퇴비가 미부숙 상태로 판매되고 있어서 본 기술의 부숙도 측정기는 불량 퇴비의 유통을 막고 농업인의 피해를 줄이는데 크게 기여할 것으로 기대함.
- 본 기술개발은 실용화와 상품화를 목적으로 개발된 것으로 1,000여 개소의 퇴비 거래 지역 농협, 600여 개소의 퇴비제조업체, 200여 개소의 토양, 비료, 농자재 연구기관에 홍보하여 산업화를 목적으로 하고 있음.

2. 교육지도 · 홍보 등 기술확산 계획

가. 심포지엄, 교육 실시 성과

- 농협중앙회, 농민신문, 한국토양비료학회 공동 개최 제10회 흙의 날 기념 심포지엄. 2009. 11. 10. 지속농업을 위한 토양관리기술: 지속농업을 위한 퇴비 부숙의 문제점과 부숙도 개발 현황 소개(농협중앙회 대강당. 400명)
- 농촌진흥청 주관 비료담당 공무원 연찬회. 2009. 12. 3. 친환경비료와 화학비료의 조화: 친환경비료의 퇴비의 부숙도 중요성과 측정방법 소개(천안 상록리조트. 300명)
- 한국토양비료학회 제42차 춘계학술발표회 기조강연. 2010. 5. 6. 농업 부품산업으로서의 비료산업: 비료산업 중 친환경비료 및 부산물비료의 부숙도 필요성 등 소개(홍천비발디파크. 300명)
- 제주특별자치도 농업기술원 교육. 2009. 7. 28. 토양관리, 미생물, 키틴분해균: 퇴비 사용시 부숙도 중요성 및 간이 측정법 소개(제주특별자치도 표선농협. 80명)
- 제주특별자치도 농업인 교육. 2009. 5. 24. 제주도 토양관리 요령: 연간 600만 포대 이상 사용하는 제주농업의 퇴비 부숙도 관리 요령 교육(제주특별자치도 조천 농협. 50명)
- 유기농업협회 기념 심포지엄. 2009. 10. 8. 제주 친환경농업의 발전과 토양관리: 친환경농업에서 많이 사용하는 퇴비자재의 부숙도 문제점과 피해상화 및 부숙도 측정기술 교육(제주특별자치도 농업인회관. 250명)
- 제주관광대학 친환경농업과 교육. 2009. 10. 8. 제주친환경농업의 발전과 토양관리: 친환경농업에서 많이 사용하는 퇴비자재의 부숙도 문제점과 피해상화 및 부숙도 측정기술 교육(제주관광대학. 50명) 오전에 발표한 유기농업협회와 동일한 주제로 교육

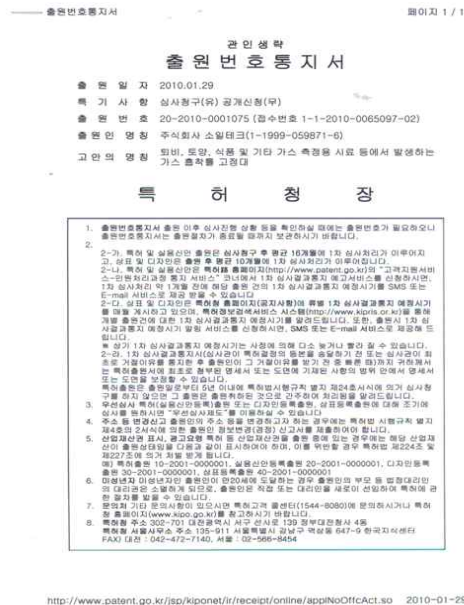
나. 교육 및 홍보 계획

- 과거에는 퇴비의 중금속에 의한 농가 피해가 많이 보고되었으나 최근에는 미부숙 퇴비에 의한 피해가 많이 나타나고 있음.
- 따라서 농업인 교육, 특서화 교육, 농업 마이스터대학 강의, 최고농업경영자과정 등에서의 강의와 언론매체를 통한 홍보를 진행시킬 계획임.

3. 특허, 논문 등 지식재산권 확보계획

- 본 기술개발 과정에서 얻어진 결과를 이용하여 1건의 특허, 2건의 실용신안을 출원하였으

며, 전 세계적으로 사용하고 있는 Woods End사의 Solvita, DCR 모델의 특허를 검색하여 특허 또는 실용신안이 중복되지 않는 범위 내에서 2개 내외의 지식재산권을 출원할 예정이다.



- 출원번호:20-2010-0001075
- 출원인 명칭: 주식회사 소일테크
- 고안의 명칭: 퇴비, 토양, 식품 및 기타 가스 측정용 시료등에서 발생하는 가스 흡착틀 고정대

정기를 사용하여 시판 퇴비의 부숙도 현황 조사 등에 이용하고 농업인 교육 자료로 이용될 수 있을 것으로 예상하고 있음.

4. 추가연구, 타연구 활용계획 등

- 본 기술에 적용한 광학기술은 타용도로 쉽게 변형하여 이용할 수 있는 것으로 퇴비에서 문제가 되고 있으며, 향후 비료공정규격에 삽입될 것으로 예상하는 병원성 대장균, 살모넬라 등을 광학적으로 측정하는 기술에 응용할 계획임.

- 토양활성 측정기술은 연차실적 평가과정에서 제외를 요청하여 제외하였으나 추가로 개발할 예정임. 그 이유는 토양활성은 토양의 미생물이 호흡하면서 배출하는 이산화탄소의 양으로 평가하는 것이며, 본 기술의 이산화탄소는 퇴비의 미생물이 유기물을 분해하면서 배출하는 이산화탄소의 누적 함량을 측정하는 것임. 따라서 국내 토양에 대한 학술적인 연구과정을 통해서 일정시간(예, day) 동안에 토양에서 배출되는 이산화탄소의 양($\text{CO}_2\text{-C}$)의 양이 결정되고 이 때 본 기술의 이산화탄소 패들을 이용하여 누적량을 측정하는 경우에 적용이 가능할 것으로 기대하고 있음. 단, 산업적인 측면에서 토양활성 측정기의 수요는 거의 없을 것으로 예상하고 있음.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 본 기술의 광학과 관련된 기술은 신기술에 속하지 않으며, 일반적인 기술을 용도를 확장시킨 것이며, 외국의 몇몇 회사에서 퇴비와 관련한 다양한 기술개발이 이루어지고 있음.
- 본 기술개발과정에서 수집한 외국 기술은 주로 인터넷을 이용했으며, 전 세계에 지사를 갖고 있는 Woods End 사의 홈페이지 및 내용은 다음과 같음. 기타 학술적인 내용은 참고문헌으로 대체하였음.
- 기타 부속도 측정기에 사용된 부품은 인터넷 등을 이용하여 외국에서 직접 수입하여 사용했음.

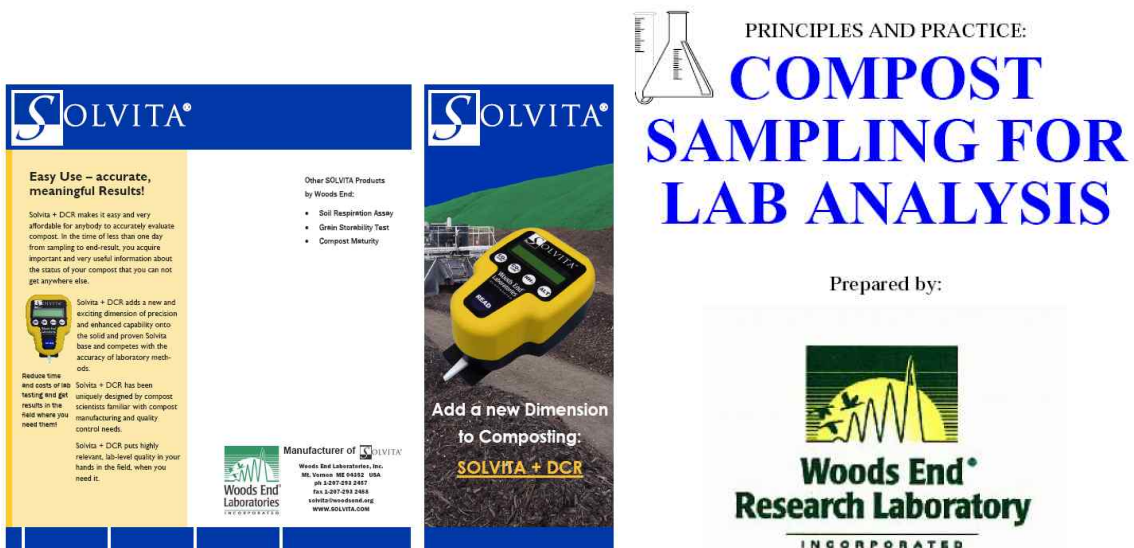


그림 6. Woods End 사에서 퇴비 부속도 측정과 관련된 자료(www.solvita.com 에서 얻을 수 있는 다양한 자료의 일부임).

제 7 장 참고문헌

G.F. Huang, Q.T. Wu, J.W.C. Wong, B.B. Nagar, Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust, *Bioresource Technology*, 97(15), 1834-1842, 2006

GELRITE[®]Gellan Gum For Microbiological Applications; http://www.appliedbioscience.com/docs/Gelrite_Spec_Sheet.pdf

In-Soung Chang, Chi-Il Kim, Byeong-Uk Nam, The influence of poly-vinyl-alcohol (PVA) characteristics on the physical stability of encapsulated immobilization media for advanced wastewater treatment, *Process Biochemistry*, 40, 3050-3054, 2005

Jaroslav Stejskal, Irina Sapurina, Jan Prokes, Josef Zemek, In-나서 polymerized polyaniline film, *Synthetic Materials*, 105, 195-202, 1999

Nayer, S. K., K. Ikeuchi, and T. Kanade, "Surface reflection : Physical and geometrical perspectives", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 13(7), pp 611-634, 1991,

Nayer, S. K., X. S. Fang and T. Boulton, "Separation of Reflection Components Using Color and Polarization", *Internat. Comp. Vis.*, vol 21(3), pp 163-186, 1997,

Park G-H., Oh G-Y., Jung K-H., Jung S-Y and Cha G-S. 2005. The odor characteristics of livestock raising facility. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*. 4(4):207-215.
Robby T. and Tan Katsushi Ikeuchi, "Separating Reflection Components of Textured Surfaces using a Single Image", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 27(2), 178-193, 2005)

Scribner, D., P. Warren, J. Schuler, "Extending color vision methods to bands beyond the visible", *Mach. Vis. Applicat.* vol. 11, 306-312, 2000)

SOLVITA[®] Reapiration Test Systems; http://solvita.com/manure_info.html

Yoo Y-H., Kim T-I., Jeong J-W., Choi H-C., Song J-I., Yang C-B., Jang Y-K., H-J and Song K-P. 2005. A field survey on concentration of oder compounds in pig buildings and boundary areas. *Korean Journal of Livestock Housing and Environment*. 11(1):45-54.

Yun-Su, Byung-Su Joo, Nak-Jin Choi, Jeong-Ok Lim, Jeung-Soo Huh, Duk-Dong Lee, Visible optical sensing of ammonia based on polyaniline film, *Senser and Actuators B(93)*, 148-152, 2003

감상규, 허철구, 윤석훈, 조은일, 여인규, 오홍식, 강기봉, 강경호, 송정화, 김형직, 오승철, 이기정. 2003. 제주도 환경관련 연구사업의 실태 조사 및 연구방향모색. 제주지역환경기술개발센터.

고문석, 박형수, 양성룡, 황경준, 고상욱, 좌재호, 송상택. 2006. 미생물제제를 이용한 돈분발효액의 이용성 증진에 관한 연구. 난지농업연구소.

고문석. 2001. 미생물제제 이용 돼지분뇨처리 시스템 평가 및 모델설정 연구. 제주농업시험장.

김태일, 정종원, 유용희, 최동운, 정광화, 양창범, Rodney Smith, Neale Hudson, Erik Schmidt, Tim Streeten, Mark Dunlop, Ian P Craig, Jae-Ho Sohn. 2005. 축산악취 확산기전 및 제어 연구. 축산연구소.

유용희, 정종원, 김태일,곽정훈, 최희철, 송준익, 김호정, 양창범, 김형호, 장영기, 정봉진, 김관, 송기봉, 이하영, 박영근, 홍정우. 2003. 축산악취 발생 조사 및 확산 영향 평가 연구. 축산과학원.

이숙현, '부산물 비료의 부숙도를 판정하기 위한 간이 판정 kit개발과 물리, 화학적인 방법의 비교분석', 강원대학교 농업생명과학대학대학원 석사학위 논문, 2002

이택관, 감상규, 허철구, 이민규, 김상현, 강경호, 송정화, 진유경, 고세호, 임진관. 제주지역 양돈시설 악취성분 조사 및 관리방안. 2004, 제주지역 환경기술개발센터.

정종원, 유용희, 양창범, 신용광. 축산분뇨에서 발생하는 온실가스 배출량 추정, 2002, 농촌진흥청

www.naas.go.kr

www.solvita.com

부록

1. 제2세부: 다용도 가스측정기의 모듈 개발

1차 테스트용, 2차 시제품, 3차 상품용 부속도 측정기의 프로그램은 첨부와 같으며, know-how와 관련된 내용은 단순한 모방을 막고, 주관기관의 기술적 노하우를 고려하여 블록 처리하였음.

가. 테스트용 부속도 측정기 프로그램

```

CONST DIVICE = 3B
    'Device 선택

delay 100
    '전원안정을 위한 구분

** 변수정의
dim i as integer
    '잡다 구분

dim fn as integer
    'for next 구문을 위한 변수

dim adbtt as integer
    'battery 입력값

dim btt as byte
    '버튼선택을 위한 변수

dim smpnb as byte
    '모듈번호

dim adr as integer
    'R,G,B 값을 입력받

dim adrs as integer
    '더하고 평균내기 위

dim adr0 as integer
    'Ch0 의 R,G,B 값을

dim adr1 as integer
    'Ch1 의 R,G,B 값을

dim nadr0 as integer
    'Ch0 의 R,G,B 값을

dim nadr1 as integer
    'Ch1 의 R,G,B 값을

dim rate as integer, ratehd as integer, ratesm as integer
    '소수점 이하

dim x0 as integer, x1 as integer, y0 as integer, y1 as integer
    '각채널의 x

와 y값을 저장하는 변수
dim lcdbkt as byte
    'LCD Back Light on/off(0 / 1)

dim date as byte, dts as byte
    '시간과 날짜를 입력함, 년월일.... 등의 번지를 선택해주
는 변수

dim tmode as byte, dateb as byte
    '시간의 모드를 결정함

dim kav as byte, kbv as byte
    'Ch0(kit A)와 Ch1(kit B)의 value를 저장하기 위한 변
수, 또한 kav는 최종 판정값이기도 하다.

tmode=11
    '타이머 보조배터리 충전 설정

out 6,1
    ' 보조배터리 충
전에 대한 통신

shiftout 17,5,0,&H90,8
out 6,0
out 6,1
    '타이머 입력 활성화

shiftout 17,5,0,&H8E,8
shiftout 17,5,0,0,8
out 6,0

** LCD 설정
set picbus low
    '한글 LCD는 4800브레이트로 picbus를 low로 설정해주어야 한다.

cls
out 11,1
    'LCD Back light On
    
```

```

BEEP 7                                locate 0,1
                                        print " 샘플을 넣어주세요! "

                                        10
                                        tmode=11

                                        gosub tmrd

                                        gosub bttsn

1                                        'ad키 입력
LCD 폰트선택                             btt=keydelay(adkeyin(3),0,35,10)
busout &HB0:1                             if btt=0 then goto 10
busout &HC0:1                             BEEP 7
                                        on btt goto 10, 10,10,lcd,10,10,smpl

locate 5,0                                goto 10000
print "MatureTest"                       '프로그램 종료

busout &HC0:0
locate 0,1                                '버전정보표
print "      Ver.Test"                    시
                                        locate 1,3
print "광학부교체일 : 2007/11"           '광학파드교
                                        체일

btt=keydelay(adkeyin(3),0,35,10)
if btt=0 then goto 1
BEEP 7
on btt goto 1,5,1,1,1,tim,1

5                                        smpl:
cls

```

```

locate 0,1                                adr1 = adr
print " 측정중 입니다. "                 adg1 = adg
                                        adb1 = adb

if smpnb=200 then smpnb=0
smpnb=smpnb+1                             ' 샘플
플번호 부여                               out 13,0
                                        'Mux: Ch0 Selection: A,B,C = 0
                                        delay 50
                                        'Mux 안정시간

out 16,0                                   out 12,1
                                        'LED On
                                        Delay 3000
                                        'LED 안정시간

                                        gosub sensing

out 13,0                                   'LED On 에서 Ch 0 측정
                                        nadr0 = adr
                                        nadg0 = adg
                                        nadb0 = adb

                                        out 13,1
                                        'Mux: Ch1 Selection: A,B,C = 1
                                        delay 50
                                        'Mux 안정시간

                                        gosub sensing

out 12,0                                   'LED Off 에서 Ch 0 측정
                                        nadr1 = adr
                                        nadg1 = adg
                                        nadb1 = adb

                                        out 13,1
                                        'Mux: Ch1 Selection: A,B,C = 1
                                        delay 50
                                        'Mux 안정시간

                                        gosub sensing

                                        'LED Off 에서 Ch 1 측정
                                        nadr1 = adr
                                        nadg1 = adg
                                        nadb1 = adb

                                        gosub sensing

                                        'LED Off 에서 Ch 1 측정
                                        nadr1 = adr
                                        nadg1 = adg
                                        nadb1 = adb

```


나. 시제품용 부속도 측정기 프로그램

```

if kav = 2 and kbv >= 5 and kbv <= 6 then gosub pt3
if kav = 3 and kbv >= 1 and kbv <= 3 then gosub pt2
if kav = 3 and kbv >= 4 and kbv <= 6 then gosub pt3
if kav = 4 and kbv >= 1 and kbv <= 4 then gosub pt3
if kav = 4 and kbv >= 5 and kbv <= 6 then gosub pt4
if kav = 5 and kbv =1 then gosub pt3
if kav = 5 and kbv >= 2 and kbv <= 4 then gosub pt4
if kav = 5 and kbv >= 5 and kbv <= 6 then gosub pt5
if kav = 6 and kbv >= 1 and kbv <= 3 then gosub pt4
if kav = 6 and kbv >= 4 and kbv <= 6 then gosub pt5

BEEP 7
delay 100
BEEP 7

goto 10

pt1:
print " 부속알료 "
SEROUT 4,103,1,1,[186,206,188,247,191,207,183,225,10]
return

pt2:
print " 부속중(후기) "
SEROUT 4,103,1,1,[ 186,206,188,247,193,223,40,200,196,177,226,41,10]
return

pt3:
print " 부속중(중기) "
SEROUT 4,103,1,1,[186,206,188,247,193,223,40,193,223,177,226,41,10]
return

pt4:

print " 부속중(초기) "
SEROUT 4,103,1,1,[186,206,188,247,193,223,40,195,202,177,226,41,10]
return

pt5:
print " 미부속 "
SEROUT 4,103,1,1,[184,197,191,236,32,185,204,186,206,188,247,40,70,114,101,115,10,4,41,10]
return

tmrd:
'날짜 및 시간 입력 및 화면에 표시
dts=&H8D '년을 호출하는 변수
gosub dtrd '날짜 및 시간을 읽어오기 위한 서브루틴
locate 0,0
if tmode = 0 then busout &HD0:1
print hex(date,2,0)
busout &HD0:0
print "-"

dts=&H89 '월을 호출하는 변수
gosub dtrd '날짜 및 시간을 읽어오기 위한 서브루틴
if tmode = 1 then busout &HD0:1
print hex(date,2,0)
busout &HD0:0
print "-"

dts=&H87 '일을 호출하는 변수
gosub dtrd '날짜 및 시간을 읽어오기 위한 서브루틴
if tmode = 2 then busout &HD0:1

```

```

adr0 = nadr0 - adr0
adg0 = nadg0 - adg0
adb0 = nadb0 - adb0

adr1 = nadr1 - adr1
adg1 = nadg1 - adg1
adb1 = nadb1 - adb1

** Ch 0 의 x와 y
* Ch 0 의 x 계산
adr = adr0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adg = adg0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adb = adb0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일

gosub mathesub '소수점 이하의 계산을 수행하기 위하여

x0 = ratesm 'ch 0 의 x 값

* Ch 0 의 y 계산
adr = adg0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일 (y를 구하기 위해 adg를 분자로 나눔)
adg = adr0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adb = adb0 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일

gosub mathesub '소수점 이하의 계산을 수행하기 위하여

y0 = ratesm 'ch 0 의 x 값

** Ch 1 의 x와 y
* Ch 1 의 x 계산
adr = adr1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adg = adg1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adb = adb1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일

gosub mathesub '소수점 이하의 계산을 수행하기 위하여

x1 = ratesm 'ch 0 의 x 값

* Ch 1 의 y 계산
adr = adg1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일 (y를 구하기 위해 adg를 분자로 나눔)
adg = adr1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일
adb = adb1 '반복되는 계산을 gosub로 보내기 위해 변수 동일

gosub mathesub '소수점 이하의 계산을 수행하기 위하여

y1 = ratesm 'ch 0 의 x 값

return

mathesub:
adb=2*adb 'adb 값을 2배로 만들어줌

```

다. 상품용 부속도 측정기 프로그램

```

' 부속도 상품화를 위한 버전 Ver 3.1
Const Device = CB280
Ramclear
Set Ladder Off
용하지 않음
Set Display 1,0,0,50
Opencom 1,9600,3,50,500
Defchr &HDB30
' Ladder를 사
' CUNet LCD설정
' 전원 1/3
Defchr &HDB34,
' 전원 2/3
Defchr &HDB32,

```

```

Dim fan As Integer
Dim sl As Byte
Dim nm As Byte
Dim adv As Integer
Dim adRA As Long
Dim adGA As Long
Dim adBA As Long
Dim adRB As Long
Dim adGB As Long
Dim adBB As Long
Dim adRA0 As Integer
Dim adGA0 As Integer
Dim adBA0 As Integer
Dim adRB0 As Integer
Dim adGB0 As Integer
Dim adBB0 As Integer
Dim xA As Long
Dim yA As Long
Dim xB As Long
Dim yB As Long
Dim min As Byte
Dim hou As Byte
Dim dat As Byte
Dim mon As Byte
Dim yea As Byte
Dim cnt As Integer
LCD contrast:
Set Onglobal Off
'for... next
'시간 설정 select
'샘플번호
'편서속경값
'Kit A의 R
'Kit A의 G
'Kit A의 B
'Kit B의 R
'Kit B의 G
'Kit B의 B
'Kit A의 R(LED off)
'Kit A의 R(LED off)
'Kit A의 R(LED off)
'Kit B의 R(LED off)
'Kit B의 R(LED off)
'Kit B의 R(LED off)
'Kit
A의 x 값
'Kit
A의 y 값
'Kit
B의 x 값
'Kit
B의 y 값
String=10
'테스트 모드
b stop
On Timer(00) Gosub timerTn

```

본 과제 평가의견을 반영하여 기본 회로도만 첨부하였음.

2. 제3세부: 측정기 기능 검증

가. 가스흡착용 패들 및 부속도 측정기의 기능 점검 결과

1) 암모니아(실험키트-A) 측정 기능 검증

○ 실험키트-A-3와 표준키트-A 비교

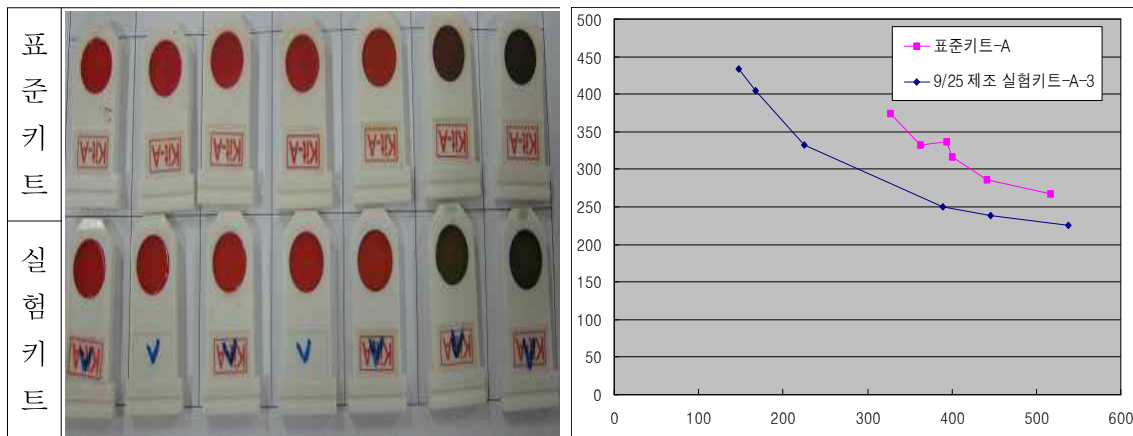
- 실험키트-A-3 (2008년 9월 25일 제조)와 표준키트-A (2008년 8월 제조)

(반응 전 측정 결과)

	9/25 제조 실험키트-A-3					표준키트-A				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	725	293	250	571	231	670	382	219	527	300
2	774	321	263	569	236	644	352	185	545	298
3	766	302	280	568	224	677	341	201	555	279
4	764	296	278	571	221	669	396	185	535	316
5	773	303	278	570	223	722	379	216	548	287
6	749	314	243	573	240	661	345	183	555	290
평균	758.5	304.8	265.3	570.3	229.2	673.8	365.8	198.2	544.2	295.0
표준편차	18.7	10.7	16.0	1.8	7.7	26.2	22.7	16.4	11.2	12.8

(반응 후 측정 결과)

	9/25 제조 실험키트-A-3					표준키트-A				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	767	322	336	538	225	664	345	275	517	268
2	751	401	530	446	238	556	360	342	441	286
3	677	436	625	389	250	519	410	367	400	316
4	291	429	569	225	332	511	435	348	394	336
5	201	486	511	167	405	491	449	412	363	332
6	159	468	451	147	434	360	412	326	327	375



(표준키트와 실험키트의 발색 및 측정 결과)

그림 3-1. 부속도 측정기를 이용한 암모니아 측정 결과(초기단계).

- * 위 실험측정기기는 보정중인 기기 사용.
- * 실험키트와 표준키트 각각 다른 범위 내에서 직선성을 보임.
- * 키트 자체 유관상으로는 색의 진하기만 차이가 있을 뿐 큰 차이는 없음.

○ 실험키트-A-4와 표준키트 비교

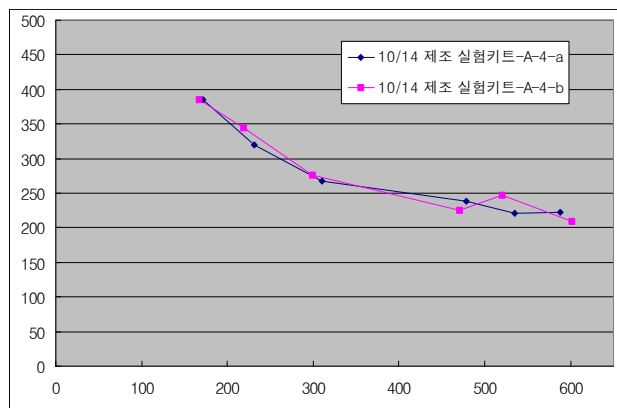
- 10월 14일 제조 실험키트-A-4
- 발색실험 재현성을 위해 a, b로 나누어 두 번 실험

(반응 전 측정 결과)

	10/14 제조 실험키트-A-4-a					10/14 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	762	260	216	615	210	756	254	199	625	210
2	783	286	212	611	223	784	325	218	590	244
3	773	285	208	610	225	760	279	238	595	218
4	768	268	214	614	214	818	361	240	576	254
5	757	281	214	604	224	796	315	226	595	235
6	772	306	216	596	236	816	308	217	608	229
평균	769.2	281.0	213.3	608.3	222.0	788.3	307.0	223.0	598.2	231.7
표준편차	9.1	16.0	3.0	7.2	9.1	26.7	37.1	15.2	16.7	16.3

(반응 후 측정 결과)

	10/14 제조 실험키트-A-4-a					10/14 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	789	299	253	588	222	795	277	249	601	209
2	770	319	349	535	221	800	380	358	520	247
3	696	347	411	478	238	692	333	443	471	226
4	401	347	545	310	268	394	364	559	299	276
5	266	368	515	231	320	266	417	529	219	344
6	179	400	458	172	385	174	399	463	167	385



(실험키트a와 실험키트b의 측정 결과)

그림 3-2. 부속도 측정기를이용한 암모니아 측정 결과(초기단계).

○ 10월 20일 제조 실험키트-A-4

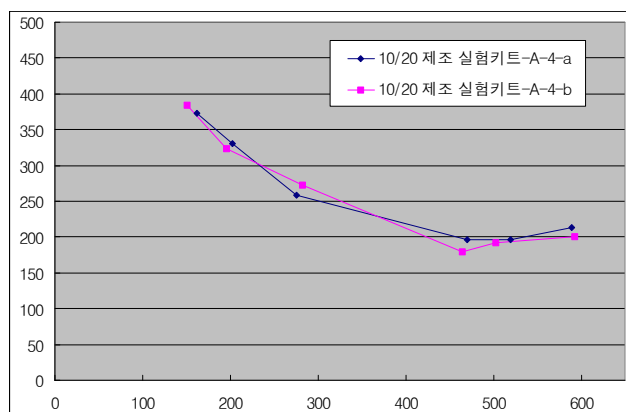
- 발색실험 재현성을 위해 a, b로 나누어 두 번 실험

(반응 전 측정 결과)

	10/20 제조 실험키트-A-4-a					10/20 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	810	255	246	617	194	799	244	233	626	191
2	838	242	248	631	182	811	268	236	616	203
3	779	249	223	622	199	807	254	229	625	196
4	803	269	225	619	207	801	282	235	607	213
5	839	254	244	627	189	788	236	221	632	189
6	807	270	226	619	207	825	263	232	625	199
평균	812.7	256.5	235.3	622.5	196.3	805.2	257.8	231.0	621.8	198.5
표준편차	22.8	11.1	11.8	5.4	10.0	12.5	16.7	5.5	8.9	8.8

(반응 후 측정 결과)

	10/20 제조 실험키트-A-4-a					10/20 제조 실험키트-A-4-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	815	295	273	589	213	803	272	279	593	200
2	799	303	433	520	197	769	294	463	503	192
3	692	291	487	470	197	710	275	543	464	179
4	371	349	624	276	259	358	345	564	282	272
5	254	416	587	202	330	222	367	542	196	324
6	164	376	468	162	373	161	410	495	151	384



(실험키트a와 실험키트b의 측정 결과)

그림 3-3. 부속도 측정기를 이용한 암모니아 측정 결과(초기단계).

2) 이산화탄소(실험키트-B) 측정 기능 검증

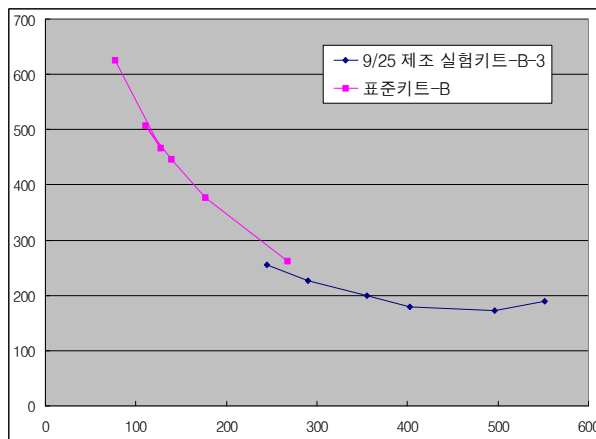
- 실험키트-B-3과 표준키트 비교
- 실험키트-B-3 (2008년 9월 25일 제조)와 표준키트-B (2008년 8월 제조)

(반응 전 측정 결과)

	9/25 제조 실험키트-B-3					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	116	225	308	178	346	69	614	270	72	644
2	112	238	300	172	366	102	551	384	98	531
3	124	228	323	183	337	71	611	293	72	626
4	129	212	377	190	312	74	555	303	79	595
5	117	210	312	183	328	60	666	250	61	682
6	120	201	316	188	315	64	668	258	64	674
평균	119.7	219.0	322.7	182.3	334.0	73.3	610.8	293.0	74.3	625.3
표준편차	6.1	13.7	27.7	6.6	20.3	14.9	51.0	49.0	13.2	56.1

(반응 후 측정 결과)

	9/25 제조 실험키트-B-3					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	220	230	445	245	256	75	608	289	77	625
2	296	232	491	290	227	147	538	469	127	466
3	417	234	523	355	199	116	526	394	111	507
4	490	218	507	403	179	157	504	468	139	446
5	602	211	400	496	173	231	492	581	177	377
6	657	226	306	552	190	435	427	766	267	262



(실험키트와 표준키트의 측정 결과)

그림 3-4. 부속도 측정기를 이용한 이산화탄소 측정 결과(최종단계).

- 표준키트와는 전혀 다른 범위에서 직선이 나오기는 했지만, 좋은 직선성을 보임.

○ 10월15일 제조 실험키트-B-3

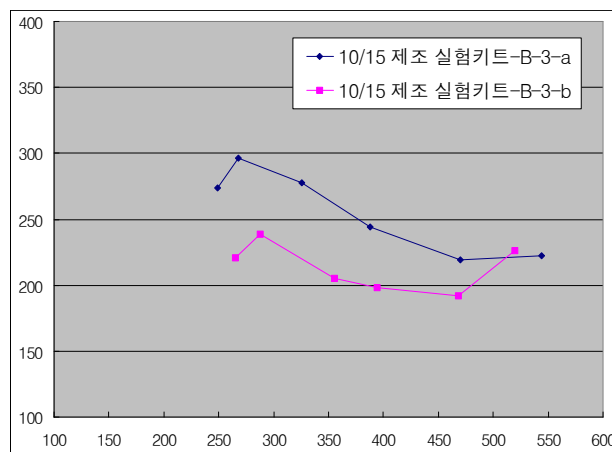
- 발색실험 재현성을 위해 a, b로 나누어 두 번 실험

(반응 전 측정 결과)

	10/15 제조 실험키트-B-3-a					10/15 제조 실험키트-B-3-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	113	239	303	172	364	120	168	321	197	275
2	124	271	330	171	373	112	260	307	164	382
3	121	296	318	164	402	113	209	305	180	333
4	109	310	290	153	437	112	264	301	165	389
5	120	259	315	172	373	117	258	315	169	373
6	132	238	344	184	333	113	288	308	159	406
평균	119.8	268.8	316.7	169.3	380.3	114.5	241.2	309.5	172.3	359.7
표준편차	8.1	29.6	19.1	10.3	35.5	3.3	44.1	7.3	14.0	48.1

(반응 후 측정 결과)

	10/15 제조 실험키트-B-3-a					10/15 제조 실험키트-B-3-b				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	240	264	459	249	274	251	209	485	265	221
2	296	326	479	268	296	307	255	501	288	239
3	402	343	488	326	278	420	242	518	355	205
4	489	307	462	388	244	489	246	506	394	198
5	604	282	397	470	219	612	251	444	468	192
6	695	284	298	544	222	673	292	327	520	226



(실험키트a와 실험키트b의 측정 결과)

그림 3-5. 부속도 측정기를 이용한 이산화탄소 측정 결과(최종단계).

- 직선모양은 재현성이 나오나 범위는 다르게 나옴

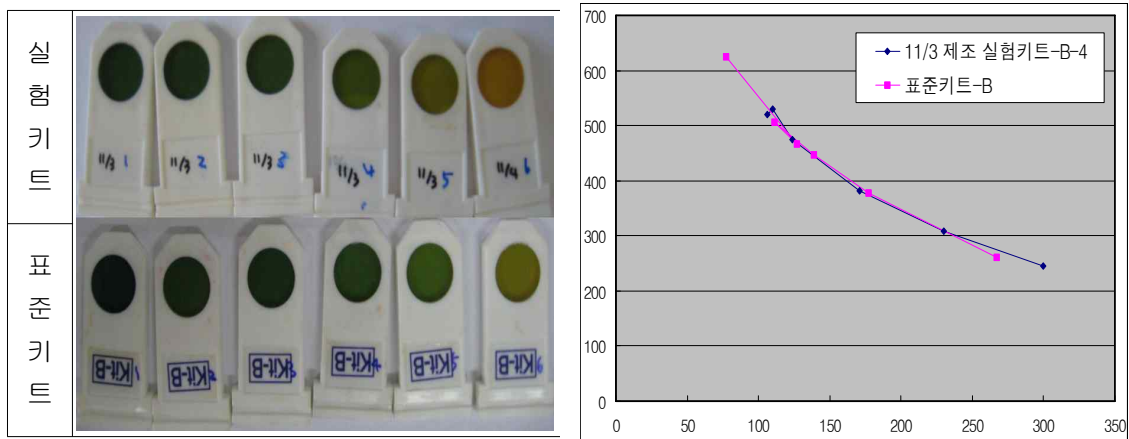
- 실험키트-B-4와 표준키트 비교
- 11월3일 제조 실험키트와 표준키트

(반응 전 측정 결과)

	11/3 제조 실험키트-B-4					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	106	649	368	94	577	69	614	270	72	644
2	105	660	351	94	591	102	551	384	98	531
3	110	630	382	98	561	71	611	293	72	626
4	108	642	383	95	566	74	555	303	79	595
5	109	666	373	94	580	60	666	250	61	682
6	107	615	372	97	562	64	668	258	64	674
평균	107.5	643.7	371.5	95.3	572.8	73.3	610.8	293.0	74.3	625.3
표준편차	1.9	19.0	11.6	1.8	11.9	14.9	51.0	49.0	13.2	56.1

(반응 후 측정 결과)

	11/3 제조 실험키트-B-4					표준키트-B				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	130	633	453	106	520	75	608	289	77	625
2	147	703	478	110	529	147	538	469	127	466
3	160	610	514	124	475	116	526	394	111	507
4	254	563	660	171	381	157	504	468	139	446
5	414	555	831	230	308	231	492	581	177	377
6	636	519	962	300	245	435	427	766	267	262



(실험키트와 표준키트의 발색 및 측정 결과)

그림 3-6. 부속도 측정기를 이용한 이산화탄소 측정 결과(초기단계).

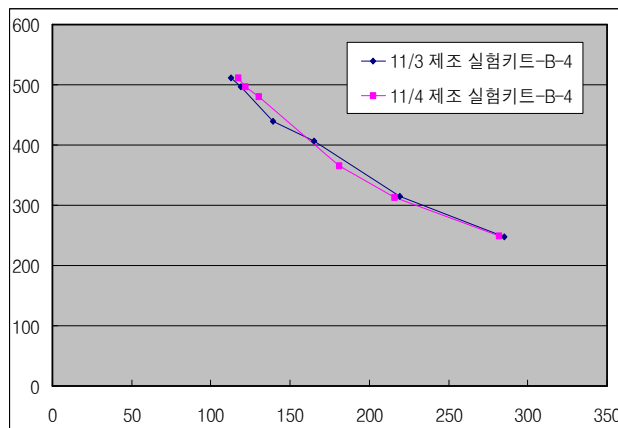
○11월3일, 4일 제조 실험키트-B-4 비교 - 1차

(반응 전 측정 결과)

	11/3 제조 실험키트-B-4					11/4 제조 실험키트-B-4				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	114	621	401	100	546	104	602	345	98	572
2	110	633	378	98	564	103	627	354	95	578
3	116	590	410	103	528	111	573	365	105	546
4	113	656	382	98	569	109	625	384	97	559
5	108	670	387	92	575	100	629	360	91	577
6	108	632	383	96	562	98	615	349	92	579
평균	111.5	633.7	390.2	97.8	557.3	104.2	611.8	359.5	96.3	568.5
표준편차	3.3	27.9	12.5	3.7	17.3	5.0	21.5	14.0	5.0	13.3

(반응 후 측정 결과)

	11/3 제조 실험키트-B-4					11/4 제조 실험키트-B-4				
	R	G	B	X	Y	R	G	B	X	Y
1	145	655	479	113	512	134	586	425	117	511
2	147	612	471	119	497	145	589	452	122	496
3	179	563	539	139	439	158	583	473	130	480
4	251	619	650	165	407	268	540	667	181	366
5	382	547	809	219	314	365	527	791	216	313
6	578	503	945	285	248	561	498	930	282	250



(11/3제조 실험키트와 11/4제조 실험키트의 측정 결과)

그림 3-7. 부속도 측정기를 이용한 이산화탄소 측정 결과(최종단계).

본 과제 평가의견을 반영하여 표준데이터만 첨부하였음.

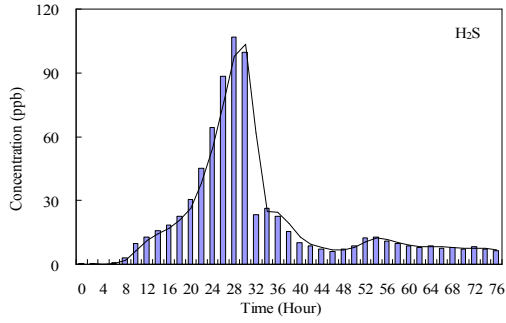
나. 돈분 퇴비의 황화합물 가스 분석 결과

표 3-1. 돈분뇨에서 발생하는 황화합물의 농도 변화

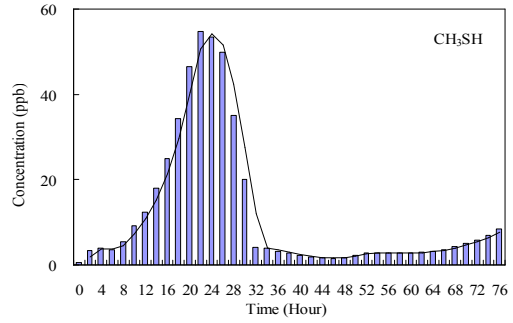
Hour	Concentration (ppb)			
	H ₂ S	CH ₃ SH	DMS	DMDS
0	0.41	0.60	0.74	0.00
2	0.22	3.34	4.56	0.32
4	0.00	3.97	6.81	0.41
6	0.67	3.53	8.35	0.49
8	3.10	5.36	9.65	0.41
10	9.71	9.15	10.46	0.46
12	12.78	12.44	10.09	0.56
14	15.72	17.95	10.00	0.64
16	18.49	24.90	8.64	0.86
18	22.59	34.36	6.69	1.11
20	30.44	46.48	4.86	1.48
22	45.22	54.82	3.94	1.91
24	64.15	53.40	3.35	1.97
26	88.37	49.88	3.52	1.82
28	107.01	35.01	4.50	1.46
30	99.83	20.01	7.21	1.11
32	23.21	4.15	14.78	0.81
34	26.20	3.86	15.05	0.83
36	22.64	3.20	16.02	0.72
38	15.40	2.72	16.41	0.70
40	10.13	2.25	18.28	0.62
42	8.52	1.87	19.27	0.55
44	7.14	1.65	18.60	0.51
46	6.13	1.57	17.06	0.45
48	7.13	1.71	17.22	0.43
50	8.58	2.27	18.00	0.53
52	12.50	2.81	14.84	0.53
54	12.62	2.89	11.14	0.40
56	11.01	2.80	9.48	0.37
58	9.66	2.77	8.76	0.35
60	8.50	2.74	7.97	0.32
62	7.87	2.94	7.52	0.06
64	8.74	3.26	7.32	0.36
66	7.48	3.59	6.75	0.03
68	8.03	4.23	6.79	0.09
70	7.00	5.02	6.42	0.35
72	8.22	5.80	6.65	0.39
74	6.99	6.87	6.22	0.40
76	6.45	8.47	6.10	0.47

표 3-2. 돈분뇨에서 발생하는 황화합물의 농도(ppb) 변화

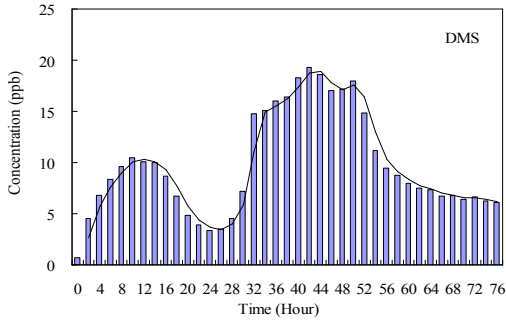
Hour	D시료			E시료			F시료		
	CH ₃ SH	DMS	DMDS	CH ₃ SH	DMS	DMDS	CH ₃ SH	DMS	DMDS
0	4.02	18.58	0.27	1.57	6.71	1.82	3.99	9.03	1.09
2	15.02	35.32	0.56	1.64	5.62	1.28	2.50	0.49	0.77
4	79.62	38.05	2.33	1.62	5.98	1.25	3.64	7.96	0.77
6	110.09	31.20	5.84	1.58	6.34	1.16	6.56	6.38	0.76
8	21.26	35.58	4.11	1.91	7.79	1.31	5.75	5.37	0.69
10	4.85	33.54	2.86	2.49	7.25	1.16	10.48	4.76	0.76
12	2.64	34.30	2.25	29.58	7.33	1.48	91.71	7.97	1.97
14	2.54	41.98	2.04	169.46	8.56	3.51	152.23	6.20	2.66
16	2.80	49.82	1.78	152.09	10.98	3.36	130.53	7.91	2.47
18	2.78	61.62	1.60	72.68	12.52	2.16	73.84	10.85	1.84
20	3.12	68.50	1.46	33.09	14.55	1.60	35.50	16.05	1.26
22	4.17	51.85	1.40	20.22	13.73	1.16	18.92	20.27	0.96
24	6.03	34.81	1.41	19.16	12.51	1.09	12.31	36.77	1.00
26	7.80	25.23	1.21	21.69	13.06	1.10	7.91	47.77	0.82
28	11.73	22.11	1.28	25.96	14.61	1.18	4.44	52.77	0.76
30	13.59	18.59	1.28	29.46	17.20	1.25	3.80	43.50	0.73
32	14.49	15.96	1.26	13.89	22.22	1.10	4.12	31.12	0.74
34	14.46	14.01	1.27	11.11	26.95	1.00	4.65	24.60	0.66
36	15.34	12.46	1.28	10.91	24.35	0.99	5.92	19.80	0.63
38	16.12	11.69	1.39	9.40	19.94	0.93	7.83	15.86	0.58
40	16.39	10.84	1.48	8.44	17.55	0.95	10.20	13.44	0.60
42	16.44	10.22	1.55	9.12	15.47	1.03	13.38	11.91	0.61
44	18.23	8.21	1.50	9.54	13.39	1.06	17.83	10.70	0.64



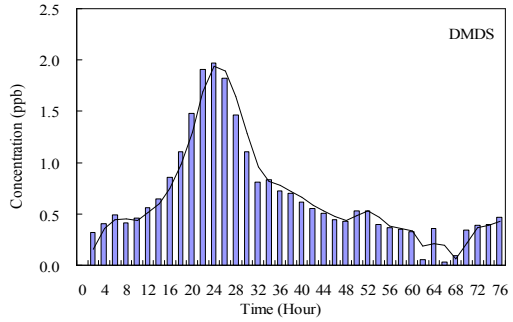
H₂S 가스 발생량 변화



CH₃SH 가스 발생량 변화

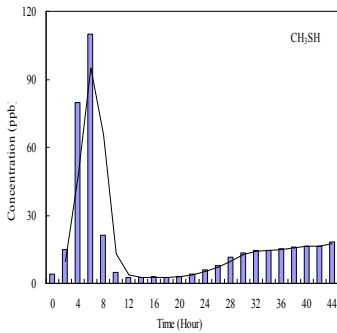


DMS 가스 발생량 변화

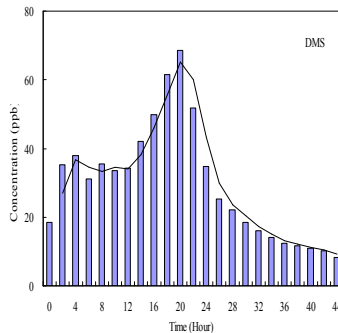


DMDS 가스 발생량 변화

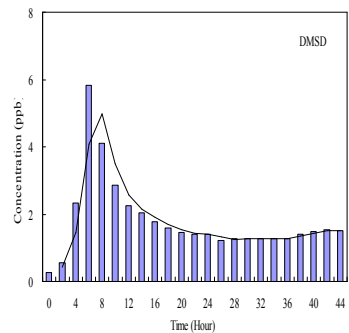
그림 3-8. 돈분뇨(D시료)의 황화합물 발생량 변화.



돈분뇨(D시료)의 CH₃SH 발생량 변화

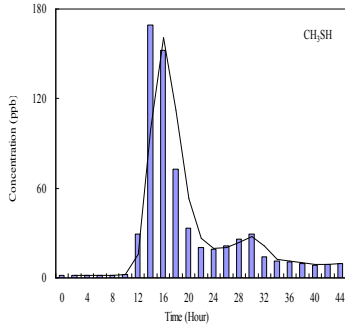


돈분뇨(D시료)의 DMS 발생량 변화

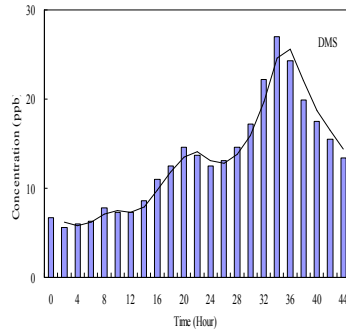


돈분뇨(D시료)의 DMDS 발생량 변화

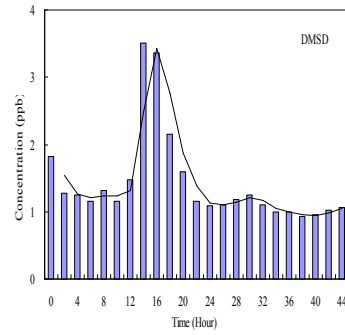
그림 3-9. 돈분뇨(D시료)의 황화합물 발생량 변화.



돈분뇨(E시료)의 CH₃SH 발생량 변화

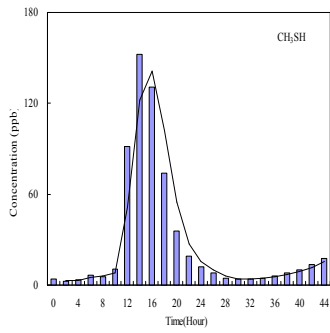


돈분뇨(E시료)의 DMS 발생량 변화

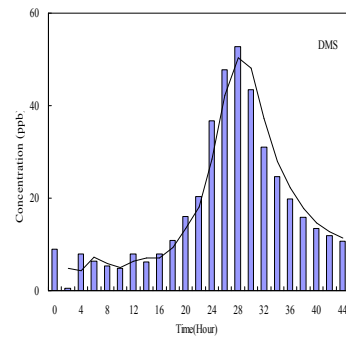


돈분뇨(E시료)의 DMSD 발생량 변화

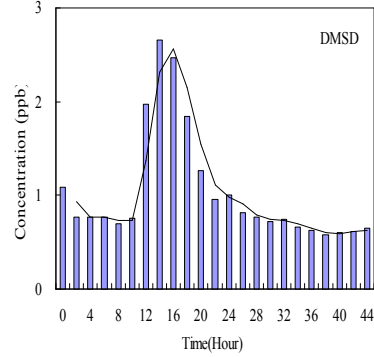
그림 3-10. 돈분뇨(E시료)의 황화합물 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 CH₃SH 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 DMS 발생량 변화



돈분뇨(F시료)의 DMSD 발생량 변화

그림 3-11. 돈분뇨(F시료)의 황화합물 발생량 변화

다. 돈분 퇴비의 부숙도 측정 과정



그림 3-12. 돈분퇴비 시료 채취 ((주)삼다비료).



그림 3-13. 돈분퇴비 시료 채취 (당일, (주)삼다비료).



그림 3-14. 돈분퇴비 시료 채취 (15일 경과, (주)삼다비료).



그림 3-15. 돈분퇴비 시료 채취 (45일 경과, (주)삼다비료).



그림 3-16. 돈분퇴비 시료 채취 (60일 경과, (주)삼다비료).